

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA
INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIEROS MECÁNICOS

TEMA
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PANELES SOLARES
FOTOVOLTAICOS CON CAPACIDAD DE 20 kW/mes PARA SER
UTILIZADOS EN INSTALACIONES INDUSTRIALES

AUTORES
LUIS ANTONIO AULESTIA MARTÍNEZ
MIGUEL STALIN CELI PANATA

TUTOR
CHRISTIAN ALEXANDER ANRANGO MEDINA

Quito, febrero del 2017

Cesión de derechos de autor

Nosotros Aulestia Martínez Luis Antonio, portador de la Cédula de Identidad N° 050250617-3 y Celi Panata Miguel Stalin, portador de la Cédula de Identidad N° 171700036-6 declaramos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales porque somos autores del Trabajo de Titulación: Implementación de un sistema de paneles solares fotovoltaicos con capacidad de 20 kW/mes para ser utilizados en instalaciones industriales, el mismo que ha sido desarrollado para la obtención del Título de Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento al momento en que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
Aulestia Martínez Luis Antonio
C.I. 050250617-3



.....
Celi Panata Miguel Stalin
C.I. 171700036-6

Quito, febrero del 2017.

Declaración de coautoría del docente tutor

Yo, Christian Alexander Anrango Medina declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS CON CAPACIDAD DE 20 KW/MES PARA SER UTILIZADOS EN INSTALACIONES INDUSTRIALES realizado por Aulestia Martínez Luis Antonio y Celi Panata Miguel Stali, obteniendo una producto que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como Trabajo Final de Titulación.

Quito, febrero 2017.



.....
Ing. Christian Alexander Anrango Medina M.Sc., M.E.R.
C.I.: 1714585237

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mi madre Sonia Panata por estar siempre en todos los momentos difíciles y alegres de mi vida, quien me ha enseñado muchos valores y con su amor incondicional me ha apoyado en absolutamente todo; de igual manera a mi padre Miguel Celi, quien me ha enseñado a exteriorizar lo mejor de uno; así las cosas se pongan difíciles. Él me enseñó a forjar el carácter y a valorar la vida.

A mis abuelitos, Laura y José quienes han sido mis segundos padres y me han dado tanto amor día a día.

A mis hermanos Andrés, Ariel, Karen, y, en especial, a Katty Maribel la que sin duda me ha enseñado a perdonar y me da lecciones de vida junto con mis sobrinas Valery y Damaris que con su inocencia y amor me inspiran a ser mejor.

A mis tíos Iván, Marcelo, Roberto y Patricio que han sido mis segundos hermanos a quienes agradezco por su confianza, consejos y aprecio.

A toda mi grandiosa familia que me estiman y que a la que amo profundamente.

Y, finalmente, a las personas que ya no están y que fueron parte clave de muchas decisiones de mi vida.

Miguel Stalin Celi Panata

Este proyecto va dedicado a mis padres, por su amor y esfuerzo.

A Mayra quien compartió junto a mí esta aventura desde el principio.

A mi hermana, quien me enseñó que pensar diferente significa ser diferente.

A David y Sebastián que me enseñaron a ver la vida desde otra perspectiva.

Luis Antonio Aulestia Martínez

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la prestigiosa Universidad Politécnica Salesiana por la culminación de este proyecto técnico.

A nuestro distinguido Tutor, el Ingeniero Christian Alexander Anrango Medina, por su gentil ayuda y por compartir con nosotros todos sus conocimientos de una manera desinteresada y responsable, por sus observaciones, y, sobre todo, por su total compromiso en la elaboración del presente proyecto hasta llegar a su ejecución.

A la vez a todos los docentes, colaboradores y funcionarios de la Carrera de Ingeniería Mecánica del Campus Kennedy que nos ayudaron en nuestra formación académica para servir de mejor manera a nuestra Patria.

Al Ingeniero William Quitiaquez, docente de la materia de Energía y Medio Ambiente de la Carrera de Ingeniería Mecánica, pues es la persona que incentiva durante su cátedra, semestre a semestre, al desarrollo de proyectos para utilización de fuentes de energías renovables.

A los Ingenieros Luis, Juan y Tomás Ibutés, con mucho cariño y respeto, porque han sido muy exigentes en sus tareas y porque sus cátedras magistrales siempre quedarán en nuestras mentes y porque nos han ayudado a ver la vida de diferente manera.

Al Gerente General de la empresa VIHUMONSAL de Almacenes MONTERO, el Ingeniero Víctor Hugo Montero Saltos por su preocupación por el medio ambiente y por su compromiso y ayuda con el presente proyecto, al ser el patrocinador total del mismo y permitirnos implementarlo en las instalaciones de las oficinas de esta prestigiosa empresa nacional.

A ustedes de corazón, muchas gracias

Luis Antonio Aulestia y Miguel Stalin Celi

ÍNDICE

1	GENERALIDADES DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	20
1.1	Antecedentes	20
1.2	Antecedentes en Ecuador	21
1.3	Fuentes Renovables de energía	23
1.4	Proyectos con paneles solares fotovoltaicos en Ecuador	24
1.5	Razones para continuar con el desarrollo de las tecnologías en energía solar	24
1.6	Energía Primaria.....	25
1.7	Energía primaria no contaminante o renovable.....	25
1.8	El Sol	25
1.9	Fundamentos de la energía solar fotovoltaica.	25
1.10	Energía solar fotovoltaica.....	26
1.11	Radiación Solar	29
1.12	Constante Solar.....	29
1.13	¿Qué es un panel fotovoltaico?	29
1.14	¿Cómo se fabrican las placas solares fotovoltaicas?.....	30
1.15	Especificación actual de generación eléctrica mundial y en el Ecuador	32
1.16	Evaluación de la radiación solar disponible	32
1.17	Centrales de generación fotovoltaica.....	33
1.18	Energía solar fotovoltaica.....	34
1.19	Insolación	34
1.20	Irradiación	34
1.21	Irradiancia.....	35
1.22	Tipos de paneles solares fotovoltaicos	35
1.22.1	Silicio mono cristalino.....	35

1.22.2	Silicio poli cristalino	35
1.22.3	Silicio amorfo	36
1.23	¿Cómo funciona un panel fotovoltaico?.....	37
1.24	Tiempo solar.....	38
1.25	Elementos de una central de generación fotovoltaica	38
1.26	Módulo fotovoltaico (Generador fotovoltaico)	39
1.27	Baterías (acumuladores)	40
1.28	Inversor (acondicionador o convertidor).....	40
1.29	Regulador de carga (controlador).....	41
1.30	Elementos de protección del circuito	42
1.31	Conceptos y ecuaciones consideradas en el cálculo de sistemas solares fotovoltaicos	43
1.32	Latitud (ϕ).....	43
1.33	Declinación (δ):	43
1.34	Inclinación (β)	44
1.35	Ángulo azimutal de la superficie (γ)	44
1.36	Ángulo horario (ω)	44
1.37	Ángulo de incidencia (θ)	44
1.38	Ángulo cenital (θ_z)	44
1.39	Ángulo de la altitud solar (α_s)	45
1.40	Ángulo azimutal del sol (γ_s)	45
1.41	Ángulo horario al atardecer (ω_s).....	45
1.42	Índice de claridad (KT).....	46
CAPÍTULO 2. Diseño del sistema fotovoltaico.....		47
2.1	Determinación de cargas de las oficinas del grupo Montero	48
2.2	Cálculo del recurso solar	48

2.3	Ángulo de inclinación de paneles.....	50
2.4	Orientación de los paneles.....	53
2.5	Selección del sistema de generación fotovoltaica	53
2.6	Distancia entre paneles	56
2.7	Soportes de los paneles.....	58
2.8	Selección del inversor de corriente.....	64
2.9	Selección del controlador o bypass	67
2.10	Selección de baterías	67
2.11	Dimensionamiento de los conductores	68
2.12	Dimensionamiento de las protecciones	69
2.13	Análisis de Costos	69
CAPÍTULO 3. MONTAJE DEL EQUIPO		77
CONCLUSIONES		83
RECOMENDACIONES		84
BIBLIOGRAFÍA		85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquematación del dominio de los factores de los combustibles fósiles..	23
Figura 2. Recurso Solar en Ecuador	28
Figura 3. Panel solar	30
Figura 4. Funcionamiento de celda fotovoltaica	31
Figura 5. Matriz de desarrollo productivo y sostenibilidad energética.....	32
Figura 6. Huertas Solares	33
Figura 7. Celda solar monocristalina	35
Figura 8. Celda solar policristalina	36
Figura 9. Celda solar de silicio amorfo	36
Figura 10. Dopado de unión N-P	37
Figura 11. Módulos Fotovoltaicos	39
Figura 12. Baterías utilizadas en instalaciones de sistemas de celdas fotovoltaicas..	40
Figura 13. Inversor de voltaje	41
Figura 14. Regulador de carga	42
Figura 15. Información de software PVsyst.....	47
Figura 16. Radiación Global ingresada en el software	49
Figura 17. Mapeo de ubicación de la instalación solar fotovoltaica	51
Figura 18. Datos de latitud y longitud de Quito.....	51
Figura 19. Trayectoria solar en Quito	52
Figura 20. Disposición de los paneles solares.....	53
Figura 21. Cargas mínimas para nieve de paneles solares	55
Figura 22. Distancia de separación entre filas de paneles solares.....	57
Figura 23. Recomendación de proveedor de paneles solares.....	57
Figura 24. Perfil del elemento de soporte de los paneles solares.....	58
Figura 25. Propiedades mecánicas y de sección del perfil.....	58

Figura 26. Cargas asignadas al perfil	59
Figura 27. Diagrama del elemento y de cargas.	60
Figura 28. Diagrama de Esfuerzo Cortante y Momento Flector	61
Figura 29. Esfuerzo de Von Mises	62
Figura 30. Factor de seguridad.....	63
Figura 31. Deflexión del elemento.....	64
Figura 32. Comparativo de posición de paneles solares	65
Figura 33. Validación de datos en PVsyst	66
Figura 34 Tabla de selección de calibre de conductor	68
Figura 35. Tarifas aprobadas por el CONECEL	71
Figura 36. Rendimiento esperado del sistema.....	72
Figura 37. Curva característica del sistema.....	73
Figura 38. Pérdidas del sistema.....	74
Figura 39. Energía pico producida por el panel solar	74
Figura 40. Pérdidas por fugas y autoconsumo	75
Figura 41. Tiempo estimado de retorno de la inversión.....	77
Figura 42. Dispositivos embalados	78
Figura 43. Revisión de paneles solares en el lugar de la instalación	79
Figura 44. Medición de generación de paneles solares.....	79
Figura 45. Ensamble de soportes de paneles solares.....	80
Figura 46. Montaje de paneles sobre la estructura.....	80
Figura 47. Modelo de panel ensamblado vista posterior	81
Figura 48. Conexión de los dispositivos antes del montaje	81
Figura 49. Verificación del voltaje requerido para alimentar el sistema	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-I Cargas del sistema en las oficinas de la empresa	48
Tabla 2-II Horas solares pico en Quito	49
Tabla 2-III Coordenadas y características geográficas y climáticas de Quito	50
Tabla 2-IV Ángulos recomendados de inclinación para paneles solares	52
Tabla 2-V Descripción y cantidad de paneles solares usados en el sistema FV	56
Tabla 2-VI Sumario de resultados de la simulación	59
Tabla 2-VII Deflexiones recomendadas en elementos estructurales y partes de máquina	63
Tabla 2-VIII Datos del inversor de corriente	66
Tabla 2-IX Datos técnicos de batería seleccionada.....	68
Tabla 2-X Tabla de amortización del préstamo	70
Tabla 2-XI Datos de generación anual del equipo	75

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación (2.1)	49
Ecuación (2.2)	53
Ecuación (2.3)	56
Ecuación (2.4)	57
Ecuación (2.5)	62
Ecuación (2.6)	63
Ecuación (2.7)	67
Ecuación (2.8)	69
Ecuación (2.9)	69
Ecuación (2.10)	71

RESUMEN

El presente proyecto trata de la implementación de un sistema de paneles solares fotovoltaicos con capacidad de 20 kW/mes para ser utilizados en instalaciones industriales. Se elaboró un marco teórico fundamentado en fuentes bibliográficas tales como libros, revistas y artículos científicos tomados como bases de datos virtuales, con esto se logrará una correcta evaluación del funcionamiento del mismo. Las partes y componentes del sistema fueron dimensionados mediante cálculos para garantizar la salida de la potencia establecida, como por ejemplo, la salida de voltaje de los paneles solares debe ser < 50 voltios en corriente directa para ingresar al controlador para suministrar de energía a las dos baterías de 12 voltios y 100 amperios-hora. El controlador suministra esta corriente directa al inversor de 24 voltios y este dispositivo, inmediatamente, produce energía eléctrica de 110 voltios en corriente alterna, se estima que con el mantenimiento adecuado del sistema, este tendrá una vida útil de 25 a 30 años según recomendación del fabricante.

La inversión del presente proyecto se centra en la mitigación del impacto ambiental con el fin de poseer la suficiente información para la solución a futuro del problema de contaminación ambiental al reducir en un pequeño porcentaje la emisión de gases tóxicos por la generación de electricidad producidos por la quema de combustibles fósiles de plantas termoeléctricas en el país. Según artículos científicos se conoce que cada kW generado con cualquier sistema de fuentes de energía renovable corresponde a una tonelada de emisión de dióxido de carbono, por lo tanto, es beneficioso para el ambiente.

Es importante recalcar que las fuentes de energía renovables como la solar, la eólica, la hidráulica, la biomasa, la geotérmica, entre otras, son viables por la alta cantidad de potencial energético que dispone el país por su ubicación geográfica.

La ciencia y tecnología avanza, día a día, de una manera acelerada, tal es el caso, que dispositivos tan complejos como los que se usan en el presente proyecto generan electricidad, lo que hace unos cuantos años atrás no se hubiera pensado.

Palabras claves: implementación, sistema, paneles solares, instalación, industriales.

ABSTRACT

This Project focuses on the implementation of a photovoltaic solar panel system with a capacity of 20 kW / month; that industrial installations will use it. Bibliographic sources such as books, journals and scientific articles were used to develop its theoretical framework, those were taken from virtual databases; its right evaluation of the functioning will be achieved by the information given before. The different parts and components of the system have been dimensioned through some special calculations to guarantee the output of the established power.

For example, the output voltage of the solar panels must be <50 volts into the direct current to come into the controller, it must supply power to the two batteries of 12 volt and 100 ampere-hour. The controller will supply this direct current to the 24 volt inverter, so this device will immediately produce 110 volt, electrical power in alternating current, that's why, it has been estimated that its useful life will be around 25 to 30 years with an adequate maintenance of the system, according to the supplier.

The investment of the this Project focuses on the mitigation of the environmental impact in order to achieve enough information for a possible solution of the environmental pollution problem in the future by reducing in small percentage the emission of toxic gases in the generation of electricity produced by the burning of fossil fuels from thermoelectric plants in the country.

Every kW generated with any system of renewable energy sources corresponds to a ton of carbon dioxide emission according to scientific articles; therefore, it is beneficial for the environment.

It's important to emphasize that renewable energy sources such as wind, hydropower, biomass, geothermal, among other are viable due to the high amount of energy potential available to the country due to its geography location.

Everyday Science and technology are updated in an accelerated way, such as, some complex |ented some years ago.

Keywords: Implementation, system, solar panels, installation, industrial.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, el hombre ha soñado con una fuente de energía infinita. Desde la aparición del fuego, la humanidad ha tratado de usar la mayor cantidad de fuentes no convencionales de energías renovables (solar, eólica, hidráulica, geotérmica, biomasas, entre otras) para obtener un gran beneficio. En las últimas décadas, la inevitable necesidad de mitigar los problemas ambientales como el calentamiento global, la contaminación ambiental, los residuos radioactivos, las lluvias ácidas, la contaminación atmosférica, el efecto invernadero, entre otros, han hecho que miremos hacia las estrellas, una de las más cercanas, el sol; denominado como el astro rey de nuestro Sistema Solar, el cual produce la energía suficiente en un día como para satisfacer la demanda de varios años de la humanidad. En varias investigaciones y artículos científicos se afirma que la radiación absorbida en un año por la Tierra equivale a 20 veces la energía almacenada en todas las reservas de combustibles fósiles en el mundo y 10000 veces superior al consumo actual. Por lo tanto, es aquí donde entra la ingeniería para el bien de la humanidad frenando o reduciendo la contaminación provocada por la quema de combustibles fósiles y proporcionando el conocimiento generalizado para que posea herramientas necesarias para la construcción e implementación de sistemas que sean amistosos con el ambiente como por ejemplo el de paneles solares fotovoltaicos para la generación de electricidad bien sea para hogares, industrias, negocios, comercios, entre otros.

Para lo cual se pretende compensar el aumento de la progresiva demanda de energía. Hoy por hoy, es un desafío enorme a nivel global porque transformándola al carácter de sustentable, alrededor del 80 % de la energía que se consume en los hogares e industrial deriva de la quema de combustibles fósiles e hidrocarburos derivados del petróleo, tomando en cuenta la efímera cantidad de estos recursos y su incidencia directa con el efecto invernadero, la contaminación del aire, destrucción de grandes extensiones de bosques y reservas forestales con graves consecuencias para la vida del planeta; por esta razón, el desarrollo de energías alternativas ha estado en auge en los últimos años.

La constante emisión de gases tóxicos a la atmósfera, producidos por la quema de combustibles fósiles son utilizados para producir energía eléctrica y térmica, aunque producen enfermedades, las cuales son asociadas con la contaminación atmosférica

como por ejemplo conjuntivitis, faringitis, cefaleas, bronquitis asmática, insuficiencia cardíaca, enfermedades pulmonares, entre otras y que pueden ser mitigadas mediante técnicas amigables de generación de energía con el ambiente.

Según estudios recientes se estima que, actualmente, siete millones de personas en Perú y un millón en Ecuador, aproximadamente, carecen de acceso a la red de energía eléctrica siendo una limitante para el desarrollo y confort de esta población.

En el Ecuador muy pocas empresas fomentan el uso de fuentes renovables de energía, las cuales pueden ser aprovechadas y así disminuir el consumo eléctrico facturado y la emisión de dióxido de carbono (CO₂) para así reducir la carga de contaminantes al ambiente y apoyar a su preservación.

El cambio climático amenaza a todo el planeta como lo menciona el Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017 en donde se indica que el clima del Ecuador Continental del año 2013 es distinto al clima del Ecuador Continental del año 1963, principalmente, en las temperaturas superficiales las cuales se han ampliado en aproximadamente el país entero. Producto de esto, a lo largo de los Andes y la Región Amazónica son las reducciones de precipitación. Está en manos de las acciones que se cimienten para la mitigación del cambio climático.

Con la presente investigación se busca contribuir con un porcentaje de la demanda eléctrica que presenta el sector industrial y/o comercial del país, a través de la instalación de un sistema de generación de electricidad a base de paneles solares fotovoltaicos.

En Ecuador, la implementación de sistemas de generación energética está poco implementada a nivel industrial y comercial debido a la falta de preocupación y compromiso para estos distintos sectores, a pesar de que la implementación del mismo puede reducir considerablemente el consumo eléctrico en los sectores productivos, mediante la aplicación y cumplimiento de parámetros de eficiencia energética.

En el ANEXO 1 se observa un diagrama causa-efecto para la obtención de energía solar mediante paneles solares fotovoltaicos enfocados a la protección del medio ambiente.

GLOSARIO

- **Energía renovable:** Se conoce como energía renovable a todo tipo de energía que se consigue de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la colosal cantidad de energía que abarca o porque son capaces de recobrase por medios naturales [4].
- **Energía solar:** La energía solar es la energía emanada por el sol y que es evolucionada en energía útil por el ser humano, su utilización varía entre: calentar algo o producir electricidad (como sus principales aplicaciones), además de ser un factor determinante en la existencia de vida y ser el motor que impulsa el movimiento de colosales masas de aire y viento en nuestro planeta [4].
- **Panel solar fotovoltaico:** El panel solar fotovoltaico es el dispositivo que transforma la energía en forma de radiación (fotones) proveniente del sol en energía eléctrica de corriente continua (DC). Se fundamenta en el efecto fotovoltaico [5]. Para que el panel solar fotovoltaico sea eficiente al 100% debe mantenerse en una temperatura de 25 °C [6].
- **Inversor de corriente:** A estos dispositivos se los conoce también como convertidores, se caracterizan por diferenciar el voltaje de entrada de corriente continua (DC) proveniente de las baterías a un voltaje de salida de corriente alterna (AC) el cual es correspondiente [7]. Está constituido por un sinnúmero de circuitos electrónicos los cuales priorizan la eficiencia del circuito y disminuyen las pérdidas que se encuentran en un rango del 10 a 15 % en este tipo de dispositivos [8].
- **Batería de ciclo profundo:** Conocidas también como acumuladores, estos dispositivos son los encargados de almacenar la energía eléctrica correspondiente a la generación de los paneles solares fotovoltaicos los cuales son equipos conversores de energía (efecto fotovoltaico), para después ser aprovechada en las distintas cargas eléctricas, son diseñadas para soportar las constantes series de carga y descarga del sistema, su funcionamiento es basado en un proceso electroquímico de oxidación/reducción. Generalmente estos dispositivos presentan mayor desgaste en un sistema solar fotovoltaico [8].

- **Controlador (Regulador):** Se lo conoce como unidad de control es un dispositivo encargado de transferir y controlar la cantidad de energía que ingresa a la batería y asimismo hacia el inversor [9]. Interviene en el ciclo de carga y descarga del banco de baterías a la vez su función principal es de preservarlas en caso de presentarse una sobrecarga o exagerada descarga. En caso de presentarse una sobrecarga esto ocasiona una reducción de la vida útil de la batería, crea el riesgo de explosión o incendio de la misma. Este dispositivo cierra en forma instantánea el flujo de corriente eléctrica desde y hacia el banco de baterías [8].
- **Conductor:** Son aquellos elementos que permiten un flujo productivo de electrones con muy poca fuerza externa aplicada (voltaje). Los mejores conductores tienen sólo un electrón en la órbita de valencia (la más alejada del núcleo) esto quiere decir que permiten un flujo de electrones con muy poca resistencia, en otras palabras, no se oponen al flujo de energía [10].
- **Consumo eléctrico:** Para censar el gasto de un aparato eléctrico se lo relaciona con el número de Vatios hora (Wh) o Kilovatios hora (kWh) por un determinado tiempo. Se debe considerar principalmente la potencia de la carga (aparato) y del tiempo que esté funcionando [9].
- **Potencia eléctrica:** Se conoce a la cantidad de trabajo realizado en la unidad de tiempo, esto es la capacidad que poseen los aparatos eléctricos para generar trabajo mecánico. Su módulo de medida es el Vatio (W), el kilovatio (kW) o el megavatio (MW) dependiendo su utilización [9].
- **Radiación solar:** La energía producida por el sol es conocida como energía solar o radiación solar, la Tierra recibe aproximadamente 180×10^6 GW de energía, esto varía dependiendo de la posición geográfica [11]. La radiación percibida y absorbida en la superficie de la Tierra es el resultado de la interacción de energía entre los procesos de la atmósfera y la superficie emanada de la superficie del sol [12]. Cuando la luz del sol irradia sobre un objeto, este absorbe, refleja y transmite la radiación solar [13].

- **Insolación difusa:** También conocida como radiación difusa, es una parte de la radiación solar la cual se denomina difusa por no obedecer una sola trayectoria y ésta va en todas direcciones. Dependiendo de la posición ciertas superficies perciben más o menos radiación difusa siendo las de posición horizontal las que perciben mayor radiación difusa y las de posición vertical las que perciben la mitad de la misma [14]. Este tipo de radiación es resultado no solo de las nubes sino del resto de fenómenos de reflexión y refracción solar que existe en la atmósfera [5].
- **Insolación Directa:** Es la parte de la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra sin perder su recorrido lineal desde el disco solar, se identifica este ejemplo de radiación por proyectar una sombra determinada de las superficies de objetos que la interceptan [15]. Se obtiene sin reflexiones o refracciones en su paso lineal [5].

CAPÍTULO 1

1 GENERALIDADES DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

1.1 Antecedentes

La energía solar fue utilizada en la antigüedad en diferentes aplicaciones, desde la agricultura, calendarios, instrumentos para calcular tiempo, hasta las mismas guerras, un ejemplo de esta fue en el año 212 a.C. en donde el físico, inventor, ingeniero y matemático griego Arquímedes de Siracusa atacó mediante un mecanismo de reflexión de luz solar a varias embarcaciones romanas, encendiéndolas y sacando ventaja en la batalla. El hombre siempre ha dependido de la energía para su supervivencia, como, por ejemplo: energía en forma de radiación solar para desarrollar ciertas funciones biológicas, ciclos del agua, carbono, azufre, hidrógeno, entre otras, la fuerza motriz del viento y del agua para movimiento de generadores de electricidad. Durante décadas se ha sentido la dependencia del petróleo como combustible de diferentes tipos de transportes ya sean terrestres, marítimos o aéreos y como combustible para la generación de electricidad en plantas eléctricas. Cabe citar que el carbón a principios del siglo XX fue utilizado como el generador energético principal el cual cubrió en un 70 % aproximadamente las necesidades globales en ésta época. Las necesidades pasadas, presentes y futuras de energía son concluyentes por tres causas principales: el incremento de la población, el progreso económico y el avance tecnológico [5].

Hace pocos años la utilización de energía solar fotovoltaica no era trascendente en el mundo, actualmente existe normas y leyes las cuales se enfocan a la toma de conciencia para el cuidado y preservación del ambiente, junto con ello las crisis energéticas, calentamiento global y por diversos motivos, actualmente, varios gobiernos han apuntado al apoyo del desarrollo e implementación de energías alternativas, entre ellas la energía solar fotovoltaica. Como muestra de esta preocupación de varios gobiernos del mundo, se ha implementado El Código Técnico de la Edificación, el mismo que fue publicado en el año 2006 con el fin de “ahorro y energía” en el cual exige a las nuevas edificaciones a poseer acceso a este tipo de energías alternativas [16].

1.2 Antecedentes en Ecuador

El Ecuador es uno de los países que ostenta riqueza en energías renovables pero que lamentablemente por falta de tecnología siempre ha dependido de las hidroeléctricas para satisfacer su consumo eléctrico [4]. El régimen del Ecuador se ha encaminado al cambio de matriz energética en donde se desarrollan fuentes de energías alternativas y renovables que certifiquen: sostenibilidad, innovación y menor impacto ambiental en su plan, implementación y subsiguiente control y monitoreo adecuado [16]. Uno de los cimientos más importantes en la actualidad es la de defender los recursos naturales ya que en el pasado empresas extranjeras explotaban los mismos y lucraban desmesuradamente sin importar las pocas ganancias y el impacto ambiental que dejaban en el país [2].

La viabilidad de los paneles solares fotovoltaicos se da por la realidad mundial en la cual el 25 % de la población priva de acceso a energía eléctrica, específicamente, en ambientes apartados (rurales), comunidades de la selva, cordilleras o islas, instalaciones meteorológicas, repetidoras de señal en las comunicaciones, entre otras, lugares donde existe poca demanda de energía eléctrica y tener acceso a la red eléctrica es complejo y muy costoso [16]. Gracias a su ubicación geográfica el Ecuador tiene diariamente un aproximado de seis horas de luz solar perpendicular [5].

Existen varios tipos de fuentes de energía limpia como por ejemplo la energía eólica, energía solar fotovoltaica, energía geotérmica, biomasa, mareomotriz, vórtice gravitacional (generación de energía eléctrica a partir de un remolino de agua), entre otras y se debe considerar la geografía y el impacto ambiental al planificar la implementación de alguna de ellas en los diferentes proyectos a construir según las necesidades de generación del mismo [3].

La energía solar fotovoltaica ha crecido de manera acelerada en las últimas décadas en comparación de las otras fuentes de energías renovables gracias a poseer un sinnúmero de ventajas, entre ellas es que se la encuentra en casi la totalidad del globo terráqueo, no emite ruidos, es virtualmente inagotable, la facilidad de instalación, no generan emisiones tóxicas al ambiente y lo más importante es que no demandan un complejo mantenimiento, entre otras [1].

Una de las actuales políticas en Ecuador del sector energético es estratégico y en esta visión exhorta el desarrollo del mismo y que debe certificar el equipamiento energético basado en la explotación responsable de recursos renovables como son: energía solar, eólica, geotérmica, de biomasa, mareomotriz; estableciendo la generación de energía eléctrica como las principales alternativas sostenibles en el largo plazo considerando las realidades y políticas de sectores como el de la matriz productiva [17].

Ecuador se identifica por generar energía eléctrica en sus centrales hidroeléctricas las cuales respaldan al Sistema Nacional Interconectado el mismo que proporciona de energía eléctrica a los habitantes del país, por tal motivo es trascendente la implementación y obtención de energías limpias asociando así la correcta y responsable explotación de recursos naturales no renovables como es el petróleo, y cambiarlo por la utilización de fuentes de energías renovables autosustentables a partir de procesos de producción no invasivos que generen un impacto mínimo referente al medio ambiente y la geografía del país [16].

En el Ecuador la implementación de un sistema de generación eléctrica a base de paneles solares fotovoltaicos, esta poco implementado a nivel industrial y comercial, debido al desconocimiento del funcionamiento y bondades que ofrece este tipo de tecnologías “nuevas”.

Entre las técnicas para amplificar la capacidad de generación eléctrica con fuentes renovables de energía el estado ecuatoriano inició la construcción de 4 centrales de generación renovable no convencional (Ecoelectric, San Carlos, Ecudos y Villonaco) contando como proyectos emblemáticos (Coca Codo Sinclair, Minas San Francisco, Delsintanisagua, Manduriacu, Mazar Dudas, Toachi Pilatón, Quijos y Sopladora), muchos de los cuales se encuentran en fases avanzadas de construcción y finalizados, estas centrales hidroeléctricas estatales son de pequeña, mediana y gran capacidad (1-1100 MW) [18]. Entre estos proyectos la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair con capacidad para producir 1500 MW ubicada en la Amazonía del país (Napo y Sucumbíos) fue recientemente inaugurada el 18 de noviembre del 2016 por el Presidente de la República Rafael Correa junto con su homólogo chino Xi Jinping los cuales presionaron los pulsadores de encendido y de inmediato entraron en funcionamiento las ocho turbinas de la planta [19].

1.3 Fuentes Renovables de energía

Las fuentes renovables de energía se recuperan en un período corto a diferencia de las fuentes no renovables como el petróleo por ejemplo (millones de años) [5]. Al referirse a fuentes renovables de energía, quiere decir que su potencial es inagotable [8], y se encuentra de manera poco común en el mundo, su uso está aún limitado, no desarrollado tecnológicamente en su totalidad y sus altos costos para ser implementados en gran progresión es uno de sus principales inconvenientes. Entre las energías no convencionales con mayor potencialidad en el país se tiene: la energía solar, la biomasa y la geotermia [18]. Cabe mencionar que la implementación de un sistema de fuentes renovables de energía no es rentable inmediatamente [4].

Entre varias tácticas se busca el lanzamiento de industrias nuevas no contaminantes y la multiplicidad de las exportaciones e importaciones basadas en bio-productos y servicios ecológicos que reduzcan la influencia sobre el medio ambiente a largo plazo considerablemente [2].

El campo de los combustibles fósiles se fundamenta en dos factores:

- Densidad
- Conveniencia

En la Figura 1 se evidencia la equivalencia correspondiente de energía solar en comparación con la producida por gasolina.

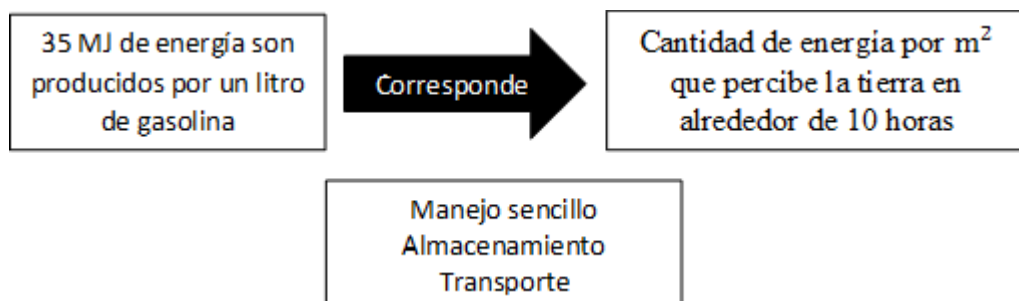


Figura 1. Esquematización del dominio de los factores de los combustibles fósiles [20].

La caducidad de producción petrolera en los campos de mayor producción, campos conocidos como maduros, exige a vaticinar el escenario futuro del deterioro del recurso petrolero e indagar alternativas de disponibilidad de recursos energéticos. En 2030, la oferta de electricidad se complementará con la implementación de pequeños proyectos de generación de energía con fuentes renovables tales como la fotovoltaica, la eólica, la biomasa y la hidroelectricidad [2].

Es importante ser pioneros de proyectos que sean amigables con el ambiente en el país ya que en un futuro, no muy lejano, los métodos de generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables de energía será una exigencia ambiental la que se normalizará en la Legislación Ambiental Ecuatoriana. El artículo 15 de la Constitución Política del Ecuador menciona que el estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de carácter obligatorio de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto [21].

El Ecuador durante los últimos seis años, ha cimentado bases para cubrir la demanda de electricidad nacional con manufactura propia fundamentada en energías de fuentes renovables, principalmente de la hidroeléctrica [2].

1.4 Proyectos con paneles solares fotovoltaicos en Ecuador

El Ecuador posee índices favorables de radiación solar para ser aprovechada en generación o aprovechamiento de energía solar.

Entre los proyectos fotovoltaicos de Ecuador se encuentran:

- “Kapawi” Hotel Ecológico ubicado en el Oriente ecuatoriano.
- Sta. Cruz Garden complejo turístico ubicado en Galápagos.
- Paradas ecológicas en Quito.

1.5 Razones para continuar con el desarrollo de las tecnologías en energía solar:

- Mitigación de la contaminación para reducir el efecto invernadero.
- Localidades independientes de países exportadores de combustibles fósiles.
- La proximidad de llegar al pico de la producción de petróleo.
- Los problemas existentes para la extracción de los combustibles fósiles.
- Demanda de iniciativa de soporte [20].

1.6 Energía Primaria

Se conoce como energía primaria a la que se consigue de las fuentes en origen, sin intervalo de alteración intermedio, como, por ejemplo, la energía que abarca un barril de petróleo [16]. Toda representación de energía aprovechable previamente sin ser transformada es energía primaria [4]. Según investigaciones científicas la mayor cantidad de energía primaria que se consume a nivel global deriva de combustibles fósiles como el petróleo, carbón y gas natural llegando a ser un 93 %, lo alarmante es que la misma se agotará en un período de tiempo relativamente corto [16]. Este tipo de energía se presenta de dos formas: energía renovable y no renovable [4].

1.7 Energía primaria no contaminante o renovable

El Sol, viento, biomasa e hidráulica son los principales recursos energéticos no contaminantes [16]. La aplicación de energía renovable es cada vez más común en nuestro medio, debido a la conciencia ambiental, y porque son la alternativa del futuro frente a las energías convencionales [22], dado que la generación de energía mediante combustibles fósiles es la principal fuente de contaminación del mundo [23].

1.8 El Sol

La vida del coloso astro es de aproximadamente cinco millones de años [4]. La composición del Sol es de 90 % de hidrógeno, 7 % de helio y aproximadamente un 3 % del resto de elementos químicos, dentro del mismo se realizan millones de reacciones nucleares por medio de la fusión. El aprovechamiento del sol se enfoca a la captación térmica y fotovoltaica [16]. El sol es el que origina la materia orgánica la cual es vital para la vida, la fotosíntesis es un claro ejemplo de la utilización de la energía emanada del astro rey [5].

1.9 Fundamentos de la energía solar fotovoltaica.

La base de esta fuente de energía es el efecto fotoeléctrico. Efecto descubierto por Becquerel en 1839 [24]. En donde mediante la generación de un proceso químico de los paneles solares fotovoltaicos se consigue energía en forma de electricidad [7]. Una de las fuentes más apropiadas para ser utilizada en la ciudad de Quito es la energía solar fotovoltaica por su ubicación geográfica en el país [8]. Ciertos materiales absorben la luz, y la energía de los fotones excita a los electrones del material incitando a que algunos de ellos salgan de sus lugares lo que genera cargas negativas,

correspondidas a los electrones desalojados, y cargas positivas, correspondidas a los huecos dejados por los electrones [24].

Sus características son:

- Conciben electricidad directamente de la radiación solar.
- Los colectores son llamados paneles fotovoltaicos (PV).
- Construidos de obleas finas de material fotovoltaico [20].

La energía fotovoltaica actualmente se encuentra en rápido perfeccionamiento a nivel mundial. Es por su hábitat escalable y limpia y, en circunstancias favorables, ya puede pugnar sin asistencias [25]. Según estudios se confirma que los sistemas de generación de energía solar fotovoltaica (dispositivos) pueden llegar a durar por tres décadas [14].

Actualmente, las células fotovoltaicas en su mayoría son constituidas de silicio monocristalinos de gran pureza, el cual se obtiene de la arena la que es predominante en la naturaleza. Cabe mencionar que el tratamiento para la purificación del silicio es aún muy costoso en estos días [26]. Aunque, actualmente, los costos sigan disminuyendo, en un futuro no muy lejano esta tendencia continuará hasta ser accesible a toda la humanidad [14].

Mencionado esto, [27] afirma que, a lo largo de los 10 últimos años, la capacidad fotovoltaica ha crecido en el mundo a una tasa estable de dos cifras. La capacidad instalada ha crecido 10 veces, y ha logrado llegar desde unos 15 GW en 2008 hasta más de 170 GW a finales de 2014. En 2014 la inversión anual total a nivel mundial culminó sobre los 83.000 millones de dólares.

1.10 Energía solar fotovoltaica

Se define como energía solar fotovoltaica al proceso de obtención de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos. Los módulos o colectores fotovoltaicos están conformados por dispositivos semiconductores tipo “diodo”, los cuales al acoger radiación solar mediante un proceso químico se excitan y provocan saltos electrónicos; esto se conoce como efecto fotoeléctrico [28]. Los electrones de la célula fotovoltaica atraen la energía de la luz absorbiéndola y ciertos electrones salen al exterior produciendo corriente eléctrica continua [29]. Al originarse este fenómeno se genera una pequeña diferencia de potencial en sus extremos [28]. La energía solar fotovoltaica

ha logrado posicionarse como una de las tecnologías en desarrollo constante durante los últimos años, asimismo, como el resto de fuentes de energías renovables [29].

La radiación solar existe en el Planeta como resultado de la captación de radiaciones electromagnéticas procedentes del espacio y específicamente del sol. La superficie de nuestro Planeta absorbe solamente una parte de esta energía radiante, aproximadamente un 15 %, el resto de energía radiante la refracta a la atmósfera. A este fenómeno se lo conoce como constante solar [5]. Su valor aproximado es: 1368 W/m^2 con una tolerancia estimada de $\pm 1.5 \%$ [30]. El sol es uno de los recursos más confiables para garantizar la seguridad energética. Se conoce que la cantidad de energía solar que alcanza la superficie de la Tierra podría suministrar todas las necesidades energéticas del planeta [31].

El Ecuador tiene altos niveles de radiación solar, como se ilustra en la Figura 2 según el Atlas Solar del Ecuador donde se detalla minuciosamente las especificaciones de radiación. La participación de esta fuente para cubrir la demanda energética nacional es mínima, por lo que el país está perdiendo la oportunidad de convertir a la energía solar en la tercera fuente de energía, luego del petróleo y la hidroelectricidad [31].

Japón en el año de 1994 fue el primer país que incentivó la implementación de las viviendas y las industrias con generadores fotovoltaicos [28].

Para obtener la máxima energía de un panel solar es necesario operarlo en el punto de máxima potencia, donde el producto de la tensión fotovoltaica generada y la corriente extraída es un máximo. En operación normal este punto cambia continuamente, lo que requiere de un sistema de seguimiento del punto de máxima potencia para optimizar la operación del panel, esto se podría alcanzar con una estructura que se mueva ligeramente según la trayectoria del sol durante el día [32].

Alemania al igual que Japón continuó con la investigación de este tipo de sistemas de generación de electricidad con energía solar fotovoltaica y su proyección establecida fue 100.000 techos solares por una ley llamada: ley de Fuentes de Energía Renovable (EEG) [28].

Se ha demostrado que el algoritmo “perturbar y observar” (P&O) es adecuado para el seguimiento del punto de máxima transferencia de potencia sobre este sistema [32].

En Ecuador debido al crecimiento poblacional se ha incrementado el gasto energético y ya que la construcción de centrales hidroeléctricas (algunas ya entregadas por el gobierno) es un proceso que conlleva varios años, se ha incrementado la dependencia de la quema de combustibles fósiles e importaciones energéticas. Hasta 2010, la energía eléctrica generada fue aportada por las centrales hidroeléctricas ya existentes, pero cerca del 45 % derivó de centrales de generación energética no renovable [6], los recursos renovables ofrecen la oportunidad de obtener energía para diversas aplicaciones [23].

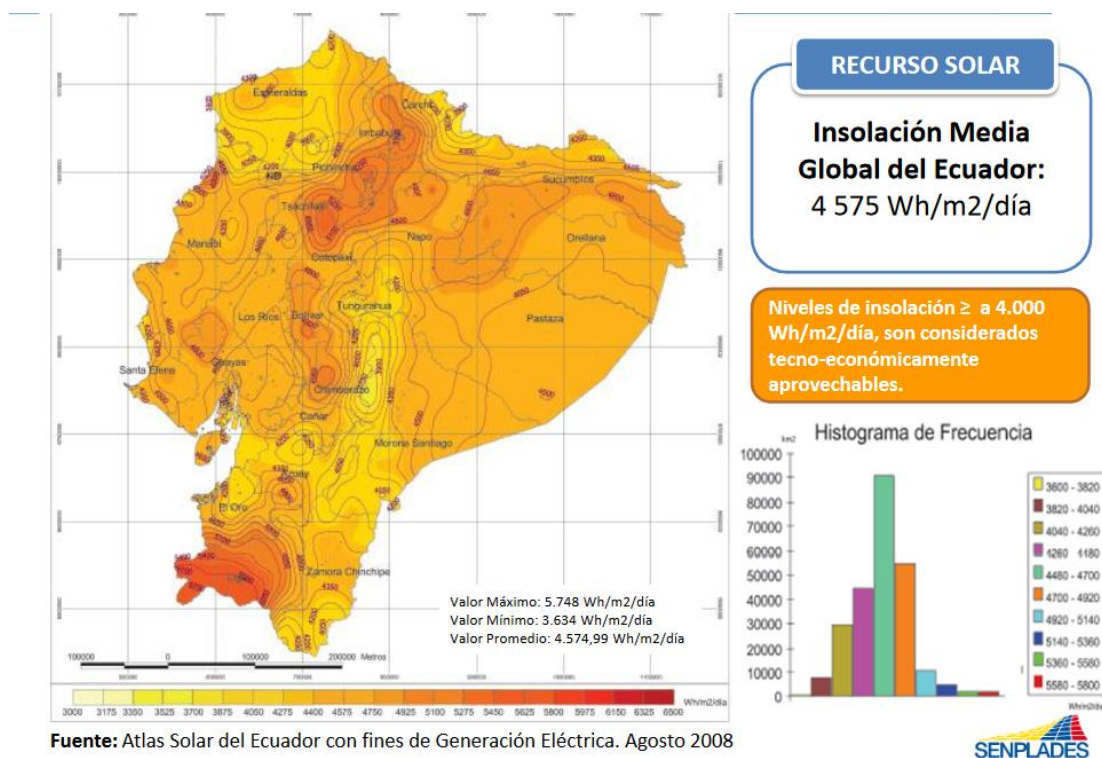


Figura 2. Recurso Solar en Ecuador [33].

La primera celda fotovoltaica fue construida en 1984 por los laboratorios Bell, se concluyó que fue una batería solar de muy alto costo, en la década de los 60's, la industria espacial usaba esta tecnología para proporcionar electricidad a las naves espaciales, a partir de los 90's se empezó a usar los paneles en aplicaciones de energía fotovoltaica [34].

1.11 Radiación Solar

- La radiación solar que percibe a la Tierra (fuera de la atmósfera) es de 1368 W/m^2 (constante solar).
- El total de energía que recibe la Tierra del sol en tan solo 1 hora y 25 minutos, es capaz de abastecer el consumo mundial de energía de un año.
- La radiación solar posee dos componentes:
 - a. Radiación directa: Es la energía que se recibe sin dispersión sobre la superficie terrestre.
 - b. Radiación difusa: Es la energía que cambia de dirección por la dispersión que sufre en su paso por la atmósfera.
- La radiación global es la suma de la radiación directa y difusa que se recibe en la superficie terrestre.

La composición de los rayos solares es: 10 % ultravioleta, 40 % luz visible y 50 % infrarroja. La atmósfera dispersa y absorbe parte de la energía solar. La radiación infrarroja es absorbida por el vapor de agua y el CO_2 , la ultravioleta es absorbida por el ozono y el 9.5 % de la radiación solar es luz visible e infrarroja. En las regiones húmedas del Ecuador, la componente difusa predomina, por lo que se recomiendan los sistemas PV y calentadores de agua [20].

1.12 Constante Solar

Es la energía del sol por unidad de tiempo recibida por unidad de área de una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación, a una distancia promedio entre la Tierra y el sol, fuera de la atmósfera [20].

1.13 ¿Qué es un panel fotovoltaico?

Una celda fotovoltaica es un dispositivo que permite transformar la energía luminosa (fotones) en energía eléctrica (electrones) [35], ya sea directamente vía efecto fotovoltaico, o indirectamente mediante la previa conversión de energía solar a calor o energía química [22], los paneles fotovoltaicos destinados a la generación energética

están compuestos por celdas fotovoltaicas, las cuales están constituidas por materiales semiconductores en los que artificialmente se ha creado un campo eléctrico constante [6], estos paneles se colocan dependiendo de la demanda presente o de la cantidad de energía que se requiera producir tal como lo ilustra la Figura 3.



Figura 3. Panel solar [36].

Los valores del voltaje del panel solar fotovoltaico varían durante las horas del día por motivos diversos, uno de ellos el clima, el cual gobierna en la cantidad de radiación que incida sobre los mismos [6].

1.14 ¿Cómo se fabrican las placas solares fotovoltaicas?

Una placa solar recibe radiación del sol y mediante la utilización de sustratos de semiconductores basados en silicio convierte los fotones en electrones los cuales después de un proceso de inversión generan primero una corriente continua que se convierte en corriente alterna y se utiliza en la red eléctrica [37]. En la Figura 4 se ilustra el funcionamiento de las celdas fotovoltaicas.

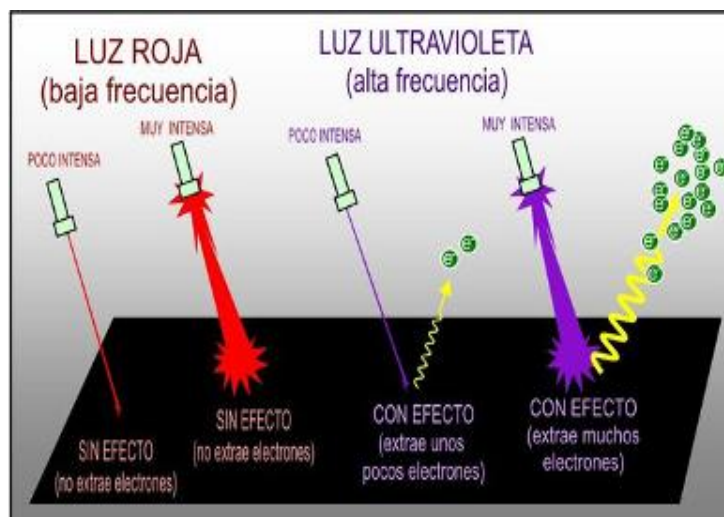


Figura 4. Funcionamiento de celda fotovoltaica [38].

El elemento principal de un panel solar es la célula solar la cual genera electricidad. Su vida útil es de 25 años aproximadamente, los materiales principales de protección de la célula solar es el vidrio, luego se le protege con polímeros. Las células van dentro de un encapsulante, el cual mediante un proceso de extracción de aire se lo deja al vacío, el cual las protege con mucha eficacia. Se sueldan mediante lámparas infrarrojas. Se realiza un tratamiento térmico de laminado para garantizar la vida útil de los paneles para que al momento de exponerse a una elevada temperatura no se deformen los materiales que constituyen el panel solar fotovoltaico. [37].

También se fabrican de la siguiente manera:

Las celdas fotovoltaicas comerciales se fabrican con lingotes de silicio de alta pureza (material muy abundante en la arena). El lingote es rebanado en forma de placas delgadas llamadas obleas. El espesor típico usado es del orden de 0.3 mm. Una fracción muy pequeña de tal espesor es impregnado con átomos de fósforo. A esta capa se le conoce como tipo-n. El resto de la oblea es impregnado con átomos de boro y se forma la capa conocida como tipo-p. Estas capas forman un campo eléctrico (voltaje interno construido) dentro de la oblea y cerca de la superficie que recibe la luz del sol. Dicho voltaje es el responsable de separar a las cargas fotogeneradas positivas (huecos) y negativas (electrones) [6].

1.15 Especificación actual de generación eléctrica mundial y en el Ecuador

La generación energética por décadas ha sido basada en combustibles fósiles como es el petróleo, carbón y gas natural, siendo los principales emisores de gases de efecto invernadero y por esta razón principal muestran grandes problemas de sostenibilidad [39]. En específico, se propone que los países en desarrollo no podrían duplicar los procesos industriales ejecutados por las economías desarrolladas y, por lo tanto, sería obligatoria una alteración estructural sostenible para generar un proceso de desarrollo honesto, dados los nefastos efectos ambientales generados por los procesos intensivos en energías más [40]. En la Figura 5 se observa un esquema de la matriz de desarrollo y sostenibilidad energética.

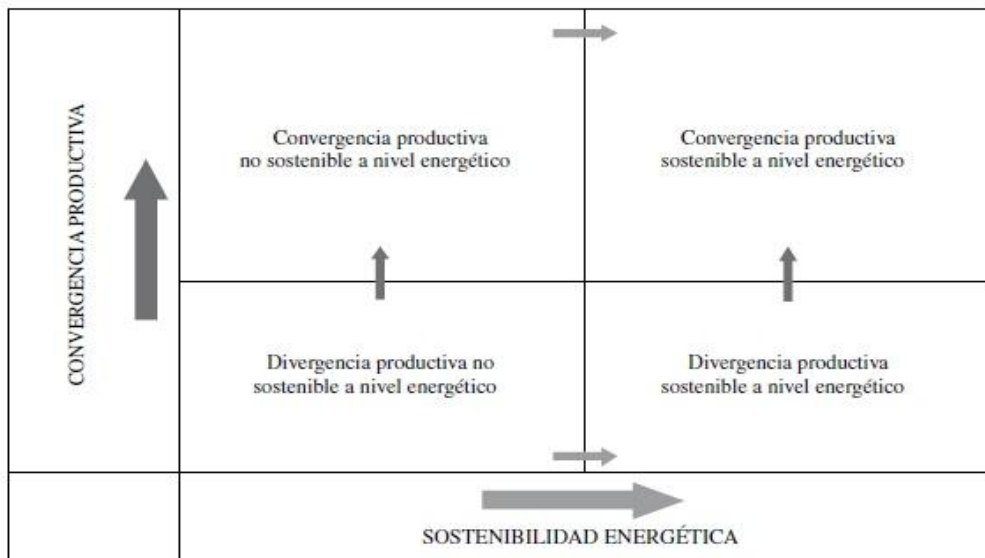


Figura 5. Matriz de desarrollo productivo y sostenibilidad energética [40].

La creciente preocupación ambiental ha conducido al planteamiento de nuevas interrogantes y desafíos para el logro de un patrón de crecimiento más sostenible [40].

1.16 Evaluación de la radiación solar disponible

La variación de la radiación solar se debe, principalmente, a variaciones de la energía emitida por el sol y cambios de distancia entre el sol y la tierra. La ecuación propuesta por Spencer (1971).

Para el cálculo de la radiación solar es:

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0.33 \cos \frac{360.n}{365} \right) \quad (1.1)$$

Donde:

G_{on} = Es la irradiación extraterrestre sobre un plano normal a la dirección de los rayos solares (W/m^2).

n = Define el día del año (para este valor se debe considerar el solsticio ya sea del 21 de junio o 21 de diciembre del año)

1.17 Centrales de generación fotovoltaica

Se Conoce como central de generación fotovoltaica a un conjunto o conglomeración de instalaciones solares ubicadas en una misma localización. Generalmente se conoce como huerta solar a este tipo de centrales de generación [14].



Figura 6. Huertas Solares [41].

Dependiendo del requerimiento de la instalación se suministra su potencia, se debe considerar que la potencia aproximada en una instalación se acerca a los 5 kW [28]. Dependiendo del área donde va a ser implementado el sistema y de la salida requerida es posible la conseguir de uno o varios sistemas que lleguen a proporcionar una potencia total hasta de los MW, asimismo se debe considerar la ubicación y la capacidad de transformación de los colectores de la radiación solar en electricidad

[16]. En la Figura 6 se observa una huerta solar donde se aprecia el área utilizada para este tipo de proyectos.

Entre las ventajas de estas centrales de generación es que los niveles de contaminación son mínimos, contribuyendo así a mitigar el impacto ambiental. Gracias a las mismas se logra impedir expulsar a la atmosfera grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂) como lo hacen otros tipos de centrales generadoras, como por ejemplo: las centrales térmicas que usan combustibles fósiles (carbón, fuel-oíl o gas) para generación de electricidad [42].

1.18 Energía solar fotovoltaica

Es la energía procedente del sol, entendiéndose ésta por la luz solar que incide en la tierra, en sus componentes visibles e invisibles [43], la misma es divulgada por intermedio de ondas electromagnéticas que se encuentran en los rayos solares, las cuales son producidas en formas continuas y presentes permanentemente al espacio [35].

1.19 Insolación

Corresponde al conjunto de energía en representación de luz solar que llega a la Tierra en un día (insolación diurna) o en un año (insolación anual) [35]. Es un término aplicado, específicamente, a la radiación de energía solar. El símbolo H es usado para la insolación por día. El símbolo / es usado por un periodo de una hora [20].

1.20 Irradiación

Es la razón a la cual la energía radiante está incidiendo sobre una superficie por unidad de área de la superficie se utiliza W/m² para su medición [20]. La Irradiación es la magnitud manejada para referir la potencia incidente por unidad de superficie de cualquier tipo de radiación electromagnética [35].

1.21 Irradiancia

Es la energía incidente por unidad de área sobre una superficie, determinada por la integración de la irradiación en un tiempo específico, por día o por hora [20].

1.22 Tipos de paneles solares fotovoltaicos

Se distinguen tres tipos de paneles solares:

1.22.1 Silicio mono cristalino

Caracterizado por una disposición ordenada y periódica, de forma que solo tiene una orientación cristalina casi perfecta, donde todos los átomos están dispuestos simétricamente, y presenta un espesor de 1/3 a 1/2 mm, las cuales son cortadas de una gran barra o lingote creado a 1400 °C. Presenta un color azulado oscuro y con un cierto brillo metálico. Alcanzan rendimientos de 24 % en laboratorios y 17 % en paneles comerciales, debido a su tecnología son garantizados hasta por 25 años [6]. En la Figura 7 se observa una celda solar monocristalina.



Figura 7. Celda solar monocristalina [44].

1.22.2 Silicio poli cristalino

Silicio fundido y depositado sobre otro sustrato (moldeo), este proceso es menos costoso que el de Si mono cristalino, se forma capa de 10-30 micrómetros y tamaño de grano entre 1 micrómetro y 1mm. Las direcciones de alineación van cambiando cada cierto tiempo durante el proceso de deposición, por lo que su eficiencia alcanza alrededor de 19.8 % en laboratorio y 14 % en paneles comerciales [6]. En la Figura 8 se ilustra una celda de silicio policristalina.



Figura 8. Celda solar policristalina [44].

1.22.3 Silicio amorfo

Éstas son manufacturadas mediante la colocación de una fina capa de amorfo (no cristalino) de silicio sobre una amplia variedad de superficies como cristal o plástico, alcanzan una eficiencia de entre el 5-10 % en paneles comerciales y de un 13 % en laboratorio. Estos son los menos eficiente y menos costoso de producir de los tres tipos [6]. En la Figura 9 se observa una celda solar de silicio amorfo.



Figura 9. Celda solar de silicio amorfo [45].

Existen en el mercado otros materiales para la fabricación de paneles fotovoltaicos, estas tecnologías se denominan de lámina delgada tales como:

- Teluro de Galio
- Arseniuro de Galio
- Di-seleniuro de cobre en indio
- Paneles Tándem
- Paneles fotovoltaicos orgánicos (OPV)

- Paneles fotovoltaicos de película delgada (thin-film) [6].

1.23 ¿Cómo funciona un panel fotovoltaico?

Como se mencionó antes, la unión de dos capas de silicio de tipo N y P, forman una celda o célula solar fotovoltaica, a su vez, las uniones de estas forman el panel solar fotovoltaico.

A nivel molecular el silicio (Si) posee cuatro electrones de valencia, estos electrones enlazan a los átomos de valencia, la capa positiva (P), resulta de la sustitución de un átomo de Si por otro que tenga tres (por lo general boro) o cinco electrones (por lo general fosforo), la falta de un electrón disponible genera carga positiva, mientras que en el otro lado se genera una carga negativa (N) al haber un electrón sobrante, esto provoca una difusión de electrones de la capa N a la capa P, como lo ilustra la Figura 10. Mediante la captación de fotones provenientes de la luz solar, los cuales inciden con una cierta cantidad de energía en la superficie del panel, esta interacción provoca el desprendimiento de los electrones de los átomos de silicio, rompiendo y atravesando la barrera de potencial de la capa semiconductor. [35].

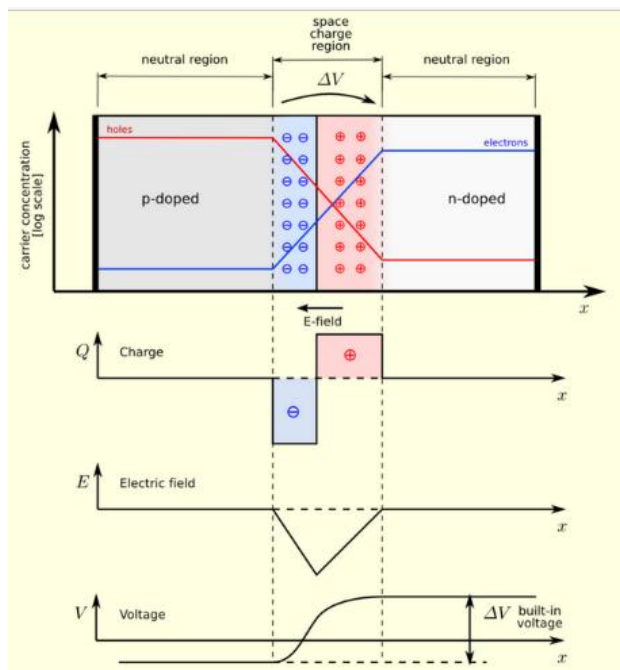


Figura 10. Dopado de unión N-P [46].

1.24 Tiempo solar

Es el tiempo basado sobre el movimiento angular aparente del sol a través del cielo, donde el mediodía solar corresponde cuando el sol cruza el meridiano del observador.

La ecuación para su cálculo es:

$$\text{Solar Time} = \text{standar time} + 4(L_{st} - L_{loc} + E) \quad (1.2)$$

Donde:

L_{st} = Es el meridiano estándar para la zona del tiempo local

L_{loc} = Es la longitud de la localización en grados

E = Es la ecuación del tiempo en minutos. La ecuación propuesta por Spencer (1971) es:

$$E = \left[229.2(0.000075 + 0.001868(\cos B)) - 0.032077(\text{sen}B) - 0.014615(\cos 2B) - 0.04089(\text{sen}2B) \right] \quad (1.3)$$

El valor de B se obtiene de la ecuación:

$$B = \left[(n - 1) \frac{360}{365} \right] \quad (1.4)$$

1.25 Elementos de una central de generación fotovoltaica

En una instalación de energía solar fotovoltaica corresponde colocar una serie de elementos y dispositivos indispensables anteriormente dimensionados para el correcto funcionamiento y control de la misma, los cuales se describen a continuación:

1.26 Módulo fotovoltaico (Generador fotovoltaico)

El panel solar fotovoltaico es el dispositivo que transforma la energía en forma de radiación (fotones) proveniente del sol en energía eléctrica de corriente continua (DC). Se fundamenta en el efecto fotovoltaico [5]. Para que el panel solar fotovoltaico sea eficiente al 100% debe mantenerse en una temperatura de 25 °C [6]. La configuración de estos dispositivos puede ser conectada en serie o en paralelo [14], cuando su conexión es en serie el voltaje total será la suma de los voltajes individuales de cada uno de los dispositivos. La corriente de salida será equivalente a la corriente de un módulo [28].



Figura 11. Módulos Fotovoltaicos [41].

En la Figura 11 se ilustran módulos solares fotovoltaicos utilizados en sistemas de generación de electricidad.

Las células fotovoltaicas se conectan en serie o paralelo obedeciendo las necesidades del diseñador o al dimensionamiento de la potencia de salida de la central fotovoltaica, se las encapsula y adicionalmente se coloca un marco de aluminio por las propiedades químicas del mismo.

El encapsulado garantiza la protección de la célula fotovoltaica de la exposición al medio ambiente, asimismo está constituido por una capa suplementaria anti reflexiva que permite atrapar mayor cantidad de electrones [29].

1.27 Baterías (acumuladores)

Las baterías son elementos dentro de los sistemas de paneles solares fotovoltaicos capaces de almacenar la energía para su posterior consumo, se pueden conectar entre sí en serie o en paralelo según las recomendaciones del fabricante o según el requerimiento de la instalación ya sea 12, 24 o 48 voltios de salida para el sistema [47]. A las baterías de ciclo profundo también se las conoce como acumuladores, estos dispositivos son los encargados de almacenar la energía eléctrica, para después ser aprovechada en las distintas cargas eléctricas, son fabricadas para resistir las constantes series de carga y descarga del sistema, su funcionamiento es basado en un proceso electroquímico de oxidación/reducción. Generalmente estos dispositivos presentan mayor desgaste en un sistema solar fotovoltaico [8].



Figura 12. Baterías utilizadas en instalaciones de sistemas de celdas fotovoltaicas

En la Figura 12 se ilustra una batería de 100 Ah de ciclo profundo utilizada en el presente proyecto. Se debe elegir las propiedades necesarias de las baterías (salida de voltaje) más adecuadas ya que influyen de en su totalidad en el diseño de varios dispositivos de la instalación solar fotovoltaica, debido a esto se debe procurar una atención especial a las características más convenientes para cada dispositivo y para el sistema en general [28].

1.28 Inversor (acondicionador o convertidor)

Se encarga de adaptar la corriente continua producida por el generador fotovoltaico (paneles solares) a las características eléctricas requeridas por las cargas a alimentar [14]. Conocidos también como convertidores, se caracterizan por diferenciar el voltaje

de entrada de corriente continua (DC) proveniente de las baterías a un voltaje de salida de corriente alterna (AC) [7]. Está constituido por un sinnúmero de circuitos electrónicos los cuales priorizan la eficiencia del dispositivos el cual es aproximado de un 80 a un 85 % [8].

Su función principal es adecuar la generación de corriente eléctrica concebida a donde vaya destinada para su utilización [6].



Figura 13. Inversor de voltaje

Este dispositivo transforma la corriente continua obtenida por los paneles solares fotovoltaicos en corriente alterna la cual es adecuada para el consumo eléctrico en los hogares, industrias entre otras en nuestro país, El inversor arranca del generador fotovoltaico la potencia en el punto máximo de potencia de la curva característica [47]. En la figura 13 se observa el inversor de voltaje de 24 V a ser utilizado en el presente proyecto.

1.29 Regulador de carga (controlador)

Es el dispositivo de control del sistema solar fotovoltaico, su función principal es controlar los procesos de carga y descarga de la batería. Asimismo, controla el transcurso de carga evitando que, con la batería en su total capacidad, los paneles solares fotovoltaicos sigan introduciendo voltaje continuo (carga) a la misma. Se lleva a cabo anulando o reduciendo el paso de corriente del campo fotovoltaico [42]. En la Figura 14 se observa el controlador a ser utilizado en el presente proyecto de generación de electricidad.

Se lo conoce como unidad de control es un dispositivo encargado de transferir y controlar la cantidad de energía que ingresa a la batería y asimismo hacia el inversor

[9]. Interviene en el ciclo de carga y descarga del banco de baterías a la vez su función principal es de preservarlas en caso de presentarse una sobrecarga o exagerada descarga. En caso de presentarse una sobrecarga esto ocasiona una reducción de la vida útil de la batería, crea el riesgo de explosión o incendio de la misma. Este dispositivo cierra en forma instantánea el flujo de corriente eléctrica desde y hacia el banco de baterías [8].



Figura 14. Regulador de carga

Adicionalmente controla el proceso de carga y descarga de la batería evitando que alcance un valor demasiado bajo cuando está consumiendo la energía almacenada y de ser así suspende el ciclo del sistema para su protección, esto se lleva a cabo desconectando la batería de los circuitos de consumo. El regulador o controlador, también es una fuente de información de las cuantificaciones eléctricas de la instalación solar fotovoltaica. Puede proporcionar datos de voltaje, intensidad, estado de carga de las baterías, temperatura, entre otras [42].

1.30 Elementos de protección del circuito

Dentro de un sistema solar fotovoltaico se localizan elementos de protección como diodos de bloqueo (en los paneles solares fotovoltaicos), interruptores para desconexión, breakers, fusibles térmicos, cajas de distribución, tierra, etc., adaptados entre diferentes partes del sistema, para proteger de descarga y bifurcación de elementos en caso presentarse algún mal funcionamiento o estados de sobrecarga. [28].

Los diodos son dispositivos electrónicos que permiten el flujo de energía en forma de corriente en una única dirección. En los sistemas fotovoltaicos generalmente se utilizan de dos formas: como diodos de bloqueo y como diodos de bypass [42].

1.31 Conceptos y ecuaciones consideradas en el cálculo de sistemas solares fotovoltaicos

Para determinar la dirección del haz de radiación se han planteado relaciones geométricas entre un plano de coordenadas con orientación a la Tierra, y el haz de radiación que ingresa a la Tierra, se definen en términos de varios ángulos y se analizarán a continuación:

1.32 Latitud (ϕ)

Es la localización angular al norte o al sur del ecuador, norte positivo.

$$-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$$

1.33 Declinación (δ):

Es la posición angular del sol al mediodía solar con respecto al plano del ecuador, norte positivo.

$$-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$$

La declinación puede ser calculada con la ecuación de Cooper (1969):

$$\delta = \left[23.45 \operatorname{sen} \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \right] \quad (1.5)$$

Al igual que puede ser calculada con la ecuación de Spencer (1971):

$$\delta = \left[\left(\frac{180}{\pi} \right) \left(0.006918 - 0.399912(\cos B) + 0.070257(\operatorname{sen} B) - 0.006758(\cos 2B) + \right. \right. \\ \left. \left. (0.000907(\operatorname{sen} 2B) - 0.002697(\cos 3B) + 0.00148(\operatorname{sen} 3B)) \right) \right] \quad (1.6)$$

La ecuación que relaciona el ángulo de incidencia con los otros ángulos es la siguiente:

$$\cos \theta = (\text{sen} \delta \text{ sen} \phi \cos \beta - \text{sen} \delta \cos \phi \text{ sen} \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \text{ sen} \phi \text{ sen} \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \text{ sen} \beta \text{ sen} \gamma \text{ sen} \omega) \quad (1.7)$$

1.34 Inclinación (β)

Es el ángulo entre el plano de la superficie y la horizontal.

$$0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$$

1.35 Ángulo azimutal de la superficie (γ)

Es la desviación de la proyección sobre un plano horizontal de la normal de la superficie desde el meridiano local. Es cero en el sur, negativo al este y positivo al oeste.

$$-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$$

1.36 Ángulo horario (ω)

Es el desplazamiento angular del este al oeste del sol del meridiano local, debido a la rotación de la tierra a 15° por hora; positivo en la mañana y negativo en la tarde.

$$\omega = [15(12 - L_{loc})] \quad (1.8)$$

1.37 Ángulo de incidencia (θ)

Es el ángulo entre el haz de radiación sobre una superficie y la normal a esta superficie.

1.38 Ángulo cenital (θ_z)

Es el ángulo entre la vertical y la dirección de sol, esto es el ángulo de incidencia del haz de radiación sobre una superficie horizontal.

1.39 Ángulo de la altitud solar (α_s)

Es el ángulo entre la horizontal y la dirección del sol, esto es, el complemento del ángulo cenital.

1.40 Ángulo azimutal del sol (γ_s)

Es el desplazamiento angular desde el sur de la proyección del haz de la radiación sobre el plano horizontal. Los desplazamientos al este del sur son negativos y al oeste del sur positivos.

Para superficies horizontales se asume que el ángulo de incidencia es el ángulo cenital y para esta condición $\beta=0$ y por lo tanto la ecuación para el cálculo del ángulo es:

$$\cos \theta_z = [(\text{sen} \delta \text{ sen} \phi) + (\cos \delta \cos \phi \cos \omega)] \quad (1.9)$$

Para calcular la insolación extraterrestre sobre una superficie horizontal es importante calcular la misma para después integrarla desde el amanecer hasta el atardecer y así tener la insolación extraterrestre diaria, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$H_o = \left[\left(\frac{24 \times 3600}{\pi} \right) G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \left(\frac{360 \times n}{365} \right) \times (\cos \phi \cos \delta \text{sen} \omega_s + \frac{\pi \times \omega_s}{180} + \text{sen} \phi \text{sen} \delta) \right) \right] \quad (1.10)$$

El valor de G_{sc} tiene que estar en unidades de W/m^2 y el valor de H_o en $J/m^2/día$.

1.41 Ángulo horario al atardecer (ω_s)

Se calcula con la ecuación:

$$\cos \omega_s = -\tan \phi \tan \delta \quad (1.11)$$

1.42 Índice de claridad (K_T)

Cuando se desea calcular la insolación global es indispensable conocer el índice de claridad de la región K_T y este valor lo encontramos con la siguiente ecuación:

$$K_T = \frac{H}{H_o} \quad (1.12)$$

CAPÍTULO 2

2 DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Antes de realizar el cálculo y selección de los elementos del sistema fotovoltaico es necesario conocer si en el lugar del proyecto existen normativas vigentes, regulaciones, y demás afectaciones que pudiere tener el proyecto. En el caso de Ecuador, estas están regidas por el Código Eléctrico Nacional (CPE INEN 019).

Como necesidad primaria del sistema se debe instalar en un lugar donde sea posible el máximo aprovechamiento de los recursos disponibles, para ello se recurrirá a investigaciones realizadas en Ecuador, para aprovechar la máxima cantidad de radiación solar incidente en los mismos, tomando en cuenta:

- Espacio físico disponible.
- Inclinación.
- Radiación global medida.
- Sombras que se pueden presentar (posibles obstrucciones en el sector)

Se presentarán diagramas obtenidos del software PVsyst, que es un programa para dimensionamiento y evaluación de sistemas que funcionan mediante energía solar.

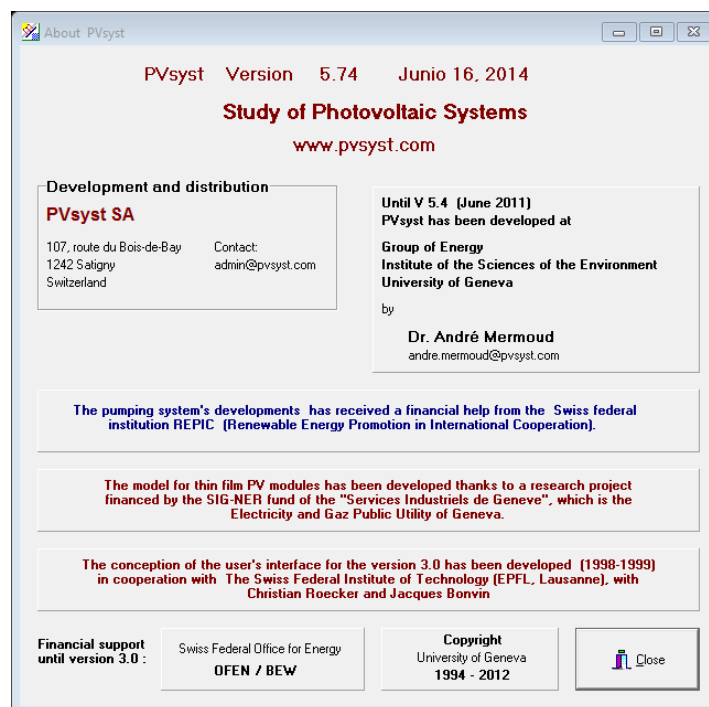


Figura 15. Información de software PVsyst

2.1 Determinación de cargas de las oficinas del grupo Montero

Para dimensionar el sistema se requiere obtener las “cargas” o elementos que están conectados al sistema eléctrico. Las oficinas atienden desde las 8:30 am hasta las 17:30 pm, algunos de los equipos detallados en la Tabla 2-I funcionan durante el horario de atención de las oficinas.

La normativa CPE- INEN [48] recomienda 38VA/m² de iluminación, como se ilustra en el ANEXO 7, en tanto los fabricantes de equipos electrónicos (computadores, refrigeradores, etc.) mencionan que estos presentan condiciones de consumo pico de energía o consumo variable, mismo que debe ser medido o estimado para un análisis eficiente del consumo.

Tabla 2-I
Cargas del sistema en las oficinas de la empresa

Carga	Consumo (W)	Cantidad	Horas (h)	Consumo (kWh/día)
Lámparas fluorescentes	40	51	8	16,32
Computador CPU	600	5	8	24
Impresora	400	4	8	12,8
Impresora de etiquetas	90	2	2	0,36
Focos incandescentes	250	1	8	2
Televisor LED 14"	60	6	3	1,08
Teléfono inalámbrico	60	2	8	0,96
Servidor de internet	20	1	6	0,12
Secadores de producción	3000	1	24	72
	300	10	12	36
Consumo total (kWh/día)				165,64

Las cargas se tomaron haciendo una revisión de cada uno de los equipos presentes en el edificio de oficinas.

2.2 Cálculo del recurso solar

Para conocer la capacidad de generación de los paneles solares, un requerimiento fundamental es conocer la cantidad de radiación solar que existe en el medio, para ello se puede obtener datos del Atlas Solar del Ecuador o estudios independientes de distintas universidades o institutos reconocidos.

En el caso de esta tesis el cálculo se basará en los datos obtenidos de [49], que es una investigación por el departamento de energías de la Escuela Superior Politécnica del Ejército (ESPE), mismos que se detallan en el ANEXO 5.

Los datos obtenidos en el estudio, se ingresan al software para posterior análisis como lo muestra la Figura 16.

The screenshot shows a software window titled "Parámetros del lugar geográfico" with two tabs: "Coordenadas Geográficas" and "Climatología Mensual". The "Climatología Mensual" tab is active, showing the location "Quito (Equator)" and the data source "Análisis de Radiación Sangolquí (Guasumba 2012)".

	Irrad. Global kWh/m ² .día	Difuso kWh/m ² .día	Temp. °C	VelViento m/s
Enero	4.55		14.4	3.60
Febrero	4.59		14.4	3.60
Marzo	4.50		14.4	3.60
Abril	4.23		15.0	3.10
Mayo	3.89		14.4	3.10
Junio	3.69		14.4	3.10
Julio	3.77		14.4	4.10
Agosto	4.06		14.4	4.10
Septiembre	4.37		14.4	3.10
Octubre	4.53		14.4	3.60
Noviembre	4.54		14.4	3.60
Diciembre	4.51		14.4	3.60
Año	4.27		14.5	3.5

On the right side of the window, there are several configuration options:

- Datos Requeridos:**
 - Irradiación global horizontal
 - Temp. Exterior Media
- Datos adicionales:**
 - Irradiación difusa horizontal
 - Velocidad del viento
- Unidades de insolación:**
 - kWh/m².día
 - kWh/m².mes
 - MJ/m².día
 - MJ/m².mes
 - W/m²
 - Índice de claridad Kt

At the bottom of the window, there are two buttons: "Anular" (with a red X icon) and "OK" (with a green checkmark icon).

Figura 16. Radiación Global ingresada en el software

Se consideran las “horas solares”, que es la cantidad de irradiación de un sitio determinado usando la Ecuación (2.1).

Se debe establecer la Hora Solar Pico (HSP)

$$HSP = \frac{\text{Irradiación promedio}}{1000 \frac{W}{m^2}} \quad (2.1)$$

Tabla 2-II
Horas solares pico en Quito

Horas Solares Promedio (HSP)		
Mes	Radiación	Horas Pico
	Global	Solares
Enero	4554	4,55
Febrero	4596	4,60

Continuación	Tabla 2-II	
Marzo	4508	4,51
Abril	4231	4,23
Mayo	3890	3,89
Junio	3696	3,70
Julio	3772	3,77
Agosto	4065	4,06
Septiembre	4377	4,38
Octubre	4539	4,54
Noviembre	4543	4,54
Diciembre	4516	4,52
Promedio anual	4274	4,27

2.3 Ángulo de inclinación de paneles

Para determinar el ángulo de inclinación de los paneles se usan los parámetros de latitud y longitud [50], o lugar geográfico de la ciudad de Quito, donde se instalará el sistema ya que es el ángulo en el que se puede conseguir la máxima potencia de los paneles las coordenadas, altura y temperatura del sector se detallan en la Tabla 2-III.

Tabla 2-III
Coordenadas y características geográficas y climáticas de Quito

Latitud	S: 0°10'24.253" ^a
Longitud	O: 78°28'41.523" ^b
Altura del sector	2780 msn ^b
Temperatura promedio	14°C ^c

^a Las coordenadas geográficas se obtuvieron a través del software Googlemaps

^b se considera la altura del estadio olímpico Atahualpa debido a que está en el mismo sector de las oficinas

^c Los datos sobre la temperatura promedio de Quito se encuentran en tablas del INAMHI

La ubicación del sitio, se la puede determinar mediante el uso de un sistema de ubicación de mapas globales como se muestra en la Figura 17.

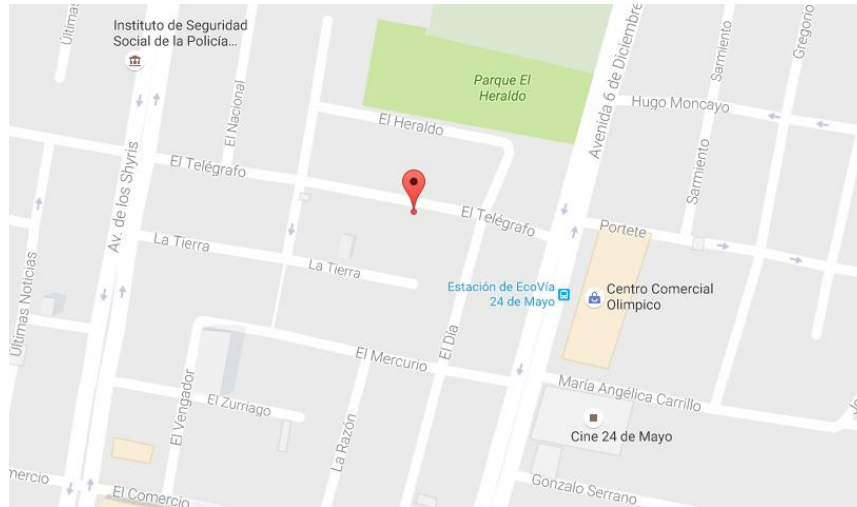


Figura 17. Mapeo de ubicación de la instalación solar fotovoltaica

Fuente: Googlemaps

Los datos de la ubicación del lugar en la ciudad de Quito también se cargan al software PVsyst como lo indica la Figura 18.

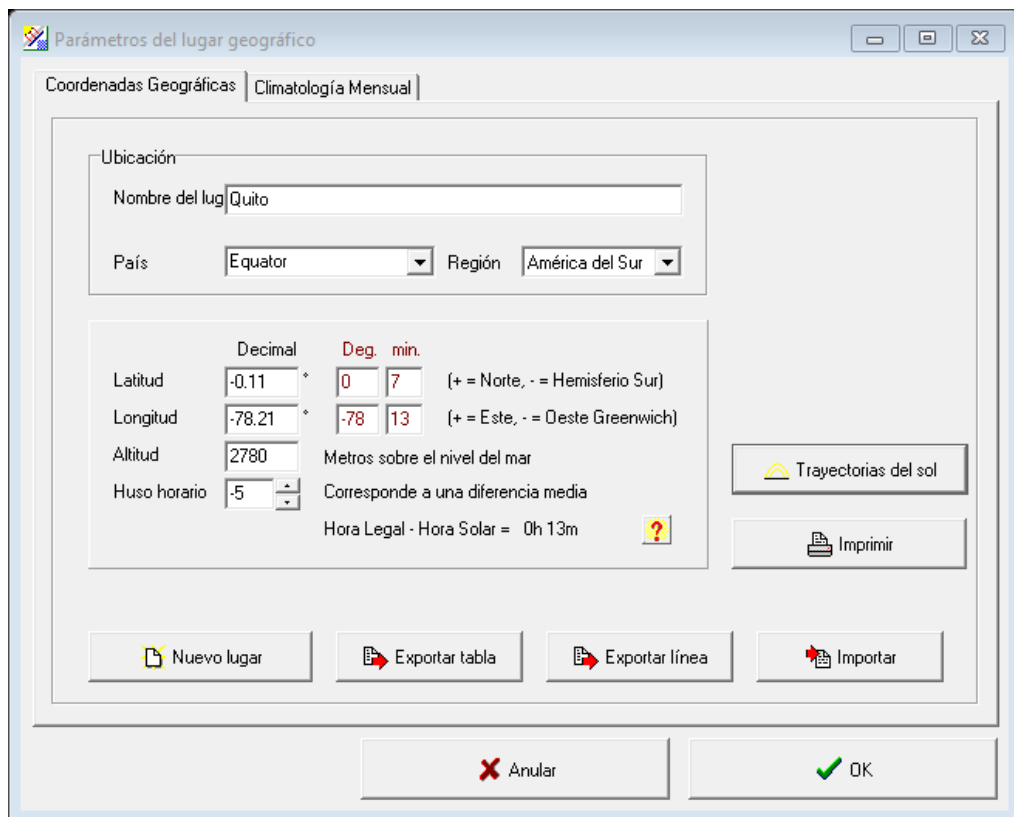


Figura 18. Datos de latitud y longitud de Quito

El software presenta una visualización de la trayectoria solar misma que se despliega en la Figura 19.

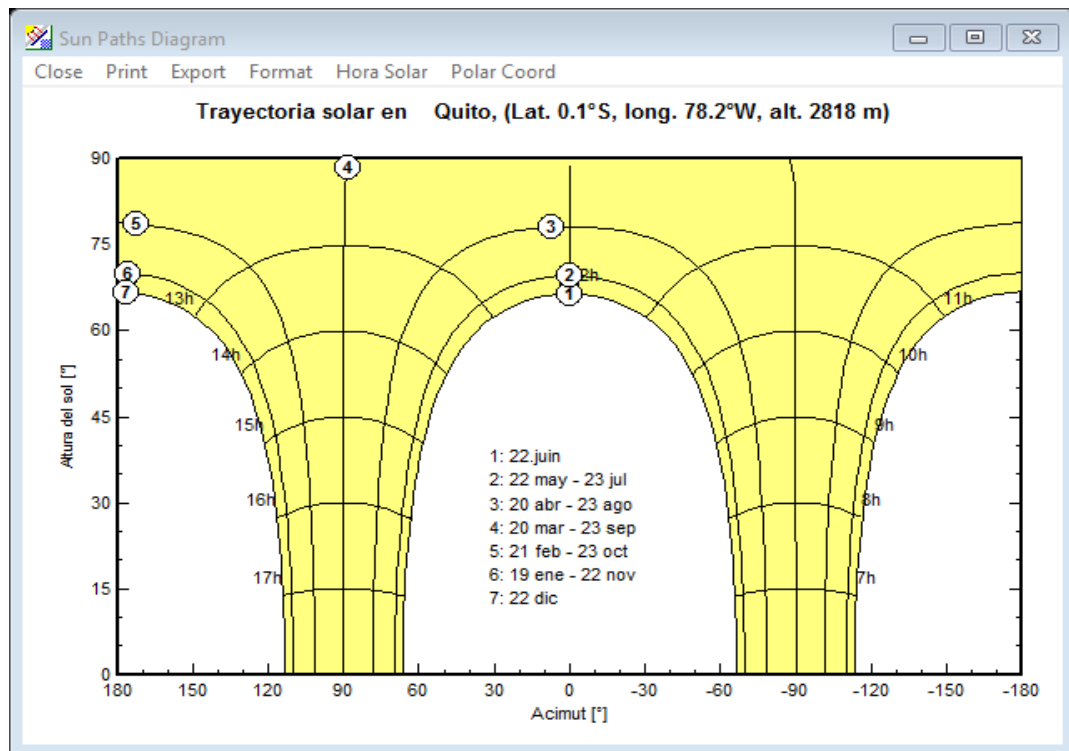


Figura 19. Trayectoria solar en Quito

Se selecciona un ángulo de 15° debido a la presencia de lluvias en lugar de la instalación para evitar futuros problemas de acumulación o alojamiento de materiales ajenos al panel solar como se menciona en [51], los datos de la referencia se muestran en la Tabla 2-IV

Tabla 2-IV
Ángulos recomendados de inclinación para paneles solares

Latitud del lugar (en grados)	Angulo de inclinación fijo
0° a 15°	15°
15° a 20°	La misma latitud
25° a 30°	Latitud más 5°
30° a 35°	Latitud más 10°
35° a 40°	Latitud más 15°
40° o más	Latitud más 20°

Ángulos de inclinación recomendados

Recomendaciones de inclinaciones de acuerdo a localización geográfica [51]

2.4 Orientación de los paneles

Como se menciona en [52], en el hemisferio Norte, los paneles deben orientarse hacia el Sur, y en el hemisferio Sur, hacia el Norte, debido a que el sol presenta el movimiento mostrado en la Figura 19. En Ecuador esta configuración no influye de manera importante, se toma como recomendación los datos [51].

No se requiere la desviación del Acimut debido a que el edificio está alineado con el eje longitudinal del planeta, la posición geográfica de las oficinas y el requerimiento alineación con la línea ecuatorial, como lo indica la Figura 20.

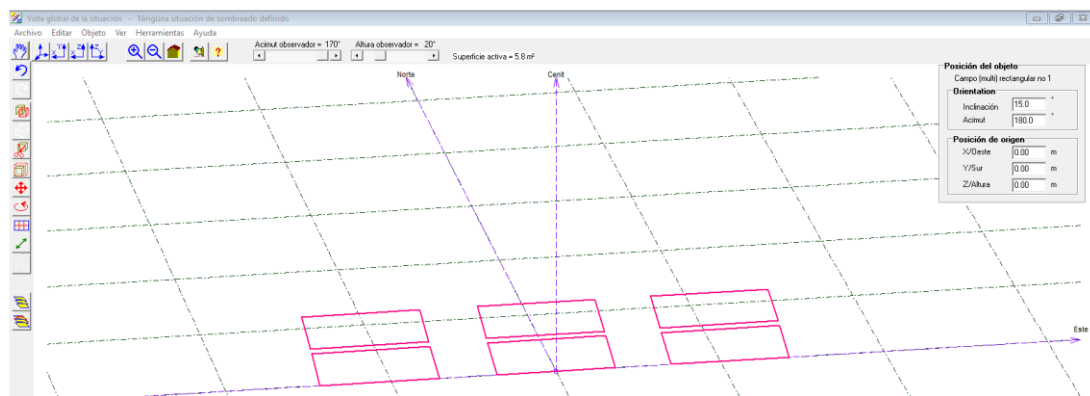


Figura 20. Disposición de los paneles solares

2.5 Selección del sistema de generación fotovoltaica

Como se mencionó en los objetivos del presente trabajo, se requiere generar 20kW/mes, considerando en consumo de energía y las horas solares de Quito, se requiere una generación promedio diaria de:

$$G_p = 20 \frac{kW}{mes} * \frac{1 mes}{30 días} * \frac{1000 W}{1 kW} \quad (2.2)$$

Donde:

$$G_p = \text{Generación promedio diaria} \left[\frac{W}{día} \right]$$

$$G_p = 666.67 \frac{W}{día}$$

Las propuestas de algunos fabricantes e instaladores van desde los 250W/día, para evitar problemas de generación en días con poco sol o los considerados días críticos, se consideran cinco proveedores (tres nacionales y dos extranjeros) de sistemas de generación fotovoltaica, mismos que se presentan a continuación:

- Proviento (Ecuador)
- Renova Energías (Ecuador)
- Remate Directo (Ecuador)
- YUHUAN SINOSOLA SCIENCE & TECHNOLOGY (China)
- FOSHAN TANFON ENERGY TECHNOLOGY (China)

Para la generación promedia diaria que se plantea en el presente proyecto de 666.67 W/día se ha proyectado un sistema de 1000 Wp por motivos de cambios climáticos a los que se expondrán los paneles solares y por tal motivo la consideración responsable de la disminución de radiación para generación de electricidad por la situación geográfica donde se encuentra la empresa VIHUMONSAL Importadora del grupo MONTERO. En el Anexo 3 se observa la cotización de un sistema de 1000 Wp de la empresa Proviento de Ecuador para lo cual el financiador del presente proyecto no estuvo de acuerdo por el alto costo de la misma. En el Anexo 2 se ilustra la cotización de un sistema similar de 1000 Wp de la empresa RENOVA ENERGÍA de Ecuador en la cual el valor varía considerablemente de la empresa Proviento el motivo es que la empresa ofrece únicamente el servicio de venta de los dispositivos y un asesoramiento telefónico para la implementación. En la empresa REMATE DIRECTO se obtuvo una cotización manual del encargado del área de energías solar el motivo es que se requiere ser distribuidor de la misma para acceder al beneficio de descuentos, el costo del sistema es similar al de la empresa RENOVA ENERGÍA por lo cual las empresas nacionales poseen un cierto punto de equilibrio respecto a precios de este tipo de sistemas de paneles solares fotovoltaicos.

Aprovechando que el financiador del presente proyecto es el Gerente General de la empresa VIHUMONSAL (MONTERO) se logra un acuerdo con el mismo para contactar con proveedores del país de China los cuales envían cotizaciones de dispositivos según el dimensionamiento realizado para un sistema de 1000 Wp y se decide realizar una importación para reducir costos del sistema completo.

Los fabricantes seleccionados son las empresas FOSHAN TANFON y SINOSOLA, las cuales son empresas fabricantes reconocidas en el área de proveer dispositivos y sistemas completos de energías renovables. En el Anexo 6 se observa la proforma de un sistema de 1000Wp de la empresa FOSHAN TANFON ENERGY TECHNOLOGY según los requerimientos solicitados. Para seleccionar una de las dos empresas fabricantes éstas deben cumplir con estándares de calidad para poder ingresar al país y no tener inconvenientes con la ADUANA del Ecuador.

El proveedor FOSHAN TANFON, es descalificado por no cumplir con el estándares de NTE INEN-IEC-61215 detallado en el Anexo 8 y de la Security Industry Association 261 (SIA 216) que se detalla en la Figura 21, normativa que exige una capacidad de carga mínima uniforme de nieve de 2400 Pa en cada panel solar, en Ecuador no se ha tenido reportes oficiales de nevadas, esto puede tomarse como previsión ante la caída de ceniza volcánica o lluvias acompañadas de granizo que suelen presentarse en Quito. En el Anexo 5 se observa la factura de la empresa china YUHUAN SINOSOLA SCIENCE & TECHNOLOGY de los dispositivos seleccionados y adquiridos por la empresa VIHUMONSAL según las especificaciones entregadas a la empresa para que proporcione a la empresa 1000 Wp detallado en el dimensionamiento del mismo.

YUHUAN SINOSOLA SCIENCE & TECHNOLOGY cumple con todos los requisitos para el ingreso al país, siendo una empresa fabricante de alta calidad y de larga trayectoria, por tal motivo y por recomendación del departamento de importaciones de la empresa VIHUMONSAL de la empresa MONTERO se procede a la importación de los dispositivos detallados para el sistema de 1000 Wp.

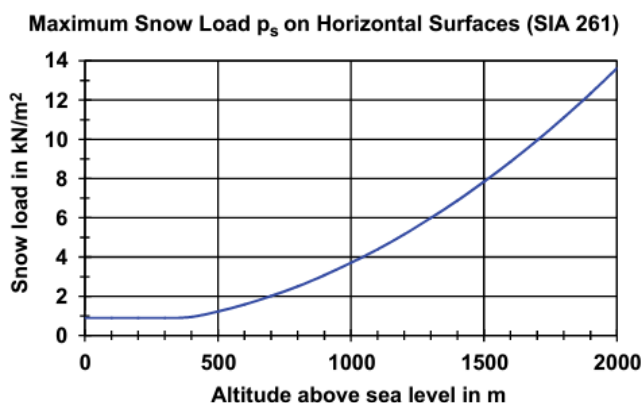


Figura 21. Cargas mínimas para nieve de paneles solares

Fuente: Normativa SIA

En el Anexo 7 se detalla una tabla de ponderación para la selección del fabricante para la realización de la importación de los dispositivos anteriormente dimensionados para una salida de 1000 Wp a ser implementados en la empresa VIHUMONSAL.

Una vez seleccionado el proveedor adecuado que se observa en el Anexo 7 de la tabla de ponderación se elige al fabricante chino SINOSOLA, mismo que en la proforma presentada ofrece un descuento al comprar todos los elementos anteriormente dimensionados de manera cuidadosa mediante cálculos y confirmado mediante software de ingeniería solar fotovoltaica PvSyst.

En la Tabla 2-V se presenta los paneles solares de SINOSOLA.

Tabla 2-V
Descripción y cantidad de paneles solares usados en el sistema FV

Descripción	Cantidad
Cantidad de paneles	6
Voltaje (Vmp)	19.8 (V)
Voltaje (Voc)	23.7 (V)
Corriente (Imp)	6.4 (A)
Corriente (Ioc)	9.1 (A)
Potencia de cada panel (Wmax)	167
Potencia teórica instalada (kW)	1.002kW

Especificaciones de los paneles solares usados en el presente proyecto

2.6 Distancia entre paneles

Para evitar que los paneles solares proyecten sombras entre ellos, y su consecuente reducción de potencia, como se menciona en [48], [53] y [54], se requiere una distancia mínima entre filas para la que se usa la ecuación indica la Figura 22.

$$d=(k * h)+l \tag{2.3}$$

Donde:

d = Distancia entre paneles; [mm]

h = Altura del panel; [mm]

k = Factor de corrección de acuerdo a la latitud

l = longitud del panel solar; [mm]

$$k = \frac{1}{\tan(61^\circ - \text{Latitud})} \quad (2.4)$$

$$k = 0.6$$

$$d = 760 \text{ mm}$$

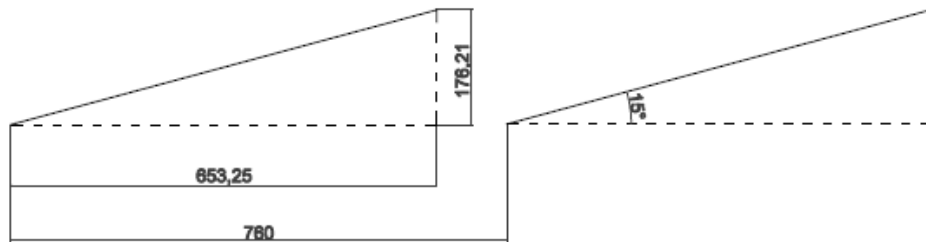


Figura 22. Distancia de separación entre filas de paneles solares

Sin embargo, la configuración recomendada por el proveedor seleccionado es la mostrada en la Figura 23.

Misma que no presenta posibilidad de interferencias entre los grupos de paneles solares.



Figura 23. Recomendación de proveedor de paneles solares

2.7 Soportes de los paneles

Es importante la selección de los soportes para los paneles ya que se conoce que en Pichincha se presentan vientos de entre 6.5 y 8.5 m/s. [55] y el requerimiento de carga de 2400 Pa, que es equivalente a 244.7 kg, se usará una carga de 250 kg. Debido a una recomendación del fabricante de paneles se toma el perfil mostrado en la Figura 24, mismo que posee las propiedades mostradas en la Figura 25 de acuerdo al software Inventor 2014, se usará aluminio debido a que este no se corroe fácilmente como el acero [56] y debido a que es menos costoso que el acero inoxidable, las propiedades del material se detallan en el ANEXO 12.

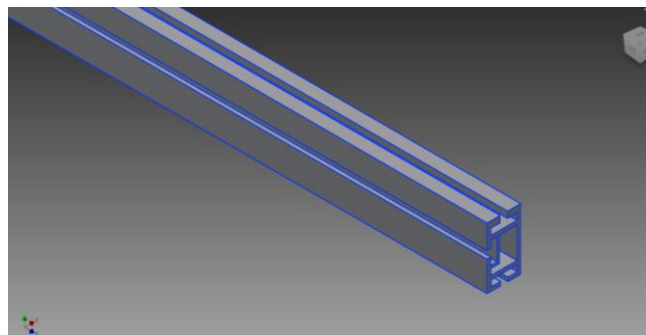


Figura 24. Perfil del elemento de soporte de los paneles solares

Para el caso de la simulación del componente se asigna la sujeción a los extremos del perfil y se lo somete el elemento a una carga de 2.36 kN como lo muestra la Figura 26.

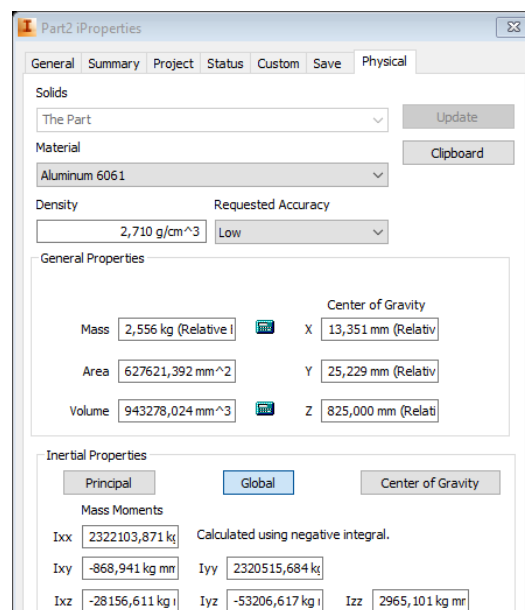


Figura 25. Propiedades mecánicas y de sección del perfil

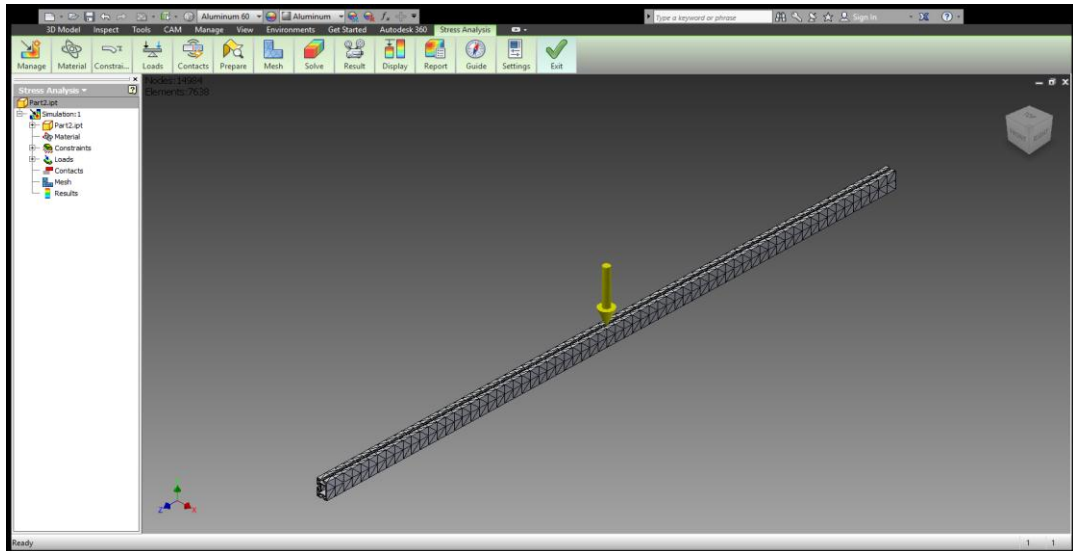


Figura 26. Cargas asignadas al perfil

Mediante una simulación de cargas se obtienen los datos mostrados en la Tabla 2-VI, los cuales se analizarán con más detalle a continuación.

Tabla 2-VI
Sumario de resultados de la simulación

Name	Minimum	Maximum
Volume	943278 mm ³	
Mass	2,55628 kg	
Von Mises Stress	0,0977849 MPa	57,8567 MPa
1st Principal Stress	-36,4563 MPa	73,6694 MPa
3rd Principal Stress	-82,3736 MPa	30,5834 MPa
Displacement	0 mm	2,93284 mm
Safety Factor	4,75312	15
Stress XX	-39,2139 MPa	34,0285 MPa
Stress XY	-4,50502 MPa	3,86738 MPa
Stress XZ	-12,4285 MPa	12,4944 MPa
Stress YY	-39,2139 MPa	32,4216 MPa
Stress YZ	-10,4696 MPa	11,0376 MPa
Stress ZZ	-79,8843 MPa	72,7535 MPa
X Displacement	-0,015826 mm	0,173668 mm
Y Displacement	-2,92952 mm	0 mm
Z Displacement	-0,13426 mm	0,134261 mm

Resultados obtenidos de la simulación de cargas en el elemento

Se usará la teoría de la energía de deformación o más conocido como esfuerzo de Von Mises para el análisis del elemento, como se menciona en [57], ya que es una teoría bastante aplicada en diseño mecánico, además esta considera los esfuerzos en todos los planos del elemento.

Partiendo de un diagrama de cargas en el elemento considerando los extremos fijos:

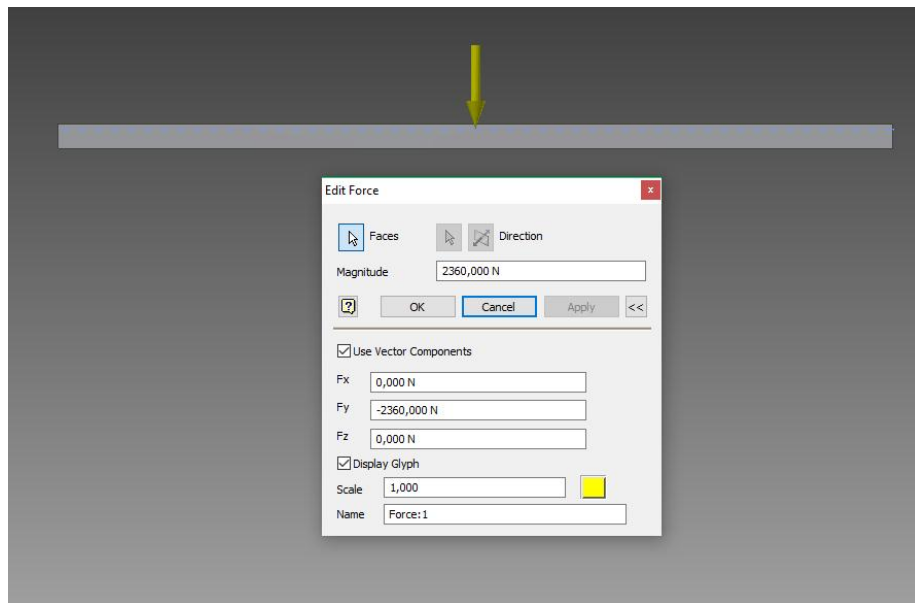


Figura 27. Diagrama del elemento y de cargas.

Se aplica la ecuación 2.5 para la evaluación de las cargas en los apoyos del elemento, debido a que es un elemento estático se iguala la sumatoria de todas las fuerzas que actúan sobre esta a cero

$$\sum F_y = 0 \quad (2.5)$$

Donde:

F_y = Fuerzas con respecto al eje “y”

Dado que es una carga aplicada simétricamente sobre el inicio y fin del tramo (A y B) se puede obtener las reacciones en los apoyos por medio del siguiente cálculo:

$$R_A = R_B = \frac{2360 \text{ N}}{2} = 1180 \text{ N}$$

Partiendo del diagrama de esfuerzo cortante (V) o carga de corte aplicado en el perfil, con el que se puede determinar el lugar geométrico donde se da el mayor esfuerzo flector (M), obtenidos mediante los diagramas mostrados en la Figura 28, como se detalla en [57]..

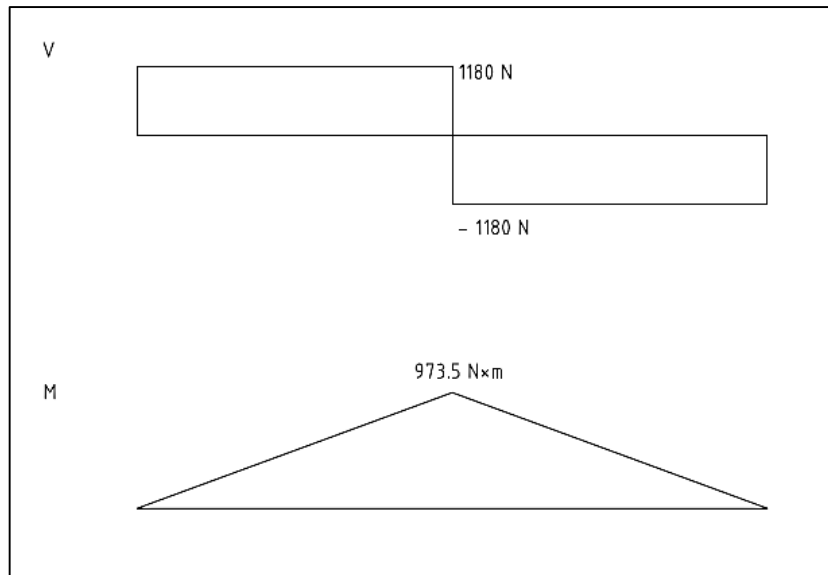


Figura 28. Diagrama de Esfuerzo Cortante y Momento Flector

En la bibliografía de diseño de elementos de máquina se le da prioridad al esfuerzo flector, por lo que el análisis de Von Mises se hará para esa condición en los siguientes párrafos.

$$\sigma' = \sqrt{\left(\sigma_f^2 + 3\tau^2\right)} \quad (2.6)$$

Donde

σ' = Esfuerzo equivalente en este caso se usa el esfuerzo de Von Mises; [MPa]

σ_f = Esfuerzos de compresión

τ = Esfuerzos de corte

$$\sigma_f = \frac{Mc}{I} \quad (2.7)$$

Donde:

M = Momento flector máximo

c = distancia del eje neutro hacia el extremo del elemento (h/2)

I = momento de inercia respecto al eje perpendicular del elemento

Con los datos del elemento, se realiza el cálculo, dando un esfuerzo de Von Mises de 57.456 MPa, un poco inferior al dado por el software.

En la Figura 29 se detalla los esfuerzos presentes en el elemento, con estos datos se obtiene el factor de seguridad mediante la ecuación 2.8.

$$\sigma' = \frac{S_y}{n} \quad (2.8)$$

Donde:

S_y = Es esfuerzo de tensión (275 MPa), propiedad específica de cada elemento.

n = Factor de seguridad o constante de proporcionalidad entre σ' y S_y

Despejando n se obtiene:

$$n = 4.75$$

Valor confirmado por el software que se muestra en la Figura 30.

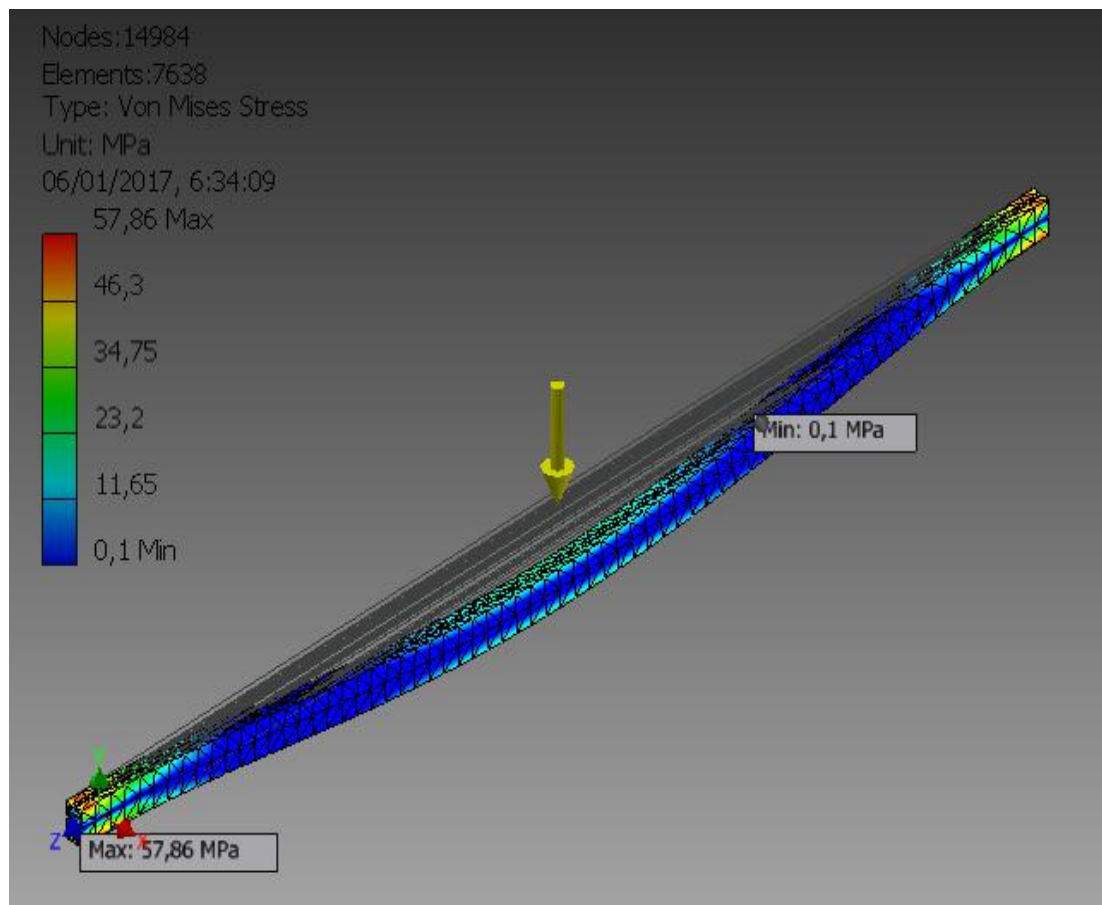


Figura 29. Esfuerzo de Von Mises

Otro aspecto importante como se menciona en [58], es la deflexión admisible recomendada del elemento, según la Tabla 2-VII

Tabla 2-VII
Deflexiones recomendadas en elementos estructurales y partes de máquina

Tipo	Deflexión recomendada
Parte general de máquina o estructura	L/ 333 a L/2000
Precisión moderada	L/2000 a L/ 100000
Alta precisión	L/100000 a L/1000000

Recomendaciones tomadas por el autor de varios compendios tales como ASME, ASM, ASTM, AISC, entre otros [58]

En la ecuación 2.9 se muestra un modelo matemático usado para calcular la deflexión que se espera obtener, mediante la ecuación.

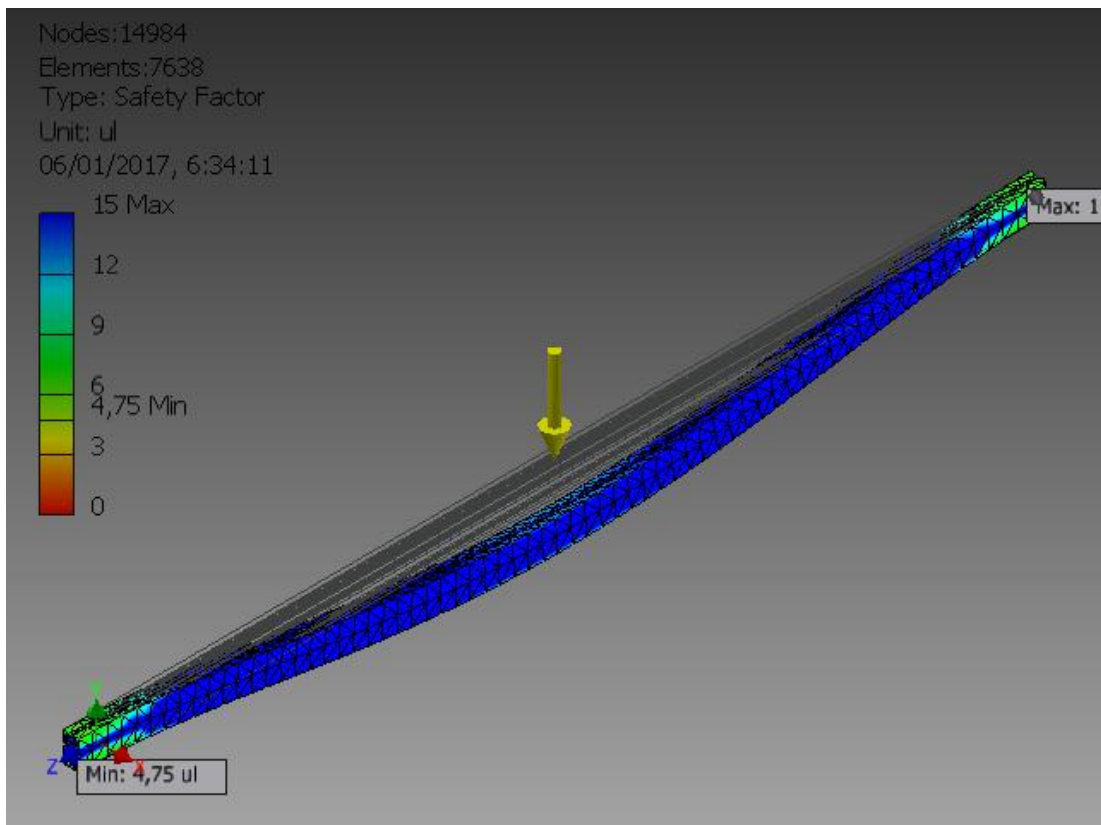


Figura 30. Factor de seguridad

$$\delta = \frac{L}{333} \quad (2.9)$$

Donde:

δ = Deflexión recomendada; [mm/mm o plg/plg]

L = Longitud del elemento en; [mm o plg]

$$\delta = 5 \text{ mm}$$

La deflexión admisible para este caso tomando el valor más alto será de alrededor de 5 mm, sin embargo mediante la simulación se obtiene un valor de 2.93 mm, como se muestra en la Figura 31, misma que cumple con los requerimientos de diseño por flexión como citado en [57] y [58].

Se determina que el elemento recomendado por el proveedor seleccionado cumple con los requerimientos para su uso.

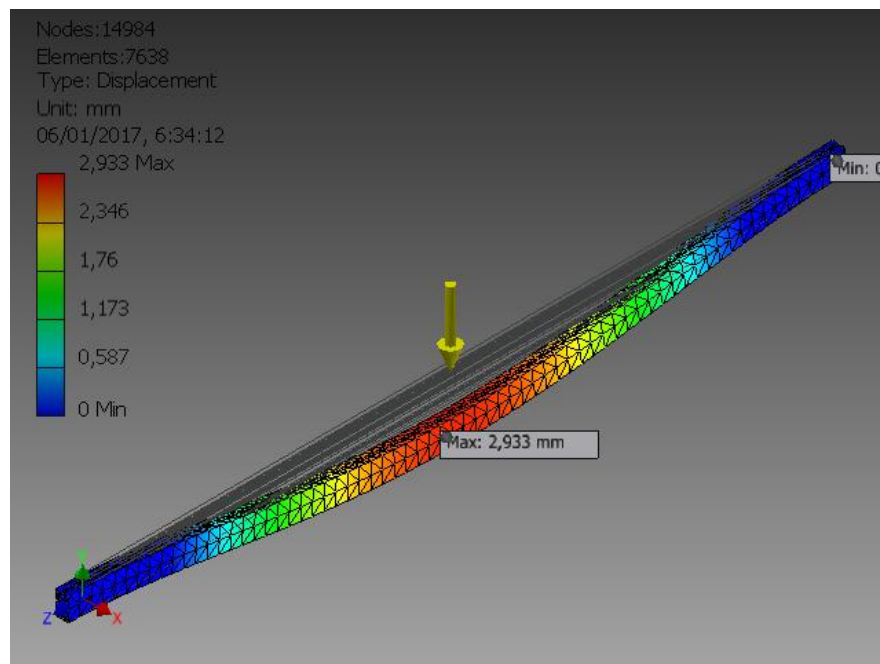


Figura 31. Deflexión del elemento

2.8 Selección del inversor de corriente

Este dispositivo electrónico permite la conversión de la corriente continua que se encuentra a la salida de los paneles fotovoltaicos en corriente alterna a cierta frecuencia [51], como la mayoría de dispositivos eléctricos o electrónicos estos presente un factor

de conversión de DC a AC, pérdidas por autoconsumo, grados de protección, entre otros parámetros requeridos de acuerdo a la legislación de cada país, para el caso del sistema se toman las normativas mencionadas en [48] y [54].

La importancia de este equipo radica en la capacidad de este de tomar la energía de los paneles solares, de acuerdo con los cambios de insolación que se presenten.

En la Figura 32, se realiza un análisis comparativo de las posibles configuraciones de los paneles solares del sistema.

Como lo indica la curva, una configuración de 3 ramales de 2 paneles presenta una mejor eficiencia, y requiere de un inversor de 1 kW que es más económico que el de 1,7 kW, a pesar de que la potencia es la misma entre las configuraciones de los paneles el Maximum Power Point (Mpp), varía con la configuración de estos al aumentar el emperaje la potencia, el MPP sube a valores que el inversor no puede controlar. Los datos del inversor se muestran en la Tabla 2-VIII.

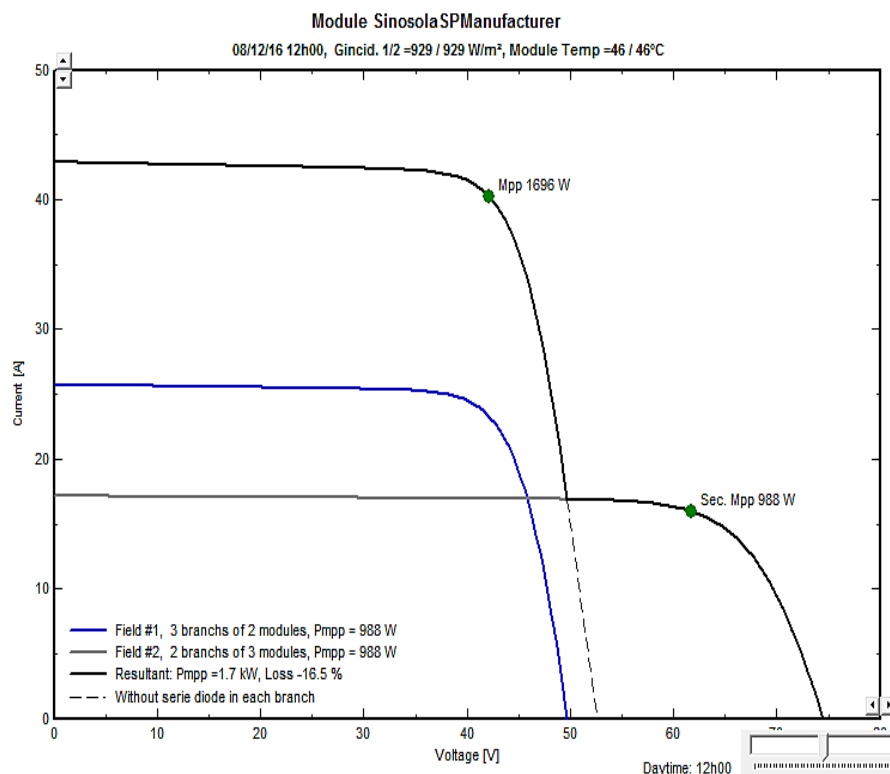


Figura 32. Comparativo de posición de paneles solares

Tabla 2-VIII
Datos del inversor de corriente

Datos técnicos	
Dimensiones	395*185*215 mm
Peso	12 kg
Tipo de onda de salida	Sinusoidal
Potencia máxima de salida	1000 W
Tensión máxima de salida	110 V

Para las simulaciones los datos se cargan y validan por el software, este se muestra en la Figura 33.

The screenshot shows the 'Definición de un sistema red, Variante "Nueva variante de simulación"' window. It is divided into several sections:

- Configuración global sistema:** N° de tipos de sub-campos: 1. Esquema Simplificado.
- Resumen sistema global:**

N° de módulos	6	Potencia nominal FV	1.0 kWp
Superficie módulos	6 m²	Potencia máxima FV	1.2 kWdc
N° de inversores	1	Potencia nominal CA	1.0 kWac
- Sistema Homogéneo:**
 - Ayuda al Dimensionado:** No Sizing. Entrar Pnom deseada: 1.0 kWp, ... o superficie disponible: 6 m².
 - Selección del módulo FV:** Lista módulos por: Potencia. Prod. desde 2011. 167 Wp 17V Si-mono SP Sinosola Manufacturer. Tensiones de dimensionado: Vc 21.2 V, Voc (-10°C) 21.6 V.
 - Selección del inversor:** Lista inversores por: Potencia. Todos los inversores. 1.0 kW 34-68 V 60 Hz off grid inverter sinosola. N° de inversores: 1. Tensión Funciona.: 34-68 V. Tensión máx de entrada: 86 V. Pglobal inversor: 1.0 kWac.
 - Diseño del generador FV:**
 - N° de módulos y cadenas: Mód. en serie: 2, N° de cadenas: 3. Ver condiciones entre 2 y 3.
 - Perdida sobrecarg.: 0.0%. Pérd. sobrecarg. 1.00.
 - N° módulos: 6, Superficie: 6 m².
 - Cond. de funcionamiento: Vmpp (60°C): 42 V, Vmpp (20°C): 39 V, Voc (-10°C): 43 V.
 - Irradiancia plano: 1000 W/m². Máx. en bases: STC. Pmáx en funcionamiento: 1.1 kW en 1000 W/m² y 50°C.
 - Isc (STC): 27.8 A, Isc (en STC): 27.3 A.
 - Potencia nom generador (ST) 1.0 kWp.

Buttons at the bottom: Necesidades usuarios, Pérdidas detalladas, Anular, OK.

Figura 33. Validación de datos en PVsyst

2.9 Selección del controlador o bypass

Este dispositivo es en encargado de controlar el flujo de energía desde el grupo de baterías y paneles solares hacia las cargas conectadas, variando el flujo eléctrico de acuerdo al requerimiento del sistema, este debe cumplir con la normativa del Internacional Electrotechnical Commission 62548 (IEC-62548) como lo mencionan [48], [53] , el presente sistema instalado es aislado de la red debido que dentro del DMQ no se permite la cogeneración de energía eléctrica.

2.10 Selección de baterías

Se debe optar por baterías de ciclo profundo debido a que estas pueden descargarse hasta un 20 % de su carga sin sufrir daños, también se recomienda que se tenga disponibilidad de carga para un periodo de 2- 3 días [48], [53] y [51]

$$P_{bat} = \frac{C_m * Autonomía}{F_d * V_{bat}} \quad (2.10)$$

Donde:

P_{bat} = Potencia de la batería [Wh]

C_m = Consumo medio diario (elementos conectados) [W]

$Autonomía$ = Cantidad de días de almacenamiento a un consumo dado [días]

F_d = Factor de batería (80 % para baterías de ciclo profundo)

V_{bat} = Voltaje de la batería [V]

Como se propuso al inicio del trabajo, se generará 20 kW/mes que se traducen en alrededor de 0.6 kW/día, con este valor se diseña la capacidad del sistema de almacenamiento considerando un uso de esta capacidad de 8 horas al día, por 30 días

$$C_m = 667 \text{ Wh}$$

Para una autonomía de 2 días se requiere una potencia aproximada de:

$$P_{bat} = 64.5 \text{ Ah}$$

Tabla 2-IX

Datos técnicos de batería seleccionada

Datos técnicos	
Peso	30 kG
Voltaje de operación	12 V
Capacidad	100 Ah
Dimensiones	330*75*225 mm

Se usarán 2 baterías de 100Ah de 12 voltios conectadas en serie por el motivo de que el inversor es de 24 voltios.

2.11 Dimensionamiento de los conductores

Los conductores eléctricos se calculan con un valor del 125 % de la corriente [48], sin embargo, en la misma referencia se detalla las dimensiones de los conductores de acuerdo a la corriente de operación como se muestra en la Figura 34.

Corriente nominal del circuito	15 A	20 A	30 A	40 A	50 A
Conductores (Calibre mínimo)*:					
Alambres de circuito	2,08 (14)	3,3 (12)	5,25 (10)	8,36 (8)	13,29 (6)
Salidas derivadas	2,08 (14)	2,08 (14)	2,08 (14)	3,3 (12)	3,3 (12)
Alambres y cordones de artefactos					
Véase el Artículo 240-4					
Protección contra sobrecorriente	15 A	20 A	30 A	40 A	50 A
Dispositivos de salida: Portabombillas permitidos Capacidad nominal del tomacorriente**	Cualquier tipo 15 A max.	Cualquier tipo 15 o 20 A	Servicio pesado 30 A	Servicio pesado 40 o 50 A	Servicio pesado 50 A
Carga máxima	15 A	20 A	30 A	40 A	50 A
Carga permisible	Véase el Artículo 210-23.a)	Véase el Artículo 210-23.a)	Véase el Artículo 210-23.b)	Véase el Artículo 210-23.c)	Véase el Artículo 210-23.c)

* Estos calibres se refieren a conductores de cobre con sección transversal en mm² y entre paréntesis AWG .

** Para la capacidad nominal de los tomacorrientes para los artefactos con lámpara de descarga conectados con cordón véase el Artículo 410-30. c) .

Figura 34 Tabla de selección de calibre de conductor
Adaptado de: Código de electrificación nacional

Se selecciona el cable 12 AWG o de 3.08 mm² cumpliendo así con lo requerido en [48] y [54], que restringen a 1.5 % el máximo de caídas de voltaje.

2.12 Dimensionamiento de las protecciones

En [48] se menciona que se debe brindar una protección mínima del 125 % de la corriente nominal de cortocircuito de los módulos en paralelo medida en Amper (A)

$$P = I_{oc} * 1.25 \quad (2.11)$$

Donde:

P = Capacidad de la Protección en Amperes; [A]

I_{oc} = Corriente de cortocircuito; [A]

$$P = 9.1 A * 1.25$$

$$P = 11.38 A$$

Sin embargo, también se menciona en [48] que la protección mínima para circuitos es de 15 y 30 A para circuitos de uno y dos ramales respectivamente por lo que se opta por una protección de 15 A.

2.13 Análisis de Costos

Como se menciona en [59], para la presentación de un proyecto de inversión, se requiere el análisis Valor Actual Neto (VAN), Taza Interna de Retorno (TIR), también se puede realizar dicho análisis mediante Tablas de Amortización de capital, mismas que se usarán para conocer el estado del endeudamiento del inversionista.

Según el ANEXO 5 el costo aproximado del sistema solar es de USD 2126.1 incluido el IVA, la vida útil del sistema fotovoltaico se estima entre 25 y 30 años, el costo neto de implementar el equipo, considerando que el pago debe ser realizado en un periodo de 2 años:

$$P_w = \frac{A_{g/n} * i}{1 - (1 + i)^{-n}} \quad (2.12)$$

P_w = Pagos mensuales

$A_{g/n}$ = Capital neto invertido

i = Interés 16.69 % según [60]

n = Número de períodos en este caso se usará 24 meses

Se deben realizar 24 pagos de USD 104.81, para cumplir con lo establecido por el ente que financia el proyecto, como se indica en la Tabla X.

Tabla 2-X
Tabla de amortización del préstamo

MES	SALDO DE LA DEUDA INICIAL(USD)	PAGO MENSUAL (USD)	INTERESES (USD)	AMORTIZACIÓN DE CAPITAL (USD)	SALDO (USD)
1	2.126,10	104,81	29,59	75,22	2.050,88
2	2.050,88	104,81	28,54	76,27	1.974,61
3	1.974,61	104,81	27,48	77,33	1.897,28
4	1.897,28	104,81	26,40	78,41	1.818,87
5	1.818,87	104,81	25,31	79,50	1.739,38
6	1.739,38	104,81	24,21	80,60	1.658,77
7	1.658,77	104,81	23,08	81,73	1.577,05
8	1.577,05	104,81	21,95	82,86	1.494,18
9	1.494,18	104,81	20,79	84,02	1.410,17
10	1.410,17	104,81	19,62	85,19	1.324,98
11	1.324,98	104,81	18,44	86,37	1.238,61
12	1.238,61	104,81	17,24	87,57	1.151,04
13	1.151,04	104,81	16,02	88,79	1.062,25
14	1.062,25	104,81	14,78	90,03	972,22
15	972,22	104,81	13,53	91,28	880,94
16	880,94	104,81	12,26	92,55	788,39
17	788,39	104,81	10,97	93,84	694,55
18	694,55	104,81	9,67	95,14	599,41
19	599,41	104,81	8,34	96,47	502,94
20	502,94	104,81	7,00	97,81	405,13
21	405,13	104,81	5,64	99,17	305,96
22	305,96	104,81	4,26	100,55	205,41
23	205,41	104,81	2,86	101,95	103,45
24	103,45	104,81	1,44	103,37	0,08
Total		2.515,44	389,42	2.126,02	

La diferencia de USD 0.08 se debe cancelar al prestamista debido a que se puede manejar solo dos decimales al realizar los pagos.

El costo kWh está entre USD 0.08-0.09, según datos de la Empresa Eléctrica Quito (EEQ), sin embargo el estado Ecuatoriano a través de la regulación 009/06 del CONECEL hace una referencia a los costos de energías provenientes de fuentes renovables, mismos que se detallan en la Figura 35.

CENTRALES	PRECIO (cUSD/kWh) Territorio Continental	PRECIO (cUSD/kWh) Territorio Insular de Galápagos
EOLICAS	9.39	12.21
FOTOVOLTAICAS	52.04	57.24
BIOMASA Y BIOGAS	9.67	10.64
GEOTERMICAS	9.28	10.21
PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS HASTA 5 MW	5.80	6.38
PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS MAYORES A 5 MW HASTA 10 MW	5.00	5.50

Figura 35. Tarifas aprobadas por el CONECEL

Adaptado de: Precios de la energía producida con recursos energéticos renovables no convencionales

Debido a la diferencia entre los valores dados por el CONELEC se toma el escenario menos optimistas obtenidos en la investigación de la ESPE, y se calculan mediante la Ecuación 2.13 mencionada en [53] y [54]

$$E_{gp} = \frac{P_p * \# p * HSP * 365 \text{ días} * \# \text{ años}}{1000} * n_{sist} \quad (2.13)$$

Donde:

E_{gp} = Energía pico generada

P_p = Potencia pico del panel solar

$\# p$ = Cantidad de paneles

HSP = Horas solares pico

#años= cantidad de años que funcionará el sistema

n_{sist} = Eficiencia del sistema (0.75) debido a pérdidas en cables, protecciones, factores ambientales, etc. Mismos que se presentan en la Figura 36.

$$E_{gp} = \frac{167 \text{ W} * 6 * 4 \text{ horas/día} * 365 \text{ días/año} * 25 \text{ años}}{1000 \text{ W/kW}} * 0.75$$

$$E_{gp} = 2735.6 \text{ kWh} \text{ Aproximadamente}$$

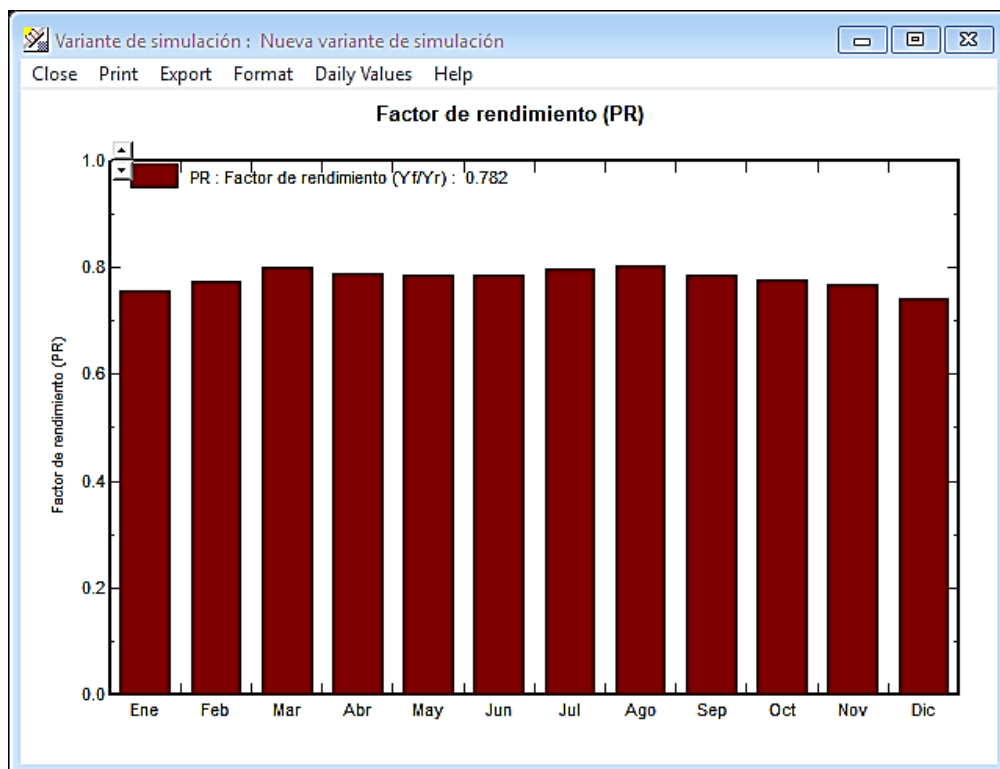


Figura 36. Rendimiento esperado del sistema

La producción diaria pico esperada es de 3 kWh, si se considera un promedio de 20 días laborables se tiene un estimado mensual de 60 kWh cumpliendo con el objetivo principal del proyecto.

Como lo muestra la simulación de tres escenarios proyectados antes de mediodía, al mediodía y luego de mediodía, no se presentan interrupciones o sombras por parte de los paneles solares.

El software presenta también la curva característica del sistema, mostrado en la Figura 37.

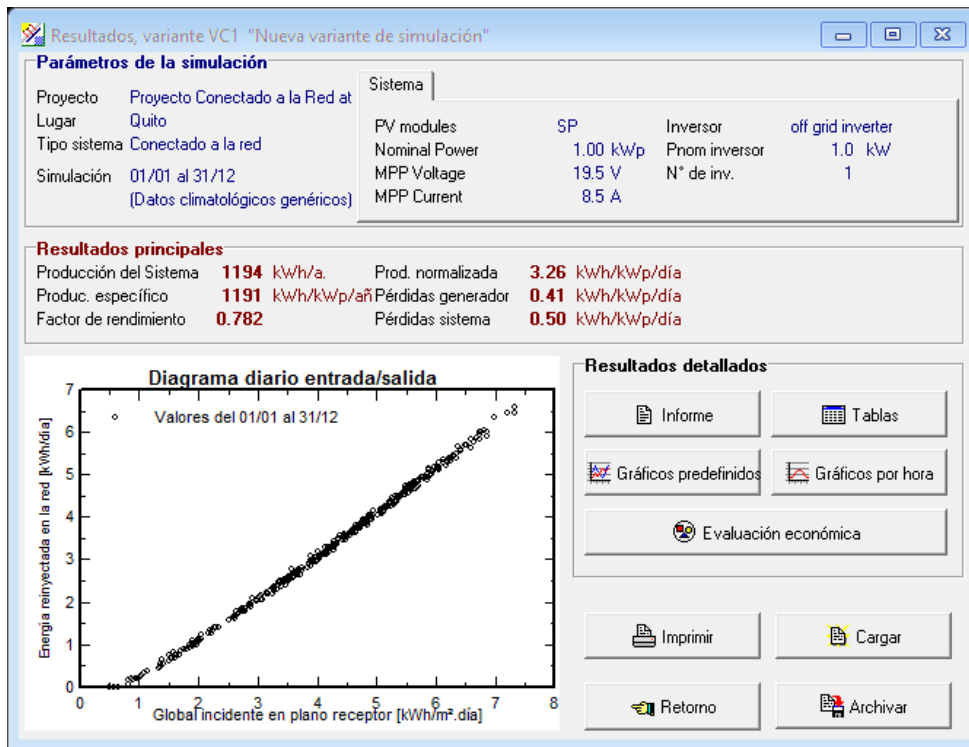


Figura 37. Curva característica del sistema

Se presenta también un detalle de las pérdidas del sistema, en le Figura 38 mismo que ha sido detallado por el software usado.

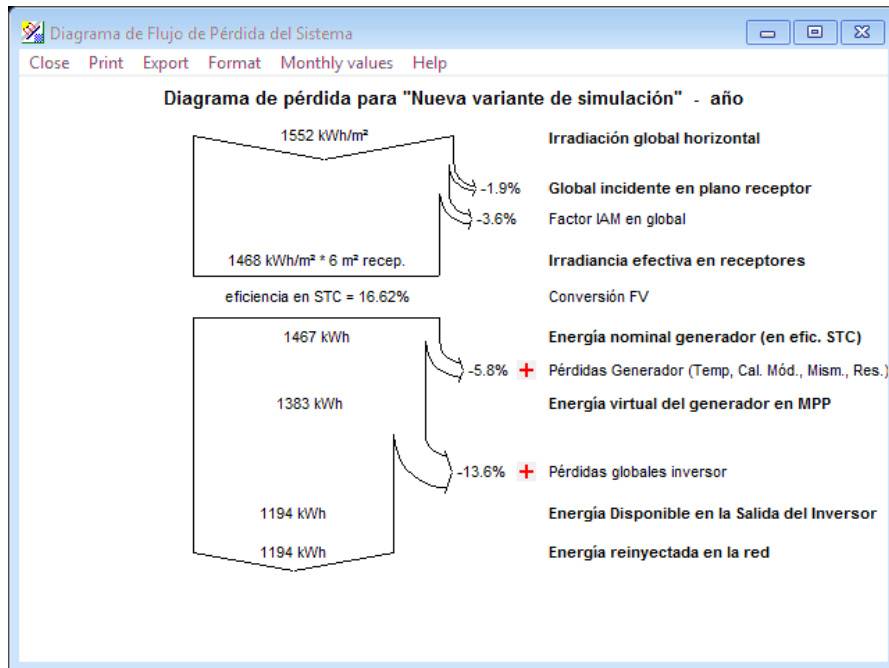


Figura 38. Pérdidas del sistema

En la Figura 39 se presenta un detalle de la energía producida por los paneles solares en una escala mensual.

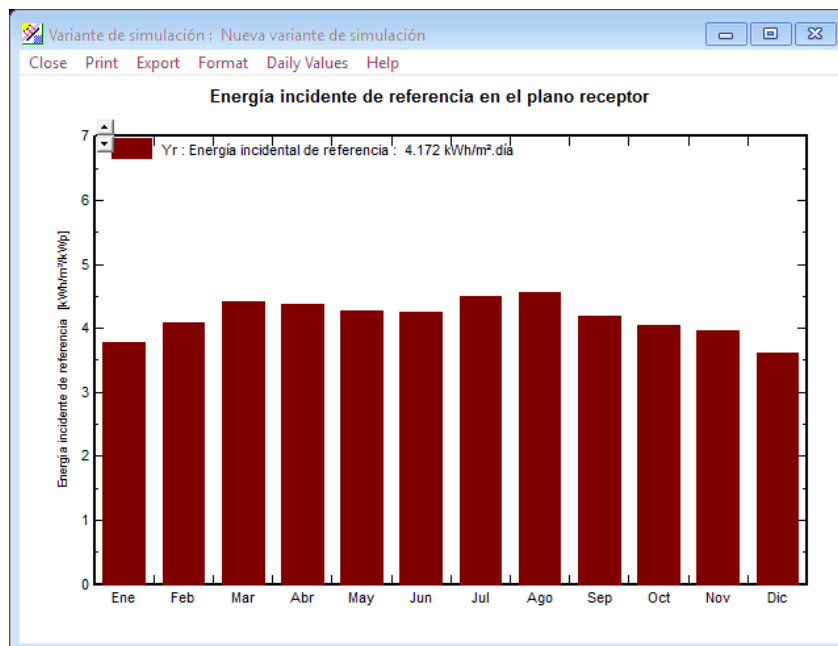


Figura 39. Energía pico producida por el panel solar

En la Figura 40 se presenta las pérdidas por varios factores tales como autoconsumo, fugas y otros.

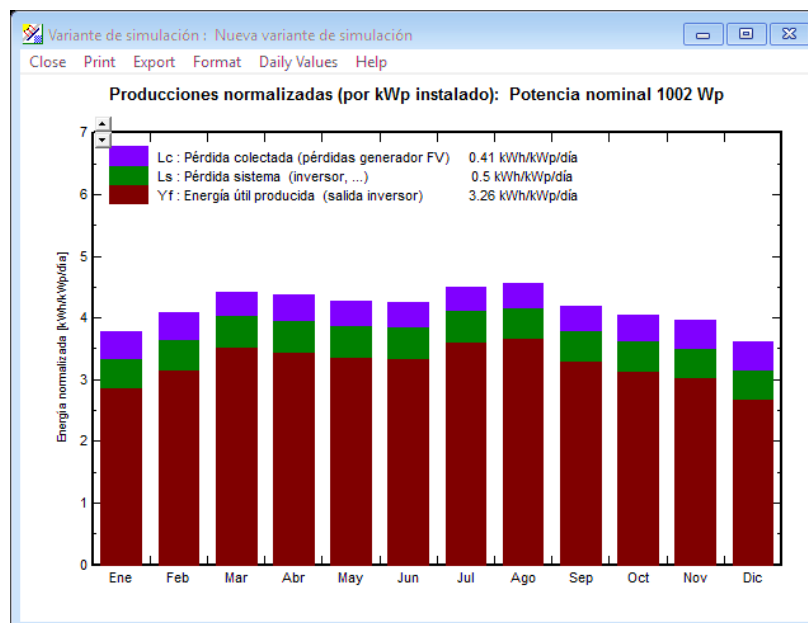


Figura 40. Pérdidas por fugas y autoconsumo

Tomando los datos de generación, se calcula el valor económico que produce el sistema de generación al precio por kWh de energías alternativas de CONELEC.

Según datos de la de la Tabla 2-XI, se tiene eficiencias de funcionamiento del 90 % en los paneles los primeros 8 años y del 80 % luego de los primeros años del sistema como se menciona en [54] y [61] el costo de generación de kWh mediante sistemas fotovoltaicos debido a los Certificados de Emisión Reducida (CER's).

Tabla 2-XI
Datos de generación anual del equipo

Generación durante la vida útil del sistema				
Año	Generación estimada	Costo USD/kWh	Eficiencia del panel	Valor proyectado (USD)
1	1032,60	0,52	0,90	483,26
2	1032,60	0,52	0,90	483,26
3	1032,60	0,52	0,90	483,26
4	1032,60	0,52	0,90	483,26
5	1032,60	0,52	0,90	483,26
6	1032,60	0,52	0,90	483,26
7	1032,60	0,52	0,90	483,26
8	1032,60	0,52	0,90	483,26
9	1032,60	0,52	0,80	429,56

10	1032,60	0,52	0,80	429,56
11	1032,60	0,52	0,80	429,56
12	1032,60	0,52	0,80	429,56
13	1032,60	0,52	0,80	429,56
14	1032,60	0,52	0,80	429,56
15	1032,60	0,52	0,80	429,56
16	1032,60	0,52	0,80	429,56
17	1032,60	0,52	0,80	429,56
18	1032,60	0,52	0,80	429,56
19	1032,60	0,52	0,80	429,56
20	1032,60	0,52	0,80	429,56
21	1032,60	0,52	0,80	429,56
22	1032,60	0,52	0,80	429,56
23	1032,60	0,52	0,80	429,56
24	1032,60	0,52	0,80	429,56
25	1032,60	0,52	0,80	429,56
Valor total				11.168,60

Al comparar las tablas 2-X y 2-XI se determina que la inversión será recuperada en un tiempo estimado de 5 años como lo muestra la Figura 41.

El gráfico muestra la recuperación que se da del capital invertido, que es de alrededor de cinco años.

La vida estimada del sistema es de 25 años según datos del fabricante, se espera que este genere una ganancia para el patrocinador del proyecto durante el tiempo de uso de este sistema.

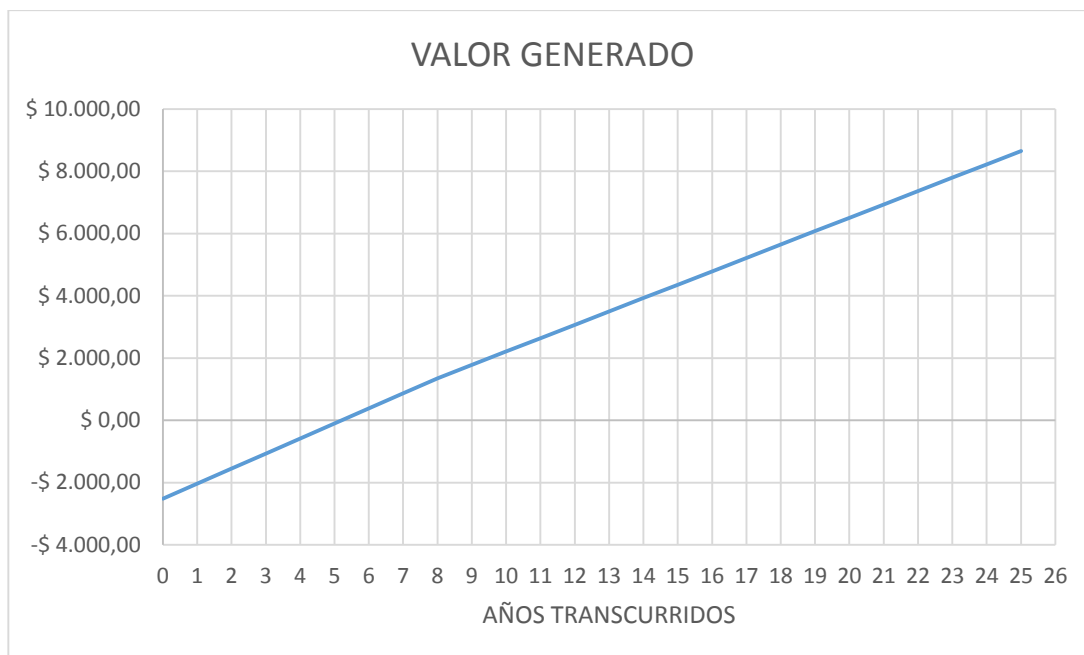


Figura 41. Tiempo estimado de retorno de la inversión

CAPÍTULO 3

3 MONTAJE DEL EQUIPO

Con el fin de ensamblar los componentes de una forma ordenada se proponen los siguientes pasos para la instalación e inspección del equipo.

Lo primero que se realiza es la revisión de los dispositivos que conforman el sistema completo una vez que éste llegó al puerto de Guayaquil en el contenedor de importación. Para lo cual se realizó una inspección visual mediante fotografías que

proporcionó la aseguradora contratada por VIHUMONSAL. En la Figura 40 se ilustran los dispositivos encima de un pallet después de ser sacado del contenedor, la inspección visual no indica daños aparentes en el quipo durante su traslado.



Figura 42. Dispositivos embalados

Antes de la instalación se requieren los siguientes elementos para el montaje del equipo:

- Taladro
- Juego de llaves inglesas mixtas de 10 mm
- Destornilladores
- Racha y dados de 10 mm
- Pernos con expansor de 10mm
- Guantes
- Gafas de seguridad (antiparras)
- Casco para protección
- Orejeras

La revisión de los elementos en el lugar de la instalación, con el fin de detectar elementos deteriorados, fisuras, entre otros problemas que pudieran presentarse, como lo indica la Figura 43.



Figura 43. Revisión de paneles solares en el lugar de la instalación

Se mide la generación de los paneles solares (de uno en uno) en busca de paneles defectuosos o que no cumplan con los parámetros especificados por el fabricante, como lo indica la Figura 44.



Figura 44. Medición de generación de paneles solares

Se procede al ensamble de los soportes de los paneles solares fotovoltaicos como lo indican las Figuras 45, 46 y 47, donde se procede a la correcta ubicación de los perfiles, pernos y espaciadores de paneles.



Figura 45. Ensamble de soportes de paneles solares



Figura 46. Montaje de paneles sobre la estructura



Figura 47. Modelo de panel ensamblado vista posterior

Verificación de conexión de los dispositivos para ello es necesario realizar pruebas de funcionamiento para garantizar la correcta operación de cada uno de los mismos.



Figura 48. Conexión de los dispositivos antes del montaje



Figura 49. Verificación del voltaje requerido para alimentar el sistema

CONCLUSIONES

- Se pudo demostrar gracias a investigaciones que en el Ecuador más de 1 millón de familias carecen de electricidad. Esto deriva en un problema de inclusión social. El estado garantiza el acceso a los servicios básicos. Esto se dificulta cuando se tiene poblaciones en sectores alejados. En estos casos los sistemas de fuentes de energía renovable son de gran ayuda para los ciudadanos.
- Los parámetros requeridos por el sistema tales como capacidad de cada batería (12 Voltios y de 100 Amperios-hora), ángulos de inclinación de paneles $< 15^\circ$, distancias para evitar sombreados (referente a edificaciones y paredes cercanas), diámetro de conductores (8 AWG), protecciones para sobrecargas (brakers de 30 Amperios), entre otros parámetros fueron establecidos de acuerdo a normativas nacionales y documentos de requisitos internacionales.
- La cantidad de energía producida por el equipo en plena carga fue determinada en los cálculos previos (27 Voltios en CD), así como la generación en condiciones desfavorables como nubosidades (24.3 Voltios en CD), dando como resultado un ahorro del 2% en el consumo diario de la empresa, mismo que pudiera incrementarse con un plan de eficiencia energética y con la implementación de más paneles solares fotovoltaicos de 166 W conectados en el sistema.
- La implementación cumple con los requisitos ambientales establecidos en la legislación ambiental, así como el apego a los requerimientos del cambio de la matriz productiva de Ecuador y su búsqueda por generar energía limpia.

RECOMENDACIONES

- Considerar la ubicación geográfica donde va a ser implementado el sistema para lo cual se exhorta verificar el Atlas Solar del Ecuador o la investigación de radiación solar del Ingeniero Jorge Guasumba, Jefe del Departamento de Energías de la Escuela Politécnica del Ejercito (ESPE), adjuntado en el presente proyecto para dar un mejor resultado de eficiencia a los próximos proyectos.
- Transmitir las conclusiones del presente estudio para que las futuras generaciones aprovechen en su totalidad la investigación y sean referentes para maximizar la eficiencia del sistema.
- Considerar la correcta conexión del banco de baterías y aumentarlas según el dimensionamiento calculado para la cantidad de paneles solares si se desea aumentar la potencia del sistema.
- Aprovechar el software de ingeniería PVsyst para un correcto dimensionamiento de los dispositivos para la demanda del consumo energético del sistema.
- Ejecutar el mantenimiento del sistema solar fotovoltaico, aunque se conoce que es mínimo y a su vez sencillo en todos los dispositivos, pero es importante y necesario hacerlo para alargar la vida útil del mismo.
- Realizar inspecciones periódicas de las uniones de los cables para verificar que no exista penetración de líquidos, polvos o cualquier elemento que deteriore las conexiones entre elementos y a su vez mediciones de voltajes y amperajes para garantizar el correcto funcionamiento de los mismos o reemplazarlos para que no afecten al sistema.
- La vida útil del sistema fotovoltaico está definido por la vida útil de sus componentes, en especial, del inversor de corriente directa a corriente alterna siendo el que tiene el mayor valor dentro del sistema llegando a ser el dispositivo que tiene un costo mayor al de la mitad del total del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. J. Neri Rodriguez, Sistema fotovoltaico con seguimiento del punto de máxima potencia y regulación de tensión bajo condiciones de sombreado parcial, Cuernavaca: Tecnológico nacional de México, 2016.
- [2] SENPLADES, Plan nacional del buen vivir 2013-2017, Quito: Senplades, 2013.
- [3] RENOVA, «RENOVA ENERGÍA,» 06 11 2016. [En línea]. Available: <http://goo.gl/WEO1jU>.
- [4] F. A. Oñate Landázuri, Mecanismos para la promoción de energías renovables no convencionales para la producción de energía eléctrica en el Ecuador, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2014.
- [5] M. A. Chávez Guerrero, Proyecto de factibilidad para uso de paneles solares en generación fotovoltaica de electricidad en el complejo habitacional "San Antonio de Riobamba", Riobamba: ESPOCH, 2012.
- [6] N. S. Chuquín Vasco y F. R. Márquez Saña , Diseño, construcción y pruebas de un sistema publicitario alimentado con energía solar y controlado con un relé inteligente (ZELIO), Riobamba: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, 2011.
- [7] M. P. Llerena Barragán y J. E. Menéndez Velásquez, «Repositorio Digital - EPN,» 28 07 2015. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11186>. [Último acceso: 22 11 2016].
- [8] J. R. Egas Molina, Diseño de un sistema para el reemplazo parcial de la demanda de energía mediante el empleo de energías renovables para usuarios residenciales, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2014.
- [9] G. Galarza, C. Gordillo y C. Rivera, IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR Y ESTUDIO DE LA ENERGÍA EÓLICA EN PUERTO ROMA, Guayaquil: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA , 2012.
- [10] R. Boylestad, Introducción al análisis de circuitos, México: PEARSON EDUCATION, 2004.
- [11] L. Wald, «UNESCO-EOLSS,» 15 junio 2016. [En línea]. Available: <http://www.eolss.net/sample-chapters/c08/e6-106-01-00.pdf>.
- [12] Y. Charabi, A. Gastli y S. Al-Yahyai, «Production of solar radiation bankable datasets from high-resolution solar irradiance derived with dynamical downscaling Numerical Weather prediction model,» *Energy Reports*, pp. 67-73, 2016.
- [13] H. Liu, Z. Chen, T. Zhou y Q. Zhang, «Solar radiation properties of common membrane roofs used in building structures,» *Materials & Design*, pp. 268-277, 2016.

- [14] D. A. Arenas y H. S. Zapata, LIBRO INTERACTIVO SOBRE ENERGIA SOLAR Y SUS APLICACIONES, Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2011.
- [15] Solartronic S.A, Irradiaciones global, directa y difusa, en superficies horizontales e inclinadas, así como irradiación directa normal para la República Mexicana, Cuernavaca: Solartronic S.A de C.V, 2003.
- [16] M. C. Tobajas, Instalaciones Solares Fotovoltaicas, S/N: CEYSA, 2012.
- [17] CONELEC, Plan Maestro de Electrificación 2013-2022, Cuenca: MEER, 2013.
- [18] MEER, Plan estratégico institucional 2014-2017, Quito: MEER, 2014.
- [19] EL UNIVERSO, «Los presidente Xi Jinping de China y Rafael Correa de Ecuador inauguraron este viernes la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair,» *Ecuador y China inauguran hidroeléctrica Coca Codo Sinclair*, p. 1, 18 11 2016.
- [20] A. Vallejo, «Principios y usos de la energía solar,» Tecnológico de Monterrey, Monterrey, 2014.
- [21] Constitución de la República del Ecuador, Montecristi: N.E, 2008.
- [22] J. M. Martínez Robles, Implementación de un sistema de celdas fotovoltaicas para el alumbrado del laboratorio de automatización de la facultad de ingeniería de la UAQ, Santiago de Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro, 2014.
- [23] E. González Toy, Sistema fotovoltaico con mínimo almacenamiento de energía en el enlace de CD, Cuernavaca: Centro nacional de investigación y desarrollo tecnológico, 2008.
- [24] G. F. Velasco y E. Cabrera, «Generación solar fotovoltaica dentro del esquema de generación distribuida para la provincia de Imbabura,» S/N 11 2009. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/9350>.
- [25] C. Ryttoft, «Energía Solar,» *ABB*, p. 4, 2014.
- [26] J. Santamarta, Escritor, *Las energías renovables son el futuro*. [Performance]. World Watch, 2004.
- [27] A. Levran, «Del Generador Al Enchufe,» *ABB*, p. 6, 2014.
- [28] D. Arenas y H. Zapata, LIBRO INTERACTIVO SOBRE ENERGIA SOLAR Y SUS APLICACIONES, Pereira: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, 2011.
- [29] G. A. Pérez Cárdenas, «Repositorio Digital de la Escuela Politécnica Nacional,» 01 01 2016. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/13066>. [Último acceso: 05 11 2016].

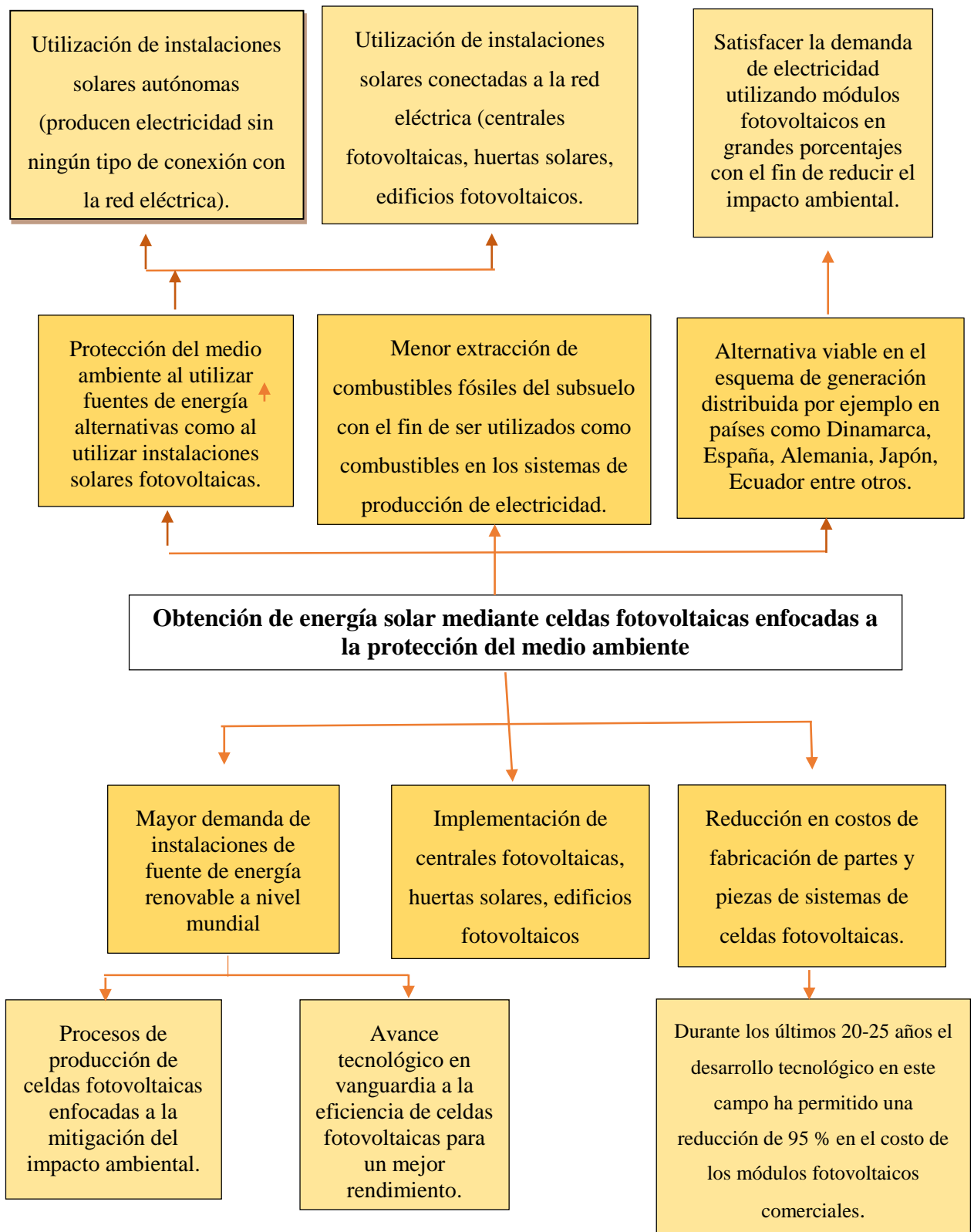
- [30] J. Duffie y W. Beckman, *Solar energy of thermal processes*, Hoboken: WILEY, 2013.
- [31] I. N. d. E. E. y. E. Renovables, «INER,» 10 06 2016. [En línea]. Available: http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/12/SOLAR_DOSSIER.pdf.
- [32] E. Baethge, A. Berzoy, V. Guzmán y M. I. Giménez, «Nuevo sistema de control para el seguimiento del punto de máxima potencia en paneles solares basado en el control predictivo de corriente de convertidores cc-cc.,» *UCT*, pp. 151-160, 2011.
- [33] L. Manzano, «Ecuador.ahk.de,» mayo 2015. [En línea]. Available: http://ecuador.ahk.de/fileadmin/ahk_ecuador/Uploads-Webseite/Dienstleistungen/Dokumente/Projekte/2015/Luis_Manzano_MERER.pdf. [Último acceso: 19 Octubre 2016].
- [34] N. Ortiz Juarez, X. Segura Galván, J. R. Velázquez espinosa y V. Cañavera Garcia, *Obtención de energía por medio de celdas solares*, Ncalpan: Instituto cultural Copán, 2015.
- [35] D. O. Pérez Garrido, *Análisis de un sistema de iluminación utilizando ampollas de bajo consumo y alimentado por paneles fotovoltaicos*, Valdivia: Universidad austral de Chile, 2009.
- [36] dreamstime, 2016. [En línea]. Available: <https://www.dreamstime.com/stock-illustration-solar-panel-sun-icon-golden-hot-above-photovoltaic-encircled-fresh-green-leaves-conceptual-renewable-energy-image46609907>. [Último acceso: Octubre 19 2016].
- [37] D. González, Interviewee, *Cómo se fabrican las Placas Solares Fotovoltaicas*. [Entrevista]. 24 01 2012.
- [38] Fisicap4, «fisicap4.org,» [En línea]. Available: <http://fisicap4.org/fisica/moderna/foto.html>. [Último acceso: 19 Octubre 2016].
- [39] T. A. Litardo López, *Estudio de la viabilidad socio-ambiental del hidrógeno como vector energético producido a partir de energías renovables en el Ecuador*, Quito: EPN, 2014.
- [40] H. Altamonte, N. Correa, D. Rivas y G. Stumpo, «La dinámica del consumo energético industrial en América Latina y sus implicancias para un desarrollo sostenible,» *CEPAL*, p. 8, 2011.
- [41] C. Ryttoft, «Energía Solar,» *ABB*, vol. 15, n° 2, pp. 6-76, 2014.
- [42] L. Jarauta Rovira, *Las Energías Renovables*, Barcelona: UOC, 2015.
- [43] V. H. De León Morales, *Generación eléctrica fotovoltaica en la facultad de ingeniería USAc y estudio del aprovechamiento*, Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala, 2008.

- [44] CEMAER, «gstrium,» [En línea]. Available: <http://www.gstriatum.com/energiasolar/blog/2014/07/24/tipos-de-paneles-solares-ventajas-y-desventajas/>. [Último acceso: 18 Octubre 2016].
- [45] Jardin solar, «Jardin solar,» 29 agosto 2013. [En línea]. Available: <http://jardin-solar.blogspot.com/2013/08/para-que-sirve-un-panel-solar-de.html>. [Último acceso: 19 Octubre 2016].
- [46] wikipedia, «wikipedia.org,» 5 septiembre 2007. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula_fotoel%C3%A9ctrica#/media/File:Pn-junction-equilibrium-graphs.png. [Último acceso: 19 Octubre 2016].
- [47] J. M. Cruz, Guía de mantenimiento en instalaciones fotovoltaicas, España: Ediciones Experiencia, 2009.
- [48] INEN, Código de Electrificación Nacional, Quito: INEN, 2001.
- [49] J. Guasumba, Análisis de radiación solar en Sangolquí, Sangolquí: Escuela Politécnica de Las Fuerzas Armadas, 2012.
- [50] J. Duffie y W. Beckman, Solar engineering of thermal processes, Wisconsin: Wiley, 2013.
- [51] G. G. González, J. C. Zambrano y E. F. Estrada, Estudio, diseño e implementación de un sistema de energía solar en la comuna Puerto Roma de la isla Mondragón del golfo de Guayaquil, provincia del Guayas, Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana, 2014.
- [52] I. E. Pereda, Celdas fotovoltaicas en generación Distribuida, Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile, 2005.
- [53] C. R. Vásquez, Análisis, modelamiento y gestión de una micro red eléctrica para edificaciones residenciales usando paneles fotovoltaicos, Quito: Universidad Politécnica Salesiana, 2014.
- [54] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Pliego de condiciones técnicas de instalaciones conectadas a la red, Madrid: IDAE, 2011.
- [55] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Atlas Eólico del Ecuador, Quito: MEER, 2013.
- [56] S. Kalpakjian y S. Steven, Manufactura ingeniería y tecnología, New York: Pearson Education, 2009.
- [57] R. Bundynas y K. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, New York: Mc-GrawHill, 2011.
- [58] R. Mott, Resistencia de materiales, México: Pearson Education, 2009.

- [59] Secretaría Nacional de Planificación, Guía para la presentación de programas y proyectos de inversión pública, Quito: SENPLADES, 2010.
- [60] Banco Central del Ecuador, 28 Noviembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.bce.fin.ec/index.php/component/k2/item/754>. [Último acceso: 01 Diciembre 2016].
- [61] R. Deffense Narváez, Obtención de certificados de emisiones reducidas mediante el mecanismo de desarrollo limpio, Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingenieros, 2009.
- [62] B. Salazar, «Ingeniería Industrial Online,» 26 Enero 2016. [En línea]. Available: <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/procesos-industriales/procesos-de-conformado/>.
- [63] G. Castro, «Departamento de Ingeniería Mecánica F.I.U.B.A.,» n/a Febrero 2008. [En línea]. Available: http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Fundamentos_de_Conformado_Plastico.pdf.
- [64] I. E. d. N. INEN, «n/a,» n/a n/a 2009. [En línea]. Available: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0109.2009.pdf>.
- [65] MEER , Disponibilidad de recursos naturales renovables, Quito: MEER, 2013.
- [66] C. P. d. I. Reyes, Aplicaciones de la energía solar al tratamiento térmico de suelos de invernadero, Córdoba: Universidad de Córdoba, 2007.
- [67] D. D. Cañar Reinoso, Energía solar térmica para generación de electricidad en el Ecuador, Cuenca: Universidad de Cuenca, 2014.
- [68] E. J. Neri Rodriguez, Sistema fotovoltaico con seguimiento del punto de máxima potencia y regulación de tensión bajo condiciones de sombreado parcial, Cuernavaca: Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, 2016.
- [69] AllYouNeedisEcuador.Travel, «AllYouNeedisEcuador.Travel,» 2015. [En línea]. Available: <http://trade.allyouneedisecuador.travel/es/travel-planner/amz-travel-planner/43-material-webinars/amz-travel-planner/1188-amazonia-ecolodges#kapawi-ecolodge>. [Último acceso: 19 Octubre 2016].
- [70] Galapagos garden hotel, «galapagos gardel hotel,» [En línea]. Available: <http://www.galapagosgardenhotel.com/galeria/>. [Último acceso: 19 Octubre 2016].
- [71] E. comercio, «Tecnología,» *5 paradas de buses se iluminan con energía solar en Quito*, 16 Febrero 2014.
- [72] E. COMERCIO, *5 paradas de buses se iluminan con energía solar en Quito*, Quito, 2014.

ANEXOS

ANEXO 1. Diagrama causa-efecto para la obtención de energía solar mediante celdas fotovoltaicas enfocadas al cuidado ambiental



ANEXO 2. Proforma de Sistema de generación de electricidad mediante paneles solares fotovoltaicos para obtener una salida de 1000 Wp de empresa RENOVA ENERGÍA



www.renova-energia.com

FACTURA PROFORMA

Fecha: viernes, 23 de diciembre de 2016

RENOVAENERGIA S.A.

RUC: 1792187567061

Paseaje Sánchez Melo OE1-37 y Avenida Gato Plaza Lasso

Quito - Ecuador

Teléfono: (593 2) 2403643, (593 2) 2417863 Ext. 101 y 102

Celulares: 0987000710, 0987593688

e-mail: info@renova-energia.com

www.renova-energia.com

Proforma: RNV- OF- USD - 7904 - 23/12/16

CLIENTE: State Cell

RUC:

DIRECCIÓN: Quito Ecuador

TELÉFONO:

CELULAR:

E-MAIL: estadoq2@statecell.com

WEB:

OFERTA ECONÓMICA

Equipos	Código y Modelo	C	Precio Unitario	Precio Unitario incluido IVA	SUBTOTAL	TOTAL (IVA)
Paneles	MD061 Sunlink Modelo SL0220-20P 250 , 24Vdc nominal 250Wp, 24 V, 250 W	4	339,02 \$	386,48 \$	1.356,08 \$	1.545,93 \$
Micro Inversor	M302 WTC SPARO Q 1000 Microinversor, 230Vac, 1100W	1	760,73 \$	867,23 \$	760,73 \$	867,23 \$
Cables	CA009 WTC AC Trunk Cable (12AWG) - 2m - One(1)-branch (4 Q1000s max / trunk) 3113-9001-1X, 0, 0	1	89,78 \$	102,35 \$	89,78 \$	102,35 \$
	CA010 WTC AC Trunk Cable Sub End Cap (12AWG) - One(1) End Cap 3133-9001-1X, 0, 0	1	18,90 \$	21,55 \$	18,90 \$	21,55 \$
Otros Bienes	Sistema Inhibidor y de monitoreo hasta 60Amp. Marca GOIA, .	1	1.700,00 \$	1.938,00 \$	1.700,00 \$	1.938,00 \$

CUATRO MIL VEINTE Y SIETE CON 00/100

DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTE AMÉRICA

INCLUYE IMPUESTO AL VALOR AGREGADO IVA

Subtotal	3.925,49 \$
Impuesto	4.475,06 \$
Desc. 10%	392,55 \$
Subtotal IVA	
14%	3.532,94 \$
Subtotal IVA 0%	0,00 \$
IVA 14%	494,61 \$
Total	4.027,55 \$

CONDICIONES DE OFERTA

La presente oferta tiene condición de entrega en la ciudad de:

DISPONIBILIDAD

QUITO

La disponibilidad para la entrega de los equipos ofertados es de: 1 días calendario contados a partir de la aceptación de la oferta y sus condiciones.



VIDA RENOVABLE Y SUSTENTABLE

ANEXO 3. Proforma de Sistema de generación de electricidad mediante paneles solares fotovoltaicos para obtener una salida de 1000 Wp de empresa PROVIENTO.



PROVIENTO S.A. Energías Renovables Ecuador RUC: 179181946001			
Proforma #:	01-0117	Fecha:	3-ene-17

Estimado Señor,


a continuación la proforma del sistema fotovoltaico de 1110Wp de potencia instalada en paneles solares, con la capacidad de generar 5000 Wh/día a 120VAC y un inversor de 1000W de potencia.

Datos del cliente:

Nombre/Razon Social:	Stadim Celi
Actividad:	
Dirección:	Quito

Proforma por:

Espec. Medidas		Espec. Dimensiones	W	Series acceso	Series consumo	
Cantidad #	En Stock	Descripción Item			Valor (USD)	
					Unidad	Total
8 Pcs	8	Panel Solar 140W/12VDC Panel de cristal 50/50% de vidrio templado en Aluminio y Anodizado, viene por la parte la izquierda tiene pines de tierra en cada panel. Panel Polycristalino 140 Wp / 12V Voltaje de potencia: 36 Voltaje circuito abierto/Óptimo: 21,6V/ 17,80V Corriente cortocircuito/Óptimo: 6,3A/ 7,38 A Max. Voltaje Solar: 180VDC Número de celdas: 36 Dimensiones: 1481 x 676 x 30 mm Peso: 11,3 Kg Garantía: 5 años de 2 años Certificación: IEC, UL, CE, ENEC, TÜV		185,00	1.480,00	
1 Pcs	1	Controlador MORNINGSTAR TriStar 45 Voltaje: 12/14/18 VDC Corriente: 10 A Con LCD (low Voltage Disconnect) Con tres LEDs para el estado de batería Con una LED que indica la carga Todas las protecciones automáticas Diseño Thermally y de estado sólido Diseño EE.UU.		250,00	250,00	
1 Pcs	1	Inversor SAMLEX 1000W/12VDC Potencia nominal: 1000 W (continua) Potencia pico: 2000 W (15s) Voltaje Entrada: 12 VDC (baterías) Voltaje Salida: 110VAC Eficiencia: 90% Protección: 60 Hz silenciosa para Uso continuo 1/2/7		690,00	690,00	
6 Pcs	10	Batería SBB GEL 100Ah/12Vdc La mejor batería para sistemas fotovoltaicos por el mayor rendimiento que brinda AGM, con casi el doble de ciclos. Voltaje: 12 VDC Capacidad: 100 Ah@20h Tipo: GEL, descarga profunda. Límite auto-descarga: Ciclos: 1500 DOD:50% Dimensiones: 330x175x115 mm Peso: 21 Kg NO ES PRODUCTO SAMSUNG UNIBAT/SEB/GR/TO		330,00	1.980,00	

8	Pes	0	Estructura de soporte paneles solares Estructuras en hierro galvanizado para instalación en piso. Material menor, pernos, tuercas, etc.		100,00	800,00
6	Pes	0	Soporte de baterías Soporte para baterías en hierro galvanizado. Con pintura anticorrosiva.		25,00	150,00
1	Glb	0	Gabinete conecionado 60*40*20 cm Gabinete eléctrico para conecionado de controlador, protecciones, parablido, etc.		175,00	175,00
1	Glb	0	Material conecionado Material menor de conecionado eléctrico		100,00	100,00
1	Glb	0	Instalación Transporte, instalación, puesta en marcha		900,00	900,00
SUBTOTAL:						6.525,00
Descuento: 6%						-391,50
SUBTOTAL:						6.133,50
IVA 14%						858,69
VALOR TOTAL (USD):						6.992,19

Información adicional:

Condiciones de Pago:	70% anticipo y 30% contra entrega, 100% para despacho
Garantía:	Garantía técnica de 1 año
Tiempo de entrega:	2 semanas para construcción de estructuras 1 semana para instalación
Lugar de entrega:	Instalación en Quito
Validez de la oferta:	15 días
Privacidad:	Este dimensionamiento es propiedad de ProViento S.A., divulgar el mismo sin autorización será sancionado como establece la Ley de Propiedad Intelectual
Referencia Bancaria:	ProViento, Cuenta#: 3037563504, Banco Pichincha Ecuador, SWIFT: PICHECEQ

Atentamente:



Renán Garcés M., ProViento S.A.

ANEXO 4. Proforma de Sistema de generación de electricidad mediante paneles solares fotovoltaicos para obtener una salida de 3000 Wp de empresa RENOVA ENERGÍAS



www.renova-energia.com

FACTURA PROFORMA

Fecha: miércoles, 11 de mayo de 2016

Proforma: **RNV - CF - UID - 7155 - 11/05/16**

RENOVAENERGIA S.A.
RUC: 1792187587001

Pasaje Sánchez Melo OE1-37 y Avenida Galo Plaza Lasso
Cuito - Ecuador
Teléfono: (593 2) 2403643, (593 2) 2417863 Ext. 101 y 102

Celulares: 0987000710, 0987593688
e-mail: info@renova-energia.com

www.renova-energia.com

CLIENTE: Luis Acosta

RUC:
DIRECCIÓN: Cusubamba Ecuador

TELÉFONO:
CELULAR: (593 9) 87805396
luis_1089@hotmail.com

E-MAIL:
WEB:

OFERTA ECONÓMICA

Equipos	Código y Modelo	Q	Precio Unitario	Precio Unitario incluido IVA	SUBTOTAL	TOTAL (IVA)
Inversores	INV41 Victron Energy Cuattro 48/3000/35-50/50 120V QUA483021100, 48V, 3000 W	1	3.955,26 \$	4.429,89 \$	3.955,26 \$	4.429,89 \$
Paneles	MD061 Sunlink Modelo SL0220-20P 250 , 24Vdc nominal 250Wp, 24 V, 250 W	12	339,02 \$	379,70 \$	4.068,24 \$	4.556,43 \$
Baterías	BT052 Ritar Power RA6200 6Vdc 200Ah 200Ah@10horas , 6V, 200Ah	24	326,03 \$	365,15 \$	7.824,72 \$	8.763,69 \$
Reguladores Prof.	RP008 MPS 80 Interruptor de Alimentación Modular, 12/24/48V, 80A	1	509,23 \$	570,34 \$	509,23 \$	570,34 \$

DIEZ Y SEIS MIL CUATROCIENTOS OCHENTA Y OCHO CON 30/100	Subtotal: 16.357,45 \$
DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTE AMÉRICA	Neto: 18.320,35 \$
INCLUYE IMPUESTO AL VALOR AGREGADO IVA	Desc. 10%: 1.635,75 \$
	Subtotal IVA: 14.721,70 \$
	Subtotal IVA 0%: 0,00 \$
	IVA 12%: 1.766,60 \$
	Total: 16.488,30 \$

CONDICIONES DE OFERTA

La presente oferta tiene condición de entrega en la ciudad de: **QUITO**

La disponibilidad para la entrega de los equipos ofertados es de: 45 días calendario contados a partir de la aceptación de la oferta y sus condiciones.

Importante.

La vigencia de la oferta está sujeta a la disponibilidad de los equipos en stock, previo a la compra el cliente deberá consultar la existencia.

VALIDEZ

La validez de la presente oferta es de 15 días calendario contados a partir de la fecha de emisión de la proforma.

Importante.

La validez de la oferta tiene relación con los precios de los equipos, más no con la disponibilidad de los mismos.



SOLUCIONES ENERGÉTICAS RENOVABLES

ANEXO 5. Factura de Sistema de generación de electricidad mediante paneles solares fotovoltaicos para obtener una salida de 1000 Wp de empresa SINOSOLA.

YUHUAN SINOSOLA SCIENCE & TECHNOLOGY CO.LTD

YUHUAN ZHEJIANG CHINA 317607

COMMERCIAL INVOICE

TO:Vihumonsal	Cia.	Ltda.	Invoice No.:	<u>SAG1607301</u>
R.U.C.		1792105455001	Contract No.:	<u>SAG1607301</u>
El Telégrafo E10112 y El Día. Quito - Ecuador			Date:	<u>09-oct-16</u>
PBX 593-2-2445-259 Fax: 593-2-2445-259 Ext 105				
Zip Code: 170514				

From ningbo port,China to Guayaquil port, of Ecuador by sea

Marks	Goods of Description		Unit price	Amount
SA--VCL 1--1	solar panel		POB Ningbo, China	
	MODEL:	Quantity(pcs)	Unit price(USD)	Amount(USD)
	SA167-36M solar panel	6	141,00	846,00
	inverter	1	260,00	260,00
	controller	1	59,00	59,00
	battery	2	250,00	500,00
	alluminum bracket	1	200,00	200,00
TOTAL:		11		1865,00
Product	quantity	HS code		
SA167-36M solar panel	6pcs	85414020		
inverter	1pc	8504403090		
controller	1pc	9032899090		
battery	2pcs	8507100000		
alluminum bracket	1set	7616999000		

玉环新索拉科技有限公司
YUHUAN SINOSOLA SCIENCE & TECHNOLOGY CO., LTD.

贾仕明

ANEXO 6. Proforma de Sistema de generación de electricidad mediante paneles solares fotovoltaicos para obtener una salida de 1000 Wp de empresa TANFON (China)



FOSHAN TANFON ENERGY TECHNOLOGY CO., LTD

Proforma Invoice				
No	M201606	Date	2016-06-24	
Shipper	FOSHAN TANFON ENERGY TECHNOLOGY CO.,LTD 3 floor,No.3 Building ,Lianfeng industrial zone,Zhang Cha,Chancheng District ,Foshan City,Guang dong ,China 86-757-82702658			
Receiver	Miss.Adriana +593 099 2450817 VIHUMONSAL CIA. LTDA.			
Item	Description	Unit Price(USD)	Quantity (PCS)	Sum(USD)
Mono solar panel	200W	120	4	480
Hybrid inverter	1KW/24V	190	1	190
PV combiner	H4T/24V	196	1	196
GEL battery	12V/200AH	210	2	420
Panel Rack	1set	198	1	198
Cable	1set	145	1	145
By sea	285USD			
TOTAL	1914USD			

Remark:

- 1) Payment: T/T full account before shipment.
- 2) Delivery: we will deliver it in 15 days later after receipt of TT full account.
- 3) Warranty:solar panel 5years,other 2years.
- 4) Term:C&F Guayaquil Ecuador
- 5) Please transfer the money to our bank account showed as below:

AGRICULTURAL BANK OF CHINA GUANGDONG BRANCH (SWIFT CODE: ABOCCNBJ)
 ADD: 2 NO. DONGFENG RD,SHIWAN, FOSHAN CITY, GUANGDONG PROVINCE,
 CHINA.(528000)
 BENEFICIARY'S A/C NO.: 44431001040009760 (USD)
 COMPANY NAME: FOSHAN TANFON ENERGY TECHNOLOGY CO.,LTD
 ADD: 3 floor,No.3 Building ,Lianfeng industrial zone,Zhang Cha,Chancheng District ,Foshan
 City,Guang dong ,China 有限公司

Signature: Maggie Luo

ANEXO 7. Tabla de ponderación de proveedores y fabricantes de dispositivos para el sistema de 1000 Wp

Ponderación para los proveedores considerados para adquirir dispositivos del sistema de 1000 Wp

Nombre de la empresa	COSTO (\$)	CAPACIDAD	DISPONIBILIDAD	ÁREA DE PANELES	TIPO DE EMPRESA
PROVIENTO	6992,19	1200 Wp	3 semanas con adelanto del 50 %	Adaptable	DISTRIBUIDOR EN ECUADOR
RENOVA ENERGÍA	4027,55	1000 Wp	1 día con pago del 100 %	Adaptable	DISTRIBUIDOR EN ECUADOR
REMATE DIRECTO	6726,71	900 Wp	2 meses contra adelanto del 30 %	Adaptable	DISTRIBUIDOR EN ECUADOR
SINOSOLA	2126,1	1000 Wp	3 meses por importación	Adaptable	FABRICANTES EN CHINA
FOSHAN TANFON	2181,96	1000 Wp	3 meses por importación	Adaptable	FABRICANTES EN CHINA

ANEXO 8. DATOS DE RADIACIÓN OBTENIDOS DE RADIACIÓN SOLAR GLOBAL

Datos obtenidos por la investigación del Ing Guasumba en la ESPE Sangolquí

RADIACIÓN GLOBAL DIRECTA ING GUASUMBA												
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	Wh/m2/día	Wh/m2/día	Wh/m2/día	Wh/m2/día	Wh/m2/día	Wh/m2/día	Wh/m2/día	Wh/m2/día	Wh/m2/día	Wh/m2/día	Wh/m2/día	Wh/m2/día
PROMEDIO	4224,81	4359,68	4401,27	4267,44	4033,11	3884,70	3938,59	4145,09	4324,41	4324,41	4236,85	4161,94

ANEXO 9. Esquema de funcionamiento de las paradas fotovoltaicas



ANEXO 10. Recomendaciones de iluminación

Tipo de ocupación	Carga unitaria (VA/m ²)
Cuarteles y Auditorios	10
Bancos	38**
Barberías y salones de belleza	32
Iglesias	10
Clubes	22
Juzgados	22
Unidades de vivienda*	32
Garajes públicos (Propiamente dichos)	5
Hospitales	22
Hoteles y moteles, incluidos bloques de apartamentos sin cocina*	22
Edificios industriales y comerciales	22
Casa de huéspedes	16
Edificios de oficinas	38*
Restaurantes	22
Colegios	32
Tiendas	2,5
Depósitos	
En cualquiera de los lugares anteriores excepto en viviendas unifamiliares y unidades individuales de vivienda bifamiliares y multifamiliares:	
- Lugares de reunión y auditorios	10
- Recibidores, pasillos, armarios, escaleras	5
- Lugares de almacenaje	2,5

* Todas las salidas de tomacorrientes de uso general de 20 A nominales o menos en unidades de vivienda unifamiliares, bifamiliares y multifamiliares y en las habitaciones de los hoteles y moteles (excepto las conectadas a los circuitos de tomacorrientes especificados en el Artículo 220-4.b) y c), se deben considerar como salidas para alumbrado general y en tales salidas no serán necesarios cálculos para cargas adicionales.

** Además se debe incluir una carga unitaria de 10 VA por metro cuadrado para salidas de tomacorriente de uso general, cuando no se sepa el número real de este tipo de salidas de tomacorriente.

ANEXO 11. Normativa IEC 61215

Overview of IEC 61215 / IEC 61646 tests

Code	Qualification Test	Test Conditions
10.1	Visual Inspection	according defined inspection list
10.2	Maximum Power Determination	measurement according to IEC 60904
10.3	Insulation Test	1000 VDC + twice the open circuit voltage of the system at STC for 1 min, isolation resistance * module area > 40 MΩ·m ² at 500 VDC
10.4	Measurement of Temperature Coefficients	Determination of the temperature coefficients of short circuit current, open circuit voltage and maximum power in a 30°C interval
10.5	Measurement of NOCT	total solar irradiance = 800 W/m ² wind speed = 1 m/s
10.6	Performance at STC and NOCT	cell temperature = NOCT / 25°C irradiance = 800 W/m ² / 1000 E/m ² measurement according to IEC 60904
10.7	Performance at low Irradiance	cell temperature = 25°C irradiance = 200 W/m ² measurement according to IEC 60904
10.8	Outdoor Exposure Test	60 kWh/m ² solar irradiation
10.9	Hot-Spot Endurance Test	5 hour exposure to > 700 W/m ² irradiance in worst-case hot-spot condition
10.10	UV-preconditioning test	15 kWh/m ² UV-radiation (280 - 385 nm) with 5 kWh/m ² UV-radiation (280 - 320 nm) at 60°C module temperature
10.10*	UV-Exposure according IEC 61345	Min. 15 kWh/m ² UV-radiation (280 - 400 nm) with 7.5 kWh/m ² UV-radiation (280 - 320 nm) at 60°C module temperature
10.11	Thermal Cycling	50 and 200 cycles -40°C to +85°C
10.12	Humidity Freeze Test	10 cycles -40°C to +85°C, 85% RH
10.13	Damp Heat	1000 h at +85°C, 85% RH
10.14	Robustness of Terminations	As in IEC 60068-2-21
10.15	Wet Leakage Test	Evaluation of insulation of the module under wet conditions
10.16	Mechanical Load Test	Three cycles of 2400 Pa uniform load, applied for 1 h to front and back surfaces in turn
10.17	Hail Test	25 mm diameter ice ball at 23 m/s, directed at 11 impact locations
10.18	Bypass diode thermal test	Asses adequacy of thermal design of by-pass diodes at a current of 1.25 x I _{sc} running through the diodes at module temperature of 75°C
10.19**	Light soaking	Light exposure of cycles of at least 43 kWh/m ² and module temperature of 50°C ± 10 °C, until P _{max} is stable within 2 %

* Tests can alternatively be used

** Tests only relevant for IEC 61646 qualification

ANEXO 12. Plano de la instalación

La instalación fue realizada en el tercer piso del edificio de las oficinas de la empresa VIHUMONSAL, el distanciamiento entre cada par paneles es de 72 centímetros, debido al requerimiento de acceso para mantenimiento, adicionalmente se separaron en una distancia de 5 centímetros entre cada panel en el mismo soporte de aluminio, dado que se puede requerir desmontar el equipo, se separaron los paneles a 2,65 metros de los bordes de la terraza para evitar sombreado e interferencias que se pudieren presentar en los paneles.

