



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Ambiental

**“Diseño para la implementación de energía renovable
fotovoltaica, en el barrio Artesanos sector de los Empleados
Municipales del cantón Sucúa”.**

**Trabajo de titulación previo a
la obtención del título de
Ingeniero Ambiental.**

Autores:

Carlos Alberto Lituma Torres.

CI:1400566962

litumovicksh@hotmail.com

Genaro Rodrigo Vásquez Solis

CI: 0302403258

geniovago@hotmail.com

Tutora:

Ing. Johanna Patricia Sánchez Quezada Mgt.

CI: 0703874677

Cuenca, Ecuador.

08-enero-2019



Resumen:

En el Ecuador, sectores de la Amazonía no disponen del servicio de energía eléctrica, debido a factores geográficos como el caso del sector de los Empleados Municipales, del cantón Sucúa, provincia de Morona Santiago, donde los moradores utilizan motores de combustión interna para abastecerse del servicio de energía eléctrica, mismo que resulta perjudicial para su salud y el medio ambiente. Una solución a esto ha sido la implementación de un sistema fotovoltaico. Por lo que se desarrolló un estudio in situ y se determinó la cantidad del recurso solar que posee el área de estudio mediante la aplicación del Atlas Solar del Ecuador y los datos de la NASA, utilizando el programa CENSOL 5.0 y el modelado de ecuaciones se logró el diseño del sistema fotovoltaico para la zona de estudio. Además, se estimó los beneficios ambientales y económicos de la propuesta. Llegando así a determinar que la propuesta es factible ya que logrará abastecer la demanda de consumo energético de los moradores de la zona y evitará la emisión de 4,38 t CO₂ anualmente, se añade también un beneficio económico el cual se obtiene a través de la venta de certificados de carbono, los cuales son estímulos que se dan a los proyectos en los cuales se realiza una reducción de las emisiones de dióxido de carbono.

Palabras claves:

- Fuel Oil. Wh (kWh. GWh). V. A. CO₂. ARCONEL. CONELEC. W/m². NASA. SFA. Irradiación. Batería VRLA. AC. HSP. WP. Factor de seguridad. Censol 5.0. CER. Nafta.



Abstract:

In Ecuador, certain sectors of the Amazon do not have electricity service, due to geographical factors such as the Municipal Employees sector, the Sucúa canton, Morona Santiago province, where residents use motors of internal combustion to supply the electricity service, which is detrimental to its health and the environment. One solution to this has been the implementation of a photovoltaic system. So an on-site study was developed and the amount of the solar resource that the study area possesses was determined through the application of Ecuador's Solar Atlas and NASA data, using the CENSOL 5.0 program and the modeling of equations the design of the photovoltaic system for the study area. In addition, the environmental and economic benefits of the proposal were estimated. Thus determining that the proposal is feasible as it will be able to supply the energy consumption demand of the inhabitants of the area and will avoid the emission of 4.38 t CO₂ annually, it also adds an economic benefit which is obtained through the sale of carbon certificates, which are stimuli that are given to projects in which carbon dioxide emissions are reduced.

Keywords:

Fuel Oil, Wh (kWh, GWh), V, A, CO₂, ARCONEL, CONELEC, W/m², NASA, SFA, Irradiación, Batería VRLA, AC, HSP, WP, Factor de Seguridad, Censol 5.0, CER, Nafta.



ÍNDICE DEL TRABAJO

Resumen:.....	2
Abstract:	3
ÍNDICE DEL TRABAJO.....	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	7
AGRADECIMIENTOS	13
DEDICATORIA.	14
DEDICATORIA.	15
1. INTRODUCCIÓN	16
1.1 Objetivos	16
1.1.1 Objetivo General.....	16
1.1.2 Objetivos Específicos.	17
2. CAPÍTULO I: CONTENIDO TEÓRICO	18
2.1. Aspectos Generales	18
2.2. Origen de las Energías Renovables.....	22
2.3. Producción de soluciones alternativas.....	24
2.4. Energía Fotovoltaica en Ecuador	24
2.5. Energía Solar Fotovoltaica.	26
2.5.1. Acondicionamiento de los paneles solares.....	28
2.6. Radiación Solar	29
2.6.1. Radiación Solar Incidente (Irradiación)	31
2.7. Principales Ventajas del consumo de Energía Fotovoltaica.....	32
2.8. Consumo per-cápita de energía eléctrica en el Ecuador.....	32
2.8.1. Consumo promedio de una vivienda en Morona Santiago en sectores sin energía eléctrica.	32
3. CAPÍTULO II: ANÁLISIS DEL RECURSO SOLAR.....	35
3.1. Localización Política y Geográfica.....	35
3.1.1. Situación actual de la zona de Estudio.....	36
3.1.2. Radiación Solar de la zona de estudio.....	37
3.2. Recurso Solar del cantón Sucúa	37
3.2.1. Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica.....	37
3.2.2. Base de datos de la Nasa.	39



3.3. Análisis de la radiación solar	41
4. CAPITULO III: DISEÑO SOLAR.....	42
4.1. Introducción.....	42
4.2. Parámetros del Diseño	43
4.2.1. Diseño de sistema fotovoltaico.....	44
4.3. Cálculo de Diseño.....	47
4.3.1. Número de Paneles Solares.....	47
4.3.1.1. Consumo diario de cada vivienda (E).....	48
4.3.1.2. Hora Solar Pico (H.S.P).....	48
4.3.2. Inclinación y Orientación de los paneles fotovoltaicos.	48
4.3.3. Cálculo y selección de Batería	48
4.3.4. Cálculo de la Corriente necesaria (Id).....	49
4.3.5. Selección del Inversor Solar	49
4.3.6. Selección del Regulador Solar	50
4.4. Análisis en Software CENSOL 5.0.....	50
4.5. Selección de equipos a utilizar en el proyecto.	51
4.5.1. Panel Solar	51
4.5.2. Baterías Solares	51
4.5.3. Regulador	52
4.5.4. Inversor	52
5. CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	53
5.1. Consumo diario por vivienda (E).....	53
5.2. Resultados del cálculo de la Hora Solar Pico	56
5.3. Resultados del cálculo del número de paneles: Vivienda 1.....	56
5.4. Resultado para el cálculo de la Inclinación y Orientación de los paneles fotovoltaicos.	57
5.5. Resultados para el cálculo y selección de Batería	57
5.5.1. Cálculo de la Capacidad de la Batería (CB): Vivienda 1	57
5.5.2. Cálculo de la Corriente necesaria (Id): Vivienda 1.....	57
5.5.3. Resultados de Número de Inversores Solares.....	58
5.5.4. Resultados de Número de Reguladores Solares.....	58
5.6. Resultados del cálculo del número de paneles mediante el software Censol 5.0.....	58



5.7. Comparación de resultados entre el programa CENSOL 5.0 y la aplicación de ecuaciones.	64
5.8. Perdidas de Energía existentes en un Sistema Fotovoltaico.....	65
5.8.1. Perdidas por Orientación e Inclinación	65
5.8.2. Pérdidas por Temperatura.	66
5.8.3. Pérdidas en los quipos del sistema fotovoltaico.....	67
5.9. Presupuesto General del proyecto.	68
6. CAPÍTULO V: BENEFICIOS AMBIENTALES Y DIFUSIÓN DEL PROYECTO EN EL CANTÓN SUCÚA.	69
6.1. Introducción.....	69
6.2. Línea Base de Emisiones	69
6.3. Modelo de cartel de difusión.	71
7. CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
7.1. Discusión.	73
7.2. Conclusiones.....	75
7.3. Recomendaciones	76
Bibliografía	78
Anexos	82

ÍNDICE DE TABLAS

<u>Tabla 1: Consumo per cápita anual por provincia para el año 2017.</u>	32
<u>Tabla 2: Demanda de una vivienda.</u>	35
<u>Tabla 3: Localización Geográfica de la zona de estudio.</u>	37
<u>Tabla 4. Insolación Global diaria y Radiación Solar Global del cantón Sucúa.</u>	38
<u>Tabla 5: Radiación solar diaria y radiación solar global del cantón Sucúa para el año 2018.</u>	40
<u>Tabla 6. Especificaciones técnicas del panel solar.</u>	51
<u>Tabla 7. Especificaciones técnicas de las Baterías Solares.</u>	51
<u>Tabla 8. Especificaciones técnicas del Regulador.</u>	52
<u>Tabla 9. Especificaciones técnicas del Inversor.</u>	52
<u>Tabla 10. Consumo de la Vivienda 1.</u>	53
<u>Tabla 11. Consumo de la Vivienda 2.</u>	53
<u>Tabla 12. Consumo de la Vivienda 3.</u>	53
<u>Tabla 13. Consumo de la Vivienda 4.</u>	54
<u>Tabla 14. Consumo de la Vivienda 5.</u>	54



<u>Tabla 15. Consumo de la Vivienda 6.....</u>	54
<u>Tabla 16. Consumo de la Vivienda 7.....</u>	54
<u>Tabla 17. Consumo de la Vivienda 8.....</u>	55
<u>Tabla 18. Consumo de la Vivienda 9.....</u>	55
<u>Tabla 19. Consumo de la Vivienda 10.....</u>	55
<u>Tabla 20. Número de paneles necesarios para cada vivienda.....</u>	56
<u>Tabla 21. Corriente necesaria y capacidad de la batería por vivienda.....</u>	57
<u>Tabla 22: Tabla comparativa entre CENSOL 5.0 y aplicación de fórmulas.....</u>	64
<u>Tabla 23. Presupuesto del proyecto.....</u>	68
<u>Tabla 24. Factores de emisión derivados del petróleo.....</u>	69
<u>Tabla 25. Emisión de CO₂ por consumo de combustible anual.....</u>	70
<u>Tabla 26. Valores recuperables por venta de certificados de CO₂.....</u>	70
<u>Tabla 27. Comparación de las demandas de energía de las viviendas del cantón Sucúa y Morona.....</u>	73
<u>Tabla 28: Número de paneles por vivienda para el cantón Sucúa.....</u>	74
<u>Tabla 29. Número de paneles por comunidad para el cantón Morona.....</u>	74

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<u>Ilustración 1: Crecimiento Anual promedio en la demanda global de petróleo.....</u>	18
<u>Ilustración 2: Promedio anual de crecimiento global en la generación de energías renovables por tecnología históricamente.....</u>	19
<u>Ilustración 3: Demanda de energía por fuente.....</u>	20
<u>Ilustración 4: Producción de Energía e Importaciones (GWh).....</u>	21
<u>Ilustración 5: Balance Multianual de Energía 2008-2017.....</u>	22
<u>Ilustración 6: Clasificación general de las fuentes renovables.....</u>	23
<u>Ilustración 7: Atlas Solar del Ecuador.....</u>	26
<u>Ilustración 8: Funcionamiento básico de una célula fotovoltaica.....</u>	27
<u>Ilustración 9: Sistema Fotovoltaico Autónomo.....</u>	29
<u>Ilustración 10: Intensidad solar sobre el Ecuador.....</u>	30
<u>Ilustración 11: Componentes de la radiación solar.....</u>	31
<u>Ilustración 12: Ubicación Geográfica de la zona de estudio.....</u>	36
<u>Ilustración 13. Radiación Solar Global de la Provincia de Morona Santiago.....</u>	38
<u>Ilustración 14: Datos de la NASA.....</u>	40
<u>Ilustración 15: Datos comparativos de radiación solar en base a información de la NASA y Atlas Solar del Ecuador.....</u>	41
<u>Ilustración 16: Estructura de un sistema fotovoltaico autónomo.....</u>	45
<u>Ilustración 17: Radiación diaria media horizontal (MJ/m²) según datos de la NASA.</u>	50
<u>Ilustración 18a: Resultados obtenidos mediante el software Censol 5.0 para la vivienda 1.....</u>	58



<u>Ilustración 19b. Resultados obtenidos mediante el software Censol 5.0 para la vivienda 2.</u>	59
<u>Ilustración 20c. Resultados obtenidos mediante el software Censol 5.0 para la vivienda 3.</u>	59
<u>Ilustración 21d. Resultados obtenidos mediante el software Censol 5.0 para la vivienda 4.</u>	60
<u>Ilustración 22e: Resultados obtenidos mediante el software Censol 5.0 para la vivienda 5.</u>	60
<u>Ilustración 23f: Resultados obtenidos mediante el software Censol 5.0 para la vivienda 6.</u>	61
<u>Ilustración 24g: Resultados obtenidos mediante el software Censol 5.0 para la vivienda 7.</u>	62
<u>Ilustración 25h: Resultados obtenidos mediante el software Censol 5.0 para la vivienda 8</u>	62
<u>Ilustración 26i: Resultados obtenidos mediante el software Censol 5.0 para la vivienda 9.</u>	63
<u>Ilustración 27j: Resultados obtenidos mediante el software Censol 5.0 para la vivienda 10.</u>	63
<u>Ilustración 28. Poster científico.</u>	72
<u>Ilustración 29: Levantamiento de información con la ayuda del concejal Marcelo Oleas período 2014-2019.</u>	83
<u>Ilustración 30: Levantamiento de la línea base, mediante encuestas a los moradores de la zona.</u>	83
<u>Ilustración 31: Levantamiento de la línea base, mediante encuestas a los moradores de la zona.</u>	84
<u>Ilustración 32a: Encuesta para el levantamiento de la línea base.</u>	85
<u>Ilustración 33b: Resultados para la línea base</u>	86
<u>Ilustración 35: Vivienda 1</u>	86
<u>Ilustración 36: Vivienda 2</u>	87
<u>Ilustración 37: Vivienda 3</u>	87
<u>Ilustración 38: Vivienda 4</u>	88
<u>Ilustración 39: Vivienda 5</u>	88
<u>Ilustración 40: Vivienda 6</u>	89
<u>Ilustración 41: Vivienda 7</u>	90
<u>Ilustración 42: Vivienda 8</u>	90
<u>Ilustración 43: Vivienda 9</u>	91
<u>Ilustración 44: Vivienda 10</u>	92
<u>Ilustración 45: Difusión del poster científico a los técnicos del municipio.</u>	93
<u>Ilustración 46: Difusión del poster científico a los técnicos del municipio.</u>	93
<u>Ilustración 47: Entrega de información a los moradores de la zona.</u>	94
<u>Ilustración 48: Entrega de información a los moradores de la zona.</u>	95



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Carlos Alberto Lituma Torres; en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Diseño para la implementación de energía renovable fotovoltaica, en el barrio Artesanos sector de los Empleados Municipales del cantón Sucúa", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 8 de enero de 2020

Carlos Alberto Lituma Torres

C.I.: 1400566962



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Genaro Rodrigo Vásquez Solís; en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Diseño para la implementación de energía renovable fotovoltaica, en el barrio Artesanos sector de los Empleados Municipales del cantón Sucúa”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 8 de enero de 2020

Genaro Rodrigo Vásquez Solís

C.I: 0302403258



Cláusula de Propiedad Intelectual

Carlos Alberto Lituma Torres; autor del trabajo de titulación "Diseño para la implementación de energía renovable fotovoltaica, en el barrio Artesanos sector de los Empleados Municipales del cantón Sucúa", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de sus autores.

Cuenca, 8 de enero de 2020

Carlos Alberto Lituma Torres

C.I: 1400566962



Cláusula de Propiedad Intelectual

Genaro Rodrigo Vásquez Solís; autor del trabajo de titulación "**Diseño para la implementación de energía renovable fotovoltaica, en el barrio Artesanos sector de los Empleados Municipales del cantón Sucúa**", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de sus autores.

Cuenca, 8 de enero de 2020

Genaro Rodrigo Vásquez Solís

C.I: 0302403258



AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a la Universidad de Cuenca, a cada uno de sus docentes y empleados quienes durante todo este tiempo en la Carrera de Ingeniería Ambiental nos han instruido con excelencia académica y valores, que nos han servido para formarnos como profesionales y personas de bien.

Agradecemos de manera especial a la Mgt. Johanna Sánchez, tutora de nuestro trabajo de titulación, quien desde el primer día a mostrado su apoyo incondicional siendo la guía primordial para poder realizar este proyecto, también agradecemos a los profesores que nos han orientado con las diferentes interrogantes que surgieron a lo largo de la elaboración del trabajo.

Y por último agradecemos a todos los compañeros con los que compartimos en las aulas de la universidad, ya que con su gran ayuda supimos resolver los diferentes problemas encontrados en el transcurso del tiempo dentro de la carrera.

Carlos Alberto Lituma Torres

Genaro Rodrigo Vásquez Solís.



DEDICATORIA.

Esto se lo dedico a la Purísima de Macas, quien ha sido la mayor fortaleza para seguir adelante durante el largo camino universitario, a mi madre Tatiana, a mis abuelos Nerio y Laura, a mis tíos Alberto y Paolo, a mis primas Elayne, Danna y Ammy y a toda mi familia dentro y fuera del país, quienes siempre me estuvieron apoyando en los buenos y malos momentos, y en especial se lo dedico a mi abuelita Esther y mi tío Segundo, quienes partieron de este mundo y a que a pesar del dolor que me causó sus muertes, supe encontrar la fuerza en ellos mismo para seguir adelante en la universidad y sé que desde el cielo me ayudaron y seguramente estarán muy felices por verme culminar mis estudios universitarios.

De igual manera mis sinceros agradecimientos a mi enamorada Damarys, quien fue mi fortaleza y apoyo crucial en los últimos años de carrera y durante la elaboración de este trabajo, agradezco a cada uno de mis amigos, quienes al comenzar la universidad éramos unos desconocidos y al pasar de los años terminamos siendo una familia: Mateo, Santa, Pan, Naro, Valu, Dannu, Pepa, Magus, Juan, Gollum, Suco Galán, Juanjo, Elman, Roperio entre otros; a mis primos quienes compartimos años de vivienda juntos e hicieron que la estadía en esta ciudad sea más fácil, Pablo, Jennifer, Male, Jaylen y Nando.

¡GRACIAS TOTALES!

Carlos Alberto Lituma Torres.



DEDICATORIA.

A Dios, por darme sabiduría, salud, bienestar e inteligencia a lo largo de mi vida para poder lograr finalizar esta etapa de mi vida.

A mi madre Alexandra que, con su sacrificio, consejos, apoyo incondicional, amor y su gran ejemplo ha sido el pilar fundamental en mi formación profesional y espiritual.

A mi padre Genaro, a Oswaldo, a mis hermanos Kenal, Sandy, Edgar, David y Jostin por el permanente apoyo y motivación.

A mi familia como mi abuelita, tíos, primos, que han estado siempre pendiente de mi bienestar y han estado presentes cuando más los he necesitado.

A mi enamorada Erika que me ha ayudado de forma intelectual y moral a lo largo de la realización de este proyecto.

A mi gran amigo y compañero Carlos que a lo largo del trabajo de titulación supimos llevar el trabajo de titulación a la altura que se merece. Y mis grandes panitas David, Mateo, Santander, María Caridad, Paula, Fabián, Abraham, Néstor, Ángel, Juanjo y Anthony.

Genaro Rodrigo Vásquez Solís.



1. INTRODUCCIÓN

Según el Censo de Población y Vivienda del año 2010 el 10,97% de la población ecuatoriana del sector rural no dispone de electricidad, por lo que los habitantes de estas zonas buscan alternativas para cubrir esta necesidad, a pesar de que en la constitución ecuatoriana en el artículo 314 establece que el Estado será responsable de la provisión del servicio público de energía eléctrica. Uno de estos casos es el Barrio de Artesanos de los Empleados Municipales del cantón Sucúa, el cual se encuentra a 958 metros del servicio de energía eléctrica. En el sector solo el 10% de la población dispone de este servicio y el 90% de, las poblaciones utilizan motores de combustión interna cuyo combustible es la gasolina. La ausencia del servicio representa un problema para el desarrollo social, tecnológico, económico entre otros (Censo de Población y Vivienda, 2010).

Una solución a esta problemática es la implementación de paneles fotovoltaicos para la producción de energía eléctrica, lo cual permitirá mejorar la calidad de vida del barrio, reducir los niveles de contaminación al reducir la generación de gases de efecto invernadero producto de los motores de combustión interna, generar menor dependencia de fuentes de energía que no son renovables. Por lo cual la implementación de energía fotovoltaica será objeto de estudio en nuestro proyecto, se procederá a revisar las condiciones (técnicas, geográficas, demográficas, sociales) en las cuales se encuentra el barrio y se determinará la conveniencia o no de la implementación de ella en este lugar.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Analizar y diseñar la utilización de energía solar para satisfacer las necesidades básicas en el barrio Artesanos sector de los Empleados Municipales del cantón Sucúa.



1.1.2 Objetivos Específicos.

- Levantar la línea base de consumo eléctrico del sector y analizar la información obtenida de la comuna partiendo de factores: sociales, geográficos, demográficos y técnicos.
- Análisis y determinación de los requerimientos necesarios a partir de la línea base para la implementación de los paneles fotovoltaicos.
- Difundir los beneficios del proyecto, respecto a la reducción de emisiones de combustibles fósiles con el medio ambiente y la utilización de energías renovables frente a las energías convencionales.

2. CAPÍTULO I: CONTENIDO TEÓRICO

2.1. Aspectos Generales

En la actualidad, la humanidad depende en su mayor proporción de los combustibles fósiles como fuente de energía, lo cual, representa un gran problema para nuestro planeta, debido a que provoca un fuerte impacto ambiental. Para ello se busca suplir a estos combustibles con mayor participación de las energías alternativas. La Agencia Internacional de Energía (AIE), en su último informe del 2017 presenta el incremento de participación de energías alternativas, aunque la dependencia de los derivados del petróleo represente aún el 80% (Ver Ilustración 1).

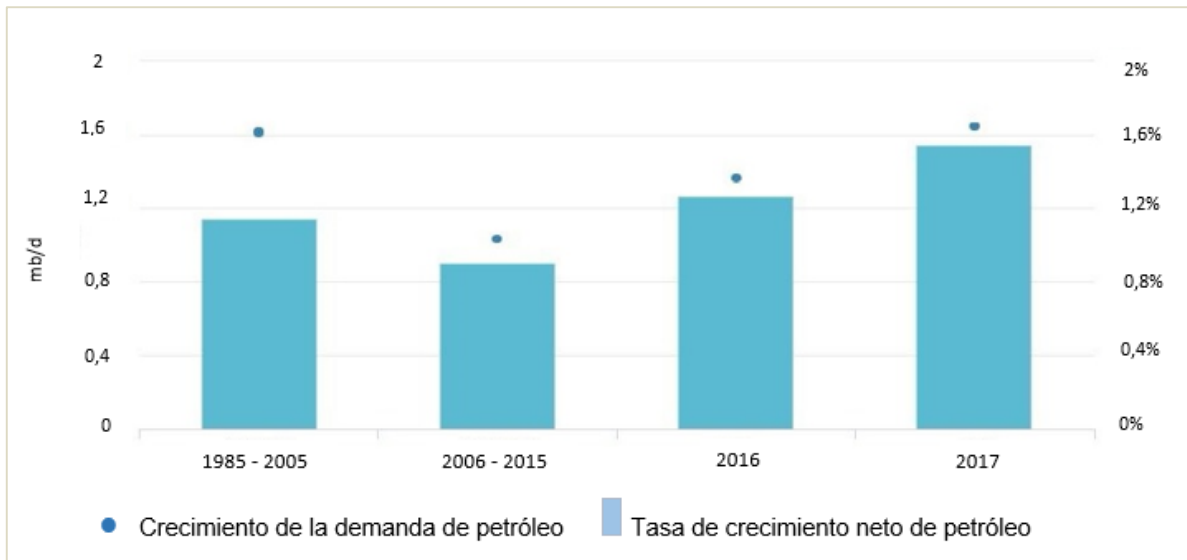


Ilustración 1: Crecimiento Anual promedio en la demanda global de petróleo.

Fuente: IEA,2018.

Las energías renovables son inagotables porque tienen su origen en el sol, por lo que su obtención genera un impacto mínimo con la naturaleza del planeta, se ha incrementado la utilización de dichas energías y la búsqueda por encontrar nuevas tecnologías y aplicarlas en su campo, es primordial para la ayuda a la conservación del planeta (Úbeda et al., 2008). El crecimiento porcentual de las energías renovables desde el año 2000 y su proyección hacia el año 2040 se representa gráficamente. (Ver Ilustración 2)

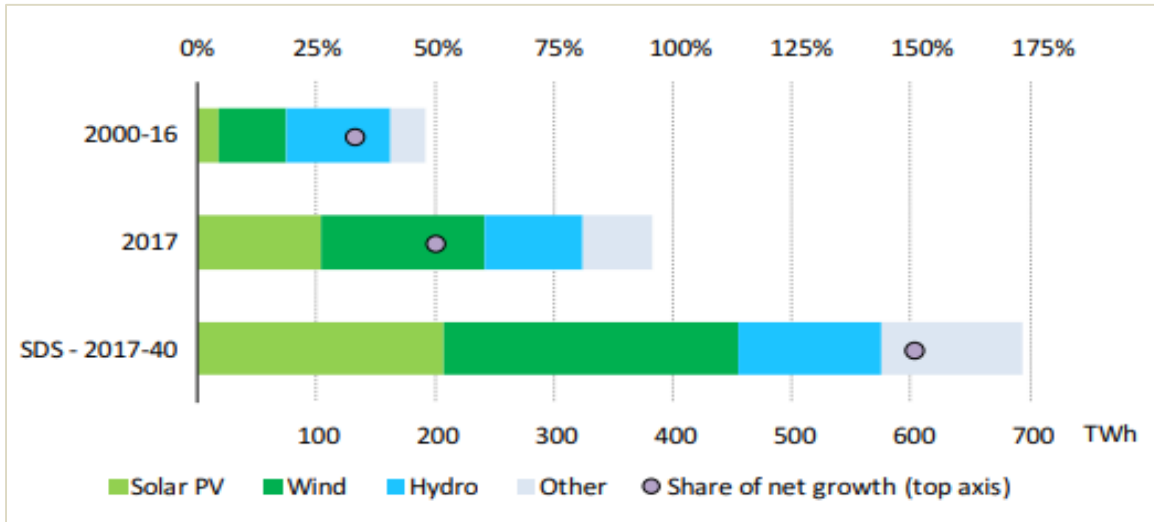


Ilustración 2: Promedio anual de crecimiento global en la generación de energías renovables por tecnología históricamente.

Fuente: IEA, 2018.

Ecuador es un país rico en fuentes de energía renovable, sin embargo, a lo largo de la historia depende de los combustibles fósiles como fuente de energía. Esta demanda representa un 83%; donde el 31% de la energía consumida es en forma de diésel, 28% gasolinas, 14% en consumo eléctrico, 9% en gas licuado, 8,1% en fuel Oil y otras fuentes de energía representan un 9,9 %, tal como se muestra en la Ilustración 3 (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2016).

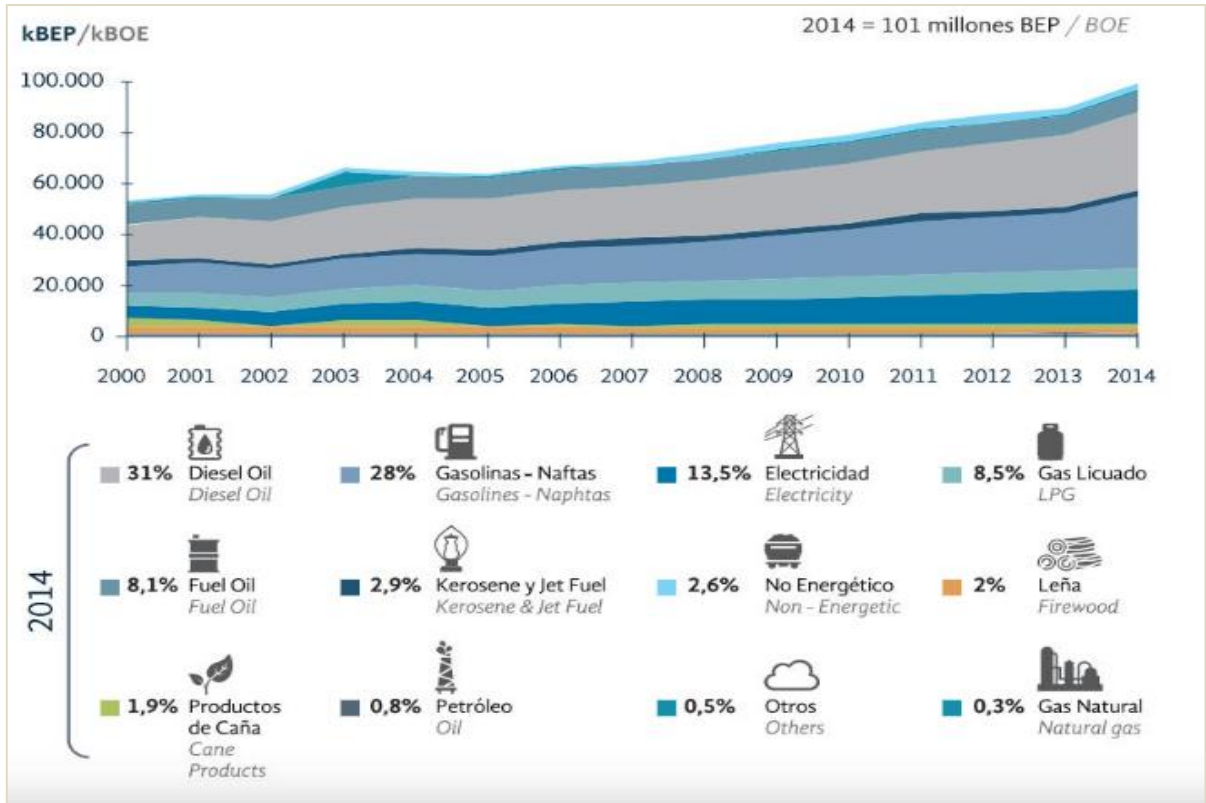


Ilustración 3: Demanda de energía por fuente.

Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2016.

Según los datos de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) para el año 2019 el Ecuador hasta el momento ha reemplazado el consumo de combustibles fósiles por un 60,84% que corresponde a la hidráulica, eólica, biomasa y fotovoltaica (Ilustración 4) en la producción de energía renovable representando un beneficio de 5273,99 (MWh); esta revolución energética está encaminada hacia el fortalecimiento económico del país, pretendiendo alcanzar en un futuro cercano el mayor uso posible de energía limpia y renovable, mediante el aprovechamiento de los recursos naturales como solares, hídricos, eólicos y desalojar de manera gradual la producción de energía contaminante (ARCONEL, 2019).

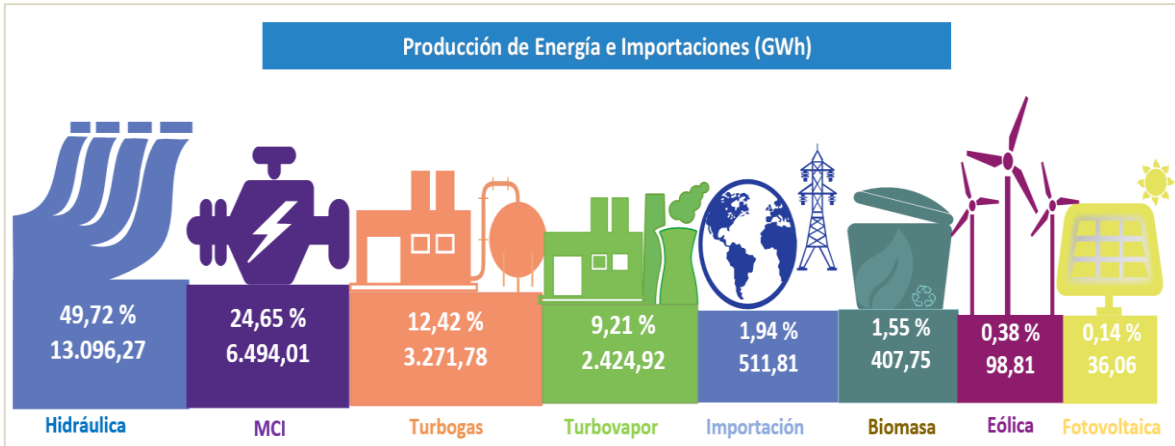


Ilustración 4: Producción de Energía e Importaciones (GWh).

Fuente: ARCONEL, 2019.

En el Ecuador para el año 2019 la energía eléctrica que se genera, es principalmente destinada hacia el sector público dividido en las siguientes sectores, el residencial con una demanda del 30,96%, el comercial con el 15,87%, industrial 25,96%, alumbrado público 5,52%, otros con una demanda de 9,88% y con unas pérdidas de energía de distribución del 13,85(ARCONEL, 2019), y por último, debido a la alta producción de energía eléctrica del Ecuador, desde el año 2012 del gobierno pasado se han elaborado convenios entre los países vecinos de Colombia y Perú para la exportación de cierta cantidad de electricidad, todos estos valores se ven representados en la siguiente Ilustración.

CONCEPTO	AÑO	Unidad	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Energía generada e importada para servicio público		GWh	16.786,21	16.897,12	17.677,21	18.912,80	19.778,70	20.575,58	21.699,48	22.855,16	23.254,62	23.506,56
Autoconsumos en generación para servicio público (1)		GWh	597,42	372,78	300,84	299,92	379,21	417,04	528,30	521,85	455,60	383,08
		%	3,56	2,21	1,70	1,59	1,92	2,03	2,43	2,28	1,96	1,63
Energía entregada para servicio público		GWh	16.188,79	16.524,35	17.376,37	18.612,88	19.399,50	20.158,54	21.171,18	22.333,31	22.799,03	23.123,48
Pérdidas en transmisión (2)		GWh	891,67	526,70	542,37	715,61	666,67	591,81	575,16	679,80	808,24	898,33
		%	3,73	3,12	3,07	3,78	3,37	2,88	2,65	2,97	3,48	3,82
Energía disponible para servicio público (3)		GWh	15.561,81	15.997,64	16.834,00	17.897,27	18.732,83	19.566,73	20.596,02	21.653,52	21.990,78	22.225,15
Energía exportada a Colombia y Perú		GWh	37,53	20,76	9,96	14,39	11,88	28,98	47,24	46,17	401,80	211,80
		%	0,24	0,13	0,06	0,08	0,06	0,15	0,23	0,21	1,83	0,95
Energía entregada a Grandes Consumidores en Subtransmisión (4)		GWh	264,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		%	1,64	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energía disponible en sistemas de distribución		GWh	15.259,58	15.976,88	16.824,04	17.882,88	18.720,95	19.537,75	20.927,65	21.995,11	22.042,28	22.788,39
Pérdidas totales de energía en sistemas de distribución		GWh	2.993,08	2.765,35	2.747,43	2.634,08	2.546,06	2.465,26	2.590,09	2.664,37	2.690,94	2.618,13
		%	19,61	17,31	16,33	14,73	13,60	12,62	12,38	12,11	12,21	11,49
Consumo de energía de clientes finales (5)		GWh	12.644,94	13.217,92	14.076,61	15.248,80	16.174,89	17.072,49	18.337,56	19.330,74	19.351,34	20.170,27
Demanda máxima en bornes de generación (solo Sistema Nacional Interconectado S.N.I.) (6)		GW	2,79	2,77	2,88	3,05	3,21	3,33	3,50	3,67	3,65	3,75
Demanda máxima en subestaciones principales (solo Sistema Nacional Interconectado S.N.I.)		GW	2,73	2,74	2,77	2,90	3,07	3,24	3,44	3,57	3,60	3,67

Ilustración 5: Balance Multianual de Energía 2008-2017.

Fuente: ARCONEL, 2017.

2.2. Origen de las Energías Renovables.

El origen de todas las fuentes de energías es el sol, puesto que, el calentamiento terrestre y las fuentes hídricas provocan la diferencia de presiones que dan origen al viento, fuente principal de la energía eólica, nuestro sol es el agente principal en el ciclo del agua, de la fotosíntesis y en definitiva, la fuente principal de vida en nuestro planeta (Energía solar, 2010).

Existen varios tipos de energías renovables entre las más destacadas se tiene: Energía Solar, Energía Eólica, Energía Geotérmica, Energía Hidráulica, Energía Mareomotriz, tal como se muestra en la Ilustración 6 (Roldán & Vilorio, 2008).

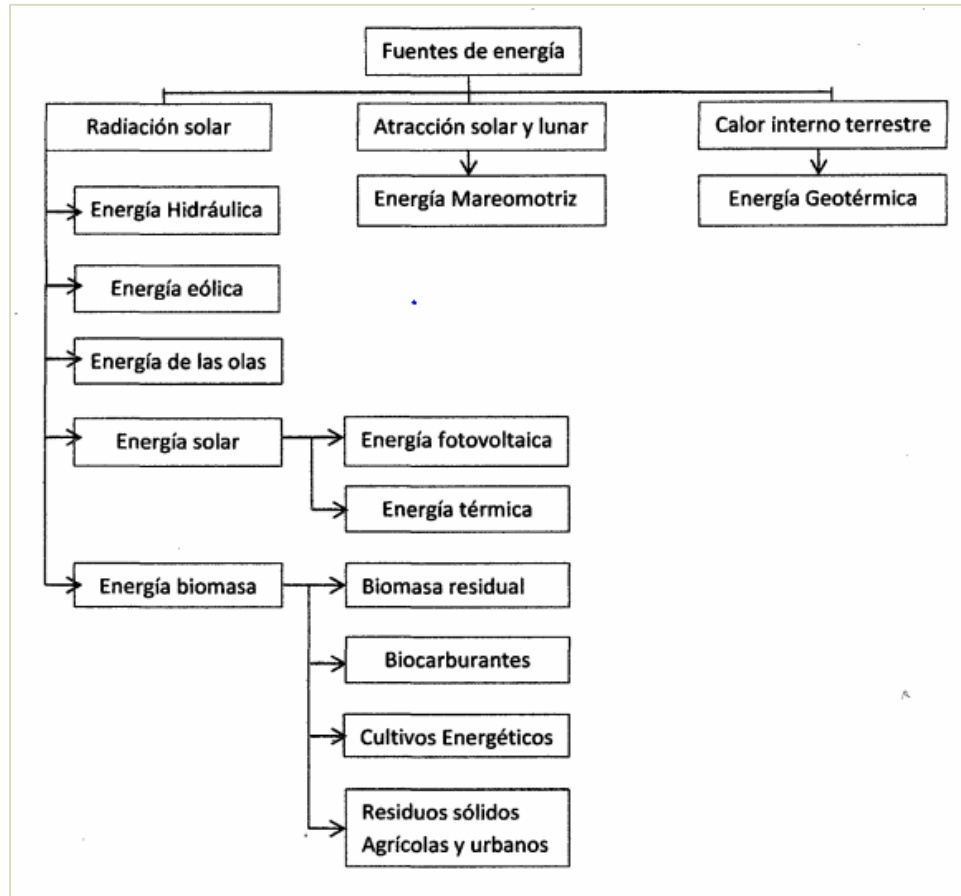


Ilustración 6: Clasificación general de las fuentes renovables.

Fuente: Roldán & Vilorio, 2008.

La energía solar se obtiene a partir del aprovechamiento de la radiación solar electromagnética, captando el calor y la luz que emite el sol siendo una energía limpia y renovable, según la obtención y distribución de la misma. Se la clasifica en pasivas y activas. Las tecnologías activas son aquellas que utilizan paneles fotovoltaicos y colectores solares térmicos para la captación de la energía y la transformación en energía eléctrica, mientras que las tecnologías pasivas aprovechan la energía solar en forma directa pero no la transforman en otro tipo de energía.

La energía fotovoltaica en la actualidad representa la fuente de energía solar más desarrollada (Mikati, Santos, & Armenta, 2012), ya que no emite ningún tipo de contaminación al globo terráqueo por lo que, evita la emisión de gases de efecto



invernadero esto contribuye, a la calidad de vida del ser humano. Sin embargo, también tiene sus desventajas debido a diversos factores: intensidad solar débil, nubosidad alta y suciedad que se depositan en los paneles solares (Benito, 2007).

Para la captación de la energía proveniente del sol, se utilizan los módulos fotovoltaicos (paneles solares), los cuales están constituidos por células fotovoltaicas que transforman la energía solar en energía eléctrica, mediante el efecto fotoeléctrico. Generalmente estos paneles son utilizados para sustentar numerables aparatos autónomos, refugios o casas aislados de la red eléctrica (Style, 2012).

2.3. Producción de soluciones alternativas

Las posibles soluciones pueden ser generación de energía eléctrica a partir de la implementación de energía eólica, o energía hidráulica (GEO Ecuador, 2008). La energía eólica se produce a través del movimiento de las masas de aire que son desplazadas de las zonas de alta presión atmosférica a las zonas de menor presión. Esta energía es aprovechada mediante el uso de aeromotores los cuales son capaces de transformar la energía eólica en energía mecánica, misma que es utilizada para el funcionamiento de la maquinaria para la producción de energía eléctrica (aerogenerador) (López, 2012). Sin embargo, la zona de estudio no cumple con las condiciones necesarias para este tipo de energía, debido a las variaciones climáticas constantes que existen en general en toda la amazonia ecuatoriana.

La energía hidráulica se obtiene en base al aprovechamiento de la energía cinética y potencial que se encuentra en la corriente del agua o en los altos de agua natural. En el proceso la energía potencial se convierte en energía cinética la cual genera un movimiento de una turbina para su transformación a energía eléctrica. Este método para la obtención de energía eléctrica es poco viable debido a los elevados costos de construcción para la instalación de una hidroeléctrica; cabe recalcar que este proyecto hidroeléctrico se lo realiza con estudios socioeconómicos y en ellos se determina prioridades como el número de beneficiarios. Por lo que para nuestro proyecto no es relevante (Style, 2012).

2.4. Energía Fotovoltaica en Ecuador

En Ecuador se ha prestado plena atención a los sectores rurales aislados, con respecto a la energía solar, mientras que los sistemas conectados a la red pública, no han corrido la



misma suerte. Alrededor del 2,27% de ecuatorianos aún viven sin cobertura eléctrica debido a los aspectos técnicos y económicos en zonas rurales y urbanas del país (ARCONEL, 2017). Haciendo frente a este reto de llegar a zonas remotas del país, el gobierno y los instaladores de energía fotovoltaica del Ecuador a través del programa EURO-SOLAR han conseguido llevar energía solar a 39.629 habitantes distribuidos en 7 provincias del Ecuador (Lalangui & Gerardo, 2015).

En la actualidad existe la regulación 003/18 en la cual nos menciona en el artículo 26 de la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica señala que.- *“El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable promoverá el uso de tecnologías limpias y energías alternativas, de conformidad con lo señalado en la Constitución que propone desarrollar un sistema eléctrico sostenible, sustentado en el aprovechamiento de los recursos renovables de energía”* (ARCONEL, 2018). Pero debido a que en el país existen grandes subsidios para los combustibles fósiles, hace que las energías renovables pierdan competitividad. El CONELEC en el año 2013 lanzó el “Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica”. El cual nos permite saber el potencial solar disponible y con posibilidades de generación eléctrica, en base a mapas mensuales de insolación directa, difusa y global (Ilustración 7). Mismo que será útil para el presente caso de estudio (*Atlas Solar*, 2008).

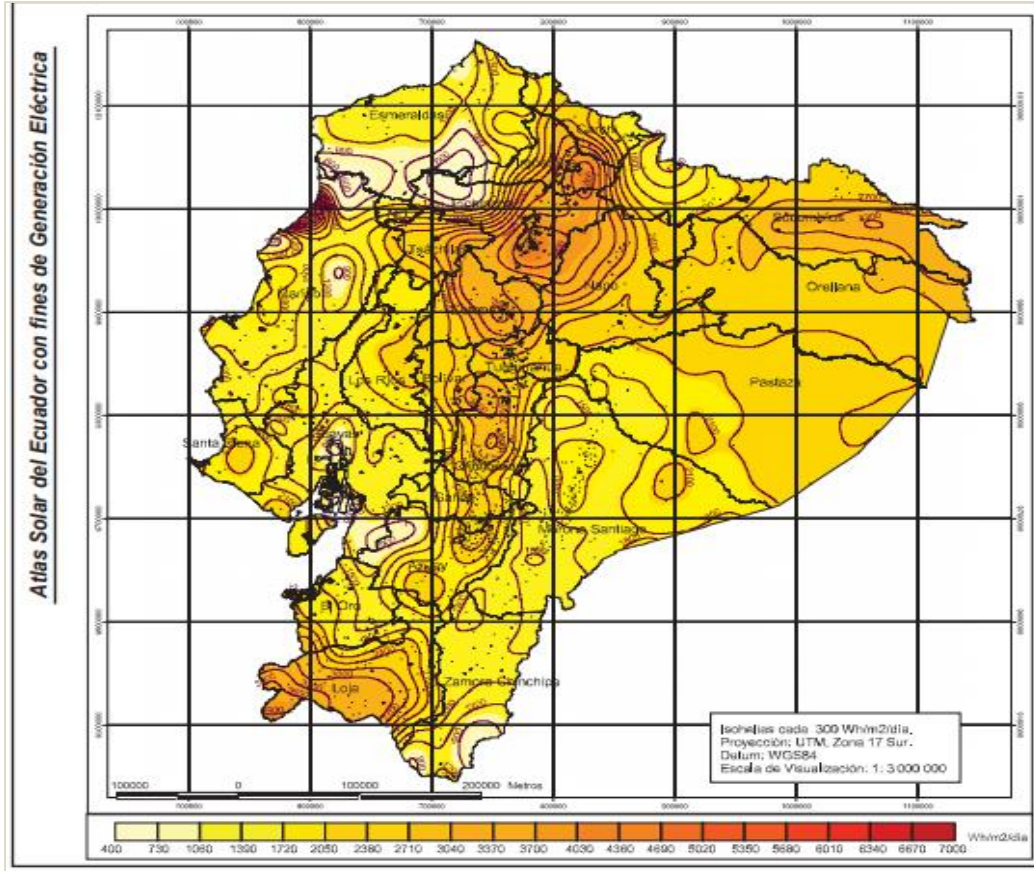


Ilustración 7: Atlas Solar del Ecuador.

Fuente: Atlas Solar, 2008.

2.5. Energía Solar Fotovoltaica.

El funcionamiento de los paneles solares es el siguiente: Están formados por varias células fotovoltaicas, y cada una de ellas está compuesta por lo menos por dos láminas delgadas de silicio, separadas entre ellas por una capa de un elemento semiconductor. Una de estas láminas está formada con elementos con menor carga de electrones que el silicio, o sea con menor carga negativa, y por tanto esta lámina es la positiva (P), y otra formada con elementos con mayor carga de electrones que el silicio, o sea con mayor carga negativa, y por tanto esta lámina es negativa (N). Por otra parte, los fotones que proceden del sol y que contienen la energía adecuada, inciden sobre la superficie de la lámina P, que al interactuar con el material de dicha capa liberan electrones de los átomos de silicio, y éstos atraviesan la capa del semiconductor para llegar a la lámina N, una vez en la lámina N no pueden

volver, por si solos a la lámina P (Delgadillo, Z, & Boza, 2013). Al acumularse electrones en la lámina N se crea una diferencia de potencial o tensión respecto a la P. Y si se unen las dos láminas (N y P) mediante dos cables conductores, unidos éstos a su vez, a una carga o elemento que consume electricidad, se crea una corriente eléctrica continua que fluye desde el polo negativo al positivo. Su funcionamiento lo podemos observar en la Ilustración 8.

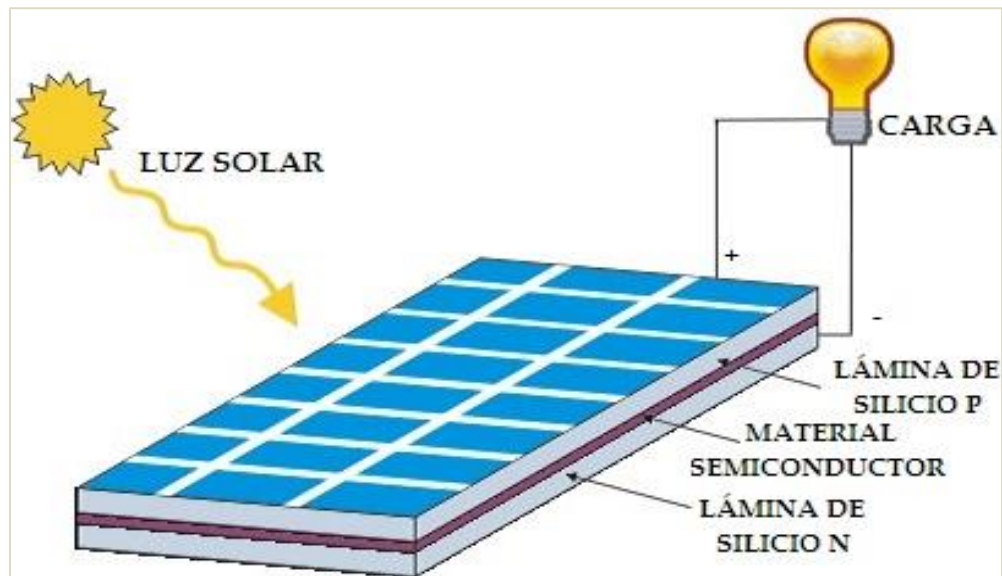


Ilustración 8: Funcionamiento básico de una célula fotovoltaica.

Fuente: Prieto, 2012.

Tenemos que tener en cuenta que la corriente que se genera en un panel solar, es del mismo tipo, que la que podemos conseguir mediante pilas o baterías, y que la gran mayoría de electrodomésticos normales necesitan de corriente eléctrica alterna para funcionar. Para conseguir pasar de corriente continua a corriente alterna se usan inversores de corriente (Barrera, 2010). Los avances tecnológicos y el costo de la energía fotovoltaica se ha reducido y a su eficiencia ha incrementado potencialmente, lo que significa sustentable (Benito, 2007).



2.5.1. Acondicionamiento de los paneles solares

Las células fotovoltaicas son unidades en estado sólido que transforman la luz proveniente del sol en electricidad, carecen de piezas móviles o fluidos a presión y temperatura, son altamente confiables y razonablemente eficientes. La cantidad de energía eléctrica que puede producir una célula fotovoltaica es moderada; sin embargo, es posible unir varias celdas para lograr corrientes y voltajes requeridos para una operación requerida, con este propósito las celdas se agrupan en módulos fotovoltaicos de una decena de Watts, capaces de brindar electricidad para iluminar durante unas cuantas horas al día (Rubén, 2013).

Durante el transcurso de los años la tecnología fotovoltaica ha ido evolucionando; existe una cantidad considerable de celdas que son elaboradas de diferentes materiales, principalmente silicio monocristalino, silicio policristalino y silicio amorfo, independientemente del tipo de celda que se vaya elaborar, los sistemas de iluminación tienen los mismos elementos: un módulo fotovoltaico, una batería para almacenar electricidad, un controlador de carga, lámparas y accesorios para la instalación, tal como se puede observar en la Ilustración 9 (Ruben, 2013).

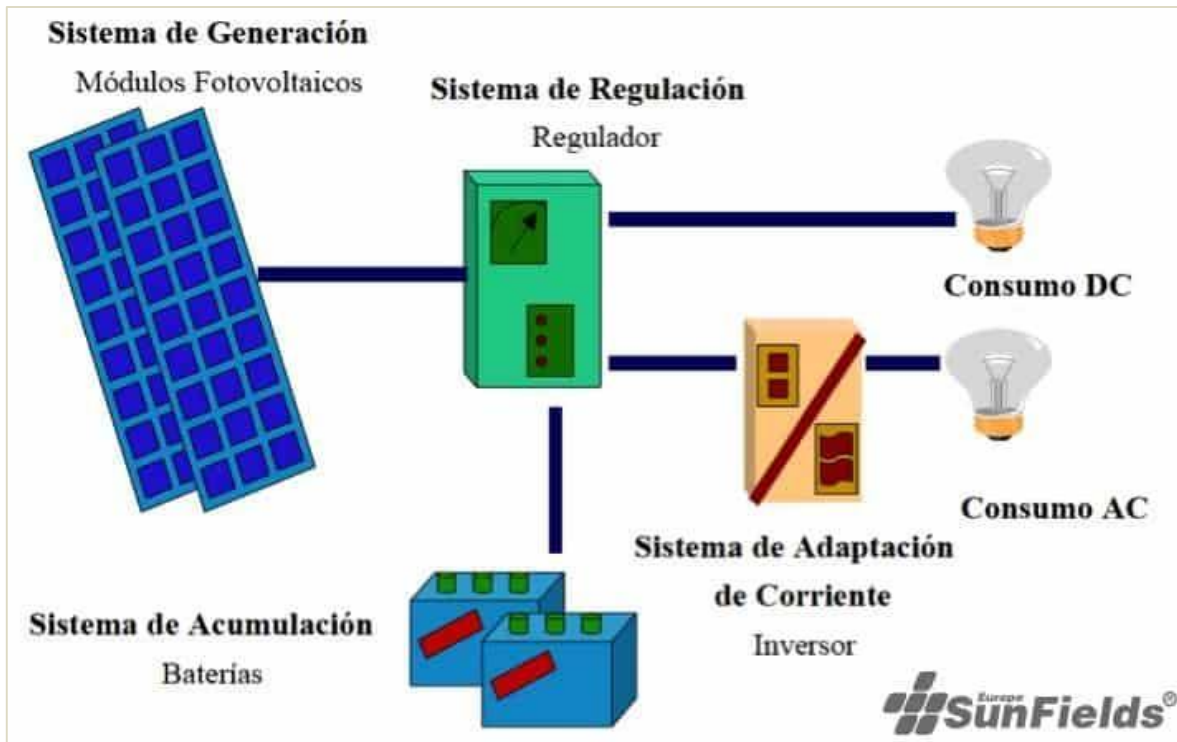


Ilustración 9: Sistema Fotovoltaico Autónomo.

Fuente: Alonso, 2007.

Es imprescindible el conocimiento de la trayectoria solar, el perfil de las necesidades y de los condicionantes de la ubicación. Ello conlleva a determinar la orientación y la inclinación de los paneles solares en instalaciones fijas para conseguir el mínimo coste del kilovatio-hora de este tipo de energía renovable (Style, 2012).

2.6. Radiación Solar

El sol es una estrella en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones de fusión nuclear, que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía liberada del sol se transmite mediante la radiación solar. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la Tierra, pues las ondas ultravioletas, más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la

Tierra es la irradiancia, expresada como energía por unidad de tiempo y área, alcanza a la Tierra. Su unidad es el W/m^2 (vatio por metro cuadrado) (Ruiz, 2018) .

El Ecuador al estar ubicado sobre la línea ecuatorial, implica que su territorio se encuentra en los dos hemisferios. A medida que la luz solar llega a los polos está disminuye su intensidad; e impacta con más fuerza sobre la línea ecuatorial, tal como se puede ver en la Ilustración 10.

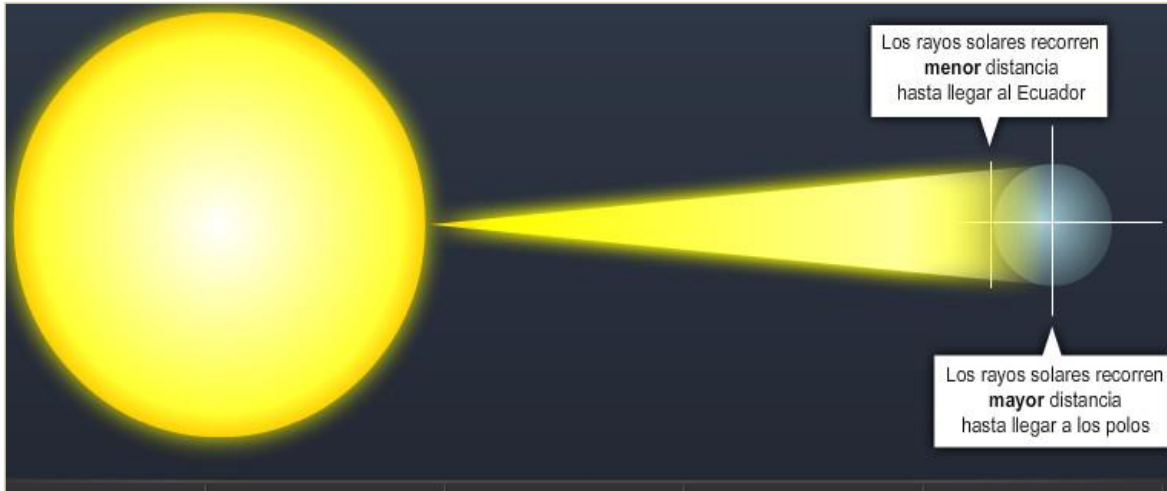


Ilustración 10: Intensidad solar sobre el Ecuador.

Fuente: Radioactividad solar en Ecuador, 2010.

La radiación solar global está compuesta por la radiación directa y difusa; la radiación directa es la que incide sobre una superficie directamente del sol, sin sufrir alteraciones de dirección, mientras que la radiación difusa, es aquella que se dispersa de su dirección original a causa de moléculas en la atmósfera, en los días con más sol, sin la existencia de nubes este tipo de radiación puede ser aproximadamente el 15% de la global, pero en días con nubosidad en los que se disminuye la cantidad de radiación directa, esta forma de radiación incrementa de manera considerable, tal como se puede observar en la Ilustración 11 (Hernández, 2014). La potencia de radiación o incidencia del Sol necesita de diferentes factores como la condición atmosférica, grado de contaminación y la altitud.

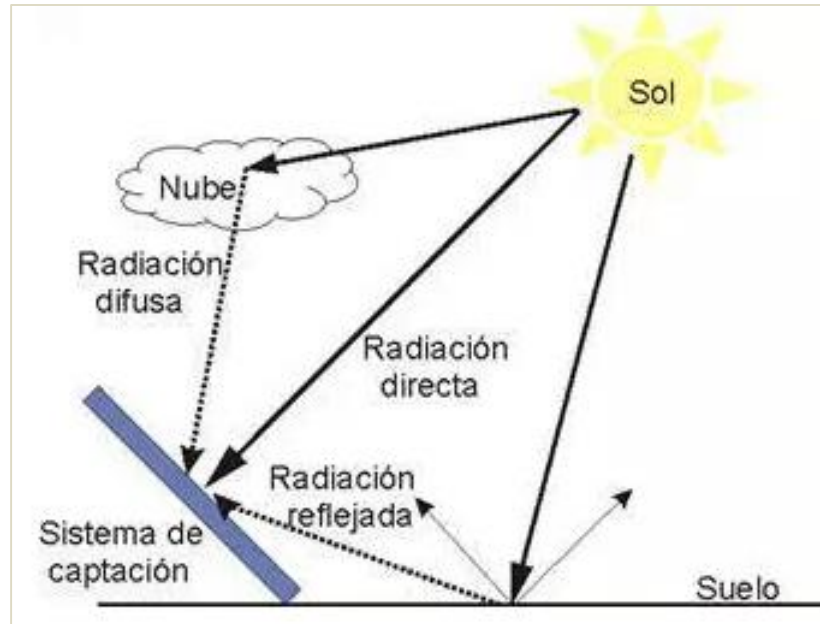


Ilustración 11: Componentes de la radiación solar.

Fuente: Hernández, 2014.

2.6.1. Radiación Solar Incidente (Irradiación)

La irradiación solar es la magnitud empleada para indicar el valor de la radiación que incide sobre una superficie. La radiación solar incidente (R_s), se evalúa a partir de la radiación solar extraterrestre, esta radiación llega a la parte exterior de la atmósfera, que sería la que llegaría al suelo, si no existiera atmósfera (Lalangui & Gerardo, 2015). Por lo que la fórmula se plantea de la siguiente manera:

$$R_s = R_0 * KT * (T_{max} - T_{min})^{0,5}$$

Ecuación 1: Ecuación para el cálculo de Radiación Incidente.

Donde:

R_s : Radiación solar incidente.

R_0 : Radiación solar extraterrestre.

KT : Coeficiente (0,162 para la Sierra).

T_{max} : temperatura diaria máxima.

T_{min} : temperatura diaria mínima.

2.7. Principales Ventajas del consumo de Energía Fotovoltaica.

- Es una fuente de energía renovable, por lo tanto, sus recursos son ilimitados.
- Es amigable con el medio ambiente, ya que no causa contaminación y esto ayuda a contribuir contra el cambio climático.
- Los costos de operación y mantenimiento, son de bajo costo.
- Genera electricidad en sitios remotos, ya que no depende de redes eléctricas.
- Los paneles fotovoltaicos, son silenciosos y limpios por lo que, no provoca ninguna molestia donde se los instala.
- Pueden conectarse a la red eléctrica y así generar ganancias del exceso de energía producida.

2.8. Consumo per-cápita de energía eléctrica en el Ecuador.

El consumo per-cápita representa la relación que existe entre el consumo de energía y la población. La población es obtenida de las proyecciones poblacionales del Ecuador, a partir del VII Censo de Población y VI de Vivienda 2010, realizadas por el INEC. Para el caso de estudio necesitamos los datos de la provincia de Morona Santiago donde se encuentra el cantón Sucúa, que permiten conocer el consumo eléctrico de los habitantes del cantón (ARCONEL, 2017).

Tabla 1: Consumo per cápita anual por provincia para el año 2017.

Provincia	Consumo de Energía (GWh)	Población*	Consumo Per Cápita (kWh/hab)
-----------	--------------------------	------------	------------------------------

Fuente: ARCONEL, 2017.

2.8.1. Consumo promedio de una vivienda en Morona Santiago en sectores sin energía eléctrica.

En los sectores donde no disponen de energía eléctrica, generalmente los usuarios utilizan leña como combustible dentro del hogar para preparar sus alimentos y en algunas ocasiones utilizan motores de combustión interna con el fin de obtener energía eléctrica durante un periodo de tiempo, para realizar los diferentes cálculos dentro de un sistema de generación



Azuay	1.015,06	838.859	1.210,04
Bolívar	85,32	205.094	416,00
Cañar	211,36	267.643	789,73
Carchi	85,81	182.719	469,63
Chimborazo	373,46	510.935	730,94
Cotopaxi	488,27	470.167	1.038,50
El Oro	848,44	689.760	1.230,05
Esmeraldas	491,47	567.610	865,86
Galápagos	49,71	30.890	1.609,20
Guayas	7.037,13	4.207.610	1.672,48
Imbabura	343,74	457.737	750,96
Loja	269,18	506.035	531,93
Los Ríos	656,42	888.351	738,92
Manabí	1.422,08	1.523.950	933,16
Morona Santiago	71,77	183.728	390,62
Napo	75,23	125.538	599,26
Orellana	116,36	155.453	748,54
Pastaza	55,89	105.494	529,75
Pichincha	4.093,60	3.059.971	1.337,79
Santa Elena	373,12	375.646	993,27
Santo Domingo de los Tsáchilas	456,19	485.090	940,42
Sucumbíos	235,91	215.499	1.094,69
Tungurahua	517,12	570.933	905,74
Zamora Chinchipe	49,97	112.835	442,90



Zonas no delimitadas	4,97	39.430	125,94
Total	19.427,56	16.776.977	1.157,99



de energía fotovoltaica se determina el consumo energético para una vivienda promedio de la zona, dicho consumo se representa en la siguiente tabla (Sánchez, 2011).

Tabla 2: Demanda de una vivienda.

Descripción	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo de uso (h/día)	Energía (Wh/día)
Luminarias	3	11	4	132
Radio	1	20	2	40
TV/DVD	1	70	2	140
Cargador	1	10	1	10

Fuente: Sánchez, 2011.

3. CAPÍTULO II: ANÁLISIS DEL RECURSO SOLAR

3.1. Localización Política y Geográfica

El cantón Sucúa está ubicado al Sur-Este de la región Amazónica, en la provincia de Morona Santiago, ubicado entre los 02° 08' 35" y 02° 54' 45" latitud Sur y entre 77° 25' 45" y 77° 58' 20" de longitud Oeste, limitando al Norte con el cantón Morona, al Sur con los cantones Logroño y Santiago, al Este con el cantón Morona y al Oeste con las provincias de Azuay y Cañar; su superficie general es de 1 279,22 km², con una altitud de 900 m.s.n.m. y una temperatura promedio de 22.6°C. Políticamente se encuentra dividido en 4 parroquias: Sucúa, Huambi, Santa Marianita de Jesús y Asunción; además está conformada por 45 comunidades o centros poblados, 8 barrios suburbanos y 15 barrios urbanos. Uno de estos es el barrio Los Artesanos, el mismo que será considerado para el presente caso de estudio (GAD Municipal del Cantón Sucúa, 2017).

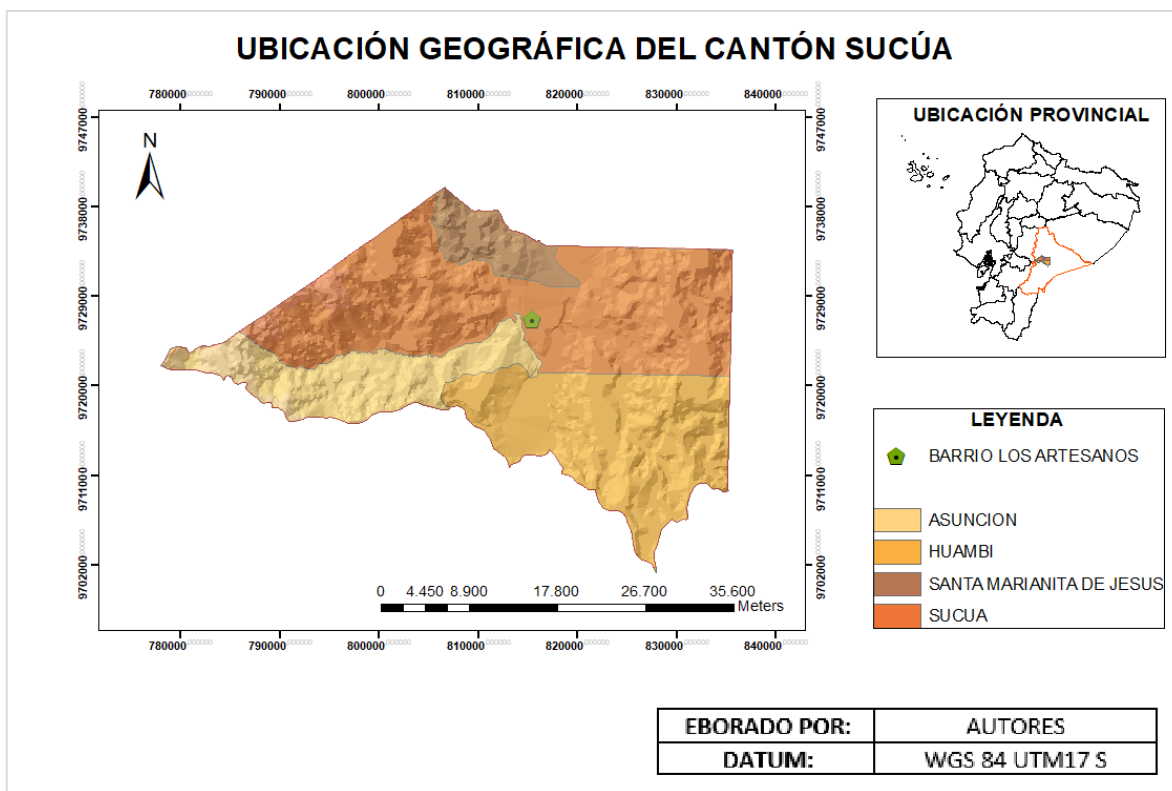


Ilustración 12: Ubicación Geográfica de la zona de estudio.

Fuente: SENPLADES, 2010.

3.1.1. Situación actual de la zona de Estudio.

El barrio Los Artesanos lleva el nombre gracias a toda la gente emprendedora y con mucho talento que habita en él, los habitantes fueron plasmando sus ideas en la artesanía local, y se asentaron en esta zona, siendo uno de los barrios más grandes de la ciudad, este barrio se asentó en la propiedad de la misión salesiana comandada por el sacerdote Siro Pellizzaro, luego de esto y tras gestión propia del sindicato de obreros municipales del cantón Sucúa, esta asociación pudo legalizar los terrenos, hoy en día este sector es conocido como el sector de los Empleados Municipales, abarcando una extensión de 3.494,48 m², la zona presenta varios caminos de tierra para su acceso, posee del servicio de agua potable, sin embargo, no dispone del servicio de alcantarillado público; y pese a estar dentro del casco urbano del cantón no dispone del servicio de energía eléctrica, por ello resulta ser la zona ideal para desarrollar el presente caso de estudio.



3.1.2. Radiación Solar de la zona de estudio

Para determinar la radiación solar de la zona de estudio, es necesario contar con los siguientes datos: localización geográfica, latitud, longitud, inclinación; mismos datos que se pueden obtener con la ayuda de Google Earth Pro.

Tabla 3: Localización Geográfica de la zona de estudio.

Descripción	Datos
Zona de estudio	Barrio Artesanos de los Empleados Municipales.
Latitud	2° 28.220'S
Longitud	78° 9.848'O
Elevación	900 m.s.n.m.

Fuente: Google Earth Pro,2019.

3.2. Recurso Solar del cantón Sucúa

Para obtener los datos del recurso solar con fines de generación eléctrica, se utilizó el Atlas Solar del Ecuador y datos de la NASA (National Aeronautics and Space Administration). Lo cual permitirá identificar la disponibilidad de energía solar que posee la zona de estudio.

3.2.1. Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica

Según el Atlas solar del Ecuador en su última publicación hecha en el año 2008, muestra que el potencial energético de radiación solar en la provincia de Morona Santiago, Cantón Sucúa, para la insolación global diaria promedio anual es de 4,18 kWh/m² día y de radiación solar promedio anual es de 173,98 W/m², tal como se muestra en la Ilustración 13.

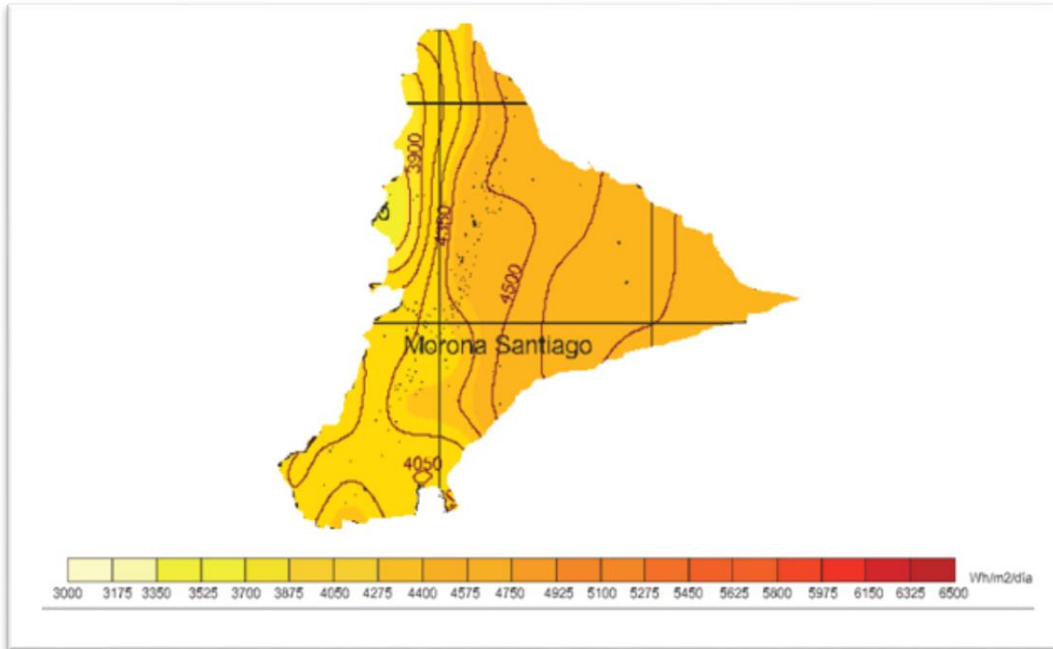


Ilustración 13. Radiación Solar Global de la Provincia de Morona Santiago.

Fuente: Atlas Solar, 2008.

En la siguiente Tabla se muestra la insolación global diaria y radiación solar Global de cada uno de los meses del año 2008 para el cantón Sucúa, según los datos del Atlas Solar.

Tabla 4. Insolación Global diaria y Radiación Solar Global del cantón Sucúa.

Mes	Insolación Global diaria (kWh/m ² /día)	Radiación Solar Global (W/m ²)
Enero	3,90	162,50
Febrero	4,05	168,75
Marzo	4,20	175,00
Abril	3,90	162,50
Mayo	3,60	150,00
Junio	3,75	156,25

Fuente: Elaboración propia.



Julio	3,75	156,25
Agosto	4,35	181,25
Septiembre	4,5	187,50
Octubre	4,80	200,00
Noviembre	4,95	206,25
Diciembre	4,35	181,50
Promedio	4,18	173,98

3.2.2. Base de la Nasa.

de datos

La NASA (Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio) por sus siglas en inglés lleva un inventario con información de los antecedentes meteorológicos registrados alrededor de todo el globo terráqueo, tal como se muestra en la Ilustración 14, en donde se puede observar los diferentes factores que se han registrado en el lapso de un año dentro de la zona de estudio, siendo prioritario los datos de radiación solar global diaria, los cuales serán utilizados en el presente trabajo; esta información obtenida es de vital importancia para el estudio, ya que con la misma, se puede obtener datos que serán útiles para la elaboración de cálculos posteriores, en la implementación del sistema de generación de energía fotovoltaica. Cabe recalcar que los datos de elevación representados en la ilustración 14, representa valores promedio sobre celdas de cuadrícula de latitud y longitud, en terrenos complejos, como montañas la elevación promedio de la celda de la cuadrícula puede ser sustancialmente diferente de la elevación local de la superficie de un sitio.

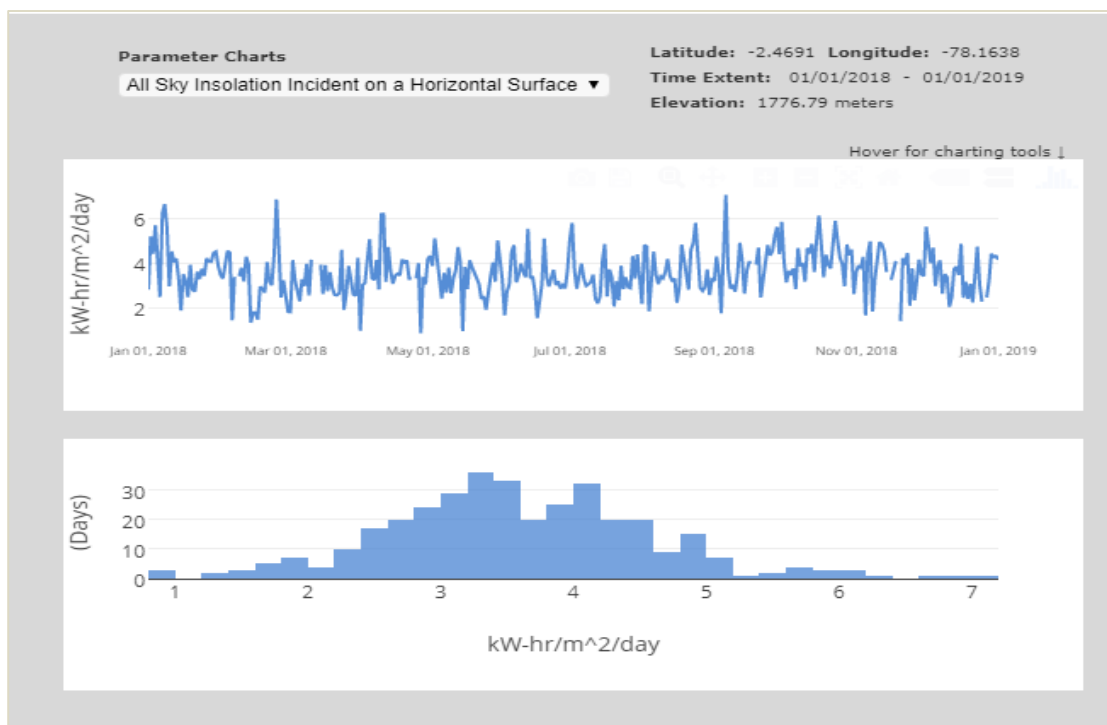


Ilustración 14: Datos de la NASA.

Fuente: White et al., 2008.

En la siguiente Tabla se muestra la insolación global diaria y radiación solar Global de cada uno de los meses del año 2018 para el cantón Sucúa, según los datos de la NASA.

Tabla 5: Radiación solar diaria y radiación solar global del cantón Sucúa para el año 2018.

Mes	Temperatura del aire (°C)	Radiación solar diaria (kWh/m ² /d)	Radiación solar Global (W/ m ²)
Enero	22,4	4,39	215,1
Febrero	22,1	4,25	210,8
Marzo	22,5	4,45	221,5
Abril	22,4	4,33	225,3
Mayo	21,8	4,19	219,2

Junio	20,0	4,15	218,1
Julio	19,6	4,19	204,1
Agosto	19,5	4,49	214,2
Septiembre	19,3	4,55	236,0
Octubre	19,9	4,54	246,9
Noviembre	20,2	4,73	232,7
Diciembre	21,8	4,57	227,2
Promedio	20,96	4,40	222,59

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Análisis de la radiación solar

En la Ilustración 15 se hace una comparación de la información registrada de la radiación global mensual de la NASA y del Atlas Solar del Ecuador, los valores obtenidos de la base de datos de la NASA, son los registrados durante cada mes del año 2018 tomando como punto de referencia la zona de estudio y los datos del Atlas Solar se obtuvieron de acuerdo a lo registrado en la provincia de Morona Santiago.

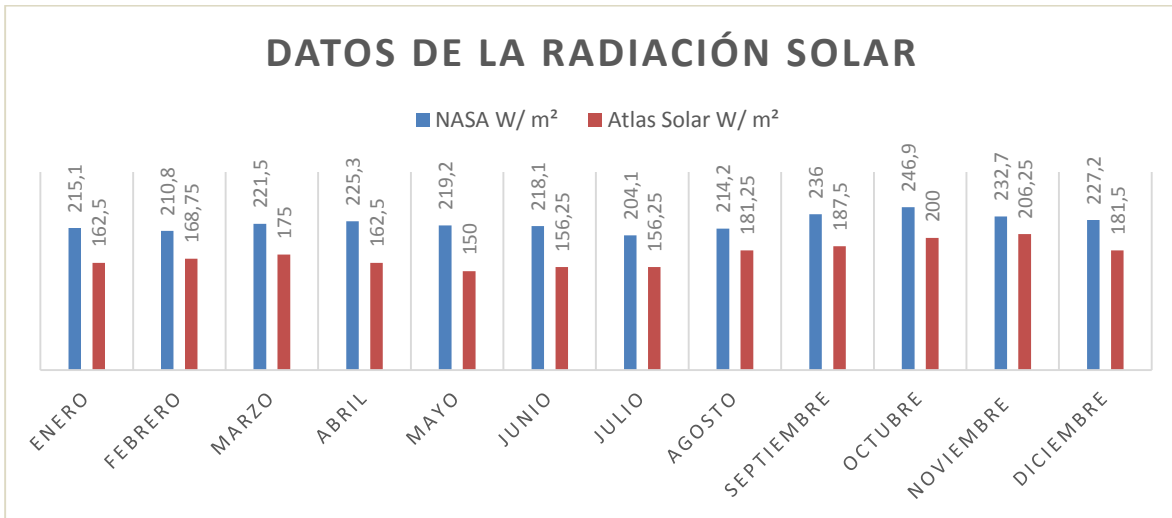


Ilustración 15: Datos comparativos de radiación solar en base a información de la NASA y Atlas Solar del Ecuador.



Fuente: Elaboración propia.

Para la radiación solar global el valor mínimo según la información de la NASA se presenta en el mes de julio con un valor de $204,1 \text{ W/m}^2$, mientras que con respecto al Atlas Solar se presenta un valor mínimo en el mes de mayo de 150 W/m^2 . Los valores máximos de la NASA y Atlas Solar son de $246,9$ y $206,25 \text{ (W/m}^2)$ en los meses de octubre y noviembre respectivamente. Estos datos nos permiten conocer el peor escenario de radiación solar, que se puede presentar en nuestra zona de estudio. Lo cual es importante dentro del estudio de diseño e implementación de los paneles fotovoltaicos.

4. CAPITULO III: DISEÑO SOLAR

4.1. Introducción

La energía solar fotovoltaica se conoce desde el siglo XIX, en el año 1839 por el físico francés Alexandre- Edmond- Becquerel gracias a sus estudios basados en el espectro solar, óptica, magnetismo y electricidad. El investigador estadounidense Charles Fritts, elaboró la primera celda solar fotovoltaica con una eficacia del tan solo 1%, la cual fue construida empleando como semiconductor el selenio con una fina envoltura de oro; el inventor norteamericano Russell Ohl fue el creador de la celda de silicio que hoy en día es la más utilizada, su construcción fue en el año de 1940 y patentada en 1946 (Barrera, 2010).

Existen nuevos avances en el uso del silicio para la elaboración de células solares, además nuevos diseños que utilizan materiales que no necesariamente han sido silicio, que han incluido otros semiconductores y componentes químicos orgánicos, estos materiales nos permiten reducir el costo de las células fotovoltaicas, un ejemplo de ello se ha dado en la Escuela Politécnica Federal de Lausana en Suiza, en la cual han utilizado materiales como el cobre, indio, galio y selenio para fabricar un tipo de células solares de película delgada, dando como resultado un incremento en su rendimiento, del 15 % en las diferentes pruebas realizadas, estas células al igual que las del silicio utilizan, nano-capas de material semiconductor que pueden emplearse en sustratos bajos como el vidrio, polímeros de alta temperatura entre otros; estas células poseen un tinte fotosensible, el cual permite separar la tarea de absorción de la luz con la de conducir la electricidad, permitiendo una mayor



eficiencia del sistema fotovoltaico, se espera que en el transcurso de los años se pueda aplicar estos tintes directamente sobre hojas de acero lo cual significaría un ahorro en la producción (Castonguay, 2009).

Hoy en día cerca de mil millones de personas, viven sin electricidad y otros millones viven, con un abastecimiento escaso o poco confiable; por otro lado, cerca de tres mil millones de personas utilizan derivados de combustibles fósiles como: la gasolina, diésel, entre otros, para el funcionamiento de motores de combustión en la generación de energía eléctrica, para cocinar y obtener calefacción emplean carbón, leña, u otra biomasa produciendo la contaminación en ambientes abiertos y cerrados ocasionando afecciones en su salud (Banco Mundial, 2016).

Como posible elección tenemos que la energía fotovoltaica viene siendo una opción amigable con el medio ambiente y para el mejoramiento de la calidad de vida de las personas, que residen en el barrio Artesanos sector de los Empleados Municipales del cantón Sucúa.

4.2. Parámetros del Diseño

Para determinar la factibilidad del uso de energía fotovoltaica para el consumo doméstico es necesario emplear una metodología que se ajuste a las características que posee el sector de estudio, como: factores socio-económicos, energéticos, potencias y tipo de electrodomésticos. Posteriormente es necesario determinar el consumo de energía eléctrica que permitan dimensionar el sistema solar adecuado. Pasos a desarrollar:

1. Delimitar la zona de estudio.
2. Levantamiento de información socioeconómica y energética.
3. Calculo energía eléctrica en cada vivienda.
4. Dimensionamiento del sistema.
5. Beneficios ambientales de la utilización de energías renovables frente a las convencionales.



4.2.1. Diseño de sistema fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico, constituye un grupo de instrumentos que utilizan la energía solar y la transforma en energía eléctrica, los sistemas fotovoltaicos se fundamentan en la capacidad de las celdas fotovoltaicas para transformar la energía del sol en energía eléctrica; en un sistema enlazado al sistema eléctrico, esta energía mediante la utilización de un inversor es convertida a corriente alterna la cual puede ser empleada en las industrias y en los hogares. La producción de la energía eléctrica, llega a su máximo nivel en las horas que brilla el sol por encima del panel solar dependiendo del tipo, número de módulos instalados, radiación solar, orientación, inclinación, potencia nominal y la instalación (Abella, 2005).

Los sistemas fotovoltaicos se dividen en dos tipos: Autónomos y los conectados a la red; para este caso de estudio se implementará los sistemas fotovoltaicos autónomos ya que no existe una red eléctrica cercana para que se pueda conectar y la energía eléctrica generada será almacenada en baterías (Style, 2012).

4.2.1.1 Sistemas Fotovoltaicos Autónomos.

Los sistemas fotovoltaicos autónomos son los que producen energía eléctrica para satisfacer el consumo de cargas eléctricas no conectadas a la red, empleando un sistema de acumulación energético, para hacer frente a los períodos en los que la generación es inferior al consumo, representando una solución para lugares que tienen difícil acceso. Estos sistemas fotovoltaicos son los más utilizados en países en desarrollo; los elementos que conforman el sistema fotovoltaico autónomo son: módulo solar, regulador de carga, baterías e inversor, tal como se puede observar en la Ilustración 16.

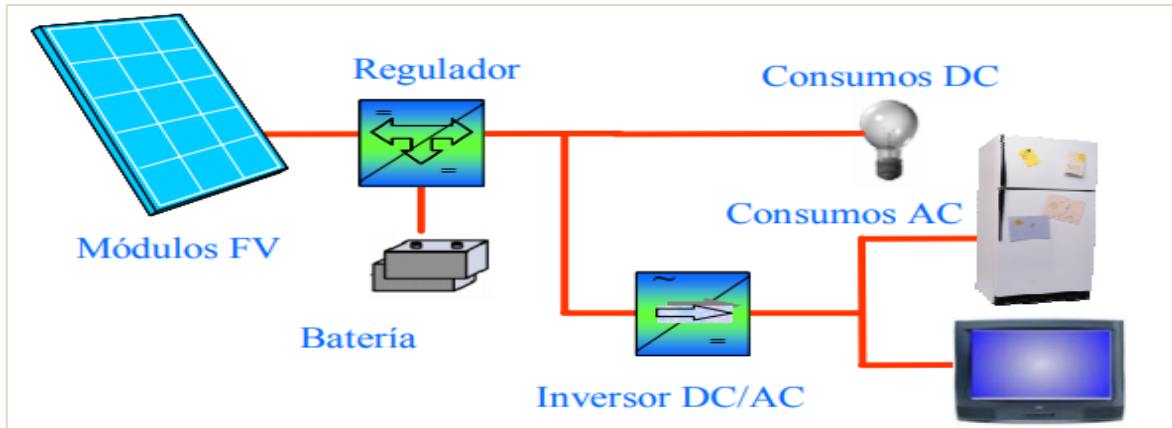


Ilustración 16: Estructura de un sistema fotovoltaico autónomo.

Fuente: Abella, 2005.

4.2.1.2 Elementos de un sistema fotovoltaico autónomo.

Panel Solar

Es el componente primordial que efectúa la transformación de la radiación solar a energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. Las células solares proveen valores de tensión y corriente diminutos, en relación a los requeridos usualmente por los instrumentos convencionales también son extremadamente débiles y eléctricamente no aisladas. Es por ello que su uso exige la conexión de varias células para incrementar su voltaje e intensidad, la conservación y el ensamblaje del conjunto para constituir una sola estructura conocida como panel solar (Delgadillo et al., 2013).

Baterías

La energía se consigue de distintas fuentes primarias, en esta ocasión, por la utilización de paneles fotovoltaicos, la dificultad principal, es encontrar la manera de almacenar dicha energía. El almacenamiento de la energía eléctrica necesita una conversión diferente. En las baterías la energía de los componentes químicos ejerce como centro de acopio y en medio de la descarga un evento químico, el cual se produce liberando una energía que puede ser utilizada, desde la batería en forma de una corriente eléctrica bajo un cierto voltaje, para un sistema de baterías, este proceso puede ser reversible, es decir que la batería puede ser recargada; Además las baterías cumplen con funciones tales como: autonomía y estabilización de voltaje (Lema & Miguel, 2014).



Existen varios tipos de baterías que pueden ser empleadas en sistemas fotovoltaicos autónomos: Plomo ácido, Níquel-Cadmio, Bromuro de Zinc, Cloruro de Zinc, Magnesio Litio, Sodio Azufre, Níquel-Hidrógeno y de flujo de redox; hoy en día debido a su costo reducido las baterías que más se utilizan son las de Plomo-Acido, además estas baterías son del tipo estacionario siendo así las más apropiadas para los sistemas autónomos fotovoltaicos, en especial, las de gel selladas VRLA (Valve Regulated Lead Acid); estas baterías no necesitan mantenimiento, se recargan con un porcentaje menor de energía, permiten más extensión de carga y son de fácil transporte (Lema & Miguel, 2014).

La etapa de carga y descarga en las baterías tienen una continuidad diaria, en algunos sistemas fotovoltaicos la profundidad de descarga, de cada día suele ser del 5 al 15 %; esta profundidad de descarga aumenta drásticamente en los días con ausencia de sol (nublados), por lo que el diseño de la batería debe estar enfocado para que no alcance la máxima profundidad de descarga, es por ello, que las baterías que se utilizan en los sistemas fotovoltaicos son de ciclo profundo; los ciclos continuos de carga y descarga en una batería hacen que esta disminuya la capacidad, con el tiempo, debido a que su material activo se va deteriorando, se dice que el final de la vida útil de una batería ocurre cuando su capacidad se ha disminuido al 80% de la nominal. Cuando el régimen de descarga sea menor (número de horas que se descarga la batería), la capacidad de la batería se pierde más rápidamente, es por eso, que dentro de un sistema fotovoltaico es necesario el uso de baterías estacionarias de buena calidad, también se debe regular el procedimiento de carga aportando, su intensidad óptima en función de su estado de carga y evitar sobrecargas prolongadas; sobre todo evitar descargas diarias profundas (Lalangui & Gerardo, 2015).

Regulador de carga

Se encuentra dentro de los componentes de menor costo, en un sistema fotovoltaico, pero, de su selección depende la viabilidad a largo plazo del sistema y costo de mantenimiento. Durante el proceso de carga de la batería, el panel fotovoltaico puede proporcionar una tensión mayor a la que presenta la batería durante la carga, si este proceso no es controlado, puede existir sobrecarga en las baterías, este dispositivo regula el valor de la corriente que se inyecta a la batería; si no se impide la sobrecarga de las baterías se produce un calentamiento y una gasificación, lo cual conlleva, que la vida útil de la batería disminuya, en general un regulador actúa usualmente, controlando la tensión en las



baterías impidiendo el paso de la corriente a la batería cuando esta ha finalizado su carga (Rodríguez, 2003).

Inversor

Modifica la corriente continua producida por los paneles o acumulada en la batería en corriente alterna, además efectúa la transformación de Corriente Continua (DC) a Corriente Alterna (CA). En un diseño de instalación, se considera las características principales de un inversor, entre ellas tenemos:

- Estabilidad de voltaje: La tensión de salida debe ser lo más estable posible, independientemente de la carga y la tensión de entrada.
- Eficiencia: Lo más elevada posible, para todo el rango de potencias de salida.
- Baja distorsión armónica.
- Arranque y desconexión automáticos (al detectar carga o la ausencia de ella).
- Señalización y Seguridad: deben llevar protección contra cortocircuitos, sobrecargas e inversión de polaridad.

4.3. Cálculo de Diseño

Para calcular el número de paneles, baterías, inversor y regulador en cada caso particular de vivienda se necesita emplear las siguientes ecuaciones:

4.3.1. Número de Paneles Solares

La siguiente ecuación nos permitirá determinar el número de paneles que se necesita para el presente caso de estudio (Lalangui & Gerardo, 2015).

$$\text{Número de Paneles} = \frac{E \cdot 1,3}{H.S.P \cdot WP}$$

Ecuación 2: Ecuación para el cálculo del número de paneles

Dónde:

E = Consumo diario.

H.S.P = Horas Solar Pico.

WP = Potencia del panel.

1,3 = Factor de seguridad (Alonso, 2010).



4.3.1.1. Consumo diario de cada vivienda (E)

Para obtener los datos, se realizó el levantamiento de la línea base, dentro de la zona de estudio, considerando los artefactos básicos en cada vivienda, dependiendo de la estructura de la misma y el número de personas que las habitan.

4.3.1.2. Hora Solar Pico (H.S.P)

La hora solar pico (H.S.P) es la energía que recibimos expresada en horas por m², según el concepto teórico con una intensidad de radiación de 1000 W/m², incidiendo directamente sobre la superficie del módulo, que tendría un día imaginario en el que el módulo capta la misma energía que en un día real (Lalangui & Gerardo, 2015).

$$H.S.P = \frac{I_{\alpha} \left(\frac{KJ}{m^2} \right) \cdot 1000 \left(\frac{J}{KJ} \right) \cdot \frac{1}{3600} \left(\frac{h}{seg} \right)}{1000 \left(\frac{W}{m^2} \right)}$$

Ecuación 3: Ecuación para el cálculo de hora solar pico.

4.3.2. Inclinación y Orientación de los paneles fotovoltaicos.

La zona de estudio se encuentra localizada en el hemisferio Sur, por lo que, las caras frontales de los captadores deben estar dirigidas en dirección Norte. Para la inclinación se considera el dato correspondiente a su latitud geográfica; recomendando la adición de 10 grados para la auto limpieza de los paneles fotovoltaicos.

$$\text{Orientación} = \text{Latitud} + 10^{\circ}$$

Ecuación 4: Ecuación para el cálculo de orientación de los paneles.

4.3.3. Cálculo y selección de Batería

Mediante la siguiente ecuación se puede determinar la Capacidad de la Batería (C_B) (Lalangui & Gerardo, 2015)



$$C_B = \frac{I_d * A}{P_f}$$

Ecuación 5: Ecuación para el cálculo de la capacidad de la batería.

Donde:

I_d: Corriente necesaria para la batería.

A: Número de días de autonomía de la batería.

P_f: Profundidad de descarga máxima, se recomienda que no exceda de un 80% ya que disminuye la vida útil de las baterías.

4.3.4. Cálculo de la Corriente necesaria (I_d)

A partir de la siguiente ecuación se determinará la corriente necesaria (Lalangui & Gerardo, 2015)

$$I_d = \frac{E}{Vt}$$

Ecuación 6: Ecuación para el cálculo de la corriente necesaria.

Donde:

E: Consumo diario de cada vivienda.

Vt: Tensión de suministro de la batería a los consumos.

4.3.5. Selección del Inversor Solar

Para seleccionar el inversor a utilizarse se debe tomar en cuenta, la batería con la que se trabaja si es de 12, 24 o 48 V, ya que los inversores únicamente funcionan a una sola tensión de entrada; cuando más potencia se necesita, lo recomendable es, que la batería trabaje a mayor tensión para que así, se necesite menor amperaje de consumo y las pérdidas de los cables y en el sistema sean menores; por norma general en 12V, se recomienda inversores de 2000 a 3000 W (Style, 2012).

4.3.6. Selección del Regulador Solar

Para seleccionar el regulador solar lo más importante es, que el regulador corresponda al voltaje del sistema, por ejemplo, un regulador de 24 V, no puede trabajar en un sistema de 12 V y que la corriente máxima del regulador sea mayor a la corriente máxima que puedan generar los módulos fotovoltaicos (Style, 2012).

4.4. Análisis en Software CENSOL 5.0

En la Ilustración 17 se puede observar la información de la radiación media diaria de la zona a partir de los valores de los datos mensuales que nos brinda la NASA; estos datos nos servirán para realizar una simulación de un sistema solar fotovoltaico mediante el software CENSOL 5.0.

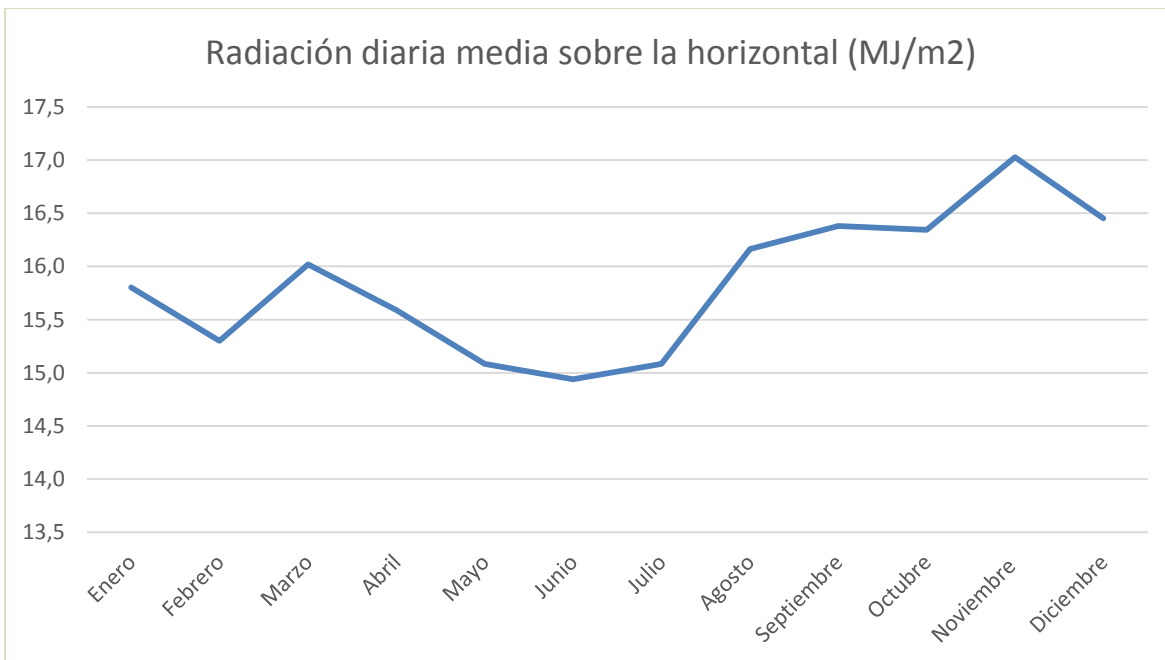


Ilustración 17: Radiación diaria media horizontal (MJ/m²) según datos de la NASA.

Fuente: Elaboración propia.

Por medio del software CENSOL 5.0 se puede realizar los cálculos, de número de paneles fotovoltaicos y baterías, utilizando la radiación diaria media sobre la horizontal y parámetros

como la potencia de la batería, días de autonomía, profundidad de descarga entre otros. En relación al consumo energético que tiene cada vivienda.

4.5. Selección de equipos a utilizar en el proyecto.

4.5.1. Panel Solar

Se selecciona este tipo de panel ya que su estructura cristalina presenta menos impurezas, lo cual aumenta su rendimiento, frente al panel poli cristalino.

Tabla 6. Especificaciones técnicas del panel solar.

Características	Datos
Marca	Eco Solar
Tipo	Monocristalino
Modelo	da0093
Potencia (W)	100
Voltaje en circuito abierto (Voc)	23,2V
Coefficiente de Temperatura de Voc	-0,33/100 V/°C
Temperatura de Operación Nominal	45°C
Voltaje en el punto de máxima potencia (V)	18,2
Corriente de cortocircuito (A)	5,98
Corriente Nominal (A)	5,94
Dimensiones (mm)	1205x555x50
Vida útil	25 años
Peso (kg)	8

Fuente: Damia Solar, 2019.

4.5.2. Baterías Solares

Tabla 7. Especificaciones técnicas de las Baterías Solares.

Características	Datos
Marca	AGM Eco Solar
Tipo	Pb de alta densidad
Medidas (mm)	330 largo x 175 ancho x 220 alto
Peso (kg)	29



Voltaje (V)	12
Capacidad de carga en C100	150 Ah
Capacidad de carga en C10	110 Ah
Vida útil	8 años
Profundidad de descarga en más de 800 ciclos	80%

Fuente: Damia Solar, 2019.

4.5.3. Regulador

Tabla 8. Especificaciones técnicas del Regulador.

Características	Datos
Marca	Phocos
Corriente máxima de carga (A)	20
Eficiencia	90%
Auto consumo de energía	Inferior a 4mA
Dimensiones (mm)	89x90x39
Vida útil	8 años
Tipo de protección	IP22

Fuente: Damia Solar, 2019.

4.5.4. Inversor

Tabla 9. Especificaciones técnicas del Inversor.

Características	Datos
Marca	Eco Solar
Tipo	Onda modificada
Eficiencia	86%
Potencia nominal máxima del inversor	600W
Potencia pico máxima del inversor	1200W
Tensión de entrada en CC (V)	12V
Voltaje de salida en CA (V)	230V
Frecuencia de salida	50Hz
Vida útil	4 años
Dimensiones (mm)	150x105x50

Fuente: Damia Solar, 2019.



5. CAPÍTULO IV: RESULTADOS

5.1. Consumo diario por vivienda (E)

Según el levantamiento de la línea base, se obtuvieron los siguientes resultados, con respecto a la cantidad de energía que se consume por vivienda dentro de la zona de estudio (Anexo A, ilustración 32).

Tabla 10. Consumo de la Vivienda 1.

Descripción	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo de uso (h/día)	Energía (Wh/día)
Focos	6	9	5	270
Radio	1	20	2	40
Tv	2	70	2	280
Cargador de móvil	2	10	1,5	30
TOTAL				620

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Consumo de la Vivienda 2.

Descripción	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo de uso (h/día)	Energía (Wh/día)
Focos	5	9	4	180
Radio	1	20	2	40
Tv	1	70	2	140
Cargador de móvil	1	10	1,5	15
TOTAL				375

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Consumo de la Vivienda 3.

Descripción	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo de uso (h/día)	Energía (Wh/día)
Focos	4	9	5	180
Radio	1	20	2	40
Tv	0	70	2	0
Cargador de móvil	2	10	1,5	30
TOTAL				250

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 13. Consumo de la Vivienda 4.

Descripción	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo de uso (h/día)	Energía (Wh/día)
Focos	3	9	5	135
Radio	1	20	2	40
Tv	0	70	2	0
Cargador de móvil	1	10	1,5	15
TOTAL				190

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Consumo de la Vivienda 5.

Descripción	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo de uso (h/día)	Energía (Wh/día)
Focos	5	9	4	180
Radio	1	20	2	40
Tv	2	70	2	280
Cargador de móvil	2	10	1,5	30
TOTAL				530

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Consumo de la Vivienda 6.

Descripción	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo de uso (h/día)	Energía (Wh/día)
Focos	2	9	4	72
Radio	1	20	2	40
Tv	0	70	2	0
Cargador de móvil	0	10	1,5	0
TOTAL				112

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Consumo de la Vivienda 7.

Descripción	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo de uso (h/día)	Energía (Wh/día)
Focos	3	9	5	135



Radio	1	20	2	40
Tv	0	70	2	0
Cargador de móvil	1	10	1,5	15
TOTAL				190

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Consumo de la Vivienda 8.

Descripción	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo de uso (h/día)	Energía (Wh/día)
Focos	4	9	4	144
Radio	1	20	2	40
Tv	0	70	2	0
Cargador de móvil	2	10	1,5	30
TOTAL				214

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Consumo de la Vivienda 9.

Descripción	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo de uso (h/día)	Energía (Wh/día)
Focos	2	9	5	90
Radio	0	20	2	0
Tv	0	70	2	0
Cargador de móvil	1	10	1,5	15
TOTAL				105

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Consumo de la Vivienda 10.

Descripción	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo de uso (h/día)	Energía (Wh/día)
Focos	5	9	5	225
Radio	0	20	2	0
Tv	2	70	2	280
Cargador de móvil	2	10	1,5	30
TOTAL				535

Fuente: Elaboración propia.



5.2. Resultados del cálculo de la Hora Solar Pico

$$I_{\alpha} = 222,59 \frac{W}{m^2}$$

$$\frac{222,59 W}{m^2} \cdot \frac{86400 s}{día} \cdot \frac{kJ}{1000 J} = 19231,776 \frac{kJ s}{m^2}$$

$$H.S.P = \frac{19231,776 \frac{kJ s}{m^2} \cdot \frac{1000 J}{1 kJ} \cdot \frac{1 h}{3600 s}}{1000 \frac{W}{m^2}} = 5,34 h$$

5.3. Resultados del cálculo del número de paneles: Vivienda 1

$$\text{Número de Paneles} = \frac{620 Wh * 1,3}{5,34 h * 100 W} = 2 \text{ Paneles}$$

De igual manera se aplica los mismos cálculos para las demás viviendas del sector, para obtener el número de paneles necesarios, tal como se observa en la Tabla 20.

Tabla 20. Número de paneles necesarios para cada vivienda.

Descripción	Consumo (Wh/día)	N° de Paneles
Vivienda 1	620	2
Vivienda2	375	1
Vivienda 3	250	1
Vivienda 4	190	1
Vivienda 5	530	1
Vivienda 6	112	1
Vivienda 7	190	1
Vivienda 8	214	1
Vivienda 9	105	1
Vivienda 10	535	1

Fuente: Elaboración propia.



5.4. Resultado para el cálculo de la Inclinación y Orientación de los paneles fotovoltaicos.

$$\text{Orientación} = 2,28^\circ + 10^\circ = 13,28^\circ$$

5.5. Resultados para el cálculo y selección de Batería

5.5.1. Cálculo de la Capacidad de la Batería (C_B): Vivienda 1

$$C_B = \frac{51,66Ah * 2}{0,8} = 129,15Ah$$

5.5.2. Cálculo de la Corriente necesaria (I_d): Vivienda 1

$$I_d = \frac{620 Wh}{12V} = 51,66Ah$$

De igual manera se aplica los mismos cálculos para el total de viviendas del sector, para obtener la capacidad de la batería y la corriente necesaria para cada batería, tal como se observa en la Tabla 21.

Tabla 21. Corriente necesaria y capacidad de la batería por vivienda

Descripción	Corriente necesaria (Ah)	Capacidad de la Batería (Ah)
Vivienda 1	51,7	129,2
Vivienda 2	31,3	78,1
Vivienda 3	20,8	52,1
Vivienda 4	15,8	39,6
Vivienda 5	44,2	110,4
Vivienda 6	9,3	23,3
Vivienda 7	15,8	39,6
Vivienda 8	17,8	44,6
Vivienda 9	8,8	21,9
Vivienda 10	44,6	111,5

Fuente: Elaboración propia

5.5.3. Resultados de Número de Inversores Solares

Para el presente estudio por cada vivienda se necesitará un inversor solar, sumando en total 10 inversores solares para todas las viviendas.

5.5.4. Resultados de Número de Reguladores Solares

Para el presente caso de estudio por cada vivienda se necesitará un regulador solar, sumando en total 10 reguladores solares para todas las viviendas.

5.6. Resultados del cálculo del número de paneles mediante el software Censol 5.0

The screenshot displays the Censol 5.0 software interface for a project named 'Vivienda 1'. It shows various input parameters and calculated results for solar panel installation.

Inputs:

- Ubicación: [Dropdown]
- Nombre del proyecto: Vivienda 1
- Latitud: +02°
- Inclinación: 13°
- Desviación N-S: 00°
- Corrección de H: ×1.00
- Consumo diario (W·h): 620
- Potencia FV a instalar (W): 239
- Nº de paneles: 2
- Nº instalado: 2
- A-h necesarios: 265
- Serie: 1
- Paralelo: 2
- W instalados: 200
- A-h instalados: 258

Tables:

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
H	15.80	15.3	16.02	15.59	15.08	14.94	15.08	16.16	16.38	16.34	17.02	16.45
H correg.	15.80	15.30	16.02	15.59	15.08	14.94	15.08	16.16	16.38	16.34	17.02	16.45
H.S.P.	4.56	4.34	4.36	4.07	3.81	3.69	3.81	4.22	4.46	4.63	4.96	4.84

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
P	194	204	203	217	232	239	232	209	198	191	178	182	
F	1.23	1.17	1.18	1.10	1.03	1.00	1.03	1.14	1.21	1.25	1.34	1.31	1.17

Results:

- Rendimiento (%): 78
- kb: 0.05
- ka: 0.0050
- pd: 0.50
- kc: 0.00
- kv: 0.15
- Autonomía (días): 2
- Panel FV:
 - Potencia pico (W): 100
 - Tensión nominal (V): 12
 - Elemento acumulador:
 - Tensión nominal (V): 12
 - Capacidad (A·h): 129
 - Temperatura (°C): 20
 - Circuito de c.c.:
 - Tensión nominal (V): 12
- Generación FV anual en sistemas de conexión a red (kW-h/kW instalado): 1228
- «P»: Potencia FV (W) necesaria para satisfacer el consumo diario
- «F»: Energía FV diaria disponible (kW·h) / Consumo diario (kW·h)
- «H»: radiación diaria media sobre horizontal (MJ/m²)
- «H.S.P.»: número corregido de horas de sol pico

Ilustración 18a: Resultados obtenidos mediante el software Censol 5.0 para la vivienda 1.

Fuente: Elaboración propia.

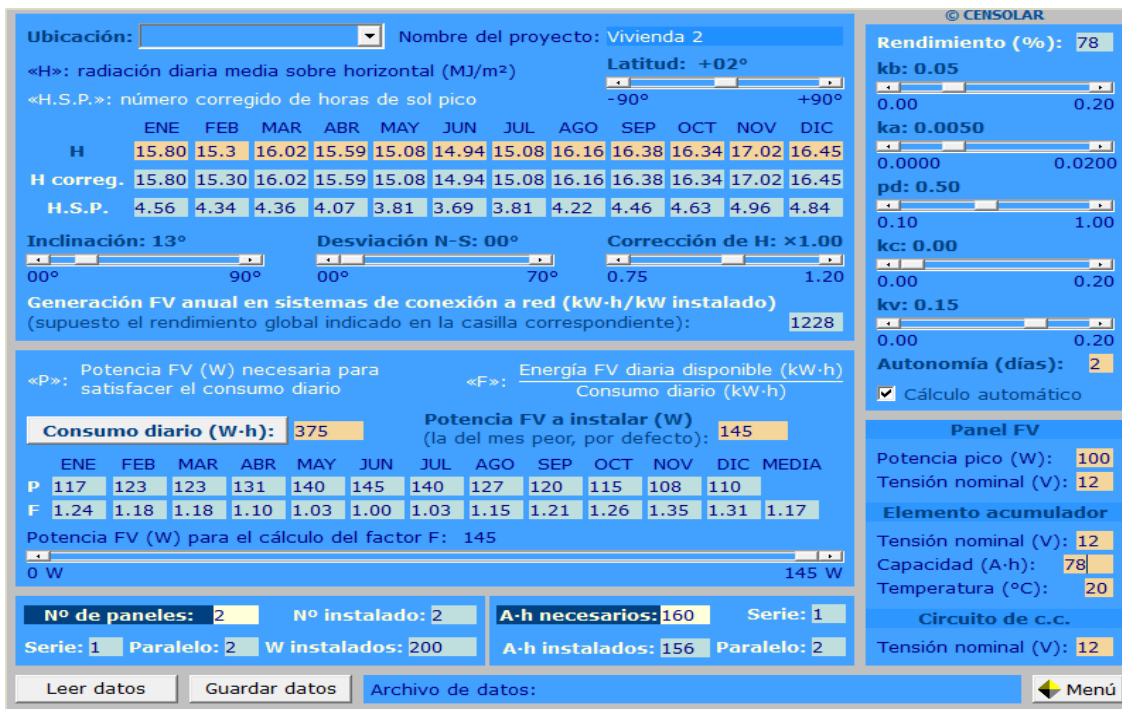


Ilustración 19b. Resultados obtenidos mediante el software Censol 5.0 para la vivienda 2.

Fuente: Elaboración propia.

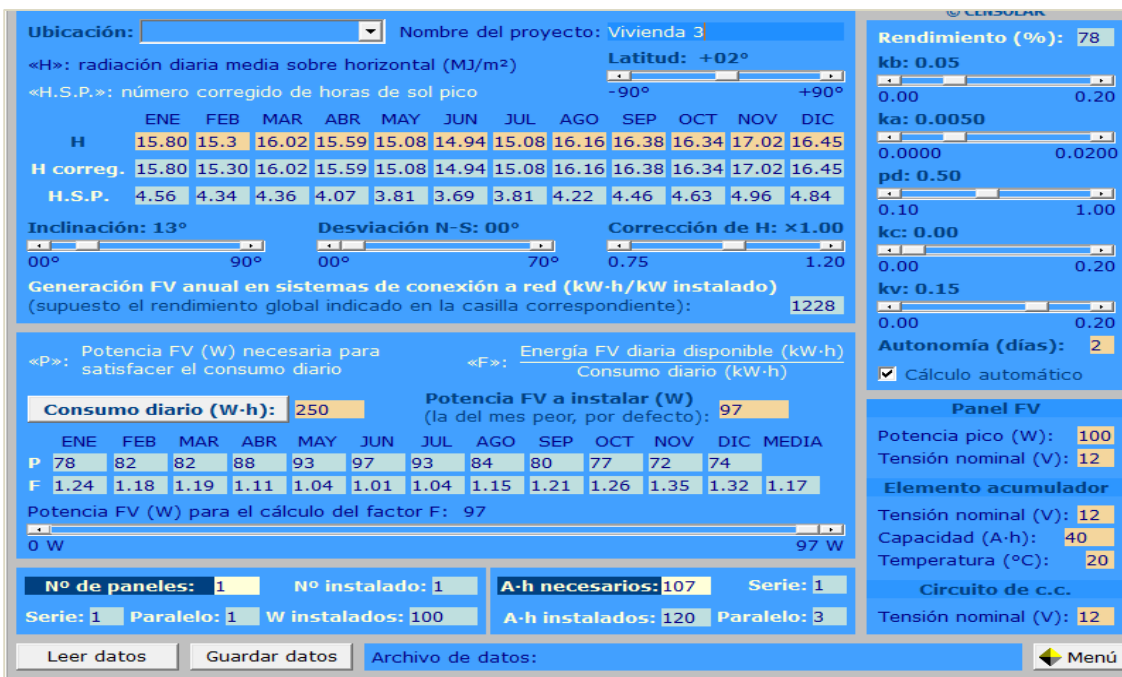


Ilustración 20c. Resultados obtenidos mediante el software Censol 5.0 para la vivienda 3.

Fuente: Elaboración propia.

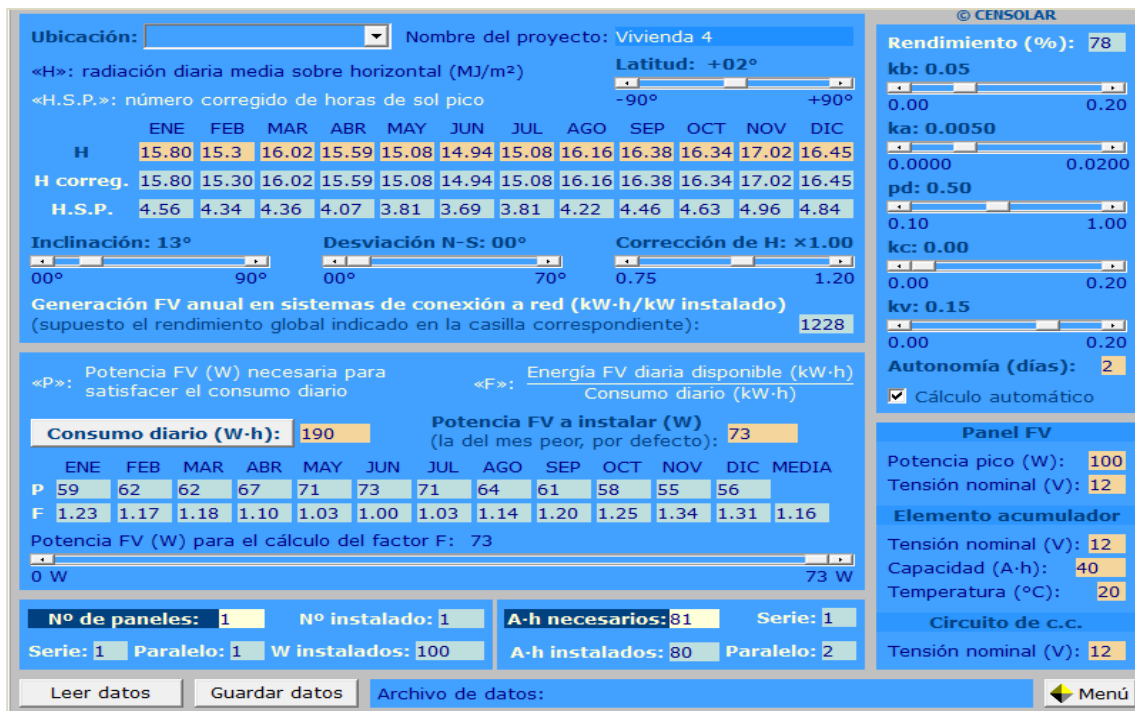


Ilustración 21d. Resultados obtenidos mediante el software Censol 5.0 para la vivienda 4.

Fuente: Elaboración propia.

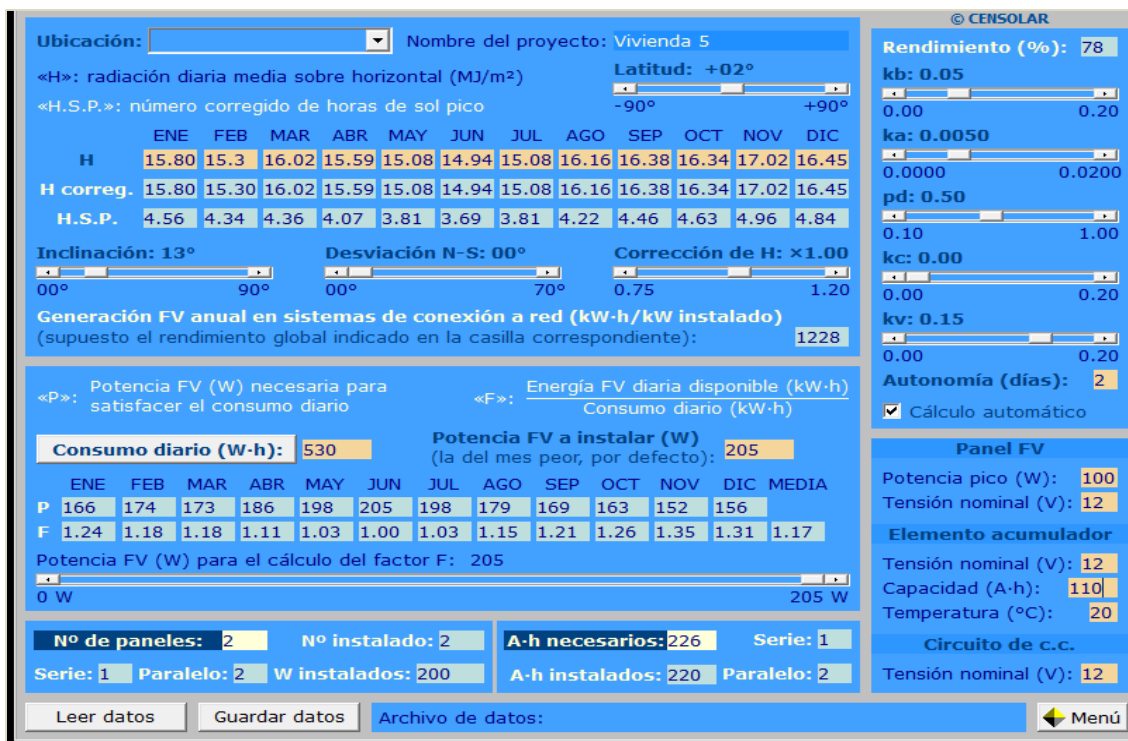


Ilustración 22e: Resultados obtenidos mediante el software Censol 5.0 para la vivienda 5.

Fuente: Elaboración propia.

© CENSOLAR

Ubicación: Nombre del proyecto: Vivienda 6

«H»: radiación diaria media sobre horizontal (MJ/m²) **Latitud: +02°**

«H.S.P.»: número corregido de horas de sol pico **-90° +90°**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
H	15.80	15.3	16.02	15.59	15.08	14.94	15.08	16.16	16.38	16.34	17.02	16.45
H correg.	15.80	15.30	16.02	15.59	15.08	14.94	15.08	16.16	16.38	16.34	17.02	16.45
H.S.P.	4.56	4.34	4.36	4.07	3.81	3.69	3.81	4.22	4.46	4.63	4.96	4.84

Inclinación: 13° **Desviación N-S: 00°** **Corrección de H: ×1.00**

Generación FV anual en sistemas de conexión a red (kW-h/kW instalado) (supuesto el rendimiento global indicado en la casilla correspondiente): **1228**

«P»: Potencia FV (W) necesaria para satisfacer el consumo diario **Consumo diario (W-h): 112**

«F»: Energía FV diaria disponible (kW-h) Consumo diario (kW-h) **Potencia FV a instalar (W) (la del mes peor, por defecto): 43**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
P	35	37	37	39	42	43	42	38	36	34	32	33	
F	1.23	1.17	1.18	1.10	1.03	0.99	1.03	1.14	1.20	1.25	1.34	1.30	1.16

Potencia FV (W) para el cálculo del factor F: **43**

Nº de paneles: 1 **Nº instalado: 1** **A-h necesarios: 48** **Serie: 1**

Serie: 1 **Paralelo: 1** **W instalados: 100** **A-h instalados: 48** **Paralelo: 2**

Leer datos Guardar datos Archivo de datos:

Rendimiento (%): 78

kb: 0.05

ka: 0.0050

pd: 0.50

kc: 0.00

kv: 0.15

Autonomía (días): 2

Cálculo automático

Panel FV

Potencia pico (W): **100**

Tensión nominal (V): **12**

Elemento acumulador

Tensión nominal (V): **12**

Capacidad (A-h): **24**

Temperatura (°C): **20**

Circuito de c.c.

Tensión nominal (V): **12**

Ilustración 23f: Resultados obtenidos mediante el software Censol 5.0 para la vivienda 6.

Fuente: Elaboración propia.

© CENSOLAR

Ubicación: Nombre del proyecto: Vivienda 7

«H»: radiación diaria media sobre horizontal (MJ/m²) **Latitud: +02°**

«H.S.P.»: número corregido de horas de sol pico **-90° +90°**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
H	15.80	15.3	16.02	15.59	15.08	14.94	15.08	16.16	16.38	16.34	17.02	16.45
H correg.	15.80	15.30	16.02	15.59	15.08	14.94	15.08	16.16	16.38	16.34	17.02	16.45
H.S.P.	4.56	4.34	4.36	4.07	3.81	3.69	3.81	4.22	4.46	4.63	4.96	4.84

Inclinación: 13° **Desviación N-S: 00°** **Corrección de H: ×1.00**

Generación FV anual en sistemas de conexión a red (kW-h/kW instalado) (supuesto el rendimiento global indicado en la casilla correspondiente): **1228**

«P»: Potencia FV (W) necesaria para satisfacer el consumo diario **Consumo diario (W-h): 190**

«F»: Energía FV diaria disponible (kW-h) Consumo diario (kW-h) **Potencia FV a instalar (W) (la del mes peor, por defecto): 73**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
P	59	62	62	67	71	73	71	64	61	58	55	56	
F	1.23	1.17	1.18	1.10	1.03	1.00	1.03	1.14	1.20	1.25	1.34	1.31	1.16

Potencia FV (W) para el cálculo del factor F: **73**

Nº de paneles: 1 **Nº instalado: 1** **A-h necesarios: 81** **Serie: 1**

Serie: 1 **Paralelo: 1** **W instalados: 100** **A-h instalados: 80** **Paralelo: 2**

Leer datos Guardar datos Archivo de datos:

Rendimiento (%): 78

kb: 0.05

ka: 0.0050

pd: 0.50

kc: 0.00

kv: 0.15

Autonomía (días): 2

Cálculo automático

Panel FV

Potencia pico (W): **100**

Tensión nominal (V): **12**

Elemento acumulador

Tensión nominal (V): **12**

Capacidad (A-h): **40**

Temperatura (°C): **20**

Circuito de c.c.

Tensión nominal (V): **12**

Ilustración 24g: Resultados obtenidos mediante el software Censol 5.0 para la vivienda 7.

Fuente: Elaboración propia.

Ubicación: Nombre del proyecto: Vivienda 8

«H»: radiación diaria media sobre horizontal (MJ/m²) **Latitud: +02°**

«H.S.P.»: número corregido de horas de sol pico **-90°** **+90°**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
H	15.80	15.3	16.02	15.59	15.08	14.94	15.08	16.16	16.38	16.34	17.02	16.45
H correg.	15.80	15.30	16.02	15.59	15.08	14.94	15.08	16.16	16.38	16.34	17.02	16.45
H.S.P.	4.56	4.34	4.36	4.07	3.81	3.69	3.81	4.22	4.46	4.63	4.96	4.84

Inclinación: 13° **Desviación N-S: 00°** **Corrección de H: ×1.00**

Generación FV anual en sistemas de conexión a red (kW-h/kW instalado)
(supuesto el rendimiento global indicado en la casilla correspondiente): **1228**

«P»: Potencia FV (W) necesaria para satisfacer el consumo diario **Consumo diario (W-h): 214**

«F»: Energía FV diaria disponible (kW-h) **Potencia FV a instalar (W) (la del mes peor, por defecto): 83**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MEDIA
P	67	70	70	75	80	83	80	72	68	66	61	63	
F	1.24	1.18	1.19	1.11	1.04	1.00	1.04	1.15	1.21	1.26	1.35	1.32	1.17

Potencia FV (W) para el cálculo del factor F: **83**

Nº de paneles: 1 **Nº instalado: 1** **A-h necesarios: 91** **Serie: 1**

Serie: 1 **Paralelo: 1** **W instalados: 100** **A-h instalados: 90** **Paralelo: 2**

Leer datos | Guardar datos | Archivo de datos: | Menú

© CENSOLAR

Rendimiento (%): 78

kb: 0.05

ka: 0.0050

pd: 0.50

kc: 0.00

kv: 0.15

Autonomía (días): 2

Cálculo automático

Panel FV

Potencia pico (W): **100**

Tensión nominal (V): **12**

Elemento acumulador

Tensión nominal (V): **12**

Capacidad (A·h): **45**

Temperatura (°C): **20**

Circuito de c.c.

Tensión nominal (V): **12**

Ilustración 25h: Resultados obtenidos mediante el software Censol 5.0 para la vivienda 8

Fuente: Elaboración propia.

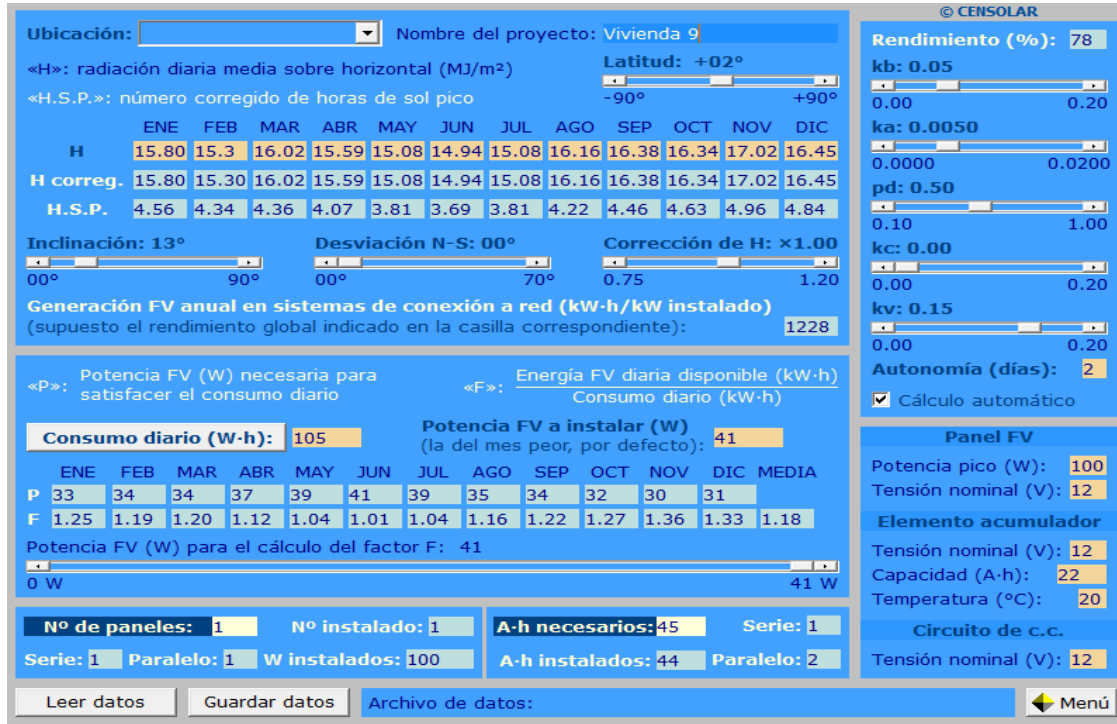


Ilustración 26i: Resultados obtenidos mediante el software Censol 5.0 para la vivienda 9.

Fuente: Elaboración propia.

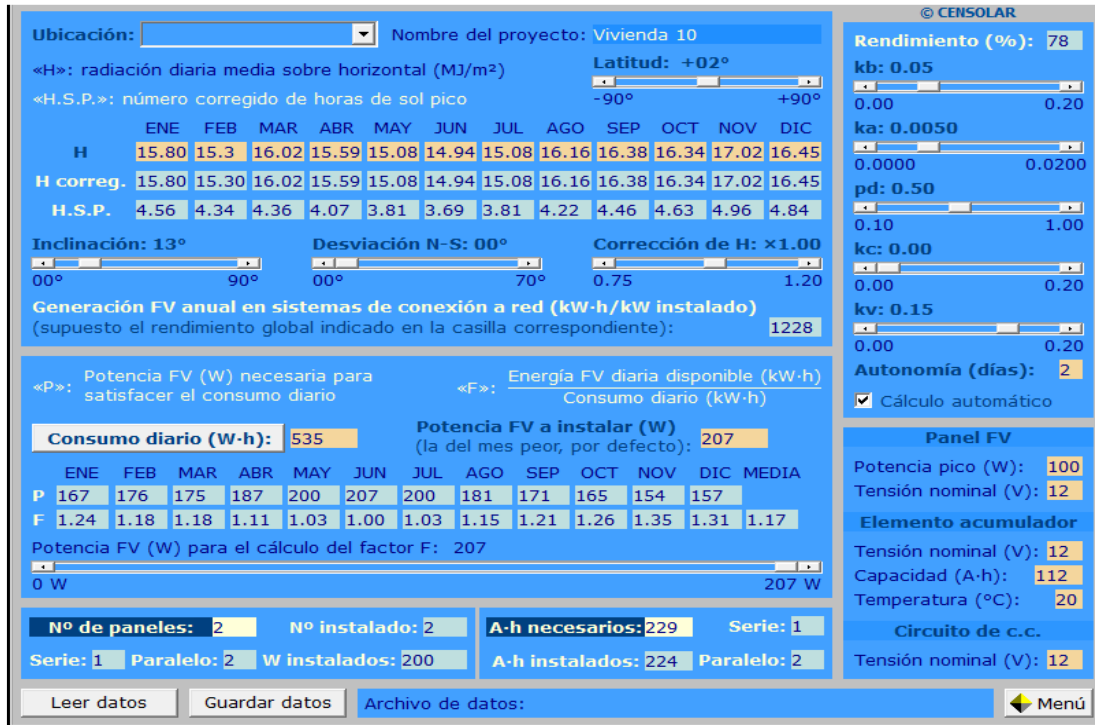


Ilustración 27j: Resultados obtenidos mediante el software Censol 5.0 para la vivienda 10.



Fuente: Elaboración propia.

5.7. Comparación de resultados entre el programa CENSOL 5.0 y la aplicación de ecuaciones.

Tabla 22: Tabla comparativa entre CENSOL 5.0 y aplicación de fórmulas.

Descripción	Cálculo de formulas			CENSOL 5.0		
	H.S.P	Energía consumida al día (Wh/día)	N° Paneles	H.S.P	Energía consumida al día (Wh/día)	N° Paneles
Vivienda 1	5,34	620	2	Cálculo realizado por el Software CENSOL 5.0 de acuerdo a la radiación diaria media sobre la horizontal	620	2
Vivienda 2	5,34	375	1		375	2
Vivienda 3	5,34	250	1		250	2
Vivienda 4	5,34	190	1		190	1
Vivienda 5	5,34	530	1		530	1
Vivienda 6	5,34	112	1		112	2
Vivienda 7	5,34	190	1		190	1
Vivienda 8	5,34	214	1		214	1
Vivienda 9	5,34	105	1		105	1
Vivienda 10	5,34	535	1		535	2

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la Tabla 22 se puede observar que los datos obtenidos son similares, con una diferencia en el programa, ya que el mismo calcula la potencia requerida del panel fotovoltaico a utilizarse y de acuerdo a la potencia que dentro del estudio la ubicamos (100W), nos da como resultado el número de paneles necesarios para suplir dicha energía calculada por el software, por lo tanto, se puede concluir que los resultados alcanzados son de mayor confiabilidad.



5.8. Pérdidas de Energía existentes en un Sistema Fotovoltaico

5.8.1. Pérdidas por Orientación e Inclinación

La pérdida por desviación de cada grado de inclinación, de la inclinación óptima es de 0,02 %, mientras que la pérdida por desviación por cada grado de orientación, de la orientación óptima es de 0,08% (Jiménez, 2013).

$$\text{Pérdidas por inclinación} = \text{Grados de desviación} \times 0,02\%$$

Ecuación 7: ecuación para el cálculo de las pérdidas por inclinación.

Donde:

Grados de desviación = Inclinación del techo o lugar a instalarse el panel fotovoltaico – Inclinación óptima (latitud + 10° = **13,28°**).

$$\text{Pérdidas por Orientación: Grados de desviación} \times 0,08\%$$

Ecuación 8: ecuación para el cálculo de las pérdidas por orientación.

Donde:

Grados de desviación: Grados se desvía desde norte de donde sería lo óptimo instalar.

El cálculo de las pérdidas por orientación e inclinación nos permitirán conocer la radiación real que llega al panel fotovoltaico.

$$\text{Radiación real} = \text{Radiación solar promedio de la zona} - (\text{Radiación solar promedio de la zona} \times \text{total de perdidas})$$

Ecuación 9: ecuación para el cálculo de la radiación real.

Donde:

Total de pérdidas = Pérdidas por Inclinación + Pérdidas por Orientación.



5.8.2. Pérdidas por Temperatura.

Este aspecto debe ser tomado en cuenta, ya que las variaciones de temperatura existentes en la zona de estudio influyen directamente en el rendimiento de las células fotovoltaicas, para realizar estos cálculos se considera la temperatura promedio del lugar que rodea los 22,6 °C y la irradiación promedio del lugar que tiene un valor de 229,59 W/m²; como también el voltaje en circuito abierto, la temperatura de operación nominal de la célula y el coeficiente de temperatura de Voc. Los cuales los encontramos en las descripciones de nuestro panel solar; para calcular las pérdidas por temperatura se aplica la siguiente ecuación (Jiménez, 2013):

$$T_c = T_a + G * \frac{TONC - 20}{229W/m^2}$$

Ecuación 10: Ecuación para el cálculo temperatura de trabajo de la célula.

Dónde:

T_c: temperatura de trabajo de la célula (°C).

T_a: temperatura ambiente (°C).

TONC: temperatura de operación nominal de la célula (°C).

G: Irradiancia (W/m²).

Al realizar los cálculos para el presente proyecto se obtiene el siguiente resultado:

$$T_c = 22,6^\circ\text{C} + 229,59\text{W}/\text{m}^2 \frac{45^\circ\text{C} - 20}{229,59\text{W}/\text{m}^2}$$

$$T_c = 47,6^\circ\text{C}$$

Resultados para el cálculo de la variación de la temperatura de operación de la célula.

Variación de la °T de operación de la célula = T_c – Temperatura Ambiente del lugar

$$Variación de la °T de operación de la célula = 47,6^\circ\text{C} - 22,6^\circ\text{C}$$

$$Variación de la °T de operación de la célula = 25^\circ\text{C}$$



Resultados para el cálculo de caída de tensión por cada Voltio de Voc.

Caída de tensión = Coeficiente de °T de Voc × Variación de °T de operación de la célula

$$\text{Caída de tensión} = \frac{-0,33}{100} V/^{\circ}C \times 25^{\circ}C$$

$$\text{Caída de tensión} = -0,0825V$$

Resultados para el cálculo de la caída de tensión total.

Caída de tensión total = Caída de tensión × Voltaje en circuito abierto

$$\text{Caída de tensión total} = -0,0825V \times 23,2V$$

$$\text{Caída de tensión total} = -1,91V$$

5.8.3. Pérdidas en los quipos del sistema fotovoltaico.

Estas pérdidas se dan generalmente por la eficiencia que posee cada equipo que se instala en el sistema, estos valores de eficiencia se pueden encontrar en las especificaciones de cada elemento que compone un sistema fotovoltaico, estas pérdidas ocasionan reducir el rendimiento del panel solar; dicho esto se ha establecido una ecuación con la cual se puede estimar el valor de la pérdida de energía existente en el sistema (Salamanca-Ávila, 2017):

$$nT = n_B \times n_{inv} \times n_R \times n_X$$

Ecuación 11: ecuación para el cálculo de las pérdidas de los equipos.

Donde:

n_B = Eficiencia de la Batería.

n_{inv} = Eficiencia del inversor.

n_R = Eficiencia del regulador.

n_X = Eficiencia que considera las pérdidas no contemplada. (Suciedad, temperatura, cableado). Por lo general este valor oscila entre el 95% y el 97%.



$$n_B = 80\% = 0,8$$

$$n_{inv} = 86\% = 0,86$$

$$n_R = 90\% = 0,9$$

$$n_X = 95\% = 0,95$$

Teniendo así para el presente caso de estudio el siguiente resultado:

$$nT = 0,8 \times 0,86 \times 0,9 \times 0,95$$

$$nT = 0,59$$

Nota: Se estima una pérdida de 0,59 dentro de los equipos del sistema, lo que representa un valor inferior al utilizado como factor de seguridad en el cálculo de paneles fotovoltaicos el cual posee un valor de 1,3; es por ello que este factor de seguridad es de vital importancia dentro de la ecuación para estimar número de paneles fotovoltaicos a emplearse en un proyecto.

5.9. Presupuesto General del proyecto.

En la Tabla 23 se estima el presupuesto que se requeriría para la implementación del sistema fotovoltaico para el barrio Los Artesanos de los Empleados Municipales del cantón, se calcula en base a los costos de los equipos de la página Damia Solar.

Tabla 23. Presupuesto del proyecto.

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Panel Fotovoltaico	15	\$ 169,69	\$ 2.545,35



Batería	10	\$ 218,79	\$ 2.187,90
Regulador	10	\$ 72,93	\$ 729,30
Inversor	10	\$ 77,42	\$ 774,20
	Subtotal		\$ 6.236,75
	Mano de obra y otros gastos 20%		\$ 1.247,35
	TOTAL		\$ 7.484,10

Fuente: Elaboración propia

6. CAPÍTULO V: BENEFICIOS AMBIENTALES Y DIFUSIÓN DEL PROYECTO EN EL CANTÓN SUCÚA.

6.1. Introducción

Dentro de este capítulo se estima la vida útil del proyecto, esta información se la puede obtener utilizando las especificaciones de los fabricantes, para nuestro caso de estudio la vida útil de los paneles es de 25 años; se considera además los valores por la venta de certificados de Carbono (CER), estos certificados son estímulos que se ofrece a los países para reducir la cantidad de emisión de CO₂ a la atmósfera, siendo un beneficio ambiental y económico para la zona (Sánchez, 2011).

Se procedió a difundir el proyecto mediante un poster científico que fue ubicado en los bajos de la municipalidad del cantón Sucúa y la entrega de información impresa sobre el proyecto a los habitantes del sector en estudio.

6.2. Línea Base de Emisiones

Para el cálculo de la línea base de emisiones, se tomó consideró un estudio realizado en una comunidad de Morona Santiago, donde anteriormente utilizaban motores de combustión interna para la generación de energía eléctrica, en la cual se utilizaba un galón y medio de gasolina extra (nafta) por comunidad al día.

Tabla 24. Factores de emisión derivados del petróleo.



Combustible	Densidad (ton/m³)	Valor calorífico neto (TJ/10³ ton)	TJ/Gal	t CO₂/TJ	Factor de emisión (t CO₂/gal)
Fuel Oil	0,96	39,8	0,000	75,5	0,011
Diésel	0,88	41,4	0,000	72,6	0,01
Nafta	0,74	41,8	0,000	67,5	0,008

Fuente: Sánchez, 2011.

En el caso de estudio consultado se determinó el total de emisiones de CO₂ en toneladas que se liberarían al ambiente en un periodo de 25 años (vida útil de proyecto) para el presente caso los resultados se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25. Emisión de CO₂ por consumo de combustible anual.

Sector	Consumo anual gal comb /sector	Factor de emisión (t CO₂/gal)	Total de emisiones (t/CO₂)	Total de emisiones a los 25 años (t/CO₂)
Empleados Municipales	547,5	0,008	4.38	109,5

Fuente: Elaboración propia.

Según el Banco Mundial en el año 2019 “se paga entre 20 y 40 dólares americanos por tonelada de CO₂”, de acuerdo a esta información se puede establecer el valor recuperable por la venta de certificados de emisión, llegando así a obtener los siguientes resultados (Banco Mundial, 2019):

Tabla 26. Valores recuperables por venta de certificados de CO₂.

Total de emisiones (tCO₂) anual	Duración proyecto en años	Emisiones (tCO₂) 25 años	Costo de cada CERs (USD)	Total (USD)
---	----------------------------------	--	---------------------------------	--------------------



4.38	25	109,5	\$ 40,00	\$ 4380,00
-------------	----	-------	----------	-------------------

Fuente: Elaboración propia.

6.3. Modelo de cartel de difusión.

En la ilustración 28, se puede observar el poster científico, el cual fue expuesto a la ciudadanía del cantón Sucúa, esta difusión fue realizada en la parte inferior del municipio del cantón, con el fin de difundir la propuesta del estudio realizado, posteriormente nos trasladamos a la zona de estudio, en donde mantuvimos una conversación con cada habitante del sector, los cuales se mostraron prestos a escucharnos y agradecidos por la información brindada, tal como se puede observar en el Anexo B.

“Diseño para la implementación de energía renovable fotovoltaica, en el barrio Artesanos sector de los Empleados Municipales del cantón Sucúa”

Carlos Lituma, Genaro Vásquez

Tutor: Mgt. Johanna Sánchez

Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Cuenca, Ecuador



1 Resumen:

En este trabajo se basa en el aprovechamiento de la energía solar a través de paneles fotovoltaicos, con el fin de transformar la energía que nos brinda el sol a energía eléctrica, la cual puede ser aprovechada para la iluminación en los hogares entre otras ocupaciones. El punto de estudio fue tomado en el cantón Sucúa concretamente en el sector de los empleados municipales, barrio Los Artesanos, para este estudio se utilizaron datos obtenidos de el Atlas Solar del Ecuador e información rescatada de la NASA, los cuales nos sirven para realizar los cálculos correspondientes para la obtención del número de paneles solares que necesita cada vivienda del sector y los demás componentes de un sistema autónomo fotovoltaico.

2 Introducción:

En ciertos sectores de la amazonia ecuatoriana aún se encuentra sin dotación de energía eléctrica debido a la dificultad del acceso a estos lugares, es por ello que se ve la necesidad de buscar alternativas para solucionar este problema. En diferentes comunidades han optado por el uso de motores de combustión interna lo cual es perjudicial para la salud de los pobladores y del medio ambiente. En el cantón Sucúa, provincia de Morona Santiago específicamente en el sector de los Empleados Municipales todavía no ha sido dotado de energía eléctrica es por eso que se lo ha tomado como caso de estudio para de una manera u otra encontrar una solución que beneficie a los habitantes y sobre todo en beneficio del planeta.

3.1 Área de Estudio



Imagen 1. Mapa territorial del Cantón Sucúa

3.2 Fuentes de Información:

Los datos de la radiación solar global fueron obtenidos en el Atlas Solar del Ecuador 2008 y de la NASA en el año 2018.

3.3 Metodología:

1. Delimitar la zona de estudio
2. Levantamiento de información socioeconómica y energética
3. Cálculo energía eléctrica a consumirse en cada vivienda
4. Dimensionamiento del sistema
5. Beneficios ambientales de la utilización de energías renovables frente a las convencionales.

3.4: Ecuaciones a utilizarse para el cálculo del Sistema fotovoltaico.

$$\text{Numero de Paneles} = \frac{E \cdot 1,3}{H.S.P \cdot W.P}$$

Dónde:

E: Consumo diario

H.S. P.: Horas Solar Pico

W. P.: Potencia del panel

1,3: Factor de seguridad (Alonso, 2010).

$$H.S.P = \frac{I_{\alpha} \left(\frac{KJ}{m^2} \right) \cdot 1000 \left(\frac{J}{KJ} \right) \cdot \frac{1}{3600} \left(\frac{h}{seg} \right)}{1000 \left(\frac{W}{m^2} \right)}$$

Cálculo de la capacidad de la batería.

Fuente: (Lalangui & Gerardo, 2015)

$$C_B = \frac{I_d \cdot A}{P_f}$$

Cálculo de la Corriente necesaria. Fuente:

(Lalangui & Gerardo, 2015)

$$I_d = \frac{P}{V_c}$$

3.5 Cálculos mediante el software Censol 5.0.



4 Resultados:

4.1 Cálculos de paneles fotovoltaico mediante dos metodologías

	Cálculo de formulas			CENSOL 5.0		
	H.S.P	Energía consumida al día (Wh/día)	N° Paneles	H.S.P	Energía consumida al día (Wh/día)	N° Paneles
Vivienda 1	5,34	620	1,5	Cálculos realizados por el Software CENSOL 5.0 de acuerdo a la radiación diaria media sobre la horizontal	620	2
Vivienda 2	5,34	375	0,9		375	2
Vivienda 3	5,34	250	0,6		250	2
Vivienda 4	5,34	190	0,5		190	1
Vivienda 5	5,34	530	1,3		530	1
Vivienda 6	5,34	112	0,3		112	2
Vivienda 7	5,34	190	0,5		190	1
Vivienda 8	5,34	214	0,5		214	1
Vivienda 9	5,34	105	0,3		105	1
Vivienda 10	5,34	535	1,3		535	2

4.2 Presupuesto del Proyecto

Presupuesto del proyecto			
Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Panel Fotovoltaico	15	\$ 169,69	\$ 2.545,35
Batería	10	\$ 218,79	\$ 2.187,90
Regulador	10	\$ 72,93	\$ 729,30
Inversor	10	\$ 77,42	\$ 774,20
Subtotal			\$ 6.236,75
Mano de obra y otros gastos 20%			\$ 1.247,35
Total			\$ 7.484,10

5 Conclusiones

- La investigación nos permitió identificar la radiación solar que posee la zona de estudio por lo que se concluye que existe el recurso solar suficiente como para satisfacer las necesidades básicas eléctricas del barrio Artesanos sector de los empleados del cantón Sucúa.
- Los cálculos del Censol 5.0 nos dan resultados fiables ya que este programa calcula la potencia del panel a la cual se debe trabajar, por lo tanto nos permite conocer con exactitud el número de paneles fotovoltaico a instalarse dependiendo de la potencia a la cual esta sujeto el panel para trabajar.
- El proyecto permitiría reducir la emisión de 109,5 toneladas de carbono a la atmósfera en los 25 años de vida útil siendo un beneficio ambiental con altos rendimientos, y con un plus adicional que gracias a la reducción de emisiones de CO₂, se pueden vender certificados de carbono alcanzando un valor de 4380,00 USD a lo largo de la vida útil del proyecto.

Ilustración 28. Poster científico



Fuente: *Elaboración propia*

7. CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Discusión.

No se han encontrado estudios de diseños para la implementación de paneles fotovoltaicos previos, dentro de la zona de estudio, pero existen varios dentro de la provincia de Morona Santiago, uno de ellos es el “Diagnóstico de la implementación de los sistemas fotovoltaico correspondiente a la primera etapa del proyecto Yantsa ii Etsari” (Macancela Luis, 2012), el cual se encuentra ubicado en el cantón Morona, al norte del cantón Sucúa; los valores encontrados en este estudio se asemejan a los expuestos en este trabajo, esto es debido a la radiación solar existente dentro de la provincia de Morona Santiago, provincia en la cual se acentúan los dos trabajos, y a la similar demanda de energía de las viviendas dentro de los dos sectores, cabe recalcar que los valores no son exactamente iguales pero existe una mínima variación. En la Tabla 27 se puede observar la demanda de energía existente en una vivienda de este proyecto en comparación con el proyecto Yantsa ii Etsari.

Tabla 27. Comparación de las demandas de energía entre una de las viviendas en el cantón Sucúa y en el cantón Morona.

Descripción	Proyecto del cantón Sucúa				Proyecto del cantón Morona			
	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo de uso (h/día)	Energía (Wh/día)	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo de uso (h/día)	Energía (Wh/día)
Focos	5	9	4	180	3	12	5	180
Radio	1	20	2	40	1	20	4	80
Tv	2	70	2	280	1	70	2	140
Cargador de móvil	2	10	1,5	30	1	10	1	10
	TOTAL			530	TOTAL			410

Fuente: *Elaboración propia.*

En la mayoría de cálculos realizados para el número de paneles fotovoltaicos necesarios, para cada vivienda los resultados varían entre uno y dos paneles, eso también se puede referenciar en la selección de la marca, tipo y a la potencia a la cual trabaja cada panel



solar, este cálculo es de importancia, ya que dependiendo de la demanda de energía existente en cada vivienda se puede determinar la potencia necesaria, que debe poseer cada panel para que pueda suplir las necesidades de energía en cada vivienda. Comparando los resultados en cuanto al número de paneles fotovoltaicos podemos determinar similitudes entre los dos proyectos, con la diferencia que el proyecto realizado en el cantón Sucúa es destinado únicamente para una comunidad, a diferencia del proyecto elaborado en el cantón Morona, el cual beneficia a un mayor número de comunidades, estos resultados van relacionados con la demanda de energía existente para cada comunidad, siendo similares en los dos proyectos, el número de paneles solares necesarios para cada proyecto se pueden observar en las siguientes tablas:

Tabla 28: Número de paneles por vivienda para el cantón Sucúa.

Energía consumida al día (Wh/día)	N° Paneles
Vivienda 1	2
Vivienda 2	2
Vivienda 3	2
Vivienda 4	1
Vivienda 5	1
Vivienda 6	2
Vivienda 7	1
Vivienda 8	1
Vivienda 9	1
Vivienda 10	2
Total	15

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29. Número de paneles por comunidad para el cantón Morona.

Comunidad	N° Paneles
Tuntiak	14
Isidoro	9
Suritiak	12
San Juan	20
San José de Kusuimi	21
Tentents	14



Nuwents	23
Shiram	13
Numpaim	33
Tsunki	16
Pankints	40
Kuama	11
Total	226

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados encontrados en cada trabajo, se ha determinado que las zonas de estudio poseen una radiación solar óptima para la implementación de paneles fotovoltaicos; dentro de los cálculos de diseño, en los dos estudios, los valores obtenidos de número de paneles solares se han encontrado mediante la utilización de fórmulas investigadas en diferentes bibliografías, las cuales nos dan resultados similares en ambos casos; la diferencia existente entre los dos trabajos es la utilización del Software CENSOL 5.0, este programa entrega resultados con mayor exactitud, esto se debe, a que el programa calcula la potencia de cada panel, permitiendo el cálculo exacto de paneles solares necesarios para cada vivienda, a diferencia de la literatura empleada, en la cual este cálculo de potencia del panel es omitido, dando como resultado números de paneles solares sin un valor entero.

7.2. Conclusiones

- Se pudo constatar mediante el levantamiento de información, los diferentes factores existentes en la zona; tales como: el consumo per cápita de energía dentro de la provincia de Morona Santiago, la localización geográfica de la zona; su longitud, latitud y elevación; además el número de viviendas existentes con cada uno de los artefactos eléctricos básicos que pueden ser utilizados con el sistema fotovoltaico, mediante investigaciones en el cantón encontramos reseñas históricas que nos ayudaron a conocer el pasado y la situación actual del sector.
- Tras el análisis de la cantidad del recurso solar necesario para la generación de energía eléctrica, a partir de los datos del Atlas Solar del Ecuador para el año 2008 y la información adquirida de la NASA para el año 2018, se puede concluir que la



radiación solar global dentro del sector es apta para la implementación de sistemas autónomos fotovoltaicos.

- Finalmente, mediante el uso del software Censol 5.0 y las ecuaciones propuestas por diversas literaturas, se llegó a resultados similares, determinando así que se requerirían de entre 1-2 paneles fotovoltaicos, 1 batería, 1 inversor y un regulador por vivienda para satisfacer sus necesidades eléctricas básicas. Cabe recalcar que el uso de energía fotovoltaica, nos permite la utilización de ciertos artefactos eléctricos, específicamente los mencionados a continuación: focos para iluminación, televisores, radio y cargadores para teléfonos celulares, esto es debido a que los paneles solares no producen grandes cantidades de energías como para utilizar una refrigeradora, lavadora, entre otros artefactos que demandan de cantidades altas de consumo energético.
- Los beneficios ambientales del proyecto son altos, ya que este estudio limita la utilización de motores de combustión interna, lo cual significa reducir la contaminación ambiental por emisión de CO₂, en aproximadamente 4,38 toneladas de CO₂ durante la vida útil del proyecto, gracias a la disminución de emisión de este gas; también se puede optar por un beneficio económico que son los certificados de emisión de dióxido de carbono brindados por el Banco Mundial, con lo cual se lograría obtener un beneficio económico de \$ 4380,00 durante los 25 años de vida útil de los paneles fotovoltaicos.

7.3. Recomendaciones

- En el presente proyecto se menciona un presupuesto general de los gastos en cuanto a los equipos a implementar, sin embargo, los usuarios decidirán considerar las medidas propuestas.
- Para la selección de equipos se recomienda que tenga una relación costo-beneficio teniendo en cuenta que una correcta inversión inicial garantiza un buen funcionamiento del sistema fotovoltaico y a su vez una larga vida útil.



- En el caso de llegar a implementarse el proyecto, se recomienda capacitar a los beneficiarios, para que puedan realizar los mantenimientos básicos de los equipos (limpieza) y así reducir gastos por la contratación de técnicos.
- Se recomienda incrementar la difusión y capacitación sobre los beneficios de las energías renovables y a su vez socializar la Ley de Régimen del sector eléctrico que en el Art. 67 indica la exoneración del “pago de aranceles, impuestos adicionales y gravámenes que afecten a la importación de materiales y equipos no producidos en el país , para la investigación, producción, fabricación de sistemas destinados a la utilización de energía solar, exonerar el pago de impuestos sobre la renta, durante cinco años a partir de la instalación a las empresas que, con su inversión, instalen y operen centrales de producción de electricidad usando los recursos energéticos no convencionales.



Bibliografía

- Abella, M. A. (2005). Departamento de Energías Renovables Laboratorio de Energía Solar Fotovoltaica (PVLabDER - CIEMAT) Avda. Complutense, 22—MADRID 28040. 59.
- Alonso. (2010). Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos. (CIEMAT). Recuperado de http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45302/componente45301.pdf
- ARCONEL. (2019, agosto). Recuperado 6 de noviembre de 2019, de <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/balance-nacional/>
- AtlasSolar. (s. f.). Recuperado de <http://energia.org.ec/cie/wp-content/uploads/2017/09/AtlasSolar.pdf>
- Banco Mundial. (2016). Datos de acceso a la Electricidad, sector Urbano. Recuperado 5 de junio de 2019, de <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.ACCS.UR.ZS>
- Banco Mundial. (2019). Cambio Climático [Text/HTML]. Recuperado 17 de octubre de 2019, de World Bank website: <https://www.bancomundial.org/es/topic/climatechange/overview>
- Barrera. (2010). Energía solar: Electricidad fotovoltaica. Editorial Liber Factory.
- Benito, T. P. (2007a). Instalación de Paneles Solares Térmicos. Creaciones Copyright.
- Benito, T. P. (2007b). Instalación de paneles solares térmicos: Componentes, instalación. Creaciones Copyright.



- Castonguay, S. (2009). Tecnología fotovoltaica – Buen tiempo y soleado. Recuperado 11 de septiembre de 2019, de https://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2009/03/article_0001.html?fbclid=IwAR0Xb0vhxXXKuJSXTF720EPgNsSnt8-yKa0K4Wm23oqINP65qxkvErUxAVQ
- Censo de Población y Vivienda. (2010). Resultados del Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador. Recuperado de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/morona_santiago.pdf
- Consumo Anual Per Cápita – ARCONEL. (2017). Recuperado 2 de mayo de 2019, de <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/recaudacion-anual/>
- Delgadillo, J. O. V., Z, M. A. S., & Boza, L. O. J. (2013). Estudio de una configuración de paneles solares: Dependencia entre voltaje, radiación solar y temperatura. Editorial Académica Española.
- Energía solar: El origen de la vida. (2010, noviembre 24). Recuperado 16 de abril de 2019, de CTE Arquitectura website: <http://www.ctearquitectura.es/actualidad/noticias/energia-solar-el-origen-de-la-vida/>
- GAD Municipal del Cantón Sucúa—TERRITORIO Y POBLACIÓN. (2017). Recuperado 2 de mayo de 2019, de <http://www.sucua.gob.ec/ciudad/territorio-y-poblacion>
- GEO Ecuador 2008: Informe sobre el estado del medio ambiente. (2008). Flacso-Sede Ecuador.
- Hernandez, P. (2014, marzo 8). RADIACIÓN DIRECTA, DIFUSA Y REFLEJADA. Recuperado 29 de abril de 2019, de ARQUITECTURA Y DISEÑO website: <https://pedrojhernandez.com/2014/03/08/radiacion-directa-difusa-y-reflejada/>
- JIMÉNEZ, A. M. (s. f.). UF0214—Dimensionado de instalaciones solares. Ediciones Paraninfo, S.A.



- Lalangui, O., & Gerardo, A. (2015). Estudio de factibilidad para el uso de energía solar y eólica en sistemas de alumbrado público para la vía de Integración Barrial, sector El Plateado servido por Empresa Eléctrica Regional del Sur. 192.
- Lema, I., & Miguel, Á. (2014). Análisis, modelado y validación de un sistema fotovoltaico para el alumbrado vial de la avenida de las Américas. 125.
- López, M. V. (2012). Ingeniería de la Energía Eólica. Marcombo.
- Macancela Luis. (2012). Diagnóstico de la implementación de los sistemas fotovoltaicos correspondientes a la primera etapa del proyecto Yantsa ii Etsari (Univesidad de Cuenca). Recuperado de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/689/1/te321.pdf?fbclid=IwAR1itiN2yEGbprWba4ldThPJU0visAbYnQVLHVJe0BmrdMTIz5IWHKcAwd8>
- Mikati, M., Santos, M., & Armenta, C. (2012). Modelado y Simulación de un Sistema Conjunto de Energía Solar y Eólica para Analizar su Dependencia de la Red Eléctrica. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI, 9(3), 267-281. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2012.05.010>
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2016). Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador(2016-2035). Recuperado de <https://www.celec.gob.ec/hidronacion/images/stories/pdf/PLANEE%20version%20espa%C3%B1ol.pdf>
- Regulaciones – ARCONEL. (s. f.). Recuperado 14 de marzo de 2019, de <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/regulaciones/>
- Rodríguez, M. O. (2003). Energías renovables. Thomson-Paraninfo.
- Roldán, J., & Vilorio, J. R. (2008). Fuentes de Energía. Editorial Paraninfo.
- Ruben, H. Q. F. (2013). Acondicionamiento para el aprovechamiento de la energía solar en la I.E. Alfonso Ugarte. 2013, 83.



- Ruiz, G. (2018, junio 18). ¿Qué es la Radiación solar? Recuperado 26 de abril de 2019, de Erenovable.com website: <https://erenovable.com/radiacion-solar/>
- Salamanca-Avila, S. (2017). Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá. Revista científica, 3(30), 263. <https://doi.org/10.14483/23448350.12213>
- Sánchez, Á. (2011). CENACE. Recuperado 31 de julio de 2019, de http://www.cenace.org.ec/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=9:phocatrevtecenergia&Itemid=1
- Style, O. (2012). Energía Solar Autónoma: Planificación, dimensionado e instalación de un sistema fotovoltaico autónomo. Oliver Style.
- Úbeda, J. M. C., López, F. G., Tarí, E. J., Peña, A. M., Navarro, J. Á. P., Sánchez, I. T., & Boix, F. V. (2008). Educación medioambiental. Editorial Club Universitario.



Anexos

Anexo A: Levantamiento de información de la zona.



Ilustración 29: Levantamiento de información con la ayuda del concejal Marcelo Oleas período 2014-2019



Ilustración 30: Levantamiento de la línea base, mediante encuestas a los moradores de la zona.



Ilustración 31: Levantamiento de la línea base, mediante encuestas a los moradores de la zona.



Encuesta para el Barrio de los Artesanos sector de los Empleados Municipales del cantón Sucúa.

Vivienda N: 1

1. ¿Número de personas que habitan en la vivienda?
2. De las siguientes opciones indique el número de equipos que posee en su vivienda y el tiempo de uso en el día.

Descripción	Cantidad	Tiempo de Uso (h/día)
Focos		
Radio		
Tv		
Cargador de Móvil		

Vivienda N:2

3. ¿Número de personas que habitan en la vivienda?
4. De las siguientes opciones indique el número de equipos que posee en su vivienda y el tiempo de uso en el día.

Descripción	Cantidad	Tiempo de Uso (h/día)
Focos		
Radio		
Tv		
Cargador de Móvil		

Ilustración 32a: Encuesta para el levantamiento de la línea base.

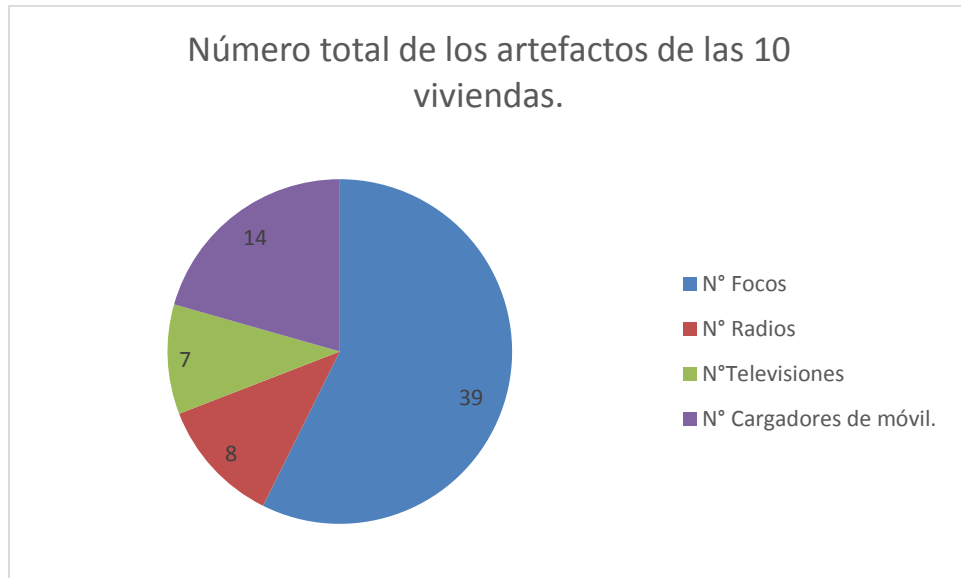


Ilustración 33b: Resultados para la línea base .



Ilustración 34: Vivienda 1



Ilustración 35: Vivienda2



Ilustración 36: Vivienda3



Ilustración 37: Vivienda 4



Ilustración 38: Vivienda 5



Ilustración 39: Vivienda 6



Ilustración 40: Vivienda 7



Ilustración 41: Vivienda 8



Ilustración 42: Vivienda 9



Ilustración 43: Vivienda 10

ANEXO B: Difusión del Proyecto en el Municipio del Cantón Sucúa y en el Sector de los empleados municipales en el barrio Los Artesanos.



Ilustración 44: Difusión del poster científico a los técnicos del municipio,



Ilustración 45: Difusión del poster científico a los técnicos del municipio,



Ilustración 46: Entrega de información a los moradores de la zona.



Ilustración 47: Entrega de información a los moradores de la zona.