



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Comunidad al servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**“Diseño de una Microgrid experimental para la Unidad
Académica de Ingeniería, Industria y Construcción mediante
FV”**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

**AUTORES: DIEGO BISMÁRCK MALDONADO ORDÓÑEZ
EDWIN GEOVANNY CORAISACA PUGO**

DIRECTOR: ING. JAVIER BERNARDO CABRERA MEJIA

CUENCA

2018

DECLARACIÓN

Yo Diego Bismárck Maldonado Ordoñez, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.



Diego Bismárck Maldonado Ordoñez

DECLARACIÓN

Yo Edwin Geovanny Coraisaca Pugo, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.

A handwritten signature in blue ink, reading "Edwin Geovanny Coraisaca Pugo", is written over a horizontal line.

Edwin Geovanny Coraisaca Pugo

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Diego Bismárck Maldonado Ordóñez, bajo mi supervisión.

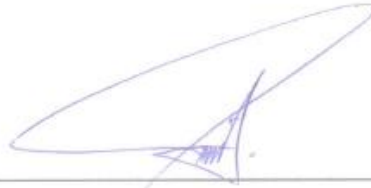
A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a final flourish, positioned above a horizontal line.

Ing. Javier Cabrera M. Mgs.

DIRECTOR

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Edwin Geovanny Coraisaca Pugo, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, sweeping loop followed by a series of smaller, more intricate strokes.

Ing. Javier Cabrera M. Mgs.

DIRECTOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres que con su apoyo, comprensión y esfuerzo me supieron apoyar para poder alcanzar mis metas y sueños propuestos durante todo este tiempo. Con mi más sincero amor y cariño.

A MI MADRE:

Mery Irene Ordoñez Tobo

A MI PADRE:

Bismark Enrique Maldonado Espinoza

A MIS HERMANAS:

Jenniffer Brigitte Maldonado Ordóñez

Karen Estefania Maldonado Ordóñez

También con infinito amor a mi querido abuelo “José Ordóñez” que con sus consejos me dieron las fuerzas necesarias para continuar escalando y poder culminar mi carrera.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis A Dios. A mis padres quienes me dieron la vida, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por los ejemplos de perseverancia y constancia que me ha permitido ser una persona de bien, que gracias a eso logre alcanzar mis sueños, pero más que nada, por su gran amor.

A mi madre Olga Lastenia Pugo Guncay.

A mi padre Juan Gilberto Coraisaca Pillco.

A mis Hermanos y Hermanas.

Rony Coraisaca, Fernando Coraisaca

Elizabeth Coraisaca, Estefanía Coraisaca.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios por darme la vida, la capacidad y su apoyo de no dejarme vencer en este proceso de formación profesional y crecimiento personal.

A mi madre que durante todos estos años me apoyado siempre incondicionalmente estuvo pendiente de mi a pesar de la distancia siempre creyó en mí, y haciendo muchos sacrificios me pudo ayudar en lo que necesitaba no me alcanzaría la vida para agradecerte Madre mía.

Un agradecimiento especial a mi Director de tesis Mg. Javier Cabrera quien, con su experiencia y conocimientos, tiempo supo guiarme para el desarrollo y culminación de esta tesis.

También a mis profesores que en el transcurso de mi formación profesional supieron guiarme por el camino del conocimiento, y que con sus experiencias me supieron brindar las herramientas para poder superar los obstáculos que fueron surgiendo en mi etapa de estudiante en mi carrera y así hoy poder ya concluir esta meta tan importante en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la oportunidad de vivir, por estar conmigo en cada paso que doy, por haberme permitido llegar hasta este punto, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio como son mis padres y hermanos.

Un agradecimiento especial a mi Director de tesis Mg. Javier Cabrera quien con su experiencia y conocimientos, tiempo supo guiarme para el desarrollo y culminación de esta tesis.

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
DECLARACIÓN	III
CERTIFICACIÓN	IV
CERTIFICACIÓN	V
DEDICATORIA	VI
DEDICATORIA	VII
AGRADECIMIENTOS.....	VIII
AGRADECIMIENTOS.....	IX
TABLA DE CONTENIDO	X
TABLA DE FIGURAS.	XIII
TABLAS.	XV
TABLA DE ANEXOS	XVI
RESUMEN	17
ABSTRACT	18
INTRODUCCIÓN	19
1) FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	20
1.1. Redes Inteligentes	20
1.1.1. Smart Grid	20
1.1.1.1. Características de las Smart Grids	21
1.1.2. Microgrid	22
1.2. Energía solar	22
1.3. Radiación solar	23
1.4. La energía solar fotovoltaica	23
1.4.1. Estructura y funcionamiento de una célula Fotovoltaica	23
1.5. Sistemas Fotovoltaicos	25
1.5.1. Sistemas Fotovoltaicos conectados en la Red	25
1.5.2. Sistemas Fotovoltaicos aislados	26
1.6. Componentes de un sistema foto voltaico conectado a la red	27
1.6.1. Panel Fotovoltaico (Modulo FV)	27
1.6.2. Protecciones	28
1.6.3. Inversor CC/CA	28
1.6.4. Baterías	29

2) ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO INSTALADO EN LA UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN, MEDIANTE EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE MICROREDES.	30
2.1. Características físicas del lugar	30
2.2. Energía eléctrica	30
2.3. Demanda crítica	31
2.4. Estudio de radiación solar en la zona.	33
2.4.1. Ubicación del Sistema Fotovoltaico en la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción	33
2.4.2. Radiación solar en la zona	34
3) DISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACION FOTOVOLTAICA.	38
3.1 Dimensionamiento	38
3.2 Condiciones meteorológicas de la ciudad de Cuenca	38
3.3 Catálogo de equipos.	38
3.3.1. Panel Solar Policristalino 230 Wp.	38
3.3.2. Inversor Sunny Boy 240-US.	39
3.3.3. Sunny Multigate Us.	40
3.4 Elección de los componentes	40
3.4.1. Panel Solar Policristalino 230Wp	40
3.4.2. Inversor Sunny Boy 240-US.	41
3.4.3. Sunny Multigate Us.	41
3.5 Puesta en marcha y simulaciones	42
3.5.1 Puesta en marcha de equipos.	42
3.5.1.1 Funcionamiento de Sunny Boy 240-Us.	42
3.5.1.2 Sunny Multigate Us.	42
3.5.1.2.1 Señales de los leds del Sunny Multigate.	43
3.5.1.3 Comunicación entre el inversor y el Sunny Multigate.	45
3.5.1.4 Requisitos para el montaje del inversor	46
3.5.1.5 Montaje del inversor sobre el tejado.	47
3.5.1.6 Montaje Sunny Multigate:	49
3.5.2 Simulación para la operación del Sistema Fotovoltaico mediante el programa PVsystV6.43.	51
4) ANALISIS DE RESULTADOS.	63
4.1 Muestreo de datos por el Sunny Multigate (Ethernet).	63
4.2 Interpretación de resultados.	66

CONCLUSIONES.....	68
RECOMENDACIONES.	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	71
ANEXOS.	74

TABLA DE FIGURAS.

<i>Figura 1. Concepto gráfico de Smart Grid.</i>	21
<i>Figura 2. Anatomía de una microgrid.</i>	22
<i>Figura 3. Intensidad de radiación solar en la superficie terrestre en [wm2].</i>	23
<i>Figura 4. Estructura de una Célula Fotovoltaica.</i>	24
<i>Figura 5. Funcionamiento de una Celda Fotovoltaica.</i>	24
<i>Figura 6. Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red.</i>	25
<i>Figura 7. Esquema SFV aislado.</i>	26
<i>Figura 8. Estructura interna de Modulo Fotovoltaico.</i>	27
<i>Figura 9. Panel solar colocado en el segundo piso de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción.</i>	30
<i>Figura 10. Consumo de Energía de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Católica de Cuenca.</i>	31
<i>Figura 11. Consumo semanal.</i>	32
<i>Figura 12. Consumo del fin de semana.</i>	32
<i>Figura 13. Localización de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción.</i>	33
<i>Figura 14. Imagen de la Radiación Solar.</i>	34
<i>Figura 15. Lugar donde se colocará el panel solar y la estación meteorológica.</i>	35
<i>Figura 16. Radiación Solar Global del día 01/11/2017.</i>	35
<i>Figura 17. Radiación Solar Global acumulada de la semana del 06/11/2017 al 12/11/2017.</i>	36
<i>Figura 18. Radiación Solar acumulada del mes de noviembre 2017.</i>	36
<i>Figura 19. Radiación Solar acumulada del mes de diciembre 2017.</i>	37
<i>Figura 20. Radiación solar del mes de enero 2018.</i>	37
<i>Figura 21. Temperatura del clima de Cuenca año 2018.</i>	38
<i>Figura 22. Panel policristalino 230wp.</i>	40
<i>Figura 23. Sunny Boy 240-US.</i>	41
<i>Figura 24. Sunny Multigate Us.</i>	42
<i>Figura 25. Diseño de Sunny Boy.</i>	42
<i>Figura 26. Partes principales para la conexión de Sunny Multigate US.</i>	42
<i>Figura 27. Conexión de Sunny Multigate US.</i>	43
<i>Figura 28. Posición de los leds en Sunny Multigate.</i>	43
<i>Figura 29. Ejemplo de una planta fotovoltaica con inversores de módulos y Sunny Multigate con comunicación a través de Speedwire/Webconnect.</i>	45
<i>Figura 30. Posición de los puntos de fijación del inversor.</i>	47
<i>Figura 31. Distancia minima recomendadas.</i>	47
<i>Figura 32. Montaje de inversor.</i>	48
<i>Figura 33. Colocación de tornillos.</i>	48
<i>Figura 34. Fijación de Inversor.</i>	49
<i>Figura 35. Montaje del Inversor ya listo para colocarlo sobre el tejado.</i>	49

<i>Figura 36. Dimensionamiento del Sunny Multigate y de los agujeros para el montaje con los tornillos.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 37. Colocación del Sunny Multigate en el riel rín.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 38. Montaje de Sunny Multigate.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 39. Ventana Principal de PvSyztV6.43.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 40. Ventana del Botón herramientas.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 41 . Ventana de Graphic Tool Fort he Array's Eelectrical Behaviour Study in various conditions.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 42. Sección del Fabricante del Panel Solar.</i>	<i>55</i>
<i>Figura 43 . Selección de tipo de panel Solar.</i>	<i>56</i>
<i>Figura 44. Ventana de Definición de un Módulo FV.</i>	<i>57</i>
<i>Figura 45. Ventana de Definición de un Módulo FV en la pestaña Gráficos.</i>	<i>58</i>
<i>Figura 46. Ventana de Definición de un Módulo FV en la pestaña Gráficos (para introducir la radicación y ver el grafico completo).....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 47. Ventana de Comportamiento del Módulo según Irradiación (W/m²).</i>	<i>60</i>
<i>Figura 48. Valores de radiación solar del 01/11/2017.</i>	<i>61</i>
<i>Figura 49. Gráfico de radiación solar del 01/11/2017(Potencia vs Voltaje).</i>	<i>62</i>
<i>Figura 50. Curva de carga diaria.</i>	<i>63</i>
<i>Figura 51. Potencia generada semanal (del 06 al 12 de noviembre).....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 52. Potencia Mensual de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción.</i>	<i>65</i>

TABLAS.

<i>Tabla 1 .Eficiencia de los modulos FV.</i>	28
<i>Tabla 2. Cantidad de luminarias.</i>	33
<i>Tabla 3. Características técnicas Inversor Sunny Boy 240-US.</i>	39
<i>Tabla 4. Características técnicas Inversor Sunny Multigate- Us.</i>	40
<i>Tabla 5. Funcionamiento del led A.</i>	44
<i>Tabla 6. Funcionamiento del led B.</i>	44
<i>Tabla 7. Valores de la radiación Solar Promedio, Máximo (Max), Mínimo (Min), Sumado(Sum) por día.</i>	60
<i>Tabla 8. Valor de kWh mensual del año 2017.</i>	66

TABLA DE ANEXOS.

Anexo 1. DATOS REGISTRADOS POR EL SUNNY MULTIGATE MES NOVIEMBRE	74
Anexo 2. DATOS REGISTRADOS POR EL SUNNY MULTIGATE MES DE DICIEMBRE	75
Anexo 3. DATOS REGISTRADOS POR EL SUNNY MULTIGATE MES DE ENERO	76
Anexo 4. DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS INVERSOR SUNNY BOY 240-US.	77
Anexo 5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE SUNNY MULTIGATE	78
Anexo 6. PRESUPUESTO DE FINANCIAMIENTO DE LA MICROGRID PARA LA UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN.	79

RESUMEN

La generación distribuida (GD) surge como alternativa importante para la prestación del servicio de energía eléctrica, ya que puede aumentar la confiabilidad y seguridad en el suministro a corto, mediano y largo plazo. La hipótesis que inspiró esta tesis sostiene que la integración de componentes fotovoltaicos en el techo del edificio de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción (UAIIIC) podría incrementar su eficiencia energética. Esta posibilidad se basa en que, al no existir una sombra a los alrededores, se tiene una irradiación solar incidente significativa y al incorporar dicha generación al subsistema eléctrico de luminarias de los pasillos, se amortizan los costes y por ende se obtiene un beneficio en la demanda de energía. Para verificar esta hipótesis de partida se han propuesto como objetivo general diseñar una Microgrid experimental para la UAIIIC mediante paneles fotovoltaicos. Inicialmente se presenta una revisión del estado de arte en los temas estudiados y la metodología de investigación, de carácter teórico basada en cálculos y simulaciones. A partir de un modelo experimental del edificio de la UAIIIC, se definen dos escenarios de estudio y una serie de parámetros, los cuales se analizan durante 12 meses de datos de la demanda de energía, 3 meses de generación eléctrica mediante paneles fotovoltaicos; posteriormente, se hace simulaciones de generación mediante los datos meteorológicos del lugar, para finalmente realizar mediciones y pruebas del sistema de luminarias. Al final, esta investigación ha permitido extraer conclusiones que contribuyen al avance de la investigación y entender las condiciones que propician la viabilidad de la aplicación de sistemas fotovoltaicos en los techos de los edificios.

PALABRAS CLAVES: PANEL SOLAR, GENERACIÓN DISTRIBUIDA, MICROGRID, RADIACIÓN SOLAR, ENERGIAS RENOVABLES.



Ing. Javier Cabrera M. Mgs.

ABSTRACT

The distributed generation arises as an important alternative to provide the electrical energy service, since it can increase the reliability and security of its provision in short medium and long term. The hypothesis of this research work supports that the photovoltaic components which are in the roof of Engineering, Industry and Construction Academic Unit increase its energetic energy. This possibility is based on the fact that there is no shadow around the building, it has an incidental significant solar irradiation and it is added to the electric hall lamps, subsystem, it permits to reduce the expenses and consequently the energy consumption is reduced. To verify this hypothesis, the design of an experimental Microgrid throughout photovoltaic panels was proposed as general objective. Initially a revision state of art is presented on the studied topics and research methodology based on calculus and simulations. From an UAIC building experimental pattern, two sceneries to study are defined and a range of parameters which are analyzed during 12 months of energy consume data, 3 months of electricity generation throughout photovoltaic panels, then simulation of generation are made by methodological data from the place, and finally make measurements and lamp system tests. At the end, this research has permitted to get conclusions which contribute to the investigation and understand the condition that permits the viability of application of photovoltaic systems on the build roofs.

KEY WORDS: SOLA PANEL, DISTRIBUTED GENERATION. MICROGRID, SOLAR RADIATION, RENEWABLE ENERGY.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la energía se presenta como una alternativa importante ante el aumento del consumo energético del planeta, debido a que la cantidad de la energía del sol, que llega a la superficie de la tierra en un día, es diez veces más que la energía total consumida en nuestro planeta durante un año. A través del efecto fotovoltaico la energía contenida en la luz del sol puede ser convertida directamente en energía eléctrica (Martins, 1999., pág. 17)

Los sistemas fotovoltaicos nos permiten una forma de generación autónoma mediante la radiación solar y por lo tanto constituyen una fuente de energía renovable que nos permiten llegar a sitios remotos en donde prácticamente las líneas de electrificación no pueden cubrir estas zonas y por lo tanto tendríamos una excelente opción para cubrir dichos lugares, tenemos que tener en cuenta que también requiere de un elevado consumo energético; que se traduciría en un alto costo de inversión inicial. (Martins, 1999., pág. 17)

Pero también tenemos que tener en cuenta estos tipos de sistemas presenta ciertas ventajas por ejemplo en una instalación muy simple y ayuda a la no contribución de Co2 es decir es una energía limpia y de forma gratuita, su funcionalidad es de forma automática, silenciosa y no requiere de mantenimiento constante y es amigable con el medio ambiente.

En el presente proyecto de tesis está enfocada al diseño de una Microgrid experimental para la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción mediante el uso de un sistema fotovoltaico para efectuar el análisis de los resultados entorno ambiental, económico y con relación al uso de energía fotovoltaica.

CAPÍTULO 1

1) FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

En este capítulo se basa en el estudio de los principios fundamentales de Smart Grid para su implementación dirigido en la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y la Construcción.

Proyectándonos los resultados en los equipos ya implementados en la segunda planta de la Unidad Académica de Ingeniería Industria y Construcción, prácticamente podremos suponer cuales son los parámetros establecidos para el estudio como autogeneración del sistema fotovoltaico considerando las radiación solar que recibe el panel solar mediante su colector solar para ser una fuente de apoyo y ser capaz de inyectar la energía recibida durante la captación diaria mediante el multigate para beneficiar y aprovechar al máximo este sistema Fotovoltaico.

También en este capítulo apuntaremos sobre la radiación solar para la conversión de energía eléctrica, y los componentes principales del Sistema fotovoltaico conectado a la red.

1.1. Redes Inteligentes.

1.1.1. Smart Grid

Las Smart Grid o también conocidas como redes inteligentes, son las redes que prácticamente integran de forma amplia las tecnologías nuevas para optimizar el control y monitoreo de los de los sistemas eléctricos en distribución y generación, de esta forma hacen que estos nuevos sistemas sean más seguros, eficaces y con un alto índice de confiabilidad, también logrando integrar a los usuarios los cuales están conectados a la red. Estos tipos de redes se caracterizan por incorporar dentro de sus sistemas servicios y equipos innovadores, es decir de tecnologías actuales de vanguardia para la comunicación, monitoreo, control y automatización. (Energy , 2010)

A continuación, se presenta gráficamente el concepto de Smart Grid:

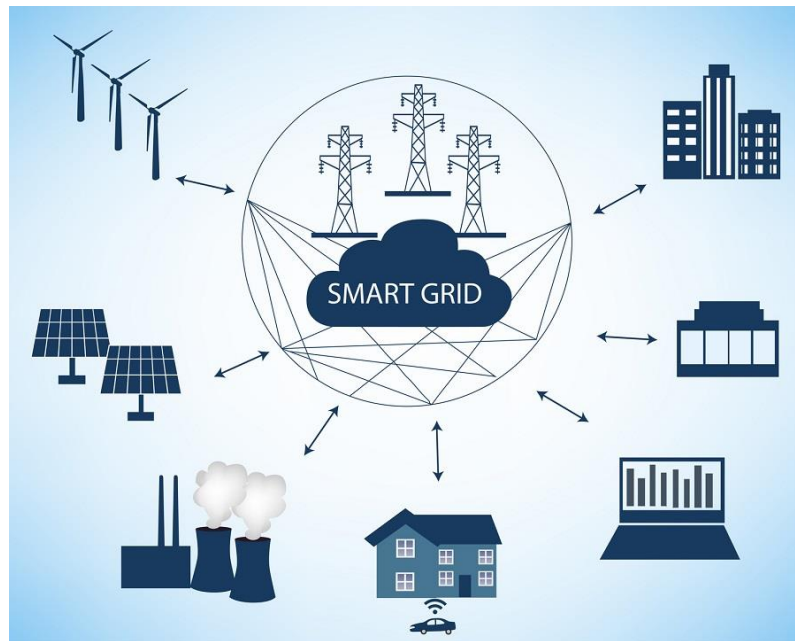


Figura 1. Concepto gráfico de Smart Grid.
Fuente : (gruonovelec., 2007)

1.1.1.1. Características de las Smart Grids.

- **“Innovadoras:** permiten la implementación de energías renovables como son solar, carbón, viento y por lo cual se puede implementar tecnología que ayudan a permitir el desarrollo del mercado eléctrico interno.” (Calderón G & Tobar M, 2012)
- **“Calidad:** generan energía de calidad necesaria hacia los consumidores libre de perturbaciones e interrupciones, que a su vez permiten implementar un sistema digital con excelentes bases de datos.” (Calderón G & Tobar M, 2012)
- **“Inteligentes:** mediante dispositivos de control y de forma remota tienen la capacidad de auto protegerse y operar automáticamente y estos sistemas trabajan eficientemente en tiempo real en condiciones específicas logrando responder en cualquier problema que ocurra en el sistema.” (Calderón G & Tobar M, 2012)
- **“Eficientes y flexibles:** son adaptables al sistema eléctrico es decir se los puede adaptar topológicamente, son eficaces en la transmisión de datos y energía bidireccionalmente.” (Calderón G & Tobar M, 2012)

- **“Sostenible:** son amigables con el medio ambiente ya que trabajan conjuntamente con este, por lo cual deberían ser socialmente aceptadas.” (Calderón G & Tobar M, 2012)

1.1.2. Microgrid

“Una micro-red es un conjunto de fuentes para la generación eléctrica y con sus respectivos consumidores que están interconectados a nivel local. Las fuentes de generación distribuida funcionan de forma coordinada para abastecer de electricidad a las fuentes de consumo conectadas a la propia microgrid.” (Abella, y otros, 2014)



Figura 2. Anatomía de una microgrid.
Fuente: (Lopez, 2013)

1.2. Energía solar

“La energía solar se constituye en utilizar el sol como fuente de energía, además es una fuente energética que no produce impactos ambientales razón por la cual hoy en día se le ha dado su debida importancia realizando estudios avanzados para mejorar este tipo de tecnología y reemplazar los sistemas de obtención de energía tradicionales.” (Eléctrica, 2008)

1.3. Radiación solar.

“Es la energía que llega a nuestro planeta en forma de flujos electromagnéticos. Su unidad de medida es $[\frac{W}{m^2}]$ y el valor máximo que puede alcanzar de radiación sobre la superficie de nuestro planeta es de $1000\frac{W}{m^2}$.” (Capa, 2013)

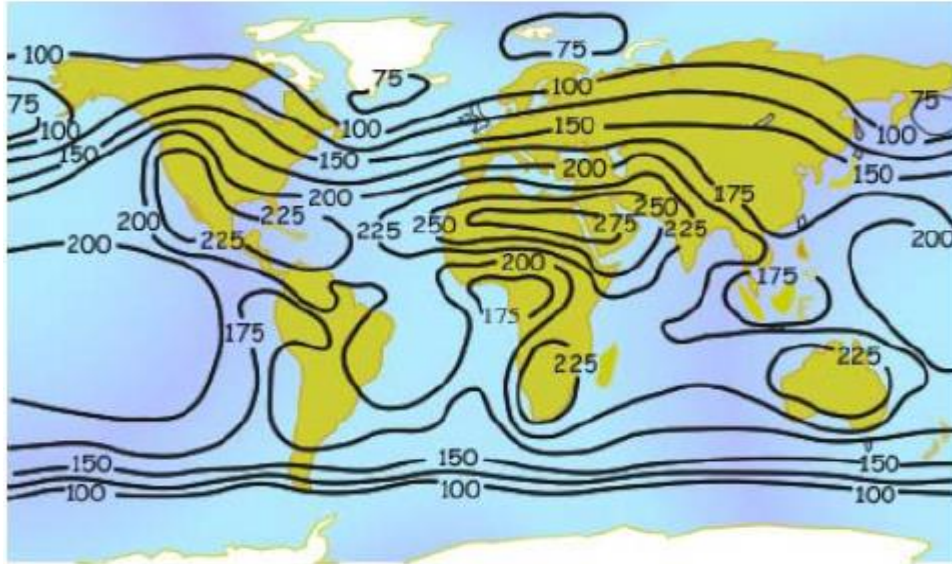


Figura 3. Intensidad de radiación solar en la superficie terrestre en $[\frac{W}{m^2}]$.

Fuente: (Capa, 2013)

1.4. La energía solar fotovoltaica.

“La energía solar fotovoltaica consiste en la conversión de la radiación del sol en energía eléctrica por medio de celdas fotovoltaicas a través de un efecto fotoeléctrico las cuales producen un flujo de electrones que a su vez generan energía.” (Escanilla, 2011).

“El efecto fotoeléctrico para crear corriente eléctrica no es más que la luz actuando como una partícula de interacción el cual recibe el nombre de fotón y al aplicarle un material conductor recorre sus electrones. Ahora si en vez de un material conductor aplicamos un semiconductor de silicio con su respectiva configuración se puede lograr este recorrido existan lugares electrón-hueco y luego se obtiene una corriente eléctrica.” (Castaño Rodríguez & Londoño Quintero, 2017).

1.4.1. Estructura y funcionamiento de una célula Fotovoltaica.

La estructura principal de consiste en un diodo semiconductor cuya función primordial es captar la energía obtenida de en el instante de radiación solar para transformarla en electricidad. (Jain, 2007)

En la figura 4 podemos observar claramente cómo se encuentra estructurada la célula fotovoltaica, por un material semiconductor con unión PN, en la parte de arriba tiene una capa antirreflejo y otra iluminada por una rejilla metálica, también en la parte de abajo de la unión PN esta posee un contacto metálico. (Jain, 2007)

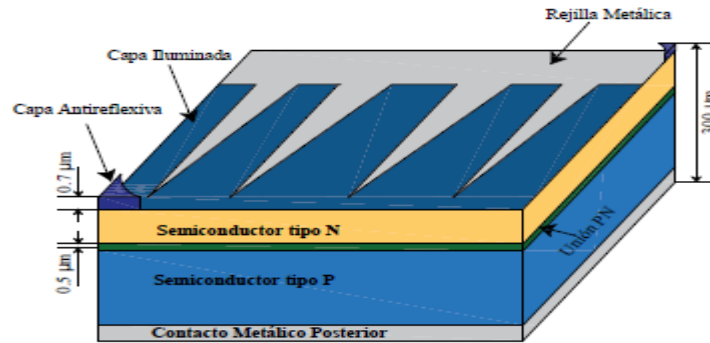


Figura 4. Estructura de una Célula Fotovoltaica.
Fuente: (Capa, 2013)

Funcionamiento de una célula Fotovoltaica: en la figura 5 se muestra como trabajan las uniones de tipo P y N, prácticamente se convierten en un diodo que a su vez generan un campo eléctrico E y por lo tanto estos fotones de valencia tienden a excitarse y llevan a la una banda, y dejan huecos en dicha banda.

“Por lo tanto los huecos se alejan en dirección al terminal positivo y los electrones van en dirección del terminal negativo y a su vez poseen la capacidad de generar una intensidad de corriente cuando se lo conecta a una carga.” (Jain, 2007) (Cervantes & Muñoz, 2010)

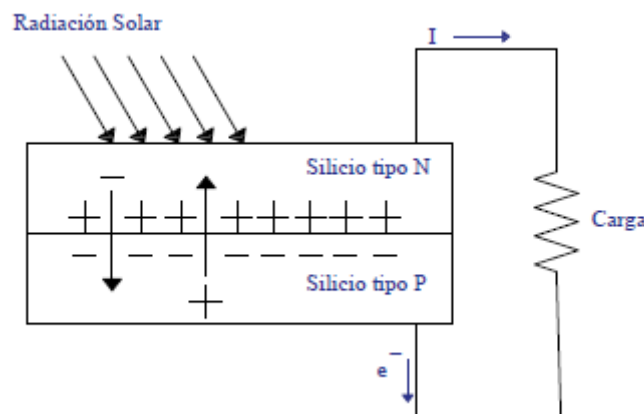


Figura 5. Funcionamiento de una Celda Fotovoltaica.
Fuente: (Cervantes & Muñoz, 2010)

1.5. Sistemas Fotovoltaicos.

“Los sistemas fotovoltaicos PV (siglas en inglés Photovoltaic System) o SV, son los encargados de producir energía eléctrica por medio de la energía solar para dar un uso rentable donde no se puede acceder con las líneas eléctricas convencionales” (Escanilla, 2011) (Paredes, 2014)

Estos sistemas son utilizados en lugares remotos, actualmente también se la está implementando en conexiones que inyectan directamente a la red eléctrica. (Chamana & Chowdhury, 2014)

De esta forma los sistemas fotovoltaicos se clasifican en: (Escanilla, 2011)

1. Sistemas aislados de energía solar fotovoltaica
2. Sistemas fotovoltaicos conectados a la red

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica es prácticamente el objetivo de este trabajo de investigación por lo que reducirá costos por sus ventajas económicas y su vez no requiere de un sistema de almacenamiento.

1.5.1. Sistemas Fotovoltaicos conectados en la Red.

“Estos sistemas prácticamente se diferencian de los sistemas autónomos aislados porque no tienen un respectivo sistema que permita acumular la energía cuando no haya suficiente radiación solar.” (Escanilla, 2011)

Estos sistemas están constituidos por paneles fotovoltaicos estos inyectan más potencia a la red cumpliendo las normas requeridas para su correcto funcionamiento y óptimo rendimiento. (Escanilla, 2011)

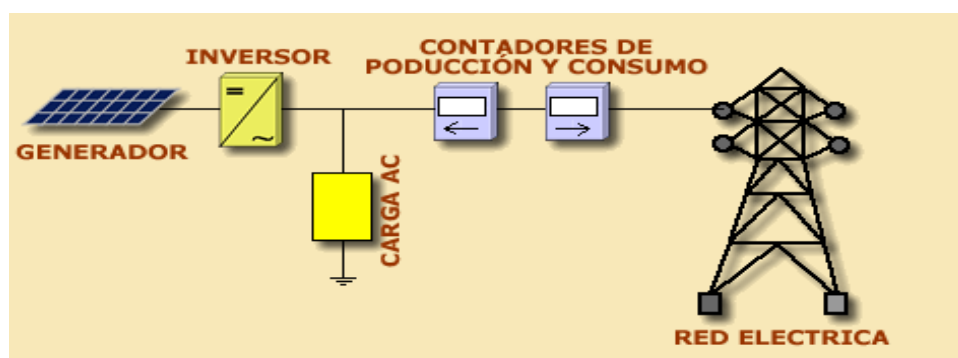


Figura 6. Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red.
Fuente: (Escanilla, 2011).

1.5.2. Sistemas Fotovoltaicos aislados.

“Prácticamente en este tipo de sistemas para poder alimentar la carga son abastecidas únicamente por la instalación solar fotovoltaica, sin dependencia de la energía eléctrica de la red convencional” (J D. C.).”Los componentes básicos de una instalación fotovoltaica aislada son: Generador Fotovoltaico, regulador, baterías, inversor. “ (NEC, 2011)

A continuación, se muestra el esquema básico de un Sistema Fotovoltaico Aislado.

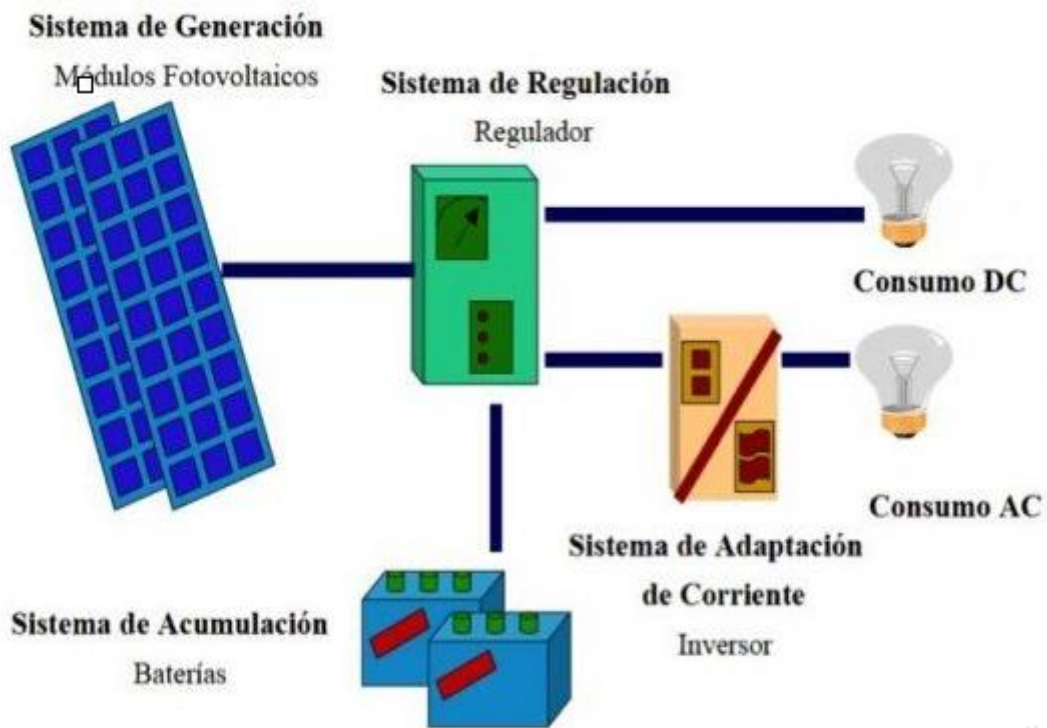


Figura 7. Esquema SFV aislado.
Fuente: (J D. C.).

1.6. Componentes de un sistema foto voltaico conectado a la red.

1.6.1. Panel Fotovoltaico (Modulo FV)

Estas celdas fotovoltaicas se juntan formando una placa o también llamado panel fotovoltaico, los cuales pueden ser de diferentes dimensiones según los parámetros que requiera su utilización. (Capa, 2013) (Jara & Galarza, 2015)

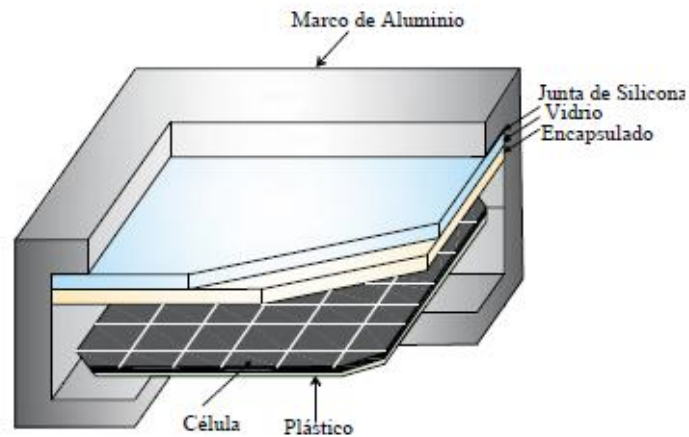


Figura 8. Estructura interna de Modulo Fotovoltaico.
Fuente: (Jara & Galarza, 2015).

“Podemos ver cómo está constituido internamente un panel fotovoltaico se muestra en la figura 8, en el cual las celdas están armadas entre una lámina en la parte de arriba de cristal con su respectivo encapsulado y en la parte de abajo una lámina de plástico, que a su vez se suman un marco de tipo de aluminio para que tenga una buena resistencia.” (Capa, 2013) (Jara & Galarza, 2015)

“Su buen desempeño y eficacia varía de acuerdo al tipo de material utilizado en las celdas solares en la tabla 1, se mostrarán las diferentes eficiencias que pueden ser capaces de alcanzar sus celdas y módulos FV.” (Antonio, David, Eduardo, & Alonso, 2015)

Tabla 1 .Eficiencia de los modulos FV.
Fuente: (Antonio, David, Eduardo, & Alonso, 2015)

TECNOLOGÍA	CAPA FINA					SILICIO CRISTALINO		CVP
	a-Si	CdTe	Cl(G)S	A-Si/uc-Si	Células con tinte fotosensibles	Monocris.	Policris.	
Tipo								III-IV multiunión
Eficiencia de la célula	4%-8%	10%-11%	7%-12%	7%-9%	2%-4%	16%-22%	14%-18%	30%-38%
Eficiencia del modulo	-	-	-	-	-	13%-19%	11%-15%	20%-25%
Área necesaria Por kW(m2)	15	10	10	12	-	7	8	-

1.6.2. Protecciones.

“Los sistemas de FV siempre necesitaran para su correcto funcionamiento sus respectivos componentes de protección que pueden ser fusibles, breakers magneto-térmicos y también uso de diodos de obstrucción y de paso.” (Antonio, David, Eduardo, & Alonso, 2015)

- Diodos de bloqueo: ejecutan inmediatamente en una avería eléctrica y evitan que se disipe la potencia de los paneles solares. (Antonio, David, Eduardo, & Alonso, 2015)
- Diodo paso: estos tienen la función de suprimir los efectos de sombra que impiden el consumo energético por parte de las celdas oscurecidas por la el efecto de sombreado. (Antonio, David, Eduardo, & Alonso, 2015)

1.6.3. Inversor CC/CA.

Equipo electrónico que transforma la corriente directa procedente del panel fotovoltaico en corriente alterna y también tiene las funciones como: (Tobajas Vásquez, 2012)

- Mantiene el voltaje de salida y frecuencia dentro de dentro de los límites fijados.
- Restringir la corriente de salida.

1.6.4. Baterías.

“Son elementos capaces de almacenar la energía eléctrica, de esta manera prácticamente se convierten en una fuente recargable de energía portátil; se encuentran formados por un número de celdas con un voltaje nominal generalmente de 2 V cc por celda; con las baterías podemos realizar una configuración serie, paralelo y serie paralelo para poder suministrar 6, 12, 24, 36 o 48 Vcc”.

“El proceso de carga y descarga de una batería se realiza mediante una transformación electroquímica reversible. La conversión (descarga de la batería) tiene lugar durante el transcurso de conexión de receptores en la batería, utilización de la energía almacenada”. (Gasquet, 2004)

CAPÍTULO 2

2) ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO INSTALADO EN LA UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN, MEDIANTE EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE MICROREDES.

2.1. Características físicas del lugar



*Figura 9. Panel solar colocado en el segundo piso de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción.
Fuente: (Autores)*

El Sistema de panel fotovoltaico se encuentra ubicado en la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Católica de Cuenca; para obtener y conocer la recolección de datos experimentales con el sistema Multigate, mediante el uso de energía solar la cual será transformada en energía eléctrica para inyectarla directamente a la red.

2.2. Energía eléctrica

Realizando el análisis de los datos obtenidos del consumo de Energía eléctrica durante un mes, procedemos a realizar la gráfica de potencia en las distintas horas, (kWh), reflejado en consumo, como podemos observar a continuación en la figura 10.

Los datos obtenidos para la realización de la figura 10, se detallan en la tabla del Anexo 1.

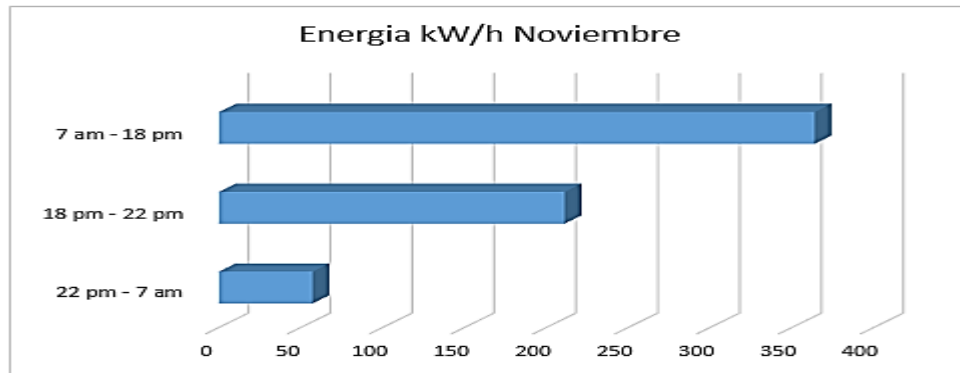


Figura 10. Consumo de Energía de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Católica de Cuenca.
Fuente: (Autores)

2.3. Demanda crítica.

Tomando como referencia el mes de noviembre de 2017, obtenemos los reportes de consumo diarios, logrando un análisis promedio en kWh semanalmente, de la demanda con los siguientes resultados.

- **Curvas diarias desde el día lunes.**

Se puede observar que los días lunes se tiene un aumento en la demanda en comparación con el resto de la semana, observando un incremento de la curva de consumo semanal, con un pico máximo aproximadamente desde las 13:00 hasta las 21:00, desde esta hora la curva tiende a ir en decremento.

Los días martes tenemos un aumento constante de la curva, aproximadamente desde las 07:00 hasta las 14:00, a partir de este momento se obtiene un mayor incremento hasta las 21:00.

Los siguientes días de la semana tenemos una demanda constante, tal como se aprecia en la figura 11.

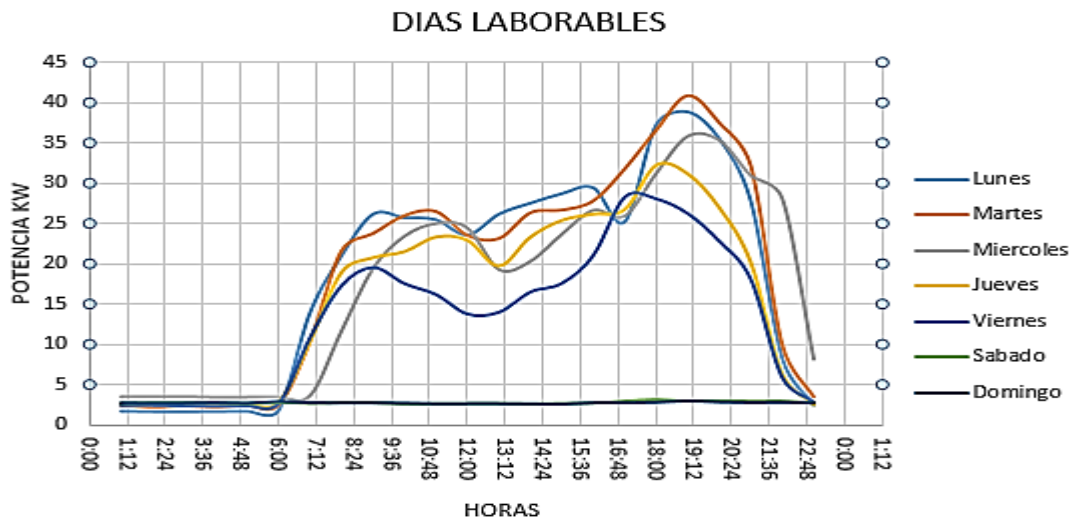


Figura 11. Consumo semanal.
Fuente: (Autores)

Los fines de semana tenemos que la curva de consumo de energía eléctrica se estabiliza en un rango similar, no superando los valores que se observan en la figura 11, por lo que en estos días el consumo de energía es menor al de los días laborales. Se realiza a continuación en la figura 12, un análisis de los días correspondientes a un fin de semana de mayor demanda.

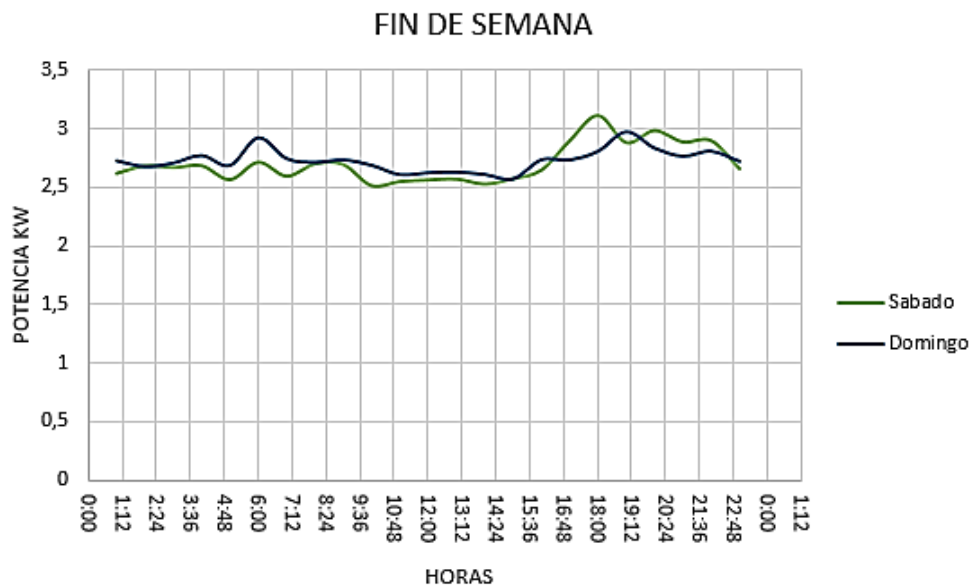


Figura 12. Consumo del fin de semana.
Fuente: (Autores)

- **Potencia eléctrica**

El presente trabajo de estudio va enfocado a la iluminación instalada en la Unidad Académica de Ingeniería Industria y Construcción; una vez obtenido el registro de la cantidad de luminarias que se encuentran instaladas en la unidad, obtenemos la potencia máxima:

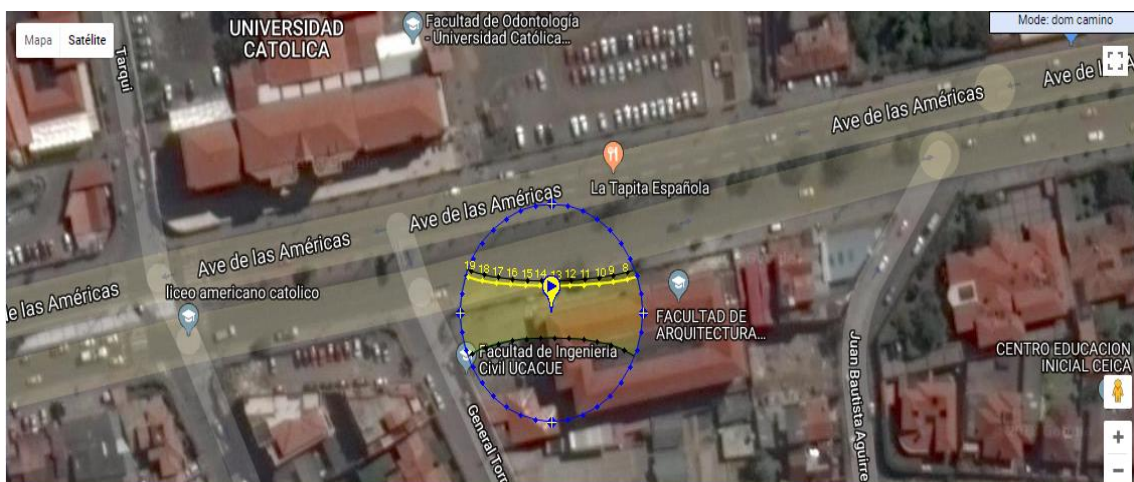
*Tabla 2. Cantidad de luminarias.
Fuente: (Autores)*

Planta	Iluminación pasillo	Iluminación Aulas
Primera Planta baja	37(2/60W)	115(3/32W)
Primera Planta Alta	37(2/60W)	109(3/32W)
Segunda Planta Alta	41(2/60W)	105(3/32W)
Total de Luminarias	230 60W	642 32W
	FC	
	13800 W	20544 W

2.4. Estudio de radiación solar en la zona.

2.4.1. Ubicación del Sistema Fotovoltaico en la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción.

En la siguiente gráfica se muestra la ubicación exacta en donde se instaló el sistema fotovoltaico para proceder realizar el proyecto de investigación.



*Figura 13. Localización de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción.
Fuente: (sunearthtool website , 2018)*

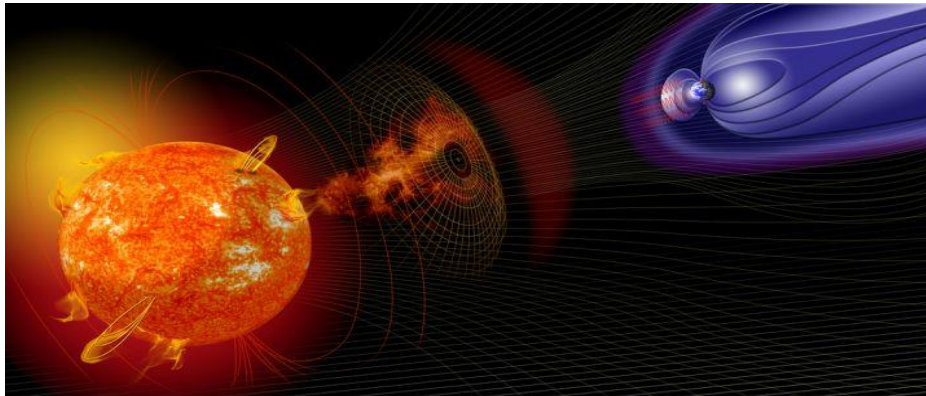
2.4.2. Radiación solar en la zona.

“El Sol es la fuente absoluta de energía para el planeta en que vivimos.

La existencia de los seres vivos no sería posible en la ausencia de los organismos fotosintéticos y estos no existirían si nuestro planeta no tuviese un aporte continuo y efectivo de radiación solar.” (Nahle Sabag, 2011)

“De esta energía, el motor que mueve nuestro medio ambiente, solo el 0.1% se utiliza en el proceso de la fotosíntesis, pero incluso esta cantidad es diez veces mayor que el consumo de energía del mundo actual.” (Sen, 2004)

“El poder solar sigue siendo la más abundante fuente renovable de energía en la Tierra, el aprovechamiento de esta fuente de energía se encuentra como el reto de este siglo.” (Dave, & Daryl, , (2010))



*Figura 14. Imagen de la Radiación Solar.
Fuente: (www.mundociencia.com)*

Al colocar una estación meteorológica y un panel solar (recuadro rojo) en la Unidad académica de Ingeniería, Industria y construcción, se plantea evaluar la potencialidad de aprovechamiento de sistemas fotovoltaicos.



Figura 15. Lugar donde se colocará el panel solar y la estación meteorológica.
Fuente: (Autores)

Los datos de radiación solar fueron tabulados por medio de la estación meteorológica, que fue colocada por el Centro de Investigación de Microredes en la Unidad Académica de Ingeniería Industria y Construcción, dicho centro nos proporcionó un archivo de Excel que contenía la radiación solar tabulada en horas por días de los meses de: noviembre, diciembre del 2017 y de enero del 2018, se muestra a continuación en las siguientes gráficas.

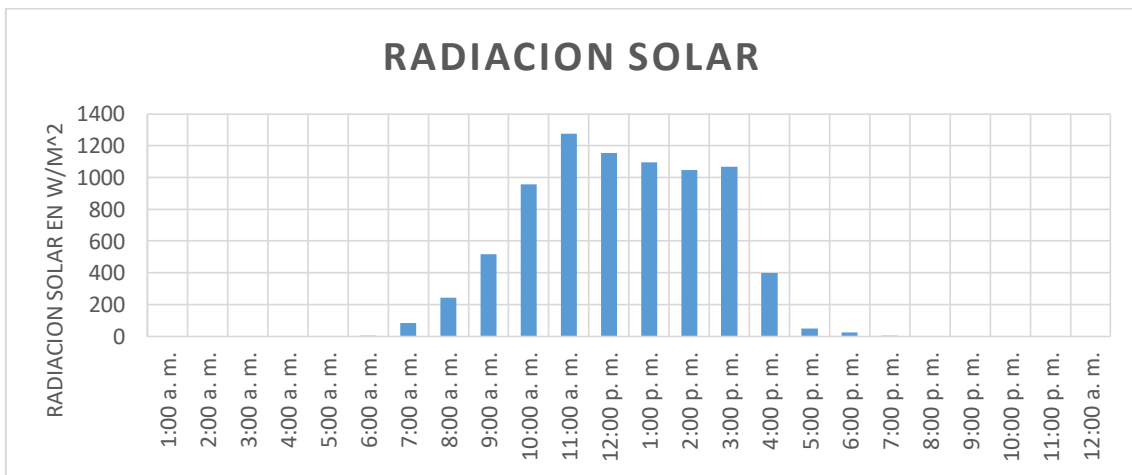


Figura 16. Radiación Solar Global del día 01/11/2017.
Fuente: (Autores)

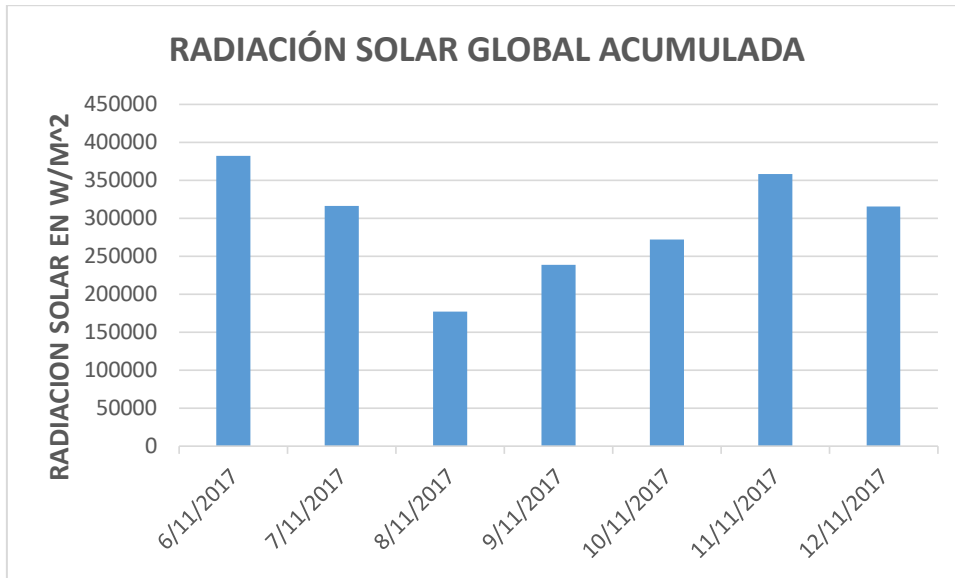


Figura 17. Radiación Solar Global acumulada de la semana del 06/11/2017 al 12/11/2017.
Fuente: (Autores)

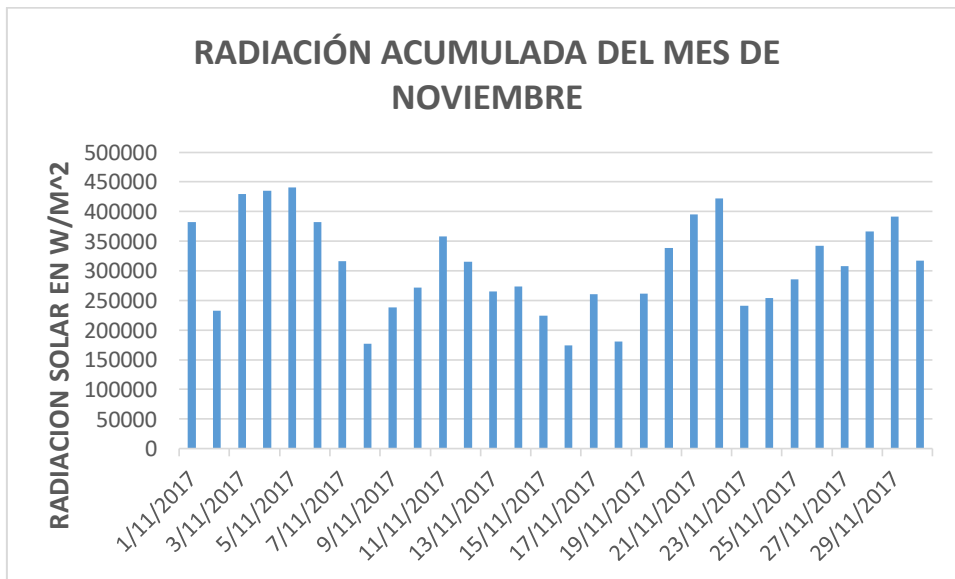


Figura 18. Radiación Solar acumulada del mes de noviembre 2017.
Fuente: (Autores)

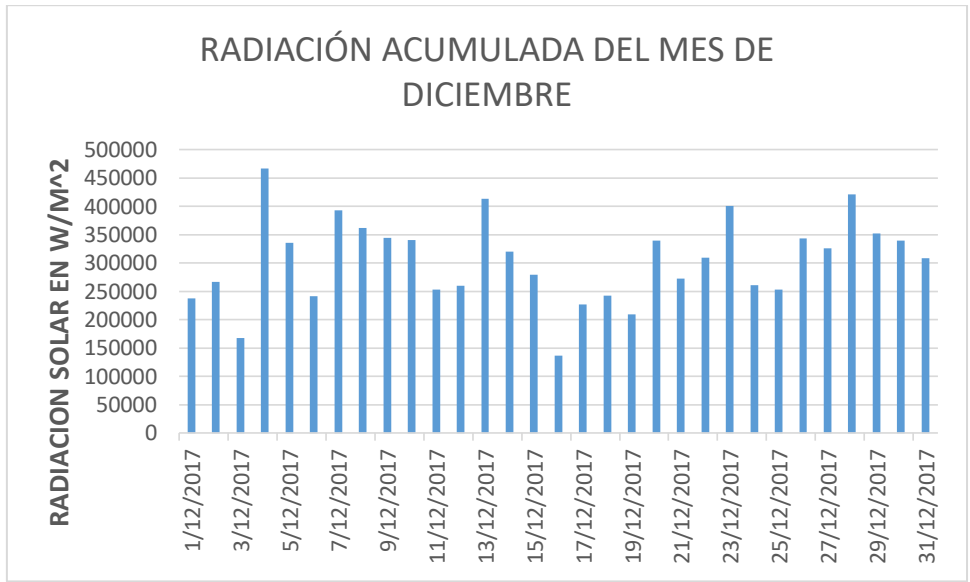


Figura 19. Radiación Solar acumulada del mes de diciembre 2017.
Fuente: (Autores)

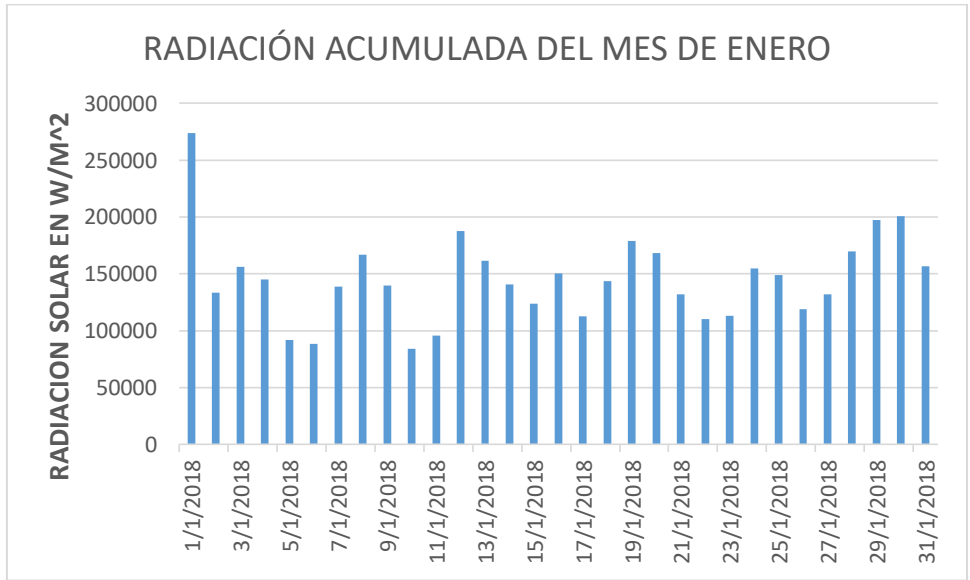


Figura 20. Radiación solar del mes de enero 2018
Fuente: (Autores)

CAPÍTULO 3.

3) DISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACION FOTOVOLTAICA.

3.1 Dimensionamiento.

El sistema solar fotovoltaico fue implementado en la segunda planta, su panel es de 230 W, tipo Policristalino, el mismo va conectado con un convertidor de CC a AC, el convertidor tiene una capacidad para 10 paneles solares en paralelo de 230 W cada uno, con un multigate que nos permite conectar directo a la red.

3.2 Condiciones meteorológicas de la ciudad de Cuenca.

“Cuenca geográficamente está situado a 2.550 msnm, con un clima agradable de entre 20-27 grados centígrados durante el día, mientras que el tiempo se enfría a menos de 20 grados por la noche, Cuenca posee dos estaciones: lluviosa y seca, la seca esta entre Junio y Diciembre en la cual se puede aprovechar mejor la radiación solar, el resto del año es mañanas soleadas y tardes nubladas con chubascos.” (parks-and-tribes, 2017)

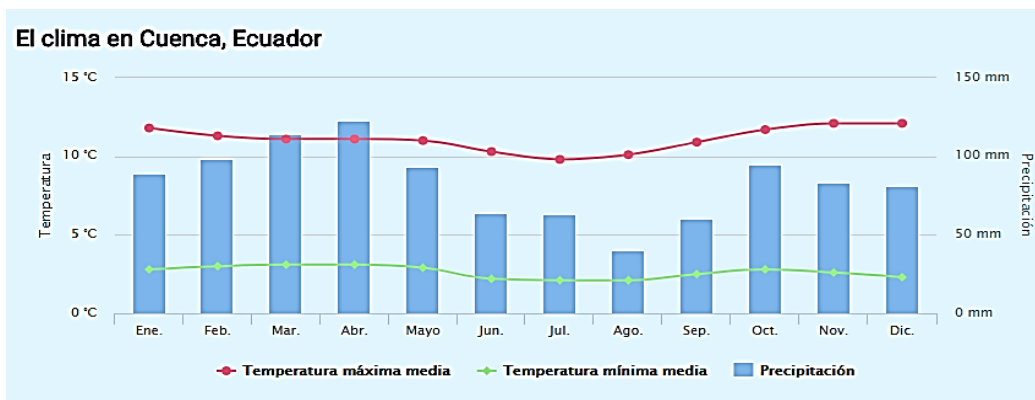


Figura 21. Temperatura del clima de Cuenca año 2018.
Fuente : (worldmeteo, s.f.)

3.3 Catálogo de equipos.

3.3.1. Panel Solar Policristalino 230 Wp.

A continuación, tenemos las características técnicas del panel utilizado en el proyecto, datos de placa:

- Panel Policristalino 230 Wp / 30V.
- Potencia: 230W - 0...+ 3%.

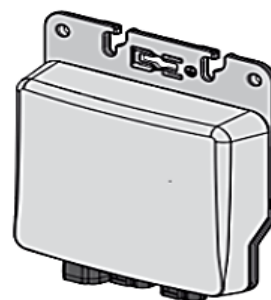
- Voltaje circuito abierto/óptimo: 36.6 / 29.5V.
- Corriente cortocircuito/óptimo: 8.42 / 7.80 A.
- Configuración: 156 x 156mm Modules: 6 x 10.
- Max. Voltaje String: 1000VDC.
- Dimensiones: 1650 x 992 x 45 mm.
- Certificación: IEC, CE, TUV.
- Origen: China.

3.3.2. Inversor Sunny Boy 240-US.

A continuación, tenemos las características técnicas del inversor utilizado en el proyecto:

*Tabla 3. Características técnicas Inversor Sunny Boy 240-US.
Fuente (SMA, 2014)*

SUNNY BOY 240-US.	
DC INPUT.	
Maximum input voltage	45V
MPP voltage range at 240V	23.0v to 39.0 V
Rated Input voltage	29.5V
Maximum input current	8.5A
Maximum backfeed current to input source	0A
AC OUTPUT	
Rated power at 240V, 60 Hz.	240W.
Maximum apparent Ac power.	240 VA
Rated grid voltage.	240V.
Nominal AC voltage	2x120V.
AC voltage range	211V to 264V.
Nominal AC current	1A
Maximum output current.	1A
Total harmonic distortion of the output current with total harmonic distortion of the AC voltage	≤ 3 %
Operating range at AC power frequency 60HZ.	59.3Hz to 60.5Hz.
Maximum output fault current	241 A
Maximum efficiency, η_{max} .	95,9%



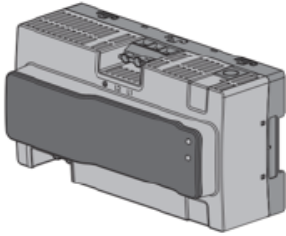
3.3.3. Sunny Multigate Us.

A continuación, en la tabla 4 tenemos las características técnicas del Multigate utilizado en el proyecto:

Tabla 4. Características técnicas Inversor Sunny Multigate- Us.
Fuente (SMA, 2014)

SUNNY MULTIGATE-US.	
AC INPUT.	
Maximum number of connected micro inverters	12
Minimum number of connected micro inverters	1
Maximum input current	12A
AC OUTPUT.	
Rated power at 240 V, 60Hz.	2880W
Rated grid voltage	240V
Nominal AC voltage	2x120V.
AC voltage range	211V to 264 V.
Nominal AC current at 240 V	12A
Total harmonic distortion of the output current with total harmonic distortion of the AC voltage	≤ 3 %
AC power frequency	60Hz.
Operating range at AC power frequency 60HZ.	59.3Hz to 60.5Hz.
Maximum permissible fuse protection	15A.
Connection phases.	2

Sunny Multigate-US



3.4 Elección de los componentes.

3.4.1. Panel Solar Policristalino 230Wp

Este tipo de panel posee celdas que se obtienen a partir de barras de tipo cilíndricas de silicio que son producidas en hornos exclusivos.



Figura 22. Panel policristalino 230wp.
Fuente: (Autores)

3.4.2. Inversor Sunny Boy 240-US.

El Sunny Boy 240-US es un inversor de módulos para instalaciones fotovoltaicas que transforma la corriente continua en corriente alterna, inclusive apta para suministrar energía eléctrica a la red; por esto la corriente alterna generada se inyecta a la red pública a través del inversor (sunny)



Figura 23. Sunny Boy 240-US.

Fuente: (SMA, 2014)

Este inversor ofrece unos puestos hasta 12 unidades y cuenta con una gran eficiencia de 96%. (SMA, 2014)

3.4.3. Sunny Multigate Us.

“Es una unidad de comunicación y el punto de conexión eléctrico entre la planta fotovoltaica y la red pública, con un máximo 12 inversores de módulos. El Sunny Multigate se conecta entre el micro inversor y la red de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción de para inyectar en la red de corriente alterna generada por el panel fotovoltaico”. (SMA, 2014)



Figura 24. Sunny Multigate Us.
Fuente: (Autores).

3.5 Puesta en marcha y simulaciones.

3.5.1 Puesta en marcha de equipos.

3.5.1.1 Funcionamiento de Sunny Boy 240-Us.

En el proyecto de investigación se utilizó el Sunny Boy que es un inversor de módulos para instalaciones fotovoltaicas que transforma la corriente continua de un módulo fotovoltaico en corriente alterna apta para la red. La corriente alterna generada se inyecta a la red de la facultad en el segundo piso a través del Sunny Multigate-US. (SMA, 2014) (Ver anexo 5).

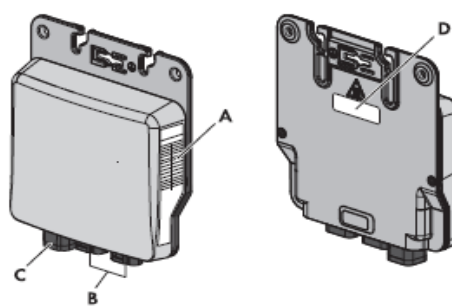


Figura 25. Diseño de Sunny Boy.
Fuente : (SMA, 2014)

3.5.1.2 Sunny Multigate Us.

Podemos evidenciar la forma de como se realizó la conexión técnica de nuestro Sunny Multigate US para este proyecto de investigación, como se indico implementado en la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción, practicamente nuestro punto de conexión eléctrico entre la planta fotovoltaica que puede llegar a enlazar hasta 12 inversores, para suministrar a la red de la la Unidad la corriente alterna recogida por los inversores de modulos respectivamente. (ver anexo 6).

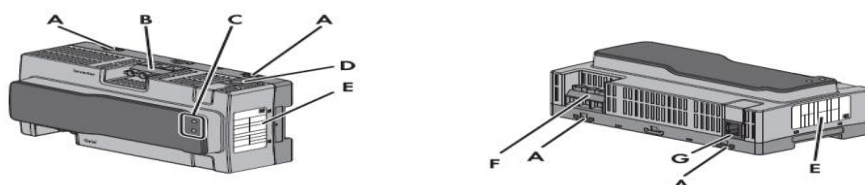


Figura 26. Partes principales para la conexión de Sunny Multigate US.
Fuente: (SMA, 2014)

Como se observa en la siguiente figura del proyecto, Sunny Multigate hemos conectado directamente al inversor localizado en la parte superior del tumbado, tal como ya lo indicamos anteriormente y sobre la oficina de la dirección de carrera de Ingeniería Eléctrica, para posteriormente inyectar a la red eléctrica interna en la segunda planta del edificio de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción.



Figura 27. Conexión de Sunny Multigate US .
Fuente : (Autores)

3.5.1.2.1 Señales de los leds del Sunny Multigate.

Los leds del Sunny Multigate señalizan el estado de funcionamiento del sistema de generación fotovoltaica.

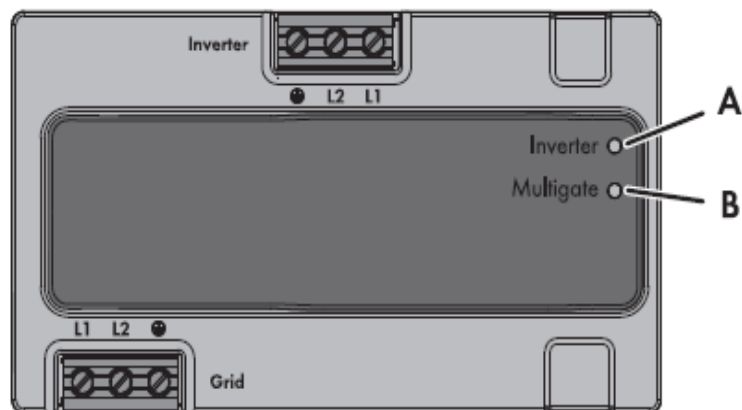


Figura 28. Posición de los leds en Sunny Multigate.
Fuente: (SMA, 2014)

El led superior tiene la inscripción Inverter y señala el estado de funcionamiento del inversor. El led inferior tiene la inscripción Multigate y señala el estado de funcionamiento del Sunny Multigate.

En la siguiente tabla se explica el funcionamiento del led **A** dependiendo de su estado.

*Tabla 5. Funcionamiento del led A.
Fuente: (Autores)*

LED	ESTADO	EXPLICACIÓN
A: Led Inverter	Apagado	Los inversores no están activos.
	Luz verde	Los inversores están funcionando.
	Luz naranja	“Uno de los inversores conectados se encuentra en estado Advertencia. Encontrará el mensaje de error concreto en Sunny Portal o Sunny Explorer. “ (SMA, 2014)
	Luz roja	“Uno de los inversores conectados se encuentra en el estado Fallo. “ (SMA, 2014)

En la siguiente tabla se explica el funcionamiento del led **B** dependiendo de su estado.

*Tabla 6. Funcionamiento del led B.
Fuente: (Autores)*

LED	ESTADO	EXPLICACIÓN
B: Led Multigate	Apagado	“No hay tensión alterna o el Sunny Multigate está dañado.” (SMA, 2014)
	Luz verde	“El Sunny Multigate se encuentra en el estado de funcionamiento normal.” (SMA, 2014)
	Luz roja	“El Sunny Multigate se encuentra en el estado Fallo.” (SMA, 2014)

		<ol style="list-style-type: none"> 1. Si todavía es posible establecer comunicación, compruebe el mensaje de error concreto con Sunny Portal o Sunny Explorer. (SMA, 2014) 2. “Si no es posible establecer comunicación, desconecte el cable de red del Sunny Multigate y vuelva a conectarlo con la red.” 3. “Si el fallo persiste, desconecte de la tensión el Sunny Multigate Desconexión de la tensión del Sunny Multigate, y vuelva a conectarlo Conexión del Sunny Multigate a la red pública ” (SMA, 2014) 4. “Si el error persiste, póngase en contacto con el Servicio Técnico de SMA.” (SMA, 2014)
--	--	--

3.5.1.3 Comunicación entre el inversor y el Sunny Multigate.

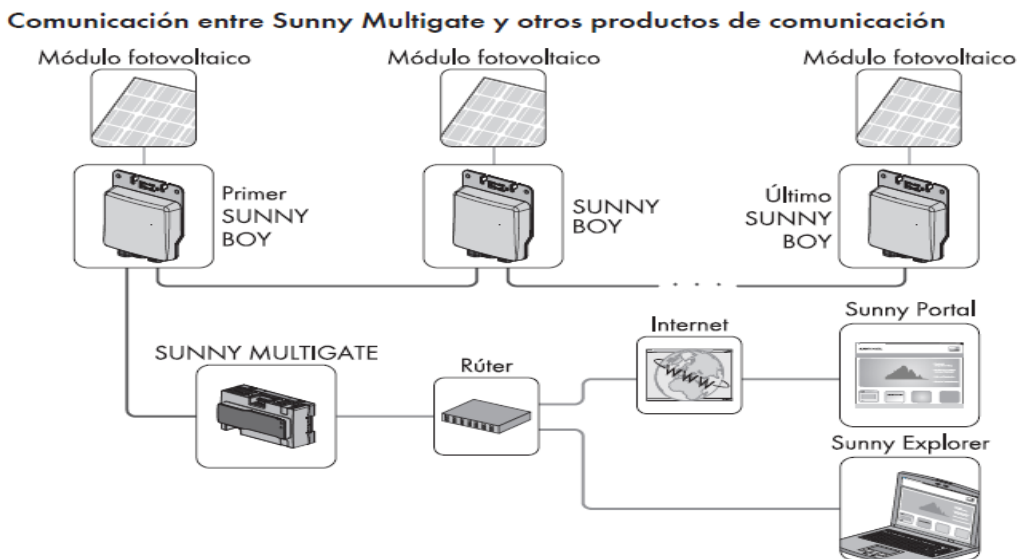


Figura 29. Ejemplo de una planta fotovoltaica con inversores de módulos y Sunny Multigate con comunicación a través de Speedwire/Webconnect.
Fuente: (SMA, 2014)“

“La comunicación del Sunny Multigate con otros productos de comunicación de SMA (como Sunny Explorer o Sunny Portal) se lleva a cabo por Speedwire/Webconnect. Speedwire es un tipo de comunicación que se basa en ethernet. Speedwire le permite conectar el Sunny Multigate a su red. Webconnect permite el intercambio de datos entre el Sunny Multigate y Sunny Portal. Para la conexión al Sunny Portal es requisito que el

Sunny Multigate esté conectado a un rúter o módem con conexión a internet y que esté integrado en la red local. Para que pueda producirse el intercambio de datos entre el Sunny Multigate y Sunny Portal debe registrar la planta fotovoltaica en Sunny Portal Registro del Sunny Multigate en el Sunny Portal. Si no desea utilizar la función Webconnect, puede desactivarla con Sunny Explorer (Desactivación de la función Webconnect.” (SMA, 2014).

En nuestro proyecto de investigación, procedimos a conectarlo mediante la red de internet que posee el edificio de la facultad en la plataforma Sunny Portal para la recolección de datos que se basa en Ethernet.

3.5.1.4 Requisitos para el montaje del inversor.

“A fin de garantizar el funcionamiento óptimo del equipo, la temperatura ambiente debe estar entre -40 °C (-40 °F) y 65 °C (-149 °F). El lugar de montaje debe estar protegido de la irradiación solar directa. La exposición a la irradiación solar directa puede sobrecalentar el inversor. Como consecuencia, el inversor reduciría su potencia”. (SMA, 2014)

Deben cumplirse las siguientes condiciones:

- *“El lugar de montaje debe estar fuera del alcance de los niños.” (SMA, 2014)*
- *“El lugar de montaje debe ser adecuado para el peso y las dimensiones del inversor.” (SMA, 2014)*
- *“El inversor debe montarse en la construcción de pórtico bajo los módulos fotovoltaicos sobre el tejado o sobre una superficie sólida (como hormigón o mampostería). En áreas habitables, no utilice placas de yeso o similares como superficie de soporte. Durante el funcionamiento, el inversor produce ruidos que pueden ser molestos.” (SMA, 2014)*

- “Para el montaje en la construcción de pórtico, es preferible que el lugar de montaje se sitúe en el centro del módulo fotovoltaico. De este modo se garantiza la larga vida útil del inversor”. (SMA, 2014). Dimensiones para el montaje:

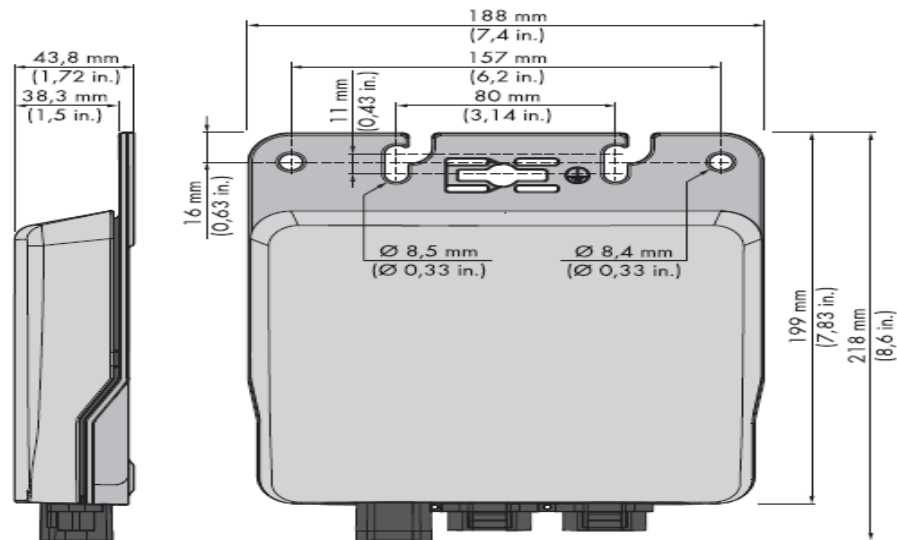


Figura 30. Posición de los puntos de fijación del inversor.
Fuente : (SMA, 2014)

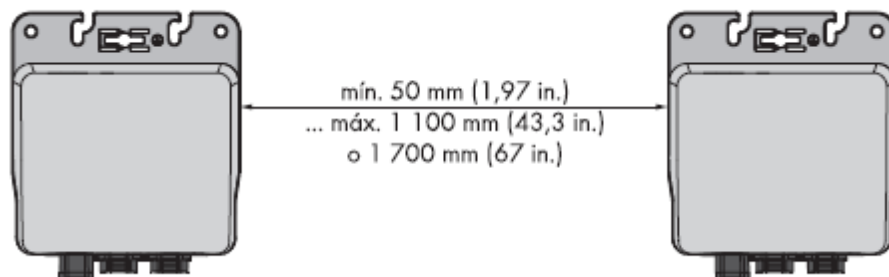


Figura 31. Distancia mínima recomendadas
Fuente: (SMA, 2014)

En la figura 31 se puede observar la distancia mínima entre uno inversor y otro, en el panel fotovoltaico.

3.5.1.5 Montaje del inversor sobre el tejado.

“Hemos montado el inversor en el tejado con el panel trasero o con la tapa de la carcasa; SMA recomienda montar el inversor con la tapa de la carcasa en el tejado, así se garantiza una mejor disipación del calor. Tenga en cuenta la distancia mínima del inversor al módulo fotovoltaico “ (SMA, 2014)

A continuación la secuencia de pasos que utilizamos para el montaje del inversor:

1. “Se mantuvo preparado el resumen del montaje suministrado para asignar el inversor a los módulos fotovoltaicos.” (SMA, 2014)

2. “Para proceder el montaje con el área de conexión hacia arriba preste atención a que los conectores y hembrillas estén protegidos frente a la penetración de agua.”

3. “Retire el adhesivo con el número de serie del inversor y péguelo en el lugar adecuado del resumen de montaje suministrado.”

4. “Introduzca los tornillos de cabeza de martillo en los carriles de perfil y gírelos 90 ° . Así los tornillos se fijan en los carriles.”

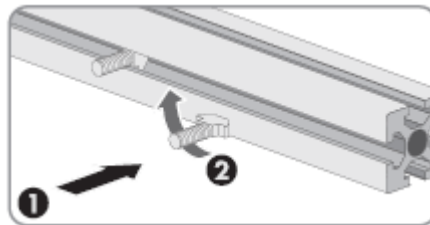


Figura 32. Montaje de inversor.
Fuente : (SMA, 2014)

5.” Coloque el inversor en los tornillos fijados. Para ello, guíe los tornillos de la carcasa por los agujeros alargados hasta el punto de fijación deseado.” (SMA, 2014)

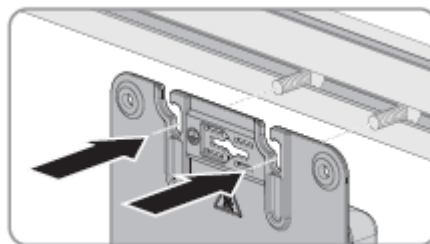
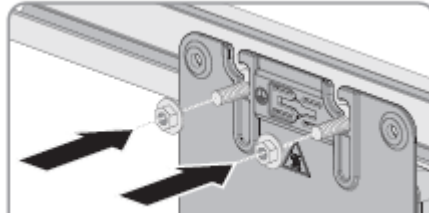


Figura 33. Colocación de tornillos.
Fuente : (SMA, 2014)

6. “Fijamos el inversor con las arandelas y tuercas adecuadas.” (SMA,



*Figura 34. Fijación de Inversor.
Fuente: (SMA, 2014)*

Como podemos observar en la siguiente figura antes de colocar en el tejado de la Facultad Ingeniería, Industria y la Construcción de la Universidad Católica de Cuenca, hemos colocado el inversor en el panel solar, ahora se procederá a su instalación final.



*Figura 35. Montaje del Inversor ya listo para colocarlo sobre el tejado.
Fuente: (Autores)*

3.5.1.6 Montaje Sunny Multigate:

- **Posiciones de montaje permitidas del Sunny Multigate:**
Instale el Sunny Multigate únicamente en posición horizontal.
- **Dimensiones para el montaje con tornillos del Sunny Multigate:**

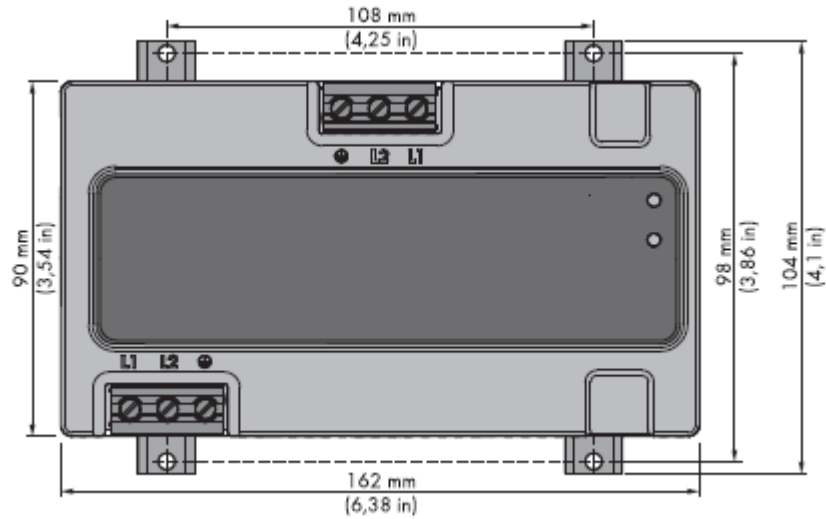


Figura 36. Dimensionamiento del Sunny Multigate y de los agujeros para el montaje con los tornillos.

Fuente: (SMA, 2014)

3.5.1.6.1 Montaje del Sunny Multigate en un carril DIN (Material de montaje adicional necesario)

- Carril DIN adecuado para la carcasa industrial. Ancho: 35 mm (1,4 in), Largo: 235 mm (9,3 in)

Procedimiento:

1. "Para el montaje en carril DIN, coloque el Sunny Multigate desde arriba en el carril DIN y cuélguelo." (SMA,

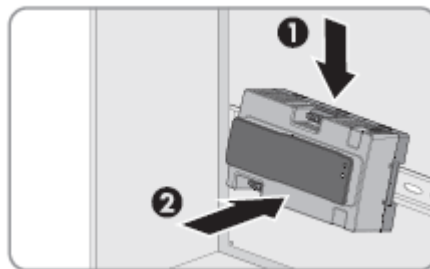


Figura 37. Colocación del Sunny Multigate en el riel rin.

Fuente: (SMA, 2014)

2. “Coloque el Sunny Multigate encaja de forma audible y asegúrase de que esté bien fijado.” (SMA,

3. “Coloque el adhesivo de advertencia suministrado en el exterior de la tapa de la carcasa industrial de forma que se lea bien.” (SMA),

Como ya se lo menciono anteriormente, el lugar de montaje debe ser accesible para las personas de forma fácil y segura, sin necesidad de medios auxiliares adicionales, en este trabajo de investigación se instaló en la segunda planta en la Oficina de Director de Carrera de Ingeniería Eléctrica,.



*Figura 38. Montaje de Sunny Multigate.
Fuente: (Autores)*

3.5.2 Simulación para la operación del Sistema Fotovoltaico mediante el programa PVsystV6.43.

Por medio del programa PVsystV6.43 se procede a tabular la potencia, corriente y voltaje de la radiación Solar global, datos que fueron proporcionados por el Centro de Investigación de Microredes.

- **PASO 1.** Se procede a ejecutar el programa para su respectiva simulación.

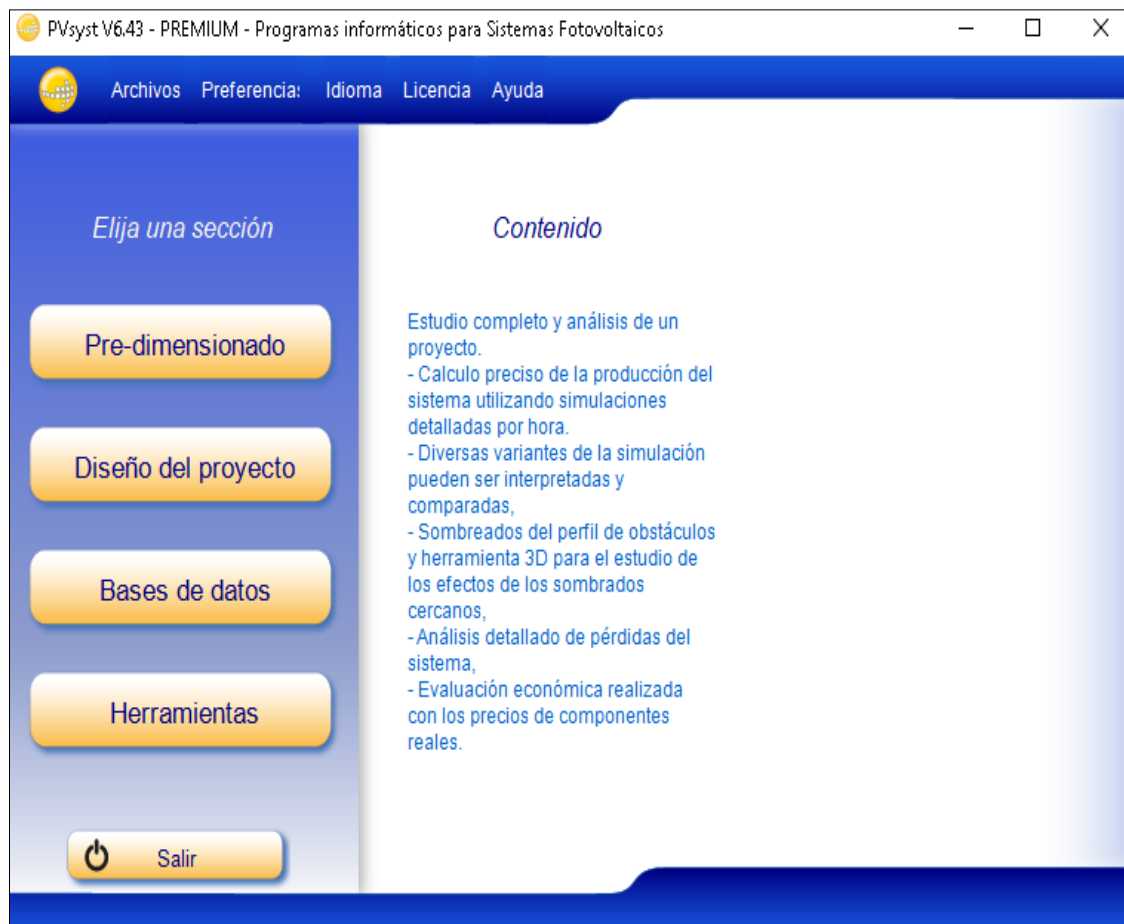


Figura 39. Ventana Principal de PvSyztV6.43.
Fuente: (Autores)

- **PASO 2.** Se entra en el botón de Herramientas, saldrá un display con varias ventanas, nos dirigimos a Comporta eléctrico FV. Presionamos enter.

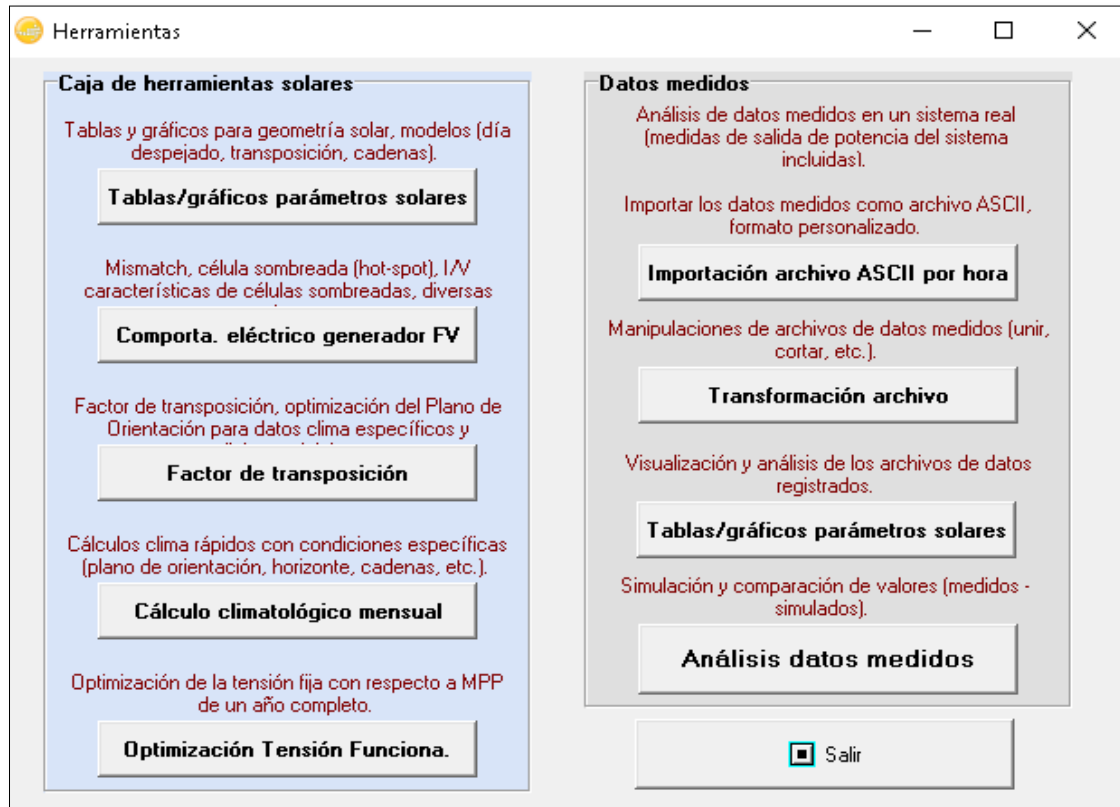


Figura 40. Ventana del Botón herramientas.
Fuente: (Autores)

- **Paso 3.** Entramos en Comporta. eléctrico FV, el cual nos mostrará la ventana (Graphic Tool Fort he Array's Eelectrical Behaviour Study in various conditions), en esta ventana vamos a escoger el tipo de panel solar que vamos a utilizar para obtener los datos de potencia.

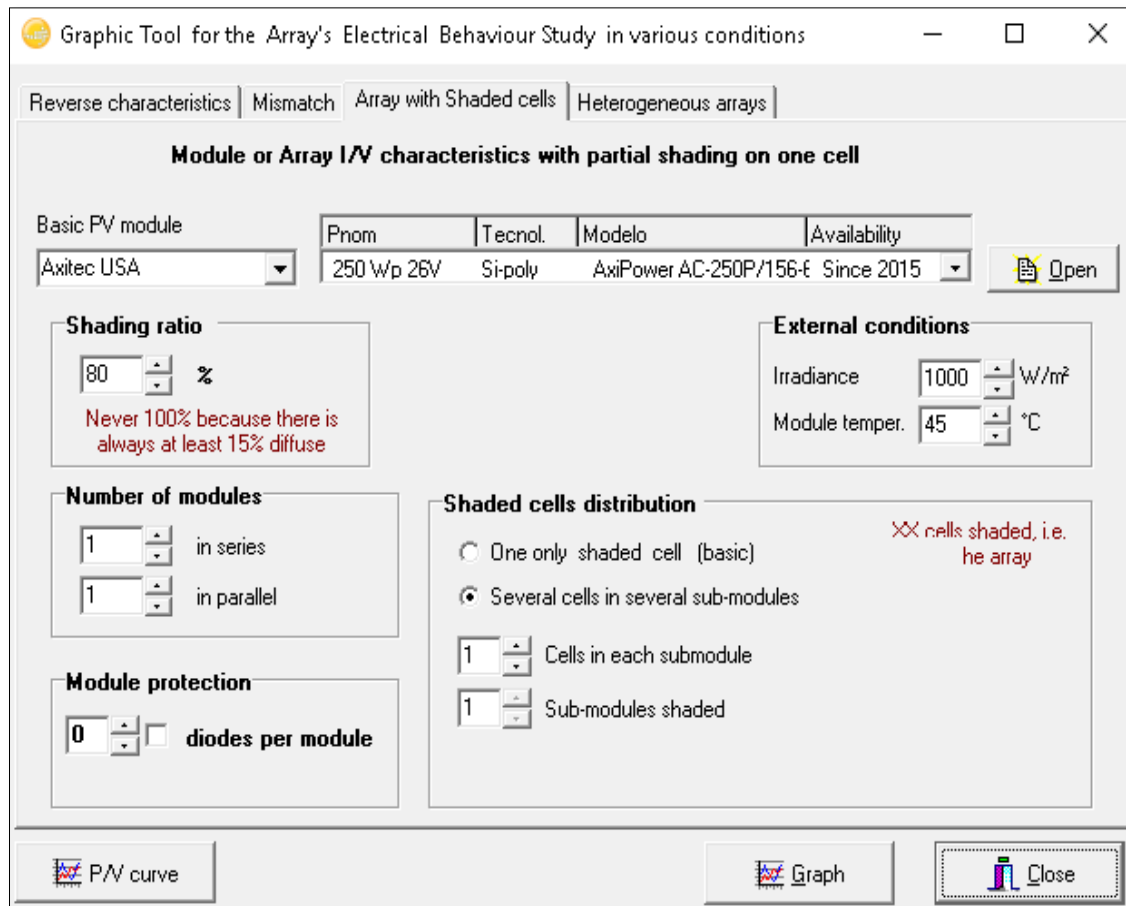


Figura 41 . Ventana de Graphic Tool Fort he Array's Eelectrical Behaviour Study in various conditions.

Fuente: (Autores)

- **Paso 4.** Nos dirigimos al Basic PV module y desplegamos esa pestaña para escoger el fabricante de panel solar, se buscará el fabricante Axilec USA.

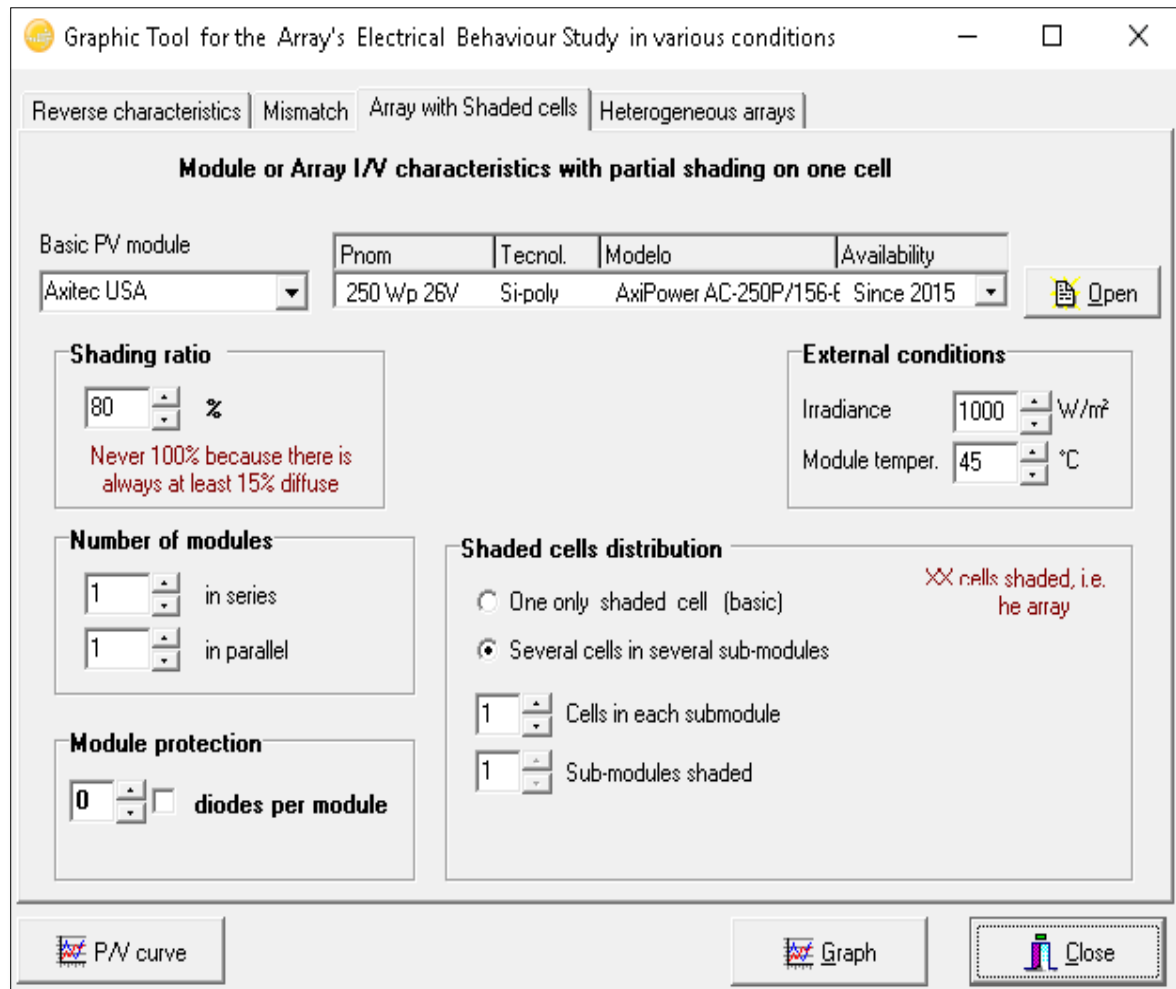


Figura 42. Sección del Fabricante del Panel Solar.
Fuente: (Autores)

- **Paso 5.** Ya seleccionado el fabricante nos dirigimos al lado derecho del display para la selección del tipo de panel solar acorde con el que se colocó en la facultad de Ingeniería Eléctrica, trabajamos con **250Wp26V Si-poly AxiPowerAC-250P/156-60S Since 2015**, ahora nos dirigimos al botón Open y damos enter, y nos mostrara una nueva venta.

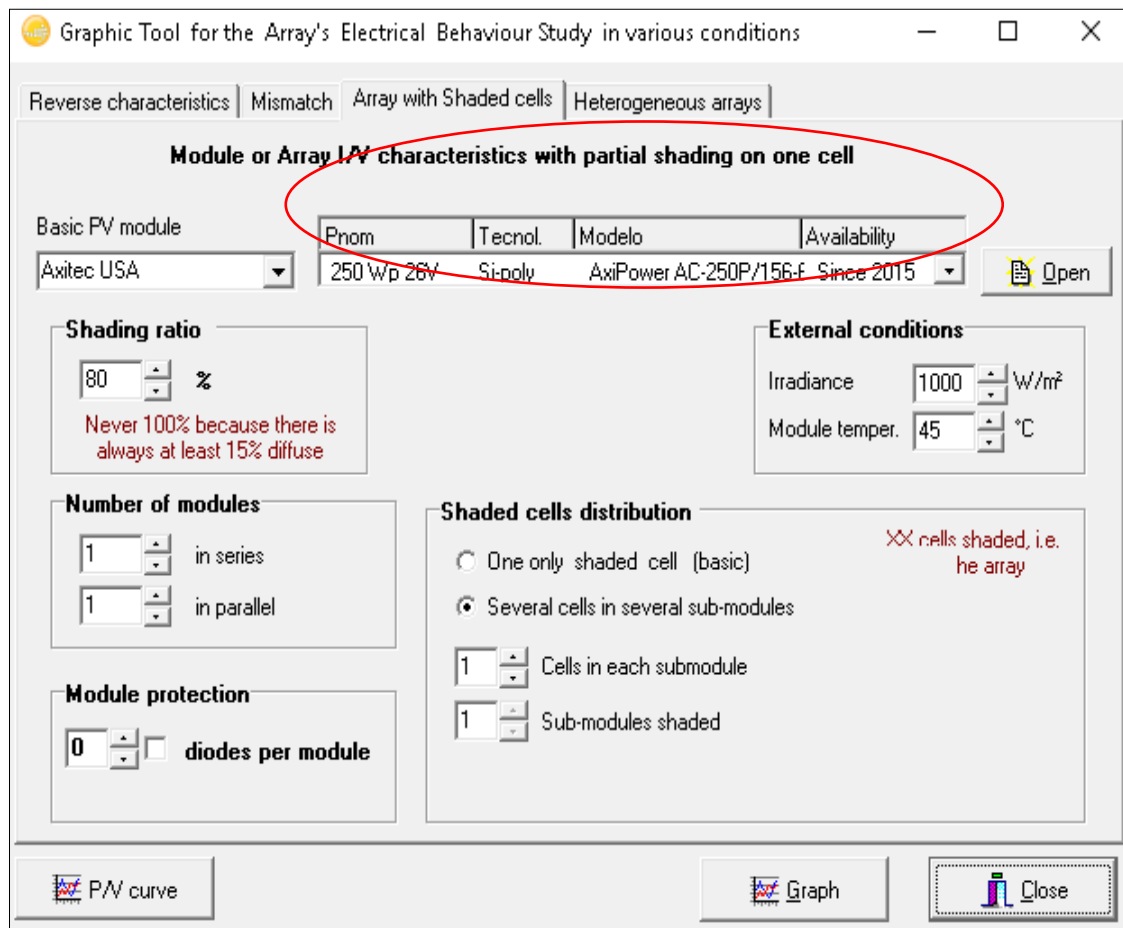


Figura 43 . Selección de tipo de panel Solar.
Fuente: (Autores)

- Paso 6.** En la ventana de Definición de un Módulo FV, nos dirigimos al botón de gráficos, el cual nos mostrará las casillas para ingresar los datos de radiación solar, dentro de esa misma ventana para continuar con la simulación.

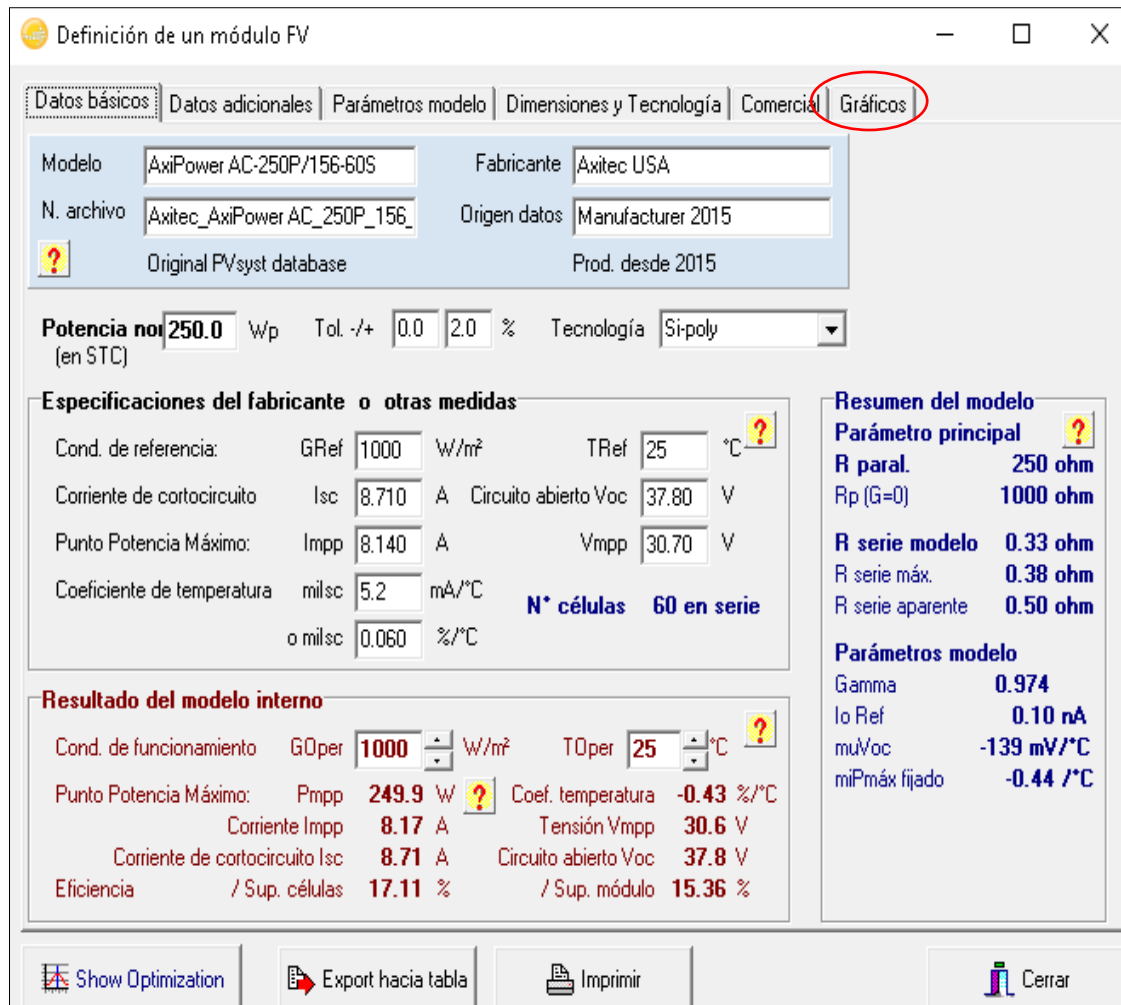


Figura 44. Ventana de Definición de un Módulo FV.
 Fuente: (Autores)

- **Paso 7.** En la siguiente ventana se puede observar el recuadro llamado “Tipos de Curvas”, se elige la opción Potencia vs Tensión, para que nos genere la corriente eléctrica.

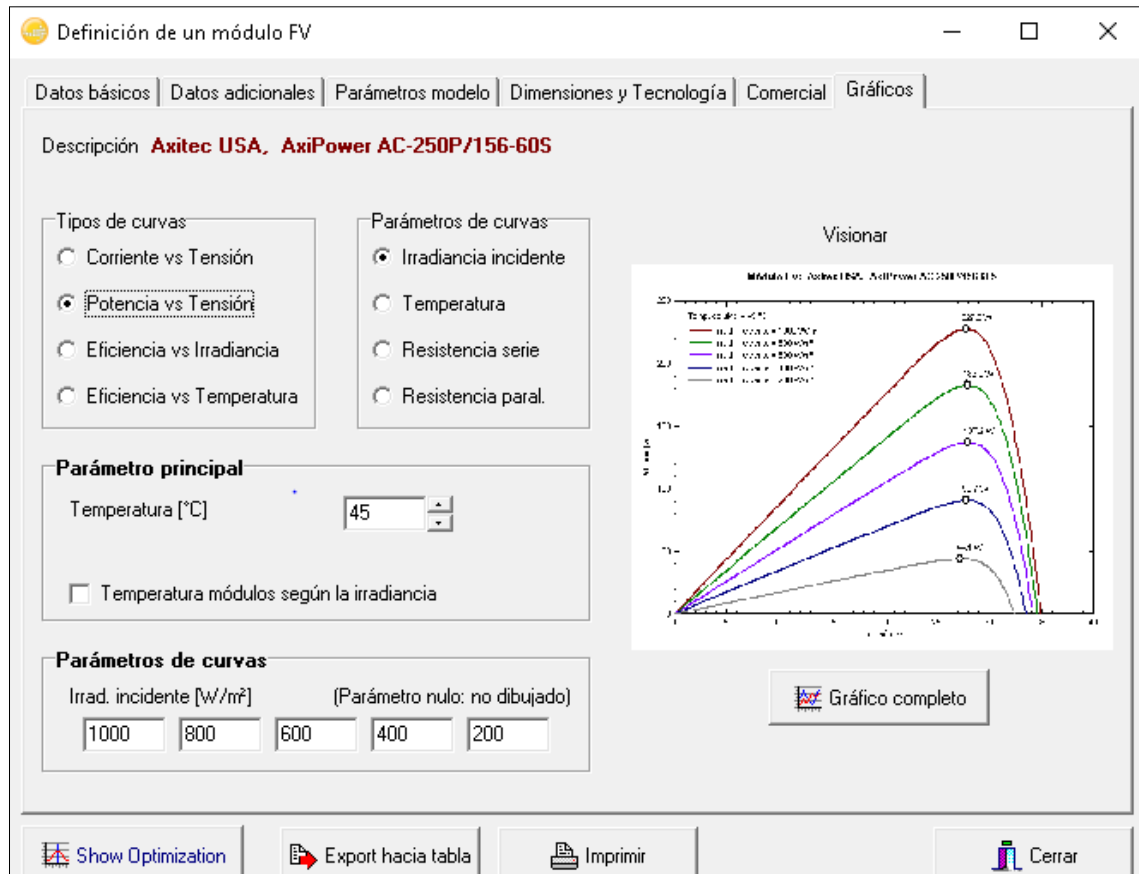


Figura 45. Ventana de Definición de un Módulo FV en la pestaña Gráficos.
Fuente: (Autores)

- **Paso 8.** En la siguiente ventana Definición de un módulo nos vamos a la parte inferior a **Parámetros de curvas** e introducimos los valores para obtener la gráfica de potencia vs tensión y seleccionamos el cuadro **Gráfico completo**.

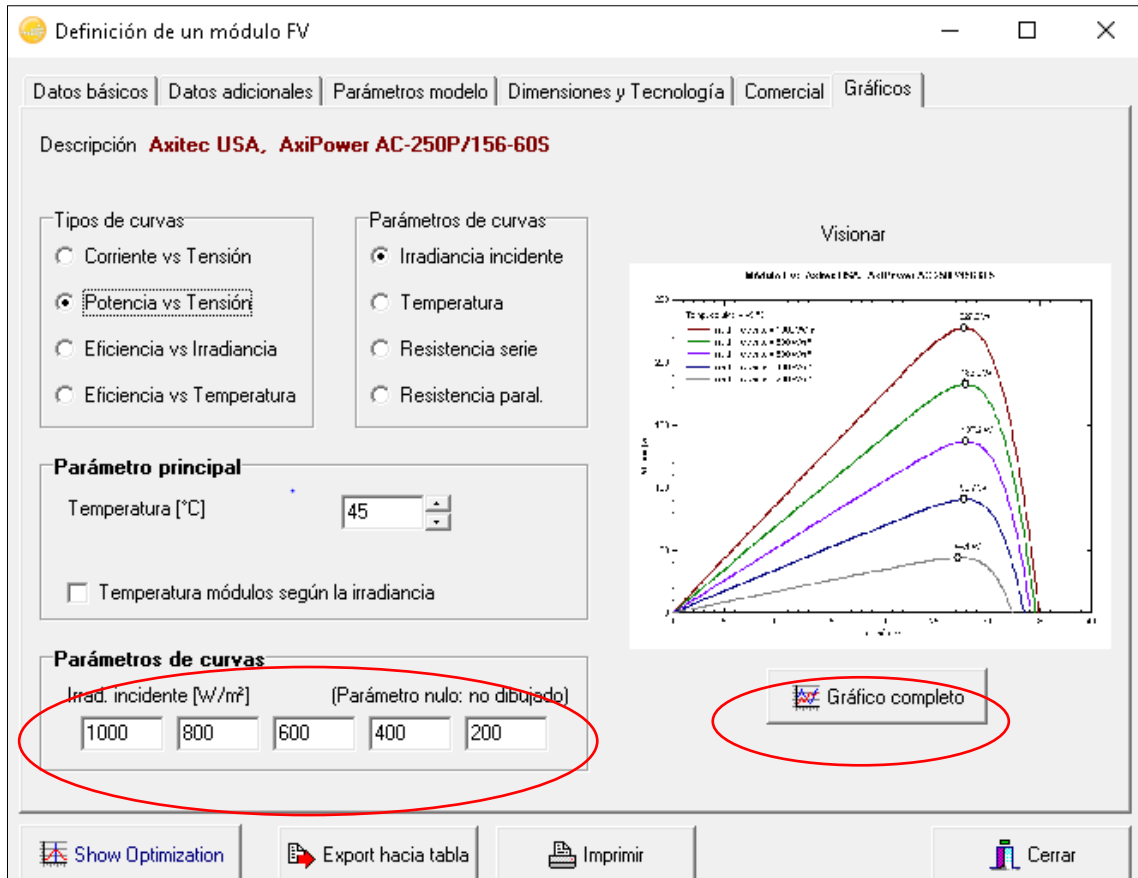


Figura 46. Ventana de Definición de un Módulo FV en la pestaña Gráficos (para introducir la radicación y ver el gráfico completo).
Fuente: (Autores)

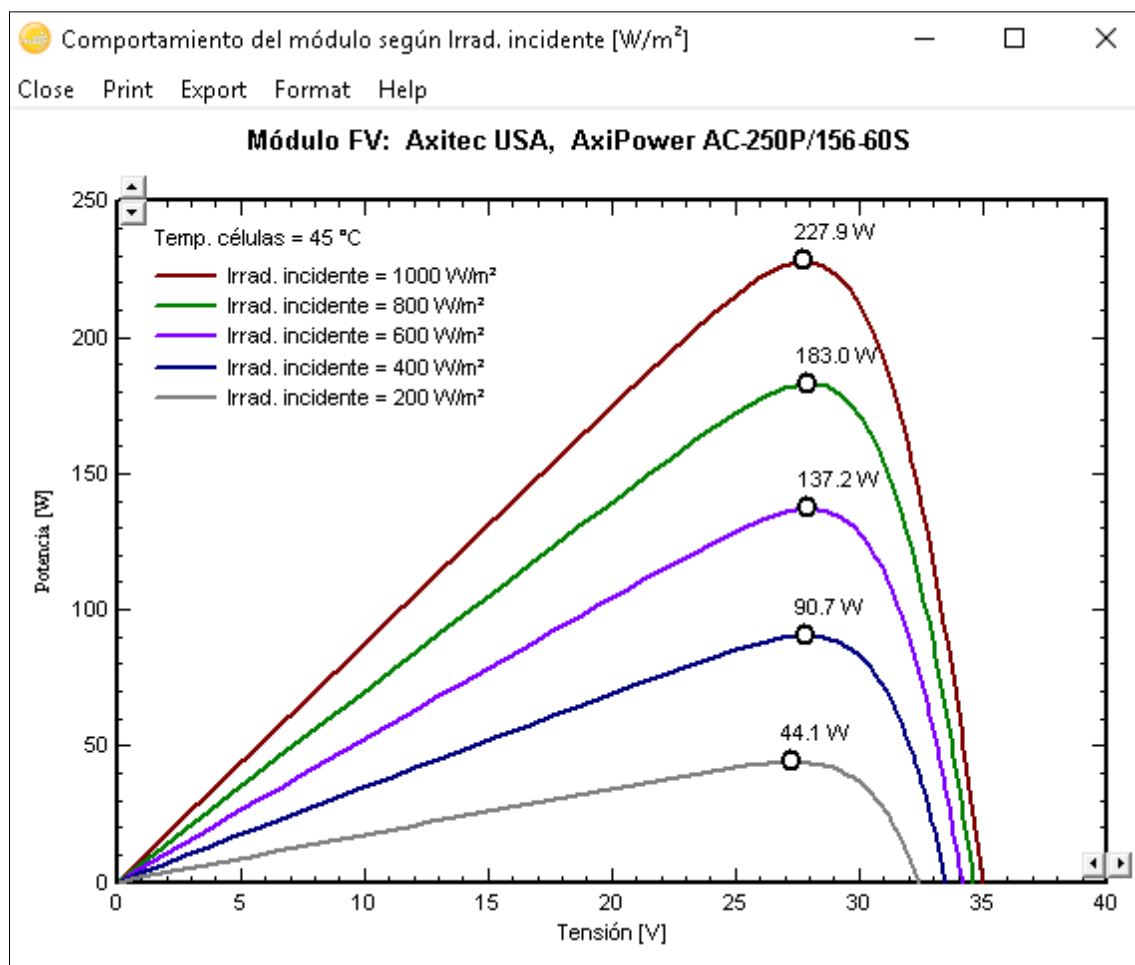


Figura 47. Ventana de Comportamiento del Módulo según Irradiación (W/m^2).
Fuente: (Autores)

- Paso 9.** Se procede a introducir los valores de radiación solar del día, (Promedio, Máximo, Mínimo y sumado de todo el día), como ya se mencionó en el capítulo anterior tomaremos en cuenta los meses de Noviembre, Diciembre del 2017 y el mes de Enero de 2018, tal como se puede observar a continuación en la tabla 7.

Tabla 7. Valores de la radiación Solar Promedio, Máximo (Max), Mínimo (Min), Sumado(Sum) por día.
Fuente : (Autores)

DIA	FECHA	HORA	Radiacion Solar			
			Promedio	Max	Min	Sum
Miercoles	01/11/2017	24 horas	1076	1276	1047	381871
Jueves	02/11/2017	24 horas	685	1532	523	232770
Viernes	03/11/2017	24 horas	6404,3	1106	1054	429219

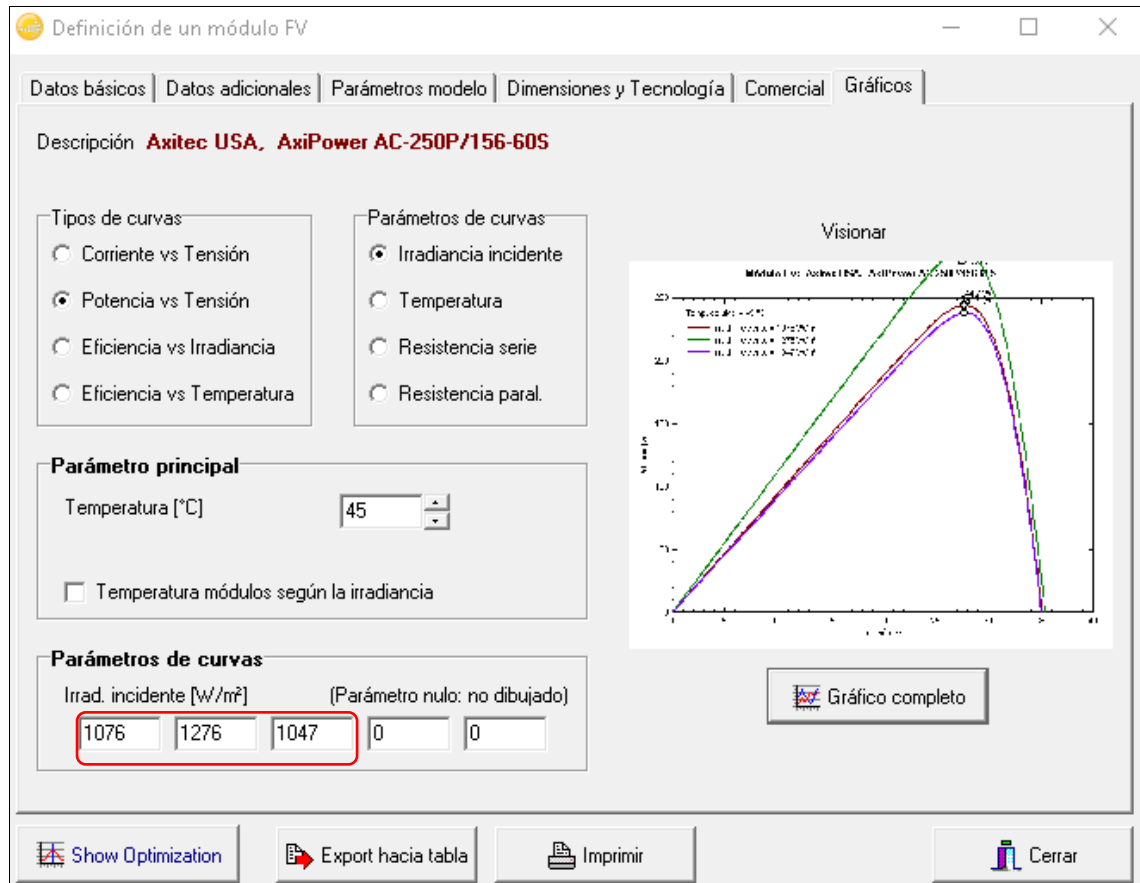


Figura 48. Valores de radiación solar del 01/11/2017.
Fuente: (Autores)

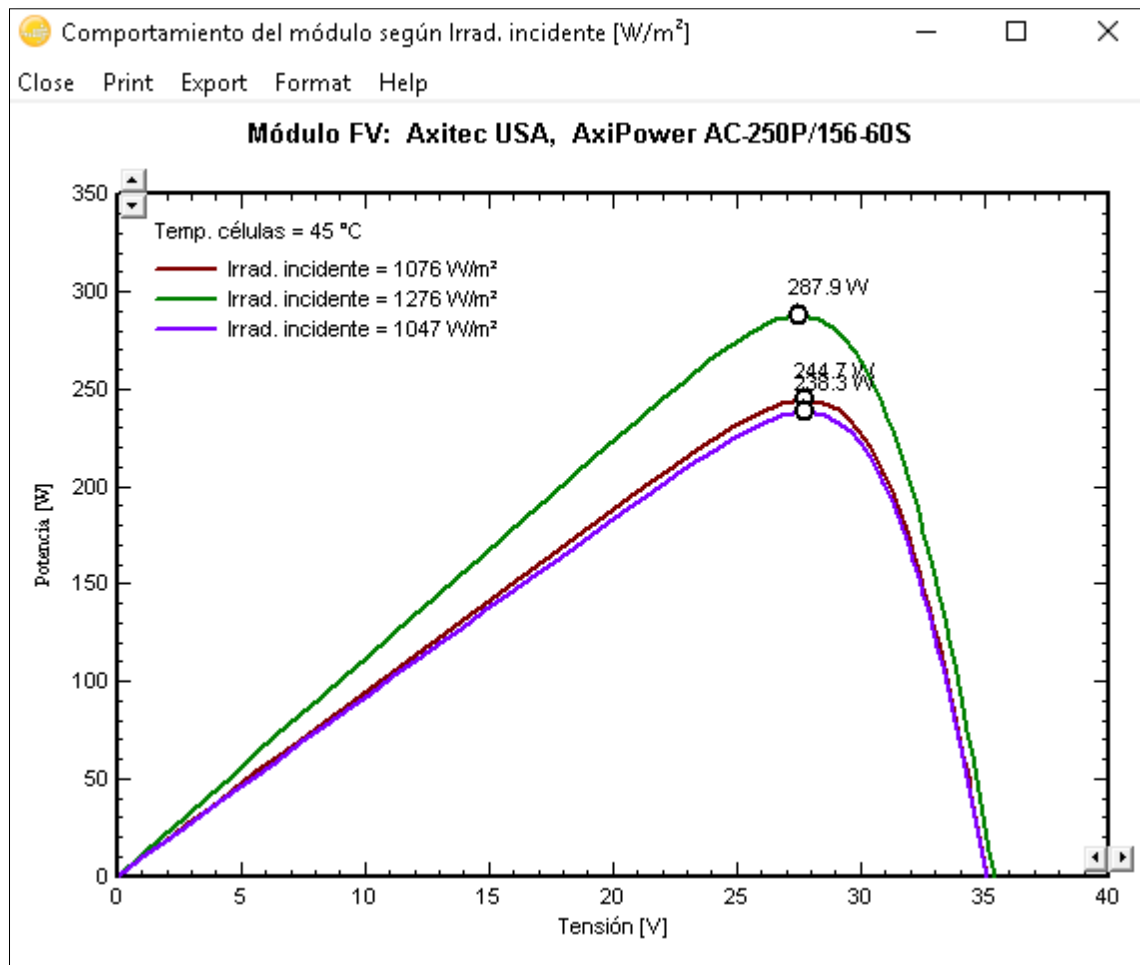


Figura 49. Gráfico de radiación solar del 01/11/2017(Potencia vs Voltaje).
Fuente: (Autores)

CAPÍTULO 4.

4) ANALISIS DE RESULTADOS.

4.1 Muestreo de datos por el Sunny Multigate (Ethernet).

Para obtener la información referente al funcionamiento de Sistema Fotovoltaico implementado, se realizó la lectura de los datos registrados por el Sunny Multigate almacenándolos a través de Ethernet. Los datos registrados y su análisis se pueden visualizar en el Anexo 1.

En la figura 50 se presenta el comportamiento promedio de potencia generado por el panel solar durante el día 01/11/2017.



Figura 50. Curva de carga diaria.
Fuente: (Autores)

En la figura 51, se puede observar la potencia generada diariamente de la primera semana de noviembre de 2017, se puede apreciar que el día sábado se generó 13700 W, la generación es dependiente de cómo es la radiación solar; en ese día fue de 358194 W/m^2

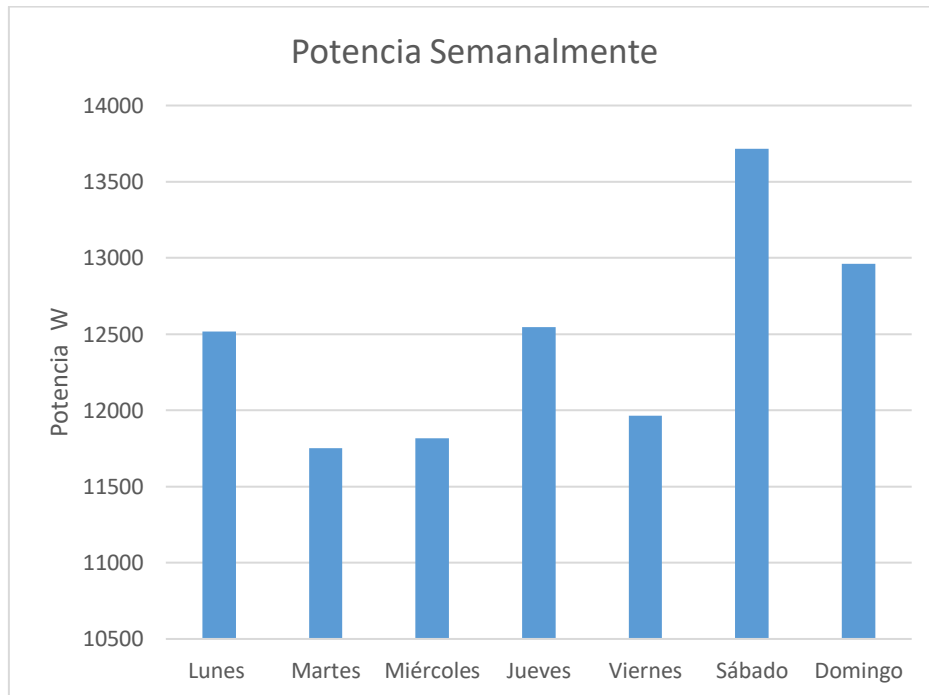


Figura 51. Potencia generada semanal (del 06 al 12 de noviembre)
Fuente: (Autores)

En la figura 52 se representa la potencia generada por el panel fotovoltaico, en el cual se observa que el mes de enero del 2018, es el que menos aporta con 347210 W.

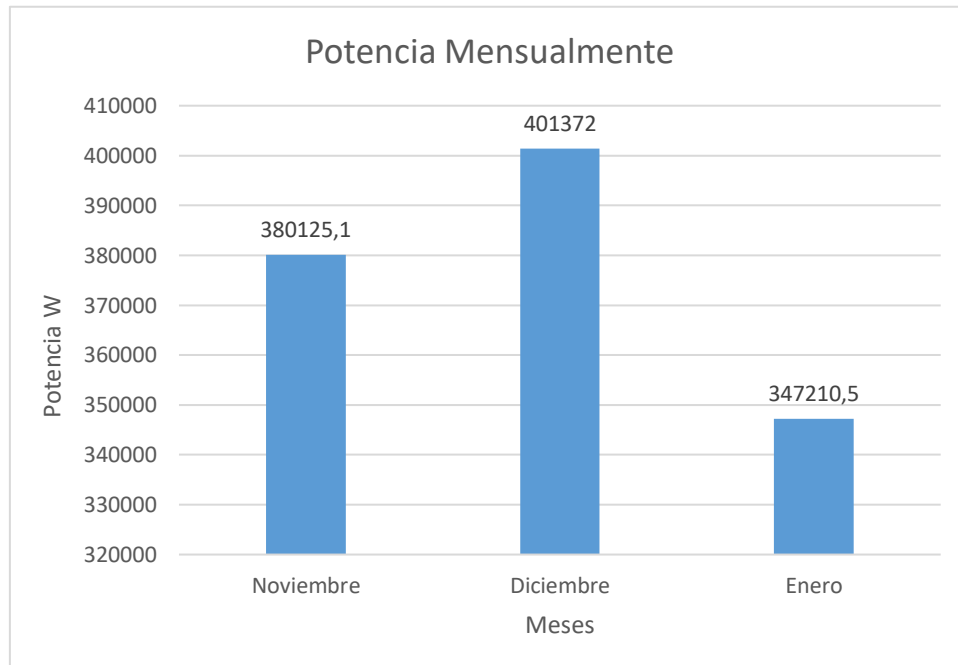


Figura 52. Potencia Mensual de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción.
Fuente: (Autores)

4.2 Interpretación de resultados.

La potencia generada escogida al azar por un día del panel solar instalado, nos dio 13.472,3 W.

En los tres meses: Noviembre, Diciembre y Enero el promedio general diario es 12.272 W y el consumo promedio diario en la Unidad Académica es 285.800 W, y la demanda mensual es 8.766.720 W; nuestro panel solar nos genera al mes: 376.235W.

Analizando los datos del estudio, se puede decir que un solo panel solar representa el 4,29% de la capacidad utilizada en iluminación de la Unidad Académica de Ingeniería Industria y Construcción, la energía producida por el panel nos proporciona un ahorro mensual de USD 78 DOLARES DE ESTADOS UNIDOS DE NORTE AMERICA.

La demanda de potencia total por mes de la Unidad Académica es 8766,72 KW, si utilizamos 20 paneles solares con sus respectivos convertidores y dos multigate para el sistema de iluminación, se podría cubrir esta demanda sin afectar la calidad de servicio de energía eléctrica hasta el 85,8 % de su potencia total.

La unidad academia tiene contratado el servicio eléctrico de Medio voltaje Comercial con demanda horaria. Para determinar el costo del kWh, se tomará en cuenta el consumo anual del 2017 aplicando la siguiente formula.

$$\text{Valor del kWh} = \frac{\text{Consumo en USD mensual}}{\text{Consumo kWh mensual}}$$

$$\text{Valor del kWh} = \frac{1408,01}{7968,24 \text{ kWh}} = 0,17 \text{ ctvs.}$$

Tabla 8. Valor de kWh mensual del año 2017.

Año 2017	Valor USD Mensualmente	Valor en kWh Mensualmente	Valor por kWh
enero	4587,91	9330,96	0,491686815
febrero	974,67	5332,56	0,182777128
Marzo	1367,77	7875,5	0,173674052

abril	2715,67	7657,14	0,354658528
mayo	1640,54	9504,36	0,172609203
junio	1743,71	10182,66	0,171243074
julio	1534,83	8869,92	0,173037637
agosto	1473,71	8431,29	0,174790572
septiembre	785,37	5736,48	0,136907999
octubre	1629,12	9473,76	0,171961291
noviembre	1557,16	8959,68	0,173796386
diciembre	1408,01	7968,24	0,17670276
Promedio del kWh			0,21 ctvs.

Es conocido que “La generación mediante combustibles fósiles produce la emisión de contaminantes del aire y de gases de efecto invernadero, cuya magnitud depende directamente de la configuración de la matriz o mix de generación eléctrica de un país o región.” (Diego A. Nieto M., 2008)

“Se estimaron los factores de emisión de CO₂ por generación eléctrica en el Ecuador durante el periodo 2001-2014. Los resultados varían entre 241.0 y 397.5 g CO₂ kWh⁻¹. El mayor valor corresponde al 2010, año con la mayor participación de fuentes no renovables (52.2%). El menor valor corresponde al 2003, año con la menor participación de fuentes no renovables (34.5%).” (Diego A. Nieto M., 2008)

“El valor más reciente, para el año 2014, es 342.6 g CO₂ kWh⁻¹. Este factor de emisión sirve para establecer indicadores de sustentabilidad, como la huella de carbono o la huella ecológica.” (Diego A. Nieto M., 2008)

CONCLUSIONES.

El estudio realizado en la iluminación está dentro de la autonomía energética a conseguir con la instalación de energías renovables.

Nuestro panel solar representa un ahorro de \$78,00 ctvs al mes, la inversión fue de \$1308.4, con lo que tendríamos que esperar 2 años con las condición de que la radiación solar en los tres meses Noviembre Diciembre y Enero en el trabajo de titulación sea constante para recuperar la inversión, pero el cual solo aportara un ahorro de 4,29% al mes.

La generación promedio diaria de los tres meses es de 12.272 W, con el panel solar en funcionamiento de 10 horas al día por la razón de la luz solar.

Con lo que el panel nos genera 1,227 kWh, eso en dinero nos representa 0,26ctvs, al día es USD 2,60 ctvs.

Tomando en cuenta en cuenta que los 3 meses, es 93 días que representa un ahorro de USD 241,80 ctvs.

El sistema eléctrico de la Unidad Académica puede ser absorbido en un 85% por un sistema fotovoltaico sin que este produzca daños de calidad de energía hacia la red pública.

Estamos aportando una reducción de contaminación de 4,8434kg CO₂ al día, por lo tanto se hace una disminución de 450,43Kg CO₂ en los tres meses de estudio.

El panel utilizado en este trabajo de investigación, requiere mantenimiento mínimo una vez al año para mejorar su rendimiento y evitar algún tipo de pérdida de energía (pedido realizado por el fabricante) (SMA, 2014).

Se puede suplir la demanda total de la potencia en la Unidad Académica con un sistema híbrido compuesto con el 85% con energía solar y el 15% con energía pública.

En función de lo interpretación de resultados se concluye que para suplir con toda la demanda de energía en la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción se requiere una inversión elevada debido a que la inversión inicial se recuperaría a largo plazo.

El presente trabajo se realizó con producción de energía eléctrica en línea (conectado a la red) método que no se recomienda para instalaciones que funcionan durante el día y la noche.

RECOMENDACIONES.

Por el uso de tecnologías limpias, se recomienda utilizar energía renovables para el sistema de iluminación de la Unidad Académica, y además por seguridad, debido a la concentración de personas (estudiantes), ubicación geográfica (Franja del Pacífico y cinturón de fuego) es latente la exposición de nuestro país a eventos naturales como sismos, etc.

Se recomienda implementar paneles con seguidores de sol para aprovechar la radiación solar máxima y mejorar la eficiencia de la generación.

Se recomienda dar el mantenimiento adecuado al sistema fotovoltaico para no tener problemas en su funcionamiento (SMA, 2014).

Para mayor rentabilidad del sistema fotovoltaico, se recomienda acumular la energía residual del día para el uso en la noche.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Energy , S. (2010). Smart Grids. *Energy Automation*.
- Lopez, D. (2013). *Escuela de Ingeniería de Sistemas y Computación del Valle*. Valle .
- (7) <https://www.google.com/maps/@-2.8849692,-79.0056898,3a,75y,180.56h,89.38t/data=!3m6!1e1!3m4!1sjlRea7r39wqlqYyFWzxDzg!2e0!7i13312!8i6656>. (s.f.).
-] <http://www.proviento.com.ec/panelesolares.html>. (s.f.).
- Abella, A., Alvarez, E., Argueso, J., Bozon , A., Castro, U., López, D., & Marten, I. (2014). Smart Energy. *The Boston Consulting Group en Colaboración con la cátedra de Energía de Orkestra*.
- Alsumiri, M., Jiang, L., & Tang, W. (2014). "Maximun power point tracking controller for photovoltaic system using sliding mode control ". *Renewable Power Generation Conference (RPG),Institution of Engineering and Technology*.
- Antonio, David, Eduardo, & Alonso, M. (2015). Generación dsitribuida,autoconsumo y redes inteligentes,. *Madrid UNED - Univeridad Nacional de Educación a Distancia*, 8-856.
- Autores. (s.f.). "Diseño de una Microgrid experimental para la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción mediante FV". *Unversidad Católica de Cuenca*.
- Ayache, K., Cheriti, A., Labar, H., & Sandali, A. (2015). "Practical considerations for a photovoltaic system connected to the network". *IEEE 28th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE),IEEE*.
- Belkaid, A., Gaubert, J. P., Gherbi, A., & Rahmani, L. (2014). "Maximun" power point tracking for photovoltaic systems with boost converter sliding mode contrl . *IEEE 23 rd International Sympsium on Industrial Electronics (ISIE)*.
- Calderón G, C. A., & Tobar M, F. A. (2012). Propuesta de diseño de un modelo Smart Grid para empresas Electricas de Ditrribución Ecuatorianas (). *Universidad Politecnica Salesiana Sede- Quito*.
- Capa, C. (2013). Analisis regulatorio de la energia fotovoltaica.
- Castaño Rodriguez, J. D., & Londoño Quintero, F. J. (2017). Diseño y simulacion de Deshidratación de Fresa con energias alternativas. *Universidad de Nueva Granada*.
- Cervantes , D., & Muñoz, O. (2010). "*Diseño y control y simulacion de un sistema de simulación de un sistema de generación de energia electrica basado en paneles fotovoltaicos, un inversor trifasico conectado a la red y una unidad de almacenamientos smes*".

- Chadbourne. (s.f.). Uk Rooftop Solar Moves into High Gear . *Distributed Generation Residential, Commercial, Fee-In Tariffs, Incentive*.
- Chamana , M., & Chowdhury, B. H. (2014). Impact of smart inverter control with PV Systems on voltaje regulators in active distribution networks. *Annual High Capacity Optical Networks and Emerging/Enabling Technologies (Photonics for Energy)*.
- Datta , M., Senjyu, T., Yona, A., & Funasbashi, T. (2010). "Minimal-order observerbased coordinated control method for isolated power utility connected multiple photovoltaic systems to reduce frequency deviations". *ET Renewable Power Generation*, 153.
- Dave, , R., & Daryl, , M. ((2010)). ; Steve, Concentrating Solar Power Best Practices Handbook for the Collection and Use of Solar Resource Data. .
- Diego A. Nieto M., S. d. (2008). *Avances en Ciencias e Ingenieria* .
- Eléctrica, C. d. (2008). Direccion General de Cooperacion y Asistencia financieras Seretaria de Energia. *Energias Renovables 2008-Energia Solar*.
- Escanilla, J. (2011). *Sistema Fotovoltaico de 8 Kw interconectado a la red*.
- Feima, N., Petrone, G., Petrone, G., Spagnoulo, G., & Vitelli, M. (2013). Power Electronics and Techniques for Maximun Energy Harvesting in Photovoltaic Systems . *CRC PRESS*.
- Gasquet, H. (2004). *Conversion de la IUz en Energia Eléctrica*. Texas.
- Greentechmedia*. (s.f.). Obtenido de Greentechmedia:
<https://www.greentechmedia.com/research/report/the-emergence-of-meter-data-management-mdm>.
- gruponovelec*. (27 de Abril de 2007). Obtenido de
<https://blog.gruponovelec.com/electricidad/como-funciona-smart-grid/>
- J, D. C. (s.f.). *Energía Solar Fotovoltaica* . Castilla.
- J, E. (2011). Diseño y Modelo y optimización de sistemas de seguimiento del punto de máxima potencia de generadores fotovoltaicos mediante convertidores CC/CC. *PHD thesis*.
- J., E., & Gonzalez,Cabrera ,Vanegas,Carranza., L. (2014). "Diseño,modelo y optimizacion de sistemas de seguimiento del punto de maxima potencia de energia eléctrica a partir de fuentes renovables". *Revista EPN*.
- Jain, S. (2007). Single Stage Grid Connected Photovoltaic Systems with Maximun Power Point Tracking. *Indian Institute of Technology*.
- Jara, C., & Galarza, P. (2015). "Simulación y evaluación de sistemas fotovoltaicos residenciales conectados a la red eléctrica "
- Macancela Zhumi , L. G. (2012). *Diagnostico de la implementacion de los sistemas fotovoltaicos correspondientes a la primera etapa del proyecto yantsa Etsari*. Cuenca.

- Makhlouf, M., Messai, F., Nabti, K., & Benalla, H. (2012). "Modeling and simulation of grid-connected photovoltaic distributed generation system". *First International Conference on Renewable Energies and Vehicular Technology IEEE*.
- Martins, C. (1999). «Usage of the solar energy from the photovoltaic panels for the generation of electrical energy,». *Telecommunications Energy Conference*, p. 17.3,.
- Nahle Sabag, N. (2011). Radiación solar en la capa exterior de la atmósfera terrestre y sobre la superficie terrestre . *Biology Cabinet* .
- NEC. (2011). *Norma Ecuatoriana de construcción de energías Renovables*.
- Paredes, V. (2014). "Simulación mediante psim de algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia en sistemas fotovoltaicos "
- parks-and-tribes*. (5 de Marzo de 2017). Obtenido de <https://www.parks-and-tribes.com/turismo-amazonas/clima-de-cuenca.htm>
- Proviento. (2017). *Proviento*. Obtenido de <http://www.proviento.com.ec/panelesolares.html>
- Remy, G., Bethux, O., Marchand, C., & Dogan, H. (2009). "Review of mppt techniques for photovoltaic sytems" . *laboratoire de Genie Electrique de París (LGEP)/SPEE -Labs, Unoversité Pierre et Marie Curie P*.
- Sen, Z. (2004). . Solar energy in progress and future research trends, Issue 4,. *Progress in Energy and Combustion Science, Elsevier, Volume 30,, 367–416*.
- SMA. (2014). Instrucciones de Instalación SUNNY BOY 240 US US SUNNY MULTIGATE US; SMA ,SMG-SB240US-IA es 14.
- sunearthtool website* . (Jueves de mayo de 2018). Obtenido de https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es#top
- Tobajas Vásquez, M. C. (2012). Instalaciones Solares Fotovoltaicas. *Ediciones Octaedro* , 7-164.
- worldmeteo*. (s.f.). Obtenido de <https://www.worldmeteo.info/es/america-del-sur/ecuador/cuenca/tiempo-101293/>
- www.mundociencia.com*. (s.f.).

ANEXOS.

Anexo 1. DATOS REGISTRADOS POR EL SUNNY MULTIGATE MES NOVIEMBRE

DIA	FECHA	HORA	Promedio	Max	Min	Sum	Prom	Max	Min	Sum	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min
Miercoles	1/11/2017	24 horas	1076	1276	1047	381871	244,7	287,9	238,3	12089,6	27,7169	27,4779	27,7359	8,8285486	10,477511	8,5917529
Jueves	2/11/2017	24 horas	685	1532	523	232770	156,8	341,2	119,3	12620,8	27,9669	27,1907	27,9033	5,6066278	12,548408	4,27548
Viernes	3/11/2017	24 horas	6404,3	1106	1054	429219	245,3	251,2	239,9	13957,2	27,7149	27,6971	27,7313	8,8508347	9,0695416	8,6508746
Sabado	4/11/2017	24 horas	1042	1130	847	435425	237,2	256,5	193,7	13957,5	27,7392	27,6712	27,8698	8,5510757	9,2695655	6,9501755
Domingo	5/11/2017	24 horas	1037	1194	881	440480	236,1	270,3	201,4	14295,4	27,9039	27,5824	27,8463	8,4611828	9,7997274	7,2325587
Lunes	6/11/2017	24 horas	1031	1067	962	382059	234,8	242,7	219,5	12518,1	27,7449	27,7213	27,7904	8,4628166	8,7550007	7,898411
Martes	7/11/2017	24 horas	1117	1474	830	316267	253,6	329,3	189,8	11750,1	27,6879	27,2518	27,8802	9,1592356	12,083605	6,8076987
Miércoles	8/11/2017	24 horas	564	677	399	176822	128,8	154,9	90,4	11815,8	27,925	27,9642	27,7923	4,6123545	5,5392252	3,2526995
Jueves	9/11/2017	24 horas	581	928	499	238523	132,8	211,9	113,7	12547,8	27,9329	27,813	27,8867	4,7542504	7,6187394	4,0772124
Viernes	10/11/2017	24 horas	747	1384	394	272147	171	310,6	89,3	11964,2	27,9397	27,3502	27,786	6,1203234	11,356407	3,2138487
Sábado	11/11/2017	24 horas	936	1592	415	358194	213,7	353,3	94,2	13717,6	27,8077	27,088	27,8112	7,6849218	13,042676	3,3871246
Domingo	12/11/2017	24 horas	1025	1395	349	315243	233,4	312,9	78,8	12959,6	27,7489	27,3379	27,7204	8,4111442	11,445649	2,8426718
Lunes	13/11/2017	24 horas	660	1508	276	265105	151	336,3	61,8	13472,3	27,9601	27,2153	27,5655	5,4005529	12,35702	2,2419329
Martes	14/11/2017	24 horas	794	1546	395	273150	181,7	344	89,5	12735,8	27,9057	27,1639	27,7873	6,5112146	12,663866	3,2208959
Miércoles	15/11/2017	24 horas	672	1485	455	223948	153,8	331,6	103,5	12319,3	27,964	27,2421	27,8524	5,4999285	12,172336	3,7160173
Jueves	16/11/2017	24 horas	419	1428	141	174146	95,1	319,9	30,5	12619,3	27,8164	27,3037	26,8237	3,4188464	11,716361	1,1370542
Viernes	17/11/2017	24 horas	657	1497	388	260382	150,3	334	87,9	12208,7	27,96	27,2292	27,779	5,3755365	12,266244	3,1642608
Sábado	18/11/2017	24 horas	461	708	315	180667	104,9	162	70,9	12216	27,8577	27,9698	27,6579	3,7655657	5,7919613	2,5634629
Domingo	19/11/2017	24 horas	809	1504	373	261421	185,1	335,5	84,4	11606,2	27,8965	27,2217	27,7583	6,635241	12,324726	3,040532
Lunes	20/11/2017	24 horas	1060	1157	1040	338712	241,2	262,3	236,8	11475,7	27,7274	27,6328	27,7405	8,6989765	9,4923424	8,5362557
Martes	21/11/2017	24 horas	1081	1297	904	394851	245,8	292,3	206,5	12850,7	27,7136	27,4526	27,8307	8,8692916	10,647443	7,4198637
Miércoles	22/11/2017	24 horas	1045	1577	692	421952	237,9	350,3	158,4	12810,8	27,7372	27,1151	27,9683	8,5769292	12,919001	5,6635548
Jueves	23/11/2017	24 horas	893	1439	657	241083	204,1	322,1	150,3	11674,9	27,8381	27,2917	27,9602	7,3316785	11,802123	5,375498
Viernes	24/11/2017	24 horas	742	1303	401	253619	168,8	293,6	90,9	11865,7	27,9448	27,4454	27,7955	6,0404798	10,697603	3,2703135
Sábado	25/11/2017	24 horas	1049	1425	917	285286	238,8	319,2	209,4	11605,5	27,7346	27,3069	27,8219	8,6101837	11,689353	7,526445
Domingo	26/11/2017	24 horas	928	1525	531	342444	211,8	339,8	121,2	12980,7	27,8145	27,1993	27,9081	7,6147333	12,492969	4,3428252
Lunes	27/11/2017	24 horas	973	1639	534	308049	221,9	362,8	212,9	12862	27,7846	27,0171	27,9099	7,9864385	13,428532	7,6281176
Martes	28/11/2017	24 horas	921	1508	679	366321	210,3	336,3	155,5	13489,8	27,8192	27,2175	27,9656	7,5595272	12,356021	5,5604028
Miércoles	29/11/2017	24 horas	1134	1302	628	391676	257,3	293,4	143,6	13999,4	27,6654	27,4466	27,9517	9,3004258	10,689849	5,1374335
Jueves	30/11/2017	24 horas	726	1469	408	317630	166,2	328,3	92,5	13138,6	27,9565	27,2592	27,8039	5,9449502	12,04364	3,3268714

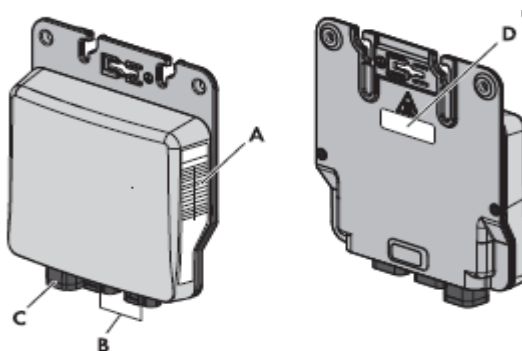
Anexo 2. DATOS REGISTRADOS POR EL SUNNY MULTIGATE MES DE DICIEMBRE

Viernes	1/12/2017	24 horas	792	1577	362	237660	181,3	350,3	81,8	12777,7	27,9086	27,1151	27,7419	6,4962055	12,919001	2,9486084
Sábado	2/12/2017	24 horas	713	1416	465	266671	163,2	317,3	105,8	12752,1	27,9661	27,3168	27,8611	5,8356367	11,615563	3,7974093
Domingo	3/12/2017	24 horas	491	974	264	167206	111,9	222,2	59	11983,2	27,8817	27,7839	27,5247	4,0133851	7,9974374	2,1435293
Lunes	4/12/2017	24 horas	1063	1136	1043	466673	241,8	257,8	237,4	14403,8	27,7254	27,6625	27,7385	8,7212448	9,3194758	8,5585017
Martes	5/12/2017	24 horas	952	1487	451	335918	217,3	332	102,6	13781,9	27,7985	27,2399	27,8487	7,8169685	12,188004	3,6841935
Miércoles	6/12/2017	24 horas	625	1589	373	241318	142,9	352,8	84,4	13433,3	27,9507	27,0956	27,7583	5,1125732	13,020564	3,040532
Jueves	7/12/2017	24 horas	940	1436	673	392921	214,6	321,5	154	13381,4	27,8065	27,2949	27,9642	7,71762	11,778757	5,5070411
Viernes	8/12/2017	24 horas	790	1494	484	361829	180,8	333,4	110,2	14148,3	27,91	27,2324	27,8765	6,4779649	12,24277	3,9531505
Sábado	9/12/2017	24 horas	1010	1396	401	344279	230,1	313,2	90,9	12669,7	27,7602	27,3389	27,7955	8,2888452	11,456203	3,2703135
Domingo	10/12/2017	24 horas	873	1588	484	340439	199,6	352,6	110,2	12996,3	27,8518	27,0972	27,8765	7,1665027	13,012415	3,9531505
Lunes	11/12/2017	24 horas	919	1382	427	253275	209,9	310,2	97	12983,9	27,8205	27,3545	27,8251	7,5447961	11,339999	3,4860611
Martes	12/12/2017	24 horas	834	1537	476	260101	190,7	342,2	108,4	12834,8	27,8788	27,1821	27,8702	6,8403231	12,589167	3,889459
Miércoles	13/12/2017	24 horas	916	1475	401	413047	209,2	329,5	90,9	14200,4	27,8226	27,2528	27,7955	7,5190672	12,090501	3,2703135
Jueves	14/12/2017	24 horas	946	1402	832	320573	215,9	314,4	190,3	12882,2	27,8025	27,3322	27,8802	7,7654887	11,502916	6,8256325
Viernes	15/12/2017	24 horas	1135	1476	493	279332	257,6	329,7	112,3	10515	27,664	27,2517	27,8832	9,3117409	12,098328	4,0275148
Sábado	16/12/2017	24 horas	511	808	332	136197	116,5	184,9	74,8	10110,2	27,8957	27,8972	27,6912	4,1762709	6,6279053	2,7012192
Domingo	17/12/2017	24 horas	892	1521	354	226501	203,8	339	79,9	12586,4	27,8388	27,2036	27,7293	7,3207178	12,461586	2,8814287
Lunes	18/12/2017	24 horas	718	1488	455	242682	164,3	332,2	103,4	12596,8	27,9624	27,2388	27,8524	5,8757474	12,195838	3,7124269
Martes	19/12/2017	24 horas	586	1352	328	209545	133,9	304,4	73,9	11894,2	27,9359	27,3861	27,6837	4,7931157	11,115128	2,6694409
Miércoles	20/12/2017	24 horas	898	1603	398	339529	205,2	355,6	90,2	13456,2	27,8347	27,0732	27,7918	7,3720931	13,134761	3,2455616
Jueves	21/12/2017	24 horas	827	1602	495	272674	189,2	355,4	112,8	12605,2	27,8837	27,0748	27,8846	6,7853262	13,126597	4,0452436
Viernes	22/12/2017	24 horas	952	1440	404	309674	217,3	322,3	91,6	12136,6	27,7985	27,2906	27,7991	7,8169685	11,809927	3,2950707
Sábado	23/12/2017	24 horas	978	1570	550	400585	223	348,9	125,6	13797,7	27,7813	27,1266	27,9187	8,0269822	12,861914	4,4987768
Domingo	24/12/2017	24 horas	735	1392	276	261136	168,2	312,3	61,8	13286,8	27,9499	27,3433	27,5661	6,0179106	11,421445	2,2418841
Lunes	25/12/2017	24 horas	740	1636	358	252631	169,4	362,2	80,9	12977,8	27,9463	27,0217	27,7356	6,0616253	13,404042	2,9168289
Martes	26/12/2017	24 horas	1014	1461	369	343212	231	326,6	83,4	13475,7	27,7576	27,2679	27,7524	8,3220451	11,977453	3,0051455
Miércoles	27/12/2017	24 horas	1062	1511	403	326429	241,6	336,9	91,4	13198,1	27,7261	27,2143	27,7979	8,7138112	12,379521	3,2880182
Jueves	28/12/2017	24 horas	961	1486	465	421561	219,8	331,8	105,8	14114,9	27,7925	27,241	27,8611	7,9086084	12,18017	3,7974093
Viernes	29/12/2017	24 horas	868	1513	426	352162	198,4	337,3	96,7	12962,9	27,8552	27,2121	27,824	7,122548	12,395221	3,4754169
Sábado	30/12/2017	24 horas	889	1571	469	339183	203,2	349,1	106,7	13224,6	27,8408	27,125	27,8645	7,2986408	12,870046	3,8292451
Domingo	31/12/2017	24 horas	753	1441	464	308176	172,3	322,5	105,6	13203,9	27,9368	27,2895	27,8603	6,1674923	11,817732	3,7903397

Anexo 3. DATOS REGISTRADOS POR EL SUNNY MULTIGATE MES DE ENERO

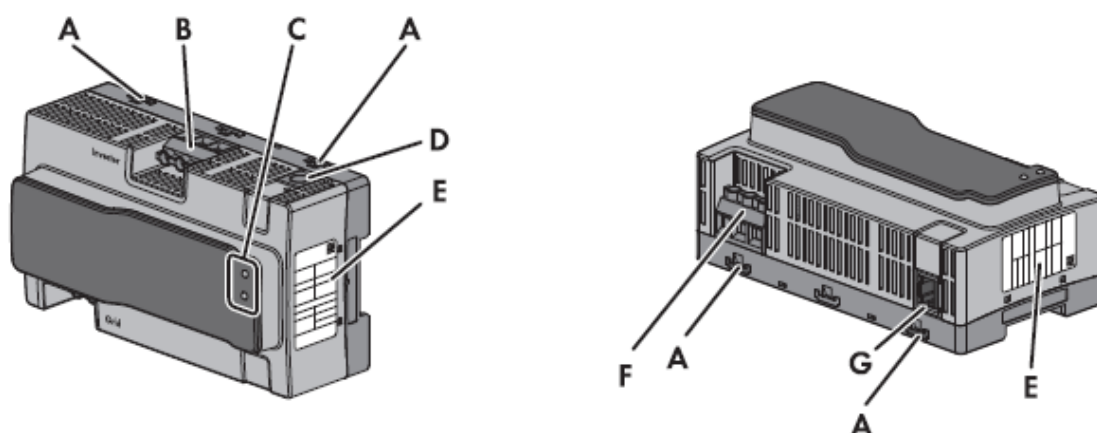
Domingo	31/12/2017	24 horas	753	1441	464	308176	172,3	322,5	105,6	13203,9	27,9368	27,2895	27,8603	6,167492	11,81773	3,79034
Lunes	1/1/2018	24 horas	892	1460	338	273926	203,8	326,4	76,2	13106,6	27,8388	27,2689	27,7021	7,320718	11,96968	2,750694
Martes	2/1/2018	24 horas	1036	1554	340	133302	235,9	345,7	76,7	11315,7	27,7431	27,1532	27,7056	8,503015	12,73146	2,768393
Miércoles	3/1/2018	24 horas	692	1564	466	156093	158,4	347,7	106,1	11640,8	27,968	27,1365	27,862	5,663616	12,813	3,808054
Jueves	4/1/2018	24 horas	1099	1566	784	144875	249,7	348,1	179,4	11585,3	27,7017	27,1332	27,9143	9,013887	12,8293	6,426813
Viernes	5/1/2018	24 horas	1061	1184	544	91553	241,4	268,2	124,2	10733,8	27,7267	27,5958	27,9155	8,706409	9,71887	4,449141
Sábado	6/1/2018	24 horas	1068	1142	1055	88408	242,9	259,1	240,1	10568,8	27,7221	27,654	27,7307	8,761962	9,36935	8,658274
Domingo	7/1/2018	24 horas	979	1377	688	138533	223,3	309,2	157,5	10189,5	27,7806	27,3601	27,9675	8,037983	11,30113	5,631537
Lunes	8/1/2018	24 horas	828	1581	453	166697	189,4	351,1	103	12094,8	27,883	27,1086	27,8505	6,792669	12,95161	3,698318
Martes	9/1/2018	24 horas	911	1573	470	139885	208,1	349,5	107	11145,7	27,8259	27,1217	27,8653	7,478644	12,88636	3,839901
Miércoles	10/1/2018	24 horas	1072	1150	1004	84180	243,8	260,8	228,8	10184	27,7195	27,6426	27,7641	8,795252	9,434713	8,240858
Jueves	11/1/2018	24 horas	1085	1234	1070	95447	246,7	278,9	143,4	10650,2	27,7109	27,5302	27,7208	8,902634	10,13069	5,173011
Viernes	12/1/2018	24 horas	913	1294	417	187663	208,5	291,7	94,6	12105,6	27,8246	27,4562	27,8142	7,493369	10,62419	3,40114
Sábado	13/1/2018	24 horas	928	1398	446	161367	211,9	313,6	101,4	11001,4	27,8145	27,3367	27,844	7,618329	11,47176	3,641718
Domingo	14/1/2018	24 horas	947	1409	573	140740	216,1	315,9	130,9	9011,7	27,8018	27,3245	27,9301	7,772878	11,56105	4,6867
Lunes	15/1/2018	24 horas	1002	1156	850	123952	228,4	262,1	194,4	10411,8	27,7655	27,6342	27,8677	8,226036	9,484624	6,975818
Martes	16/1/2018	24 horas	852	1295	327	150369	194,8	291,9	73,7	12206,1	27,8663	27,455	27,6817	6,990523	10,63194	2,662409
Miércoles	17/1/2018	24 horas	1055	1395	839	112641	240,1	312,9	191,9	11204,8	27,7307	27,34	27,8753	8,658274	11,44477	6,884231
Jueves	18/1/2018	24 horas	870	1354	772	143598	198,9	304,4	176,7	11992,7	27,8539	27,3861	27,923	7,140831	11,11513	6,328117
Viernes	19/1/2018	24 horas	670	1417	450	178823	153,3	317,5	102,3	11933,9	27,9635	27,3157	27,8478	5,482146	11,62335	3,67354
Sábado	20/1/2018	24 horas	625	1413	400	168169	142,9	316,7	90,7	11313,9	27,9507	27,3201	27,7943	5,112573	11,5922	3,263259
Domingo	21/1/2018	24 horas	524	1302	220	132032	119,5	293,4	48,7	11475,7	27,9039	27,4466	27,3368	4,282555	10,68985	1,781481
Lunes	22/1/2018	24 horas	381	767	305	110116	86,2	175,5	68,5	10620,8	27,7695	27,9266	27,6366	3,104125	6,284331	2,478537
Martes	23/1/2018	24 horas	485	1109	363	112986	110,5	251,9	82	10254,8	27,8772	27,6951	27,7434	3,963813	9,095472	2,955658
Miércoles	24/1/2018	24 horas	955	1415	643	154494	217,9	317,1	147,1	11410,2	27,7965	27,3179	27,9563	7,839116	11,60777	5,261784
Jueves	25/1/2018	24 horas	958	1443	867	149142	218,6	322,9	198,2	10936,6	27,7945	27,2873	27,8559	7,864865	11,83334	7,115189
Viernes	26/1/2018	24 horas	1093	1138	1071	118807	248,4	258,2	243,6	11031,8	27,7057	27,6597	27,7202	8,965664	9,334881	8,787815
Sábado	27/1/2018	24 horas	1081	1119	935	132002	245,8	254,1	213,5	11352,4	27,7136	27,6872	27,8098	8,869292	9,177526	7,67715
Domingo	28/1/2018	24 horas	1128	1181	1019	169634	256	267,5	232,1	11914,4	27,6741	27,5998	27,7543	9,250527	9,692099	8,362668
Lunes	29/1/2018	24 horas	1038,94	1228,499	916,249	197324,8	236,5	277,8	209,2	11908,7	27,7412	27,5366	27,8226	8,525226	10,08839	7,519067
Martes	30/1/2018	24 horas	993,961	1482,591	586,227	200676	226,6	331,2	133,9	11257,5	27,7707	27,2442	27,9359	8,159679	12,15672	4,793116
Miércoles	31/1/2018	24 horas	874,905	1562,052	622,538	156656,6	200	347,3	142,4	10650,5	27,8504	27,1399	27,95	7,181225	12,79666	5,094812
Jueves	1/2/2018	24 horas	498,128	1065,93	380,773	221076,2	113,5	242,5	86,2	12622,4	27,8868	27,7235	27,7695	4,070026	8,747092	3,104125

Anexo 4. DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS INVERSOR SUNNY BOY 240-US.



Posición	Explicación
A	<p>Placa de características</p> <p>La placa de características identifica el inversor de forma inequívoca. La información de la placa de características le ayudará a utilizar el producto de forma segura y a responder a las preguntas del Servicio Técnico de SMA. En la placa de características encontrará esta información:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modelo (Model) • Número de serie (Serial No.) • Fecha de fabricación (date of manufacture) • Datos específicos del equipo
B	Conectores hembra para los conectores de enchufe de CA
C	Conector hembra para el conector de CC
D	<p>Adhesivo extraíble con el número de serie del inversor</p> <p>Para poder asignar los inversores de una planta fotovoltaica, por ejemplo en caso de fallo, puede pegar este adhesivo en el resumen de montaje incluido.</p>

Anexo 5. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE SUNNY MULTIGATE



Posición	Explicación
A	Lengüetas extraíbles para el montaje con tornillos
B	Borne roscado para la entrada de CA (inversor) Inscripción: Inverter
C	Leds El led superior señala el estado de funcionamiento del inversor. El led inferior señala el estado de funcionamiento del Sunny Multigate. Según el estado de funcionamiento, los leds se iluminan en verde, rojo, naranja, o están apagados (consulte el capítulo 4.3 "Señales de los leds", página 20).
D	Interfaz para la comunicación opcional
E	La placa de características identifica el Sunny Multigate de forma inequívoca. La información de la placa de características le ayudará a utilizar el producto de forma segura y a responder a las preguntas del Servicio Técnico de SMA. En la placa de características encontrará esta información: <ul style="list-style-type: none"> • Modelo (model) • Número de serie (serial no.) • Clave de registro para el Sunny Portal (RID) • Código de identificación del producto para el registro en el Sunny Portal (PIC) • Datos específicos del equipo
F	Borne roscado para la salida de CA (red pública) Inscripción: Grid
G	Hembra para la conexión del cable de red (RJ45)

Anexo 6. PRESUPUESTO DE FINANCIAMIENTO DE LA MICROGRID PARA LA UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN.

<i>N°</i>	<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Valor unitario (USD)</i>	<i>Valor Total (USD)</i>
1	Hojas	100	\$0.02	\$20.00
2	Insumos	10	\$2.00	\$20.00
3	Carpetas	6	\$0.60	\$3.60
4	Equipos	3	\$1114.80	\$1114.80
5	Transporte de Equipos de Quito a Cuenca		\$50.00	\$50.00
6	Montaje	1	\$100.00	\$100.00
TOTAL				\$1308.4

En la presente tabla se muestra cada uno de los costos para la implementación de nuestra Microgrid para la Unidad Académica.

**PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO
INSTITUCIONAL**

Nosotros **Diego Bismárck Maldonado Ordóñez** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° 0704771302 y **Edwin Geovanny Coraisaca Pugo** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° 0106012685. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “**Diseño de una Microgrid experimental para la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción mediante FV**” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 23 de enero de 2019

F: 
Diego Bismárck Maldonado Ordóñez
C.I. 0704771302

F: 
Edwin Geovanny Coraisaca Pugo
C.I. 0106012685