

**ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA INSTALACIÓN
FOTOVOLTAICA EN CONSUMIDORES RESIDENCIALES EN ÁREAS
RURALES AISLADAS**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

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

**TEMA:
ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO DE UNA INSTALACIÓN
FOTOVOLTAICA EN CONSUMIDORES RESIDENCIALES EN ÁREAS
RURALES AISLADAS**

**AUTOR:
BYRON XAVIER PRADO GAIBOR**

**TUTOR:
Iván Patricio Montalvo Galárraga**

Quito, septiembre del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Byron Xavier Prado Gaibor, con documento de identificación N° 172230709-5, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: “ANÁLISIS TECNICO - ECONOMICO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA EN CONSUMIDORES RESIDENCIALES EN ÁREAS RURALES AISLADAS.”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, 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 mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



BYRON XAVIER PRADO GAIBOR
CI. 172230709-5

Quito, septiembre del 2020.

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, **“ANÁLISIS TECNICO - ECONOMICO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA EN CONSUMIDORES RESIDENCIALES EN ÁREAS RURALES AISLADAS.”** realizado por BYRON XAVIER PRADO GAIBOR, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, septiembre de 2020



Iván Patricio Montalvo Galárraga

C.I. 1716480916

DEDICATORIA

A mis padres por su fidelidad, porque todo se lo debo a ellos, por inculcar en mí la importancia del estudio, y valores positivos para mi bienestar en el futuro.

A mi hermana por ser mi apoyo en todo momento. A mi familia por ser siempre el estímulo y el apoyo incondicional, y por ser la inspiración.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la sabiduría y fortaleza para culminar esta etapa académica. A mis docentes de carrera de Ingeniería Eléctrica por sus enseñanzas en mis años de estudio. A la Universidad Politécnica Salesiana, en cuyas instalaciones me forme profesionalmente y finalmente a mi tutor Ing. Iván Montalvo por su guía, comprensión y valiosos consejos a lo largo de este proceso.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Generación Distribuida.....	1
1.2 Clasificación de la Generación Distribuida.	4
1.3 Uso del sol como medio energético.....	9
1.4 Energía solar en el Ecuador.....	10
1.5 La radiación solar	11
1.6 Electrificación rural en Ecuador.....	12
1.7 Sistemas fotovoltaicos aislados	15
1.8 Características generales del sistema fotovoltaico	16
1.9 Modulo Fotovoltaico (Panel Solar).	18
1.10 Estructura de soporte.....	20
1.11 Regulador.....	20
1.12 Inversor	22
1.13 Sistema de Protección.....	24
1.14 Sistema de Almacenamiento.....	25
1.15 Cargas	26
1.16 Cableado	27
CAPÍTULO II PARÁMETROS QUE SE CONSIDERAN AL IMPLEMENTAR SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	28
2.1 Dimensionamiento fotovoltaico	28
2.2 Estimación de la demanda	28
2.3 Especificaciones técnicas del emplazamiento y evaluación del recurso solar	

2.4	Especificaciones técnicas del sistema FV	32
2.5	Especificaciones técnicas del grupo motor - generador	40
CAPÍTULO III ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO EN HOMER Y		
DIGSILENT		
3.1	Configuración del sistema en DigSilent	43
3.2	Análisis Técnico	44
3.3	Pérdidas en la red de distribución.....	50
3.4	Configuración del sistema en Homer	51
3.5	Cargas	53
3.6	Recurso Solar.....	55
3.7	Combustible.....	56
3.8	Generador	57
3.9	Baterías	58
3.10	Convertidor	60
3.11	Datos económicos	61
3.12	Resultados de la optimización	62
3.13	Resultado económico	64
3.14	Producción eléctrica.....	65
3.15	Análisis de Sensibilidad.....	68
CONCLUSIONES		
RECOMENDACIONES		
REFERENCIAS		
ANEXOS		
	Anexo 1: Encuesta realizada por la EEQ para determinar el consumo de energía eléctrica en usuarios residenciales aislados.	81
	Anexo 2. Cotización sistema fotovoltaico para una demanda de 2722 Wh/día, proporcionado por la empresa PROVIENTO S.A.	83

Anexo 3 Cotización sistema fotovoltaico para una demanda de 2722 Wh/día, proporcionado por la empresa Helios Strategia Ecuador.....	85
Anexo 4: Cotización sistema fotovoltaico para una demanda de 2722 Wh/día, proporcionado por la empresa Renova Energía	86
Anexo 5: Hoja de características de la batería 4KS25P.....	87
Anexo 6: Hoja de características del panel fotovoltaico colocado en el caso de estudio	90
Anexo 7: Hoja de características del inversor colocado en el caso de estudio	92
Anexo 8: Reporte de características geográficas del emplazamiento del caso de estudio	94

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema Fotovoltaico Aislado.....	17
Figura 2. Generación Distribuida.....	3
Figura 3. Irradiación directa en el Ecuador.....	12
Figura 4. Sistema Fotovoltaico	17
Figura 5. Perfil de consumo de usuario. Elaborado por el autor.....	30
Figura 6. Radiación mensual. Elaborada por el autor.	32
Figura 7. Configuración usuario rural aislado. Fuente Digsilent.....	43
Figura 9: Perfil de voltaje en barras de usuarios y de autogenerador con variaciones de las potencias de demanda	45
Figura 10: Perfil de voltaje en barras de baterías con variaciones de las potencias de demanda	46
Figura 11: Variación del voltaje en paneles fotovoltaicos en función de la variación de potencias de carga	46
Figura 12: Variación del flujo de potencia activa en barras del sistema	47
Figura 13: Variación de la potencia activa entregada por paneles fotovoltaicos.....	48
Figura 14: Variación de la potencia activa entregada por generador tradicional	48
Figura 15: Variación del flujo de potencia reactiva en barra del sistema.....	49
Figura 16: Variación de la potencia reactiva entregada por paneles fotovoltaicos ..	49
Figura 17: Variación de la potencia reactiva entregada por generador tradicional ..	50

Figura 18. Configuración usuario rural aislado. Fuente: Homer	52
Figura 19. Venta de carga. Fuente Homer.	53
Figura 20. Distribución de frecuencia (%) de potencia (kW). fuente: Homer.....	55
Figura 21. Datos de irradiación del sistema en Homer	56
Figura 22. Ventana del combustible. Fuente Homer.	57
Figura 23. Ventana del generador. Fuente Homer	58
Figura 24. Ventana de baterías. Fuente Homer.....	59
Figura 25. Ventana del convertidor. Fuente Homer.....	61
Figura 26. Ventana de datos económicos. Fuente Homer.....	61
Figura 27. Resultados de la optimización mediante Homer	62
Figura 28. Resumen de costos del sistema. Fuente Homer.....	65
Figura 29. Producción eléctrica mensual. Fuente Homer.	66
Figura 30. Análisis de Flujo de Caja en Homer. Fuente Homer.....	67
Figura 31. Sensibilidad para diferentes valores de radiación solar promedio diaria y del consumo del usuario primario a una temperatura promedio de 9.5 °C.....	69
Figura 32. Sensibilidad para diferentes valores de radiación solar promedio diaria y del consumo del usuario primario a una temperatura promedio de 20 °C.....	69
Figura 33. Sensibilidad para diferentes valores de radiación solar promedio diaria y del consumo del usuario primario a una tasa de interés anual de 8.68%.....	70
Figura 34. Sensibilidad para diferentes valores de radiación solar promedio diaria y del consumo del usuario primario a una tasa de interés anual de 5%.....	71
Figura 35. Sensibilidad para diferentes valores de radiación solar promedio diaria y del consumo del usuario primario, con un costo de combustible de \$ 0.58 dólares por litro.	72
Figura 36. Sensibilidad para diferentes valores de radiación solar promedio diaria y del consumo del usuario primario, con un costo de combustible de \$ 0.29 dólares por litro.	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de generadores eólicos	6
Tabla 2. Ejemplos de Pilas de Combustible	8
Tabla 3. Potencia nominal y efectiva a nivel nacional	10
Tabla 4. Tipos de celdas solares.....	19
Tabla 5. Características de reguladores de carga	21
Tabla 6. Características de los inversores	23
Tabla 7. Características de las baterías.....	25
Tabla 8. Consumo de luminarias más utilizadas	26
Tabla 9. Demanda de los usuarios.....	29
Tabla 10. Datos del Emplazamiento	30
Tabla 11. Radiación Solar y temperatura del aire.	31
Tabla 12. Producción eléctrica fotovoltaica específica – promedios horarios [Wh/m ²]	33
Tabla 13. Datos Módulos Fotovoltaicos	34
Tabla 14. Datos batería.....	35
Tabla 15. Regulador de carga.....	36
Tabla 16. Datos Inversor	37
Tabla 17. Datos Cable	38
Tabla 18. Caídas de tensión máximas admisibles en los sistemas fotovoltaicos	39
Tabla 19. Datos Generador.....	40
Tabla 22. Comparación de datos de baterías	59
Tabla 23. Costo del banco de baterías.....	60
Tabla 24. Costos del convertidor.....	60
Tabla 25. Diferencia de costos, modificando el interés anual.....	71

RESUMEN

El presente trabajo presenta los resultados de un análisis técnico – económico de una instalación eléctrica aislada en usuarios rurales, planteando la colocación del sistema fotovoltaico como generador principal de energía e incluyendo la posibilidad de colocar un grupo motor-generator y un banco de baterías como fuentes de respaldo. En el estudio se define un escenario específico que maneja el número y tipo de usuarios, las curvas de demanda, el recurso solar disponible y las condiciones climáticas específicas, como la temperatura y el viento. Inicialmente, se realiza una investigación de los conceptos principales de la generación distribuida, revisando la forma en que se ejecuta la conversión de la energía a partir de los módulos fotovoltaicos, que forman parte del sistema de generación. Esta propuesta tiene como fin garantizar el suministro continuo de electricidad a los usuarios rurales aislados. En este documento se realiza un análisis de los componentes de un sistema de generación fotovoltaica y se realiza un estudio energético del funcionamiento conjunto de tales elementos. Para ello, se simula el funcionamiento del sistema aislado por medio de diferentes herramientas computacionales; se emplea DigSilent para la simulación del sistema eléctrico y posteriormente en Homer para establecer criterios para el análisis tecno-económico que permite evaluar los costos involucrados para generar energía eléctrica, y de esta forma determinar si la estructura eléctrica establecida alcanza una rentabilidad óptima.

ABSTRACT

The present work develops the technical - economic analysis of a photovoltaic installation for isolated rural users with a participation of the photovoltaic system as the main power generator and including a generator motor and a battery bank as an alternative for backup sources. The study defines a scenario that includes the number and type of users with their demand curves, available local solar resource and climatic conditions, such as temperature and wind. The very first step consist of an investigation of the main concepts of distributed generation, also the way the energy conversion into electricity is developed from the photovoltaic modules, which are part of the photovoltaic system. Subsequently, an operation research of the components of a photovoltaic system is also analyzed in order to perform a complete energy study. The operation of the system is simulated in DigSilent and later in Homer. Finally, the technical and economic analysis is developed to evaluate the cost of power generation, thus determinate if the proposed infrastructure achieves optimum profitability or if it is not achieved.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la generación distribuida se encuentra en auge, y por tanto son numerosos los estudios establecidos en el mundo. En este contexto tiene significancia el uso de sistemas fotovoltaicos, los cuales son una forma de aprovechar las fuentes naturales de energía en Ecuador. La idea de utilizar estas nuevas tecnologías surge con el fin de cumplir con las necesidades energéticas de la población debido a que, tal la cantidad de demanda energética cubierta constituye un indicador empleado para determinar el crecimiento de un país, por tanto, es necesaria la consideración del consumo de electricidad para determinar las necesidades económicas y sociales del conglomerado poblacional actuales y previstas. También se debe mencionar que el acceso a la energía eléctrica es un derecho básico al cual deben acceder todas las personas y contribuye a mejora del desarrollo de todos los individuos. La provisión de electricidad a todos los usuarios, sin importar su condición es un objetivo establecido en el marco de la “Agenda Post-2015” de la ONU, como un aporte significativo para la erradicación de la pobreza [3].

El incremento mencionado no es equitativo a todas las regiones y sectores de consumo, pudiendo realizarse una distinción entre los usuarios que tienen vínculo con redes interconectadas, de aquellos usuarios que poseen una instalación de red eléctrica aislada que normalmente se encuentran en zonas rurales alejadas. Las cargas se encuentran alejadas de las infraestructuras de distribución y transmisión, y por aspectos técnico-económicos resulta inviable la conexión de tales cargas a los sistemas interconectados.

El abastecimiento de energía eléctrica a los usuarios aislados, es una problemática que debe ser solventada por las empresas distribuidoras de tal forma que en zona de influencia exista la mayor cantidad de usuarios con un suministro de energía eléctrica que tenga niveles aceptables de calidad y confiabilidad.

Alrededor del mundo se han planteado varias propuestas que permiten el abastecimiento de energía en redes aisladas. Una de las alternativas es el uso de generación distribuida (GD). El uso de GD presenta varias ventajas en este tipo de redes, incluyendo la necesidad de menor inversión, si se realiza una comparativa con

el costo de inversión que representa la construcción de toda la infraestructura eléctrica de abastecimiento para las cargas que pueden permanecer aisladas. Otra ventaja de la GD es que permite la producción, almacenamiento y administración de la energía en la cercanía a las zonas de consumo [4].

Los altos costos de implementación del equipamiento que requiere una red interconectada actual incluyendo los sistemas de comunicación, hacen necesario el planteamiento de alternativas que pueden significar menores esfuerzos económicos, técnicos y que también reducen la cantidad de tiempo necesario y de estudios que se deben realizar previo a ejecutarse un proyecto que permita la ampliación de las redes de transmisión y subtransmisión.

Las alternativas tradicionales para abastecer las necesidades de abastecimiento de energía incluyen el uso de autogeneración, normalmente grupos motor – generador (sistemas electrógenos), medios altamente ineficientes y que generan agentes contaminantes. Los sistemas de generación no renovables se han utilizado para diversos fines: iluminación, sistemas de bombeo de agua, tratamiento de agua, así como los medios que posibilitan la tecnificación de la agricultura y ganadería [5].

Los sistemas de generación tradicional también presentan algunas desventajas entre las que se destacan el costo elevado que tienen los combustibles que permiten el funcionamiento de motores y sistemas de propulsión, los altos niveles de ruido y contaminación que producen, así como la dificultad para abastecer de los insumos necesarios a los sistemas electrógenos en las zonas alejadas donde se encuentra este tipo de instalaciones [6], [7].

En la actualidad la provisión de energía eléctrica también se realiza explotando los recursos renovables disponibles, alternativa que reduce los riesgos y desventajas que implica la utilización de combustibles fósiles [4]. Los estudios realizados por WWF International [8] indican que, si hace un uso adecuado de una parte de la capacidad renovable disponible, se podría satisfacer la demanda de las áreas rurales aisladas.

Todos los aspectos positivos previamente mencionados incluyendo la viabilidad económica, el cuidado del medio ambiente y las facilidades que involucra contar con

energía eléctrica durante buena parte de la jornada, motivan usar fuentes de energía renovable, así como de estudios realizados alrededor del mundo para mejorar la eficiencia y las características de las tecnologías de conversión de la energía que se nombrarán en lo sucesivo.

Los medios que posibilitan la conversión de las energías renovables son diversos y continúan siendo estudiados, lo que incluye la utilización de sistemas fotovoltaicos destacando tal tecnología debido a que los desarrollos actuales han permitido reducciones de costos de los módulos fotovoltaicos que alcanzan el 95%. Los desarrollados ejecutados también se han enfocado en aumentos de la eficiencia que alcanzan un porcentaje cercano al 200%, si se comparan con las características que ofrecían los primeros módulos para la conversión de energía solar [9].

La constitución ecuatoriana en el artículo 413 promulga la eficiencia energética lo que involucra la promoción de prácticas que no afecten al medio ambiente y la utilización de tecnologías ambientales limpias y sustentables en el tiempo [10]. Tal directriz ha permitido que existan incentivos para la utilización de sistemas fotovoltaicos, como reducción de impuestos en la importación de los materiales que componen un sistema de generación fotovoltaico. Por otra parte, el presente documento analiza la posibilidad de utilizar los sistemas fotovoltaicos en conjunto con grupos electrógenos como fuentes auxiliares eléctrica y un complemento y respaldo al sistema fotovoltaico en aquellas horas en que el recurso solar no está disponible [11].

Otra alternativa para abastecer la demanda en periodos de baja irradiación es la colocación de un banco de baterías [12]. La utilización de tales componentes permite la obtención de un suministro constante, eficaz, confiable y con una mejor calidad de energía eléctrica para los usuarios en zonas aisladas, obteniéndose además un sistema que es menos susceptible a la ocurrencia de contingencias [13], [14].

Los estudios realizados en años recientes sobre GD, para motivo del presente trabajo con sistemas fotovoltaicos, son esfuerzos enfocados en suplir la demanda de los usuarios de manera focalizada. Los trabajos de Grisales, Restrepo [15] y Hossam, Essam [16] realizan un informe extenso sobre la ubicación y dimensionamiento óptimo de generación distribuida. Ambos estudios abordan métodos y modelos para la

implementar generación distribuida (cercana a los usuarios), y que se operen y control en forma conjunta a la red eléctrica de transmisión y distribución. Las investigaciones señaladas mencionan ventajas en el uso de la GD reconociéndolos como dispositivos adecuados para ser conectados directamente a la carga, resaltando también la importancia que tienen en la reducción de costos correspondientes a la construcción de redes de transmisión, la minimización de las pérdidas de energía asociadas a la transmisión de la energía.

También se debe mencionar mejoras en la reducción del número de interrupciones, la mejora de la eficiencia energética y fácil adaptación a las condiciones del sitio a instalarse, lo que supone una mejor calidad del servicio y de la satisfacción de los consumidores [17].

Por otro lado, los trabajos de Pereda [18] Rosero [19] y Tagle, Duque [20] proponen la aplicación de GD de forma eficiente en sitios remotos y aislados de la red, mediante generación no convencional como las turbinas eólicas, sistemas fotovoltaicos y celdas de combustible. Los sistemas fotovoltaicos pueden ser divididos en función del voltaje nominal del sistema, sin importar si la red distribuida es de corriente continua o alterna. Esta característica posibilita usar estructuras de generación PV en locaciones donde la conexión a la red de distribución de una compañía no es posible o no fue planificada, debido a los altos costos asociados a todas las etapas de implantación de sistemas de transmisión y distribución en zonas de difícil acceso.

Los trabajos mencionados establecen que la GD puede ser aprovechada de dos formas: conectados a la red de distribución (Grid-connected), donde las cargas se constituyen en formas de consumo propio o autoconsumo, donde cuando existen excedentes, los mismos se inyectan al sistema de potencia. La otra forma de aprovechar son sistemas aislados donde existe consumo autónomo y almacenamiento de la energía generada [21].

En base a los estudios mencionados anteriormente, el presente proyecto plantea la implantación de GD para cargas aisladas a la red. Se realiza un análisis técnico - económico para implementar generación PV, señalando el procedimiento más adecuado para la implantación de un sistema de generación que aprovecha el recurso

solar disponibles, considerando factores económicos, ambientales y sociales de la zona a aplicar.

El presente estudio se estructura como sigue: en el capítulo uno se realiza una revisión teórica, donde se detallan las características más relevantes de las partes de una estructura de generación fotovoltaica y las especificaciones de otras formas de generación distribuida.

El capítulo dos contempla una revisión detallada de las características técnicas de los componentes de la generación con paneles de efecto PV, y el análisis del potencial solar que se debe establecer para la implementación de una estructura de generación incluyendo la determinación del potencial fotovoltaico, donde están involucradas variables como la irradiación y temperatura de la ubicación donde es requerido el flujo de energía eléctrica.

El capítulo tres contiene el proceso técnico a desarrollarse para implementar el escenario. Los autores analizan su funcionamiento por medio de flujos de potencia, para visualizar los resultados de las variables eléctricas incluyendo diferencia de potencial, corriente y la potencia, todo ello de cada usuario de la red propuesta. En base al análisis de las mediciones se puede determinar si es factible garantizar un servicio adecuado de energía eléctrica en zonas rurales aisladas [22].

Los parámetros mencionados se verifican mediante la utilización del software DigSILENT Power Factory, herramienta poderosa que permite la ejecución de estudios de índole eléctrica, incluyendo la posibilidad de realizar el dimensionamiento de cada uno de los diferentes componentes del sistema [23], [24]. Otra característica del software es la creación de un sistema eléctrico por diseño desde cero o por importación directa de datos técnicos y georreferenciados.

Además, se realiza un análisis tecno-económico en el software HOMER creado por NREL, para la optimización híbrida de múltiples recursos energéticos; esta herramienta proporciona un entorno en el que se puede revisar diversas variables para obtener un análisis detallado del sistema [25]. Este análisis permite revisar la viabilidad económica y técnica de la estructura generadora, basada en variaciones mensuales y horarias tanto en el recurso energético como en la demanda. La finalidad de esta propuesta es confirmar la viabilidad de la utilización de un sistema fotovoltaico como fuente de generación principal en áreas rurales aisladas.

Las conclusiones, recomendaciones que provienen de la presente investigación y de los resultados obtenidos por simulación se presentan en el último capítulo. Tal sección también propone trabajos para futuras exploraciones relacionadas a esta temática.

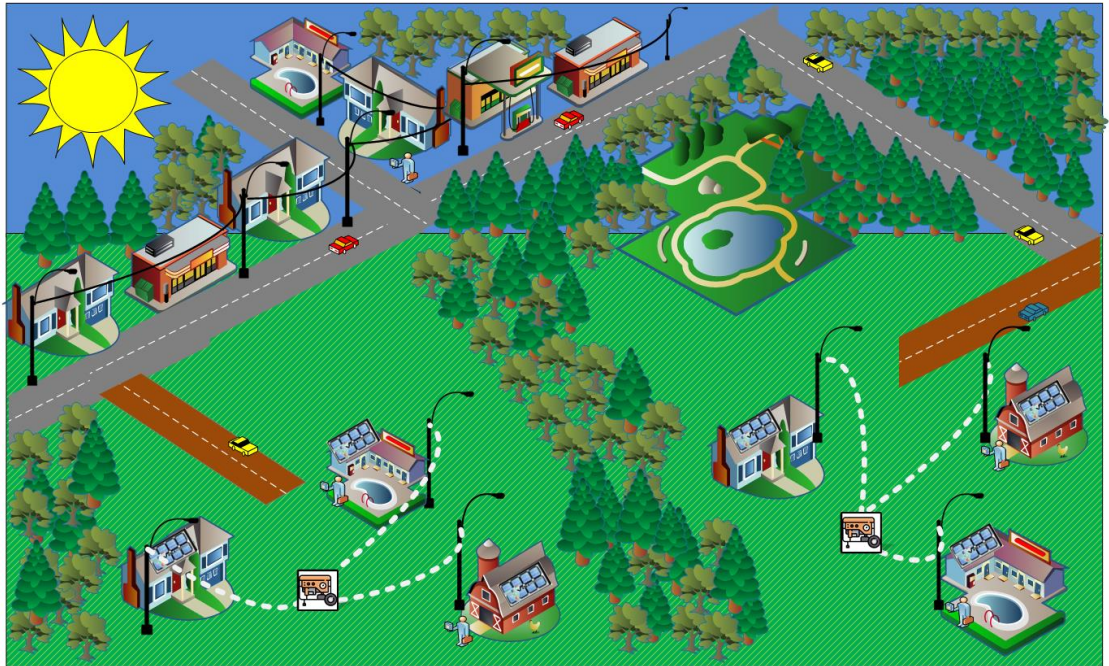


Figura 1. Sistema Fotovoltaico Aislado

Elaborado por el autor.

CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

En este capítulo se establecen las definiciones relevantes y características de la generación distribuida, con énfasis en los sistemas fotovoltaicos. Se realiza una descripción generalizada de las tecnologías que forman parte de la generación distribuida. Además, se detalla el estado actual de la electrificación rural en el Ecuador, la utilidad que tienen los recursos solares, la composición de un sistema de generación fotovoltaico. También se revisan las características de operación y funcionamiento de las centrales fotovoltaicas.

1.1 Generación Distribuida

Debido a la ampliación constante de la demanda de energía eléctrica, ha sido necesaria la generación de nuevas formas de abastecimiento de la energía. De esta forma, la generación distribuida es ahora aplicada con más regularidad en aplicaciones específicas, por ejemplo, en lugares alejados. Esta forma de abastecimiento de la energía ha permitido la reducción de ciertos problemas cotidianos en la ruralidad, incluyendo cortes continuos de energía, o la necesidad de priorización de las cargas. La demanda de los sitios más lejanos se ha podido suplir por medio de tecnologías que emplean recursos renovables como son los paneles solares fotovoltaicos y generadores eólicos de baja potencia, empleados como sistemas de GD.

Se debe mencionar que la GD no cuenta con una definición propia, es así que varios autores expresan su propia concepción, pero en todas las definiciones se distingue tres características coincidentes: cuentan con generación de mediano y pequeño valor (desde pocos kW hasta los 10 MW). La otra especificación es que la red que alimenta estos generadores puede estar conectada a red de distribución o funcionar en modo autónomo; y también establece que la conexión de la generación se produce en puntos que están cercanos a la carga [26].

La generación distribuida, no es una estructura de generación recientemente concebida, más bien se trata de una estructura existente desde que la electricidad se emplea en variadas aplicaciones y que ha recibido nuevo impulso, alentado por variados factores tecnológicos, las condiciones en las que actualmente se pueden encontrar usuarios, y también la variación y surgimiento de nuevas políticas

energéticas, así como regulaciones y marcos legales que pretenden el cuidado del medio ambiente [27]. Para ejemplarizar que la GD existe desde hace mucho tiempo atrás, se puede establecer que los sistemas de energía básicos entre los que se incluyen velas o una cocina de leña, son formas de GD a baja escala. Entre los sistemas generadores distribuidos primitivos, se destacan los que aprovechan recursos como carbón, derivados del petróleo y también turbinas movidas por energía hidráulica. Los generadores se implantaban para suministrar energía a usuarios cercanos e inclusive en la misma ubicación donde se produce el consumo de la energía producida.

El concepto de generación distribuida (GD), puede ser comprendido mediante diversas definiciones establecidas por instituciones que regulan al sector eléctrico a nivel mundial. Por ejemplo, la IEEE define a la GD como: forma de generación eléctrica por máquina más pequeñas que los de producción convencional, y que se pueden conectar en casi cualquier lugar de la red de potencia, en esencia son recursos distribuidos. La Agencia Internacional de Energía (IEA) en un informe realizado en el 2009, describe a la GD como: electricidad que se genera en pequeñas estructuras para un usuario o un grupo que está en la misma ubicación o para brindar soporte a una distribuidora local, por medio de una conexión a la red que está operativa con un nivel específico de voltaje”. La CONUEE, un ente mexicano para el uso eficiente de la energía, en cambio define a la GD como: las actividades de generación o almacenamiento de la electricidad en proporción limitada que están cercanas a los centros de carga y donde tales elementos pueden ser conectados a la red eléctrica.

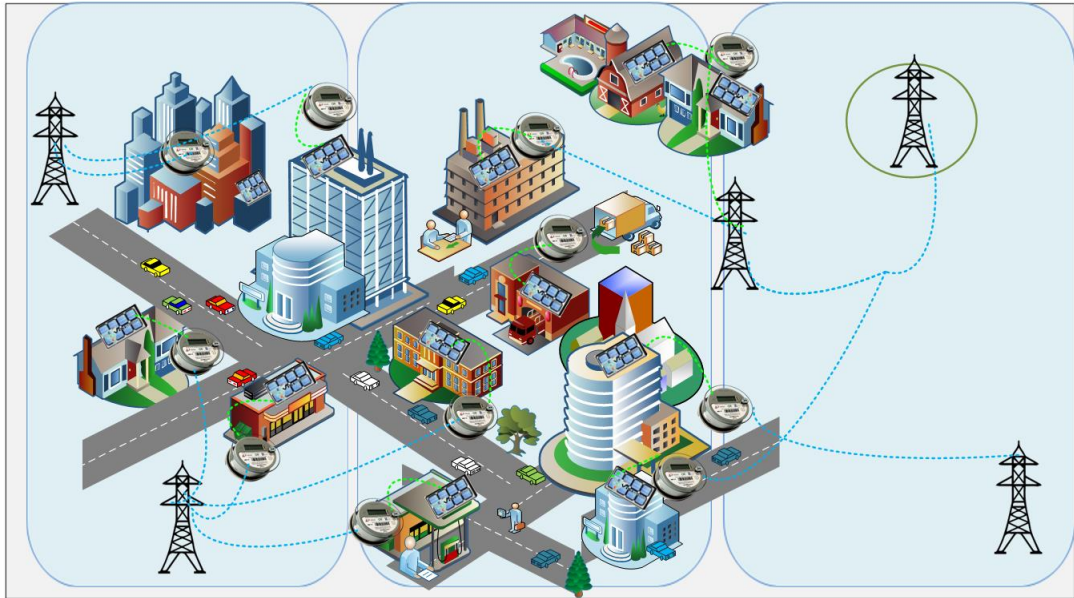


Figura 2. Generación Distribuida

Elaborado por el autor.

La generación distribuida es una forma de entrega de la electricidad al usuario final con un enfoque diferente si se compara a un sistema eléctrico de potencia tradicional. Esto debido a que las tareas de producción, almacenaje, e inclusive la administración de la energía se ejecutan en el mismo lugar o en ubicaciones aledañas a los centros de carga, obviando además la necesidad de líneas de transmisión. En contraparte, la estructura de una red eléctrica cuenta con grandes centros de generación que normalmente están alejados de las ciudades y por tanto los centros de consumo, así mismo la administración de la red es más compleja, sumando además otros actores como son las compañías distribuidoras de la electricidad [4]. Sin embargo, se debe precisar que las estructuras para GD forman parte de un sistema eléctrico de potencia (SEP); por tanto, la aplicación de la generación distribuida que se conecta activamente a la red tiene impactos positivos y negativos. En lo que respecta a las ventajas se pueden destacar los siguientes aspectos: es posible que brinde su apoyo al SEP, de tal forma de obtener mejoras técnicas como un mejor perfil de voltaje, así como descongestionamiento de la red de transmisión de la energía. También se produce una disminución de pérdidas debido a la existencia de menores distancias en el transporte de la energía hacia al usuario final ya que la electricidad se genera muy cerca de donde es consumida, inclusive en la misma ubicación donde se la consume. La existencia de generadores en el mismo punto de consumo se asocia con la reducción del tamaño de los dispositivos de generación que se pueden conectar directamente a la red de

distribución o funcionar autónomamente. Implementar generadores cercanos a las cargas también implica posibilidades de mejorar la confiabilidad de la red, por medio de la reducción de de fallas por daños en líneas, debido a que se obvia la necesidad de emplearlas para llegar a ciertas ubicaciones.

Como toda estructura una planta distribuida también presenta desventajas como la elevación de la tasa de falla si se considera la existencia de intermitencia en la generación; lo que también plantea que se presente congestión en la red aislada. Otro desafío a superar es la correcta activación de las protecciones de la red, sabiendo que su diseño típico implica que existan flujos bidireccionales [28]

Es importante notar que con el uso de GD se debe tener realizar un dimensionamiento que evite problemas como la violación de los límites operativos de voltaje o una limitación no deseada del flujo circulante en los elementos de distribución de la energía. A lo mencionado, el diseñador de una estructura de generación cercana a la carga debe establecer bajo cierta metodología la ubicación de las tecnologías generadoras, sabiendo si cierto nodo de la red cuenta con las características apropiadas para la colocación de generadores [29].

1.2 Clasificación de la Generación Distribuida.

La implementación de energías renovables se ha diversificado y promovido en diferentes contextos debido a que tiene impactos reducidos en el ambiente y también al apogeo del surgimiento de tecnologías para la generación en el mundo. La mejora de estas tecnologías que aprovechan las energías renovables ha hecho que crezca el uso de GD, con una gama amplia de opciones disponibles y que continuarán siendo desarrolladas para aplicaciones focalizadas [30]. La diversificación de las diversas tecnologías empleadas en GD hace necesario el establecimiento de una clasificación según diversos parámetros que se puede realizar según la cantidad de generación y el tipo de tecnología que se está usando.

Como se mencionó previamente una de las características de la generación distribuida es que la potencia instalada no supera los 10MW, pero muchas centrales pueden superar dicho valor debido a la existencia de factores geográficos, tecnológicos y económicos; que conlleven a violar este límite, de tal forma de poder obtener una estructura de distribución que cumple con criterios de calidad y confiabilidad que dependen de la exigencia de las regulaciones locales e internacionales.

En lo sucesivo se establece una revisión de varios tipos de máquinas que aprovechan la energía renovable, que incluye la energía solar térmica y fotovoltaica, la utilización de turbinas eólicas, centrales de biomasa, generación hidráulica de potencia baja, así como utilizar motores de combustión interna, pilas de combustible, por nombrar otros.

Energía Solar Fotovoltaica. – Esta es una tecnología cuyas características y la forma en que permite la producción de electricidad, los sistemas PV son los más empleados en locaciones alejadas para aplicaciones de baja potencia, enfocadas especialmente con usuarios residenciales. Parte de los usos domésticos de la electricidad constituye su aprovechamiento como fuentes de GD; en el caso de los paneles, los mismos se instalan en techos de los usuarios o en lugares contiguos a la demanda. Otra característica del uso de la generación solar fotovoltaica es que en ciertos casos la potencia que se instala supera a la demanda del usuario, también conocida como autoconsumo. En los casos o momentos en que la energía producida es superior a la consumida, los excedentes pueden ser transferidos a la red convencional utilizando un dispositivo inversor, máquina que convierte la corriente directa (DC) a una forma alterna mediante dispositivos electrónicos y de control, sabiendo que cuando la energía es convertida en de tipo AC, se puede transferir a la red; en cambio, cuando la energía producida es insuficiente y por tanto no se puede abastecer la demanda para poder cubrir toda la demanda en cualquier instante, se procede a realizar el proceso que permite tomar la energía faltante directamente de la red convencional, dando lugar a flujos bidireccionales [30]

Energía Eólica. -Tecnología cuyas características permiten alcanzar altos índices de confiabilidad, incluso cercanos al 97%. Los rangos de potencia que se pueden generar por medio de turbinas eólicas van desde 30kW hasta más de 2MW. Los generadores eólicos funcionan bajo el principio de transformación de la energía mecánica que se produce debido al movimiento de sus aspas por la existencia de corrientes de aire. El funcionamiento radica en la conversión de energía mecánica en electricidad mediante dos tipos de máquinas, generadores sincrónicos y generadores asíncronos. A los generadores se los controla por medio de pulsos modulados en ancho, lo que permite la regulación del voltaje de salida mediante el consumo o la generación de reactivos, con lo cual se cumplen las necesidades energéticas de los consumidores. A pesar de las características positivas también se debe comprender que tienen ciertas desventajas

incluyendo que es altamente dependiente de factores ambientales como la variación del viento, por ello se necesitan campañas de medición del potencial eólico en los lugares donde se pretende implementar este tipo de centrales de generación, como un requerimiento previo para el desarrollo de estos proyectos [31] La siguiente tabla muestra una clasificación de los medios de generación eólica.

Tabla 1. Tipos de generadores eólicos

GENERADORES EÓLICOS	
Sistema eólico	Características
A gran escala	Denominados parques eólicos normalmente conectados a la red eléctrica.
Medianos	Utilizados para abastecer a pequeños poblados, que requieren sistemas de respaldo por medio de generadores Diesel
Pequeños	Utilizados para abastecer pequeñas comunidades, que constan de una turbina eólica, un generador Diesel de respaldo y un banco de baterías
Individuales por usuario	Constan de una turbina eólica y baterías para almacenamiento de energía.

Mini hidráulica. -Estas centrales consisten de una máquina que produce energía mecánica y, a través del agrupamiento a un generador eléctrico produce energía eléctrica. Es necesario indicar que la cantidad de energía que se obtiene depende de varios factores que incluyen el caudal de agua, la diferencia de alturas entre la zona superior y el nivel de ubicación de la turbina y otros factores que dependen directamente del tipo de turbina hidráulica escogida. Para considerar a una instalación de tipo mini hidráulica se considera que la potencia de instalación debe ser menor a 10MW, otra característica es que su rendimiento bordea el 80%. Por tales características, la tecnología es correcta para la adaptación a variaciones de la carga, lo que se le añade que permite rápido arranque de sus partes. Se puede realizar la siguiente clasificación de las centrales de tipo mini hidráulico.

- a) Centrales de pie de presa: Son aquellas centrales en las que existe una construcción que permite el almacenamiento del agua. El represamiento del agua representa una gran ventaja debido a que se puede continuar con la producción de energía en épocas de estiaje y también se puede hacer programación de despacho de la

potencia. Las principales desventajas de este tipo de central son que tienen altos costos de inversión inicial, así como los impactos sociales y ambientales que causan.

- b) Centrales de agua fluyente: Son aquellas instalaciones que aprovechan la energía cinética del agua existente en el curso natural de los ríos. Debido a esta característica, tienen una limitación del caudal con el que pueden estar funcionando, umbral que se determina por las especificaciones de las turbinas instaladas. Esta limitación hace que se deba revisar con especial énfasis los factores ambientales y determinar cuidadosamente el potencial hídrico del lugar donde se pretende instalar este tipo de complejos de generación.

Solar térmica. – La tecnología que permite el aprovechamiento de la temperatura producida por los rayos solares se encuentra aún en desarrollo, por lo cual se espera que sea una solución efectiva para la GD. El principio básico de funcionamiento es la existencia de un punto concentrador de la radiación solar, que permita el calentamiento de cierto fluido, normalmente compuesto de sales fundidas. Una vez que el fluido alcanza cierta temperatura, permite producir vapor que permite la existencia de moción de la turbina de vapor. Esta turbina se conecta al generador para obtener energía eléctrica que puede ser entregada directamente a los consumidores o para el autoconsumo en GD.

Pilas de Combustible. – La pila de combustible es una estructura que permite la mutación de energía química en energía eléctrica, y cuyo principio es la producción de una reacción química entre oxígeno e hidrógeno. Tal reacción produce agua, calor y electricidad. Entre las ventajas de una pila de combustible se encuentran una buena eficiencia energética que va desde 25 % al 50 %. También posibilita la existencia de seguridad en el suministro., debido a que pueden funcionar conectadas a la red, tanto en aplicaciones distribuidas, o funcionando como sistemas auxiliares para garantizar la continuidad del suministro eléctrico. Las pilas de tipo estacionario son sistemas de GD que producen energía eléctrica y calor en punto aledaños al consumo que se

emplean en funciones diversas según su potencia, mismas que son mostradas en la siguiente tabla [12].

Tabla 2. Ejemplos de Pilas de Combustible

PILAS DE COMBUSTIBLE	
Sistema eólico	Características
Sector doméstico	De 1-5 kW, viviendas unifamiliares donde el calor para calefacción conlleva un consumo significativo
Sector residencial y comercial	De 10-15 kW, hospitales, donde también es significativo el consumo de calor para calefacción
Sector industrial	De 250kW - 1MW, plantas depuradoras o en la fabricación de productos químicos, cuyos procesos de producción tienen consumos significativos tanto de calor como de electricidad

Biomasa. – Para comprender el aprovechamiento de esta materia para la producción de electricidad, se debe entender que la biomasa es materia viviente que se origina en procesos biológicos, que puede ser obtenida de forma natural, o se puede encontrar en residuos ganaderos, de la producción de alimentos o en aserraderos, por nombrar otros. El aprovechamiento en GD consiste de un proceso que inicia con la incineración de la materia orgánica residual. Tal proceso produce calor que si se alcanza la temperatura suficiente es adecuado para la obtención de gas, el mismo que mueve una turbina generando energía eléctrica. La otra forma en la que se puede aprovechar la biomasa es mediante el procesamiento de la materia para poder producir biocombustibles que se usan en centrales térmicas. Se deben considerar también ciertos aspectos negativos de la biomasa incluyendo que presenta potencial de combustión inferior comparado al que tienen los combustibles fósiles. Las posibilidades de una menor combustión se deben a una baja densidad energética y altos niveles de humedad. Otro aspecto a considerar es la imposibilidad de almacenar la biomasa durante mucho tiempo debido a la rápida descomposición que sufre la materia orgánica [32].

Turbinas de Gas. – Son máquinas que funcionan mediante recursos no renovables derivados del petróleo. La capacidad de instalación típica va desde 265 kW a 50000 kW. La eficiencia eléctrica alcanza hasta el 30 % y la eficiencia térmica puede llegar hasta el 55 %. Estas turbinas permiten un bajo costo de inversión, con tiempo de

arranque es muy corto, que es alrededor de 10 minutos, lo que permite la operación segura y que se requiera limitada cantidad de espacio físico para su instalación [32]

1.3 Uso del sol como medio energético

El sol es el principal recurso energético de la tierra, por la cual se considera al recurso solar disponible para aprovechar como una fuente primaria de energía y una fuente renovable. En el sol se producen reacciones nucleares que liberan continuamente gran cantidad de energía; de esta energía a pesar de que solo una parte mínima llega a la tierra, esta es ampliamente superior a toda la energía que es utilizada y aprovechada por todas las actividades que se producen dentro del planeta. Debido a lo anteriormente explicado, hay un creciente interés de la explotación de este recurso [7], [33]

La energía solar cuando alcanza el planeta tierra se manifiesta en forma directa e indirecta. Las manifestaciones indirectas son aquellas que son palpables luego de una transformación del tipo de energía que ocurre en la atmósfera. Estas variaciones tienen directa influencia en la existencia del viento, las olas y las precipitaciones. Los tipos de energía resultantes pueden ser explotados por medio de generadores eólicos, centrales mareomotrices y también con la instalación de centrales hidráulicas, estas últimas con una gran influencia en la matriz energética de Ecuador [9].

Así mismo, la energía solar puede ser aprovechada en forma directa, en este caso se realiza una clasificación por el tipo de efecto que se aprovecha. De esta forma se tienen sistemas térmicos, que son aquellos donde se aprovecha la energía solar para producir calor. Los sistemas solares térmicos son utilizados para tareas cotidianas como la climatización de edificaciones o el calentamiento del agua con fines recreativos o de higiene, pero también se emplean para producción de vapor de agua utilizado en la producción eléctrica por medio de centrales termosolares. Otra forma en la que se utiliza la energía solar es por medio del efecto fotovoltaico, cuyo principio de funcionamiento, es el aprovechamiento de la energía producida por el movimiento de electrones de la última capa del elemento semiconductor, tal movimiento se produce debido al choque de partículas denominadas fotones que provienen de los rayos solares [9]. Para que se produzca el aprovechamiento de la energía liberada se emplean células solares que en conjunto forman estructuras denominadas paneles.

1.4 Energía solar en el Ecuador

La matriz energética de Ecuador está basada en medios energéticos de origen fósil, así como centrales hidráulicas y en menor cantidad en energías renovables, la tabla 3 muestra la potencia instalada de cada tipo de fuente energética durante el año 2018. La importancia de cada una de las fuentes energéticas para el SEP ecuatoriano también es mostrada, donde se puede notar que las energías no renovables son las que aún tienen una mayor cantidad de potencia. Las tecnologías que aprovechan la energía renovable, incluyendo la energía solar aún no tienen una cantidad representativa de potencia instalada.

Tabla 3. Potencia nominal y efectiva a nivel nacional por tipo de central

POTENCIA NOMINAL Y EFECTIVA A NIVEL NACIONAL (MW)				
Tipo de Fuente	Tipo de Central	Tipo de Unidad	Potencia Nominal (MW)	Potencia Efectiva (MW)
No Renovable	Térmica	MCI	2011.44	1613.60
No Renovable	Térmica	Turbo gas	921.85	775.55
No Renovable	Térmica	Turbo vapor	461.87	431.74
Renovable	Hidráulica	Hidráulica	5066.40	5036.43
Renovable	Biomasa	Turbo vapor	144.30	136.40
Renovable	Fotovoltaica	Fotovoltaica	27.63	26.74
Renovable	Eólica	Eólica	21.15	21.15
Renovable	Biogás	MCI	7.26	6.50
Total General			8661.90	8048.11

Para que las energías renovables tengan una mayor representatividad en la matriz energética, Ecuador cuenta con políticas de incentivo de uso de tecnologías como la energía fotovoltaica, tales políticas están apoyadas por la Constitución del Ecuador, que establece que se debe promover la eficiencia energética, así como un desarrollo sostenible, que incluye emplear prácticas y tecnología que no sean nocivas al medio ambiente [10].

En función de los incentivos planteados, se puede notar que existen varios ejemplos de electrificación en zonas rurales cuya herramienta tecnológica base es la utilización de paneles solares fotovoltaicos. Una muestra de este tipo de proyecto son los

desarrollados por la Empresa Eléctrica Centrosur en los sectores de Yantsa y Etsari, beneficiando a los habitantes de las comunidades Shuar y Achuar ubicados en la provincia de Morona Santiago.

Otros ejemplos de proyectos de electrificación rural con paneles solares fotovoltaicos son los promovidos por el Ministerio de Electricidad y Energías renovables del Ecuador con el programa EURO-SOLAR que promueve emplear energías renovables para cambiar las condiciones vitales de poblaciones en situación de vulnerabilidad. En este programa se implementaron este tipo de centrales aisladas en las provincias de Guayas, Sucumbíos, Esmeraldas, Orellana, Morona Santiago, Pastaza y Napo, ampliando el acceso a la electricidad en sectores vulnerable. En este caso la implementación consta de 7 PW con potencia instalada de 1100 vatios pico. Las torres además incluyen equipamiento para telecomunicaciones [12].



Figura 3. Ejemplos de Electrificación Rural en el Ecuador [60]

1.5 La radiación solar

La radiación solar son la agrupación del espectro electromagnético que emite la estrella del sistema solar. Para la medición de radiación solar es la irradiación, correspondiente a la energía por área que llega al planeta, cuya unidad es W/m^2 [34] Es muy importante notar la diferencia entre irradiancia e irradiación, siendo la irradiancia la intensidad electromagnética incidente en una superficie (W/m^2), y la irradiación solar es la irradiancia solar en un periodo específico de tiempo (Wh/m^2) [35]. La radiación solar se clasifica en tres partes:

- **Directa:** Es la que llega directamente, sin desviarse al atravesar la atmósfera. Esta radiación se caracteriza por la no producción de sombra con los objetos que se le interponen [34].

- Difusa: Es la que parte que sufre variaciones producidas por la difusión en la atmósfera. Se debe tomar en cuenta la imposibilidad de concentrar toda la radiación en forma omnidireccional [34].
- Albedo: Es la radiación resultante de reflexiones en áreas variadas y próximas de la radiación difusa y directa.

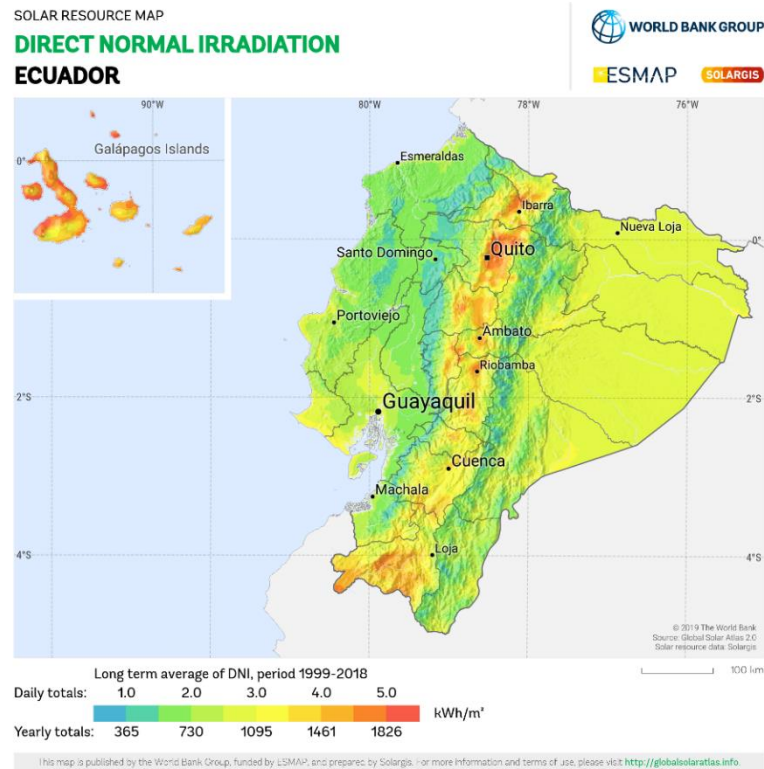


Figura 4. Irradiación directa en el Ecuador. [56]

Como se puede observar en el mapa de irradiación directa en el Ecuador, se observa el gran potencial, para el desarrollo en el sector de la generación PV.

1.6 Electrificación rural en Ecuador

Actualmente la electrificación en la ruralidad de Ecuador prácticamente en su totalidad es de tipo aislada, en especial en los lugares más alejados. La explicación de esta característica es que extender la red eléctrica no es viable desde el punto de vista económico para alcanzar zonas rurales aisladas, debido no solo a la lejanía sino también a los bajos niveles de población que se pueden encontrar en tales ubicaciones. Para solucionar esta problemática se ha puesto en práctica la electrificación por medio del uso de energías renovables para el suministro energético a través de sistema

aislados. La electrificación rural aislada, se basa en la instalación de sistemas independientes que se basan en energías renovables, contando normalmente con tecnologías de generadas basadas en el aprovechamiento de energía fotovoltaica, eólica, mini hidráulicas y biomasa. Tales sistemas también se pueden emplear combinados con generadores de energía convencionales no renovables, como son los generadores a diésel o de gas licuado. Para un correcto funcionamiento de las instalaciones aisladas, todas las tecnologías descritas anteriormente cumplen con normas y especificaciones técnicas, diseñadas para los proyectos de distribución de energía en zonas rurales aisladas y en locaciones donde no es posible el acceso al sistema interconectado de transmisión.

Las instituciones que se encargan de la emisión de directrices y parámetros a cumplir sirven como guía para posibilitar mejoras en la seguridad, sostenibilidad y calidad de los SEP de países en vías de desarrollo.

A nivel del país la electrificación rural tuvo su punto de partida mediante el fomento de las autoridades en el año 1973, año de creación del Fondo de Electrificación Rural. Posteriormente aparecieron las regulaciones locales basadas en las directrices internacionales mediante la Ley de Régimen del Sector Eléctrico. En esta ley también se promueve el fondo de Electrificación Rural y Urbano-Marginal todavía en funcionamiento y que está en marcha desde el año 1998, gestionando inicialmente por el Concejo Nacional de Electricidad (CONELEC), creado también en la misma ley [54]. Desde la creación del FERUM, en el periodo entre 1999 al 2006 se invirtieron USD 259 millones, sufriendo una variación entre los años 2007 al 2014, donde se invirtieron USD 440 millones, duplicando así la inversión realizada en años anteriores lo que tiene como resultado que la cobertura del servicio de electricidad a nivel nacional a diciembre del 2014 alcance al 96.77% de la población [36]

Existen proyectos y actividades relativas que se relacionan a la distribución eléctrica rural, en las que se encuentran inmersas varias instituciones mediante convenios que ha realizado el CONELEC. Se destacan convenios con confederaciones que permiten tener un conocimiento de primera mano y determinar las poblaciones que requieren acceso al suministro eléctrico. Pero a pesar de los esfuerzos de las autoridades y de los diversos actores de esta problemática, la electrificación rural aún presenta algunas barreras entre las cuales se destacan:

- **Adecuación técnica de los equipos:** Se requieren ciertas variaciones para la implementación de un sistema con GD, tienen ciertos parámetros de funcionamiento que se establecen para condiciones de trabajo que difieren en gran medida de las condiciones ambientales que se pueden presentar en ciertas poblaciones rurales. La variación de las condiciones, incluyendo temperaturas o humedad por encima de lo recomendado puede generar inconvenientes con el mantenimiento y operación segura de los equipos. El sistema de almacenaje de la energía es especialmente sensible, ya que su vida útil se ve reducida cuando las condiciones de trabajo no son óptimas o por uso inadecuado.
- **Falta de proyectistas o instaladores capacitados y/o certificados:** En ciertas ubicaciones no pueden existir personas con adecuada certificación, ello incluye proyectistas e instaladores calificados. Esta situación puede repercutir en la calidad de la instalación o también puede causar que exista configuraciones inadecuadas del sistema. Para poder evitar esta clase de inconveniente una estrategia válida es realizar una investigación y análisis detallado de la zona de emplazamiento de la red, tales análisis conducen a la obtención de resultados relevantes como son conocer los recursos energéticos disponibles.
- **Aspectos socioeconómicos:** Se toma en cuenta que los proyectos para suministrar energía eléctrica en la ruralidad y que presentan una estructura cultural muy importante, esto se debe a que las áreas rurales que no tienen servicio eléctrico necesitan una socialización y charlas informativas específica para que puedan realizar un uso adecuado de las nuevas tecnologías. La información a ser impartida tiene relación directa con el manejo, operaciones, mantenimiento y gestión de los equipos. Por otro lado, en aquellos lugares donde la población dispone tecnologías de generación basadas en combustibles fósiles, existe una problemática asociada a la desconfianza que puede existir en las personas frente a un cambio de tecnología [37].

Pese a todas las barreras que podrían significar atrasos en la implementación de sistemas aislados de generación, las políticas de desarrollo económico-social que han sido implementadas, permiten la estructuración de proyectos de sistemas aislados de generación cuya componente principal es la utilización de sistemas fotovoltaicos en

áreas alejadas. Tales proyectos permiten la entrega del servicio de energía eléctrica en aquellos lugares en los que por varios motivos no existe la red de distribución y tampoco haya probabilidad que sean conectados a la red convencional en un corto plazo.

1.7 Sistemas fotovoltaicos aislados

Por definición, los sistemas eléctricos aislados son aquellos que no están enlazados a la distribuidora, es decir, están separados de los sistemas eléctricos de potencia convencionales. Estos sistemas son generalmente implementados en áreas en las que resulta poco factible la colocación de una red de distribución, o en aquellos lugares donde el acceso por vía terrestre es nulo, debido a que la red eléctrica convencional se implementa en torres asentadas en la tierra o por vía subterránea. Los sistemas independientes tradicionalmente se emplearon para proveer suministro eléctrico a un solo lugar, un hogar, una finca, esto se lleva a cabo mediante pequeños generadores que entregan una cantidad limitada de potencia, para cubrir demandas reducidas. En la actualidad, también se ha modificado la estructura de los sistemas dando lugar a las microrredes. Se llaman microrredes a los sistemas que contienen equipos que permiten la provisión de electricidad a varios usuarios conectados a una única red, considerando que deben existir 3 usuarios o más, cuya demanda es cubierta por uno o más generadores.

En el caso de los sistemas aislados y con PV, se cumplirán ciertas condiciones para poder asegurar la continuidad del servicio la mayor cantidad del tiempo en el día y en cualquier época. Entre tales aspectos técnicos a ser considerados, normalmente requieren una forma de almacenar lo que se produce, tradicionalmente baterías, que permiten la utilización de la energía durante las 24 horas del día, estos sistemas generalmente se diferencian por su tensión de trabajo, también es necesario inversores, sistemas de control y otros componentes que se requieren para asegurar un adecuado funcionamiento de la red aislada.

Para que una instalación aislada cuyo elemento de generación es un sistema con paneles solares fotovoltaicos funcione correctamente, se deben considerar ciertos aspectos tanto en su diseño como en su operación. Entre esos factores podemos nombrar los siguientes:

- La potencia a ser instalada
- El consumo de energía promedio del o los usuarios
- El tipo de consumo
- El periodo de uso (curva de demanda)
- La localización y sus factores climáticos y ambientales

A pesar de que los sistemas fotovoltaicos aislados pueden funcionar en forma autónoma sin problemas, también es preciso señalar que este tipo de sistema puede ser instalado con un sistema generador de respaldo que por lo general son grupos motor-generador a diésel y que pueden suplir la demanda en casos de emergencia o situaciones en las que la energía almacenada resulta insuficiente para cubrir la demanda durante periodos largos de tiempo o dónde no ha sido factible producir energía con los paneles solares fotovoltaicos.

1.8 Características generales del sistema fotovoltaico

La energía PV se obtiene por medio del cambio de la energía solar en electricidad, este fenómeno de transformación se conoce como efecto fotovoltaico o fotoeléctrico.

El fundamento técnico para la utilización de esta fuente de energía es este efecto que se define como la capacidad de absorción del espectro de luz por ciertos materiales, normalmente de tipo semiconductor. En el interior de estos materiales, la energía que se encuentra en las partículas subatómicas denominadas fotones, provocando movimientos a los electrones del material haciendo que una parte se descoloque y estableciendo cargas bipolares en el proceso, dando lugar a generar energía eléctrica con magnitudes definidas de voltaje y de corriente, las que normalmente son especificaciones varían según el constructor de los paneles fotovoltaicos [14].

Un módulo de generación fotovoltaico se forma de varios componentes las cuales se encuentran a continuación: arreglo compuesto por uno o más paneles fotovoltaicos, las que se interconectan para conformar la generación de corriente continua (CC), los paneles se colocan en una estructura de soporte mecánica, la cual puede contener un sistema de seguimiento de la luz solar. El módulo también se componen de regulación para permitir que las baterías estén en funcionamiento en sus límites operativos, un inversor en caso de querer alimentar cargas de corriente alterna [22], así mismo un sistema de protecciones de tipo adaptativo, contador o medidor de la energía [38],

sistema de acumulación o banco de baterías, protección a tierra [39], y las cargas de los usuarios (lámparas, radio, refrigerador, etc.), también se requiere cables o conductores. Una particularidad del sistema fotovoltaico es que funciona cuando recibe la irradiancia solar, por lo tanto, la cantidad de energía que producirá el panel solar es proporcional en forma directa a la cantidad de luz que reciba, dejando de producir energía durante la noche. Para suplir las cargas durante las horas en que no existe luz solar se debe incluir un banco de baterías u otro medio provisto para el efecto [40].

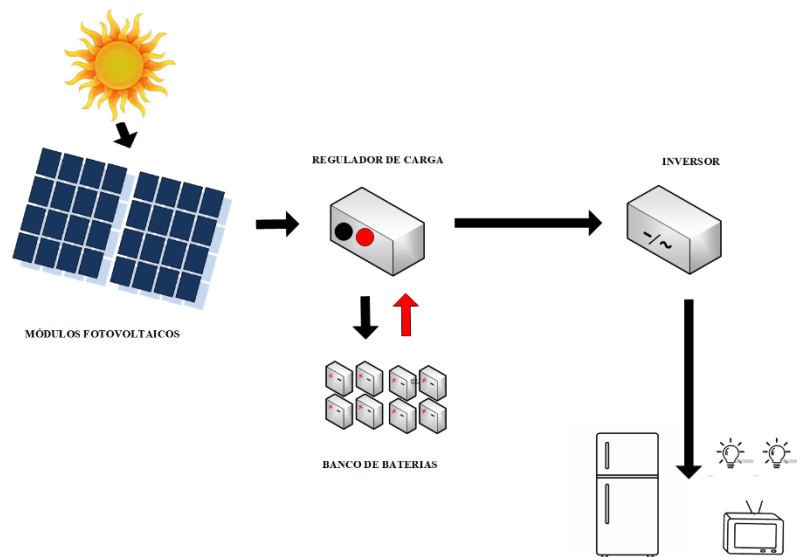


Figura 5. Sistema Fotovoltaico

Elaborado por el autor.

La figura 4 muestra los elementos que posibilitan la generación de electricidad mediante aprovechando la energía proveniente del sol. El proceso es descrito de la siguiente forma: se produce la recepción de energía por medio de módulos PV. Luego, la energía producida en los paneles es transportada hacia el regulador, encargado de nivelar el voltaje y corriente; luego se produce la acumulación de electricidad en el arreglo de baterías y al mismo tiempo se envía la energía hacia el inversor. El inversor contiene electrónica y control que permiten que la corriente continua se transforme en corriente alterna para ser empleada para alimentar las cargas de los usuarios.

Como todo sistema que está en proceso de desarrollo, un sistema fotovoltaico presenta ventajas y desventajas entre las cuales se pueden destacar:

Ventajas:

- Instalación rápida y sencilla que puede realizarse con herramientas comunes.
- Larga vida útil.
- Bajo costo de mantenimiento y operación.

Desventajas

- Alto costo de inversión inicial.
- Su funcionamiento es dependiente de las condiciones atmosféricas
- Producción de energía limitada.

1.9 Modulo Fotovoltaico (Panel Solar).

La celda PV se considera un generador de corriente, resultado de la conexión de varias células en serie y paralelo, sabiendo que se conectan en forma paralela para alcanzar el voltaje nominal requerido y en forma serial para cumplir con las necesidades de corriente, de tal forma de obtener niveles nominales para la alimentación de las cargas y obtener la potencia de demanda máxima de los usuarios. Una célula PV genera si están cumplidas 3 situaciones: en primera instancia que haya variación de las cargas que permiten el surgimiento de corriente eléctrica, con lo cual existe voltaje.

La primera condición se cumple al añadir a un elemento semiconductor dosis de átomos dopantes capaces de variar sus electrones. Para obtener un flujo de corriente, se expone la célula PV para el aprovechamiento de la energía de la energía fotónica. Si la energía alcanza niveles adecuados, el fotón hace pasar el electrón a la banda conductiva. Durante el proceso surge una carga positiva; cuando existen las cargas, se da circulación de corriente al cerrarse el circuito. Finalmente se produce voltaje al unir semiconductores con cargas diferentes, mismas que producen un campo eléctrico. La unión es la célula PV, cuando tal célula recibe energía, las cargas creadas se dividen por el campo eléctrico y luego aparece la corriente eléctrica [41].

Las células PV tienen sensibilidad de la luz y están constituidas normalmente de silicio, en su interior al fluir las cargas se ocasiona voltaje interno que con la conexión a una resistencia de carga producen corriente [42]

Actualmente hay diversas células PV con variadas formas constructivas, con sus propiedades, en función de la aplicación se puede elegir la apropiada dependiendo de factores como:

- **Cristalinidad:** Indica la cantidad de orden de la estructura del átomo de sílice, se dividen en amorfos, monocristalinos y policristalinos.
- **Coefficiente de absorción:** Establece la forma en que la luz ingresa previo a la absorción, lo que cambia según el material y la longitud de onda.
- **Costo de fabricación y complejidad:** Varía según varios aspectos, incluyendo el número de etapas constructivas, si se requiere condiciones operativas específicas, el tipo de material y cantidad, así como las necesidades de transporte de los componentes, entre otros.

Tabla 4. Tipos de celdas solares

TIPOS DE CELDAS SOLARES			
Tecnología	Símbolo	Característica	Eficiencia de celdas en laboratorio (%)
Silicio monocristalino	sc-Si	Tipo oblea	24
Silicio policristalino	mc-Si	Tipo oblea	19
Películas de silicio cristalino sobre cerámica	f-Si	Tipo oblea	17
Películas de silicio cristalino sobre vidrio	-	Película delgada	9
Silicio amorfo	a-Si	Película delgada	13
Diseleniuro de cobre-indio / galio	CIGS	Película delgada	18
Telurio de cadmio	CdTe	Película delgada	18
Celdas orgánicas (incluye celdas de TiO ₂ sensibles a la humedad)	-	Película delgada	11
Celdas tandem de alta eficiencia	III-V	Tipo oblea y película delgada	30
Celdas concentradoras de alta eficiencia	III-V	Tipo oblea y película delgada	33 (tandem) 28 (solo)

El método de fabricación de los módulos fotovoltaicos determina la forma geométrica que vayan a tener, es así que los primeros módulos tenían una forma redonda, las versiones más recientes tienen una forma rectangular con las esquinas con vértices de 45°. La razón para la variación de la forma es que permite optimizar el número de células que se pueden colocar en el módulo fotovoltaico.

1.10 Estructura de soporte

Los metales que funcionan para soportar de los paneles solares que deben construirse con una resistencia de al menos 10 años de estar expuestos al ambiente, sin que exista corrosión o fatiga. Las estructuras se estar compuestas de muchos materiales incluyendo acero inoxidable, aluminio, hierro galvanizado, entre otros.

Los módulos PV suelen instalarse en techos y patios de las casas, colocados de forma tal que evitan que algún objeto proyecte su sombra sobre el módulo, principalmente en las horas cercanas al mediodía. Al momento de realizar la colocación de las estructuras de soporte se debe tener en cuenta los ángulos principales [43] de orientación que son:

Angulo azimutal de la superficie ϕ : se lo define como el ángulo entre la proyección de la superficie horizontal y la dirección norte-sur para el hemisferio sur o sur-norte para el otro hemisferio.

Inclinación: ángulo expresado mediante (1), tiene un valor mínimo de 10° suficiente para permitir la caída de la lluvia y para la limpieza regular de los módulos de generación.

$$\text{Inclinacion } (^{\circ}) = |\theta| + 10^{\circ} \quad (1)$$

Donde:

θ : es la latitud del lugar de instalación.

1.11 Regulador

El regulador de voltaje sirve como elemento de protección de las baterías contra posibles sobrecargas por parte del módulo fotovoltaico, evitando que existan fuertes descargas cuando hay consumo de CC, el regulador puede contar con características como la adaptación automática a la temperatura ambiente.

El regulador de carga también permite la carga de las baterías, definiendo el voltaje y corriente de salida, de forma que las baterías se carguen con los parámetros eléctricos adecuados. Por ello a los reguladores se los conoce como controladores de carga, normalmente trabajan tanto en 12VDC como en 24VDC [44]. Estos equipos se dividen en dos tipos de reguladores:

- De seguimiento del punto de potencia máxima (MPPT [45]): es el controlador que regula corriente y voltaje de entrada y de salida de manera que los módulos PV pueda entregar la mayor cantidad producción posible. Con este tipo de controladores se puede obtener aproximadamente un 15% más de energía de los módulos fotovoltaicos que el regulador tipo PWM.
- De modulación del ancho de pulsos (PWM [9]): este tipo de regulador sirve para regular el voltaje con la que se carga la batería. En este caso el punto de operación del módulo PV varía de acuerdo al voltaje con el que se produce la carga de las baterías. Se debe considerar que, al utilizar este tipo de regulador, el módulo fotovoltaico no puede operar en su punto máximo de potencia. También se debe considerar dimensionar de manera óptima el número de módulos fotovoltaicos a utilizar para evitar pérdidas en la obtención de energía o en la carga de la batería.

Tabla 5. Características de reguladores de carga

Característica	Controlador PWM	Controlador MPPT
Tensión en conjunto de paneles	Debe ser similar a la tensión de la batería de carga.	Puede estar dentro de un rango amplio definido por el dispositivo. Usualmente mayor a la batería
Tamaño del sistema	Recomendado para sistemas pequeños donde los beneficios de operar en el punto de máxima potencia son mínimos.	Recomendado para sistemas mayores a 200 W para aprovechar la operación en el punto de máxima potencia.
Método de dimensionado	Para el dimensionado se toma en cuenta el amperaje del conjunto de paneles a la tensión de la batería.	Para el dimensionado se toma en cuenta la potencia máxima que puede suministrar el conjunto de módulos fotovoltaicos. Esta potencia debe ser inferior a la corriente máxima de carga multiplicado por la tensión de la batería.

Otro aspecto que se debe analizar para tener un correcto funcionamiento de los reguladores es el voltaje proveniente de los módulos fotovoltaicos, en el caso que su magnitud sea menor a la del sistema de almacenamiento, el regular deber ser capaz de desconectar el sistema de captación de la energía del sistema de almacenamiento, supervisando en todo momento estos valores, hasta el punto que el voltaje retorne a los valores nominales, momento en que se reanuda el proceso de carga.

El regulador de carga puede tener formas de protección de la batería de eventos de profunda descarga, y permite que el diseñador del sistema PV pueda poder controlar los umbrales para desconectar, reconectar e incluso hacer cortes por alto voltaje [46], todas estas condiciones pueden existir en función de las condiciones ambientales y la radiación en la zona de instalación de los generadores fotovoltaicos.

Otro aspecto que se debe considerar en el diseño de sistemas aislados con paneles fotovoltaicos es su ubicación en zonas remotas, donde el acceso a mantenimiento es limitado y sin continuidad; de esta forma se vuelve necesario que el regulador almacene información básica de operación del sistema incluyendo aspectos como la utilidad anual del sistema PV, el voltaje de funcionamiento del almacenamiento, corriente de carga máxima y la máxima corriente de consumo.

Mediante la colocación de una estructura de datos que almacene los parámetros mencionados se analizan las causas de fallas en todo el sistema, incluyendo averías de las baterías, así como conocer la real producción de los paneles solares fotovoltaicos en las condiciones de temperatura e irradiancia de la zona escogida, por nombrar otros aspectos que pueden ser útiles para una mejor operación del sistema aislado, ayudando a predecir y prevenir, mejorar los diseños de sistemas fotovoltaicos que estén ajustados a la realidad de las condiciones del emplazamiento [47].

1.12 Inversor

Un inversor es un dispositivo cuya función consiste en la adecuación de la energía que se genera en los paneles PV para que se ajuste a las características nominales del equipamiento de los usuarios, esto se realiza mediante la transformación de la CC generada o almacenada en baterías en CA que se consuma directamente. Las especificaciones más relevantes para dimensionar el inversor se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Características de los inversores

Característica	Controlador PWM
Tensión de entrada	Indica el rango de valores de tensión continua procedente del subsistema de captación en el cual el inversor puede operar.
Tensión de seguimiento de potencia máxima	Indica el rango de valores de la tensión de los módulos fotovoltaicos en donde el inversor puede realizar el seguimiento del punto de potencia máxima y, por tanto, optimizar su producción. Esta opción normalmente no está disponible en los inversores aislados.
Tensión de salida	Indica la tensión nominal de salida que entrega el dispositivo.
Corriente máxima	Representa la máxima corriente procedente del conjunto de paneles que el inversor puede admitir.
Potencia nominal	Representa la potencia nominal que puede entregar el sistema..
Potencia máxima	Indica la máxima potencia que puede entregar el sistema en un instante.
Eficiencia máxima	Representa la máxima eficiencia de conversión que tiene el inversor. Este valor solamente se da en unas condiciones de carga y tensión concretas; durante su operación, el inversor no necesariamente funciona bajo la eficiencia máxima.
Distorsión armónica	Es un indicador que muestra la proximidad de la onda de generación a la forma senoidal. Esta calidad de la onda se mide mediante la tasa de distorsión armónica global (THD) que se expresa en porcentaje. La distorsión armónica representa la razón entre la potencia de los armónicos y la potencia fundamental. Se quieren evitar valores de distorsiones armónicas muy elevadas. La distorsión armónica ideal es de un 0%; esto quiere decir que no se están generando ningún tipo de armónicos.
Elementos de seguridad	Estos inversores suelen incluir <ul style="list-style-type: none"> • Protección contra cortocircuitos • Protección contra sobretensiones • Protección contra inversión de la polaridad • Protección por Tensión y Frecuencia de red fuera de rango
Elementos adicionales	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de despliegue de información. Es siempre útil, sobre todo a la hora de dar mantenimiento al inversor, que éste cuente con algún elemento visual que permita determinar su estado. Estos elementos pueden ser luces indicadoras, pantallas, señales de alarma, etc. • Sistema de programación y ajuste: Algunos inversores incluyen un pequeño panel de control que permite ajustar algunos parámetros. Recientemente también es posible encontrar inversores que permiten una configuración remota, ya sea por medios inalámbricos o por red de datos. Este tipo de funcionalidad facilita la operación y mantenimiento del inversor. • Sistema de medición y almacenamiento de datos: Existen inversores, en especial aquellos conectados a la red, que integran un sistema de medición de energía. Estas mediciones pueden ser enviadas a un servidor remoto o ser almacenadas en una memoria interna. Esta monitorización permite determinar el desempeño y el estado de la planta fotovoltaica.

Otro aspecto a analizar es que en los sistemas PV aislados se usan inversores auto conmutados o con conmutación forzada. En este sentido, los primeros inversores, actualmente fuera del mercado, generaban formas de onda cuadrada alternas, que presentan alto contenido armónico lo que conlleva interferencias en radios, televisores.

Otro problema es que computadores y otros equipos electrónicos no se pueden alimentar con este tipo de salida de voltaje. Luego, el diseño de inversores, permitió que la onda de salida sea un seno modificado o no perfecto. Actualmente la forma de onda es más cercana a la ideal mediante la modulación de ancho de pulsos (PWM), generada con microcontroladores, una onda que sigue las variaciones típicas del voltaje alterno.

Los inversores más recientes establecen formas de onda puras o casi puras con y con error mínimo y rendimientos de hasta 90% si la carga es baja, con armónicos muy reducidos. En el mercado hay equipos que combinan la inversión para cambiar la energía proveniente de generación renovable y en el mismo conjunto existen cargador para las baterías con fuentes como la generación de respaldo o mediante la conexión directa a la red [48].

1.13 Sistema de Protección

Los sistemas fotovoltaicos domésticos generalmente operan en bajos niveles de voltaje en un rango de 12 a 24 Vdc de entrada, en este caso el factor que requiere especial atención en lo referido a fallas se encuentra en las baterías debido a que en estos equipos pueden darse corrientes de cortocircuito de valores elevados, esto en conjunto con su contenido ácido, puede producir gases inflamables y riesgo de explosión. Se debe colocar en la batería y el regulador de carga protecciones contra cortocircuitos y sobre corrientes para evitar los riesgos mencionados. Los relés deben proteger la línea del generador PV y las conexiones hacia las cargas. Mediante la colocación de dispositivos como fusibles, diodos, disyuntores, entre otros; se puede proteger toda la estructura aislada, tal equipamiento puede o no estar colocado junto al regulador, pero se consideran como componentes de ese dispositivo en lo referente al diseño e implementación de la red.

En el caso específico de los sistemas aislados que se encuentran en estudio, si se considera lo económico, colocar una estructura completa contra rayos no tiene sentido porque en forma general las averías en reguladores y generadores debidas a descargas no son frecuentes. Por ello se emplean otros mecanismos de protección por ejemplo la inclusión de formas de desconectar la generación PV ante la presencia de tormentas, esto es realmente necesario en emplazamientos de alto nivel isoceraunico [49].

1.14 Sistema de Almacenamiento.

El sistema de acumulación de una estructura con FV se forma generalmente con batería de plomo-ácido, mismas que recolectan la energía eléctrica que se genera durante las horas de radiación. Tal energía luego es utilizada en horario nocturno y de baja insolación. Se pueden observar diversos tipos de almacenaje de energía y sus características en la tabla 7.

Tabla 7. Características de las baterías

	TIPO	PRECIO	CICLADO PROFUNDO	MANTENIMIENTO
Acido Plomo Líquido	Plomo - Antimonio	Bajo	Bueno	Alto
	Plomo - Calcio abiertas	Bajo	Pobre	Medio
	Plomo - Calcio selladas	Bajo	Pobre	Bajo
	Híbridas (Antimonio - Calcio)	Medio	Bueno	Medio
Acido Plomo Seco	Gel	Medio	Muy bueno	Bajo
	AGM	Medio	Muy bueno	Bajo

La existencia de un ciclo repetitivo es una relevante característica del almacenamiento en instalaciones FV, este es un ciclo diario de periodos específicos de carga y descarga, pero además de tal comportamiento hay un ciclo estacional que está influido por la reducción de los niveles de radiación. Los ciclos mencionados y las condiciones de operación como la corriente o la temperatura ambiente influyen en la conservación de la vida útil de los componentes y en la variación de los ciclos en que las tareas de mantenimiento son requeridas [49].

Con el fin de elevar la vida útil de las baterías debe prevenir las situaciones siguientes:

- Bajos voltajes en descarga.
- Elevados voltajes en carga, situación que provoca pérdida de agua y corrosión.
- Descargas profundas.
- Existencia de temperaturas que elevan el envejecimiento.
- Largos periodos sin recargar totalmente.
- Bajas corrientes de carga.
- Estratificación del electrolito.

Todo lo mencionado establece ciertas directrices para realizar las tareas de diseño del generador FV, regulador de carga y baterías. Existen ciertas contradicciones entre los fabricantes respecto a las directrices por ello se recomienda determinar puntos coincidentes en función de las condiciones de funcionamiento del emplazamiento, pero si se consideran los aspectos económicos se establece un sistema que cumple con consideraciones técnicas, pero evita a la vez la inversión necesaria no exceda un presupuesto planteado. Luego de revisar estos aspectos los parámetros relevantes y que definen la batería y su funcionamiento en sistemas fotovoltaicos son:

- La capacidad nominal de almacenamiento de la energía.
- El valor de corriente máximo que se entrega a cargas fijas en ciclo continuo durante un número determinado de horas de descarga.
- La vida útil.
- Máxima profundidad de la descarga.

1.15 Cargas

En una instalación aislada, el sistema fotovoltaico debe ser capaz de alimentar a todas las cargas eléctricas para las que fueron dimensionados. Luminarias, radios, televisiones, electrodomésticos son parte de las cargas más repetidas en sistemas PV, reconociendo que el mayor consumo corresponde a la iluminación. Otra consideración en una instalación fotovoltaica aislada es que existen cargas que funcionan con corriente alterna y otras cargas que requieren corriente continua.

A pesar de que actualmente la mayoría de cargas eléctricas en las zonas residenciales son de corriente continua, debido a la naturaleza de la red eléctrica convencional, casi todas las cargas tienen un circuito de potencia integrado que convierte CC en CA, por ello casi todas las cargas de una red estarán conectadas a la salida de los sistemas de inversión. En lo que respecta a la iluminación, continuamente existen avances en el desarrollo de nuevas tecnologías, tales avances están orientados al alargamiento de la vida útil y a la reducción del consumo energético. En la tabla 7 se puede observar el diferente tipo de luminarias existentes en el mercado, su rendimiento y costo.

Tabla 8. Consumo de luminarias más utilizadas

Tipos de luminaria	Rendimiento	Costo
Incandescente	15 lm/w	Bajo
Fluorescente	65 lm/w	Medio
Ahorrador	70 lm/w	Medio
Led	>80 lm/w	Alto

1.16 Cableado

Como se mencionó antes, una red FV aislada se caracteriza por tener voltajes relativamente bajos y corrientes relativamente altas, esto hace que las pequeñas caídas de voltaje resulten relevantes debido a que pueden producir efectos negativos que pueden causar daños en los aparatos eléctricos utilizados por los usuarios.

Por ello, el dimensionamiento adecuado de las secciones de los conductores debe ser realizado con especial atención, de tal forma que las caídas de voltaje que se produzcan tengan un porcentual inferior al 3% entre el regulador de cargas y el panel PV. Entre la batería y el regulador de carga la caída de voltaje debe ser menor al 1%; mientras que entre el regulador y las cargas no puede exceder el 5%. Todas las magnitudes de las caídas son aquellas que ocurren cuando hay máxima intensidad de corriente, es decir al ser conectadas todas las cargas [44].

CAPÍTULO II

PARÁMETROS QUE SE CONSIDERAN AL IMPLEMENTAR SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

El presente capítulo describe los parámetros principales que se consideran al realizar la implantación de un sistema FV aislado que incluye su diseño. Se realiza una revisión detallada de las especificaciones técnicas y los aspectos que influyen en el dimensionamiento de las partes y equipos que componen un sistema fotovoltaico.

2.1 Dimensionamiento fotovoltaico

El dimensionamiento se realiza mediante una serie de cálculos para alcanzar la eficiencia óptima usando la electricidad que se produce con una estructura de generación por PV. Para realizar el dimensionamiento de una instalación específica, se debe contar con información detallada de ciertos aspectos como son el consumo de energía de los usuarios, factores de utilización y simultaneidad y otros que normalmente se emplean al momento de planificar una red de distribución típico. Además de los datos correspondientes a la demanda también se debe disponer de datos actualizados de la radiación incidente en la zona de interés o realizar una campaña de medición de los aspectos correspondientes al potencial energético de la localización potencial del centro de generación. Tales estudios se realizan previo a la implantación de este tipo de redes o durante la fase de factibilidad de los proyectos.

2.2 Estimación de la demanda

Como primer paso para realizar la estimación de la carga a cubrir con el sistema FV aislado, se debe realizar un estudio de cargas disponibles en el lugar de instalación. En este estudio deben estar especificados datos como la potencia nominal por cada dispositivo y tiempo aproximado que se la utiliza de forma diaria por cada usuario.

Otro aspecto que el diseñador debe tomar en cuenta es la existencia de consumos fantasmas, es decir aquellos que tienen los equipos cuando se encuentran apagados o en modo de reposo. Generalmente los consumos que realizan los dispositivos en este estado son muy bajos, pero no por ello debe dejar de ser tomados en cuenta en los estudios que se realizan para la instalación de este tipo de red.

Para tener una idea clara del perfil de consumo por parte de los usuarios de las áreas rurales aisladas, se pueden ejecutar diversas estrategias, por ejemplo, la realización de encuestas, en las que se incluyen datos como la potencia de los equipos, número de

horas de funcionamiento diario y cantidad de quipos disponibles. Una vez que se recogen los datos y se los tabulo, se pueden procesar de tal forma de obtener la energía consumida por equipo, luego los resultados se suman, obteniéndose así la energía total requerida.

Tabla 9. Demanda de los usuarios

DEMANDA DE LOS USUARIOS DE LA ZONAS RURALES AISLADAS					
EQUIPOS	CANTIDA D	TENSIO N [V]	POTENCIA[W]	UTILIZACIO N [H/DIA]	ENERGIA (Wh/DIA]
Focos led	6	12	10	4	240
Refrigerador	1	12	180	5	900
Celular y otros	1	12	15	3	45
Radio	1	120	60	2	120
Televisión	1	120	95	3	285
Licuadaora	1	120	250	0.25	62.5
Inversor	1	120	25	24	600
Decodificador	1	120	30	2	60
ENERGIA TOTAL DEMANDADA AL SISTEMA					2312.5

Elaborado por el autor

La tabla 9 muestra un cuadro resumen el consumo promedio por usuario en cierto sector. Hay que recalcar que el consumo del usuario mostrado en la tabla puede cambiar, por lo que el sistema de generación será dimensionado con un factor que será al menos un 10% superior a la energía consumida por el usuario en la actualidad, de tal forma de para poder cubrir aumentos en la demanda en el futuro.



Figura 6. Perfil de consumo de usuario. Elaborado por el autor.

En la figura 5 se estima un perfil de consumo basado en la información disponible, la gráfica se alimenta de los datos recolectados en las encuestas y los que proporcionaron los usuarios que se encuentran en la zona rural aislada.

2.3 Especificaciones técnicas del emplazamiento y evaluación del recurso solar

Al realizar la presente investigación, se detecta es altamente relevante cuantificar el recurso solar disponible, mismo que se ve afectado por diversas condiciones incluyendo aspectos climáticos propios del emplazamiento escogido.

Para el caso específico del presente trabajo la ubicación geográfica es en las estribaciones occidentales del Volcán Pichincha, en el sector de la antigua vía a Santo Domingo de los Tsachilas. Se encuentra localizado en una altura promedio de entre los 1800 y 2500 metros de altitud. Las actividades productivas a las que se dedican sus habitantes son principalmente de índole agrícola y ganadera.

Tabla 10. Datos del Emplazamiento

CONDICIONES DE EMPLAZAMIENTO -0.236921, -78.770000 (-00°14'13", -78°46'12")		
Temperatura ambiente diurna mínima	17.80	[°C]
Irradiación máxima	1405.00	[W/m2]

La fuente de información de la que se obtuvieron los datos relativos a la radiación solar en el emplazamiento es la que se encuentra en la herramienta digital Solargis, la cual presenta datos de estadísticas mensuales de los parámetros meteorológicos locales que determinan la producción eléctrica de los paneles solares fotovoltaica, entre los cuales se destacan: la radiación solar, la temperatura del aire, así como otros parámetros como: albedo de superficie, el cual como se mencionó en el capítulo previo es la fracción de irradiancia solar que es reflejada por la superficie; también la velocidad del viento, la humedad relativa, la precipitación promedio. Estos aspectos afectan directamente el rendimiento del sistema, su disponibilidad y también pueden provocar envejecimiento acelerado de la instalación.

Tabla 11. Radiación Solar y temperatura del aire.

RADIACION SOLAR Y TEMPERATURA DEL AIRE					
MES	Irradiación Global Horizontal[kWh/m²]	Irradiación Directa Normal[kWh/m²]	Irradiación Difusa Horizontal [kWh/m²]	Ratio entre irradiación difusa y directa	TEMP °C
Enero	95	43	71	0.74	18.00
Febrero	87	34	67	0.77	18.30
Marzo	115	47	85	0.74	18.50
Abril	107	58	71	0.66	18.60
Mayo	114	71	71	0.63	18.60
Junio	111	79	64	0.58	18.10
Julio	127	99	67	0.52	17.80
Agosto	140	108	71	0.51	17.80
Septiembre	132	85	75	0.57	17.90
Octubre	132	84	76	0.58	18.00
Noviembre	124	81	70	0.56	17.90
Diciembre	102	57	68	0.66	18.00
Anual	1386	846	856	0.63	18.13

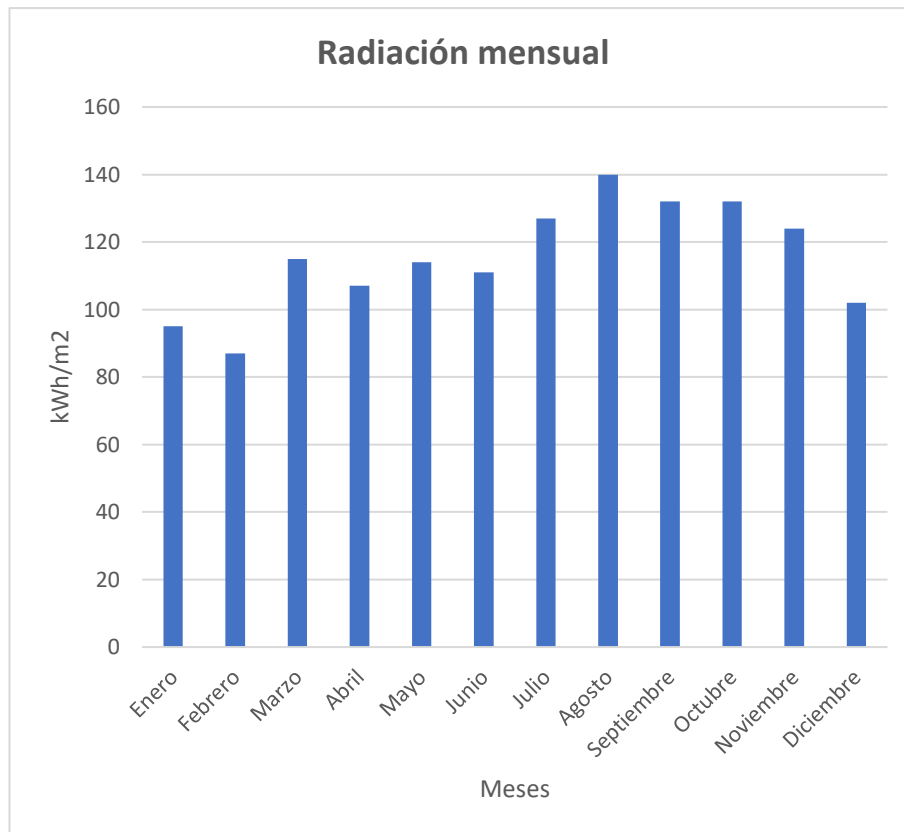


Figura 7. Radiación mensual. Elaborada por el autor.

2.4 Especificaciones técnicas del sistema FV

Para este paso se procede a ejecutar acciones para obtener el estimado teórico de la producción solar eléctrica de la instalación fotovoltaica, tomando en cuenta los perfiles horarios, los cuales se calculan como el valor promedio de todos los datos horarios para cada mes. Los perfiles permiten observar los patrones de cambio en la producción eléctrica en función del tiempo. También permiten obtener las variaciones de la producción energética en función de la configuración seleccionada para el arreglo fotovoltaico durante el curso de un día en diferentes épocas.

Tomando en cuenta que según los datos que se presentan en lo sucesivo en la tabla 11, en promedio se puede aprovechar 2987 [Wh/m²]. Por ello, es necesaria la implementación de un arreglo de paneles de alta potencia nominal, de tal forma de aprovechar las 4 horas promedio en las que paneles van a poder generar su potencia pico. Otro dato relevante para el dimensionamiento que se está realizando es que según la estimación de demanda presentada en la sección anterior la energía media diaria

consumida por los usuarios de las áreas rurales aisladas es aproximadamente 1800 [Wh/día].

Tabla 12. Producción eléctrica fotovoltaica específica – promedios horarios [Wh/m²]

PRODUCCION ELECTRICA FOTOVOLTAICA ESPECIFICA - PROMEDIOS HORARIOS												
Horas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0 a 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 a 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2 a 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 a 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 a 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5 a 6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6 a 7	9	6	9	20	24	20	8	20	31	48	38	16
7 a 8	120	110	135	171	186	176	175	188	212	225	210	160
8 a 9	276	265	294	333	350	346	364	384	401	400	378	311
9 a 10	341	341	388	425	436	449	483	518	513	499	470	381
10 a 11	341	346	400	435	444	463	514	560	530	506	484	382
11 a 12	301	306	375	376	383	402	460	515	473	400	430	326
12 a 13	246	254	360	286	300	311	361	400	398	345	343	259
13 a 14	199	217	332	223	233	229	269	299	302	279	265	202
14 a 15	180	189	219	187	207	200	224	237	206	211	224	183
15 a 16	170	173	175	169	188	187	220	233	201	185	181	160
16 a 17	134	140	141	133	141	138	165	176	144	127	120	115
17 a 18	65	76	74	61	58	60	77	78	54	35	34	45
18 a 19	2	5	3	-	-	-	1	-	-	-	-	-
19 a 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20 a 21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21 a 22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22 a 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23 a 24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Suma	2384	2428	2905	2819	2950	2981	3321	3608	3465	3260	3177	2540

Elaborado por el autor

De los datos obtenidos del software Solargis además se puede determinar que el rendimiento del sistema fotovoltaico en función de los factores ambientales del emplazamiento es de alrededor del 60%. Otro dato relevante es la relación entre los consumos en (Wh/día) y que corresponde a cada mes en el año de estudio con la

radiación que es aprovechable. Otro cálculo que se realiza es la cantidad de potencia que se debe generar por cada una de las cuatro horas en las que es posible generar la potencia pico, tal potencia de generación se calcula mediante (2)

$$Pp = \frac{2880 \text{ wh}}{4 \text{ h}} = 720 \text{ Wp} \quad (2)$$

Para continuar con el proceso de dimensionamiento es precisa la elección del panel solar con el que va a trabajar la instalación, de tal de conocer todas las características y especificaciones que se muestran en la tabla 13 y, en función de tales datos realizar una serie de cálculos. El primer cálculo que se realiza es que a partir de la potencia del panel en Watios-pico, y del valor superior de la relación consumo-radiación disponible se puede hacer cálculos para el dimensionamiento de los dispositivos PV que puedan cubrir la demanda calculada y su curva durante todo el día y en cualquier estación.

Tabla 13. Datos Módulos Fotovoltaicos

VARIABLES	VALORES	UNIDAD
Potencia Nominal - <i>Pmax</i>	365.00	[Wp]
Tensión Punto Pmax - <i>Vmp</i>	39.46	[V]
Tensión Circuito Abierto - <i>Voc</i>	47.3	[V]
Corriente en Pmax - <i>Imp</i>	9.25	[A]
Corriente de Cortocircuito - <i>Isc</i>	9.62	[A]
Coefficiente de Temperatura - <i>Isc</i>	0.06	[%/C°]
Coefficiente de Temperatura - <i>Voc</i>	-0.31	[%/C°]
Temperatura de Operación Nominal de la Célula - <i>TONC</i>	45	[+/- 2°C]

Elaborado por el autor

Del proceso antes mencionado se determina que el sistema fotovoltaico debe contar con tres paneles de 365Wp para cubrir la demanda de los usuarios, lo cual también se puede comprobar con (3).

$$Np = 1,1 * \frac{C}{R_{max}} / Pp \quad (3)$$

Donde:

Np = Numero de paneles

$$\frac{C}{R_{max}} = \text{Mayor valor de la relación consumo/radiación disponible}$$

$P_p = \text{Potencia del panel seleccionado [Wp]}$

Se debe precisar que el valor constante de 1.1 sirve para compensar las posibles pérdidas que pueden existir debido a errores en la orientación, factores climáticos y otros que afecten al rendimiento de la estructura de distribución de energía propuesta [9].

Para continuar con las tareas de diseño de la instalación FV y de sus partes, se procede a determinar lo necesario para tener cantidad adecuada de acumulación de electricidad, tomando en cuenta la tabla 14 que muestra las características de la batería escogida.

Tabla 14. Datos batería

BATERIA		
VARIABLES	VALORES	UNIDAD
Modelo	SBB 100 Ah	-
Tensión nominal	12	[V]
Capacidad	100	[Ah]
Profundidad de descarga	64	[%]
Numero de celdas	6	[Celdas]
Máxima corriente de carga	25.00	[A]
Duración	10	[años]
Temperatura de funcionamiento	25	[°C]

Elaborado por el autor

Con el fin de establecer el arreglo de baterías y sus características resulta fundamental definir previamente los siguientes factores:

Días de autonomía: Este es un parámetro correspondiente al tiempo que se pueden alimentar las cargas de la red, cuando el recurso solar no está disponible. Este parámetro es dependiente de los factores climáticos del emplazamiento. Para el caso específico de instalaciones de tipo aislado, generalmente factor puede ser de 4 a 6 días. Los autores de [50] recomiendan que la autonomía mínima de los sistemas fotovoltaicos sea de 3 días cuando funcionan en forma autónoma. Por otro lado, cuando el arreglo de paneles trabaja en sistemas híbridos, que cuentan con grupos generador – motor, por ejemplo, se puede reducir el número de días de autonomía.

Voltaje de instalación nominal: es un factor que se escoge tomando en cuenta las especificaciones de los elementos instalados, lo más utilizado son voltajes de 12V o 24V, en el caso de instalaciones en áreas rurales [9].

Máxima profundidad de descarga: Es el límite de descarga correspondiente a las baterías colocadas sin que estos elementos pierdan sus condiciones normales de operación. En los sistemas aplicados en áreas rurales este valor es del 70%.

El cálculo de la capacidad de acumulación de las baterías necesaria para cumplir con los días de autonomía se la realiza con la ecuación (4):

$$Q = \frac{110 * Ct * D}{V * Mpd} \quad (4)$$

Donde:

Q = Capacidad de acumulacion [Ah]

Mpd = Maxima profundida de descarga [dias]

V = Tension en corriente continua [V]

Ct = Consumo total de la instalacion [$\frac{Wh}{dia}$].

Para realizar la elección justificada del regulador de carga se debe tomar en cuenta primordialmente un valor nominal de voltaje coincidente al de la red y que sea capaz de soportar las corrientes de sistema. Otra recomendación establece un 25% de sobredimensionamiento en la corriente nominal del regulador respecto a la intensidad que proviene de los paneles FV o de la absorción total de la carga. Según lo previamente descrito, el regulador escogido y sus especificaciones se muestran en la tabla 15.

Tabla 15. Regulador de carga

REGULADOR DE CARGA		
VARIABLES	VALORES	UNIDAD
Voltaje de batería nominal	12 o 24	[V]
Corriente máxima de salida	10/20/30	[A]
Potencia máxima	2500	[W]
Consumo propio	<15	[mA]
Peso	0.40	[kg]
Dimensiones	15,3 x 10,5 x 5,5	[cm]
Tipo de protección	IP22	-
Temperatura de funcionamiento	0 a 50	[°C]

Elaborado por el autor

Para el dimensionamiento de la corriente del regulador se emplea la siguiente fórmula:

$$I_{reg} = I_{tp} * 1.25 + I_{tp} \quad (5)$$

Donde:

I_{reg} = Corriente del regulador [A].

I_{tp} = Corriente total proveniente de los paneles [A][50].

Para establecer el valor nominal del inversor se debe considerar la magnitud de la potencia que se va a suministrar a las cargas. Para ello, es necesario que el voltaje de entrada nominal de inversor en CD sea igual al voltaje de trabajo de los módulos fotovoltaicos y al del sistema de acumulación. En lo que respecta a las magnitudes de la salida de corriente alterna, tales tienen que corresponder a las magnitudes nominales de las cargas que se van a conectar. Otro aspecto a considerar para la elección del inversor es que se debe prevenir que en los periodos de arranques de cargas la potencia de salida del inversor sea suficiente para suplir tales eventos, esto es especialmente relevante cuando existen cargas motrices. Los datos del inversor escogido luego de tomar en cuenta los aspectos detallados se encuentran en la tabla 16.

Tabla 16. Datos Inversor

INVERSOR ZONHAN			
	VARIABLES	VALORES	UNIDAD
LADO DE CONTINUA	Máxima Tensión de entrada - <i>Vcc max</i>	24	[V]
	Mínima Tensión de entrada - <i>Vcc min</i>	24	[V]
	Máxima Corriente de entrada - <i>Icc max</i>	0.8	[A]
	Rango de tensión MPPV	24-48	[V]
LADO DE ALTERNA	Potencia Nominal	1500	[W]
	Tensión Nominal de salida	100-120	[V]
	Corriente Máxima de Salida - <i>Ica max</i> = Corriente Nominal- <i>Ica Nom</i>	0.4	[A]
	Rendimiento Máximo	95	[%]

Elaborado por el autor

La potencia del inversor es calculada con la siguiente fórmula:

$$P_i = P_c * 1.2 \quad (6)$$

Donde:

$P_i = \text{Potencia del inversor [Wp]}$

$P_c = \text{Potencia de la carga [Wp]}$

El factor constante de 1.2 es tomado en cuenta como una compensación adecuada para que el sistema soporte la potencia que se presenta en el arranque de ciertas cargas. También debe tenerse en cuenta, que no es adecuado un sobredimensionamiento del inversor, debido a que si un inversor tiene una elevada potencia de potencia en relación a la carga que va a suplir, la eficiencia con la que trabaja este dispositivo será baja.

Para el dimensionamiento del cableado, se debe tener en cuenta la sección que opera con corriente continúa incluyendo el componente de generación, debido a que en este lado de la instalación se trabaja con voltajes de valor reducido, pero con intensidades de corrientes alta [9]. Se debe tratar de minimizar la longitud de los cables para que las caídas de voltaje resulten de magnitud ínfima si se comparan al voltaje nominal. En función de lo indicado la tabla 17 muestra las características del conductor escogido

Tabla 17. Datos Cable

CABLE MULTICONDUCTOR SUPEFLEXIBLE DE 2X4 AWG POLARIZADO 105 °C, 600V		
VARIABLES	VALORES	UNIDAD
Cantidad	1625.00	[m]
Voltaje de Operación	600	[V]
Tipo de Aislamiento	THHN, resistencia a la intemperie	-
Tipo de cable	Multiconductor	-
Relleno	Fibras de polipropileno	-
Temperatura máxima de operación	105	[C°]
Temperatura, condiciones de cortocircuito	250	[C°]
Calibre de conductor	(2x4)	[AWG]
Numero de hilos por cada conductor	>200	-
Material Conductor	Cu recocido o suave	-

Elaborado por el autor

Así mismo, los valores porcentuales que están en la tabla 18, indican las caídas de tensión admisibles para instalaciones con usuarios rurales aislados, aspecto relevante para un correcto diseño del cableado de la instalación.

Tabla 18. Caídas de tensión máximas admisibles en los sistemas fotovoltaicos

TRAMO	CAÍDA DE VOLTAJE MÁXIMA
Batería y regulador	1
Batería e inversor	1
Inversor y regulador	1
Regulador/Inversor a cargas	3
Inversor y generador	3

Elaborado por el autor

Se puede usar (7) para calcular tanto en DC como en AC la caída de voltaje

$$\Delta_v = \frac{2L}{56 S} * I \quad (7)$$

Donde:

$S =$ Sección mínima del cable [mm²]

$L =$ Longitud del cable [m]

$I =$ Intensidad máxima [A]

$V =$ Tensión de trabajo [V]

$\Delta_v =$ Caída de tensión [%]

Para calcular la intensidad máxima transportada por los cables se utilizará la ecuación (8).

$$I = \frac{P}{U * \cos\phi} \quad (8)$$

Donde:

$I =$ Intensidad máxima [A]

$P =$ Potencia nominal del inversor [W]

$U =$ Tensión de trabajo en corriente alterna [V]

$\cos\phi =$ Factor de Potencia [50].

La ejecución del cálculo de la mínima sección de los elementos de conducción se hace mediante (9):

$$S = \frac{2L}{56 \Delta_v} * I \quad (9)$$

Donde:

Δ_v = Caída de tensión según tensión de trabajo [%]

I = Intensidad máxima [A]

L = Longitud del cable solo ida [m]

S = Sección mínima del cable [mm²]. [50]

2.5 Especificaciones técnicas del grupo motor - generador

Para el caso específico del presente trabajo, este componente desempeña la función de proveer energía en situaciones de emergencia o como reserva para las instalaciones involucrada, cuando los paneles no han podido generar energía eléctrica o cuando la energía almacenada en las cargas es insuficiente para suplir las cargas de los consumidores de la red aislada, sabiendo que estos dispositivos se destinan a múltiples aplicaciones.

La elección del equipo se realiza tomando en cuenta criterios económicos y técnicos, teniendo en cuenta la demanda que va a cubrir el grupo motor – generador, por ello en la tabla 19 se muestra generador elegida y sus respectivas especificaciones.

Tabla 19. Datos Generador

GENERADOR ELÉCTRICO CON MOTOR A GASOLINA		
HYUNDAI 2,8kW		
VARIABLES	VALORES	UNIDAD
Potencia Máxima - <i>Pmax</i>	3.10	[kW]
Potencia Máxima - <i>Pmax</i>	2.80	[kVA]
Frecuencia	60	[hz]
Voltaje	120	[V]
Potencia Nominal	2.60	[kW]
Potencia Nominal	2.30	[kVA]
Capacidad	15	[L]
Factor de Potencia	0.8	[FP]

Elaborado por el autor.

El sistema eléctrico funciona en forma primaria a base de la energía proporcionada por el sistema fotovoltaico, mientras que el grupo motor – generador estará en un estado de espera, listo para entrar en funcionamiento cuando sea necesario, en especial en que no exista la capacidad de abastecer a las cargas por parte del sistema primario de generación y almacenamiento [51].

CAPÍTULO III

ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO EN HOMER Y DIGSILENT

En la presente capitulación se analiza la factibilidad de instalación de una estructura de generación FV a través de una evaluación económica y técnica, para su uso con usuarios residenciales aislados. Para lo cual, se detallan las restricciones, variables de entrada y elementos utilizados para el dimensionamiento, simulación, optimización del sistema eléctrico, considerando la incorporación de almacenamiento y del sistema motor – generador como respaldo.

El caso de estudio se encuentra ubicado en las estribaciones occidentales del Volcán Pichincha, cercano a la frontera entre las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y Pichincha, en el sector correspondiente a la vía antigua a Santo Domingo, con un tiempo de viaje estimado de 2 horas en vehículo hacia la ciudad de Quito según lo observado por los autores. Entre las características más relevantes para el presente estudio podemos encontrar que la temperatura promedio es de 18.1 °C, con una irradiancia promedio horizontal total de 1386 kWh/m², lo que resulta en un rendimiento energético del 78.2 %. El lugar de emplazamiento se encuentra a 2002 metros por encima del mar, con un terreno donde predominan los árboles y donde existen 16 habitantes por kilómetro en promedio. El rendimiento depende de factores como la eficiencia de los inversores, las pérdidas eléctricas que se producen

En el lugar se pueden encontrar poblaciones que cuentan con electrodomésticos menores básicos cuya carga de consumo aproximada es de 1800 (Wh/DIA); sabiendo que las estructuras habitacionales están alejadas de las infraestructuras de distribución y transmisión. Cabe mencionar que, debido a los aspectos técnico-económicos, resulta inviable la conexión de tales cargas a los sistemas interconectados.

Los análisis planteados se realizaron, mediante las herramientas informáticas DigSilent y Homer. Los resultados que se obtengan van a permitir sacar conclusiones e información, que pueden utilizarse para casos similares, estableciendo las ventajas y desventajas que presenta la implementación de este tipo de redes.

3.1 Configuración del sistema en DigSilent

Para llevar a cabo el análisis técnico orientado a verificar la factibilidad de utilizar un sistema fotovoltaico con almacenamiento y respaldo por un grupo motor – generador, se realiza una simulación en DigSilent Power Factory de un sistema rural aislado de la red.

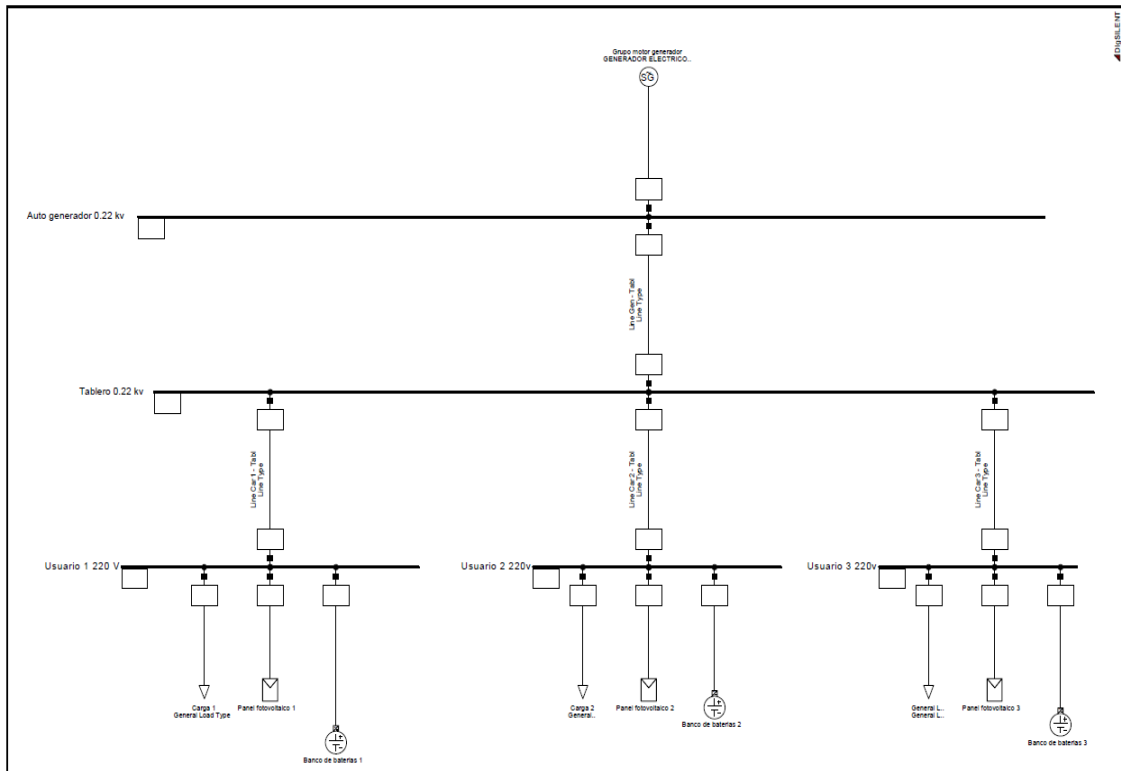


Figura 8. Configuración usuario rural aislado. Fuente Digsilent

Como se puede observar en la Figura 7, la configuración elegida para la simulación del sistema, considera tres cargas con diferentes consumos AC que serán abastecidas enlazando el grupo motor generador, el sistema FV y el sistema de almacenamiento. En este caso se puede notar el autogenerador con su respectivo barraje con un voltaje de generación de 220 voltios, luego existe una pequeña línea de distribución de menos de 1000 metros de tipo subterránea que en la barra de llegada se divide en tres líneas, una por cada usuario. Tales líneas tienen una longitud de 600, 500 y 1000 metros, formando la red secundaria con un mismo valor de voltaje nominal de 220 voltios. Se debe mencionar que en la red planteada no existen transformadores; y que cada usuario cuenta con sus bancos de baterías, un arreglo de paneles solares fotovoltaicos y sus respectivas cargas. Los aspectos más relevantes de los componentes de la red se muestran en la siguiente tabla.

Los elementos de DIGSILENT Power Factory empleados para el diseño del sistema son los siguientes:

- Synchronous Machine (Grupo motor generador)
- Single Busbar System (Barra del Sistema)
- Line (Linea)
- General Load (Carga general)
- PV System (Sistema fotovoltaico)
- Battery-Storage (Banco de baterías)

El sistema de generación fotovoltaica, se compone por un arreglo en paralelo de cuatro paneles fotovoltaicos por usuario. Cada arreglo provee una potencia de 1400 vatios (W), maneja una tensión de 220 voltios en la red secundaria y la misma tensión en la red primaria. La frecuencia de operación del sistema es de 60Hz, lo cual es suficiente para abastecer la carga demandada por usuario; en el momento que existe una mayor demanda, entra en funcionamiento el grupo motor generador aportando una potencia de 1000 vatios (W) junto al banco de baterías, los mismos que tienen una capacidad de 1095 vatios (W). Estos dos últimos sistemas aportan energía a la carga, cuando las condiciones climáticas u horarios no son las ideales para que el funcionamiento ideal de las celdas solares.

3.2 Análisis Técnico

Las especificaciones técnicas que se consideran en la implantación de un sistema fotovoltaico se relacionan con el cumplimiento del objetivo de abastecer energía a usuarios residenciales aislados, con lo cual como se había analizado previamente, se produce reducción de sus pérdidas en las redes de transmisión, se mejora el control de tensión, de corriente y la potencia del sistema. Al establecer como base las características se analiza enfáticamente los resultados relativos al nivel de energía suministrada por los componentes fotovoltaicos, tales datos posibilitan una evaluación de la conveniencia técnica de la instalación de sistemas FV para el abastecimiento de la carga de usuarios rurales aislados.

Para la ejecución de tal análisis se ha procedido con la revisión de parámetros eléctricos relevantes como la tensión en cada una de las barras del sistema, tanto en aquella que está enlazada al autogenerador como en aquellas donde se encuentran los usuarios. Se puede notar la implicación de los cambios de potencia reactiva y activa de las cargas de los usuarios existentes en la red a lo largo del tiempo, notando que se

tiene una afectación similar en la forma de la onda RMS en p.u. que se muestra en la figura 9, siendo mayor la tensión en la barra de autogeneración, reduciendo su valor en la barra correspondiente al usuario 1 donde se produce la variación mayor de la potencia a los 5 segundos, mientras que se produce una reducción de la potencia que es necesaria suministrar al segundo usuario a los 10 segundos de la simulación efectuada. Es importante indicar también que las variaciones de la potencia no generan cambios importantes del voltaje, la cual en todos los casos se mantiene en niveles aceptables y dentro de unos parámetros adecuados para la operación, considerando potencias de carga máxima del usuario 1 de 1.2 kW y 1 kVA, usuario 2 de 1 kW y 0.9 kVA, mientras que el usuario 3 tiene potencia de carga de 0.8 kW y 0.7 kVA.

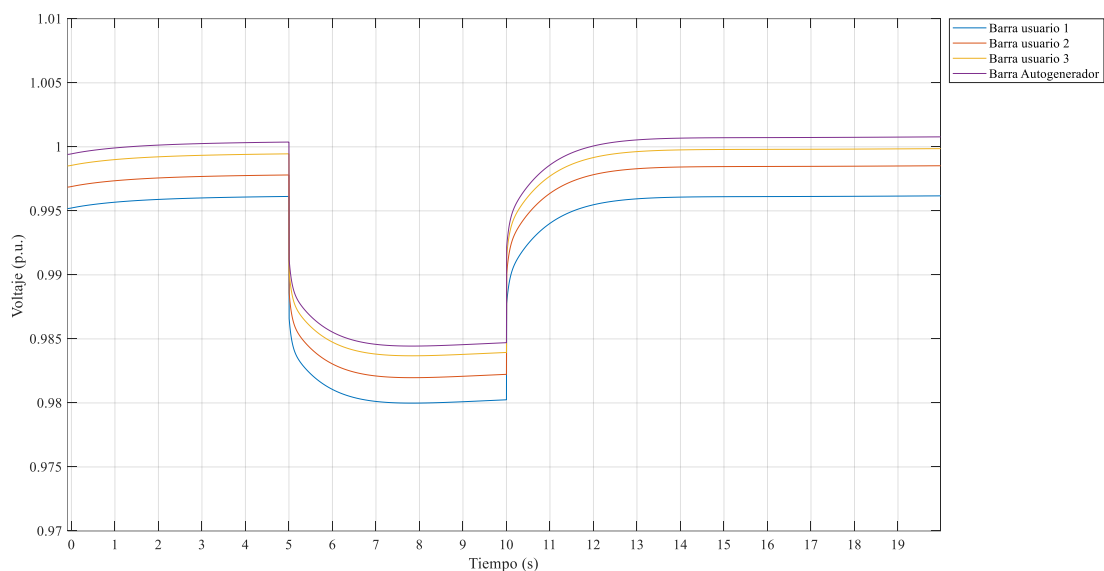


Figura 9: Perfil de voltaje en barras de usuarios y de autogenerador con variaciones de las potencias de demanda

Si se ejecuta una revisión de la magnitud del voltaje existente en las baterías de cada uno de los usuarios, se puede notar un perfil muy similar en forma al que se identifica en cada una de las barras de carga, dado que se encuentran conectadas en el mismo punto, se puede notar que en todo el periodo de análisis no supera el valor de 1 por unidad, sin existir diferencias significativas en la tensión existente entre baterías. También se debe destacar la estabilidad de la señal de voltaje cuando no se producen los cambios en la potencia tanto activa como reactiva.

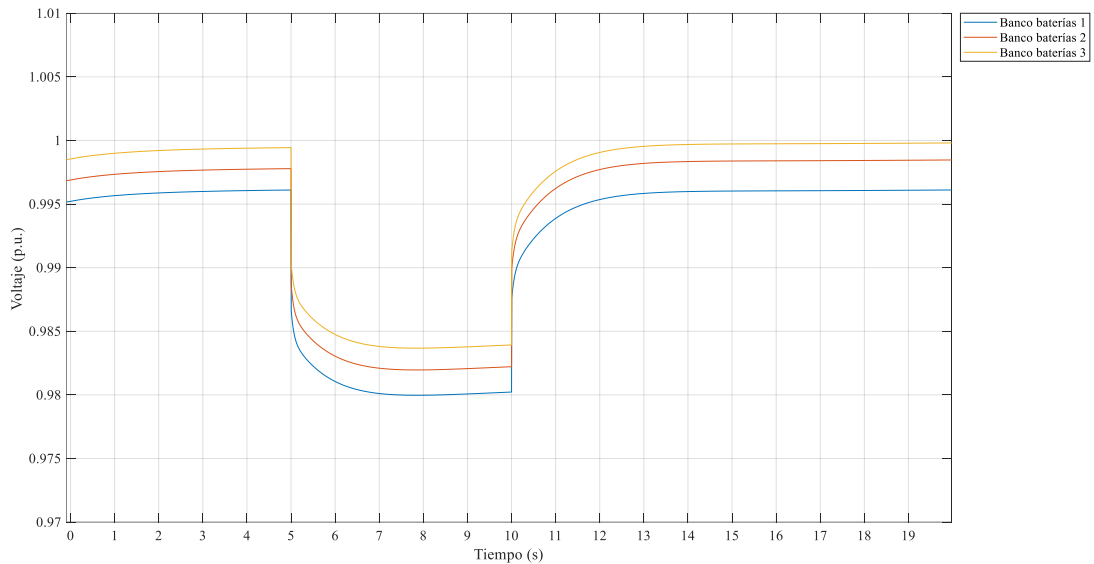


Figura 10: Perfil de voltaje en barras de baterías con variaciones de las potencias de demanda

La variación del voltaje en los paneles fotovoltaicos colocados en la red se puede observar en la figura 10, donde si se compara la variación de las figuras 8 y 9 se tiene apenas diferencias en la forma y la magnitud que se obtiene, así mismo la mejor magnitud obtenida es la del tercer panel mientras que la magnitud del panel 1 es la menor, existiendo diferencias en la magnitud que no superan dos puntos en por unidad manteniendo siempre niveles aceptables tal y como se apreció previamente.

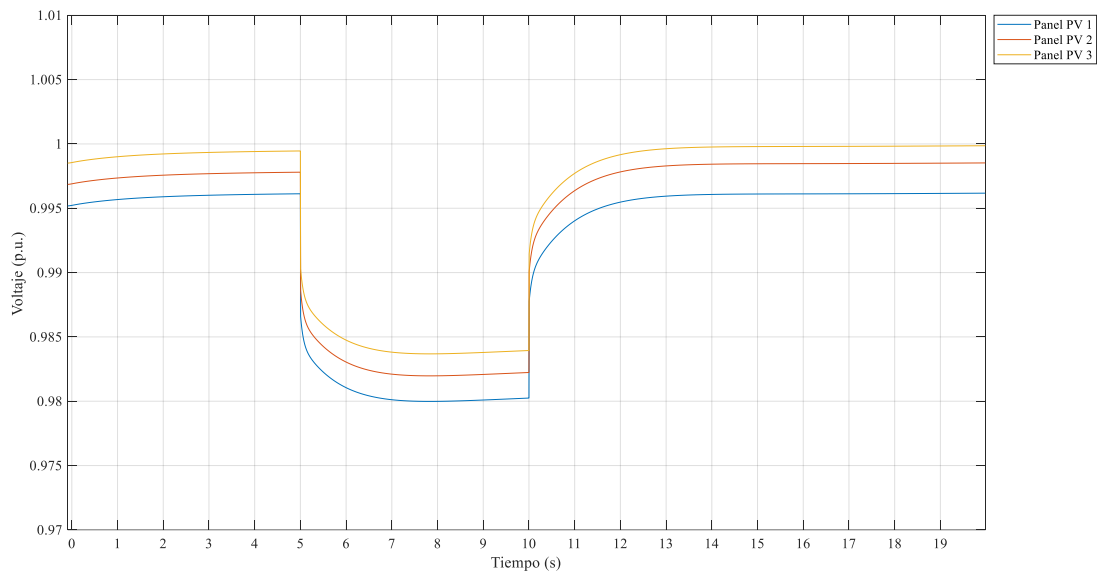


Figura 11: Variación del voltaje en paneles fotovoltaicos en función de la variación de potencias de carga

La siguiente magnitud que se ha analizado para entender la importancia de la colocación de paneles fotovoltaicos en las zonas aledañas a las cargas o directamente en los sitios de consumo, es la variación del flujo de potencia en las líneas que conectan las cargas a la red y hacia el módulo de autogeneración principal en forma centralizada.

Se puede observar a la potencia activa en vatios (W), notando que la magnitud mayor es la del sistema de autogeneración, produciéndose aumento de la potencia generada a los 5 segundos y una reducción que se estabiliza a los 10 segundos, la tendencia indicada no se repite en los flujos de cada usuario, por ejemplo, en el caso del usuario 1 la potencia activa crece en ambos eventos ejecutados, mientras que en el usuario 2 en ambos eventos la tendencia es una reducción del flujo, teniendo una reducción más pronunciada luego de la ocurrencia del segundo evento de variación de la demanda. Un caso muy particular es lo que está ocurriendo en la barra del usuario 3 donde durante todo el análisis se da un flujo negativo de potencia activa lo que implica que se está satisfaciendo toda la carga de la barra y además siempre está devolviendo potencia a la red. En esta barra también se manifiestan las variaciones de menor valor del flujo que circula.

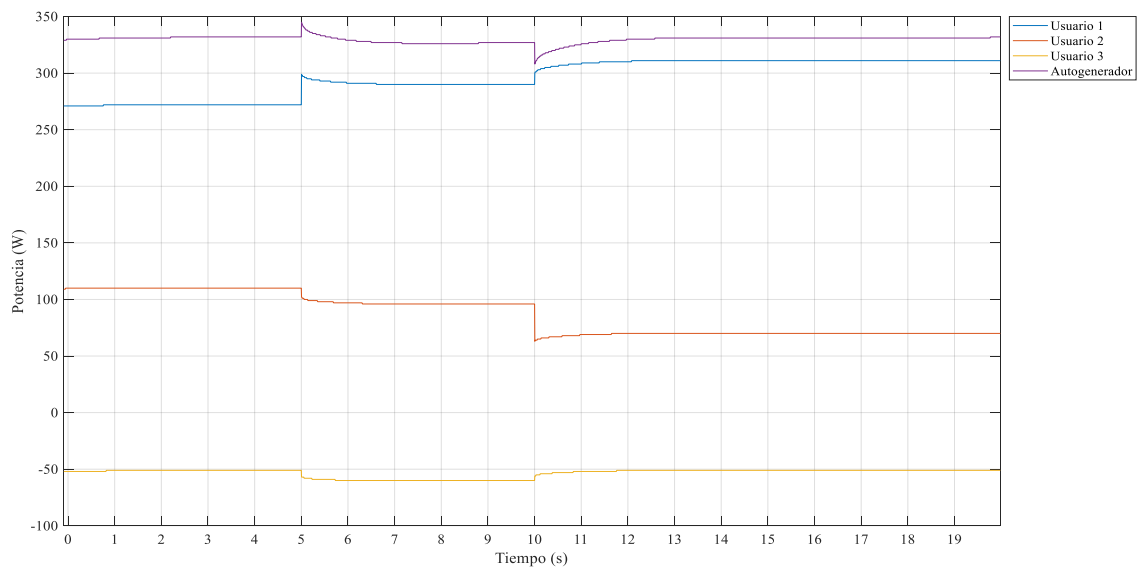


Figura 12: Variación del flujo de potencia activa en barras del sistema

En lo que respecta a la variación de la potencia activa en los paneles fotovoltaico, los resultados muestran mucha estabilidad en la forma en la que está es entregada, en este caso se puede notar en la figura 12 que la potencia del panel 1 se reduce en forma escalonada desde el segundo 5 teniendo una magnitud menor en los segundos 7 y 9, mientras que vuelve a retomar su valor nominal en los segundos siguientes al segundo evento de variación de la potencia de las cargas, en cambio los paneles 2 y 3 tienen variaciones en escalón menos pronunciadas entregando en forma más sostenida potencia activa sin mayores problemas.

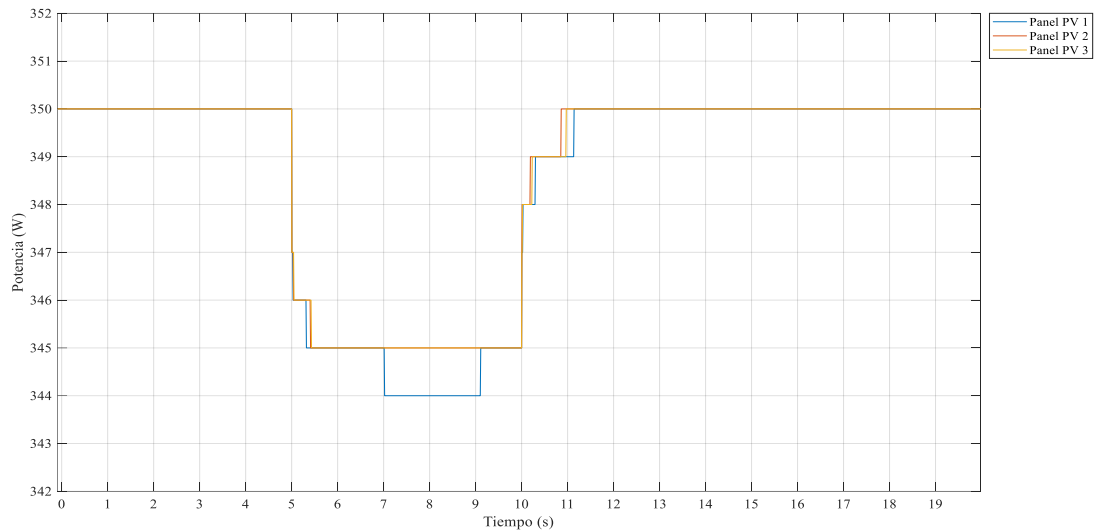


Figura 13: Variación de la potencia activa entregada por paneles fotovoltaicos

La potencia activa en el generador tradicional colocado en la micro-red y sus cambios se muestra en la figura 13, si se contrasta con lo que ocurre con los generadores fotovoltaicos, se puede notar que existe un tiempo de inestabilidad de la señal, no tan pronunciado frente a la ocurrencia del primer evento y una gran variación ante la existencia del segundo evento, llegando a haber una caída de más de 20 vatios previo a la estabilización que ocurre en forma escalonada a los 13 segundos aproximadamente. Se notan variaciones continuas del valor de potencia que está entregando el sistema a lo largo de todo el periodo de análisis.

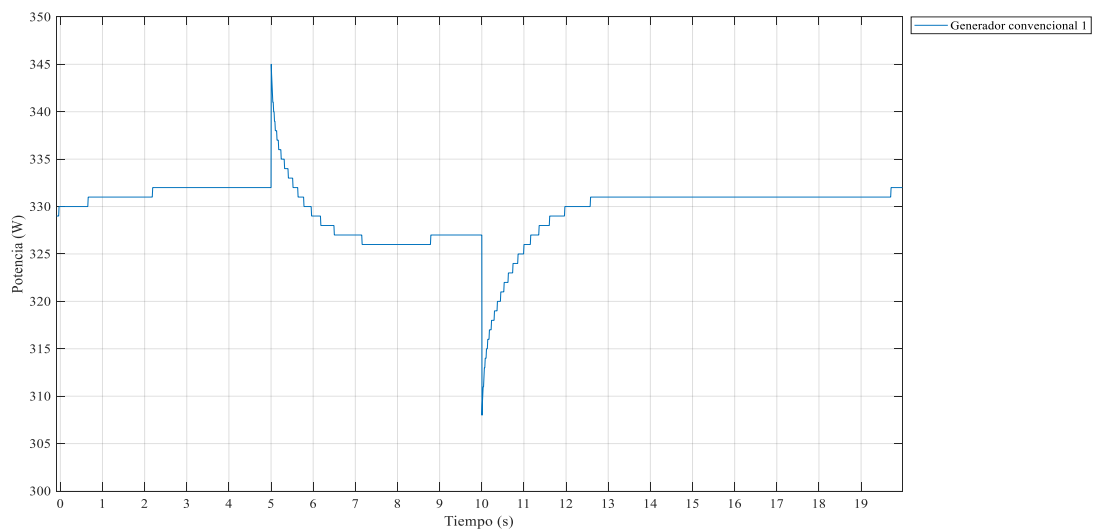


Figura 14: Variación de la potencia activa entregada por generador tradicional

El flujo reactivo de las líneas de los usuarios y el generador tradicional se muestra en la figura 14, se puede notar que el flujo que parte del autogenerador aumenta su valor en la primera variación de potencia, mientras que reduce su valor en el segundo evento, en este caso también se observa que luego los valores tienden a estabilizarse. En el

caso de los flujos en cada usuario, estos se modifican en el evento tendiendo a aumentar en el caso del usuario 1 y a reducirse para el usuario 2, un caso particular es el del usuario cuyo valor tiende a cero en medio de los eventos y se estabiliza en un valor bajo, lo que indica que prácticamente no hay flujo reactivo para usuario.

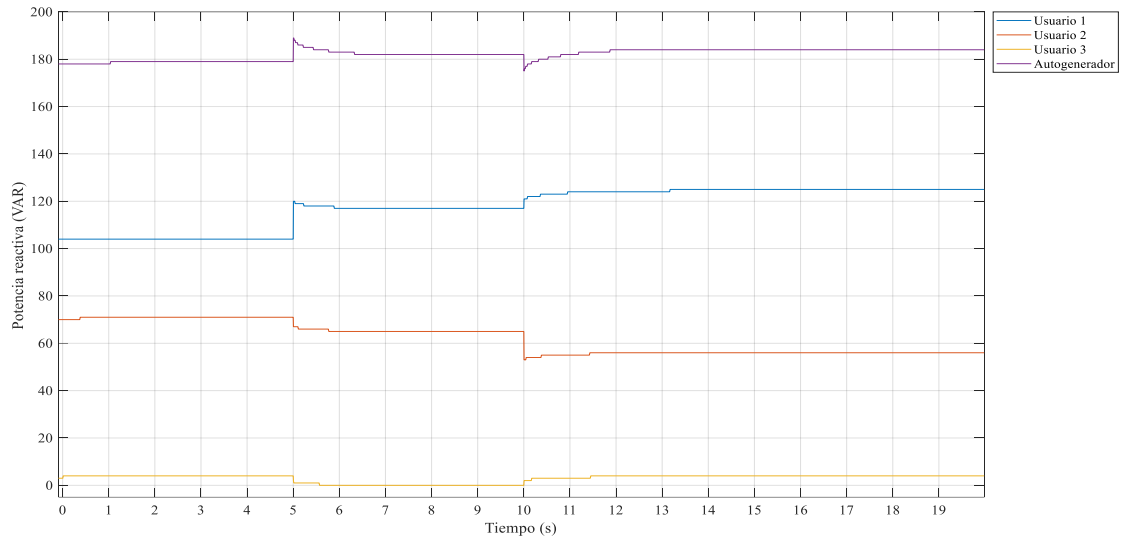


Figura 15: Variación del flujo de potencia reactiva en barra del sistema

Al ejecutar un análisis de lo que ocurre con la potencia reactiva en los paneles fotovoltaicos de la red, se puede notar un comportamiento similar para todos los casos con pocas diferencias en los tiempos en los que ocurren las variaciones de potencia. Se nota que la potencia reactiva apenas se reduce en el primer evento de variación de la carga, mientras que luego del segundo evento de variación, la potencia reactiva retoma su valor en los 3 paneles, en la figura 15 se puede inspeccionar lo descrito.

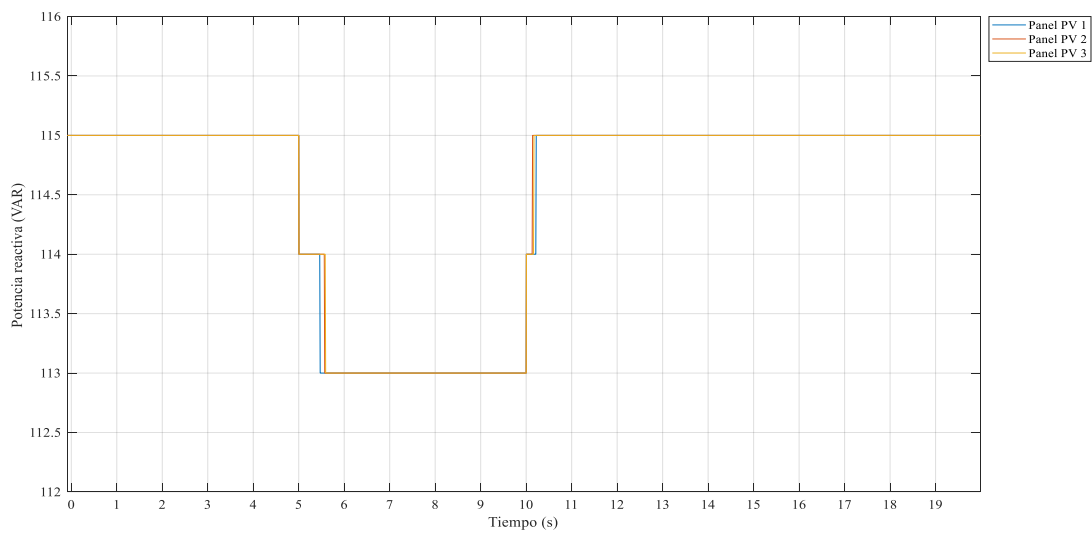


Figura 16: Variación de la potencia reactiva entregada por paneles fotovoltaicos

La figura 16 muestra lo que ocurre con la potencia reactiva en el generador convencional, se puede notar la inestabilidad en los momentos en los que ocurren variaciones de la carga, en el primer caso se genera un pico positivo previo a tomar un valor fijo, mientras que en el segundo evento ocurre una depresión luego de la cual la potencia reactiva aumenta hasta el final del período de análisis.

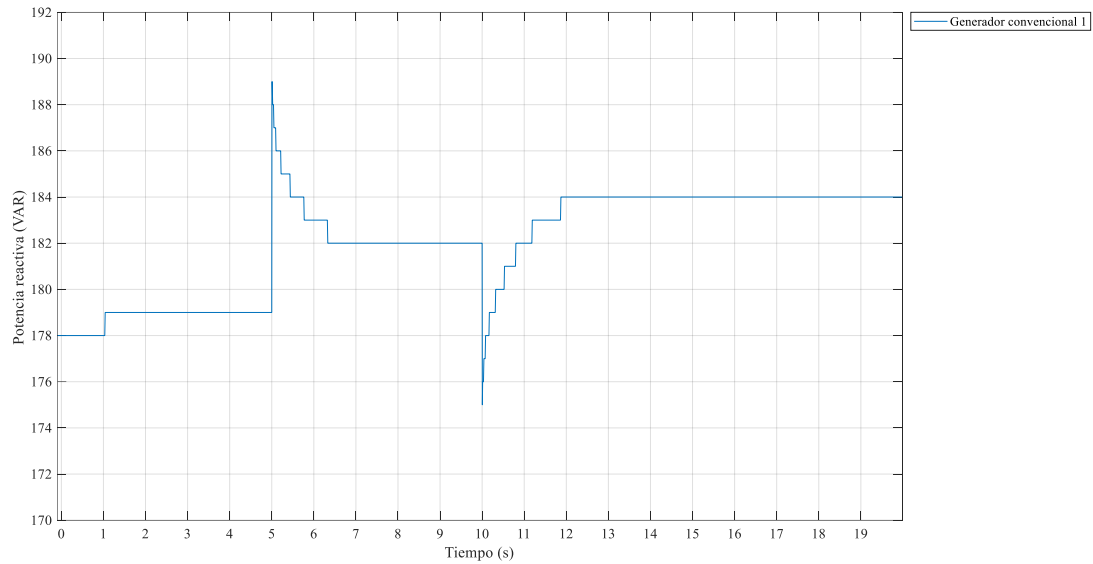


Figura 17: Variación de la potencia reactiva entregada por generador tradicional

3.3 Pérdidas en la red de distribución

La principal ventaja que presentan los sistemas fotovoltaicos es que la generación se encuentra junto o en algún punto cercano a la carga, disminuyendo la magnitud del flujo de sus líneas de transmisión y por consiguiente las pérdidas. El análisis de las pérdidas en la red de transmisión se lo realiza verificando los resultados que arroja el software computacional DigSilent.

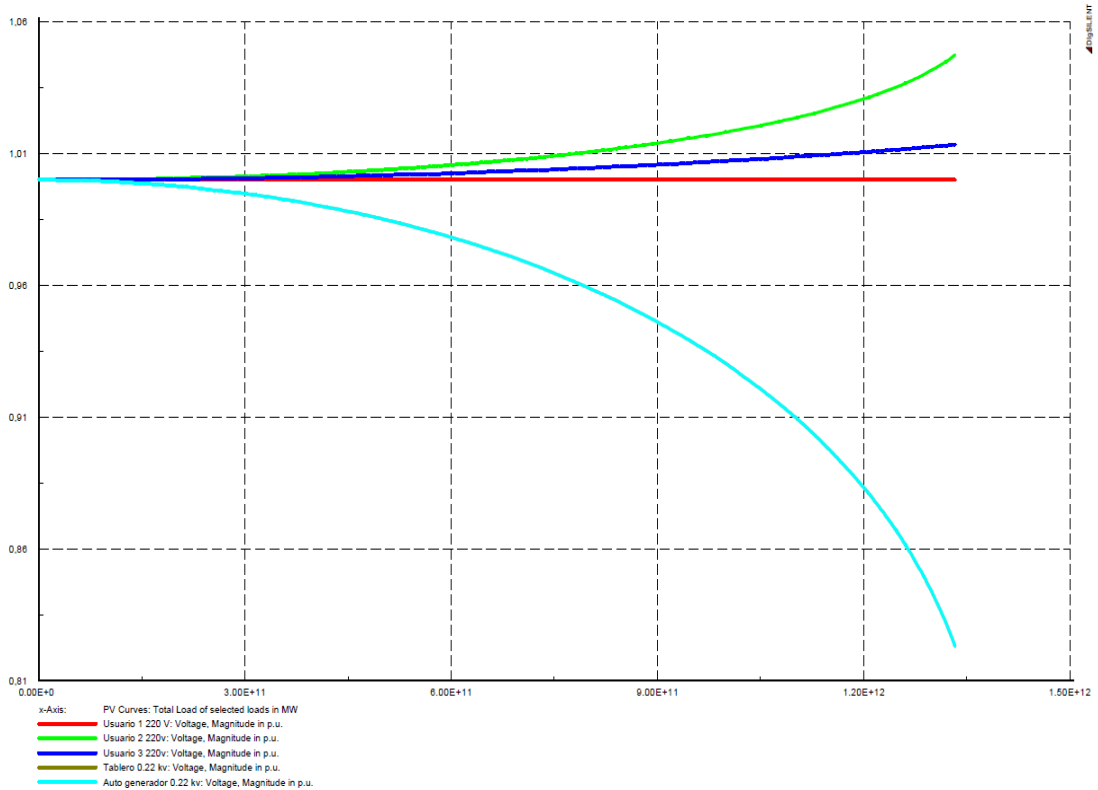


Figura 18. Curvas de carga del sistema

En la figura 17 se observa diferencias en la potencia enfocada a diferentes tipos de demandas. El usuario 1 permanece con un nivel de carga estable, mientras que los usuarios 2 y 3 al transcurso del tiempo presentan un incremento en la carga; otro factor a tomar en cuenta es que el grupo motor-generador de respaldo, suministra una menor potencia en el transcurso del tiempo, ya que la carga es respaldada principalmente por el grupo motor- generador.

3.4 Configuración del sistema en Homer

La configuración elegida para la simulación del sistema considera una carga en una barra de tipo AC que será abastecida combinando el grupo de generación diésel, el sistema fotovoltaico y un sistema de almacenamiento a través del convertidor bidireccional, esto se aprecia de mejor forma a través de la figura 18.

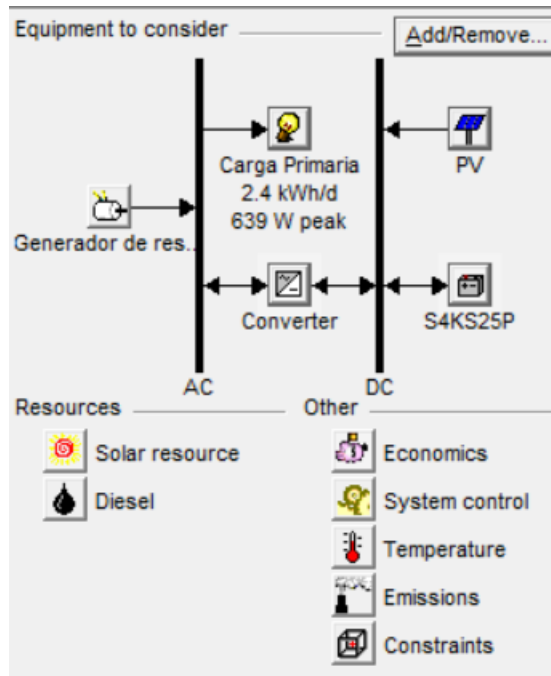


Figura 19. Configuración usuario rural aislado. Fuente: Homer

El sistema a detalle incluye un arreglo de paneles fotovoltaicos, un banco de baterías, una carga eléctrica, un convertidor y un grupo generador – motor. Para realizar un análisis de tipo técnico-económico, se debe considerar que el costo capital de los módulos fotovoltaicos es de \$1760 USD valor incluye los costos asociados a la instalación y su respectiva mano de obra [31], según datos obtenidos por el autor según los precios de venta en Ecuador, que se pueden contrastar con precios de proformas proveídas por proveedores de productos de energía fotovoltaica en los anexos 1, 2 y 3 y que se especifican con detenimiento en la tabla 20.

Tabla 20. Costos de componentes del panel fotovoltaico

DESGLOSE DE COSTOS PANEL FOTOVOLTAICO			
Tipo de equipo	Cantidad	Costo	Unidad
Panel fotovoltaico	4	880.00	[\$]
Estructura	4	480.00	[\$]
Instalación	1	400.00	[\$]
TOTAL GENERAL		1760.00	[\$]

Elaborado por el autor

Para realizar el análisis en el software, se consideró una inversión inicial de \$3795 dólares especificada en el resumen de costos del sistema (figura 28). En tal figura profundiza en el análisis del resultado económico que se establece más adelante con un costo por operación de \$53 dólares/año, lo que representa el costo total presente

neto de \$4142 dólares, este es un precio referencial que toma en cuenta las condiciones al año 2020 del mercado ecuatoriano, basándose principalmente en los precios que se encuentran en el anexo 1, que resulta la alternativa de menor valor de mercado, ya que incluyen los costos asociados a los insumos y todo lo requerido para una operación estable de la red aislada.

3.5 Cargas

Para el análisis se puede introducir diferentes tipos de cargas, se debe mencionar que en el caso del sistema en estudio tenemos una carga prioritaria.

Los tipos de cargas planteadas se diferencian en que la demanda primaria es aquella que debe abastecerse inmediatamente, mientras que las cargas secundarias son aquellas que se abastecerán en caso de que existan excedentes de energía.

Los datos de carga pueden importarse desde un archivo o introducirse manualmente, en este caso se han introducido los datos de carga manualmente en base a los consumos establecidos en la tabla 21. La figura 19 muestra la pantalla del software donde se realiza la configuración de las cargas de la red, se visualiza el consumo promedio mensual, por parte de los usuarios.

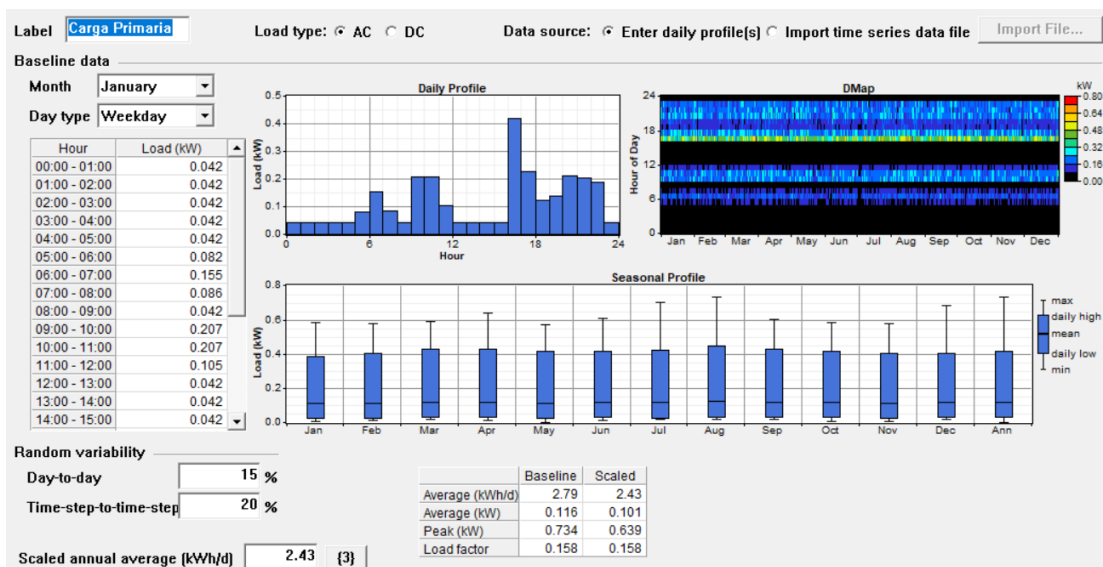


Figura 20. Ventana de carga. Fuente Homer.

Tabla 21. Consumo por hora de las cargas

Hora	Focos	Refrige rador	Celular y otros	Radio	T V	Licua do ra	Inver sor	Decodifi cador	Energía Total (kWh/D IA)
00:00 -									
01:00	0	15	0	2	0	0	25	0	0.042
01:00 -									
02:00	0	15	0	2	0	0	25	0	0.042
02:00 -									
03:00	0	15	0	2	0	0	25	0	0.042
03:00 -									
04:00	0	15	0	2	0	0	25	0	0.042
04:00 -									
05:00	0	15	0	2	0	0	25	0	0.042
05:00 -									
06:00	40	15	0	2	0	0	25	0	0.082
06:00 -									
07:00	40	60	0	30	0	0	25	0	0.155
07:00 -									
08:00	0	15	0	46	0	0	25	0	0.086
08:00 -									
09:00	0	15	0	2	0	0	25	0	0.042
09:00 -									
10:00	0	180	0	2	0	0	25	0	0.207
10:00 -									
11:00	0	180	0	2	0	0	25	0	0.207
11:00 -									
12:00	0	15	0	2	0	62.5	25	0	0.105
12:00 -									
13:00	0	15	0	2	0	0	25	0	0.042
13:00 -									
14:00	0	15	0	2	0	0	25	0	0.042
14:00 -									
15:00	0	15	0	2	0	0	25	0	0.042
15:00 -									
16:00	0	15	0	2	0	0	25	0	0.042
16:00 -									
17:00	0	15	0	2	0	0	25	0	0.042
17:00 -									
18:00	20	180	0	2	0	0	25	0	0.227
18:00 -									
19:00	80	15	0	2	0	0	25	0	0.122
19:00 -									
20:00	80	15	15	2	0	0	25	0	0.137
20:00 -									
21:00	60	15	15	2	95	0	25	0	0.212
21:00 -									
22:00	20	15	15	2	95	0	25	30	0.202
22:00 -									
23:00	20	15	0	2	95	0	25	30	0.187
23:00 -									
00:00	0	15	0	2	0	0	25	0	0.042
Total	360	900	45	120	28	62.5	600	60	2.4325

Elaborado por el autor

En la figura 20 se observa la estructura de la carga diaria. Tal perfil se obtiene en función de la información de la tabla 16, donde se presentan el consumo hora a hora de cada uno de los aparatos considerados como cargas que se tiene previsto serán utilizados por los usuarios. En la figura 20 se notan los cambios de la demanda, aquí se nota la carga constante y con mínimas variaciones, se presentan grandes diferencias en la carga en las horas destinadas a la preparación de los alimentos y en las noches. El horario nocturno es donde ocurren los picos de demanda, sabiendo que esta es una característica típica del consumo de tipo residencial.

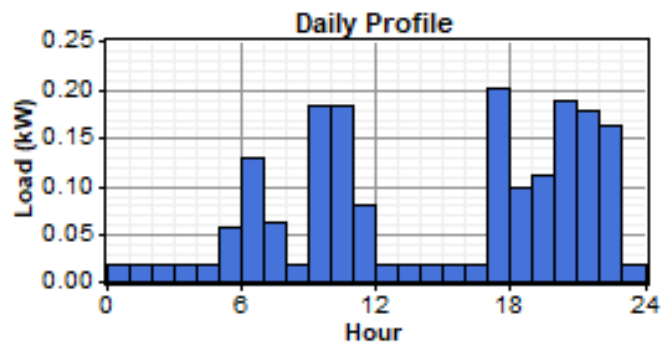


Figura 21. Perfil diario de carga. fuente: Homer

3.6 Recurso Solar

La caracterización del recurso solar se realiza mediante la introducción de datos de entrada como la radiación solar anual de la zona geográfica donde se realiza el presente estudio. Se tienen dos opciones para introducir los datos de radiación solar, la primera opción es introducir las medias mensuales accediendo a los medios digitales que proporcionan datos promedios de radiación solar. La página web Solargis [52], proporciona datos detallados del recurso solar existente que existe en determinación ubicación, ingresando las coordenadas de la locación en análisis. La segunda opción para el ingreso de los datos para el análisis del recurso solar es mediante el uso de Homer que permite ingresar las coordenadas geográficas y zona horaria donde se va a encontrar el emplazamiento. Dentro de la segunda opción se encuentra la recolección de datos de irradiación solar mediante internet. Este recurso se puede apreciar de mejor forma en la figura 21, donde se ingresa la latitud y longitud del emplazamiento y se obtiene automáticamente la irradiación diaria (kWh/ m²/d).

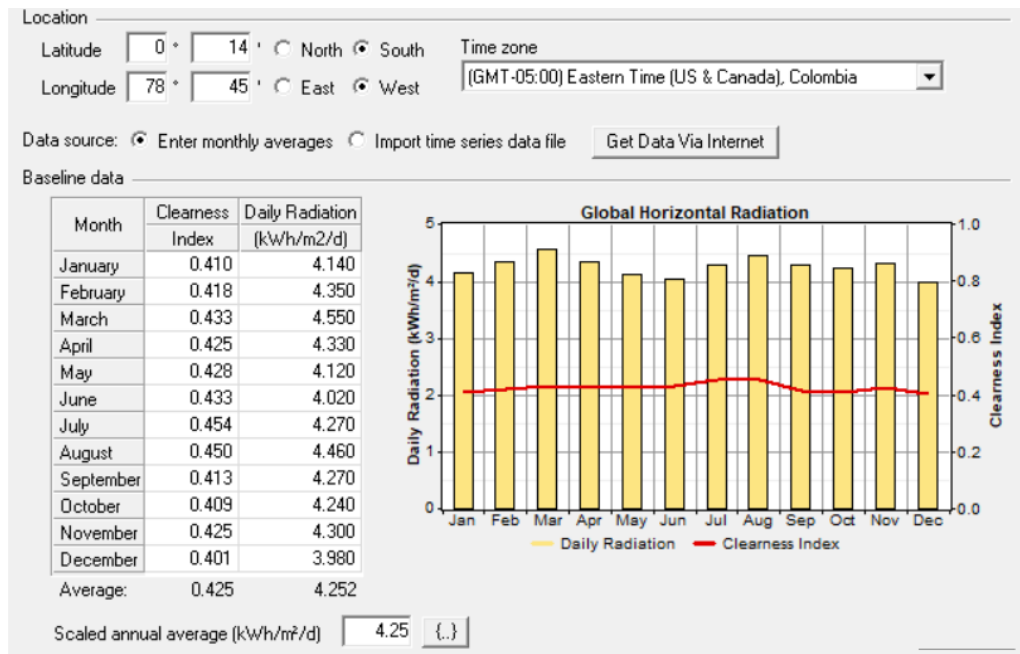


Figura 22. Datos de irradiación del sistema en Homer

Un parámetro para analizar la información, es el índice de claridad que puede definirse en función de la porción de energía del sol que se transmite por medio de la superficie atmosférica para golpear la tierra. El índice de claridad tiene un valor alto en condiciones soleadas y un valor bajo en condiciones nubladas, este índice puede ser definido mensualmente por cada hora. El análisis arroja un valor promedio mensual del índice de claridad, los valores típicos varían de 0.25 a 0.75, siendo los valores mínimos correspondientes a un mes muy nublado, y los valores máximos a meses soleados. Con la utilización de estos datos se pueden obtener diferentes graficas que indican el progreso del recurso solar en el caso de estudio.

3.7 Combustible

Debido a que el sistema cuenta con un grupo motor – generador de respaldo, es necesario introducir el precio del combustible en la sección de recursos, en este caso el diésel en la sección disponible para el efecto en el software. Se debe limitar el consumo de combustible a una cantidad específica de litros por cada año. La configuración ejecutada para este recurso se aprecia en la figura 22.

Price (\$/L)	3.29	{.}
<input type="checkbox"/> Limit consumption to (L/yr)	5000	{.}
Fuel properties		
Lower heating value:	43.2 MJ/kg	
Density:	820 kg/m3	
Carbon content:	88 %	
Sulfur content:	0.33 %	

Figura 23. Ventana del combustible. Fuente Homer.

El precio del galón de diésel para uso en la generación de electricidad en el Ecuador actualmente es de \$1.033 dólares [44]; con fines del presente cálculo se hace una conversión para obtener su precio por litro lo que da como resultado \$0.29. Sin embargo, el valor final que se ingresa al optimizador es de \$3.29 dólares, esta tasa adicional se coloca tomando en cuenta que el área donde se encuentran los usuarios que son objetivo del presente estudio es remota, lo que eleva el precio del combustible. La tasa adicional es el valor que corresponde al costo de la logística para la obtención del combustible.

3.8 Generador

El sistema eléctrico para usuarios rurales aislados propuesto contiene un grupo motor – generador como respaldo. Se requieren varios datos del generador, incluyendo el tipo de combustible, la curva de eficiencia y la vida útil del dispositivo para tener una representación adecuada de su funcionamiento.

El generador que se ha seleccionado es un generador eléctrico con motor de gasolina Porten de 2.8 kVA, cuyas especificaciones se encuentran en la tabla 15. La elección de este generador se ha realizado considerando que pueda actuar en cualquier contingencia, incluyendo que el sistema fotovoltaico no esté disponible o que las baterías no tengan la carga suficiente para abastecer la demanda. Como ya ha sido mencionado anteriormente, el sistema fotovoltaico actúa como el generador principal del sistema eléctrico, mientras que el objetivo de instalar un grupo motor – generador es como un sistema de apoyo en caso de no contar con la energía generada por la fuente renovable. La figura 23 muestra la ventana de configuración de grupo motor-generador, incluyendo sus características económicas, entre las cuales se destacan el precio inicial del generador, el costo de replazo al momento que finalice su vida útil y el costo mantenimiento y operación por hora. El costo de capital se eleva ya incluye

la instalación del equipo, por esto se suma el costo de instalación más el costo del generador.

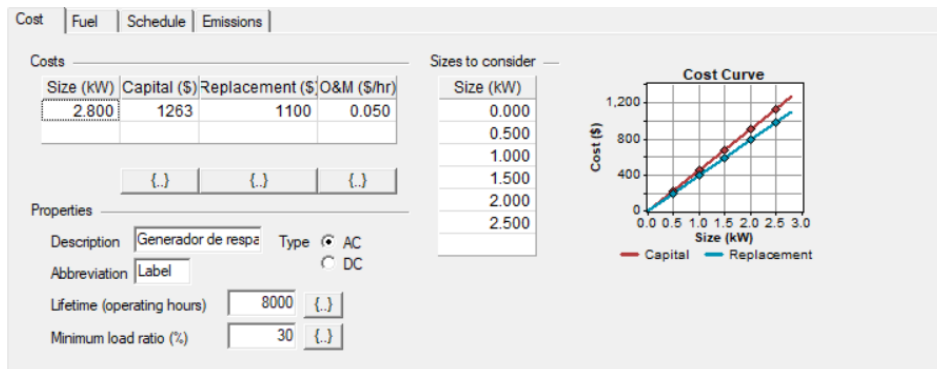


Figura 24. Ventana del generador. Fuente Homer

3.9 Baterías

Homer posee una amplia gama de baterías disponible en su base informativa, en el caso de la presente propuesta se ingresan los datos de la batería Rolls/Surrete, que tiene características similares a baterías que se pueden encontrar en el mercado ecuatoriano [31], las especificaciones de ambas baterías se pueden constatar en el anexo 2. En la tabla 22, se observa que las únicas diferencias entre las dos baterías que se encuentran en análisis, son la vida útil y la profundidad de descarga, se introduce los datos del costo, mantenimiento anual, el número de baterías para la obtención de la optimización. La figura 24 muestra la ventana de configuración de las baterías, en el parámetro Capital (\$) se especifica el valor de cada batería, este rubro contempla tanto el costo de la batería como el costo asociado a su instalación. Otro aspecto a considerarse es que en el parámetro Replacement (\$) se establece el valor asociado al remplazo de la batería al finalizar su vida útil, este valor es menor ya que la batería que finalizó su vida útil tiene un valor y se estima que en el futuro el valor de las baterías disminuya como resultado de las políticas de incentivo para el uso sostenido de energías renovables [12]. El ítem O&M (\$/yr) corresponde a los costos de mantenimiento y operación por cada año, para los presentes casos de estudio se establece un valor de 5 dólares, que corresponde al valor a ser cancelado al personal de apoyo o al mismo usuario luego de recibir una capacitación básica del uso de la batería. Dentro de las diferencias correspondientes a las baterías, se debe especificar el tiempo mínimo de vida de la batería, en este caso 10 años, lo que se puede observar en la tabla 22.

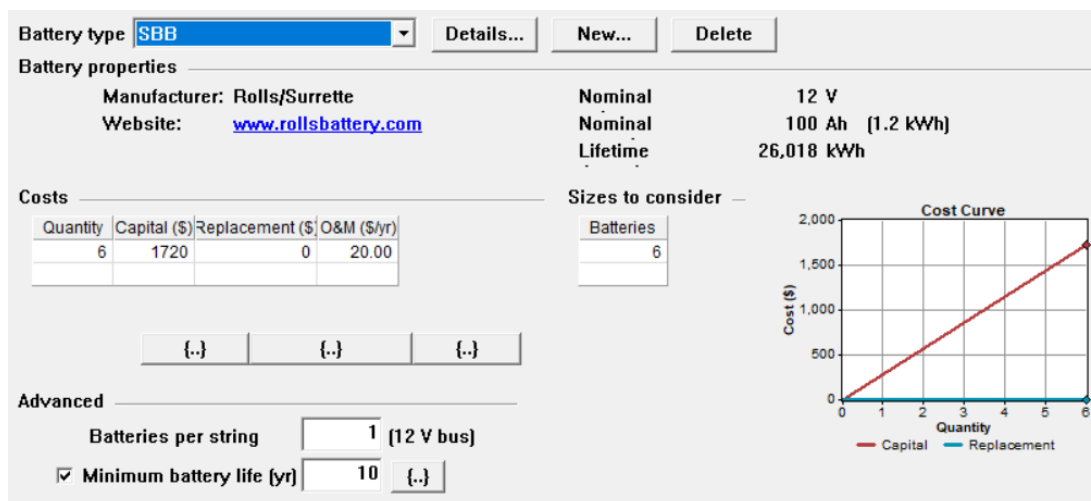


Figura 25. Ventana de baterías. Fuente Homer.

Tabla 20. Comparación de datos de baterías

TIPO DE BATERIA	TENSION NOMINAL (V)	CAPACIDAD (Ah)	TIEMPO DE VIDA (Años)	PROFUNDIDAD DE DESCARGA (%)
Rolls Surrete	12	150	12	60
Sunbright Power	12	100	10	85

Elaborado por el autor

Para desarrollar el análisis, del número de baterías a utilizarse se colocaron valores (número de baterías) cercanos a la obtención de la combinación más óptima, en este caso fue la más económica. Se consideró un rango de 1 a 6 baterías, el cual se detalla en el parámetro Sizes to consider, debido a que esta es la cantidad mínima que cubre con los requerimientos de capacidad de almacenamiento necesaria para la red propuesta; y con un máximo de 6 que se debe a un criterio económico de no elevar innecesariamente los costos de la implementación a realizarse. Esto significa que la simulación se puede realizar con un mínimo factible de 1 batería hasta un máximo de 6 baterías, se empleó este rango, ya que con esto se cubre la demanda prevista por las cargas en estudio.

El optimizador Homer no permite ingresar los datos económicos que conllevan toda la instalación del banco de las baterías, por lo que se ingresa el costo total que significa la instalación del banco de baterías y que se desglosa de una manera más clara en la tabla 23.

Tabla 21. Costo del banco de baterías

DESGLOSE DE COSTOS BANCO DE BATERÍAS			
Tipo de equipo	Cantidad	Costo	Unidad
Batería	6	1500.00	[\$]
Soporte	6	120.00	[\$]
Instalación	1	100.00	[\$]
TOTAL GENERAL		1720.00	[\$]

Elaborado por el autor

3.10 Convertidor

En la ventana de configuración inversor (figura 25) se procede a ingresar su potencia en el ítem Size (kW) que es de 1.5 kW, así como su precio que es de \$740 dólares que corresponde al capital, este es un precio referencial en el mercado ecuatoriano producto de una investigación de mercado realizada por el autor tomando en referencia precios del anexo 2, a este rubro se incluye el valor del controlador, gabinete e instalación del convertidor ya que el optimizador no permite ingresar estos datos de forma individual, los precios de los equipos se encuentran especificados en la tabla 24.

Tabla 22. Costos del convertidor

DESGLOSE DE COSTOS CONVERTIDOR			
Tipo de equipo	Cantidad	Costo	Unidad
Convertidor	1	310.00	[\$]
Controlador	1	180.00	[\$]
Gabinete	1	100.00	
Instalación	1	150.00	[\$]
TOTAL GENERAL		740.00	[\$]

Elaborado por el autor

Las potencias a ingresar para permitir una simulación acorde a la realidad son de 0.5 kW, 1 kW, 1.2kW, 1.8kW (Size to considerer), esto hará que se simule diseños de sistemas que incluyen convertidores de 0.6 kilovatios, 1.2 kilovatios o 1.8 kilovatios. Cabe destacar que el uso de un convertidor de menor capacidad permite analizar, si usar un convertidor más pequeño es una opción más viable, ya que habrá una reducción en el costo final del sistema eléctrico.

Dado que la carga máxima que presenta el sistema es de 2.72 kilovatios/día, se usará un convertidor de 1.5 kilovatios, el cual cumplirá con la carga durante cualquier hora

en que el sistema fotovoltaico se encuentre en funcionamiento, ya que este produce la mayor parte de la energía que la carga va a utilizar en la estructura eléctrica propuesta. En la figura 25 se puede ver la ventana de configuración del convertidor.

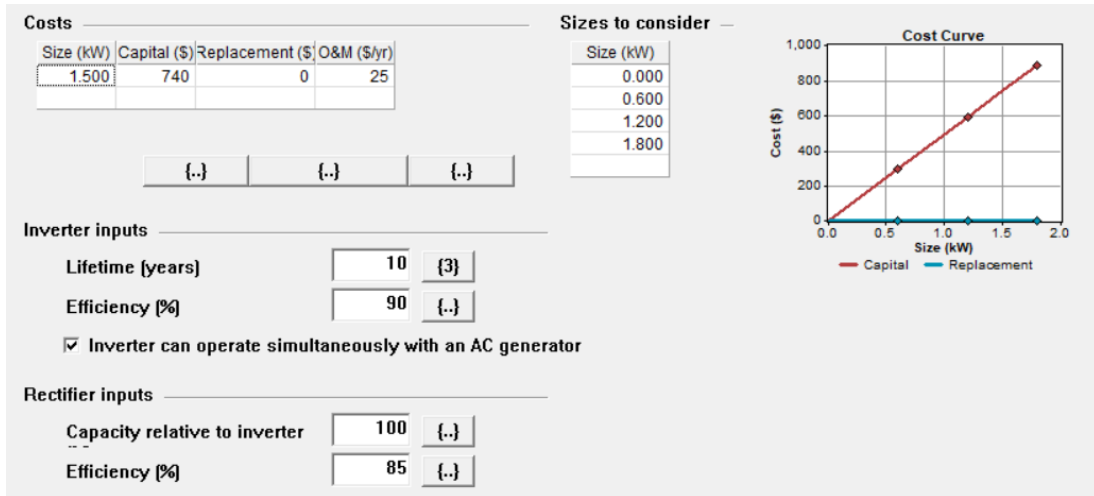


Figura 26. Ventana del convertidor. Fuente Homer.

3.11 Datos económicos

Se introducen las condiciones económicas para ejecutar el cálculo del costo neto del sistema propuesto. En este estudio se consideran relevantes la tasa de interés y la vida útil del proyecto, la ventana de ingreso de estos datos se muestra en la figura 26.

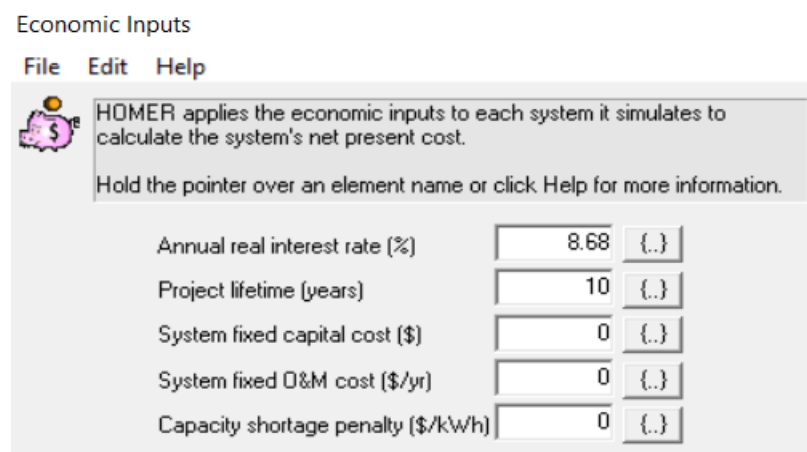


Figura 27. Ventana de datos económicos. Fuente Homer.

La tasa de interés para Ecuador corresponde a 8.68 % [45], y el tiempo de utilidad del proyecto que contempla la duración de las instalaciones que componen todo el sistema, es de 10 años, la vida útil de proyecto puede aumentar si tiene un adecuado mantenimiento. El costo de capital fijo es de \$0 dólares, el cual corresponde al costo

de los recursos financieros necesarios para financiar el proyecto, ocurren independientemente del tamaño o la arquitectura. En este caso, el valor es cero, debido a que se proyectó que el financiamiento corra a cargo de la empresa distribuidora local. En otra situación cuando los beneficiarios del proyecto son usuarios residenciales o industriales, el costo de capital fijo, deberá considerarse necesariamente para poder obtener la financiación del proyecto.

En la variable del costo anual fijo de operación y mantenimiento se estima un valor de \$0 dólares, debido a que las tareas de mantenimiento y operación serán realizadas por el usuario, debido a que el proyecto no tiene grandes dimensiones, por tanto, puede ser mantenido por el usuario luego de una capacitación por parte de los técnicos de la empresa eléctrica local. El ítem de penalidad por falta de capacidad eléctrica está en \$0 dólares porque el sistema propuesto, es un sistema aislado y por tanto no caerá en penalidad.

3.12 Resultados de la optimización

Los resultados de la optimización ejecutada se presentan en la figura 27, esto incluye todas las combinaciones posibles que se ejecutan considerando todos los equipos que se configuraron previamente.

Sensitivity Results		Optimization Results											
Sensitivity variables													
Carga Primaria (kWh/d)	2.7	Global Solar (kWh/m²/d)	3	Average Ambient Temperature (°C)	20	Diesel Price (\$/L)	0.29						
Double click on a system below for simulation results.													
	PV (kW)	Gen (kW)	S4KS25P	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Gen (hrs)	Batt. Lf. (yr)	
	1.50	0.6	6	0.6	\$ 3,795	53	\$ 4,142	0.646	1.00	2	22	10.0	
	1.50	1.2	6	1.2	\$ 3,821	74	\$ 4,304	0.671	1.00			10.0	
	1.50	1.2	6	0.6	\$ 4,066	42	\$ 4,342	0.677	0.99	5	22	10.0	
	1.50	0.6	6	1.2	\$ 4,091	59	\$ 4,473	0.697	1.00		0	10.0	
	1.50	1.8	6	0.6	\$ 4,337	32	\$ 4,543	0.708	0.98	9	22	10.0	
	1.05	0.6	6	0.6	\$ 3,343	189	\$ 4,572	0.713	0.73	108	559	10.0	
	1.50	1.2	6	1.2	\$ 4,362	43	\$ 4,642	0.724	1.00		0	10.0	
	1.50		6	1.8	\$ 4,117	84	\$ 4,665	0.727	1.00			10.0	
	1.50	1.8	6	1.2	\$ 4,633	27	\$ 4,811	0.750	1.00		0	10.0	
	1.50	0.6	6	1.8	\$ 4,387	69	\$ 4,834	0.754	1.00		0	10.0	
	1.05	0.6	6	1.2	\$ 3,639	196	\$ 4,913	0.766	0.73	108	546	10.0	
	1.50	1.2	6	1.8	\$ 4,658	53	\$ 5,003	0.780	1.00		0	10.0	
	1.05	1.2	6	1.2	\$ 3,909	172	\$ 5,029	0.784	0.73	107	271	10.0	
	1.05	1.2	6	0.6	\$ 3,613	228	\$ 5,098	0.795	0.73	122	411	10.0	
	1.50	1.8	6	1.8	\$ 4,929	37	\$ 5,173	0.806	1.00		0	10.0	
	1.05	0.6	6	1.8	\$ 3,935	206	\$ 5,274	0.822	0.73	108	546	10.0	
	1.05	1.8	6	1.2	\$ 4,180	175	\$ 5,318	0.829	0.73	114	218	10.0	
	1.05	1.2	6	1.8	\$ 4,205	182	\$ 5,390	0.840	0.73	107	271	10.0	
	2.60	0.6	6	0.6	\$ 4,902	78	\$ 5,412	0.844	1.00		2	22	10.0
	1.05	1.8	6	1.8	\$ 4,476	160	\$ 5,515	0.860	0.73	108	182	10.0	
	2.60		6	1.2	\$ 4,927	99	\$ 5,574	0.869	1.00			10.0	
	2.60	1.2	6	0.6	\$ 5,172	67	\$ 5,611	0.875	1.00	4	22	10.0	
	2.60	0.6	6	1.2	\$ 5,198	84	\$ 5,743	0.895	1.00		0	10.0	
	2.90	0.6	6	0.6	\$ 5,203	85	\$ 5,758	0.898	1.00		2	22	10.0
	1.05	1.8	6	0.6	\$ 3,884	291	\$ 5,777	0.901	0.73	139	394	10.0	
	2.60	1.8	6	0.6	\$ 5,443	56	\$ 5,810	0.906	0.99	7	22	10.0	
	2.60	1.2	6	1.2	\$ 5,468	68	\$ 5,912	0.922	1.00		0	10.0	
	2.90		6	1.2	\$ 5,229	106	\$ 5,920	0.923	1.00			10.0	

Figura 28. Resultados de la optimización mediante Homer

El primero de los resultados obtenidos por Homer es el que se escoge para los próximos análisis ya que incluye el uso del grupo motor – generador, el banco de baterías y el sistema fotovoltaico. Se debe destacar que esta combinación también es la más económica al final de su vida útil, y por lo tanto la más adecuada para los propósitos de la presente investigación.

Si se realiza un análisis de otras de las posibilidades, se nota que existe una opción en que la generación total del sistema es dotada totalmente por un sistema fotovoltaico, junto a un banco de baterías y un inversor, en este caso se puede notar que el inversor es duplica la potencia a la del sistema ideal, cabe recalcar que la variación del capital inicial es de \$26 dólares, evidenciando una diferencia mínima en la inversión inicial lo que hace interesante escoger la opción de un sistema que trabaje netamente en función de energías renovables. La diferencia en el costo general del proyecto luego de culminada su vida útil, es de \$162 dólares entre este caso y el ideal. Este caso se compone de un arreglo FV de 1.5 kW, una composición de baterías de 6 unidades y el componente inversor de 1.2 kW.

Si se ejecuta un análisis del peor caso, este cuenta con generación de tipo convencional, y se puede notar que los costos operativos se elevan aproximadamente en 1000% del caso ideal debido a la provisión calculada de combustible para mantener la generación de energía necesaria, esto a pesar de la reducción del costo de inversión inicial, en general el costo del proyecto al final del periodo se eleva en \$ 2342 USD.

El caso escogido por aspectos económicos, es el que está compuesto por generación FV de 1.5 kW, un motor generador de 0.6kW, 6 baterías y un componente de inversión de 0.6 kW, lo que representa una inversión inicial de \$3795 dólares y un costo total de \$4142 USD.

Otro caso compuesto por un sistema fotovoltaico de 2.760 kilovatios, un banco de 6 baterías y un inversor de 1.2 kilovatios, dan un precio más elevado en la inversión inicial, así como en su costo neto actual, pero da lugar a la implementación de más carga en un futuro. Económicamente no es una opción viable, pero refiriéndose a la opción técnica y geográfica en la que se encuentra el caso de estudio, presenta un escenario ideal, ya que se podrá implementar maquinaria agrícola que ayuda al desarrollo de la producción económica de los usuarios. La aplicación de un sistema netamente compuesto por energías renovables, destaca, debido a que los desarrollos actuales han permitido reducciones de costos de los módulos fotovoltaicos que

alcanzan el 95%. Los desarrollados ejecutados también se han enfocado en aumentos de la eficiencia que alcanzan un porcentaje cercano al 200%, si se comparan con las características que ofrecían los primeros módulos para la conversión de energía solar [9]

3.13 Resultado económico

El detalle de los datos del costo total del sistema obtenido, según se puede observar en el gráfico 28, para ello se realiza un desglose de los costos de los componentes de la microred, en el parámetro de capital (\$), donde se incluye el costo inicial de los componentes, así como el costo de las acciones de instalación por parte del personal calificado y de apoyo. En el ítem replacement (\$) se especifica el costo correspondiente al remplazo de los componentes del sistema fotovoltaico, luego de la ejecución del análisis se establece que este valor es cero dólares ya que se estima que la vida útil del sistema, no se deba reemplazar ningún componente. En el parámetro O&M, se detallan los costos de mantenimiento y operación, en los cuales se destaca el gasto que implica la operación del sistema. En el parámetro Fuel (\$) se detalla el gasto de combustible, en el caso de estudio escogido este parámetro es mínimo ya que se espera que el sistema funcione netamente con energías renovables. El parámetro salvage (\$) indica valor de recuperación, definido como el sobrante valor en partes del sistema de energía cuando la vida útil del proyecto finaliza. Para ello, se asume linealidad de la depreciación de todas las partes, lo que equivale a que la cuantía para recuperar un componente es proporcional a la vida restante en forma directa; esto también implica que el valor de recuperación se basa en el importe del reemplazo en lugar del costo inicial del capital.

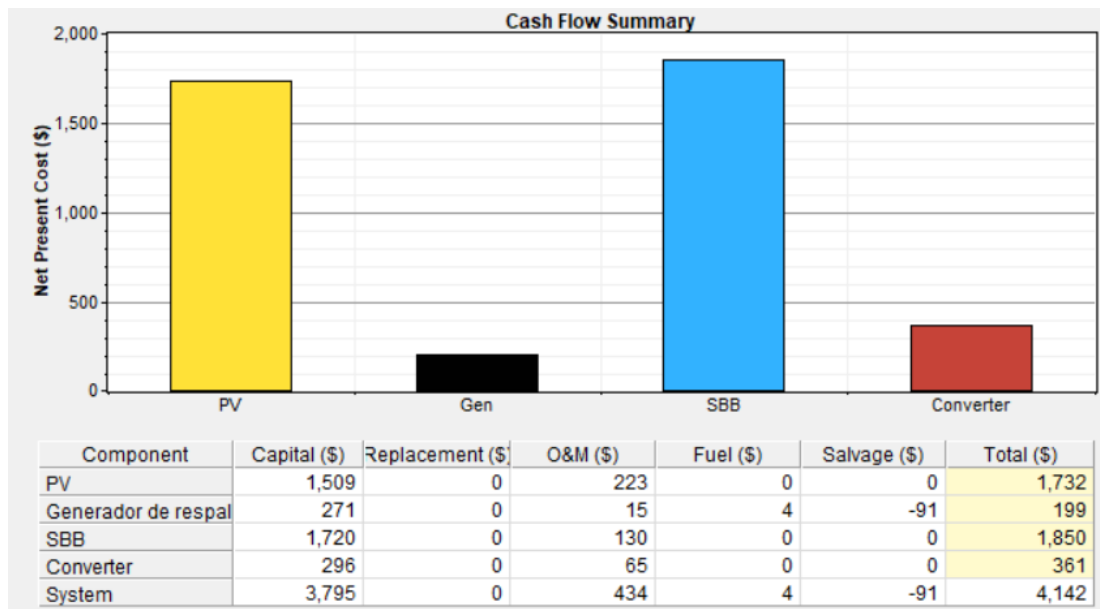


Figura 29. Resumen de costos del sistema. Fuente Homer.

En el caso del sistema propuesto se observa que el mayor gasto corresponde a los módulos fotovoltaicos, esto se debe analizar desde dos puntos vista, el primero que los sistemas fotovoltaicos poseen altos costos de inversión inicial, el segundo es que no requieren el costo adicional de tener una red de distribución y de transmisión debido a que la generación está cercana a la carga o en muchas ocasiones en el mismo lugar de la carga, lo que significa una reducción de costos en relación a las complejas estructuras generadoras. En consecuencia, se establece por el análisis tecno-económico que es motivo del presente documento que resultaría óptimo trabajar con un sistema fotovoltaico que abastezca a la demanda del usuario en su totalidad, obviando la utilización de un generador de respaldo.

El costo total del sistema es similar a los precios que ofertan diferentes empresas de servicio de energía renovable, lo que se puede verificar en los anexos 2, 3 y 4.

3.14 Producción eléctrica

El resultado de la producción eléctrica, se puede observar que aproximadamente el 100% de la energía proviene del sistema fotovoltaico y el 0% del grupo motor generador, según datos de la figura 29

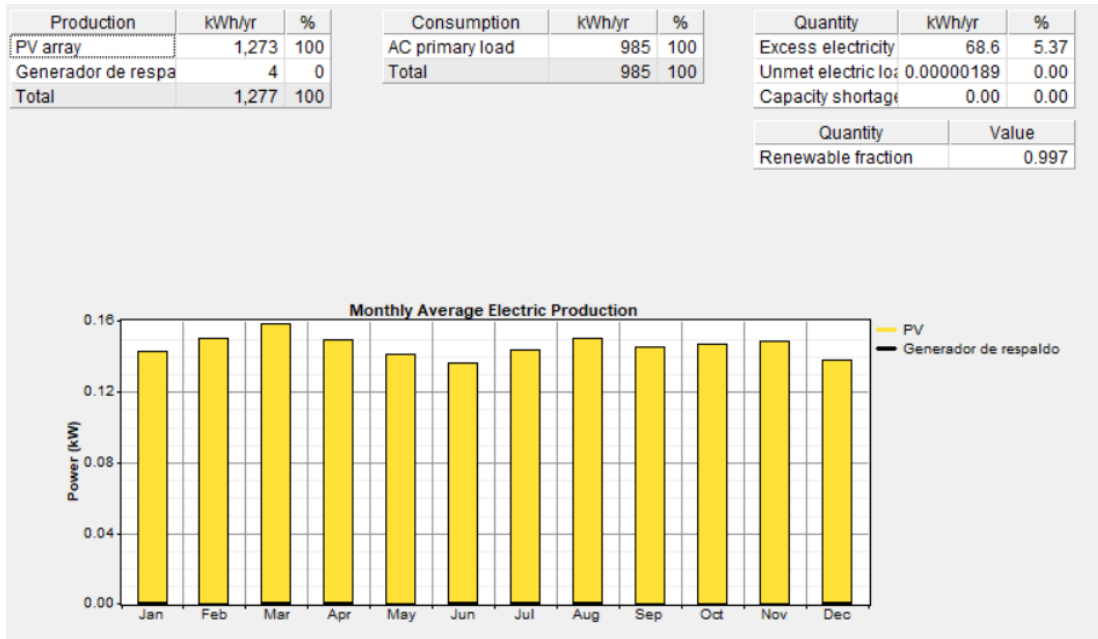


Figura 30. Producción eléctrica mensual. Fuente Homer.

Otros datos importantes a recalcar son el exceso de energía (Excess electricity) de 68.6 kWh/año equivalente al 5.37%, lo que es altamente recomendable para una red aislada rural, ya que permite que no exista probabilidad de pérdida de suministro de la carga. Esto es positivo debido a que el exceso de energía demuestra que el sistema eléctrico propuesto es fiable y que puede cubrir la demanda de los usuarios que se van a conectar a esta red. La carga eléctrica insatisfecha (Unmet electric load) de 0.000000189 kWh/año equivalente al 0%, con una escasez de capacidad (Capacity shortage) de 0 kWh/año equivalente al 0%, lo que corresponde a que no habrá ninguna pérdida de la carga de los usuarios, aspecto que refleja la excelente confiabilidad de la red en caso de que no hayan averías en los componentes de la red. Se debe puntualizar que la existencia de fallas en los elementos de esta red no forma parte del alcance del presente documento. Estos resultados demuestran que los cálculos realizados al implementar el proyecto, son los adecuados, ya que no habrá escasez de energía para el usuario. También se puede observar una producción alta de potencia en la mayoría de meses en el año, exceptuando los meses de enero, febrero y octubre donde se puede notar una caída poco significativa de la producción, aspecto que permite establecer que la ubicación escogida para la implementación de este proyecto tiene una factibilidad adecuada para producir la cantidad de energía que van a consumir los usuarios beneficiarios durante cualquier época del año, inclusive cuando se producen las reducciones de la producción mencionados. En caso de que la energía producida y

almacenada es insuficiente, se produce una compensación en la producción por medio del banco de baterías.

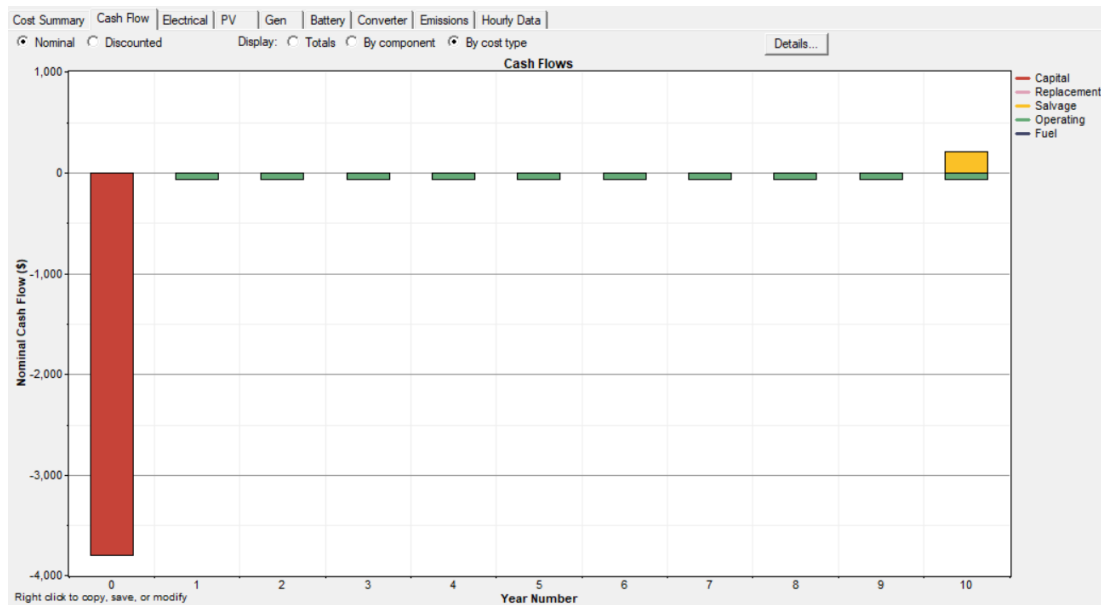


Figura 31. Análisis de Flujo de Caja en Homer. Fuente Homer.

Se obtiene un análisis de flujos de caja, con los datos previamente ingresados como el interés anual de 8.68% según los datos del Banco Central del Ecuador. Se puede observar en la figura 30, que en el año cero, el flujo de caja será negativo y con un valor elevado. La pérdida se mantiene en valor bastante sostenido y bajo si se lo compara al año inicial, notándose también que, al décimo año de funcionamiento, correspondiente al último que los autores consideran como el último de operación, el flujo será positivo.

El análisis de flujo de caja, no refleja resultados alentadores en prácticamente toda la existencia del proyecto, sin embargo, al finalizar su vida útil se obtienen réditos económicos, lo que permite establecer una factibilidad adecuada desde el punto de vista económico del proyecto que se va a implementar; lo que se adiciona a la factibilidad técnica de funcionamiento de la red a implementarse. Esto es un factor primordial para realizar la colocación de todos los equipos que se necesitan para el funcionamiento de este sistema distribuidor de la electricidad; inclusive tomando en consideración que las circunstancias económicas de las áreas rurales no son las mismas que las de otros sectores que se conectan a redes de distribución conectadas como son los grupos residenciales o industriales.

En este sentido, se toma en cuenta que las personas de las comunidades trabajan y viven en el mismo sitio y por ello, para que el proyecto tenga resultados positivos, es necesaria también una adaptación del sistema eléctrico de distribución propuesto a las actividades que desarrolla la comunidad, las que son la forma de sustento de la economía de sus habitantes. Otra forma de certificar la viabilidad del proyecto es la consideración de las políticas del país que fomentan la utilización de sistemas fotovoltaicos. Entre estas políticas destacan las contenidas en el artículo 413 de la carta magna ecuatoriana donde se instituye la promoción de la eficiencia energética, lo que involucra prácticas que no dañen al medio ambiente y la utilización de tecnologías ambientales limpias y sustentables en el tiempo [10]. Tal directriz hace que en la actualidad existan incentivos para la utilización de sistemas fotovoltaicos, incluyendo la reducción de los impuestos y aranceles asociados a la importación de los materiales y equipos que componen un sistema de generación fotovoltaico y, por tanto, los necesarios para la implementación de la red que se encuentra en estudio en el presente documento.

3.15 Análisis de Sensibilidad

La analítica de cuán sensible es la propuesta permite revisar el comportamiento del sistema frente a variaciones de diferentes parámetros que conforman el sistema fotovoltaico aislado. Se realiza la evaluación de las redes mediante la comparación de algunas variaciones de tipo operacional incluyendo: número de equipos, consumo de combustible, así como variables económicas entre las que se encuentran: interés anual, costos. Así mismo, el software permite el análisis de variables de índole medioambiental como: radiación solar, temperatura, por nombrar otras.

Se realiza un análisis de sensibilidad en varias dimensiones, es decir tomando en cuenta varias variables. Los resultados son presentados mediante gráficos donde se visualizan diferentes escenarios, en base a diferentes variaciones, tales variaciones y su respectiva sensibilidad se presentan en las siguientes figuras.

Una vez ejecutado este análisis, se visualiza la producción energética con módulos FV a una temperatura de 9.5 °C en la figura 31. Tal como se ha explicado previamente, la producción fotovoltaica es mayor cuando el sistema fotovoltaico trabaja a una temperatura menor. Este se debe a que la eficacia de la producción fotovoltaica es influida en forma directa por la temperatura.

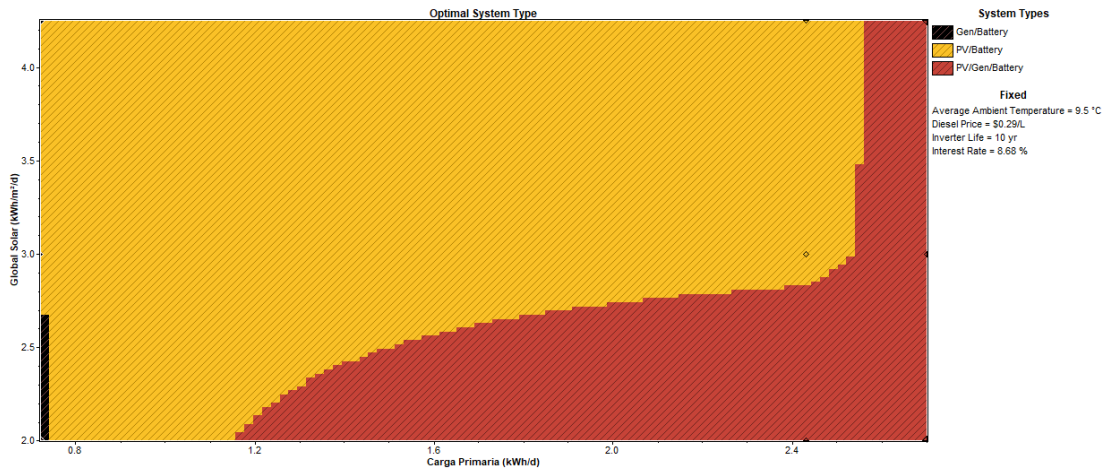


Figura 32. Sensibilidad en función de la variación de la radiación solar diaria promediada y de consumo del usuario primario a una temperatura promedio de 9.5 °C

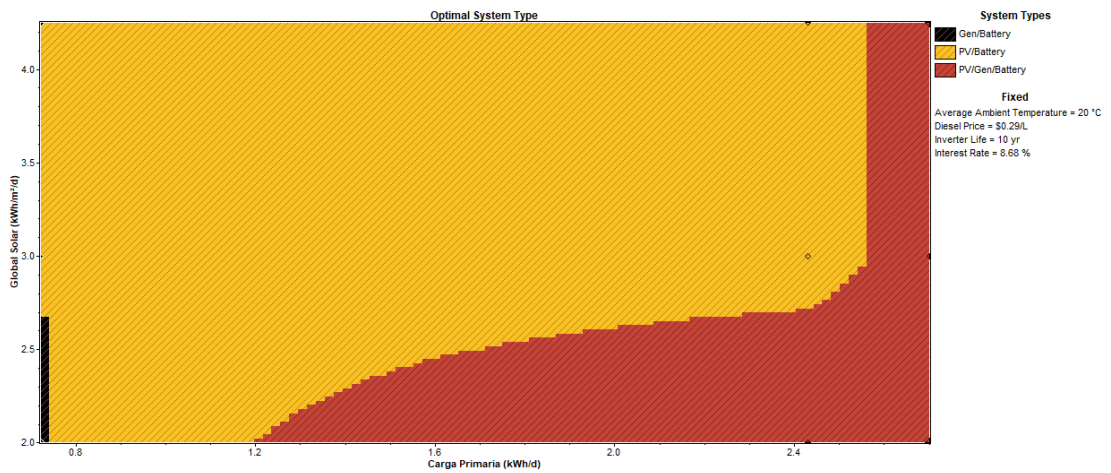


Figura 33. Sensibilidad en función de la variación de radiación solar diaria promediada y del consumo del usuario primario a una temperatura promedio de 20 °C

En la figura 32 se puede observar una menor producción eléctrica por parte de los módulos fotovoltaicos a una mayor temperatura según lo esperado. La grafica también muestra que no se encuentran activos tanto el grupo de baterías como sistema motor – generador cuando la demanda eléctrica es baja. Tales sistemas tienen ciclos de trabajo relevante cuando la carga se encuentra en su pico de demanda.

En las figuras 33 y 34, se notan los costos asociados a operar la infraestructura eléctrica a diferentes tasas de interés iniciales. En ambos casos se mantienen constantes el precio del diésel que es de \$0.69 dólares por litro, temperatura ambiente 12.5 °C, y la vida útil del proyecto equivalente a 10 años. Luego, se procede a realizar cambios en la tasa de interés anual en ambas situaciones propuestas. Para realizar la comparativa se

consideran como referencias la tasa de interés anual de 8.68%, que es la actual tasa de interés de referencia dictaminada por el BCE y una tasa de interés anual del 5% que propone el gobierno ecuatoriano para incentivar el uso de energías renovables. Con las tasas planteadas se revisan los costos totales del sistema al final de su vida. En ambas gráficas se puede revisar que comparativamente el sistema no presenta una variación importante en sus costos lo cual se puede analizar de forma más clara por medio de la tabla 25.

Luego de revisar los datos y calcular la diferencia de costos a un interés anual de 8% y 5%, se puede notar que no existe una variación significativa de costos que se producen a lo largo del periodo de utilidad total del proyecto, los resultados de usar el sistema fotovoltaico junto al generador y banco de baterías. Se muestra que cuando la tasa de interés alcanza el ocho por ciento la variación de costos es de apenas \$ 226 dólares, mientras que el mismo sistema con una tasa de interés de 5%, existe una variación de costos de \$ 220 dólares, lo que hace económicamente viable el uso del sistema en ambos casos.

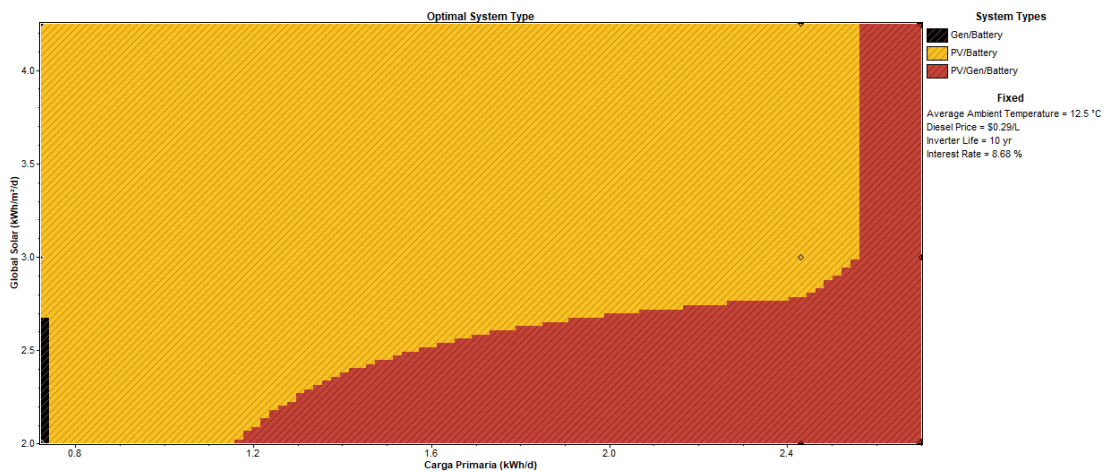


Figura 34. Sensibilidad en función de la variación de radiación solar diaria promediada y del consumo del usuario primario a una tasa de interés anual de 8.68%.

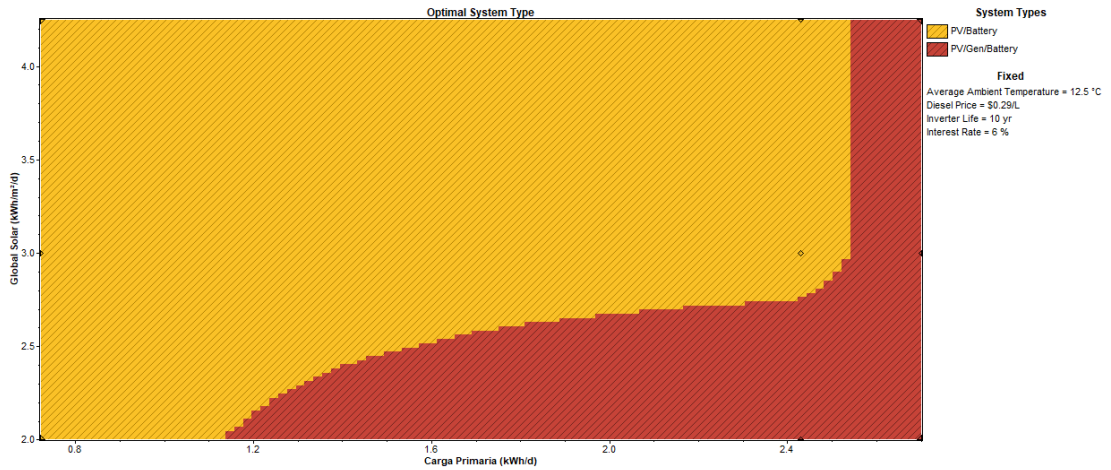


Figura 35. Sensibilidad en función de la variación de radiación solar diaria promediada y del consumo del usuario primario a una tasa de interés anual de 5%.

Tabla 23. Diferencia de costos, modificando el interés anual

COSTOS A DIFERENTES PORCENTAJES DE INTERES			
TASA DE INTERES ANUAL			
Tipos de Sistema	Valor al 8%	Valor 5%	Diferencia
SistemaFotovoltaico / Generador / Banco de baterias	\$4,142	\$3,957	\$185
Sistema fotovoltaico / Banco de baterias	\$4,304	\$4,175	\$129

El siguiente análisis de sensibilidad consiste en realizar una comparativa entre la figura 35 y la figura 36, donde se han realizado algunas variaciones en las variables de entrada del sistema. Ciertos aspectos se mantienen constantes incluyendo la demanda, temperatura ambiente 12.5 °C, tasa de interés anual 6% y un periodo de validez del proyecto de 10 años. La diferencia entre los casos planteados es el precio del litro de diésel en el sistema de la figura 35 el precio del diésel es de \$ 0.29 dólares por litro y en la figura 36 es \$3.29 dólares por litro.

El análisis sugerido adquiere gran relevancia para la ubicación del sistema aislado planteado, ya que el precio de diésel en Ecuador mantiene un subsidio por parte del gobierno, situación que podría variar debido a decisiones político-económicas por lo cual debe ser tomado en cuenta el precio real del diésel va tener un aumento de más del 100% en relación a su precio actual. Un ejemplo claro de esta situación se pudo observar recientemente cuando el gobierno publicó el decreto 883 en el cual se

suprimía el subsidio al diésel siendo el precio real de este combustible \$2.30 dólares por galón, a este valor se debe agregar el precio por transporte del combustible a la zona geográfica donde se encuentra el emplazamiento, por lo que el precio final sería de aproximadamente \$5.30 dólares por galón.

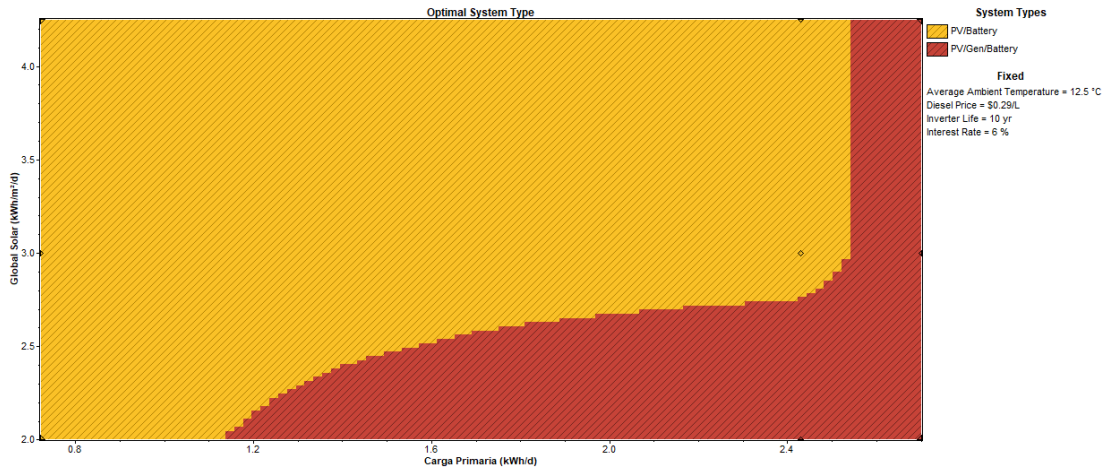


Figura 36. Sensibilidad en función de la variación de radiación solar diaria promediada y del consumo del usuario primario, con un costo de combustible de \$ 0.29 dólares por litro.

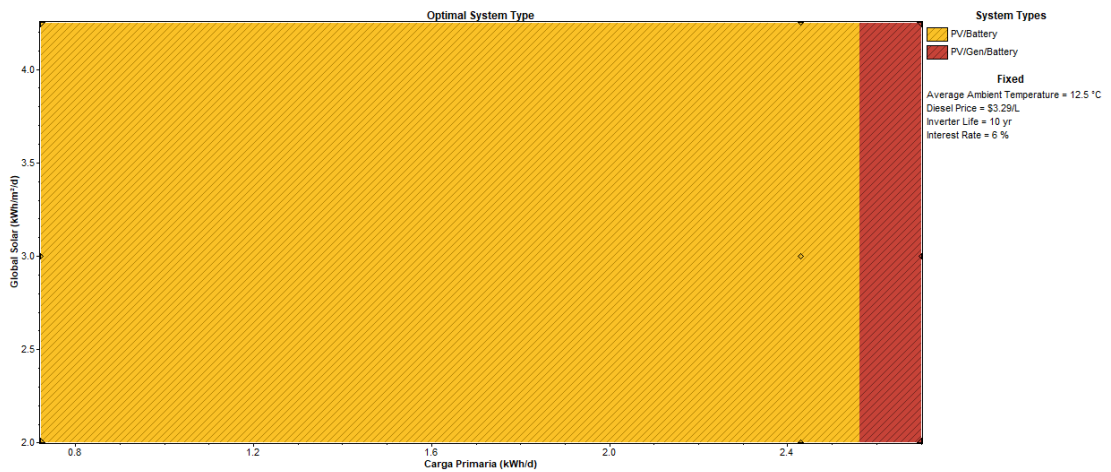


Figura 37. Sensibilidad en función de la variación de radiación solar diaria promediada y del consumo del usuario primario, con un costo de combustible de \$ 3.29 dólares por litro.

CONCLUSIONES

Los resultados de la presente investigación muestran que un sistema FV aislado, puede suministrar la demanda de un usuario residencial aislado, a un costo competitivo y cumpliendo con los criterios técnicos establecidos, esto inclusive tomando en cuenta un interés anual del 8.68%, que es el interés promedio de las instituciones financieras en el Ecuador y los costos presentes los productos necesarios para la implementación.

Además, se considera la existencia de políticas gubernamentales derivadas de la Constitución de la República en el año 2008, lo que permite un protagonismo del uso de energías renovables, lo que involucra incentivos como la exoneración del pago de aranceles al momento de importar los componentes que conforman un sistema fotovoltaico, el cual se detalla en el código de producto 8541.40.10.00 en el arancel nacional de importaciones con una tarifa arancelaria de 0%. Aprovechando esta exoneración de impuestos para fabricar, producir e instalar sistemas fotovoltaicos, se proyecta la existencia de ahorros del 12%, valor del impuesto al valor agregado en el Ecuador. Estos factores pueden hacer que el precio del proyecto sea más reducido si se compara el costo de este tipo proyectos respecto a la implementación de este proyecto previo a la existencia de los incentivos mencionados.

Como resultado, la implementación de redes con generación fotovoltaica resulta aún más viable, esto incluye la puesta en funcionamiento de redes aisladas rurales que actualmente no pueden acceder a la red de la distribuidora y la transmisión de energía eléctrica; mismas que han sido analizadas en sus aspectos técnicos y económicos en el presente documento.

El análisis técnico económico implementado permite que los autores establezcan que las estructuras de generación fotovoltaica que incluyen medios acumuladores de la energía aplicados en instalaciones rurales aisladas, resultan factibles de utilizar para favorecer a la población que no acceda al servicio de suministro de la electricidad. Otro aspecto positivo que tienen este tipo de redes para los interesados es que son amigables con el medio ambiente debido a que aprovechan recursos energéticos renovables. En lo que respecta al análisis técnico, se observa que la factibilidad de implementación de este proyecto depende de las condiciones del emplazamiento. Uno

de los factores que se analizaron es el índice de claridad, el cual muestra, si los meses son nublados o soleados y tiene un rango 0.25 a 0.65. El valor promedio obtenido en el sistema fotovoltaico se encuentra en un rango de 0.45, demostrando que las condiciones del proyecto son óptimas para su construcción.

El proyecto tiene previsto alimentar una demanda de aproximadamente 2,7 kilovatios por usuario, esta cantidad está estimada para cubrir las necesidades de los electrodomésticos básicos que utilizan las personas en su diario vivir. Con esta necesidad presente, el costo de la inversión inicial es de \$3795 dólares, considerando primordialmente los valores asociados a los precios de mercado del equipamiento necesario para esta red. Dicho valor cubre la demanda por usuario actual, pero es necesario que los encargados de la implementación realicen una proyección de aumentos de las cargas que el usuario pueda alimentar, entre los nuevos tipos de cargas que se podrían alimentar se incluyen aparatos eléctricos relacionados al trabajo de los consumidores como bombas, sistemas de refrigeración, por nombrar otros.

El análisis técnico económico de un sistema de distribución independiente que contiene dos o más tecnologías de generación también puede ser aplicado a usuarios residenciales e incluso empresas, sabiendo que las necesidades de abastecimiento de nuevas cargas constantemente aumentan. En la actualidad el sistema eléctrico ecuatoriano depende en una gran proporción del recurso hídrico aproximadamente un 80% del abastecimiento se cubre con esta fuente de energía, la cual está limitada en el tiempo, por condiciones ambientales. Por tanto, es necesario establecer otras tecnologías como son las microrredes, que incluyen generadores que aprovechan las fuentes de energía renovable, promoviendo de esta forma un desarrollo económico sostenible y amigable con el ambiente, lo que también contribuye a variar la matriz del uso de la energía del país.

El análisis establecido también revela que implantar una red aislada cuya componente de producción es puramente renovable fotovoltaica es la alternativa más viable para suministrar usuarios aislados a pesar de sus costos de inversión iniciales, esto debido a que los costos operativos son más estables y que durante las etapas de mantenimiento, la mayor preocupación es la correspondiente a las baterías y su reemplazo. En lo relativo a las capacidades técnicas, se analiza que estas se cumplen

porque el dimensionamiento establecido del almacenamiento y la generación permite que en forma teórica no exista lugar a interrupciones del servicio

RECOMENDACIONES

Las empresas eléctricas locales deben empezar a valorar el desarrollo de proyectos fotovoltaicos, principalmente en zonas aisladas, esto debido a que estos sistemas son relevantes en el desarrollo de la producción de energía eléctrica posibilitando brindar un suministro eficaz de energía a todos los usuarios, inclusive a aquellos que se encuentran en poblaciones alejadas o donde la red eléctrica convencional de transmisión y distribución no ha sido instalada.

El proyecto en análisis refleja un costo de \$4304 dólares, por el sistema fotovoltaico que incluye un inversor y banco de baterías como fuente para cubrir los autoconsumos de un grupo de usuarios reducido. El análisis también refleja otros resultados, entre los cuales se resalta un sistema fotovoltaico que cubre una mayor demanda de energía, netamente conformado por un sistema fotovoltaico, cuyo precio bordea los \$5574 dólares, en el cual los paneles solares representan el 57% de la inversión total del sistema. Enfocándose netamente en los resultados económicos, la primera opción es la más viable para su implementación, pero la opción de implementar un sistema fotovoltaico, que genere mayor producción de energía eléctrica podría resultar interesante en un futuro, si la industria a nivel local logra implementar la fabricación de celdas solares y los elementos necesarios para su correcto funcionamiento en el Ecuador o se logra una reducción significativa de los costos que se derivan de las inversiones originarias para la implementación de este tipo de proyectos.

REFERENCIAS

- [1] SAGARPA, “Agrícola Nacional,” *Planeación agrícola Nac. 2017-2030*, vol. I, no. 1, pp. 1–14, 2017.
- [2] CEA, “Ficha Técnica Melaza De Caña,” p. 2008, 2008.
- [3] Clark H, “Agenda Post. 2015” www.revistahumanum.org/agenda/agenda-de-desarrollo-post-2015/
- [4] J. A. Hernandez, “Metodología para el análisis técnico de la masificación de sistemas fotovoltaicos como opción de generación distribuida en redes de baja tensión,” 2012.
- [5] D. J. Bartolomé, R. Posado, R. Bodas, M. J. Tabernero de Paz, J. J. García, and S. Olmedo, “Caracterización del consumo eléctrico en las granjas de vacuno lechero de castilla y león,” *Arch. Zootec.*, vol. 62, no. 239, pp. 447–455, 2013.
- [6] T. Canala, “Especificación y selección de generadores para uso industrial: emergencia, autogeneración y cogeneración.”
- [7] J. Constante Segura and E. Palacios Chacón, *El Recurso Solar Para Generación De Energía*. 2014.
- [8] W. E. Outlook, “World Energy Outlook.” .
- [9] Á. A. B. Rújula, *Sistemas fotovoltaicos*. Prensas Universitarias de Zaragoza, 2009.
- [10] G. F. Velasco and E. Cabrera, “Generación solar fotovoltaica dentro del esquema de generación distribuida para la provincia de Imbabura,” *Esc. Politécnica del Ejército-Maestría en Energías Renov.*, pp. 1–7, 2009.
- [11] J. Aguilera, L. Hontoria, and F. J. Muñoz, “Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autonomos,” *Univ. Jaén*, p. 338, 2012.
- [12] J. B. Copetti and M. H. Macagnan, “Baterias Em Sistemas Solares Fotovoltaicos,” *Congr. Bras. Energ. Sol.*, p. 10, 2007.
- [13] A. N. D. E. L. ECUADOR, “Registro Oficial: Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica,” pp. 1–28, 2015.
- [14] V. Vermeulen, J. M. Strauss, and H. J. Vermeulen, “Optimisation of solar PV plant locations for grid support using genetic algorithm and pattern search,” *PECON 2016 - 2016 IEEE 6th Int. Conf. Power Energy, Conf. Proceeding*, pp. 72–77, 2017.
- [15] L. F. Grisales, B. J. Restrepo Cuestas, and F. E. Jaramillo, “Ubicación y dimensionamiento de generación distribuida: una revisión TT - Location and

- sizing of distributed generation: a review,” *Cienc. e Ing. Neogranadina*, vol. 27, no. 2, pp. 157–176, 2017.
- [16] H. E. A. Talaat and E. Al-Ammar, “Optimal allocation and sizing of distributed generation in distribution networks using genetic algorithms,” *Proceeding Int. Conf. Electr. Power Qual. Util. EPQU*, pp. 14–19, 2011.
- [17] S. Rubiños, “Generación distribuida mediante energías renovables como factor de sostenibilidad de las redes eléctricas de distribución,” Universidad Nacional del Callao, 2013.
- [18] I. E. Pereda Soto, “Celdas Fotovoltaicas En Generacion Distribuida,” *Pontif. Univ. Catol. Chile*, p. 173, 2005.
- [19] 50061. General Motors, Motors, G., & Europe, W. (2016). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析 Title, 2015(June) and W. Europe, “Evaluación de factibilidad de implementar generación distribuida fotovoltaica que permita aumentar la cobertura y confiabilidad de energía en sectores rurales del operador de red,” vol. 2015, no. June, p. 50061, 2016.
- [20] P. T. Salazar and J. D. Rivera, “Diseño Preliminar De Un Sistema Híbrido De Suministro De Energía Doméstica Para Una Comunidad Aislada En Base Al Modelado En El Software HOMER,” *Esc. Super. Politécnica del Litoral*, no. 1, p. 8, 2009.
- [21] J. P. Muñoz-Vizhñay, M. V. Rojas-Moncayo, and C. R. Barreto-Calle, “Incentivo a la generación distribuida en el Ecuador,” *Ingenius*, no. 19, pp. 60–68, 2018.
- [22] J. Driesen and R. Belmans, “Distributed generation: Challenges and possible solutions,” *2006 IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meet. PES*, pp. 1–8, 2006.
- [23] F. N. ; T. I. ; K. E. ; S. K. ; Y. Shiota, “Modeling and operation of a 10 kW photovoltaic power generator using equivalent electric circuit method,” *IEEE Electr. Insul. Mag.*, 2000.
- [24] B. W. W. Jhon, “Investigation of ground-fault protection devices for photovoltaic power system applications.”
- [25] Xiaofeng Zhang, F. Soudi, D. Shirmohammadi, and C. S. Cheng, “A distribution short circuit analysis approach using hybrid compensation method,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 10, no. 4, pp. 2053–2059, Nov. 1995.

- [26] L. Söder, T. Ackermann, and G. Andersson, “Distributed generation: a definition,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 57, no. 3, pp. 195–204, 2001.
- [27] A. M. Borbely and J. F. Kreider, *Distributed Generation: The Power Paradigm for the New Millennium*. CRC Press, 2001.
- [28] B. Said, B., Messaoud, H., Aek, S., Roca I Cabarrocas, P., Bourouis, M., Alberto, C., Med Seghir, “Hybrid system and environmental evaluation case house in south of Algeria.,” 2013.
- [29] K. Balamurugan, D. Srinivasan, and T. Reindl, “Impact of distributed generation on power distribution systems,” *Energy Procedia*, vol. 25, pp. 93–100, 2012.
- [30] C. Fuentes, “Análisis Probabilista del Impacto de la Generación Distribuida de Energía Eléctrica en Pérdidas en Redes de Distribución,” p. 132, 2010.
- [31] Proviento, “Precios.” .
- [32] Y. Julio and C. Eduardo, “ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN EL SISTEMA ELÉCTRICO ECUATORIANO,” Escuela Politécnica Nacional, 2011.
- [33] F. Vanek and L. Albright, *Energy Systems Engineering: Evaluation and Implementation*. McGraw-Hill Education, 2008.
- [34] Ecured, “Radiaicon Solar.” .
- [35] W Fonseca, “MODELAMIENTO DE CENTRALES FOTOVOLTAICAS EN DIGSILENT POWER FACTORY, CONSIDERANDO MECANISMOS DE CONTROL DE POTENCIA ACTIVA Y REACTIVA,” p. 93, 1393.
- [36] M. de E. y R. N. N. Renovables, “Fondo de electrificación rural y urbano marginal (FERUM).” .
- [37] Olade, “La Electrificación rural en el Ecuador.”
- [38] S. Seme, N. Lukač, B. Štumberger, and M. Hadžiselimović, “Power quality experimental analysis of grid-connected photovoltaic systems in urban distribution networks,” *Energy*, vol. 139, pp. 1261–1266, 2017.
- [39] K. K. Prajapat, A. Katariya, A. Kumar, and S. Shukla, “Simulation and testing of photovoltaic with grid connected system,” *Proc. - 2011 Int. Conf. Comput. Intell. Commun. Syst. CICN 2011*, pp. 692–697, 2011.
- [40] B. Decker and U. Jahn, “Performance of 170 grid connected PV plants in Northern Germany—Analysis of yields and optimization potentials,” *Sol. Energy*, vol. 59, no. 4, pp. 127–133, 1997.

- [41] P. Puig and M. Jofra, “Energía Solar Fotovoltaica,” *Energías Renov. para todos*, 2007.
- [42] J. ROLDÁN VILORIA, *Montaje mecánico en instalaciones solares fotovoltaicas*. Paraninfo, 2013.
- [43] R. Martin Lamaison, “Apuntes Energía Solar Fotovoltaica: Radiación Solar.” .
- [44] A. de R. y C. H. del Ecuador, “Precios combustibles.” .
- [45] B. C. del Ecuador, “Tasas de interes.” .
- [46] G. Peralta and C. Alberto, “Diseño e implementación de un sistema de respaldo fotovoltaico con posicionamiento de un grado de libertad, para la iluminación del departamento de logística del campamiento de la empresa telconet S.A. sede Guayaquil.” 2016.
- [47] Erenovable, “Tipos de Energia Renovable.” .
- [48] E. S. Fotovoltaica, “Energia Solar Fotovoltaica: El Inversor.” .
- [49] A. Cardozo Piña and C. Prado, “Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada Carlos Roberto Prado Mora Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada,” *Univ. Nac. Autónoma México*, p. 111, 2008.
- [50] Instituto para le Diversificación y Ahorro de la Energía, “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red,” *IDAE febrero*, 2009.
- [51] H. G., “Instalación Hibrida Fotovoltaica - Grupo Electrógeno para el suministro eléctrico de riego agrícola,” Universidad Politécnica de Cartagena, 2016.
- [52] “Datos meteorológicos y software para invertir en energía solar.” .

ANEXOS

Anexo 1: Encuesta realizada por la EEQ para determinar el consumo de energía eléctrica en usuarios residenciales aislados.



EMPRESA ELECTRICA QUITO – GPE - DPEREE

ENCUESTA A USUARIOS DOMESTICOS Y NO DOMESTICOS SIN SERVICIO ELECTRICO

FECHA DE LA VISITA: _____ No. _____ No.GPS _____

1. IDENTIFICACIÓN DEL BENEFICIARIO:

NOMBRE: Lucas Humberto Bozo Baiz

COMUNIDAD A LA QUE PERTENECE: Guarumal CI: 040034130-1

2. DATOS DE LA VIVIENDA DEL BENEFICIARIO:

SOLO VIVIENDA VIVIENDA Y COMERCIO _____ SOLO COMERCIO _____

ESCUELA _____ COLEGIO _____ AULA COMUNITARIA _____

IGLESIA _____ OTRO _____

NUMERO DE AMBIENTES: _____ No. DE HABITANTES 6

MAYORES A 18 AÑOS MENORES DE 18 AÑOS _____

MATERIALES CON QUE ESTA CONSTRUIDA LA VIVIENDA:

PISO: Hadera PAREDES Hadera TECHO: Sing

VIVIENDA UBICADA EN EL CENTRO: _____ FUERA DEL CENTRO:

ACCESO A LA VIVIENDA: camino de herradura

3. INGRESOS FAMILIARES:

FUENTES DE INGRESO	SELECCIONAR LA O LAS FUENTES DE INGRESO
AGRICULTURA	<u>Agricultura</u>
TURISMO	
ARTESANIA	
PESCA	
EMPLEO PRIVADO	INSTITUCION:
EMPLEO PUBLICO	INSTITUCION:
COMERCIO	

4. APARATOS QUE PIENSA ADQUIRIR Y A QUE PLAZO CON CONSUMO ESPERADO:

EQUIPO	CANTIDAD	HORAS/DIA	ENSEGUIDA	AÑO 2	AÑO 3
FOCOS	<u>10</u>		<input checked="" type="checkbox"/>		
SOLO RADIO	<u>1</u>		<input checked="" type="checkbox"/>		
TV B/N					
TV COLOR	<u>1</u>		<input checked="" type="checkbox"/>		
DVD	<u>1</u>				
RADIO - GRABAD	<u>1</u>				
REFRIGERADOR	<u>1</u>	<u>24</u>		<input checked="" type="checkbox"/>	
VENTILADOR					
LICUADORA	<u>1</u>		<input checked="" type="checkbox"/>		



5. USOS PRODUCTIVOS

Piensa desarrollar alguna actividad productiva con la llegada de la electricidad:

SI NO Indicar la actividad productiva que piensa desarrollar:

	EL PRIMER AÑO	AL CONTAR CON LUZ	MAS TARDE
Tipo de actividad	Crianza de animales menores	Venta procesada	
Tipo de equipo eléctrico requerido	Procesador de pollos	Frigorífico	

6. SELECCIONE LOS IMPLEMENTOS QUE UTILIZA COMO FUENTE DE ENERGIA HOY

IMPLEMENTO	CANTIDAD	CUANTO GASTA A LA SEMANA	CUANTO GASTA AL MES	OBSERVACIONES
VELAS	1 paquete	1,50	6,00	
PILAS	1 pila	1,00	4,00	
MECHEROS	1			
DIESEL	1	0,50	2,00	
GASOLINA				
OTRO				

7. VOLUNTAD DE PAGO POR UN NUEVO SERVICIO:

CUANTO ESTA DISPUESTO A PAGAR SU FAMILIA POR TENER UN SERVICIO ELÉCTRICO DE MEJOR CALIDAD QUE EL ACTUAL AL MES: 2,00 LA SEMANA: _____ CADA QUE VENDE SUS PRODUCTOS: _____ OTRA ALTERNATIVA: _____

8. VOLUNTAD DE PAGO POR CONSUMOS COMUNITARIOS:

ESCUELA, BOMBA DE AGUA, AULA COMUNITARIA, INTERNET, IGLESIA, ETC.

ESTA DISPUESTO A PAGAR SI CUANTO _____ NO

QUIENES DEBEN PAGAR Todos los que utilizan el servicio

9. POSIBLE FUENTE DE ENERGIA

SOLAR HIDRAULICA _____ EOLICA _____ OTROS _____

OBSERVACIONES: _____

Anexo 2. Cotización sistema fotovoltaico para una demanda de 2722 Wh/día, proporcionado por la empresa PROVIENTO S.A.



PROVIENTO S.A. Energías Renovables Ecuador			
RUC: 1791819446001			
Proforma #:	228-0720	Fecha:	28-jul-20

Estimado Byron:

A continuación la proforma de UN sistema fotovoltaico para una demanda de 2722Wh/día con UN inversores de 1.5KW, para cargas 120VAC.

Datos del cliente:

Nombre/Razon Social:	Byron Prado
Atención:	
Dirección:	Quito

Proforma por:

Equipos Medición:		Equipos Generación:		X		Servicios internos:		Servicios externos:		
Cantidad:		Descripción Item:						Valor (USD)		
#	En Stock							Unidad	Total	
3	Pcs	30	Panel Solar Monocristalino ECO GREEN 365W/24VDC Potencia: 365Wp / 0...+ 5% Configuración: 156x156mm Módulos: 6x12 Voltaje circuito abierto/óptimo: 47,3/39,46V Corriente cortocircuito/óptimo: 9,62/9,25A NOCT: 45°C +/-2°C Eficiencia modulo: 18,81% Max. Voltaje String: 1000VDC Diodos Bypass: SI Dimensiones: 1956 x 992 x 40 mm Peso: 22,8 kg Certificaciones: IEC, TUV, CE Garantía técnica: 12 años Origen: China  						220.00	660.00
1	Pcs	2	Controlador MORNINGSTAR EcoPulse 30M Voltaje 12/24 VDC Corriente 30 A Tecnología: PWM Con LVD (low Voltage Disconnect) Con tres LEDs para el estado de batería Con una LED que indica la recarga Todas las protecciones eléctricas Selector para encendido automático Equipo Tropicalizado y de estado sólido Diseño EE.UU. 						180.00	180.00
1	Pcs	2	Inversor ZONHAN 1500W/24VDC/120VAC Potencia nom: 1500 W (continua) Potencia max: 3000 W (2seg) Voltaje Entrada: 24 VDC (baterías) Voltaje Salida: 120VAC Eficiencia 80% Frecuencia: 60Hz sinusoidal pura Uso continuo 24/7 País: China 						310.00	310.00
6	Pcs	3	Bateria SBB GEL 100Ah12Vdc La mejor batería para sistemas fotovoltaicos por el mejor rendimiento que baterías AGM, con casi el doble de ciclos. Voltaje: 12 VDC Capacidad: 100 Ah@10h Tipo: GEL descarga profunda Libre mantenimiento. Ciclos 2400 DOD30% Dimensiones: 330x173x217 mm Peso: 31 Kg  						250.00	1,500.00

3	Pcs	0	Estructura de soporte paneles solares Estructuras en HIERRO GALVANIZADO para instalación en piso. Material menor, pernos, tuercas, etc.		120.00	360.00
6	Pcs	0	Soporte de baterías Soporte para baterías en hierro galvanizado. Con pintura anticorrosiva.		20.00	120.00
1	Glb	0	Gabinete conexionado 60x40x20 cm Gabinete eléctrico para conexionado de controlador, protecciones, precableado, etc.		150.00	150.00
1	Glb	0	Material de conexionado Material menor de conexionado		140.00	140.00
1	Glb	0	Instalación Transporte, instalación y puesta en marcha		600.00	600.00
					SUBTOTAL:	4,020.00
					Descuento: -10.0%	-402.00
					SUBTOTAL:	3,618.00
					IVA 12%	434.16
					VALOR TOTAL (USD):	4,052.16

Información adicional:

Condiciones de Pago:	70% como anticipo y 30% contra entrega, 100% para despacho
Garantía:	Garantía técnica de 1 año
Tiempo de entrega:	Equipos en stock entrega inmediata, 2 semanas para construcción de estructuras y nuevo stock a finales de agosto.
Lugar de entrega:	Instalación en Pichincha
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 3 Cotización sistema fotovoltaico para una demanda de 2722 Wh/día, proporcionado por la empresa Helios Strategia Ecuador



GENERADORA HELIOSTRATEGIA DEL ECUADOR C.A
Calle Mariano Paredes y Pasaje N72A
Sector Ponceano Alto - QUITO - ECUADOR
alexandre.gay@heliostrategiaecuador.com
+ 593 9 83 57 01 50
RUC : 1792571405001

Referencia cliente

00163 / PRADO GAIBOR BYRON XAVIER

Proforma de pedido N°

2007EC-0011

Dirección de Entrega
A DETERMINAR

Dirección de Facturación
PRADO GAIBOR BYRON XAVIER Av.Galo
Plaza Lasso y Bellavista PICHINCHA,
QUITO RUC: 1722307095

Observaciones / Referencias

KIT SOLAR AUTONOMO 0,84KWP/3KVA/4,8KWH - ENTREGA EN 6 A 8 SEMANAS

Teléfono

0987922293

Fecha:

2020-07-29

Contacto: Alexandre Gay

+593 9 83 57 01 50 0000077
alexandre.gay@heliostrategiaecuador.com

Forma de pago:

60% A LA ORDEN, 30% A ENTREGA DEL MATERIAL, 10% PUESTO EN MARCHA

Item	Descripción	Cant.	P.U sin IVA	Valor sin IVA
2.16.11	Kit solar fotovoltaico Off Grid 0,84 kWp/3KVA/4,8KWH Kit solar fotovoltaico Off Grid 0,84 kWp/3KVA/4,8KWH: - 3 paneles solares de 280Wp - 1 inversor AC/DC Hbrido 220VAC/3KVA/24VDC - Cable DC 4mm ² - Cable de tierra 6mm ² - Sistema de integración de los paneles - Conectores MC4 - 2 baterías GEL de 12V/200Ah - Cable de baterías 25mm ² - Breaker de protección AC Y DC - Fusibles de protección de baterías - Convertidor 5KVA 110/220VAC monofasico	Total = 1	3.699.00	3.699.00
2.10.8	Opción : Instalación eléctrica y mecánica kit solar Off Grid -Instalación de los paneles FV -Instalación estructuras soportes -Instalación inversores Off Grid - Instalación de las baterías -Alquiler de todas las máquinas necesarias para la instalación - Herramientas, equipo de protección personal, etc. -Canaleta para el camino de los cables - Trabajos de conexión DC -Trabajos de conexión de la tierra -Trabajos de conexión hasta el tablero general + Breaker de protección -Trabajos de conexión de los inversores y baterías	Total = 1	910.00	910.00
1.12	TRANSPORTE NACIONAL BODEGA / CLIENTE	Total = 1	0.00	0.00

IVA	Valor sin IVA	Valor con IVA
12%	\$4,609.00	\$4,718.20

Beneficiario: GENERADORA HELIOSTRATEGIA DEL ECUADOR C.A
Número de cuenta: 7634242
Swift Code: PACIECEG
Banco: Banco del Pacifico
Direccion: Banco del Pacifico
Avenida Mariano Acoste , plaza shopping
center, Ibarra , Ecuador

Subtotal sin IVA \$4,609.00
Total IVA 12% \$109.20
Valor Total \$4,718.20

**Anexo 4: Cotización sistema fotovoltaico para una demanda de 2722 Wh/día,
proporcionado por la empresa Renova Energía**



Cotización

Fecha: 29/07/2020 11:07:45 RENOVAENERGIA S.A. RUC: 1792187567001 Pasaje S. Melo OE1-37 y Av. Galo Plaza Lazo Quito - Ecuador Tlf: (593 2) 2403643 Ext. 101 y 102 Celulares: 0987000710, 0987593688 Email: info@renova-energia.com www.renova-energia.com	Proforma: RNV-OF-UIO-12257-29072020 Cliente: Gabriela Prado Ruc: Dirección: Email: byronp46@hotmail.com Teléfono: Celular: 0987922293
---	--

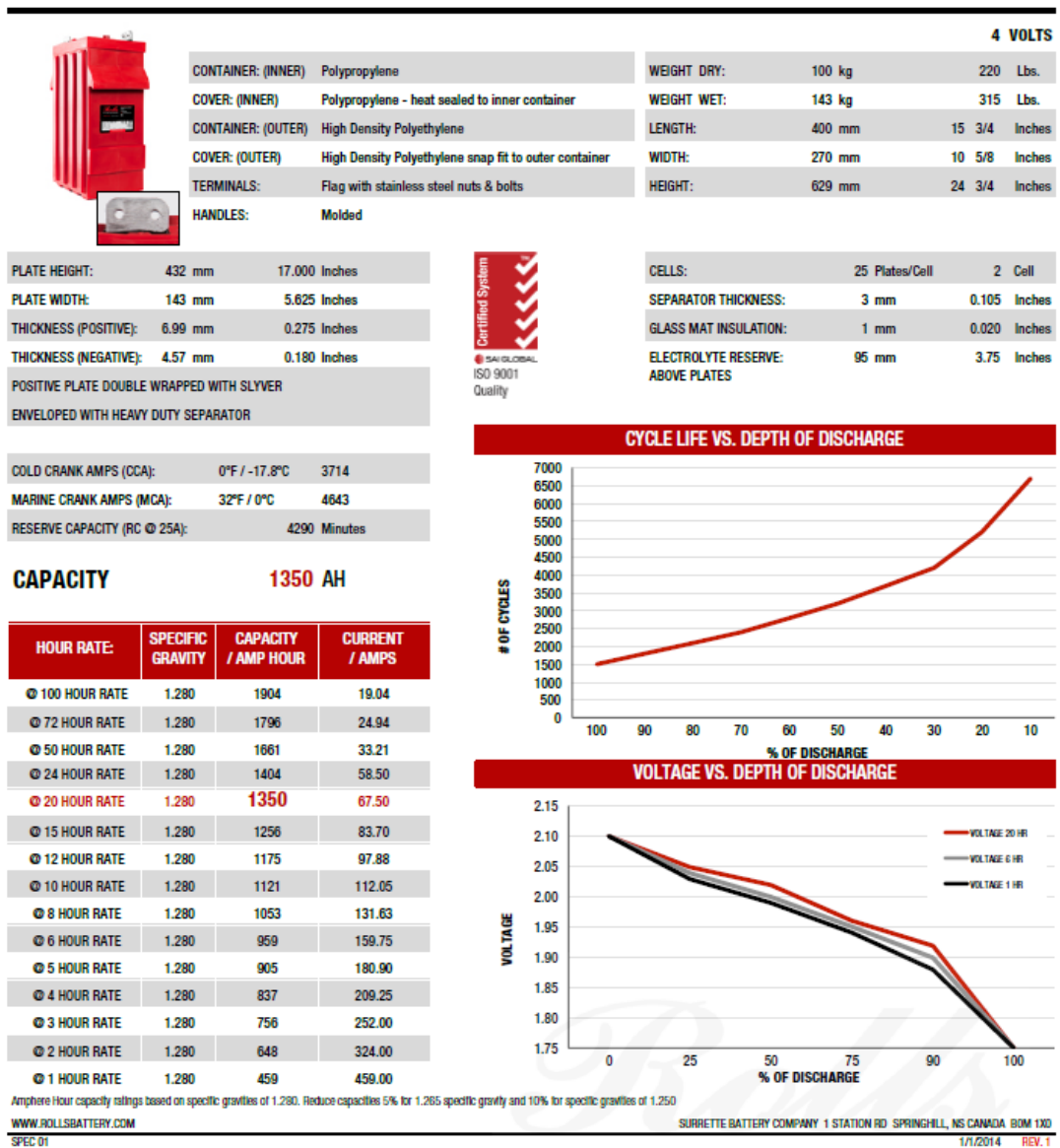
Oferta Económica

Equipo	Código y Modelo	Cantidad	P.Unitario	P. Con Iva	Subtotal	Total (+IVA)	
Paneles	MD089 - JINKO SOLAR Cheetah HC JKM400M-72H-V, 0, 400Wp	4.00	\$197.16	\$197.16	\$788.64	\$788.64	
Reguladores Prof.	RP046 - Victron Energy BlueSolar MPPT 150/35 (12/24/36/48V-35A) SCC115035210	1.00	\$421.47	\$472.05	\$421.47	\$472.05	
Baterías	BT134 - Batería Aokly 12V 200AH, 200Ah@20h 6GFM200G GEL	4.00	\$480.38	\$538.03	\$1921.52	\$2152.12	
Inversores	IN055 - Victron Energy Phoenix Inverter 48/1200-120V NEMA 5-15R PIN481220500	1.00	\$853.34	\$955.74	\$853.34	\$955.74	
Son: CUATRO MIL TRESCIENTOS SESENTA Y OCHO DOLARES 55/100					Totales	\$3984.97	\$4368.55

Anexo 5: Hoja de características de la batería 4KS25P

Batería colocada en el software Homer

4 KS 25P



Batería Sunbright Power que se puede encontrar en el mercado ecuatoriano

6-GFM(G)-100Ah Gel Battery Specification

We are an ISO9001 certified organization. And the products are approved by CE & UL. The nominal voltage of this series is 12V. And the capacity ranges from 33Ah to 250Ah. Their typical applications include: emergency lighting systems, electricity power supply systems, communication systems, UPS systems, starting systems, solar systems etc.

Battery Construction

Component	Material
Positive plate	Lead dioxide
Negative plate	Lead
Container	ABS
Cover	ABS
Safety valve	Rubber
Terminal	Copper
Electrolyte	Gelled acid

General Features

Maintenance free
Convenient for installation
Safety and no leakage
Excellent recharge and discharge performance
Low self-discharge rate, charge each standby 6 months, temperature 25℃
Adapt to high or low temperature
Good deep discharge performance
Longer cycle life
UL approval

Performance Characteristics

1.Dimension and weight

Length	330mm
Width	173mm
Height	217mm
Total Height	222mm
Reference Weight	30.8kg

5.Charge Method: constant-voltage charging at 25℃ (77° F)

Cyclic use	14.4~14.9V
Maximum charging current	25A
Temperature Compensation	-30mV/℃
Float Use	13.8~13.8V
Temperature Compensation	-20mV/℃

2.Functional Parameter

Rated Voltage	12V
Numbers of cells	6 Cells
Designed Life	10~12 Years

6.Environment Temperature Requirements

Discharge Temperature	-20~60℃
Charge Temperature	0~50℃
Storage Temperature	-20~60℃

3.Rated Capacity at 25℃ (77° F)

10 hr rate (0.1C, 10.8V)	100Ah
3 hr rate (0.25C, 10.8V)	74.6Ah
1 hr rate (0.55C, 10.5V)	56.8Ah

7.Inner Resistance&Max. Discharge Current

A fully charged battery at 25℃ (77° F)	5mΩ
Max. Discharge Current	1500A (5s)
Short Circuit Current	5000A

4.Capacity affected by Temperature (10hour rate)

40℃ (104° F)	103%
25℃ (77° F)	100%
0℃ (32° F)	85%
-15℃ (5° F)	65%

8.Self-discharge

3% Of the capacity per month at 25℃ (77° F)	
Capacity after 3 month storage	91%
Capacity after 6 month storage	82%
Capacity after 12 month storage	64%

Dimensions (mm)



3D Model Review

Constant-current discharge parameter Unit: A (25℃)

F.V/Time	20min	30min	45min	1h	2h	3h	5h	6h	8h	10h	20h
1.80V/cell	109.49	83.84	63.16	52.88	32.88	24.86	17.40	14.58	11.64	10.00	5.42
1.75V/cell	123.05	92.20	68.25	56.61	34.92	26.21	18.08	15.03	11.98	10.17	5.54
1.70V/cell	132.54	98.76	72.43	59.89	36.95	27.34	18.64	15.59	12.32	10.43	5.60
1.65V/cell	137.97	102.60	75.03	62.15	37.97	28.14	18.98	15.82	12.54	10.55	5.66
1.60V/cell	149.49	109.83	80.56	65.99	39.44	29.27	19.66	16.27	12.77	10.77	5.74

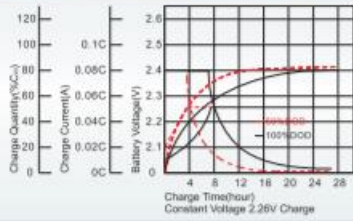
Constant-current discharge parameter Unit: A (25℃)

F.V/Time	20min	30min	45min	1h	2h	3h	5h	6h	8h	10h	20h
1.80V/cell	206.78	160.00	121.47	102.49	63.95	48.47	34.24	28.70	23.05	19.89	10.81
1.75V/cell	229.83	174.46	130.40	109.04	67.57	51.07	35.48	29.72	23.73	20.23	11.02
1.70V/cell	244.97	185.20	137.51	114.80	71.30	52.99	36.50	30.62	24.41	20.68	11.14
1.65V/cell	252.09	190.40	141.36	118.42	72.77	54.46	37.06	31.07	24.75	20.90	11.24
1.60V/cell	270.17	201.92	150.73	125.08	75.37	56.38	38.19	31.75	25.08	21.36	11.41

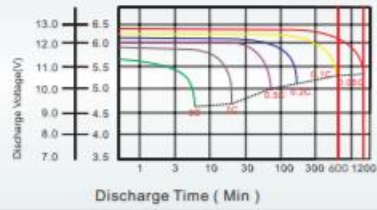


6-GFM(G)-100Ah Gel Battery Specification

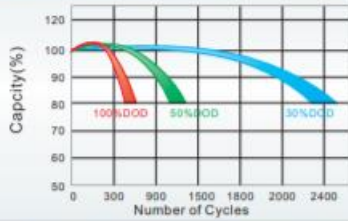
Charge Characteristics for Float Use @ 25°C/77°F



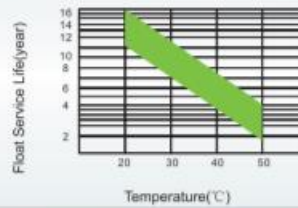
Discharge Characteristics at Various Rates @ 25°C/77°F



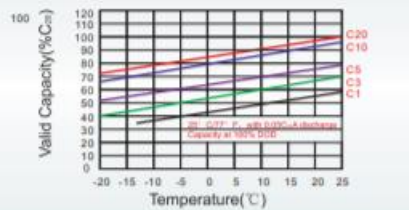
Cycle Life in Relation to Depth of Discharge



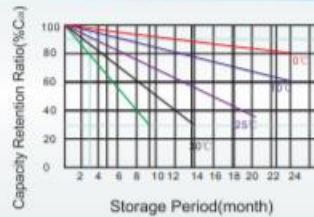
Float Service Life



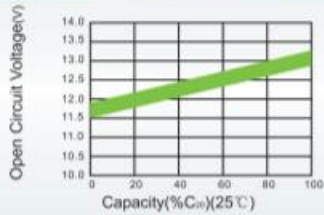
Temperature and Valid Capacity



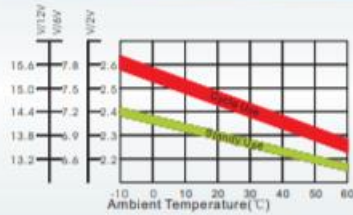
Self Discharge Characteristics



Capacity and Open Circuit Voltage



Relationship between Charging Voltage and Temperature



EDITION 2014



SUNBRIGHT POWER CO.,LTD.
 ADD: No. 18, Keji Road, Science & Technology Industry Zone, Ninghai, Zhejiang, China, 315600
 Tel: +86-574-88111982 Fax: +86-574-56655050
 E-mail: sale@sbb-battery.com
 Http://www.sbb-battery.com

Anexo 6: Hoja de características del panel fotovoltaico colocado en el caso de estudio

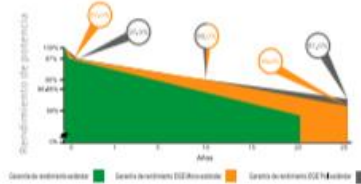


CERTIFICADOS

IEC 61215 / IEC 61730 / CE
ISO 9001:2015

GARANTÍA DE RENDIMIENTO LINEAL

12 años de garantía del producto - 25 años de garantía de potencia lineal



Los módulos fotovoltaicos de Eco Green Energy son fabricados solo con celdas grado A, con una alta eficiencia y garantía de 25 años de potencia.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES



Celdas de 5 bus bars con una eficiencia hasta 22.8 %



Caja de control IP65 o IP67 con resistencia al agua para una larga durabilidad



Marco de aluminio de alta calidad, puede resistir carga hasta 5400 Pa y presión del viento hasta 2400 Pa



Vidrio templado de bajo hierro brindando alta transmisividad



Alto rendimiento en ambientes de poca luz



Doble prueba EL antes y después de laminación



25 AÑOS GARANTÍA DE POTENCIA LINEAL



12 AÑOS GARANTÍA DEL PRODUCTO

INFORMACIÓN ELÉCTRICA EN STC*

Potencia máxima (Pmax)	365 W
Tolerancia de potencia	0~+5 W
Eficiencia del módulo	18,81 %
Máxima capacidad de voltaje (Vmp)	39,46 V
Máxima capacidad de corriente (Imp)	9,25 A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	47,30 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	9,62 A

*Condiciones Estándar de Medida: Radiación: 1000 W/m² · Temperatura de las celdas: 25°C · AM: 1.5

INFORMACIÓN ELÉCTRICA EN NOCT*

Potencia máxima de salida (Pmax)	272,15 W
Capacidad máxima de voltaje (Vmp)	36,99 V
Capacidad máxima de corriente (Imp)	7,35 A
Voltaje de Circuito Abierto (Voc)	43,87 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	7,82 A

*Temperatura Nominal de Operación de la Celda: Irradiación: 800W/m² · Temperatura ambiente: 20°C · AM: 1.5 · Velocidad del viento: 1m/s

CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA

NOCT	45 °C ±2 °C
Coefficiente de temperatura de Pmax	-0,39%/°C
Coefficiente de temperatura de Voc	-0,31%/°C
Coefficiente de temperatura de Isc	+0,06%/°C

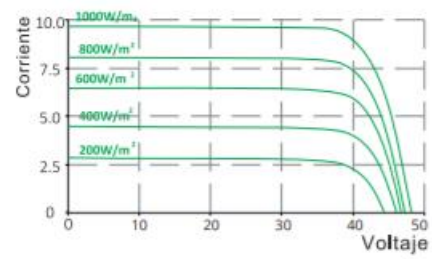
RANGO MÁXIMO

Rango de temperatura de operación	-45°C ~+85 °C
Máximo voltaje del sistema	1500 V
Rango máximo de capacidad del fusible	15 A
Máxima carga frontal (ejem. nieve)	5400 Pa
Máxima carga posterior (ejem. viento)	2400 Pa

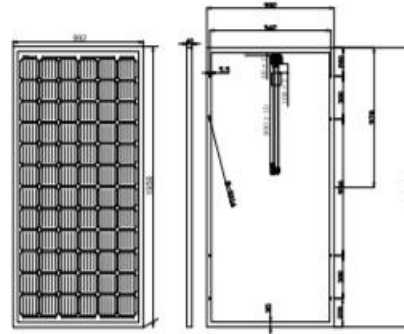
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Tipo de celdas	Monocristalino (156x156mm)
Número de celdas	72
Dimensiones	1956x992x40 mm
Peso	22,8 kg
Vidrio	3,2 mm vidrio templado
Marco	Aleación de aluminio anodizado
Caja de control	IP67
Cable	0,9 m
Conector	MC4 o MC4 compatible

CURVA I-V



DISEÑO DE INGENIERÍA



EMBALAJE

Tipo	Pzas	Peso
Paleta	26 pzas	622,8 kgs
Contenedor 20GP	300 pzas	7,2 t
Contenedor 40GP	624 pzas	14,9 t
Contenedor 40HQ	696 pzas	16,7 t

Anexo 7: Hoja de características del inversor colocado en el caso de estudio

PRODUCT EXPOSURE

THE THIRD GENERATION

Pure sine wave inverter

Start the revolution of the inverter

- 100% full power
- No waveform distortion
- High conversion efficiency Strong anti-interference performance
- Simple operation strong frequency and voltage stabilization functions
- Automatic protection function more than 10 years of Service life









THE CHOICE/MODEL/MEANING OF THE INVERTER

WHAT IS THE INVERTER ?
 Inverter is a device which converts 12v/24v/48v DC power (battery, accumulator jar) into 220v 50Hz/60Hz AC power (pure sine wave/square wave) and it is widely used in office, communications, leisure and entertainment .

TYPES OF INVERTER ?
 Inverters can be classified by waves: one is pure sine wave inverter and another one is modified square (our company called modified sine) wave inverter. Pure sine wave inverter can provide high quality AC power and run any loads (like inductive appliance and resistive appliance) with no electromagnetic interference but high cost. Modified sine wave inverter can meet most of our electricity demand. It is high efficiency, low noise and cheap price, but it only runs resistive appliance.
 Inverter can be classified by usage as following: solar inverter, inverter with charger, household inverter, car inverter etc.

PROTECTION FUNCTION

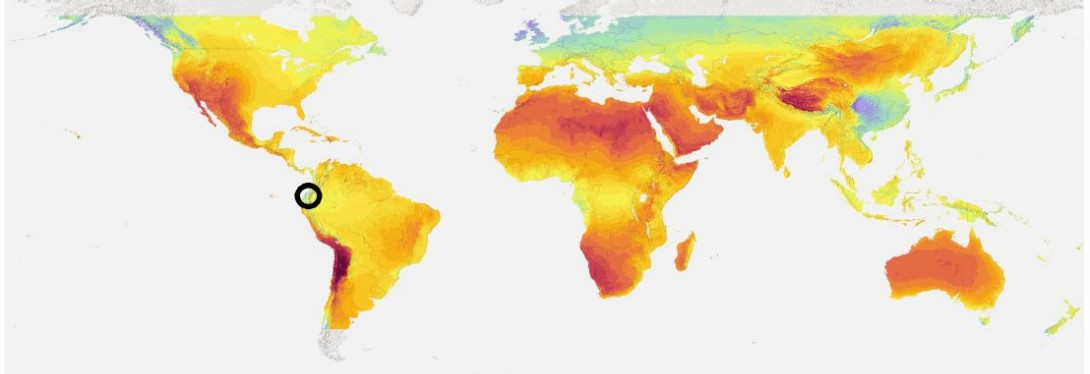


OLD AND NEW PERFORMANCE CONTRAST



Model : TW-1500		TW-1500-12V	TW-1500-24V	TW-1500-48V
AC Output	Continuous power:	1500W		
	Surge power:	3000W		
		120%<load<load</load		
		150%<load<load</load		
	Output Waveform	Pure Sine Wave (THD < 3%)		
	Output Frequency	50Hz±0.1% or 60Hz±0.1% (Optional)		
AC Output Voltage	100~120VAC / 200~240VAC (Optional)			
DC Input	DC Input Voltage	12V DC	24V DC	48V DC
	Voltage Range	10.8V-15.5V	21.6V-31V	43.2V-62V
	Low Voltage Alarm	10.8V± 0.2V	21.6V±0.4V	43.2V±0.8V
	Low Voltage Shut down	10.2V±0.2V	20.4V±0.4V	40.8V±0.8V
	Over Voltage Shut down	15.5V±0.2V	31V±0.4V	62V±0.8V
Converting Max. Efficiency		90% (Full Loading) / 95% (1/3 Loading)		
No Load Consumption		<0.8A	<0.4A	<0.2A
Protection	Over Thermal:	Shut Off Output Automatically, Temperature >75°C		
	Short circuit protection:	Reverse Polarity (External Fuse)		
	Cooling Fan automatically run	Temperature ≥45°C		
Environment	Working temperature	-10°C~+50°C		
	Working humidity	20%~90% RH Non-Condensing		
	Storage Temperature Range	-30°C~+70°C		
LED Indicator Light		Inverter, Fault		
Packing	Inner Box Dimensions (mm)	315*195*135mm		6pcs /Carton
	Inner Box Weight (kg)	2.6 kg		
	Carton Dimensions (mm)	420*340*460 mm		
	Carton Weight (kg)	16 kg		

Anexo 8: Reporte de características geográficas del emplazamiento del caso de estudio



Evaluación preliminar de la producción eléctrica fotovoltaica

Proyecto: Santo Domingo de los Tsáchilas (Ecuador)

Coordenadas geográficas	-0.236921, -78.770000 (-00°14'13", -78°46'12")
Número de informe	P-15295-191120-1713
Informe generado	20 Nov 2019
Generado por	Solargis
Ciente	UPS

2 Información del proyecto

Nombre del proyecto	Santo Domingo de los Tsáchilas
Dirección	Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador
Coordenadas geográficas	-0.236921, -78.770000 (-00°14'13", -78°46'12")
Zona horaria	UTC-05, America/Guayaquil
Elevación del terreno	2002 metros sobre el nivel del mar
Cobertura del terreno	Cobertura arbórea, hoja ancha, perenne (>15%)
Densidad de población	16 hab./km ²
Azimut del terreno	10°
Pendiente del terreno	16°
Localización en el mapa	https://apps.solargis.com/prospect/map?c=-0.236921,-78.770000,10&s=-0.236921,-78.770000

Figure 2.1: Localización del proyecto

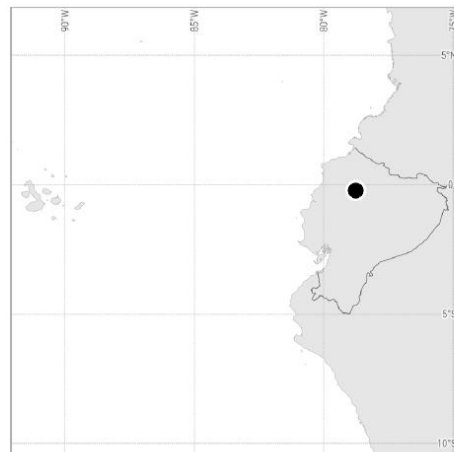


Figure 2.2: Vista de mapa en detalle

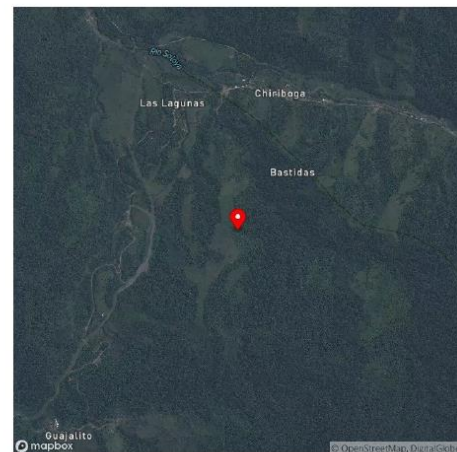


Figure 2.3: Horizonte y trayectoria solar en el sitio

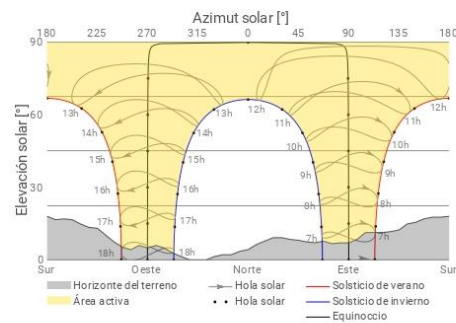


Figure 2.4: Duración del día y ángulo cenital solar

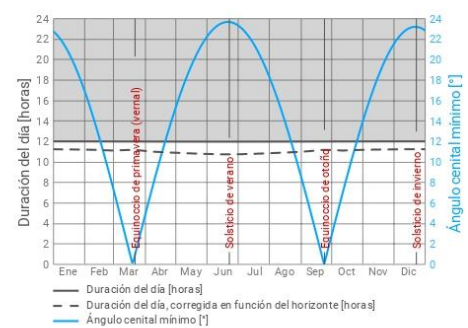


Figure 4.1: Irradiación global y difusa

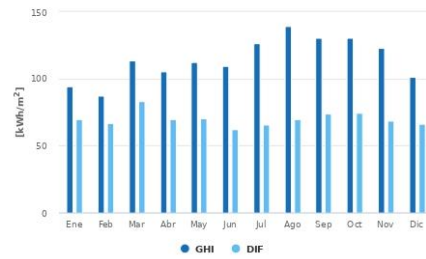


Figure 4.2: Irradiación directa normal

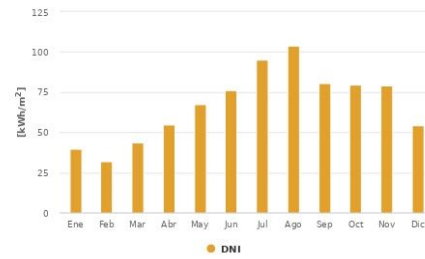


Figure 4.3: Temperatura del aire



Figure 4.4: Ratio entre irradiación difusa y directa

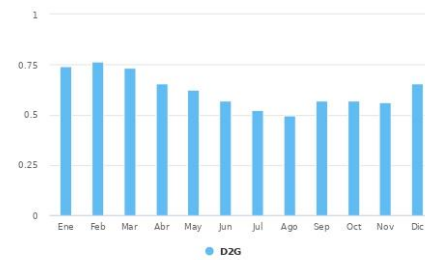


Figure 4.5: Albedo de superficie

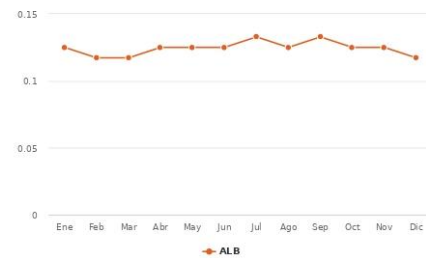


Figure 4.6: Velocidad del viento



Figure 4.7: Humedad relativa

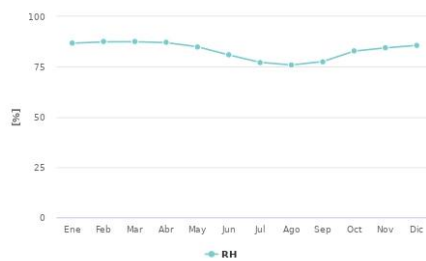
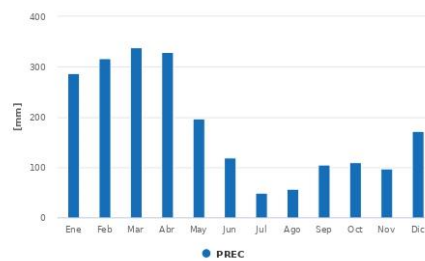


Figure 4.8: Precipitación (lluvia)



5 Producción fotovoltaica: Estadísticas mensuales

Estimación teórica de la producción solar eléctrica generada por una instalación fotovoltaica, sin consideración del envejecimiento y degradación del rendimiento a largo plazo de los módulos fotovoltaicos y otros componentes de la instalación.

Table 5.1: Producción fotovoltaica – promedios a largo plazo

Mes	GTI Sumas mensuales kWh/m ²	GTI Promedios diarios Wh/m ²	PVOUT_total Sumas mensuales kWh	PVOUT_total Promedios diarios Wh	PVOUT_especific Sumas mensuales kWh/kWp	PVOUT_especific Promedios diarios Wh/kWp	PR %
Ene	94	3030	148	4768	74	2384	78.7
Feb	87	3091	136	4850	68	2428	78.5
Mar	115	3696	180	5810	90	2905	78.6
Abr	108	3594	169	5637	85	2819	78.4
May	116	3750	183	5900	91	2950	78.7
Jun	113	3782	179	5960	89	2981	78.8
Jul	131	4214	206	6639	103	3321	78.8
Ago	142	4592	224	7215	112	3608	78.5
Sep	132	4411	208	6924	104	3465	78.5
Oct	131	4211	205	6600	102	3300	78.4
Nov	122	4050	190	6348	95	3177	78.4
Dic	100	3235	158	5080	79	2540	78.6
Anual	1390	3808	2185	5986	1092	2992	78.6

Figure 5.1: Producción fotovoltaica específica



Figure 5.2: Irradiación global inclinada



Figure 5.3: Rendimiento energético (PR)



6 Producción fotovoltaica: Perfiles horarios

Los perfiles de generación eléctrica fotovoltaica, mostrados abajo, se calculan como el valor promedio de todas los datos horarios para cada mes. Los perfiles dan una indicación de los patrones de cambio en la producción eléctrica a causa del tiempo atmosférico y la configuración seleccionada para la instalación fotovoltaica durante el curso de un día. Nótese que el "perfil diario promedio" es un concepto teórico ya que, en la mayoría de casos, el perfil es específico para cada día del año debido a la variabilidad del tiempo atmosférico.

Figure 6.1: Producción eléctrica fotovoltaica específica – promedios horarios

