



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad al servicio del Pueblo

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

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**Análisis de Factibilidad y Diseño de un Sistema Fotovoltaico, para la
Localidad de Coangos del Cantón Limón.**

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

AUTOR: CHRISTIAN ALONSO CONDO PARRA.

DIRECTOR: ING. GERARDO EUGENIO CAMPOVERDE JIMÉNEZ.

MATRIZ CUENCA

2017

DECLARACIÓN

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

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

Christian Alonso Condo Parra

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Christian Alonso Condo Parra, bajo mi supervisión.

Ing. Gerardo Campoverde.

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco a Dios por protegerme y guiarme por el mejor camino, gracias por siempre estar en todas las etapas de mi vida.

Agradezco el apoyo y la confianza que me ha brindado mi madre en cada proceso de mi vida, demostrándome su amor incondicional y corrigiendo cada uno de mis errores.

Agradezco a mis hermanos, no solo por aportar con cosas maravillosa a mi vida si no por esos momentos felices y únicos que solo ellos lo hacen, sin ustedes este título no se hubiese conseguido, sin olvidarme de manera especial a mi hermano Henry de quien he recibido un gran ejemplo de vida, siempre he encontrado un respaldo incondicional en los momentos más difíciles de vida. A quienes les agradezco y les deseo éxito en su vida.

Mi esposa amada gracias por tu paciencia porque hoy hemos alcanzado un logro más ya que mis logros son tuyos, puesto que los dos somos uno solo y a mi bello hijo tú eres mi orgullo y mi motivación a seguir adelante.

DEDICATORIA

A mi querida madre Julia Inés quien con gran esfuerzo ha sabido forjarme con valores y sentimientos los cuales me ayudaron a salir en adelante en los momentos más difíciles.

Dedico de manera especial a mi querido hermano Henry ya que fue el pilar fundamental para la obtención de este título, gracias por haber confiado, brindándome tu apoyo incondicional y muchas veces poniéndote en el papel de un padre incondicional.

Gracias Dios por bendecirme con un gran hermano.

Al hombre que me dio la vida que siempre ha estado aconsejándome y cuidándome desde el cielo.

A mis hermanos Joel y Darwin por sus palabras y compañía, siempre apoyándome y brindarme esos bellos momentos.

A mí querida esposa Martha y mi bello Hijo Jhosue, ustedes son el motor de mi vida, la motivación para superarme, la razón de que me levante cada día a esforzarme por un mañana mejor, por todo eso los amo mucho.

.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN	1
CERTIFICACIÓN	2
AGRADECIMIENTOS	3
DEDICATORIA.....	4
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	5
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABLAS	8
LISTA DE ANEXOS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
CAPITULO I	13
1.1 Objetivos.....	13
1.1.1 Objetivo general	13
1.1.2 Objetivos específicos	13
1.2 Alcance.....	13
1.3 Justificación	14
CAPITULO II	16
2.1 DIAGNÓSTICO SITUACIONAL (PLANTEAMIENTO del problema).....	16
2.1.1 Impacto ambiental que se daría en el sector, con tendido de redes eléctricas aéreas.	16
2.1.2 Suelo, agua y aire.	18
2.1.3 Fauna y flora.	19
2.1.4 Ser humano.....	21
2.1.5 Impactos de los campos eléctricos y magnéticos sobre la salud.	22
2.1.6 Contaminación por ruido.	23
2.1.7 Efectos socioeconómicos y socioculturales.....	24
2.1.8 Teorías existentes del impacto ambiental por el tendido de redes eléctricas aéreas en sectores similares.	25
2.2 Sistema fotovoltaico.....	29
2.3 Marco teórico	30
2.3.1 Funcionamiento de la célula solar fotovoltaica.	30
2.3.2 Parámetros fundamentales de la célula solar.....	32
2.3.3 El panel solar.....	33
2.3.4 Clasificación de los sistemas fotovoltaicos.....	35
2.4 Radiación solar.....	45
2.4.1 Radiación directa.....	45
2.4.2 Radiación difusa	45
2.4.3 Radiación reflejada o albedo.....	46

2.4.4	Energía fotovoltaica en el Ecuador.....	46
CAPÍTULO III	.....	47
DESARROLLO	.....	47
3.1	Radiación solar y la atmosfera.....	47
3.1.1	Radiación solar en el sector.....	47
3.1.2	Inclinación y orientación del panel fotovoltaico.....	48
3.2	Diseños del sistema fotovoltaico.....	49
3.2.1	Adquisición de datos.....	49
3.2.2	Análisis de carga.....	50
3.2.3	Almacenamiento de datos.....	51
3.2.4	Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico.....	54
3.2.5	Simulación.....	57
3.2.6	Estudio del comportamiento del sistema fotovoltaico.....	61
3.3	Evaluación Económica.....	62
CAPÍTULO IV	.....	63
RESULTADOS Y ANÁLISIS	.....	63
4.1	Situación económica para la implementación.....	63
4.2	Ventajas de la energía fotovoltaica.....	64
4.3	Inconvenientes de la energía fotovoltaica.....	65
CAPÍTULO V	.....	66
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	.....	66
Conclusiones	.....	66
Recomendaciones	.....	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	.....	69
ANEXOS	.....	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1: Acceso a la localidad de Coangos	14
Figura 1. 2: Localidad de Coangos	15
Figura 1. 3: Ambiente en Coangos.....	16
Figura 2. 1: Flora y fauna de la comunidad de Coangos Limón	21
Figura 2. 2: Espectro electromagnético.....	23
Figura 2. 3: Condiciones habitacionales en la comunidad	25
Figura 2. 4: Sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica	30
Figura 2. 5: Diseño y funcionamiento de una celda solar de silicio cristalino	31
Figura 2. 6: Lugar en el que se mide la tensión en circuito abierto	32
Figura 2. 7: Circulación de la corriente en cortocircuito.....	32
Figura 2. 8: Especificaciones de un panel fotovoltaico.....	33
Figura 2. 9: Conexión serie paralelo de un arreglo fotovoltaico	34
Figura 2. 10: Instalación conectada a la red.....	36
Figura 2. 11: Aplicaciones de la energía fotovoltaica	37
Figura 2. 12: Sistema de generación de energía fotovoltaica autónoma	38
Figura 2. 13: Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos aislados	39
Figura 2. 14: Ciclos de carga en función de la profundidad de descarga.....	41
Figura 2. 15: Esquema típico de una instalación con inversor	44
Figura 3. 1: Mapa de radiación solar en el Ecuador.....	47
Figura 3. 2: Inclinación de los paneles en relación a los hemisferios.....	48
Figura 3. 3: Condiciones de los habitantes de la localidad de Coangos	49
Figura 3. 4: Estación meteorológica utilizada para la toma de mediciones	52
Figura 3. 5: Radiación solar promedio diaria.....	52
Figura 3. 6: Radiación solar promedio mensual	53
Figura 3. 7: Radiación solar registrada por el INAMHI	53
Figura 3. 8: Radiación solar registrada por el CONELEC	54
Figura 3. 9: Conexión serie paralelo de los paneles fotovoltaicos.....	56
Figura 3. 10: Diagrama unifilar equivalente del sistema fotovoltaico.....	58
Figura 3. 11: Perfil de carga residencial 24h.....	60
Figura 3. 12: Perfil de radiación solar registrado en Coangos para una base comercial	60
Figura 3. 13: Perfiles de generación y carga obtenidos de la simulación.....	61

LISTA DE TABLAS

Tabla 2. 1: Elementos de los medios potencialmente receptores del impacto	17
Tabla 2. 2: Niveles de referencia para la exposición a campos eléctricos y magnéticos de 60 Hz	23
Tabla 2. 3: Niveles máximos de ruido permisibles según el uso del suelo	24
Tabla 2. 4: Efectos generados por el proyecto en fase de construcción y funcionamiento	26
Tabla 2. 5: Efectos potenciales sobre el medio ambiente según la fase del proyecto	27
Tabla 2. 6: Acciones del proyecto a considerar para la evaluación de impactos	28
Tabla 2. 7: Características de diferentes módulos fotovoltaicos	35
Tabla 2. 8: Características principales de las baterías	41
Tabla 3. 1: Demanda de clientes residenciales de Coangos	50
Tabla 3. 2: Resumen de los resultados obtenidos por la simulación	59
Tabla 4. 1: Equipos utilizados	63
Tabla 4. 2: Costo de los equipos	63

LISTA DE ANEXOS

Figuras

Figura 1: Comunidad de Coangos	71
Figura 2: Radiación solar del mes de Julio.....	2
Figura 3: Radiación solar del mes de Agosto.....	2
Figura 4: Radiación solar del mes de Septiembre.....	2
Figura 5: Radiación solar del mes de Octubre	2
Figura 6: Panel solar policristalino Simax.....	3
Figura 7: Inversor Powerstar.....	5
Figura 8: Regulador TriStar TS45.....	6
Figura 9: Batería SBB de descarga profunda.....	7

Tablas

Tabla 1: Mediciones tomadas de la radiación solar.....	72
Tabla 2: Características técnicas del panel Simax 250W.....	4
Tabla 3: Características técnicas del inversor Powerstar 2000W.....	5
Tabla 4: Características técnicas del regulador TriStar TS45.....	6

RESUMEN

El suministro de energía eléctrica a la población en óptimas condiciones de calidad, confiabilidad y seguridad es la misión de todas las Empresas Eléctricas distribuidoras.

El consumo energético es un índice determinante de la calidad de vida de la población y su nivel de desarrollo. Por lo tanto, brindar un servicio justo y oportuno adaptable a las condiciones específicas del entorno es la fortaleza del estudio.

El presente trabajo se enfoca en la explotación de recursos energéticos sustentables en provecho del nivel tecnológico alcanzado. Para ello se realiza una evaluación de las condiciones geográficas y ambientales del sitio en el cual se pretende intervenir con el proyecto de electrificación. Además, se evalúa la viabilidad de proporcionar de servicio eléctrico a través de diferentes alternativas como extensión de red y una micro red fotovoltaica autónoma acorde a la situación específica. El sistema fotovoltaico elegido como el proyecto ideal, es dimensionado técnica y económicamente para abastecer de energía eléctrica a la comunidad de Coangos sin interrupción con un día de autonomía, para lo cual se ha calculado analíticamente la capacidad de cada uno de los elementos involucrados y se han respaldado los resultados a través de simulación en el programa Homer Pro.

La comunidad de Coangos perteneciente a la provincia de Morona Santiago es competencia de la empresa de distribución eléctrica Centro Sur donde su cobertura de servicio eléctrico no está disponible al ser una población alejada y aislada del resto de clientes. La simulación comprueba de manera exitosa el dimensionamiento del diseño eléctrico y demuestra una característica de funcionamiento normal del sistema.

Palabras clave: Micro red fotovoltaica, Sistema fotovoltaico, Radiación diaria, Sostenibilidad energética, Homer pro, Coangos

ABSTRACT

The supply of electric power to the population in optimum conditions of quality, reliability and safety is the mission of all the Distribution Electric Companies.

Energy consumption is a determinant index of the quality of life of the population and its level of development. Therefore, providing a fair and timely service adaptable to the specific conditions of the environment is the strength of the study.

The present work focuses on the exploitation of sustainable energy resources to benefit the technological level achieved. For this, an evaluation of the geographical and environmental conditions of the site in which it is intended to intervene with the electrification project is carried out. In addition, the feasibility of providing electric service through different alternatives such as network extension and an autonomous photovoltaic micro network according to the specific situation is evaluated. The photovoltaic system chosen as the ideal project is technically and economically dimensioned to supply electricity to the Coangos community without interruption with a day of autonomy, for which the capacity of each of the elements involved has been analytically calculated and have supported the results through simulation in the Homer Pro program.

The community of Coangos belonging to the province of Morona Santiago is the responsibility of the South Central Regional Electric Company where its electric service coverage is not available because it is a remote population isolated from other customers. The simulation successfully checks the dimensioning of the electrical design and demonstrates a normal operating characteristic of the system. Keywords:

Keywords: Micro Photovoltaic Network, Photovoltaic System, Daily Radiation, Energy Sustainability, Homer Hrogram, Coangos.

INTRODUCCIÓN

Debido al nivel de madurez actual respecto al desarrollo tecnológico de materiales y equipamiento eléctrico, los sistemas fotovoltaicos han ido ganando mercado rápidamente hasta convertirse en un competidor de energía renovable líder allanando el camino para la energía solar. Debido a sus características de rendimiento, movilidad e instalación forman parte de la nueva generación de electricidad sostenible en varias partes del mundo, principalmente en Europa.

La tecnología fotovoltaica no solo está dirigida a combatir la quema de combustibles fósiles producidas en las centrales térmicas, sino también en aplicaciones que contribuyan al desarrollo sostenible de las zonas rurales y países en desarrollo. Así mismo son un aporte a los servicios básicos comunitarios y sociales, como la iluminación de establecimientos concurridos, pequeños asentamientos poblacionales, bombeo de agua, refrigeración en centros de salud, conservación de alimentos, productos agrícolas, entre otros.

La energía fotovoltaica ha demostrado ser una fuente de generación no convencional clave para hacer frente a los retos de explotación energética segura, descentralizada, confiable, asequible, limpia y renovable. Razón por la cual se ha tomado como referencia de diseño para su implementación, la primera parte de este trabajo trata sobre conceptos fundamentales para proporcionar los conocimientos necesarios que permitan justificar las decisiones tomadas y conocer el funcionamiento esencial del sistema. La segunda parte hace referencia a los cálculos matemáticos y verificación de la operación continua de la micro red. Además, se incluye una sección del análisis de la viabilidad económica correspondiente

El presente trabajo ha sido estructurado de manera clara con información concisa para que pueda ser abordado de manera comprensible por los lectores.

CAPITULO I

1.1 Objetivos

1.1.1 *Objetivo general*

Realizar un estudio de factibilidad de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en la localidad de “Coangos” perteneciente al cantón Limón de la provincia de Morona Santiago, debido a que en la actualidad no posee el servicio de energía eléctrica concedido por la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur.

1.1.2 *Objetivos específicos*

- Dotar de energía eléctrica a un sector rural aislado, que no cuenta con servicio de la red eléctrica pública.
- Analizar el requerimiento de parámetros óptimos para las viviendas tomando en cuenta todos los equipos eléctricos.
- Dada la ubicación geográfica social y económica, determinar la demanda máxima como factor común de cada vivienda en el sector Coangos.
- Realizar simulaciones del sistema fotovoltaico con modelos analíticos
- Ejecutar la medición de la radiación solar en el sector.

1.2 Alcance

En el proyecto se plantea la factibilidad de un sistema fotovoltaico para la localidad de Coangos perteneciente al cantón Limón Indanza, provincia de Morona Santiago, tomando en cuenta que en el sector no existe el suministro de energía eléctrica, servicio que debería brindar la empresa Eléctrica Regional Centro Sur ya que se encuentra en su área de concesión (Figura 1.1).

Se determinará la demanda máxima requerida para cada una de las viviendas de esta localidad, para así implementar un sistema fotovoltaico que cumpla con los parámetros requeridos por cada usuario de la zona.

Se considera aprovechar la radiación solar del sector y determinar mediante simulación analítica la cantidad de radiación presente y la factibilidad para la producción de energía eléctrica con tecnología limpia y renovable para los pobladores de Coangos.



Figura 1.1: Acceso a la localidad de Coangos

Fuente: Tomas propias

1.3 Justificación

Debido a que el Ecuador se encuentra en una zona privilegiada (línea ecuatorial) en cuanto se refiere a radiación solar, la misma que es casi perpendicular y cuyos valores no varía considerablemente durante el año. Estas características permiten a la energía solar fotovoltaica idónea para aprovecharla con distintos fines. En la actualidad las tendencias de las nuevas edificaciones amigables con el medio ambiente pretenden ser energéticamente autosustentables, mediante el uso de paneles y colectores solares, es decir el uso de energía renovable.

La ejecución de este trabajo de investigación se justifica, debido a la importancia que existe actualmente en nuestro país de producir energía limpia a partir de una fuente renovable; debido a que el poblado de Coangos se encuentra en un sector con fuentes hídricas así como abundante flora y fauna que no deben sufrir mayor impacto ambiental; se determinará la fiabilidad de obtener energía fotovoltaica, aprovechando su alta radiación solar y considerando que se encuentra en un lugar aislado, misma que actualmente no cuenta con red eléctrica del sector público.

Según datos de irradiación solar recopilados en la comunidad, se estudiará la factibilidad y viabilidad para la implementación del sistema fotovoltaico en aproximadamente diez viviendas del sector; que en la actualidad carecen de los beneficios del sistema eléctrico suministrado por la empresa Eléctrica Centro Sur S.A.

Se estudiará la viabilidad de implementar en la localidad el sistema fotovoltaico debido a que en el sector la densa vegetación y la presencia de animales nativos del lugar dificulta la implantación de una red eléctrica. Además de contaminar el medio ambiente para la construcción del proyecto.

El análisis de factibilidad para la utilización de paneles solares como medio de generación de energía eléctrica, se realizará en la localidad de Coangos la cual se encuentra ubicada a un kilómetro del Rio Santiago, con una extensión territorial de 7576,22Ha, y es el principal acceso para el centro turístico Cueva de los Tayos, Figura 1.2. En la actualidad la comunidad no cuenta con servicio eléctrico, por este motivo nace la necesidad de dotar de energía eléctrica al sector mediante el uso de energía renovable debido a que la zona cuenta con abundante recurso solar, además por sus características ambientales se dificulta la construcción de una red eléctrica (Figura 1.3).



Figura 1.2: Localidad de Coangos

Fuente: Google Maps



Figura 1.3: Ambiente en Coangos

Fuente: Tomas propias

CAPITULO II

2.1 Diagnóstico Situacional (Planteamiento del Problema)

2.1.1 Impacto ambiental que se daría en el sector, con tendido de redes eléctricas aéreas.

El impacto que se genera en el transporte de energía eléctrica es alarmante (Belmonte, 2005), debido a que su impacto no solo afecta al medio ambiente sino también a la sociedad. Esta contaminación se origina en todas las etapas del proyecto, es decir inicia desde su fase de construcción y continúa durante la fase de operación y mantenimiento. Los impactos generados de forma directa se los puede clasificar de la siguiente manera:

- Recursos medio ambientales: agua, suelo, aire.
- Sistemas ecológicos: flora y fauna.
- Ser humano: salud, protección, seguridad laboral, condiciones socioeconómicas, socioculturales y sensibilidad visual. (Belmonte, 2005)

A continuación, en la Tabla 2.1, se puede observar los elementos del medio ambiente potencialmente receptores al impacto generado en la construcción de una red eléctrica aérea.

Tabla 2.1: Elementos de los medios potencialmente receptores del impacto

Medio Físico	
Medio Atmosférico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Composición / calidad del aire ▪ Niveles de ruido
Geología y Geomorfología	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Relieve ▪ Litología: disposición, ▪ composición
Suelos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Composición / calidad
Medio Físico	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estructura: grado de compactación; perfil edáfico ▪ Riesgo de erosión
Hidrología superficial	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Calidad de las aguas superficiales ▪ Red de drenaje (régimen superficial)
Hidrología subterránea	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Calidad de las aguas subterráneas ▪ Régimen subterráneo: dinámica de acuíferos
Paisaje	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Calidad paisajística
Medio Biológico	
Vegetación	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Especies protegidas Fauna
Fauna	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Especies protegidas y sus hábitats

Espacios protegidos o de interés natural	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Espacios protegidos o de interés natural
Medio Socioeconómico	
Demografía, trabajo, infraestructuras, sectores económicos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Población: factores humanos (calidad de vida, bienestar); empleo ▪ Actividad: usos del territorio ▪ Infraestructuras y servicios: caminos y carreteras (tráfico, permeabilidad territorial); otras infraestructuras
Patrimonio Histórico-Artístico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Yacimientos declarados ▪ Otros yacimientos no declarados
Vías Pecuarias	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Presencia de vías pecuarias, descansaderos y/o abrevaderos

Fuente: (Ganga Cabañes, IMPACTO AMBIENTAL DE LAS REDES ELÉCTRICAS, 2009)

Para conocer los daños ambientales que se podrían originar en la comunidad de estudio, se empleará la norma que maneja la empresa Eléctrica Regional Centro Sur puesto que el sector se encuentra dentro del área de concesión de la misma.

2.1.2 Suelo, agua y aire.

El tendido de líneas eléctricas aéreas en zonas donde existe la presencia de abundante vegetación, origina un impacto considerable al ambiente; pues para su fase de construcción es necesario prestar una franja de servidumbre para mantener la seguridad establecida por los estándares internacionales (derecho de vía y franja de seguridad) siendo necesario eliminar la vegetación, así por ejemplo las redes de media tensión (MT) necesitan una franja de 11m de ancho según Norma Técnica NT009. De la misma manera durante la etapa de construcción y mantenimiento de las líneas eléctricas, implica construir veredas o caminos, desbroces, lo cual afecta los bosques y vegetación de forma permanente que no podrán ser reforestadas, y con ello desencadenando todas las alteraciones ambientales en flora y fauna asociadas.

Al momento que inicia la construcción se destruye la capa vegetal original, por este motivo el suelo queda expuesto a la incidencia directa de los agentes climatológicos (heladas, altas

temperaturas y lluvia), estos agentes originan severos riesgos de erosión al suelo. La erosionabilidad va incrementando a través de la compactación que sufre el suelo, como consecuencia del tránsito de vehículos que circulan por el lugar durante la construcción y mantenimientos que se deben realizar con el tendido eléctrico.

Cuando se construyen las bases para postes y torres en zonas empinadas, se requiere tener amplio conocimiento del subsuelo, donde se deben planificar y ejecutar obras civiles de manera técnica debido a que se puede producir deslizamientos del terreno al momento de la construcción de las bases. (Line, 2003)

Debido a todos estos antecedentes analizados para la protección del medio ambiente en el Ecuador se creó la ley de gestión ambiental, publicada en el Registro Oficial suplemento No. 418 del 10 de septiembre de 2004, esta ley establece los contenidos mínimos que deben cumplir los estudios de impacto ambiental y estructuras básicas que deben efectuar tanto las instituciones públicas y privadas, la ley también señala que si existe alguna acción u omisión que origine impactos a la salud, los responsables serán susceptibles a demandas por daños y perjuicios. Las instituciones encargadas del cumplimiento de esta ley es el MEER (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable), MAE (Ministerio del Ambiente) y CONELEC (Consejo Nacional de Electricidad) (Lexis, 2004)

2.1.3 Fauna y flora.

Durante el periodo o fase de construcción de las líneas de distribución eléctrica en zonas con abundante densidad vegetativa, se origina contaminación de forma permanente a la fauna y flora del sector, producto del efecto de tóxicos y ruido generado por las maquinas empleadas; los mismos que ingresan al biotopo deteriorándolo. Además, se produce una disminución territorial del hábitat faunístico por el retiro de la vegetación y montaje de las estructuras. El impacto ocasionado por la eliminación directa del hábitat en la zona es considerado como: “directo, permanente, negativo, a corto plazo sinérgico, reversible y recuperable”; y el impacto de valoración es considerado como compatible. (IBERDROLA, Ingeniería y Construcción , 2011)

La ruta de trazado o recorrido de la red eléctrica, origina en la zona un cambio climático como: elevación de la temperatura, migración de animales e incluso la afección a bosques que se encuentran cercanos al lugar; esto se debe al retiro de la vegetación para el tendido de la red, cimentación de las estructuras y la construcción de veredas para mantenimiento; además por la seguridad de los seres vivos se impone una franja de servidumbre la cual en líneas de baja tensión (BT) es de 6m.

Durante la excavación para las cimentaciones y la construcción de accesos se produce una eliminación directa de ejemplares que sirven de alimento a otras especies animales. Debido a que no existirá movimiento de grandes volúmenes de tierra “se considera como impacto directo, negativo, permanente, a corto plazo, sinérgico, irreversible e irrecuperable”. Este impacto ha sido valorado como no significativo- compatible. (IBERDROLA, Ingeniería y Construcción , 2011)

En la fase de operación de las redes eléctricas, el principal impacto a considerar es el que se produce sobre la avifauna, es decir la muerte de las aves debido a la colisión y electrocución que sufren cuando se encuentran volando y no identifican los conductores o el cable a tierra. Este no es un riesgo que se origina de manera constante pues depende de factores como el clima, la migración de las aves y del tipo de vuelo del animal. Este impacto es considerado como “directo, negativo, a corto plazo, permanente, sinérgico, irreversible e irrecuperable”; valorado como compatible. (IBERDROLA, Ingeniería y Construcción , 2011)

En la zona de implementación gracias a sus climas tropical y subtropical, se puede encontrar gran variedad de especies animales como tapir, guatusa, guanta, tigrillos, zorrillos, oso de anteojos, armadillos, anacondas, diversas especies de ranas, loros, guacamayos, ardillas, monos, etc. Así como también extensa variedad en flora y arboles como: chontaduro silvestre, el kili, pambil, uva silvestre, uvilla, zapote silvestre, orquídeas, caoba, cedro, guayacanes, shaike, wanbija, pampiles, etc, Figura 2.1. La implementación de redes eléctricas de transmisión originaria gran daño al hábitat de estos seres vivos y su ecosistema de acuerdo a lo argumentado anteriormente, motivo por el cual se recomienda el uso de energías amigables con el medio ambiente como lo son los paneles solares ubicados cerca la carga, pues el sector cuenta con pocos habitantes (60) según el último censo realizado en el año 2012. (EcuRed, 2017).



Figura 2.1: Flora y fauna de la comunidad de Coangos Limón

Fuente: Toma propia

2.1.4 Ser humano.

En las instalaciones eléctricas la vida y salud del ser humano puede verse afectada en gran medida, pudiendo sufrir accidentes eléctricos o graves quemaduras en su cuerpo producto de contactos directos e indirectos con las estructuras, partes activas de la línea, por el ingreso a instalaciones que no cuente con medidas de seguridad necesarias para el caso o por incendios originados por cortocircuitos en los conductores.

Estos accidentes pueden producirse por el incumplimiento al reglamento técnico referente a las distancias de seguridad, uso de materiales de calidad, dimensionamiento insuficiente de conductores, o ejecución desprolija de la obra. Los cuales conlleva a una gran inseguridad para los usuarios del sector si se implementan redes de transmisión y distribución aéreas en la zona.

Los impactos que causa el tendido eléctrico a la población durante su fase de construcción y mantenimiento de los elementos que conforman la infraestructura del proyecto, se originan debido al incremento de flujo vehicular por el sector provocando molestias por el polvo, emisiones y ruido generado por máquinas y dispositivos empleados. Este tipo de impacto es considerado de baja magnitud. (IBERDROLA, Ingeniería y Construcción , 2011)

2.1.5 Impactos de los campos eléctricos y magnéticos sobre la salud.

La zona donde existen campos eléctricos y magnéticos creados por cargas eléctricas en movimiento, se conoce como campos electromagnéticos.

A través de diversos estudios biomédicos relacionado a los efectos producto de exposición a campos electromagnéticos de baja frecuencia se ha concluido que dichas exposiciones conducen a alteraciones en la salud de las persona (Belmonte, 2005).

En la actualidad existen una variedad de Normas Técnicas referente a los límites de exposición y medición a los campos electromagnéticos ilustrados en la Figura 2.2, los mismos que han sido elaborados mediante soporte científico. Entre las normas o estándares más empleados en el país tenemos el IEEE Standard 644-1994, "IEEE Standard Procedure for Measurements of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines (Estándar de Procedimientos para Medición de Campos Eléctricos y Magnéticos desde Líneas de Transmisión de Corriente Alterna)" de igual manera el ministerio del Ambiente en coordinación con el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), publicaron "en el Registro Oficial No. 41, emitido el 14 de Mayo del 2007, el Reglamento con las Normas Técnicas Ambientales para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental para los Sectores de Infraestructura: Eléctrico, Telecomunicaciones y Transporte (Puertos y Aeropuertos)". (Morales & Gavela, 2015)

Belmonte señala que el año 2005, un grupo de investigadores de la Universidad de Oxford realizaron estudios sobre cáncer Infantil, apuntando que existe un aumento significativo del riesgo de cáncer en función a la distancia de líneas eléctricas. Otras instituciones de investigación sobre Campos electromagnéticos como el Instituto de Bioelectromagnetismo establecen una distancia de seguridad de 1m por cada kilovoltio de tensión presente en la línea eléctrica.

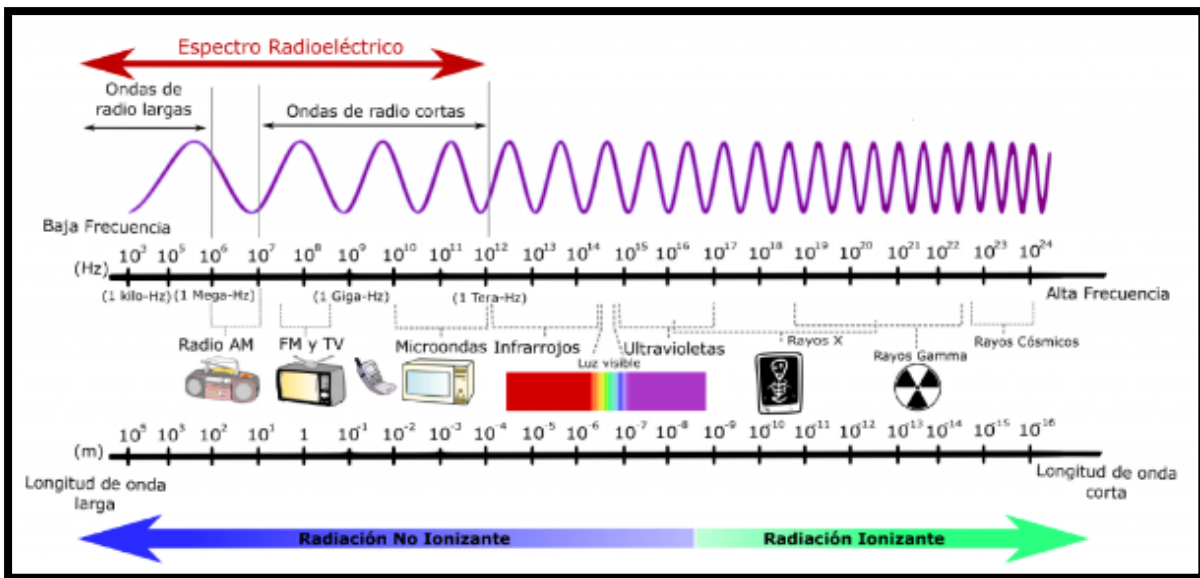


Figura 2.2: Espectro electromagnético

Fuente: (Morales & Gavela, 2015)

En la Tabla 2.2, se puede apreciar los niveles de referencia para limitar la exposición a campos eléctricos y magnéticos a 60 Hz para líneas eléctricas de alta tensión (AT), los mismos que fueron medidos en el límite fuera de su franja de servidumbre según el Ministerio del Ambiente.

Tabla 2.2: Niveles de referencia para la exposición a campos eléctricos y magnéticos de 60 Hz

Tipo de Exposición	Intensidad Campo Eléctrico (E) [V /m]	Intensidad Campo Magnético (H) [A/ m]	Densidad de Flujo Magnético (B) [μ T]
Público en General	4 167	67	83
Personal Ocupacionalmente Expuesto	8333	333	417

Fuente: (Morales & Gavela, 2015)

2.1.6 Contaminación por ruido.

La contaminación y molestias que puede originar una red eléctrica de potencia en cuanto a su funcionamiento son consideradas despreciables, motivo por el cual el impacto por ruido

como se expresa en la Tabla 2.3, se considera No Significativo. Los elementos que si generan contaminación por ruido son los transformadores empleados en las estaciones de distribución, pues cuando se encuentran en funcionamiento, estos pueden ocasionar molestia en las zonas habitadas.

Tabla 2.3: Niveles máximos de ruido permisibles según el uso del suelo

TIPO DE ZONA SEGÚN USO DE SUELO	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE NPS eq [dB(A)]	
	DE 06H00 A 20H00	DE 20H00 A 06H00
Zona hospitalaria y educativa	45	35
Zona Residencial	50	40
Zona Residencial mixta	55	45
Zona Comercial	60	50
Zona Comercial mixta	65	55
Zona Industrial	70	65

Fuente: (EP-TRANSELECTRIC, S.F)

2.1.7 Efectos socioeconómicos y socioculturales

Los efectos a considerar en lo que respecta al bienestar y calidad de vida de la población, son positivos, pues el impacto generado por la construcción de la red posibilitara el desarrollo en todos los ámbitos del sector (Figura 2.3).

La implementación de un sistema fotovoltaico supone una óptima infraestructura eléctrica de la zona. Se busca un impacto POSITIVO de duración permanente, que durará mientras permanezca el sistema en servicio.

En el ámbito socioeconómico, los impactos directos que se originan por la construcción de una red eléctrica, ocurre cuando se ocupan los terrenos para la construcción del proyecto, y surge pérdida de productividad agrícola o ganadería que sirve de sustento alimenticio y económico de los hogares que se encuentran dentro de la zona de construcción.

Los impactos producto de la construcción de una red eléctrica en la comunidad de Coangos sería muy notable pues el sector primario que se encuentra compuesta por la cultura Shuar, tendría una afección negativa a largo plazo, esto se vería repercutida en su economía además de una destrucción basta de su abundante vegetación, dando lugar a la migración de especies animales nativas del lugar. Por estas razones lo más recomendable sería la implementación de un sistema fotovoltaico local.



Figura 2.3: Condiciones habitacionales en la comunidad

Fuente: Toma propia

2.1.8 Teorías existentes del impacto ambiental por el tendido de redes eléctricas aéreas en sectores similares.

IBERDROLA (2004), señala que los impactos ambientales generados en la construcción de la línea eléctrica aérea a 132kV construida en la localidad de Vizcaya, no son significativos pues el lugar de construcción se encuentra en zonas montañosas y con poca vegetación, por lo general se encuentra matorrales, estas tierras no son empleadas para la agricultura. A continuación, en la Tabla 2.4, se resumen los principales impactos originados por la construcción de la red.

Tabla 2.4: Efectos generados por el proyecto en fase de construcción y funcionamiento

	FASE DE CONSTRUCCIÓN	FASE DE FUNCIONAMIENTO
GEOLOGÍA/GEOMORFOLOGÍA	C	...
EDAFOLOGÍA	C	NS
HIDROLOGÍA	NS	NS
AIRE	NS-C	-
VEGETACIÓN	M	C
FAUNA	C	C
POBLACIÓN	+/C	+
SECTORES ECONÓMICOS	+/NS-C	+/C
PATRIMONIO HSITÓRICO	-	...
ESPACIOS NATURALES	-	...
SISTEMA TERRITORIAL	NS	...
INFRAESTRUCTURAS	C	...
PAISAJE	C	C

Fuente: (IBERDROLA, ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DE LÍNEA ELÉCTRICA AÉREA A 132 KV, DOBLE CIRCUITO, DERIVACIÓN A PETRONOR DE L/ORTUELLA – ABANTO (VIZCAYA) , 2004)

- **+** Impacto Positivo
- **...** Impacto NULO
- **NS** Impacto NO SIGNIFICATIVO
- **C** Impacto COMPATIBLE
- **M** Impacto MODERADO
- **S** Impacto SEVERO
- **C** Impacto CRÍTICO

De igual manera durante la construcción del proyecto SIEPAC-tamo Panamá, línea de transmisión eléctrica 230kV. Se generan efectos potenciales que probablemente se producirán de manera directa o indirecta sobre el medio ambiente, las mismas que se derivan de las fases de construcción y operación de la red, agrupados en función del elemento afectado y la fase en la que se produce. A continuación, en la Tabla 2.5 se identifican los principales efectos potenciales generados durante la ejecución del proyecto. (SOLUZIONA, s.f)

Tabla 2.5: Efectos potenciales sobre el medio ambiente según la fase del proyecto

FASES DEL PROYECTO	MEDIO POTENCIALMENTE AFECTADO
CONSTRUCCIÓN	Suelo
	Agua
	Atmósfera
	Flora y Vegetación
	Fauna
	Medio socioeconómico
	Paisaje
OPERACIÓN	Atmosfera
	Fauna
	Medio Socioeconómico

Fuente: (SOLUZIONA, s.f)

Según el análisis realizado por Canga Cabañes, José Luis, donde menciona los principales impactos que se pueden producir sobre el ecosistema y sociedad, al momento de la construcción de una red aérea de alta tensión.

En la fase de construcción se derivan los siguientes impactos:

- El desbroce de la vegetación durante el emplazamiento de los apoyos, en la franja de servidumbre y la superficie que ocupa las Subestaciones.
- La construcción de los caminos de acceso, la cimentación de las torres y las subestaciones.

En la fase de operación y mantenimiento los impactos más relevantes son consecuentes de:

- El control químico o mecánico de la vegetación que se encuentra dentro de la franja de seguridad.
- Los trabajos de reparación y mantenimiento de la línea.
- La presencia física de la línea misma. (Canga Cabañes, IMPACTO AMBIENTAL DE LAS REDES ELÉCTRICAS , 2009)

Por estos motivos es esencial tomar acciones del proyecto para la evaluación de impactos, ilustrado en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6: Acciones del proyecto a considerar para la evaluación de impactos

Acciones impactantes	Descripción
Presencia física de la línea de alta tensión, que implica:	<ul style="list-style-type: none"> ○ La ocupación de suelo por los apoyos ○ La limitación de los usos en superficie dentro de la franja de seguridad: del tramo aéreo ○ La presencia de los apoyos y los conductores del tramo aéreo, que resultarán visibles y en los que se aplican medidas de protección de la fauna ○ El paso de electricidad
Operaciones de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> ○ Desbroce de la franja de seguridad

Fuente: (Canga Cabañes, IMPACTO AMBIENTAL DE LAS REDES ELÉCTRICAS, 2009)

2.2 Sistema fotovoltaico.

En la actualidad las energías renovables no convencionales como la energía solar han tenido un notable crecimiento, como alternativa de suministro eléctrico exitoso en las localidades rurales o comunidades nativas de bajo consumo energético que se encuentran aisladas. Dado que en estas comunidades es imposible brindar el servicio de energía eléctrica a través de sistemas convencionales por parte de las empresas distribuidoras. (Muñoz Anticono, 2005)

“La energía solar fotovoltaica es un tipo de energía limpia y renovable. La producción de energía solar fotovoltaica según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) la demanda mundial en el 2008 fue apenas el 0,2% de este tipo de energía. El sustento del sector fotovoltaico se basa en una tecnología de vanguardia e industria de punta que en los últimos años ha tenido un crecimiento anual superior al 30%. Se estima que en años próximos existirá una reducción de costos importante debido a la mejora y desarrollo en la eficiencia de las tecnologías actuales que se utilizan.” (Valdivia González, 2012)

En la actualidad en el mercado se puede encontrar diversos tipos de células solares, la integración de estas células da lugar a los diferentes tipos de módulos o paneles fotovoltaicos, pueden ser conectados de manera aislada o en conjunto con un tendido eléctrico como se ilustra en la Figura 2.4; existen módulos monocristalinos, policristalinos, amorfos, etc. Lo que les diferencia es la forma en la que se cristaliza el silicio y cada una de las imperfecciones que posea; hoy en día gracias a los avances tecnológicos que existe se están fabricando células con otros materiales que poseen mejores rendimientos como son el arseniuro de galio o el diseleniuro de cobre.

El voltaje que presentan las células fotovoltaicas son valores muy bajos, se encuentran sobre los 0,5V (células de silicio), para las aplicaciones eléctricas, motivo por el cual suelen agruparse en series de 33, 36 o 72 células en paralelo, formando una estructura rígida conocida como módulo o panel fotovoltaico.

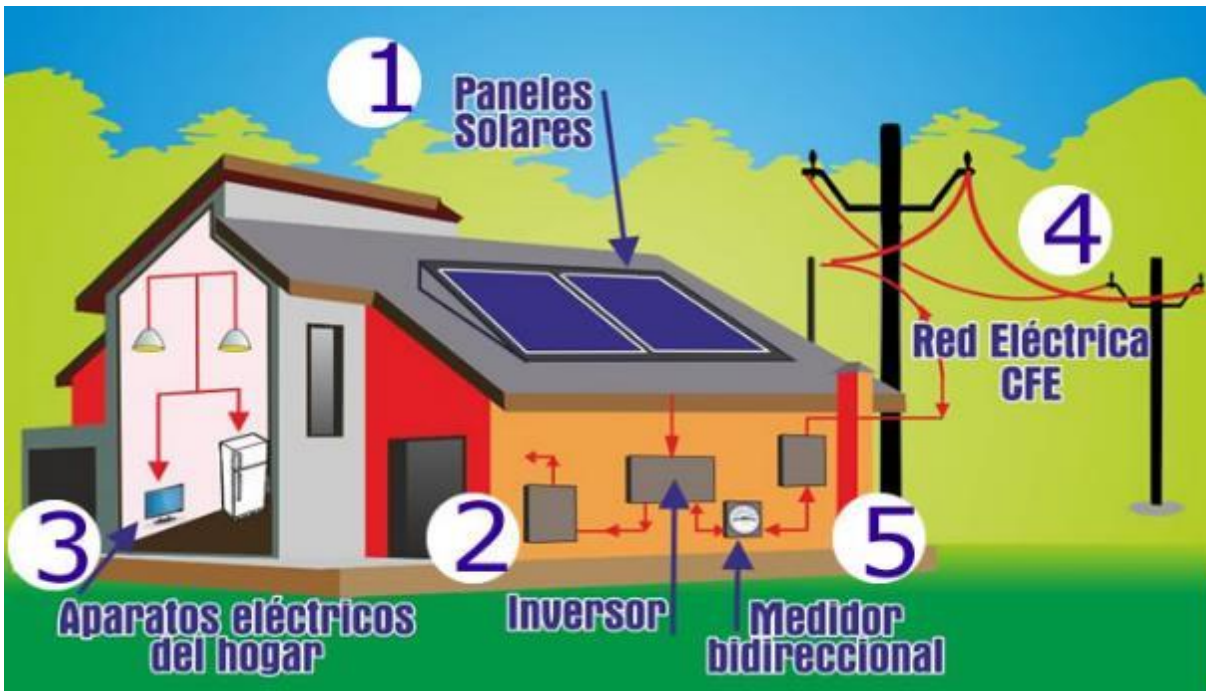


Figura 2.4: Sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica

Fuente: heliotech.com/sistema-interconectado

2.3 Marco teórico

2.3.1 Funcionamiento de la célula solar fotovoltaica.

El significado de la palabra fotovoltaico(a), se encuentra compuesta de dos palabras de origen griego: foto cuyo significado es luz, y voltaico que significa eléctrico. En resumen fotovoltaico quiere explicar la acción de estas células para transformar de manera directa la energía luminosa proveniente del sol en energía eléctrica. (Ing. Cardozo Piña, CÁLCULO Y DISEÑO DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA USO DOMÉSTICO , 2014)

La energía eléctrica puede ser obtenida de forma directa de la luz del sol, la cual está formada de fotones con diferentes energías. Esta energía es aprovechada mediante el uso de paneles fotovoltaicos que se encuentran compuestos por materiales semiconductores. En este tipo de materiales existe una región que divide a la banda de valencia donde se encuentran los electrones ligados al núcleo atómico, de la banda de conducción, donde los electrones pueden fluir libremente, región que se la conoce como banda prohibida.

Cuando se le implanta una pequeña cantidad de un material con características diferentes a un semiconductor se lo denomina una impureza, se puede conseguir tener un electrón más o uno menos en la banda prohibida. Cuando esto ocurre cerca de la banda de conducción, al material se denomina tipo n (negativo). Caso contrario si el electrón de más o de menos se encuentra cerca de la banda de valencia, al material se conoce como tipo p (positivo).

Al momento que se junta un material semiconductor tipo n con uno de tipo p, se produce el efecto fotovoltaico, es decir, se originara un flujo de huecos o como también se denomina falta de electrones, hacia el lado del semiconductor n y uno de electrones hacia el lado del semiconductor p. (Domínguez González , 2012)

Su funcionamiento se basa en el efecto fotoeléctrico o fotovoltaico, este se origina al incidir la radiación solar sobre el material semiconductor de células solares o fotovoltaicas, generando una circulación de electrones que son conducidas en el interior del material a través de terminales de metal que producen corriente eléctrica continúa.

La misma que puede ser almacenada para cargar baterías o se la puede convertir a corriente alterna mediante dispositivos conocidos como inversores para ser conectada a la red eléctrica local.

En conclusión, cada una de las celdas solares posee tres capas y dos electrodos como se muestra en la Figura 2.5. La capa que se encuentra expuesta al Sol tiene como función primordial aprovechar la máxima radiación solar por unidad de área.

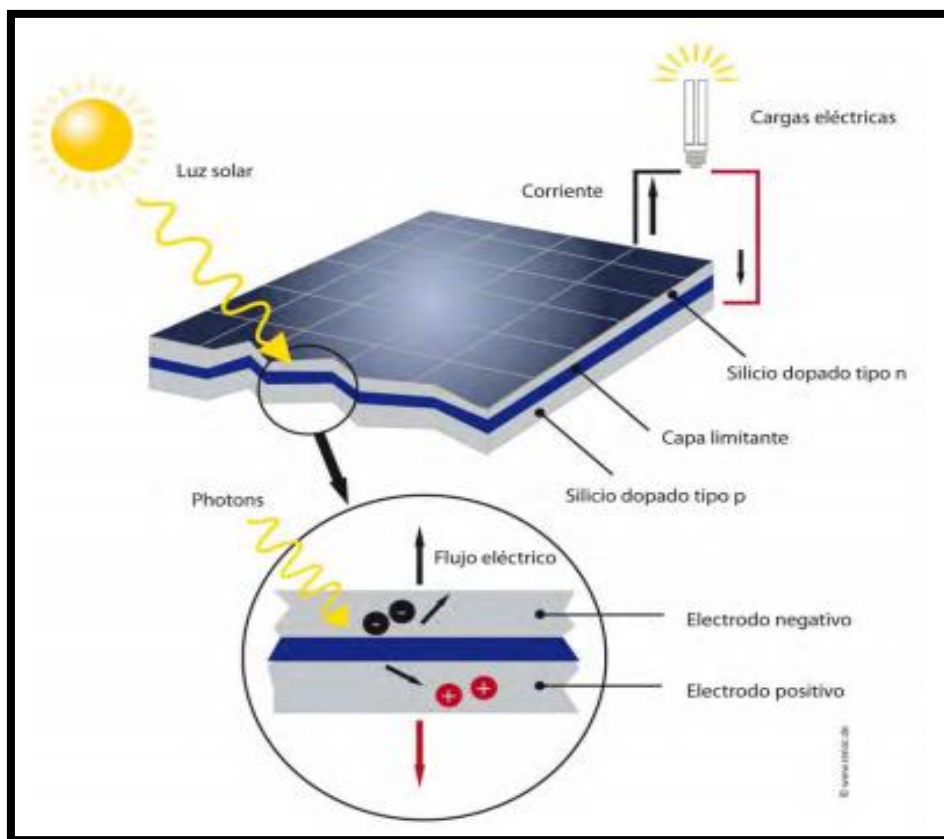


Figura 2.5: Diseño y funcionamiento de una celda solar de silicio cristalino

Fuente: (Domínguez González , 2012)

2.3.2 Parámetros fundamentales de la célula solar

- Corriente de Iluminación (I_L): se origina al momento que la radiación solar incide sobre la célula.
- Corriente de oscuridad: se produce debido a la recombinación entre los pares electrón – hueco que se originan en la parte interna del material semiconductor.
- Tensión del circuito abierto (V_{oc}): es la máxima tensión que se puede obtener en los extremos de la célula, esto depende del material que esté construido el elemento; que da como resultado cuando no se encuentra conectada ninguna carga, expresado en la Figura 2.6.

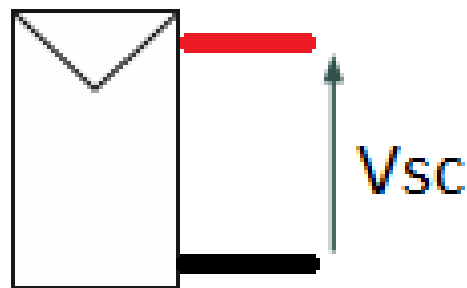


Figura 2.6: Lugar en el que se mide la tensión en circuito abierto

Fuente: (Montero Calderón, 2015)

- Corriente de cortocircuito (I_{sc}): La Figura 2.7 corresponde al máximo valor de corriente que puede fluir en la célula solar. Esto se debe a que sus terminales se encuentran cortocircuitados. (Montero Calderón, 2015)

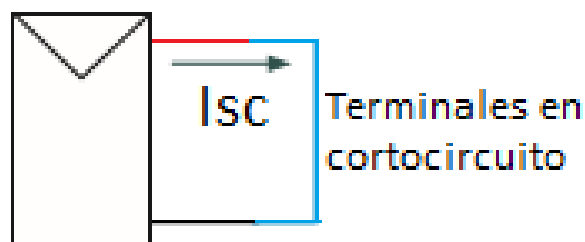


Figura 2.7: Circulación de la corriente en cortocircuito

Fuente: (Montero Calderón, 2015)

Cuando se conecta la célula solar a una carga, los valores de tensión y corriente varían. Donde se puede determinar el valor de la potencia máxima entregada, mediante la ecuación 2.1, con una V_m (Tensión máxima) e I_m (Intensidad máxima), dichos valores siempre serán menores a V_{cc} e I_{sc} .

$$P_m = V_m * I_m \quad (2.1)$$

2.3.3 El panel solar.

Conocido también como módulo fotovoltaico, está conformado por un conjunto de células, conectadas eléctricamente (serie, paralelo), encapsulado y montado sobre un soporte, como se puede observar en la Figura 2.8.

En su salida se obtiene una tensión continua, diseñados con valores de tensión específica (6V, 12V, 24V...), los cuales determinarán la tensión de trabajo del sistema fotovoltaico.

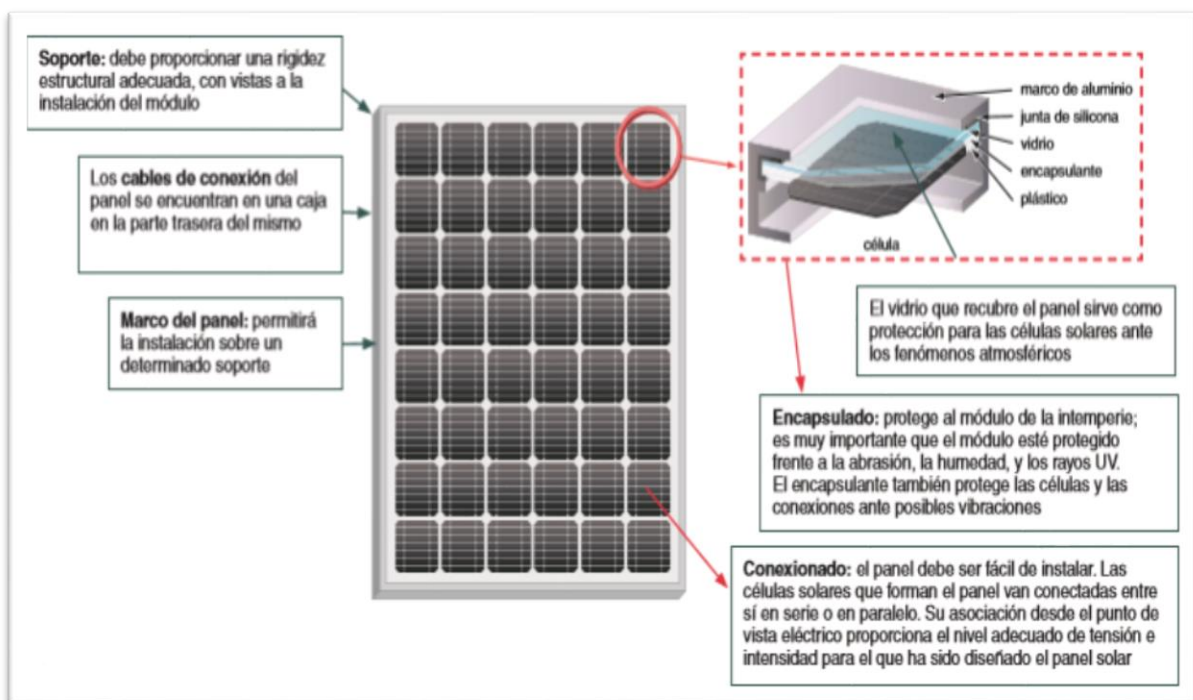


Figura 2.8: Especificaciones de un panel fotovoltaico

Fuente: (Montero Calderón, 2015)

- a) Conexión en serie: La tensión a la salida de la conexión de células solares aumenta por la suma de cada una.

b) Conexión en paralelo: Es la suma de cada una de las intensidades de conjunto equivalente, expresado en la Figura 2.9.

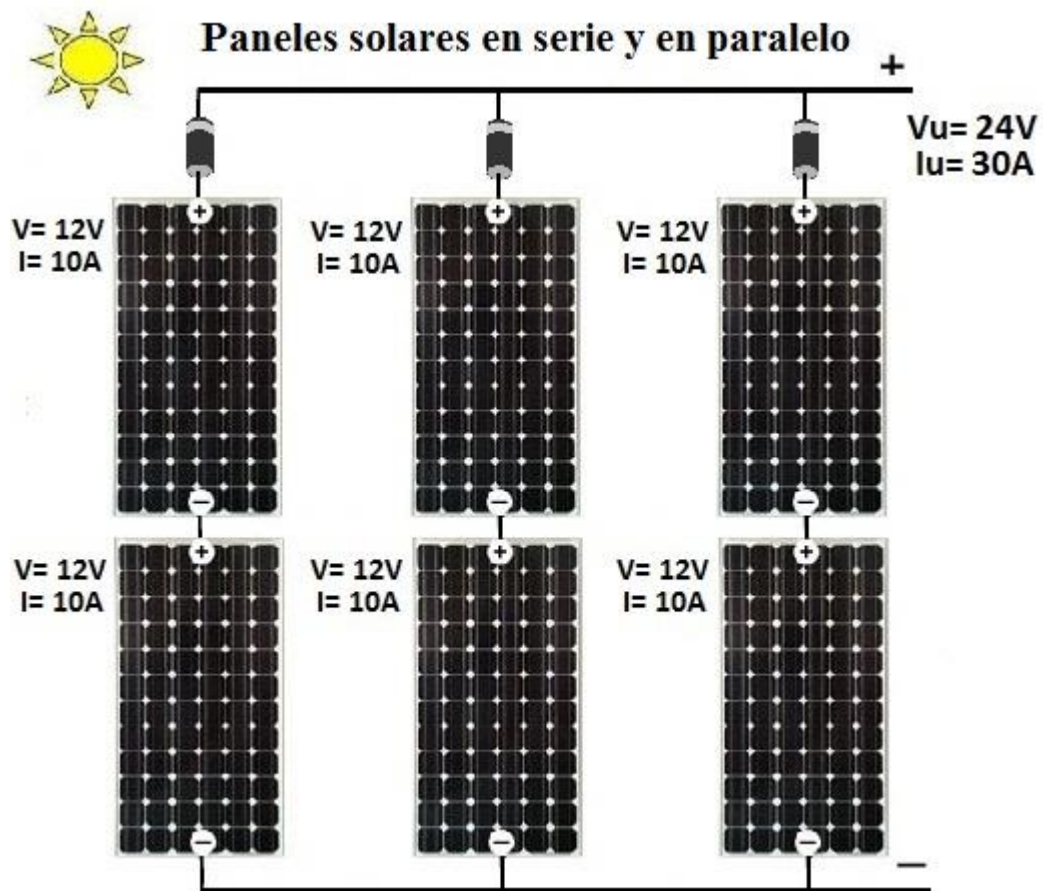





Figura 2.9: Conexión serie paralelo de un arreglo fotovoltaico

Fuente: [mppsolar/paneles-solares-paralelo](http://mppsolar.com/paneles-solares-paralelo)

Según (Montero Calderón, 2015), el tipo de panel solar se puede diferenciar por la tecnología de producción de sus células solares (ver Tabla 2.7), las cuales principalmente se las fabrica de:

- Silicio cristalino (monocristalino y multicristalino).
- Silicio amorfo.

Tabla 2.7: Características de diferentes módulos fotovoltaicos

Células	Silicio	Rendimiento Laboratorio	Rendimiento Directo	Características	Fabricación
	Monocrystalino	24%	15-18%	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí.	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19-20%	12-14%	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocrystalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16%	<10%	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Fuente: (Montero Calderón, 2015)

2.3.4 Clasificación de los sistemas fotovoltaicos.

La clasificación de los sistemas fotovoltaicos se los determina en consideración a su conexión y estructura física. Su aplicación viene determinada en dos grandes grupos:

- Instalaciones **aisladas a la red eléctrica**, denominados también como sistemas fotovoltaicos autónomos. Se los emplea en electrificación rural, señalización, comunicaciones bombeo de agua, iluminación granjas, etc.
- Instalaciones **conectadas a la red eléctrica**, en este tipo podemos encontrar centrales fotovoltaicas, edificios conectados a la red o grandes sistemas conectados a la red.

Sistemas conectados a la red (Grid connected)

Este tipo de sistema permite que la energía eléctrica generada en exceso pueda ser inyectada y comercializada a la red eléctrica pública. El sistema permite comprar energía

eléctrica a la red eléctrica pública cuando las condiciones climatológicas no permiten producir energía mediante el sistema fotovoltaico, este proceso se lo realiza a través de un contador de energía bidireccional, ilustrado en la

Figura 2.10.

El sistema presenta las siguientes ventajas:

- El sistema permite reducir costos y asegura un sistema eléctrico más robusto.
- Existe un aprovechamiento en su totalidad de la energía producida por los paneles.
- Debido a que en este tipo de sistema no se utiliza baterías para el almacenamiento de energía se genera un ahorro del 40%.

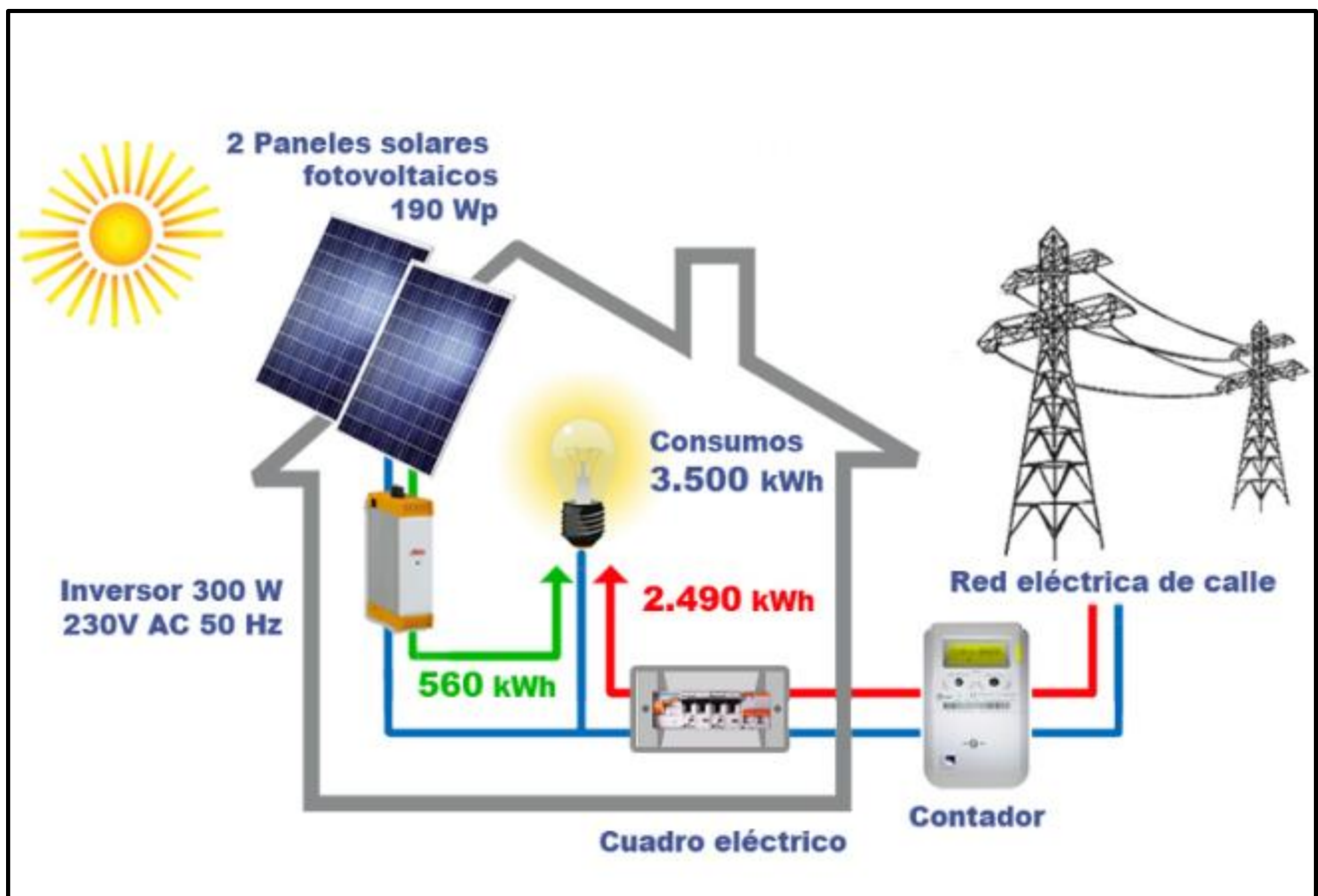


Figura 2.10: Instalación conectada a la red

Fuente: www.sanea.org/areas

A continuación, en la Figura 2.11, se presenta un cuadro sinóptico de las aplicaciones de los sistemas “Grid connected”.



Figura 2.11: Aplicaciones de la energía fotovoltaica

Fuente: (Telecomunicación, 2007)

Sistemas aislados (stand alone)

La aplicación de los sistemas aislados de la energía solar fotovoltaica es numerosa, por lo general son empleados cuando se requiere dotar de energía eléctrica en zonas alejadas o de difícil acceso para la construcción de una red eléctrica, y cuyo consumo es bajo. Para este fin es recomendable disponer de acumuladores o baterías para el almacenamiento de la energía producida durante las horas que exista radiación solar abundante, y disponer de esta energía en el momento que el sistema no se encuentre generando o cuando las condiciones climatológicas sean desfavorables.

Un sistema fotovoltaico aislado está compuesto por módulos o paneles fotovoltaicos, un conjunto de acumuladores, un controlador y un inversor, como podemos observar en la Figura 2.12.

En estos sistemas se debe garantizar una suficiente autonomía para los periodos en los que no pueda generar el sistema fotovoltaico, esto se logra mediante un adecuado dimensionamiento del conjunto de baterías, hay que considerar que mientras más días de autonomía se requiera, el número de baterías aumenta; de igual manera incrementa el costo del sistema notablemente.

La tecnología actual que se está empleando en los acumuladores es de ácido de plomo o de gel, de larga duración y alta calidad diseñadas para aplicaciones solares, con tiempo de vida de alrededor de 8 años (ácido de plomo) y 15 años (de gel) con mantenimientos casi nulos. (Vásquez Chigne & Zúñiga Anticona, Proyecto de Prefactibilidad para la Implementación de Energía Solar Fotovoltaica y Térmica en el Campamento Minero Comihuasa, 2015)

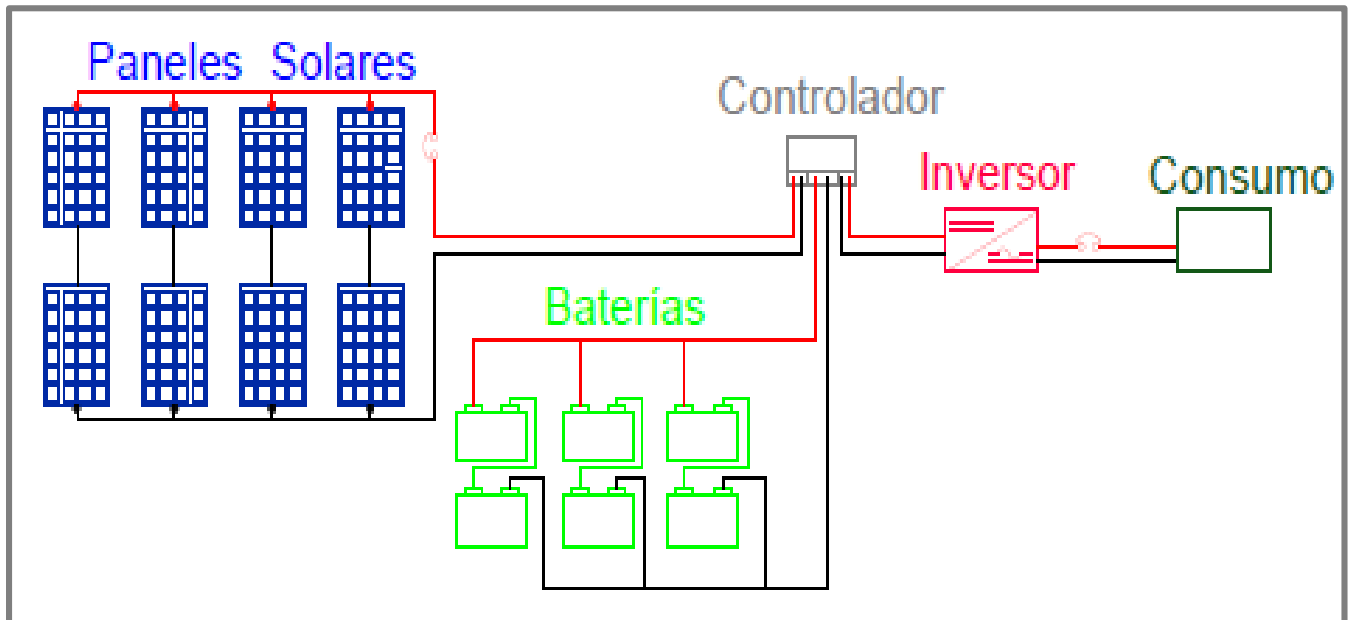


Figura 2.12: Sistema de generación de energía fotovoltaica autónoma

Fuente: (Ing. Cardozo Piña, Cálculo y Diseño de Sistema Solar Fotovoltaico para Uso Doméstico, 2014)

A continuación, en la Figura 2.13, se describen algunas de las aplicaciones con los sistemas de generación fotovoltaica aislada de la red eléctrica.

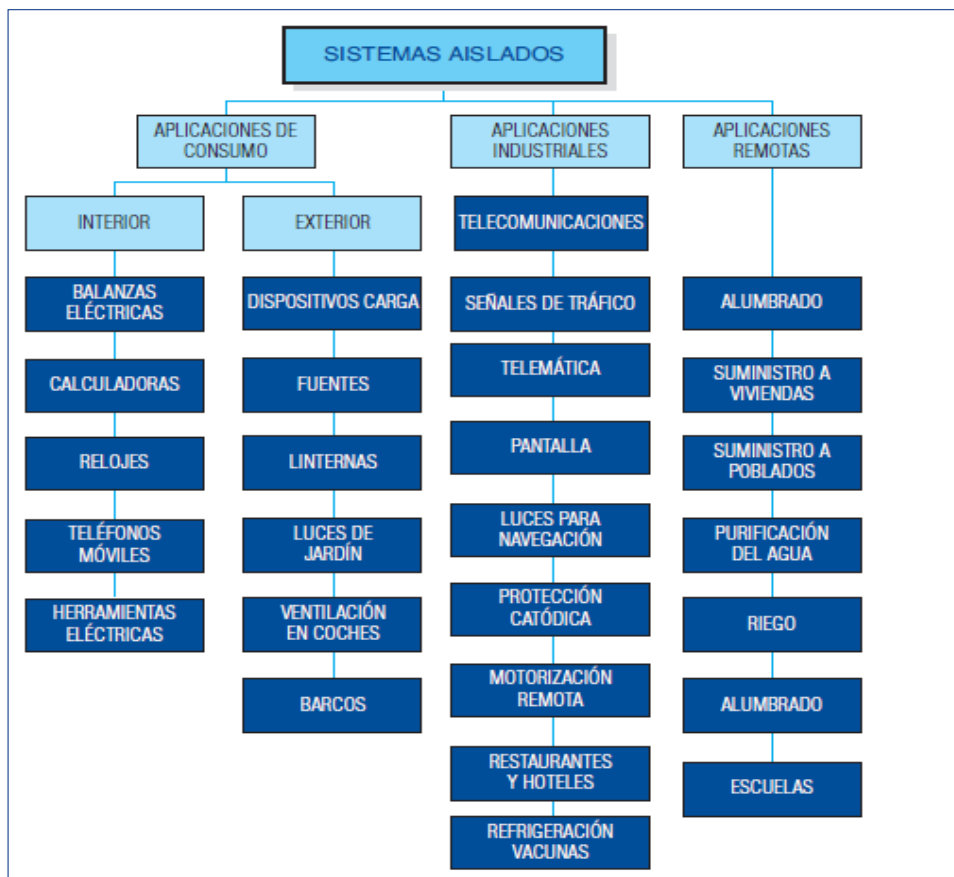


Figura 2.13: Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos aislados

Fuente: (Telecomunicación, 2007)

Batería

Las baterías son dispositivos que transforman la energía química en energía eléctrica. Debido a que existe una variación de la radiación solar por diferentes motivos; algunos de estas variaciones son predecibles, como el tiempo de duración de la noche, las estaciones del año, pero otras alteraciones como cambio en el clima hacen necesario la utilización de un sistema de almacenamiento en sistemas fotovoltaicos aislados de la red eléctrica, que permita disponer de energía en aquellos momentos en el que el generador fotovoltaico no es capaz de hacer funcionar la instalación con los valores nominales con el que fue diseñado.

En un sistema fotovoltaico los requisitos que deben cumplir las baterías es la resistencia al número de ciclos de carga y descarga. Al momento de seleccionar un tipo de acumulador se debe tener presente que sean diseñadas para ciclos profundos, este tipo de baterías presentan diferentes características a las convencionales de vehículos, pues están diseñadas para ser más tolerables con las distintas cargas de salida y duración, debido a su calidad su costo es mayor con referencia a las convencionales.

En una instalación fotovoltaica las baterías tienen que cumplir con las siguientes funciones:

- Almacenar energía durante un periodo determinado de tiempo (número de días).
- Proporcionar una potencia instantánea elevada.
- Fijar la tensión de trabajo de la instalación. (Montero Calderón, 2015)

La capacidad es uno de los parámetros más importantes a la hora de seleccionar una batería, esta se define como la cantidad de electricidad que puede obtenerse en una descarga completa partiendo del estado de carga total, expresada mediante la ecuación 2.2. Se mide en amperios hora (Ah), y su cálculo es el producto de la intensidad de descarga de la batería por el tiempo en el que está actuando:

$$C = tI \quad (2.2)$$

Otros parámetros que se deben considerar en una instalación fotovoltaica, además de la capacidad son:

- **Eficiencia de carga:** representa la relación entre la energía utilizada para recargar el acumulador y la energía que en realidad se almacena. Es recomendable que el valor sea lo más cercano al 100%, este valor es un indicativo que toda la energía empleada para recargar la batería será empleada a la salida de la instalación. En el caso que la eficiencia sea baja será necesario utilizar un mayor número de baterías para obtener el porcentaje de carga deseada.
- **Autodescarga:** hace referencia al proceso de descarga de la batería sin estar en uso.
- **Profundidad de descarga:** es la cantidad de energía utilizable medida en porcentaje que se obtiene durante una determinada descarga, cuando el acumulador se encuentra totalmente lleno. La profundidad de descarga está relacionada con la duración o vida útil de la batería. Se debe tener presente que si los ciclos de descarga son cortos se alargará la vida de la batería, como podemos observar en la Figura 2.14.

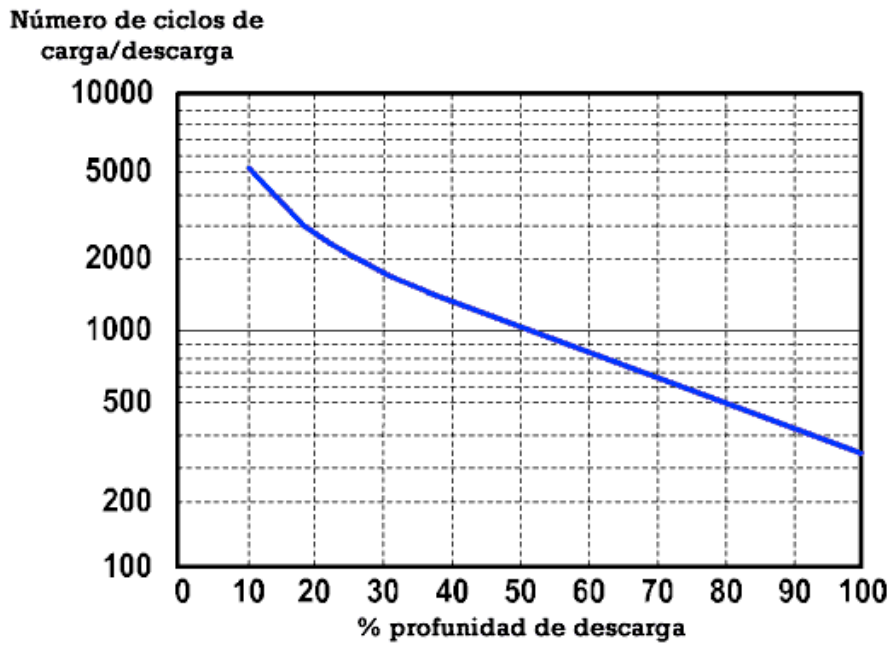


Figura 2.14: Ciclos de carga en función de la profundidad de descarga

Fuente: Sunfialds, 2017

Para que una batería sea empleada en un sistema fotovoltaico, además de los parámetros eléctricos debe poseer otras características:

- ✓ Buena resistencia al proceso de carga – descarga.
- ✓ Bajo mantenimiento.
- ✓ Buen funcionamiento con corrientes pequeñas.
- ✓ Amplia reserva de electrolito.
- ✓ “Depósito para materiales desprendidos.” (Montero Calderón, 2015)
- ✓ “Vasos transparentes.” (Montero Calderón, 2015)

Tabla 2.8: Características principales de las baterías

Tipo de batería	Tensión por vaso (V)	Tiempo de recarga	Autodescarga por mes	Nº de ciclos	Capacidad (por tamaño)
Plomo ácido	2	8-16 horas	<5%	Medio	30-50 Wh/kg

Ni-Cd (níquel-cadmio)	1,2	1 hora	20%	Elevado	50-80 Wh/kg
Ni-Mh (níquel- metal hidride)	1,2	2-4 horas	20%	Medio	60-120 Wh/kg
Li-ion (ión- litio)	3,6	2-4 horas	6%	Medio- bajo	110-160 Wh/kg

Fuente: (Montero Calderón, 2015)

Por lo general en el mercado existen tres tipos de baterías que se pueden emplear en un arreglo fotovoltaico aislado de la red son: baterías de plomo, baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd) y baterías de Li-ion. Cada tipo de acumulador debe ser analizada en función de beneficio-costos, para mayor comprensión ver Tabla 2.8.

Tabla 2.9. Tipos de acumuladores y sus características.

Tipo	Precio	Ciclado profundo	Mantenimiento
Plomo- ácido			
Plomo- Antimonio	Bajo	Bueno	Alto
Plomo-Calcio abiertas	Bajo	Pobre	Medio
Plomo-Calcio selladas	Bajo	Pobre	Bajo
Híbridas (Antimonio/calcio)	Medio	Bueno	Medio
Electrolito inmovilizado			
Gel	Medio	Muy bueno	Bajo
AGM	Medio	Muy bueno	Bajo

Níquel- Cadmio			
Placas "sintered"	Alto	Bueno	Ninguno
Placas "pocked"	Alto	Bueno	Medio

Fuente: (Abella, 2003)

- **Mantenimiento y vida útil:** El mantenimiento de una batería depende de su diseño, algunos modelos requieren de agua destilada o electrolito, mientras que las denominadas baterías libre de mantenimiento no requieren de ningún tipo de mantenimiento.

El análisis realizado por BUN-CAM, determina que por lo general la vida útil de una batería de ciclo profundo se encuentra entre un rango de tiempo de 5 y 8 años, esto depende del mantenimiento y de los ciclos de carga/descarga a los que fue sometido el acumulador. Una batería llega a su fin de vida útil cuando se produce un cortocircuito entre placas o cuando esta pierde su capacidad de almacenamiento producto de pérdidas de material activo en sus placas.

En aplicaciones fotovoltaicas las baterías son dispositivos muy sensibles pues sus procesos de carga y descarga ocasionan que el acumulador se dañe. Este proceso de carga y descarga originan que la vida útil del elemento se acorte de manera considerable. Debido a que la batería es uno de los dispositivos fundamentales en un arreglo fotovoltaico aislado y su costo representa de un 15 a 30 % del costo total, para su protección es necesario adicionarle un regulador o controlador de carga.

Regulador

En un arreglo fotovoltaico, el regulador de tensión o carga tiene la función prioritaria de controlar en forma permanente el estado de carga, evitando la sobrecarga y sobredescarga de las baterías, pero también de regular la intensidad de carga de las mismas, esto lo realiza con la finalidad de alargar la vida útil. También origina alarmas en función del estado de carga.

El regulador de carga durante su operación, si detecta que existe sobrecarga en la batería abre el circuito del generador fotovoltaico, impidiendo el paso de la corriente; mientras que en el caso de sobredescarga puede realizar dos maniobras ya sea cortar el suministro a los consumidores o a través de una alarma indica que el nivel de tensión de la batería es inferior

a los niveles mínimos requeridos de seguridad. Una sobrecarga de los acumuladores origina procesos de gasificación (hidrolisis del agua en hidrogeno y oxigeno), este efecto disminuye de manera considerable la vida útil de la batería.

La selección de un regulador de carga se encuentra en función de la tensión del sistema y de la corriente de cortocircuito I_{sc} , se aplica un factor de seguridad normalmente 1.3 esto se debe a la irradiación solar (Abella, 2003)

Inversor

En un sistema conectado a la red uno de los elementos indispensables es un dispositivo electrónico conocido como inversor el cual convierte la corriente continua generado por el panel fotovoltaico en corriente alterna para ser conectada a la red eléctrica. También se encuentra presente en sistemas autónomos específicamente en aquellas destinadas a la electrificación de viviendas, como podemos observar en la Figura 2.15.

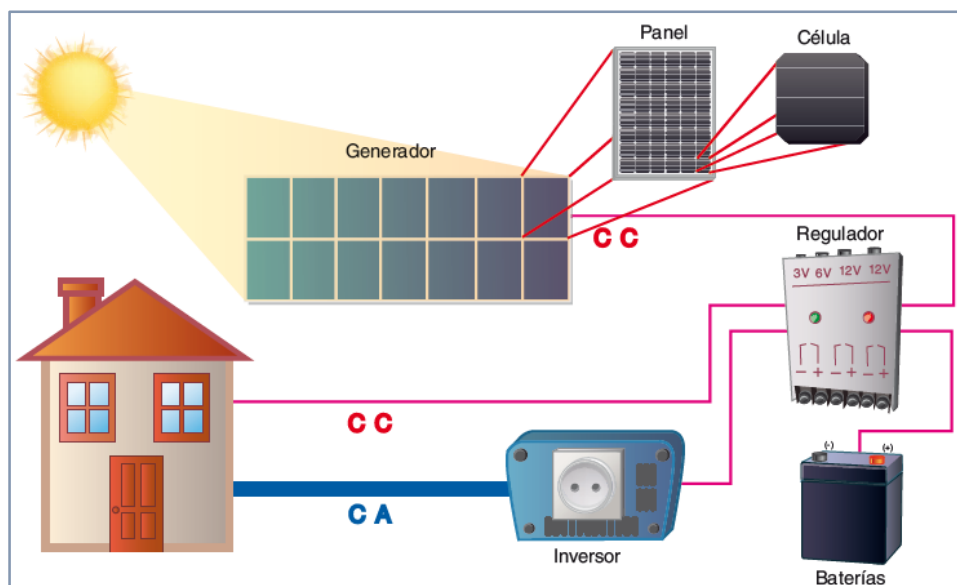


Figura 2.15: Esquema típico de una instalación con inversor

Fuente: (Belmonte, 2005)

Las funciones principales que realiza un inversor son:

- Conversión de la energía eléctrica DC/AC
- Modular la onda alterna de salida
- Regular el valor eficaz de la tensión de salida

Los inversores pueden ser monofásicos o trifásicos, diversos niveles de voltaje en su entrada y con un rango amplio de potencias. Su operación la realiza conectada a una batería o directamente conectado al generador fotovoltaico. (Abella, 2003)

2.4 Radiación solar.

Se define como radiación solar a la energía que es liberada por el sol, la cual se propaga a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas hacia todas las direcciones.

Cuando se requiera implementar un sistema solar fotovoltaico en cualquier localidad una de las condiciones más importantes a considerar será la radiación solar útil existente en el lugar, para ello es necesario disponer de una base de mediciones de radiaciones instantáneas diarias y de las medias mensuales de energía solar disponible en el sector, lo cual permitirá dimensionar la instalación fotovoltaica (Vásquez Chigne & Zúñiga Anticona, Proyecto de Prefactibilidad para la Implementación de Energía Solar Fotovoltaica y Térmica en el Campamento Minero Comihuasa, 2015)

La radiación emitida por el sol está sujeta a procesos de atenuación durante su trayectoria hacia la atmosfera de la tierra, donde la radiación es reflejada, absorbida y transmitida por toda la superficie terrestre en donde la radiación se clasifica en tres componentes: directa, difusa y reflejada. La irradiación (KW/m^2) son términos fundamentales que cuantifican la cantidad de energía que puede ser aprovechada para la generación de energía, teniendo en cuenta que los niveles más altos de radiación solar se obtienen antes y después del mediodía. (Valdivia González, 2012)

2.4.1 Radiación directa.

Este tipo de componente de la radiación tiene una incidencia en forma de línea recta sobre la superficie terrestre, una de sus características es que forma sombras fuertes y bien definidas, así en un día claro con sombras identificables puede existir una radiación directa entre un 80 y 85%. (Valdivia González, 2012)

2.4.2 Radiación difusa.

Este tipo de radiación no proviene directamente del sol, pues durante su trayectoria sufre refracciones en las nubes, por el polvo, por objetos, entre otros. En un día claro podría considerarse que un 20% de la radiación total es difusa. (Valdivia González, 2012)

2.4.3 Radiación reflejada o albedo.

Este tipo de radiación es toda aquella reflejada por superficies de cuerpos sólidos como rótulos, nieve, edificios, asfalto lagos, etc; cuya localización sea cercana al sistema fotovoltaico. (Valdivia González, 2012)

2.4.4 Energía fotovoltaica en el Ecuador.

En lo que se refiere a energía solar fotovoltaica en el Ecuador debido a que se encuentra atravesado por la línea equinoccial, es un país privilegiado pues la incidencia de radiación solar es casi perpendicular, no presenta variación durante el año y su ángulo de incidencia es constante, presentando esta energía un gran potencial de aprovechamiento. (Rodríguez & Arroyo, 2016)

En el Ecuador la energía solar en el 2005 apenas representaba, el 0,02%. El año pasado fue el 0,08%, según datos del Conelec (Agencia de Regulación y Control de Electricidad).

Según el “Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica, el mismo que fue elaborado por la Corporación para la Investigación Energética, CIE” los valores de radiación solar en Ecuador muestran homogeneidad a lo largo del año, así los datos obtenidos en el observatorio del Coca en la Amazonía, dichos valores diarios oscilan entre los 3,35 kWh/m² en el mes de mayo y los 4,33 kWh/m² de septiembre etc. (CONELEC, 2013)

CAPÍTULO III DESARROLLO

3.1 Radiación solar y la atmosfera.

3.1.1 Radiación solar en el sector

Ecuador es un país privilegiado, gracias a su ubicación donde está atravesado por la línea ecuatorial, el país disfruta de uno de los niveles de radiación solar más elevados del planeta, por ello la cantidad de radiación solar que se recibe es vasta y directa debido a su ubicación privilegiada, la comunidad Coangos se ubica en la provincia de Morona Santiago; es una provincia del Sureste del Ecuador la cual recibe periódicamente una fuerte y consistente cantidad de radiación debido a que no tiene estaciones climatológicas durante el año. Observando en la Figura 3.1, el mapa solar del Ecuador, se puede corroborar las condiciones de radiación en relación a lo expuesto mencionado.

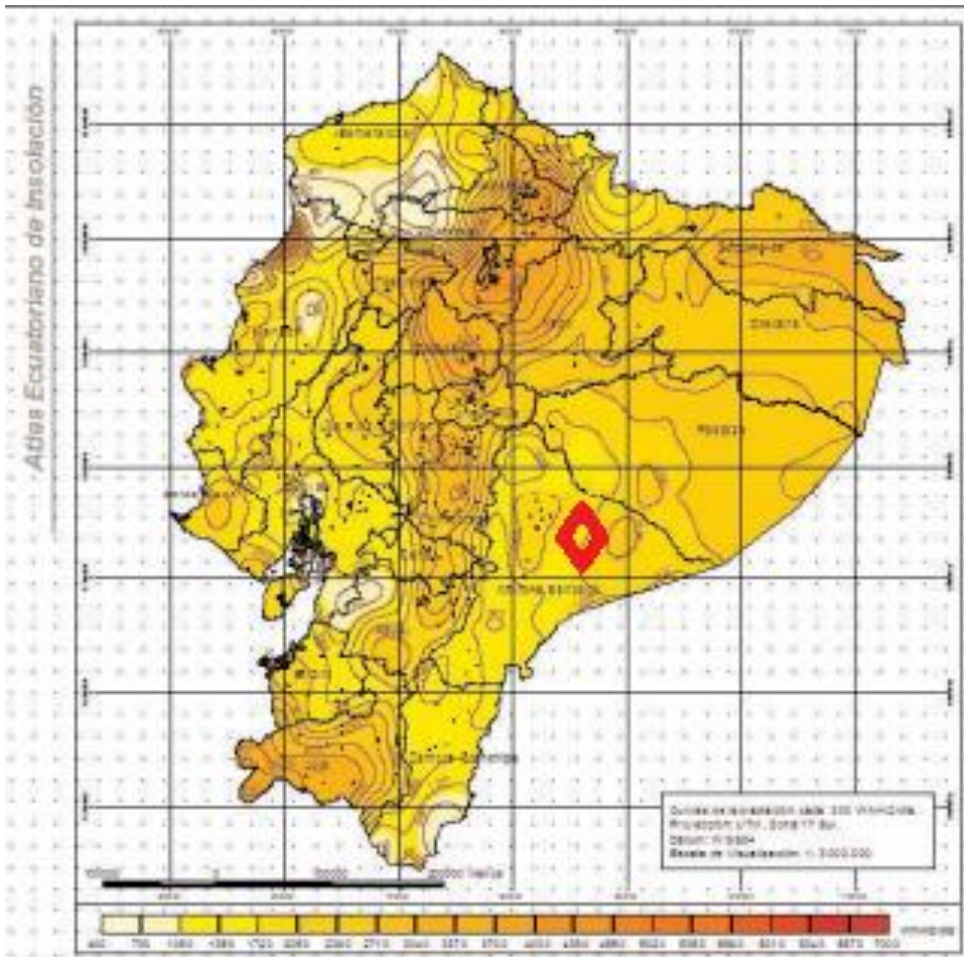


Figura 3.1: Mapa de radiación solar en el Ecuador

Fuente: Atlas de Insolación Ecuatoriano.

En nuestro país la principal fuente de energía eléctrica es proveniente de las centrales hidroeléctricas, pero así mismo existen zonas en las cuales no llega el tendido eléctrico, por ello que es factible el uso de paneles solares o la colocación un de un parque fotovoltaico cerca la carga y brindar un buen servició eléctrico con el fin de mejorar la vida de sus habitantes. Estos sistemas son un considerable cambio en cuanto al ahorro económico y en cuan amigables son con el medio ambiente al no generar contaminación.

3.1.2 *Inclinación y orientación del panel fotovoltaico.*

El diseño de un sistema solar fotovoltaico involucra entre otros aspectos la orientación de la superficie de los paneles para que capten de manera directa la intensidad solar en lo posible, tal que se aproveche al máximo su rendimiento y funcione a su máxima potencia. Por lo tanto, para definir su ángulo de inclinación y ubicación es necesario tener en consideración los tres aspectos siguientes:

- La región en la cual serán ubicados los paneles
- Las estaciones del año
- Las condiciones ambientales a las que será expuesta (árboles, humedad, polvo)

El factor principal al momento de estudiar la posición de los módulos solares está relacionado a la región en la cual serán ubicados, y para ello es necesario diferenciar las condiciones proporcionadas por los hemisferios norte y sur, ver Figura 3.2, por ejemplo, de manera general la orientación de los módulos del hemisferio norte están dirigidos hacia el sur y recíprocamente los del sur dirigidos hacia el norte.

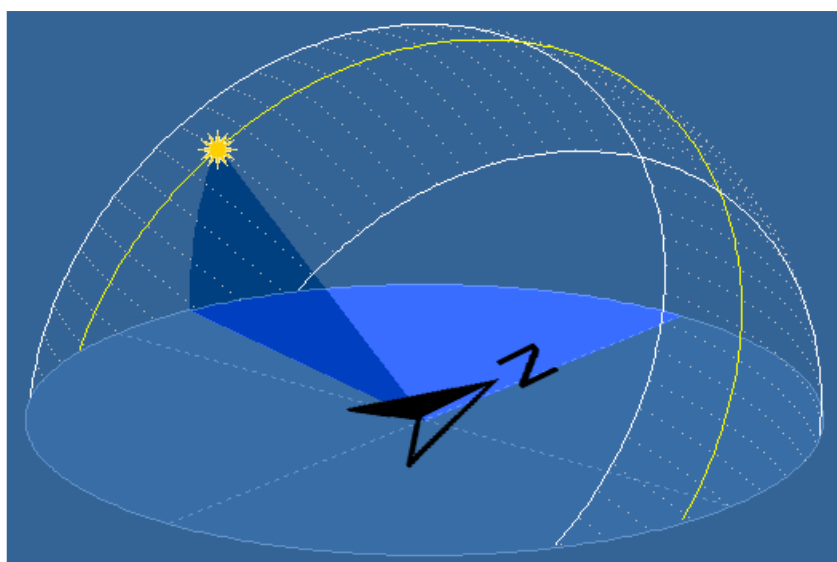


Figura 3.2: *Inclinación de los paneles en relación a los hemisferios*

Fuente: *Elaboración Propia*

Además, debe tenerse en cuenta las condiciones del sitio, ya que pueden presentar alteraciones a largo plazo obstaculizando la captación de los rayos solares; es decir generar una sombra donde antes no existía, originadas por el crecimiento de vegetación, construcción de infraestructura civil entre los principales, o ya sea por las variaciones estacionales del año.

En concreto el grado de inclinación es igual al grado de latitud en donde se encuentra, por lo tanto, con respecto a la localidad de Coangos cuyas coordenadas es de latitud -3.051 longitud -78.232 al ser una comunidad perteneciente al sur del Ecuador localizado en el hemisferio sur se debe instalar con frente al norte con un ángulo de 3° respecto a la horizontal del terreno donde está ubicado.

3.2 Diseños del sistema fotovoltaico.

3.2.1 Adquisición de datos.

La adquisición de los datos preliminares para la elaboración del estudio de perfectibilidad del parque fotovoltaico en la comunidad de Coangos, se realizó con la ubicación geográfica del lugar, comprendiéndose en ella altitud, clima, temperatura, etc. además, se identificó el número de clientes que abastecerá dicho proyecto, el tipo de abonados y la demanda de energía que tendrá cada vivienda (Figura 3.3).



Figura 3.3: Condiciones de los habitantes de la localidad de Coangos

Fuente: Tomas propias

Para la recolección de toda la información referente a la energía se realizó visitas en cada uno de los hogares, recopilando toda la información posible, sobre el consumo, detalles de elementos eléctricos y maquinaria que se implementara en el hogar, con la finalidad de elaborar un aproximado levantamiento de carga, para un correcto diseño del sistema fotovoltaico y a futuro no tener que enfrentar colapsos del sistema, VER ANEXO 1.

3.2.2 Análisis de carga.

El sistema analizado está destinado a abastecer de energía eléctrica a una comunidad aislada cuya carga predominantemente es residencial, sus habitantes tienen como actividad principal la agricultura y turismo. Con el objetivo de identificar de manera clara el valor del consumo de energía kW/h para un día típico, se ha realizado su levantamiento de carga respectivo (Tabla 3.1), información que posteriormente permitirá dimensionar técnicamente el sistema fotovoltaico.

Tabla 3.1: Demanda de clientes residenciales de Coangos

<i>Carga</i>	<i>Potencia [kW]</i>	<i>Horas</i>	<i>kW-h/día</i>	<i>Porcentaje</i>
<i>Televisión</i>	0,1	4	0,4	27%
<i>Radio</i>	0,04	3	0,12	8%
<i>Otros</i>	0,08	1	0,08	5%
<i>iluminación</i>	0,18	5	0,9	60%
<i>Total</i>			1,5	100%
<i>Carga instalada</i>	0,4			
<i>Factor de coincidencia</i>	0,6			
<i>Demanda máxima coincidente</i>	0,24			

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos registrados en la Tabla 3.1 no solo se contempla el consumo per-capital de cada cliente perteneciente a la zona, sino que se asegura también un rango de tolerancia ante futuras variaciones producidas por el crecimiento natural.

Para encontrar la carga equivalente en dc a partir del análisis de carga en ac considerando una eficiencia del inversor del 85% y aplicando la ecuación 3.1 se obtiene la carga por cliente que se debería cubrir con la generación fotovoltaica:

$$Total\ DC\ load = L_{dc} + \frac{L_{ac}}{\eta} \quad (3.1)$$

$$Total\ DC\ load = \frac{1.5}{0.85} = 1.765\ kWh/día$$

Debido a que se pretende alimentar a una cantidad de 10 clientes el consumo que deberá ser generado por el sistema en DC es de 17.65 kWh/día. Además, se ha elegido trabajar a un nivel de voltaje de 48V en DC.

A partir de los datos presentados, la carga expresada en Ah con el voltaje del sistema seleccionado se obtiene mediante la ecuación 3.2.

$$C_{dc} = \frac{Total\ DC\ load}{System\ Voltage} \quad (3.2)$$

$$C_{dc} = \frac{17.65}{48} = 0.368\ kWh/día = 367.7\ Ah/día$$

Por lo tanto con los cálculos realizados en la ecuación 2, la carga total es de $367.7 \frac{Ah}{día}$.

3.2.3 Almacenamiento de datos.

Para la ubicación del parque fotovoltaico, es necesario tener en cuenta la radiación solar en el sector, propias de la zona en donde serán ubicados, para ello se recurrió a tomar y almacenar datos mediante una estación meteorológica, considerando que es una instalación destinada a medir y registrar diversas variables climatológicas, por ejemplo, temperatura, precipitaciones de lluvia, presión atmosférica, radiación, velocidad y dirección del viento, etc.

Se ubicó en el sitio en un lugar despejado con la mejor precipitación de radiación posible, tomando datos de la radiación solar cada hora, por el periodo de tres meses; desde el mes de julio hasta el mes de septiembre del año 2017. VER ANEXO 2 y Figura 3.4.



Figura 3.4: Estación meteorológica utilizada para la toma de mediciones

Fuente: Tomas Propias

Para aumentar la confiabilidad de establecer la radiación diaria, se ha considerado necesario realizar este registro por un período considerable de tres meses, a fin de que los datos de radiación registradas en la zona sean las más precisas y obtener un correcto pronóstico de la radiación.

Un resumen de la radiación diaria, tomada de la estación meteorológica, durante el mes de septiembre del año 2017, se muestra en la Figura 3.5.

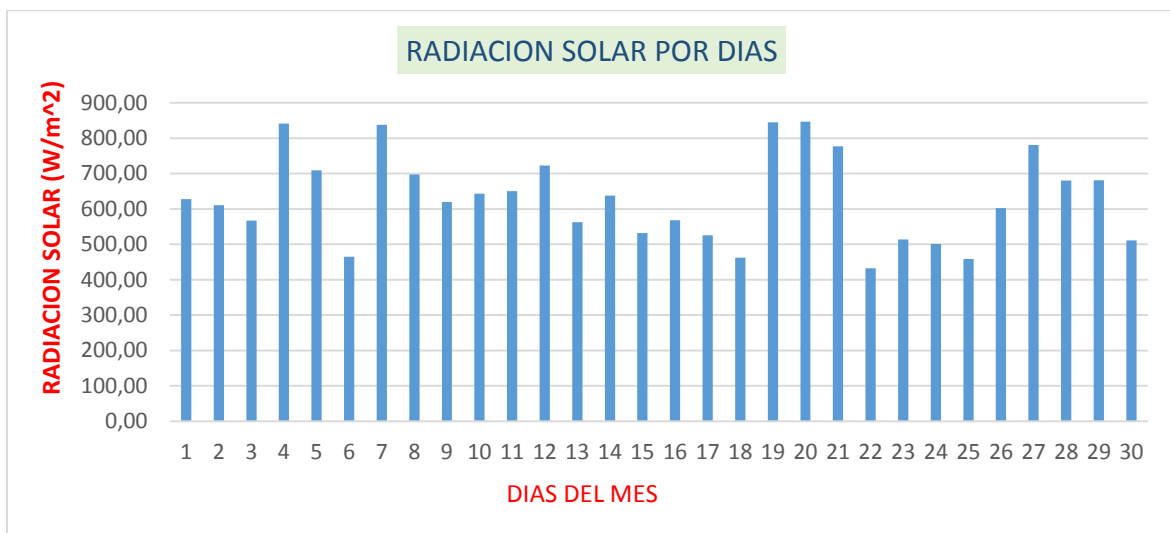


Figura 3.5: Radiación solar promedio diaria

Fuente: Elaboración Propia

La radiación mensual, tomada de la estación meteorológica, durante el tiempo que estuvo activa en la toma de datos, se muestra en la Figura 3.6.



Figura 3.6: Radiación solar promedio mensual

Fuente: Elaboración Propia

Las medidas de radiación solar han sido realizadas en el sitio, la Figura 3.5 y Figura 3.6 muestran una imagen del comportamiento diario y mensual de los datos obtenidos de la estación.

La Figura 3. 7 muestra la radiación solar en el sector, del mes de julio del año 2014, obtenida de la página del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

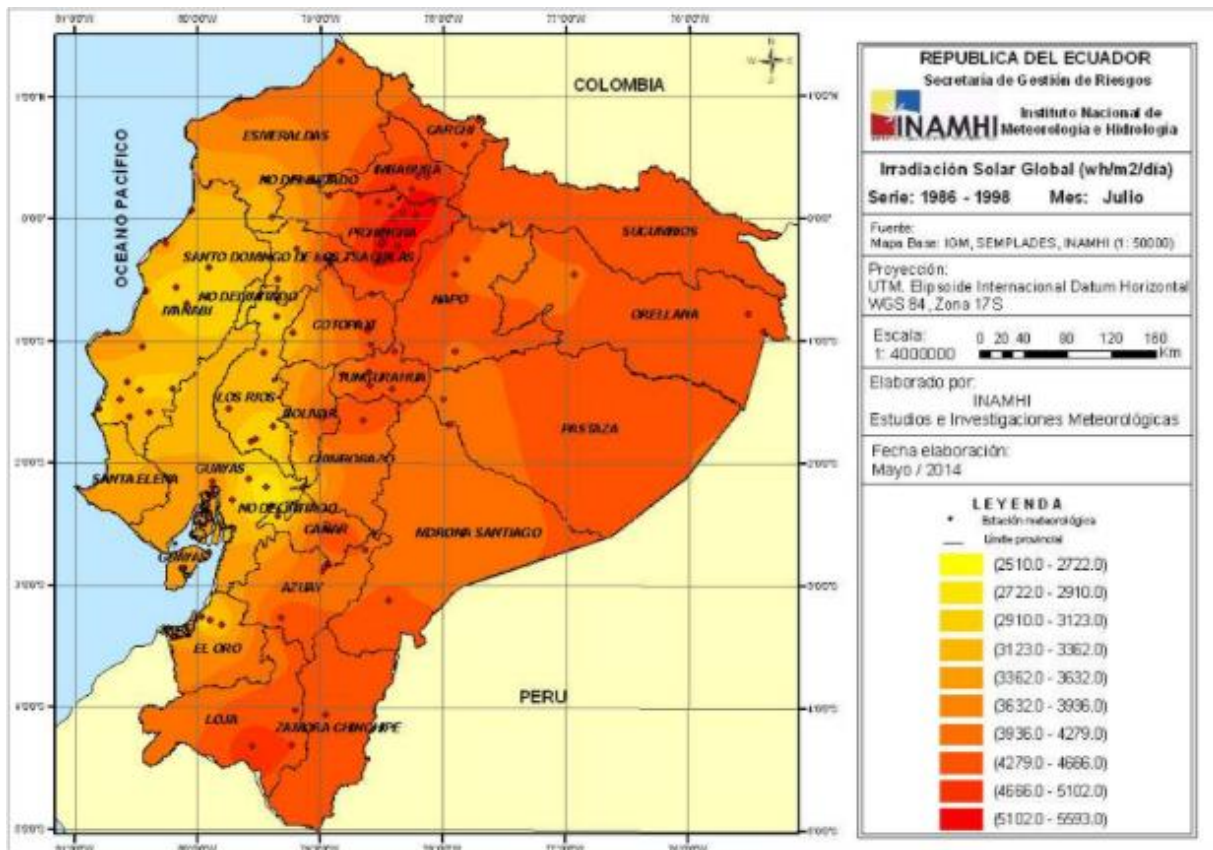


Figura 3. 7: Radiación solar registrada por el INAMHI

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) (INAMHI, 2014)

La Figura 3.8 muestra la radiación solar en el sector obtenida de la página del CONELEC (Consejo Nacional de Electricidad). Se puede observar estos datos están por encima de los obtenidos de nuestra estación meteorológica, pero con un margen de error mínimo, corroborando de esta manera el buen análisis realizado por nuestra estación, es por ello que se procedió a realizar los cálculos generales del sistema fotovoltaico, teniendo en cuenta la presencia favorable del recurso solar. Concluyendo que es oportuno la elaboración de este proyecto, porque, la radiación es muy elevada.

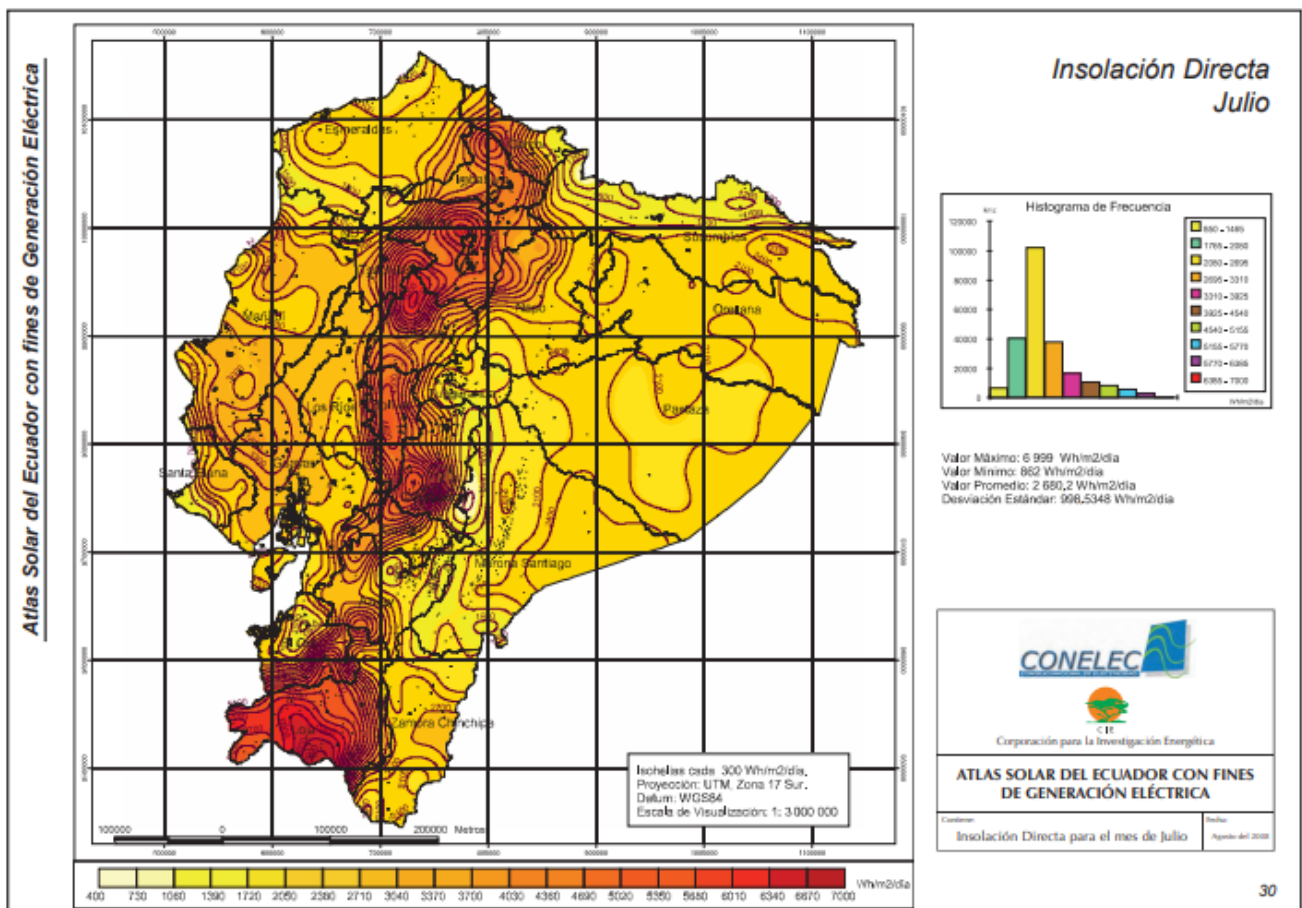


Figura 3.8: Radiación solar registrada por el CONELEC

Fuente: Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC). (CONELEC, 2013)

3.2.4 Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico.

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico depende de la energía demandada por la carga. Para encontrar el arreglo de los paneles necesarios, se recurre a su cálculo mediante la ecuación (3.3), cuya producción sea capaz de cubrir la demanda; se parte de la potencia del panel (300W) y las pérdidas ocasionadas por conexiónado y dispersión en diversos parámetros (0.1).

Para el diseño del sistema fotovoltaico se considera la radiación mínima presente en la zona de 0.522 (kWh/m²), siendo un valor de radiación desfavorable para garantizar un buen funcionamiento en condiciones adversas.

A continuación, se exhibe el diseño de los componentes principales del sistema:

$$No_p = \frac{L \cdot 0.8}{W_p \cdot G \cdot (1 - \eta_c)} \quad (3.3)$$

$$No_p = \frac{17.65 \cdot 0.8}{0.3 \cdot 0.522 \cdot (1 - 0.1)} = 100.18 \sim 100 \text{ paneles}$$

Donde:

L: es la carga necesaria a generar con los paneles, multiplicada por un factor de simultaneidad

Wp: es la potencia de los paneles

G: es la radiación presente en la zona (kWh/m²)

η_c: es un factor de dispersión 0.1

No_p: es el número de paneles necesarios

Si se desea trabajar a 48V dc con paneles de 24 V, entonces es necesario establecer un arreglo en función del nivel de trabajo dc, como se muestra a continuación en la Figura 3.9:

$$No_p^{serie} = \frac{48}{24} = 2 \text{ paneles conectados en serie}$$

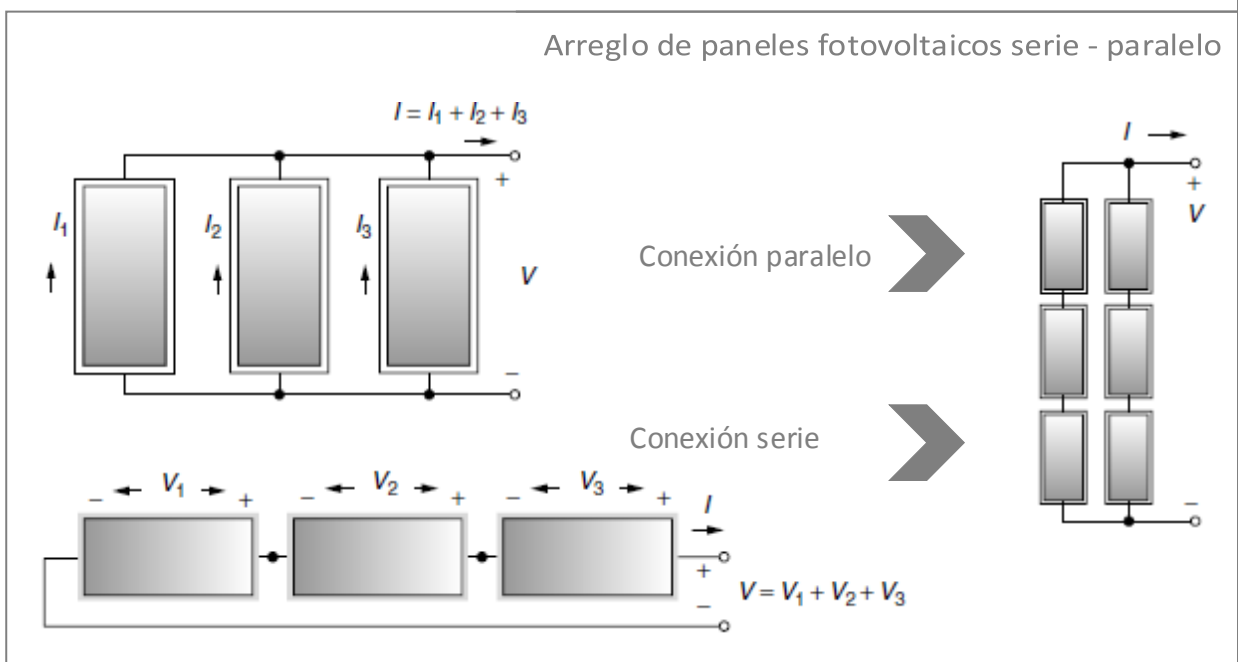


Figura 3.9: Conexión serie paralelo de los paneles fotovoltaicos

Fuente: Gilbert M.

Para mantener una reserva de un día de autonomía (6h), entonces primero se determina la energía necesaria demandada para los días de autonomía establecidos, cuyo resultado proporcionará la capacidad del sistema de acumulación, con lo cual se definirá el dimensionamiento de las baterías necesarias para cubrir la demanda ante una eventualidad. Partiendo de la ecuación 3.4. Tenemos la carga por el número de días de autonomía.

$$L_n = d * L_{dc} + L_{dc} \quad (3.4)$$

$$L_n = 2 * 17.65 = 35.3 \text{ kWh}$$

Donde:

d: es el número de días de autonomía

La carga total para los días que se desee reservar energía es de 35.3 kWh.

Con la ecuación 3.5 obtenemos la capacidad de la batería en kWh y mediante la ecuación 3.6 se obtiene la capacidad de la batería en Ah.

$$C_a = \frac{L_n}{P_b * \eta_b} \quad (3.5)$$

$$C_a = \frac{35.3}{0.7 * 0.8} = 63.04 \text{ kWh}$$

$$C_b = \frac{C_a}{V_{dc}} \quad (3.6)$$

$$C_b = \frac{63040}{48} = 1313 \text{ Ah}$$

Donde:

Ca: es la demanda necesaria para las baterías en kWh

Cb: es la capacidad necesaria para las baterías en Ah

Por lo tanto, se necesita baterías con las especificaciones de profundidad de descarga del 70% y una eficiencia del 80% que cubran la capacidad de 1313 Ah a un nivel de voltaje de 48 V.

Los reguladores se determinan por la intensidad máxima de trabajo y por el voltaje de diseño de la instalación. Finalmente, la potencia del convertidor CC/AC se elige en función de la potencia total nominal multiplicado por un factor de simultaneidad como se muestra a continuación en la ecuación 3.7.

$$P_{conv} = DMC * 0.8 \quad (3.7)$$

$$P_{conv} = 4 * 0.8 = 3.2 \text{ kW}$$

Donde:

Pconv: es la potencia necesaria del convertidor

DMC: es la demanda máxima coincidente

3.2.5 Simulación

A continuación, se presenta el conjunto modelo a través de la simulación de los elementos antes mencionados para su respectivo análisis y validación del comportamiento del sistema. La Figura 3.10 muestra la estructura básica del diagrama unifilar del sistema en estudio.

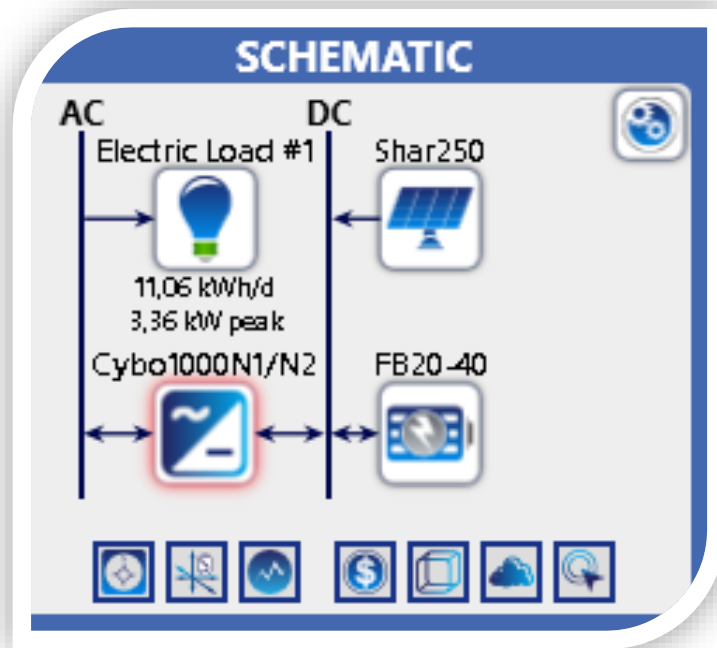


Figura 3.10: Diagrama unifilar equivalente del sistema fotovoltaico

Fuente: Elaboración propia

La simulación fue realizada con el programa HOMER Pro Microgrid Analysis Tool 3.10.3 en su versión de evaluación, que nos permite simular un sistema fotovoltaico. En donde cada uno de los elementos fueron calibrados de acuerdo a los datos calculados en la sección anterior (a excepción de la demanda ya que fue registrada en función de un perfil de 24h multiplicado por un factor de simultaneidad), los costos y características técnicas adicionales fueron obtenidas de las especificaciones establecidas por el fabricante.

El resumen del resultado obtenido por la simulación se muestra en la Tabla 3.2. HOMER analiza arquitecturas óptimas para obtener la máxima eficiencia en el aprovechamiento de los recursos energéticos renovables disponibles al mínimo costo, a través de espacios de búsqueda proporcionados por el personal técnico. Esto es definir un rango de variabilidad con los cuales el programa pueda jugar a través de posibles combinaciones de las capacidades de los elementos. Por ejemplo, se establece un rango de libertad en el número de baterías a utilizar (0, 1, 2, 3 o 4 baterías) en combinación con un rango de capacidad a producir por los paneles fotovoltaicos, con esta información el programa presenta resultados en función del aprovechamiento de la energía, costos, rendimiento y eficiencia del sistema.

Tabla 3.2: Resumen de los resultados obtenidos por la simulación

Arquitectura	PV [kW]	Baterías [u]	Convertidor [kW]	COE [\$]	NPC [\$]	Operación [\$]	Capital inicial [\$]
PV,Bat,Inv,Reg	30,0	10	3,50	1,03	53.653,00	1.039,0	40.225,00

Fuente: Elaboración Propia

- PV: Potencia de los paneles solares a instalar.
- COE: Costo promedio por kWh de energía eléctrica utilizada producida por el sistema.
- NPC: Valor presente de todos los costos que el sistema incurre en su tiempo de vida.

De la tabla 3.2 se comprueba que una arquitectura óptima de funcionamiento del sistema involucra $\frac{30,0}{0,30} = 100$, equivalente a 100 paneles fotovoltaicos de 300 W, 10 baterías de 400 Ah y un convertidor de 3,5 kW a un costo de 1,03 \$/kWh y un capital inicial de 40.225 \$. Éstos resultados concuerdan con los calculados en la sección anterior.

En cuanto a perfiles de carga HOMER dispone de un amplio catálogo como podemos observar en la Figura 3.11 el cual también puede ajustarse a condiciones particulares establecidas por el usuario, es así que se ha fijado un perfil acorde a las características de la Tabla 3.1 y la situación habitacional de la comuna. De manera similar se dispone de un variado registro de recursos energéticos como perfiles de radiación Figura 3.12, viento y una gran base de equipamiento electromecánico, los cuales han sido utilizados en este estudio.

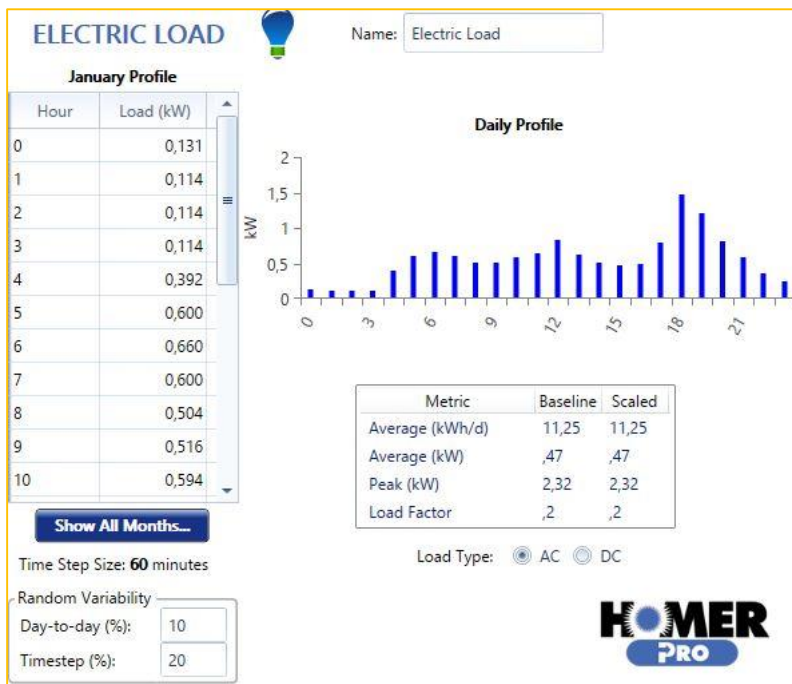


Figura 3.11: Perfil de carga residencial 24h
Fuente: Importado del catálogo de HOMER

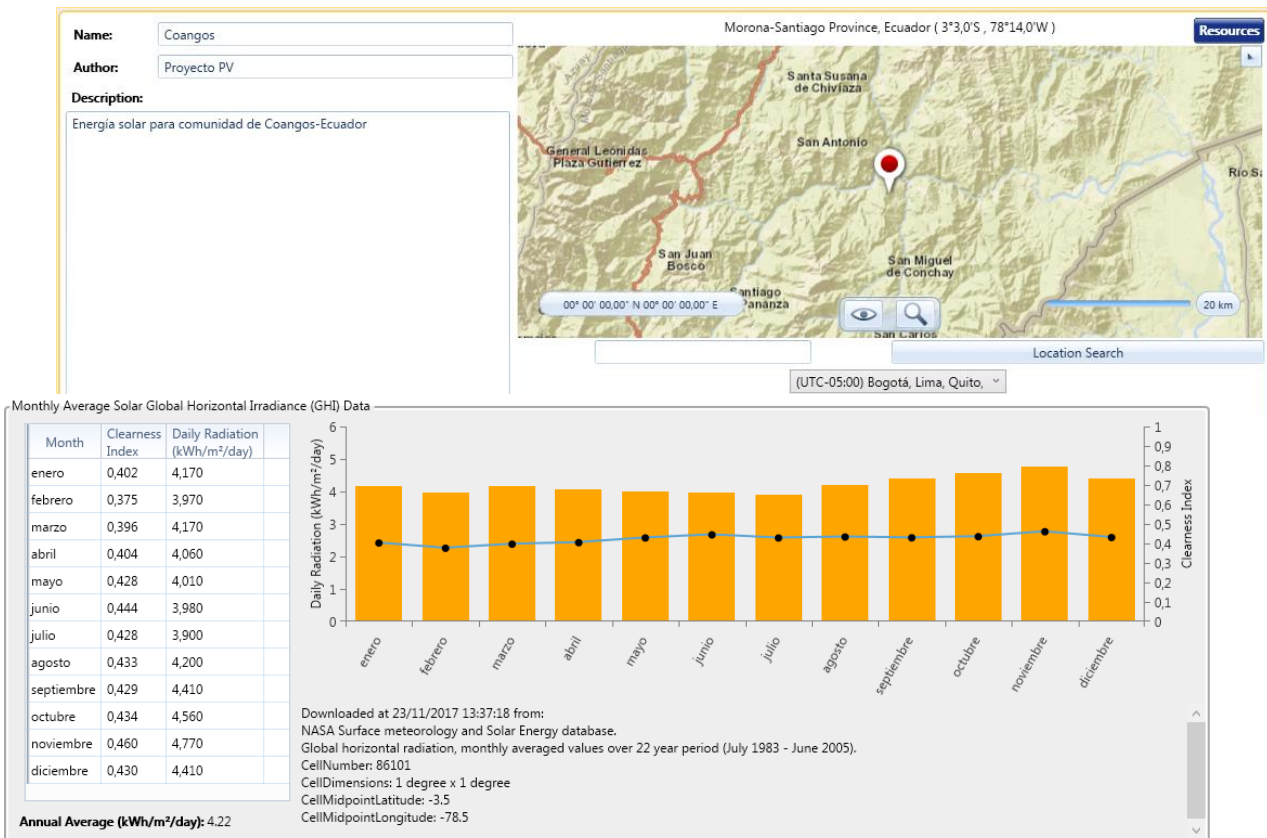


Figura 3.12: Perfil de radiación solar registrado en Coangos para una base comercial
Fuente: Programa HOMER Pro

En la siguiente ilustración Figura 3.13 se muestran los respectivos perfiles de generación y demanda con el objetivo de ilustrar la dinámica del funcionamiento del sistema. La línea en color amarillo representa la producción de energía eléctrica por los paneles fotovoltaicos, la línea negra representa la carga o demanda a satisfacer, la línea verde muestra el perfil de descarga y la línea morada presenta el estado de carga de las baterías. Como puede apreciarse la mayor generación se da en las horas del mediodía, la cual es utilizada para abastecer la demanda y el excedente es almacenada en las baterías (línea morada) para posteriormente abastecer en las horas de la mañana y la noche (línea verde). Por lo tanto demostrando un estado de operación estable del sistema bajo las condiciones de los parámetros obtenidos.

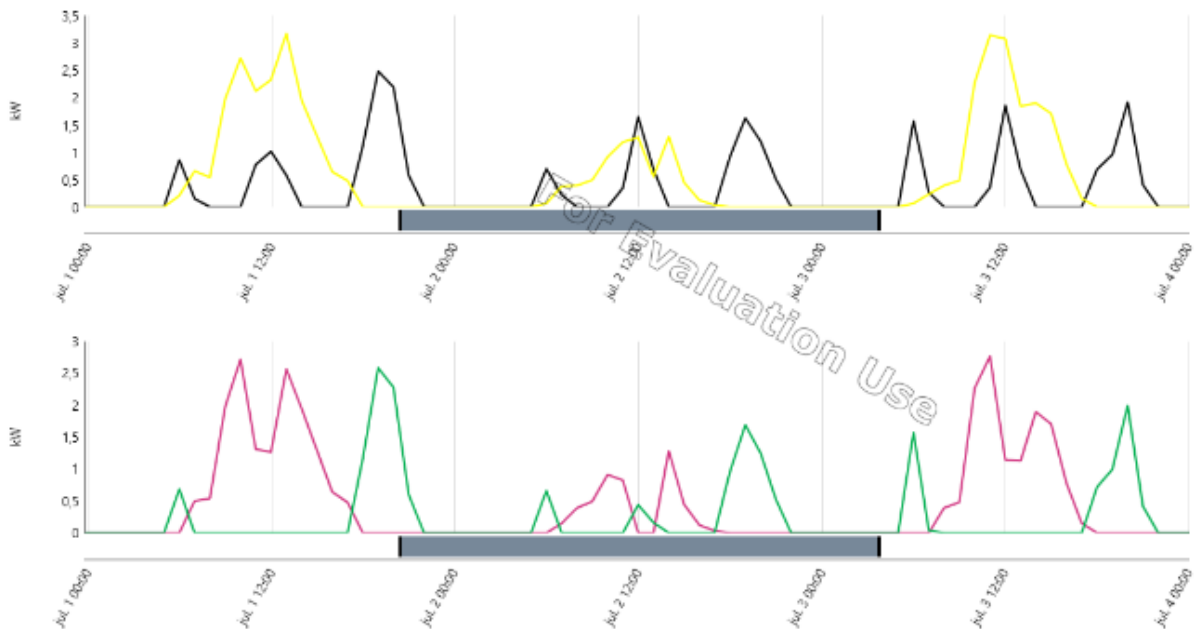


Figura 3.13: Perfiles de generación y carga obtenidos de la simulación

Fuente: Resultado simulación HOMER Pro

3.2.6 Estudio del comportamiento del sistema fotovoltaico

Para verificar la veracidad de las ecuaciones utilizadas que permiten definir las características técnicas de los elementos claves en este estudio, se comparan las respuestas obtenidas mediante cálculos matemáticos y las obtenidas mediante simulación computacional, por lo que los resultados serán aproximaciones con un margen de error que dependerán de diversos factores. La elección del software de simulación HOMER dependió de su versatilidad con el usuario, potencialidad de análisis, tiempo computacional y disponibilidad.

El número de paneles necesarios ha sido validado exitosamente comparado con los calculados, el número de baterías para almacenar la suficiente energía necesaria para suplir la demanda en horas donde no exista radiación o sea insuficiente es de 10 con una capacidad nominal de 20 kWh (una por cada vivienda). La capacidad del convertidor se ha establecido en 3,5 kW el cual es el que más varía respecto al 3.2kW calculado. De manera general todos resultados son bastante aproximados.

3.3 Evaluación Económica.

Para determinar los costos del sistema fotovoltaico se debe considerar el costo total, la suma de los costos individuales como, por ejemplo, capital de inversión, costos de mantenimiento y costos de recuperación de la inversión.

Los costos anuales de operación y mantenimiento son bajos, alrededor del 1 al 3 % del costo total del sistema.

La inversión inicial es fundamental puesto que los principales costos de implementación a tener en cuenta para este proyecto son los siguientes:

- Paneles fotovoltaicos.
- Inversores.
- Estructuras metálicas.
- Cableado e interconexión con las viviendas.
- Instrumentos de medición, protección, corte y maniobra.
- Obras civiles.

La selección de los elementos se hará dependiendo de las especificaciones y costo de los equipos, además considerando la vida del sistema que será alrededor de unos 15 a 20 años; en nuestro caso tomaremos 20 años de vida útil.

Para baterías de 12V el costo promedio de la energía es de 75 a 100 US\$/kWh.

Los componentes electrónicos como controladores, depende de su capacidad de corriente. Existen de 4 a 24 amperios entre unos 40 y 120 dólares.

El precio del inversor depende de la potencia. Los accesorios como luminarias, cables, breakers, etc varían y deben obtenerse de los proveedores.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Situación económica para la implementación.

El costo global de inversión estimado para la implementación del sistema fotovoltaico en la comunidad de Coango, esta obtenido a partir de los análisis previamente realizados y de los cálculos descritos anteriormente. Para ello se muestra en la Tabla 4.1 el número de elementos que serán utilizados en la inversión inicial (VER ANEXO 3) para la alternativa de cálculo descrita en la etapa de diseño.

Tabla 4.1: Equipos utilizados

EQUIPOS ELECTRICOS UTILIZADOS	
EQUIPOS	CANTIDAD
Panel Solar	100
Inversor	1
Controlador	1
Batería	10

Fuente: Elaboración Propia

Conforme a los alcances que se plantean en este estudio, se debe considerar el capital destinado para imprevistos en el presupuesto global para la inversión, el mismo que se ha considerado del 5.0 %, En la Tabla 4.2 se exponen los costos totales aproximados para la inversión.

Tabla 4.2: Costo de los equipos

PRESUPUESTO APROXIMADO DE INVERSIÓN			
Item	Descripción	P. Unitario	P. Total
1	Paneles Solares	\$ 300	\$ 30000
2	Inversor	\$ 1350	\$ 1350
3	Controlador	\$ 850	\$ 850
4	Batería	\$ 400	\$ 4000

SUBTOTAL	\$ 36200
IMPREVISTOS 5.0 %	\$ 1810
TOTAL	\$ 38010

Fuente: Elaboración Propia

Del cálculo realizado se obtiene un presupuesto aproximado de inversión inicial de 38.010,00 dólares y mediante el programa computacional "HOMER Pro" se tiene una inversión inicial de 40.225,00 dólares. De acuerdo a los ítems presentados se han obtenido costos muy aproximados.

4.2 Ventajas de la energía fotovoltaica.

Las ventajas de este tipo de energía renovable son a continuación detalladas.

- El sol al ser una fuente de energía inagotable, resulta rentable la implementación de paneles solares fotovoltaicos ya que la captación de la energía emitida por el mismo es una manera ecológica de generación de energía eléctrica.
- El uso de energías renovables, son medidas que permiten disminuir el uso de las energías convencionales provenientes de los combustibles fósiles, disminuyendo de esta manera los niveles de contaminación.
- La energía fotovoltaica permite alcanzar una independencia, consiguiendo, disminuir la necesidad de construir redes de transmisión para abastecer de energía eléctrica a zonas donde el tendido eléctrico no llega o es inaccesible, por ejemplo, zonas rurales apartadas, islas, etc. debido a su fácil instalación y uso.
- La energía solar fotovoltaica es considerada como energía limpia, puesto que es una fuente gratuita e inagotable de energía.
- Los paneles solares no presentan ruido, beneficiando de esta manera a la comunidad a implementarse, puesto que al estar ubicada en un área rural está rodeada de animales, aves y más seres vivos, que no se verán afectados por el ruido y por lo tanto armoniza con el entorno.
- Teniendo en cuenta que esta implementación conlleva una gran inversión, algunas de las ventajas que tendría son, menores pérdidas en la transmisión, tiene un bajo costo de operación y de mantenimiento.
- Están contruidos con materiales de alta tecnología robustos que, al encontrarse a la intemperie, evitan la corrosión siendo ideales para lugares extremos.

4.3 Inconvenientes de la energía fotovoltaica.

Como toda fuente de energía, la energía solar fotovoltaica tiene sus inconvenientes.

- Para la implementación de un parque fotovoltaico es necesario una gran extensión de terreno para llevar a cabo una instalación de este tipo, el cual no puede combinarse con otros usos. Por lo tanto, es recomendable montarlos en terrenos que no sea utilizado para otras prácticas, como la ganadería, o la agricultura, etc.
- Los paneles fotovoltaicos solo producen energía mientras haya luz, es decir que en las noches no se puede obtener energía de estos elementos. Por lo tanto, depende del grado de insolación del lugar.
- La eficiencia de los paneles solares es bastante bajo, en muchos de los casos inferior al 20%, debido a la baja eficiencia de las células solares en un sistema fotovoltaico las cantidades de potencia y energía que se puede obtener son reducidas.
- La energía solar disponible en el medio es variable e imprevisible y depende de las condiciones atmosféricas.
- Para un sistema fotovoltaico eficiente se necesitan bancos de baterías, subiendo de esta manera el costo de inversión inicial y durante la vida útil del proyecto.
- En los sistemas aislados, las baterías pueden representar un peligro para las personas y el suelo, por el derrame ocasional de la solución de ácido sulfúrico.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.

El suministro energético está directamente relacionado con el nivel de desarrollo y calidad de vida de las personas, motivo por el cuál estos tipos de estudio son de gran impacto e importancia social para el bienestar humano relevando a segundo plano su viabilidad económica, en pro del aprovechamiento sostenible de los recursos energéticos naturales y el nivel de desarrollo tecnológico alcanzado.

En el desarrollo del presente proyecto se recopiló información para la elaboración de un estudio de factibilidad de un sistema fotovoltaico, para la generación de energía eléctrica en la localidad de “Coangos”, con un levantamiento de carga, y determinación de la demanda máxima asociada a cada una de las viviendas, que constituyen datos de suma importancia para la comunidad.

La información recabada sirvió para la determinación de la potencia de generación del parque fotovoltaico, con el afán de brindar un buen servicio de energía.

En referencia al análisis fotovoltaico efectuado, se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Según lo mostrado en este trabajo, se determinó que la posibilidad de dotar de energía eléctrica a un sector rural aislado, que no cuenta con un servicio de tendido eléctrico, es viable mediante un sistema fotovoltaico.
- Se ha establecido aprovechar la radiación solar del sector y apoyado mediante las prestaciones del software HOMER Pro se ha simulado la cantidad de radiación presente y la factibilidad para la producción de energía eléctrica con tecnología limpia y renovable, concluyendo que es una alternativa factible en el ámbito actual tanto tecnológica y ambientalmente, cumpliendo un nivel de exigencia eficiente respecto a las necesidades energéticas de la comunidad.
- Se ha determinado que la implementación de los sistemas fotovoltaicos, son fuentes alternativas que dan soluciones integrales y confiables con beneficios particulares y sociales que deben ser aprovechados.
- En relación al sistema simulado, es capaz de operar con total normalidad durante todos los días del año con un día de autonomía ante posibles contingencias. Además, solo ha sido analizado desde una perspectiva de infraestructura eléctrica y no civil.

- De los resultados obtenidos se determinó un capital necesario para la implementación del proyecto de 40.225,00 \$ a un costo de 1,03 \$/kWh, para un sistema compuesto por 100 paneles de 300 W, 10 baterías totalizando 200 kWh, un inversor y convertidor de 3,5 kW, para satisfacer una demanda de 17 kWh-día.
- Los precios y marcas de equipos presentados han sido especificados con motivos referenciales acordes a la situación del mercado actual, por lo que no deben ser sugeridos de manera estricta.
- Los costos adicionales pueden ser amortizados con la colaboración de la misma población en cuanto a transporte, mano de obra y la gestión adecuada de las entidades pertinentes.

Recomendaciones.

Las inspecciones regulares y el mantenimiento necesario de las instalaciones del parque fotovoltaico, pueden ahorrar tiempo, alargar la vida útil de los elementos que lo conforman, que se reflejan en ahorro económico, teniendo en cuenta que los costos involucrados no son representativos en esta fase de operación.

Por tal motivo se sugiere considerar las siguientes recomendaciones:

- Para el bienestar de todos los seres vivos es necesario implementar sistemas renovables amigables con el ambiente en la generación de energía eléctrica, aportando con un sistema ecológico que en la actualidad mundial es una de las necesidades fundamentales de compromiso ético profesional.
- Tener en cuenta las sugerencias que emiten el personal encargado del proyecto, ya que estas personas son las que más familiarizados están con el sistema y tienen un mayor conocimiento de las necesidades que tiene el mismo.
- Realizar la instalación del sistema solar fotovoltaico, de acuerdo al diseño planteado en este documento.
- Verificar las características técnicas de los equipos y tener las precauciones necesarias en la instalación.
- Verificar las normas de seguridad.
- Monitorear parámetros importantes, cuya tendencia nos permita anticipar si se puede producir un mal funcionamiento o incluso un colapso a futuro de los equipos instalados, hay que tener en cuenta la estabilidad de voltaje, el desequilibrio de las fases, que son buenos indicadores del estado del suministro eléctrico que se tenga en la red.
- Incentivar este tipo de proyectos a nivel local es muy importante para satisfacer el déficit energético en lugares donde no llega el tendido eléctrico en nuestro país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abella, M. A. (2003). *Sistemas Fotovoltaicos*. Madrid: CIEMAT.
- Belmonte, P. (2005). *Ecologistas en Acción*. Obtenido de LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LAS LÍNEAS E INFRAESTRUCTURAS ELÉCTRICAS:
<http://www.apdr.info/electrocontaminacion/Documentos/Artigos/articuloaltatension.pdf>
- Canga Cabañes, J. L. (2009). IMPACTO AMBIENTAL DE LAS REDES ELÉCTRICAS. *XVII CURSOS DE VERANO DE TORRELAVEGA*, 15.
- Canga Cabañes, J. L. (2009). IMPACTO AMBIENTAL DE LAS REDES ELÉCTRICAS . *XVII CURSOS DE VERANO DE TORRELAVEGA* , 11-15.
- CONELEC. (2013). *CONELEC*. Obtenido de Plan Maestro de Electrificación 2013-2022:
<http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/Vol4-Aspectos-de-sustentabilidad-y-sostenibilidad-social-y-ambiental.pdf>
- Domínguez González , H. (2012). *DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL COBAEV 35 XALAPA*. . UNIVERSIDAD VERACRUZANA .
- Ecuared. (16 de Mayo de 2017). *Ecuared*. Obtenido de Provincia de Morona Santiago:
https://www.ecured.cu/Provincia_de_Morona_Santiago
- EP-TRANSELECTRIC, C. (S.F). *AUDITORÍA AMBIENTAL DE CUMPLIMIENTO Línea de Transmisión Eléctrica Quevedo – San Gregorio (Portoviejo) 230kV, y Subestación Eléctrica San Gregorio 230/138kV* . Portoviejo: Soluciones Ambientales Totales.
- Herrera, M. (2016). *Universidad de Cuenca*. Obtenido de
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/24341/1/Tesis.pdf>
- IBERDROLA. (2004). *ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DE LÍNEA ELÉCTRICA AÉREA A 132 KV, DOBLE CIRCUITO, DERIVACIÓN A PETRONOR DE L/ORTUELLA – ABANTO (VIZCAYA)* . Vizcaya: Iberinco.
- IBERDROLA. (Octubre de 2011). *Ingeniería y Construcción* . Obtenido de Estudio de Impacto Ambiental de la Línea Eléctrica a 132 kV de Entrada/Salida en ST Armintza de la Línea Eléctrica a 132 kV ST Lemoniz-ST Gatika (Bizkaia). DOCUMENTO DE SÍNTESIS :
https://www.iberdroladistribucion.es/socdis/gc/prod/es_ES/contenidos/docs/redes_Armitza.pdf
- Ing. Cardozo Piña, A. (2014). *Cálculo y Diseño de Sistema Solar Fotovoltaico para Uso Doméstico*. México, D.F: Universidad Autónoma de Mexico.
- Ing. Cardozo Piña, A. (2014). *CÁLCULO Y DISEÑO DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA USO DOMÉSTICO* . México: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
- Lexis. (10 de Septiembre de 2004). *www.ambiente.gob.ec*. Obtenido de LEY DE GESTION AMBIENTAL, CODIFICACION: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf>
- Line, E. O. (06 de Junio de 2003). *www.estrucplan.com*. Obtenido de Impactos Ambientales y Actividades Productivas: <https://www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=290>
- Montero Calderón, F. (09 de Julio de 2015). *Curso de paneles solares*. Obtenido de Componentes de una instalación solar Fotovoltaica: <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>
- Morales, J. A., & Gavela, P. (2015). *Determinación de campos electromagnéticos en sistemas eléctricos* . Quito: Editorial Universitaria Abya-Yala .

- Muñoz Anticona, D. F. (2005). "APLICACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR PARA ELECTRIFICACIÓN RURAL EN ZONAS MARGINALES DEL PAÍS". Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Rodríguez , D., & Arroyo, D. (08 de Julio de 2016). *El Telégrafo* . Obtenido de Energía solar fotovoltaica en Ecuador: <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/punto-de-vista/1/energia-solar-fotovoltaica-en-ecuador>
- SOLUZIONA. (s.f). *Línea de Transmisión Eléctrica 230kV del Proyecto SIEPAC- Tramo Panamá- Estudio de Impacto Ambiental*. Panamá: Soluziona.
- Telecomunicación, C. O. (2007). *Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid: Ibergraphi 2002, S.L.L.
- Valdivia González, C. A. (2012). "FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA COMUNA DE PUCÓN". Valdivia: Universidad Austral de Chile .
- Vásquez Chigne, L. C., & Zúñiga Anticona, B. M. (2015). *Proyecto de Prefactibilidad para la Implementación de Energía Solar Fotovoltaica y Térmica en el Campamento Minero Comihuasa*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Vásquez Chigne, L. C., & Zúñiga Anticona, B. M. (2015). *Proyecto de Prefactibilidad para la Implementación de Energía Solar Fotovoltaica y Térmica en el Campamento Minero Comihuasa*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

ANEXOS

Anexo 1:



Figura 1: Comunidad de Coangos

Fuente: Tomas propias

Anexo 2:

DATOS CARACTERÍSTICOS DE LA RADIACIÓN SOLAR EN EL SECTOR

Tabla 1: Mediciones tomadas de la radiación solar

Fuente: Elaboración propia

14/07/2017	685.32	31/07/2017	397.07	17/08/2017	358.05
15/07/2017	717.47	01/08/2017	536.24	18/08/2017	454.46
16/07/2017	570.64	02/08/2017	582.54	19/08/2017	533.45
17/07/2017	494.49	03/08/2017	548.30	01/09/2017	627.29
18/07/2017	525.58	04/08/2017	535.76	02/09/2017	610.56
19/07/2017	446.10	05/08/2017	514.54	03/09/2017	567.27
20/07/2017	809.39	06/08/2017	413.20	04/09/2018	840.78
21/07/2017	762.43	07/08/2017	496.71	05/09/2018	709.49
22/07/2017	357.55	08/08/2017	429.42	06/09/2018	465.04
23/07/2017	492.00	09/08/2017	288.51	07/09/2019	837.72
24/07/2017	352.82	10/08/2017	427.94	08/09/2019	697.41
25/07/2017	409.59	11/08/2017	525.23	09/09/2019	619.35
26/07/2017	660.39	12/08/2017	540.09	10/09/2018	642.61
27/07/2017	552.75	13/08/2017	410.93	11/09/2018	649.84
28/07/2017	516.88	14/08/2017	521.42	12/09/2019	722.87
29/07/2017	458.45	15/08/2017	396.49	13/09/2020	562.52
30/07/2017	606.96	16/08/2017	371.18	14/09/2021	637.89

15/09/2022	531.30
16/09/2023	567.70
17/09/2024	525.14
18/09/2025	462.23
19/09/2026	844.60
20/09/2027	846.40
21/09/2028	776.87
22/09/2029	431.85

23/09/2030	514.07
24/09/2031	500.80
25/09/2032	458.48
26/09/2033	602.32
27/09/2034	780.83
28/09/2035	679.68
29/09/2036	681.24
30/09/2037	511.22

01/10/2017	714.20
02/10/2017	837.27
03/10/2017	767.57
04/10/2018	455.21
05/10/2019	616.92
06/10/2020	587.54

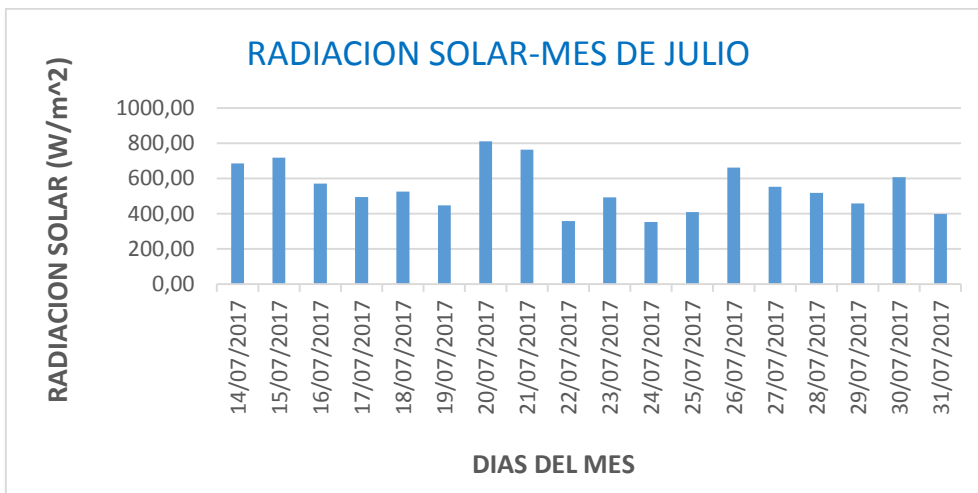


Figura 2: Radiación solar del mes de Julio

Fuente: Elaboración propia

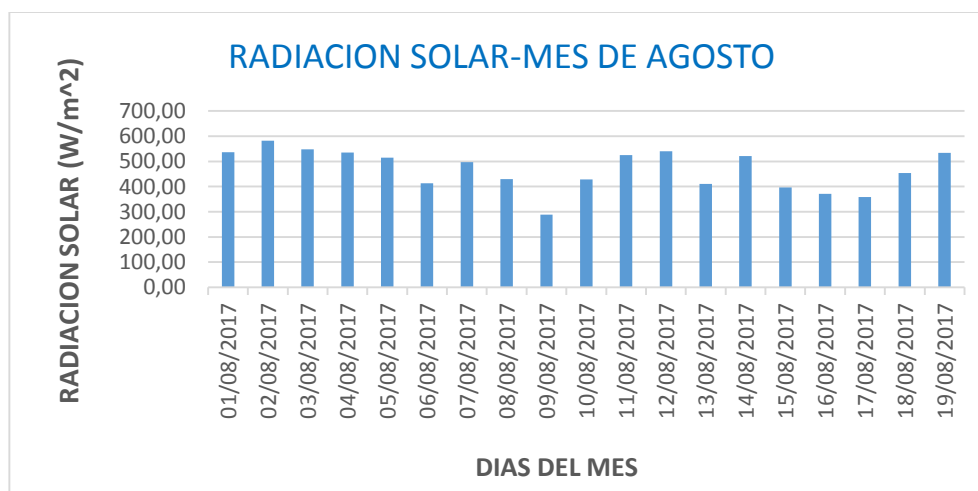


Figura 3: Radiación solar del mes de Agosto

Anexo 3:

CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS

- **Paneles:** Las tecnologías de silicio monocristalino y policristalino en paneles solares son muy empleadas en la industria fotovoltaica, su principal diferencia yace en el rendimiento de cada una. La tecnología monocristalina es apenas más eficiente, con un costo \$/W superior a la policristalina.

Por este motivo se consideró paneles solares de policristalino Simax de 300 W con un costo de cada panel de 300 dólares; el detalle físico del panel solar se indica en la Figura 6 y sus características propias presentadas por el fabricante expresado en la tabla 1.

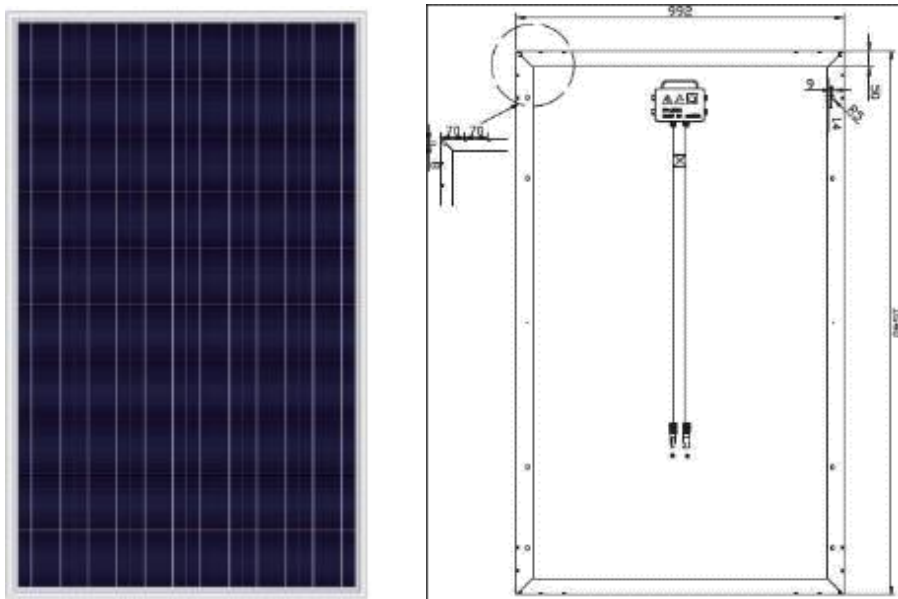


Figura 6: Panel solar policristalino Simax

Fuente: Obtenida del fabricante

Tabla 2: Características técnicas del panel Simax300W

PANEL SOLAR DE 50W	
Panel Solar Policristalino	72(6x12) Celdas en vertical
Isc	7.52A
Voc	43.5V
Imp	6.91A
Vnom	12V
Dimensiones	1640x992x40 (mm)
Peso	19.2kg

Fuente: Catálogo del fabricante.

- **Inversores:** El costo referente a inversores centrales es menor que en el caso de inversores distribuidos; sin embargo, la diferencia de costos entre estas alternativas es muy pequeña, tal es el caso que para inversores distribuidos oscila entre 0.18 USD/W y 0.23 USD/W, y para inversores centrales entre 0.15 USD/W y 0.21 USD/W. (Herrera, 2016)

Por ende, se consideró un inversor POWERSTAR de 2000 W a 48 VDC con un costo de 700 dólares; el detalle físico del inversor se indica en la figura 2, y sus características propias presentadas por el fabricante expresado en la tabla 2.



Figura 7: Inversor Powerstar

Fuente: Obtenida del fabricante

Tabla 3: Características técnicas del inversor Powerstar 2000W

INVERSOR 2000W
• Onda sinusoidal pura que permite operar cargas sensibles
• Recarga de banco de baterías
• Recarga potente con 30A y 70A
• Acepta entrada de generador
• Factor de potencia alta
• Transferencia automática entre la entrada externa AC y el modo inversor
• Estabilidad de operación alta por su sistema de microcontroladores
• Bypass sin las baterías conectadas
• Opcionalmente: control remoto Protecciones contra::
• Sobre carga, sobre temperatura, sobre recarga, batería baja,

Fuente: Catálogo del fabricante.

- **Regulador:** El regulador o controlador es un dispositivo electrónico que tienen la función de proteger a las baterías y del sistema, manteniendo la tensión adecuada de la carga que se almacena.

El controlador de carga trabaja en función de varios factores, uno de ellos es su tamaño ya que al encontrar el tamaño ideal de este dispositivo eléctrico se debe tener en cuenta el número de paneles solares que el sistema utiliza además de las baterías. Las baterías aprovechan y almacenan cada partícula de calor, ya que la energía que el sol produce es incesable.

Se consideró un controlador TriStar TS45 de 48v y 45 A con un costo de 250 dólares; el detalle físico del regulador se indica en la Figura 8 y sus características propias presentadas por el fabricante expresado en la Tabla 4.



Figura 8: Regulador TriStar TS45

Fuente: Obtenida del fabricante

Tabla 4: Características técnicas del regulador TriStar TS45

REGULADOR TRISTAR TS45	
Energía solar, corriente de carga o de desvío	45 A
Voltaje del Sistema	12 – 48 V
Precisión	±100mV
Voltaje Mínimo de Operacion	9 V
Voc	125V
Autoconsumo	controlador
	19.2kg

Fuente: Catálogo del fabricante.

- **Baterías:** La disponibilidad de energía solar para producir la electricidad raras veces coincide con el tiempo cuando la necesitamos. En generadores hidroeléctricos se puede aumentar el flujo de agua con válvulas, pero no podemos regular el sol. Las baterías pueden ser consideradas el talón de Aquiles de los sistemas tipo 'isla', o sistema aislados, puesto que representan gran parte de la inversión, pero además tienen frecuentemente la vida más corta de toda la instalación. Se consideró una batería SBB de ciclo profundo de 12v y 400Ah con un costo de 400 dólares; el detalle físico de la batería se indica en la Figura 9.



Figura 9: Batería SBB de descarga profunda

Fuente: Obtenida del fabricante SBB