



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

**Tema:**

---

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE BAJA POTENCIA EN EL SECTOR RIO BLANCO PERTENECIENTE A LA COMUNIDAD YATZAPUTZAN

---

**Autor:** Mauricio Alejandro Guananga Pujos

**Tutor:** Ing. Mg. Germánico López

Ambato – Ecuador

2017

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de tutor del proyecto técnico, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, bajo el tema “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE BAJA POTENCIA EN EL SECTOR RIO BLANCO PERTENECIENTE A LA COMUNIDAD YATZAPUTZAN”. Desarrollado por el Sr. Mauricio Alejandro Guananga Pujos, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Certifico:

Que el presente proyecto es original de su autor

Ha sido revisado cada uno de sus capítulos

Esta concluido y puede continuar con el trámite correspondiente

.....

Ing. Mg. Germánico López

Tutor

## **AUTORÍA DE TRABAJO**

Declaro que los resultados obtenidos y expuestos en el presente Proyecto Técnico bajo el tema: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE BAJA POTENCIA EN EL SECTOR RIO BLANCO PERTENECIENTE A LA COMUNIDAD YATZAPUTZAN”, así como sus ideas, contenido, análisis, conclusiones y recomendaciones son de exclusiva responsabilidad del autor

Ambato, 12 de mayo del 2017

AUTOR

.....

Mauricio Guananga

C. I. 1803850773

## **DERECHOS DEL AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga del presente Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación según las normas de la institución.

Cedo los derechos del Proyecto Técnico con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción del documento de acuerdo a las regulaciones de la Universidad siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando los derechos de mi autoría.

EL AUTOR

.....

Mauricio Alejandro Guananga Pujos

C. I. 1803850773

## **PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los suscritos profesores Calificadores, ya revisado en su totalidad el proyecto técnico realizado por señor Mauricio Alejandro Guananga Pujos de la carrera de Ingeniería Mecánica, aprueban el tema: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE BAJA POTENCIA EN EL SECTOR RIO BLANCO PERTENECIENTE A LA COMUNIDAD YATZAPUTZAN”.

Ambato, Junio de 2017

Para constancia firman:

.....

Ing. Mg. Alex Mayorga

.....

Ing. Mg. Santiago Cabrera

## DEDICATORIA

*El presente proyecto técnico se lo dedico especialmente a las personas que me dieron la vida, mis padres: Gloria Pujos y Belívar Guananga por los consejos y ejemplos de vida brindados durante el trascurso de este largo camino, su apoyo incondicional y palabras de motivación fueron el pilar fundamental para alcanzar mi objetivo*

*A mis hermanas que fueron un ejemplo a seguir, su éxito profesional, palabras de aliento y anhelo en los momentos más difíciles de mi vida fueron fundamentales y muy valiosas para seguir luchando y lograr tan ansiado sueño.*

## AGRADECIMIENTO

*Virgen Santa, Madre Mía, Reina del Cisne, gracias por ser mi guía y protección, por tan maravillosa familia que me has regalado, quienes con su apoyo, ejemplo y humildad me enseñaron a valorar, soñar, luchar y triunfar en la vida, gracias por ser los promotores de mis sueños, gracias por confiar y creer en mí.*

*Gracias a la Universidad Técnica de Ambato por abrir sus puertas y permitirme formarme como profesional. Al Ing. Germánico López por su apoyo y conocimiento transmitido.*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

|  |       |
|--|-------|
| CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....                      | II    |
| AUTORÍA DE TRABAJO .....                           | III   |
| DERECHOS DEL AUTOR .....                           | IV    |
| PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....    | V     |
| DEDICATORIA .....                                  | VI    |
| AGRADECIMIENTO .....                               | VII   |
| ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....                  | VIII  |
| NOMENCLATURA .....                                 | XVIII |
| RESUMEN EJECUTIVO .....                            | XIX   |
| ABSTRACT .....                                     | XX    |
| CAPÍTULO I.....                                    | 1     |
| 1. ANTECEDENTES.....                               | 1     |
| 1.1. Tema.....                                     | 1     |
| 1.2. Antecedentes .....                            | 1     |
| 1.2.1. Energía solar fotovoltaica en Ecuador ..... | 1     |
| 1.2.1.1. Información estadística .....             | 1     |
| 1.3. Justificación.....                            | 6     |
| 1.4. Objetivos .....                               | 7     |



|   |    |
|---|----|
| 1.4.1. Objetivo General .....                                 | 7  |
| 1.4.2. Objetivos específicos.....                             | 7  |
| CAPÍTULO II .....   | 8  |
| 2. FUNDAMENTACIÓN .....                                       | 8  |
| 2.1. Investigaciones previas .....                            | 8  |
| 2.2. Fundamentación teórica .....                             | 9  |
| 2.2.1. El sol.....  | 9  |
| 2.2.2. Posición del sol.....                                  | 10 |
| 2.2.3. Hora solar pico .....                                  | 11 |
| 2.2.4. Radiación solar .....                                  | 12 |
| 2.2.5. Sistemas fotovoltaicos.....                            | 13 |
| 2.2.6. Componentes de un sistema fotovoltaico.....            | 17 |
| 2.2.7. Sistemas para evaluar el recurso solar y eólico.....   | 24 |
| CAPÍTULO III .....  | 28 |
| 3. DISEÑO DEL PROYECTO .....                                  | 28 |
| 3.1. Selección de alternativas .....                          | 28 |
| 3.1.1. Método ordinal corregido de criterios ponderados ..... | 28 |
| 3.1.2. Alternativas .....                                     | 29 |
| 3.1.3. Criterios de selección .....                           | 31 |
| 3.1.4. Ponderación.....                                       | 32 |

|   |     |
|---|-----|
| 3.1.5. Conclusión.....                                    | 34  |
| 3.2. Modelo operativo .....                               | 34  |
| 3.2.1. Necesidad energética.....                          | 35  |
| 3.2.2. Potencial solar .....                              | 42  |
| 3.2.3. Fuentes de energía alternativas en el sector. .... | 65  |
| 3.2.4. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico .....    | 67  |
| 3.2.5. Diagramas de conexión.....                         | 85  |
| 3.2.6. Ubicación del sistema fotovoltaico .....           | 90  |
| 3.2.7. Implementación del proyecto .....                  | 91  |
| 3.2.8. Pruebas de funcionamiento .....                    | 95  |
| 3.3. Presupuesto.....                                     | 99  |
| 3.3.1. Componentes del sistema fotovoltaico.....          | 99  |
| 3.3.2. Tablero de distribución.....                       | 100 |
| 3.3.3. Instalación eléctrica.....                         | 100 |
| 3.3.4. Material para la estructura metálica .....         | 101 |
| 3.3.5. Mano de obra.....                                  | 101 |
| 3.3.6. Costo total .....                                  | 101 |
| 3.4. Especificaciones técnicas .....                      | 102 |
| 3.4.1. Modulo Solar SUNLINK SL080-12M100.....             | 102 |
| 3.4.2. Batería RITAR RA6-200D.....                        | 103 |

|   |     |
|---|-----|
| 3.4.3. Controlador TRISTAR TS 45 .....                    | 103 |
| 3.4.4. Inversor de corriente HURRICATE POWER SI 400. .... | 106 |
| CAPÍTULO IV .....   | 107 |
| 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....                   | 107 |
| 4.1. Conclusiones .....                                   | 107 |
| 4.2. Recomendaciones.....                                 | 108 |
| MATERIAL DE REFERENCIA .....                              | 110 |
| 1. Bibliografía .....                                     | 110 |
| 2. Anexos.....  | 113 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Insolación global promedio anual.....                    | 3  |
| Figura 2: Proyectos Cóndor solar y solar connection .....          | 4  |
| Figura 3: Planta solar Paragachi.....                              | 5  |
| Figura 4: Planta fotovoltaica SANERSOL .....                       | 5  |
| Figura 5: Parque solar Gonzanamá .....                             | 5  |
| Figura 6: Declinación de la tierra, solsticios y equinoccios.....  | 10 |
| Figura 7: Ángulos de posición del sol, paso aparente del sol ..... | 11 |
| Figura 8: Hora solar pico.....                                     | 12 |
| Figura 9: Tipos de radiación que llegan a una superficie.....      | 13 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 10: Componentes básicos de un sistema fotovoltaico .....                          | 14 |
| Figura 11: Sistemas fotovoltaicos autónomos .....  | 15 |
| Figura 12: Sistemas fotovoltaicos conectados a la red .....                              | 16 |
| Figura 13: Sistemas fotovoltaicos híbridos .....   | 16 |
| Figura 14: Elementos constitutivos de un panel solar.....                                | 18 |
| Figura 15: Fenómeno Fotovoltaico .....   | 19 |
| Figura 16: Curva característica de los módulos a diferentes valores de irradiación.....  | 20 |
| Figura 17: Curva característica de los módulos a diferentes valores de temperatura ..... | 20 |
| Figura 18: Panel de silicio mono-cristalino .....  | 21 |
| Figura 19: Panel de silicio poli-cristalino .....  | 21 |
| Figura 20: Panel de silicio amorfo .....   | 21 |
| Figura 21: Controlador de carga. ....  | 22 |
| Figura 22: Inversor de corriente .....   | 23 |
| Figura 23: Torre de prospección eólico-solar .....                                       | 25 |
| Figura 24: Registrador de datos .....  | 25 |
| Figura 25: Piranómetro Li-Cor LI-200R.....   | 26 |
| Figura 26: Ubicación geográfica del sector Rio Blanco .....                              | 35 |
| Figura 27: Viviendas con energía eléctrica. ....   | 37 |
| Figura 28: Pago mensual por consumo de energía eléctrica. ....                           | 37 |
| Figura 29: Composición familiar. ....  | 38 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 30: Ingreso mensual por familia. ....                                   | 38 |
| Figura 31: Electrodomésticos que utilizan las familias en sus viviendas. ....  | 39 |
| Figura 32: Cantidad de luminarias por casa. ....                               | 39 |
| Figura 33: Época del año con mayor presencia de sol. ....                      | 40 |
| Figura 34: Hora del día con mayor presencia de sol. ....                       | 40 |
| Figura 35: Insolación global anual promedio de la provincia de Tungurahua..... | 43 |
| Figura 36: Área bajo la curva.....   | 44 |
| Figura 37: Interfaz PVsyst y selección del tipo de sistema a instalarse.....   | 67 |
| Figura 38: Radiación solar predominante en la zona.....                        | 68 |
| Figura 39: Ventana de resultados y generación del informe final.....           | 69 |
| Figura 40: Estructura fija para paneles solares.....                           | 80 |
| Figura 41: Altura del panel solar.....   | 81 |
| Figura 42: Dimensiones de la estructura.....                                   | 82 |
| Figura 43: Modelado de la estructura y aplicación del perfil estructural.....  | 83 |
| Figura 44: Aplicación de cargas sobre la estructura.....                       | 83 |
| Figura 45: Mallado de la estructura.....                                       | 84 |
| Figura 46: Esfuerzo máximo que soportará la estructura.....                    | 84 |
| Figura 47: Factor de seguridad.....  | 85 |
| Figura 48: Conexión de los módulos fotovoltaicos.....                          | 86 |
| Figura 49: Conexión de las baterías.....                                       | 87 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 50: Conexión del regulador de carga hacia el inversor de corriente..... | 88  |
| Figura 51: Diagrama completo del sistema fotovoltaico. ....                    | 89  |
| Figura 52: Ubicación y orientación de los módulos fotovoltaicos.....           | 90  |
| Figura 53: Situación actual de la vivienda .....                               | 91  |
| Figura 54: Plano eléctrico de la vivienda.....                                 | 92  |
| Figura 55: Ubicación de los módulos fotovoltaicos.....                         | 92  |
| Figura 56: Conexión eléctrica de los módulos .....                             | 93  |
| Figura 57: Instalación eléctrica en el interior de la vivienda .....           | 93  |
| Figura 58: Instalación del tablero de control.....                             | 94  |
| Figura 59: Instalación del banco de baterías .....                             | 94  |
| Figura 60: Puesta a tierra del sistema.....                                    | 95  |
| Figura 61: Volteje y amperaje a la salida de los módulos fotovoltaicos.....    | 96  |
| Figura 62: Voltaje de la batería.....  | 96  |
| Figura 63: Pruebas de funcionamiento con carga. ....                           | 97  |
| Figura 64: Prueba de funcionamiento de los focos. ....                         | 97  |
| Figura 65: Voltaje de la batería en días lluviosos .....                       | 98  |
| Figura 66: Voltaje de la batería en días con presencia de sol .....            | 99  |
| Figura 67: Posición de los interruptores DIP para el modo Derivación. ....     | 104 |
| Figura 68: Posición de los interruptores DIP modo control de cargas.....       | 105 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| TABLA I: Balance nacional de energía del 2016 .....                             | 2  |
| TABLA II: Características del sol.....  | 9  |
| TABLA III: Condiciones estándar de medidas de un panel .....                    | 18 |
| TABLA IV: Especificaciones técnicas del data logger symphonieplus3 .....        | 26 |
| TABLA V: Especificaciones técnicas del piranómetro LI-200R .....                | 27 |
| TABLA VI: Valores asignados por el método ordinal de criterios ponderados. .... | 28 |
| TABLA VII: Evaluación del peso específico de cada criterio.....                 | 32 |
| TABLA VIII: Evaluación del criterio recurso energético.....                     | 32 |
| TABLA IX: Evaluación del criterio demanda de energía.....                       | 33 |
| TABLA X: Evaluación del criterio costo.....                                     | 33 |
| TABLA XI: Evaluación del criterio eficiencia .....                              | 33 |
| TABLA XII: Evaluación del criterio factibilidad de instalación .....            | 33 |
| TABLA XIII: Evaluación del criterio mantenimiento .....                         | 34 |
| TABLA XIV: Conclusiones según los criterios de cada alternativa.....            | 34 |
| TABLA XV: Tamaño de una muestra por niveles de confianza. ....                  | 36 |
| TABLA XVI: Consumo energético de una vivienda modelo. ....                      | 41 |
| TABLA XVII: Irradiancia mensual horaria de noviembre 2015 .....                 | 51 |
| TABLA XVIII: Irradiancia mensual horaria de diciembre 2015.....                 | 52 |
| TABLA XIX: Irradiancia mensual horaria de Enero 2016.....                       | 53 |

|  |     |
|--|-----|
| TABLA XX: Irradiancia mensual horaria de Febrero 2016 .....                    | 54  |
| TABLA XXI: Irradiancia mensual horaria de Marzo 2016 .....                     | 55  |
| TABLA XXII: Irradiancia mensual horaria de Abril 2016.....                     | 56  |
| TABLA XXIII: Irradiancia mensual horaria de Mayo 2016 .....                    | 57  |
| TABLA XXIV: Irradiancia mensual horaria de Junio 2016.....                     | 58  |
| TABLA XXV: Irradiancia mensual horaria de Julio 2016 .....                     | 59  |
| TABLA XXVI: Irradiancia mensual horaria de Agosto 2016.....                    | 60  |
| TABLA XXVII: Irradiancia mensual horaria de septiembre 2016.....               | 61  |
| TABLA XXVIII: Resultados de irradiación solar mensual promedio.....            | 62  |
| TABLA XXIX: Irradiación global mensual .....                                   | 63  |
| TABLA XXX: Parámetros generales de cálculo .....                               | 64  |
| TABLA XXXI: Parámetros de cálculo para cada mes .....                          | 64  |
| TABLA XXXII: Resultados de radiación total sobre una superficie inclinada..... | 65  |
| TABLA XXXIII: Características de paneles solares marca SIMAX y EXMORK .....    | 73  |
| TABLA XXXIV: Caída de tensión de los conductores entre los componentes .....   | 79  |
| TABLA XXXV: Selección del conductor para la instalación eléctrica.....         | 79  |
| TABLA XXXVI: Costo de componentes fotovoltaicos. ....                          | 99  |
| TABLA XXXVII: Costo del tablero eléctrico de distribución .....                | 100 |
| TABLA XXXVIII: Costo de instalación eléctrica.....                             | 100 |
| TABLA XXXIX: Costo del material para la estructura.....                        | 101 |



|  |     |
|--|-----|
| TABLA XL: Costo de mano de obra .....                                  | 101 |
| TABLA XLI: Costo total del sistema fotovoltaico .....                  | 101 |
| TABLA XLII: Especificaciones técnicas del panel solar .....            | 102 |
| TABLA XLIII: Especificaciones técnicas de la batería.....              | 103 |
| TABLA XLIV: Especificaciones técnicas del controlador de voltaje ..... | 106 |
| TABLA XLV: Especificaciones técnicas de inversor de corriente .....    | 106 |

## NOMENCLATURA

|                         |  |
|-------------------------|--|
| °C                      | Grado centígrado, unidad de temperatura      |
| °K                      | Grado kelvin                                 |
| A                       | Ampere, unidad de corriente                  |
| Ah                      | Ampere hora                                  |
| Ah/día                  | Ampere hora al día                           |
| CA                      | Corriente alterna                            |
| CC                      | Corriente continua                           |
| GWh                     | Giga watt-hora                               |
| h                       | Horas del día                                |
| HPS                     | Hora solar pico                              |
| Hz                      | Hertz  |
| km                      | Kilómetro, unidad de longitud                |
| km/s                    | Kilometro por segundo                        |
| km <sup>2</sup>         | Kilometro al cuadrado                        |
| kWh                     | Kilowatt-hora, unidad de energía             |
| kWh/m <sup>2</sup>      | Kilowatt-hora por cada metro cuadrado        |
| kWh/m <sup>2</sup> /día | Kilowatt-hora por cada metro cuadrado al día |
| mm <sup>2</sup>         | Milímetros al cuadrado, unidad de superficie |
| MPa                     | Mega pascales                                |
| msnm                    | Metros sobre el nivel del mar                |
| MW                      | Mega watt                                    |
| N                       | Newton                                       |
| Rad                     | Radianes                                     |
| V                       | Vatio  |
| W                       | Watt, unidad de potencia                     |
| W/m <sup>2</sup>        | Watt por metro cuadrado                      |
| Wh/día                  | Watt-hora al día                             |
| Wp                      | Watt pico                                    |

## **RESUMEN EJECUTIVO**

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE BAJA POTENCIA EN EL SECTOR RIO BLANCO PERTENECIENTE A LA COMUNIDAD YATZAPUTZAN.

**Autor:** Mauricio Alejandro Guananga Pujos

**Tutor:** Ing. Mg. Germánico López

El presente proyecto técnico está enfocado en el diseño y construcción de un sistema fotovoltaico de baja potencia que permita suministrar electricidad a una vivienda de escasos recursos ubicada en el sector Rio Blanco, cantón Ambato, la búsqueda de nuevas alternativas mediante el uso de energías limpias, rentables a largo plazo y el interés en mejorar la calidad de vida de comunidades aisladas permitió implementar el proyecto.

Con la ayuda de una torre de prospección eólico – solar implementada por el proyecto “VIABILIDAD DEL POTENCIAL ENERGÉTICO Y SOCIOECONÓMICO DE ENERGÍAS RENOVABLES” propiedad de la Universidad Técnica de Ambato, se determinó el potencial energético del sector con valores medidos a tiempo real, se calculó la irradiación global real disponible en la zona de estudio, mediante encuestas se pudo conocer la demanda eléctrica de los pobladores que residen en el sector, esta información sirvió para conocer los parámetros de diseño, selección de materiales y equipos necesarios para formar el sistema, se llegó a la conclusión de que el recurso solar en el sector es alto, adecuado para la implementación de pequeños sistemas conversores de energía solar. Finalmente se instaló un tablero de control que permitirá integrar el sistema fotovoltaico con un generador eólico de baja potencia instalado en el lugar para así mejorar el suministro de energía. Se utilizó dos controladores, el primero regula la energía extraída de las fuentes de energía y el segundo regula el consumo de las cargas, la finalidad de estos equipos es controlar la sobrecarga y descarga de las baterías a fin de aumentar su vida útil.

## **ABSTRACT**

The present technical project is focused on the design and construction of a low power photovoltaic system that allows to supply electricity to a low-income housing located in the Rio Blanco sector, Ambato city, the search for new alternatives through the use of clean energies, Profitable in the long term and the interest in improving the quality of life of isolated communities allowed to implement the project.

With the help of a solar-wind survey tower implemented by the project "VIABILITY OF THE ENERGY AND SOCIOECONOMIC POTENTIAL OF RENEWABLE ENERGIES" owned by the University Technical of Ambato, the energy potential of the sector with measured values in real time was determined, calculated the real global irradiation available in the study area, through questionnaires it was possible to know the electric demand of the inhabitants residing in the sector, with this information served to know the parameters of design, selection of materials and equipment needed to form the system. Finally, a control board was installed to allow the photovoltaic system to be integrated with a low-power wind generator installed in place to improve the power supply. Two controllers were used, the first regulates the energy extracted from the energy sources and the second regulates the consumption of the loads, the purpose of these equipments is to control the overcharge and discharge of the batteries in order to increase their useful life

# CAPÍTULO I

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1. Tema

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DE BAJA POTENCIA EN EL SECTOR RIO BLANCO PERTENECIENTE A LA COMUNIDAD YATZAPUTZAN.

### 1.2. Antecedentes

La contaminación y el agotamiento de las fuentes de energía renovable aumentan con el pasar del tiempo, para controlar este problema es necesario buscar nuevas alternativas que sean amigables con el medio ambiente y contribuyan a la conservación del planeta [1]. Una alternativa es el uso de la energía solar fotovoltaica que va experimentando un crecimiento sostenido a nivel mundial, los avances tecnológicos en este campo permiten mejorar los procesos, aumentar su eficiencia, reduciendo de esta manera sus costes e incentivando a la industria de los países desarrollados a invertir en la producción de paneles solares y sus componentes, es así que en los últimos años China, Japón y Estados Unidos están entre los países que más han apostado a la inversión fotovoltaica [2].

En China se encuentra una de las plantas solares más grandes del mundo (Lomngyangxia), cuenta con una capacidad instalada de 1280 MW de potencia con una área aproximada de 9.14 km<sup>2</sup> y se espera que suministre 483 GWh anuales a la red eléctrica de China [3].

#### 1.2.1. Energía solar fotovoltaica en Ecuador

##### 1.2.1.1. Información estadística

La generación eléctrica en nuestro país proviene de centrales hidroeléctricas, termoeléctricas, eólicas, fotovoltaicas e interconexiones internacionales, las estadísticas

anuales del sector eléctrico ecuatoriano del 2015 emitidas por la Agencia Nacional de Regulación y Control de Electricidad indican que la producción eléctrica corresponde: un 49.49% a centrales hidráulicas, 46.52% a centrales termoeléctricas, 1.93% a interconexiones internacionales, 1.54% a la generación con biomasa, 0.37% a centrales eólicas y únicamente un 0.14% a centrales fotovoltaicas [4]. En la TABLA I se puede apreciar la potencia nominal y la capacidad efectiva de las centrales fotovoltaicas instaladas en Ecuador, el aporte al servicio público y su producción total.

**TABLA I:** Balance nacional de energía del 2016. [4]

| <b>Generación de energía eléctrica</b>   | <b>MW</b>  | <b>Porcentaje %</b> |
|--|------------|---------------------|
| Potencia nominal                         | 26.41      | 0.44%               |
| Capacidad efectiva                       | 26.37      | 0.47%               |
| <b>Energía eléctrica e importaciones</b> | <b>GWh</b> | <b>Porcentaje %</b> |
| Producción total                         | 36.52      | 0.13%               |
| Entregada al servicio publico            | 36.20      | 0.16%               |

#### **1.2.1.2. Documentación técnica**

Según estudios realizados por la agencia de regulación y control de electricidad, Ecuador es un país con gran diversidad climática y elevado potencial en energías renovables, a fin de impulsar el uso masivo de la energía solar en nuestro país, el Consejo Nacional de Electricidad puso a disposición el documento “Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica” con el propósito de obtener electricidad para diversas aplicaciones mediante el uso de fuentes alternativas de energía y así contribuir al crecimiento y desarrollo económico y social del País [5]. Este documento muestra mapas mensuales y promedios de insolación directa, global y difusa a lo largo del año.

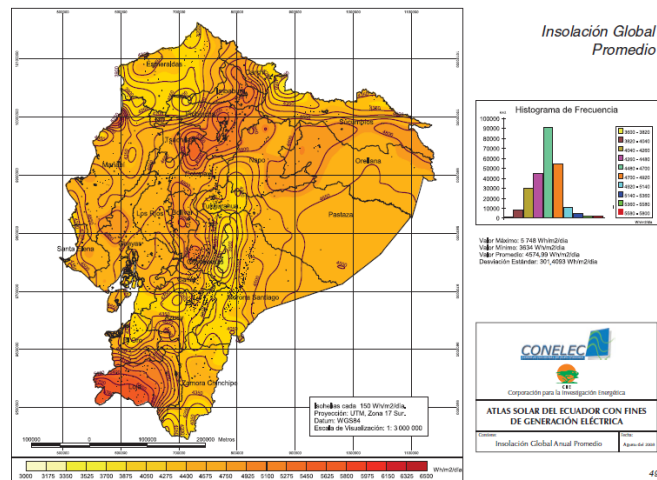


Figura 1: Insolación global promedio anual. [5]

### 1.2.1.3. Políticas

En el Plan Nacional para el Buen Vivir se estipulan políticas sobre derechos de la naturaleza, calidad de vida, uso de energías renovables, a continuación se especifican algunas resoluciones destacadas:

**Objetivo 3.-** Promover la construcción de viviendas y equipamientos sustentables que optimicen el uso de recursos naturales y utilicen la generación de energía a través de sistemas alternativos [6].

**Objetivo 7.-** Promover investigaciones para el uso y la generación de energías alternativas renovables, bajo parámetros de sustentabilidad en su aprovechamiento [6].

**Objetivo 11.-** Cuantificar el potencial de recursos de energía renovables para la generación eléctrica, fortalecer la investigación científica en los ámbitos energéticos, de industrias básicas y de generación y uso sostenible de energía renovable, para la industria, los hogares, el transporte y la producción [6].

### 1.2.1.4. Proyectos emblemáticos

El Ministerio de Electricidad y Energías Renovables ejecuta proyectos que se enfocan al mejoramiento de la calidad y condiciones de vida de personas de bajos recursos asentadas en poblaciones rurales y urbano-marginales, es así que desde el 2011 viene incentivando

la construcción de proyectos fotovoltaicos en el país fijando como tarifa base de 0.40 USD por (kWh) aprobando a finales del 2012 proyectos de generación eléctrica con paneles solares en diferentes provincias del Ecuador, se pretende obtener un total de 272 megavatios (MW) de potencia equivalente al 6% de la capacidad instalada en el País [7].

La región ecuatoriana dispone de radiación solar durante todo el año, entre las aplicaciones más destacadas que se han instalado en nuestro país tenemos:

**Cóndor solar y solar connection.-** Este proyecto aún está en proceso de implementación, ubicado en el cantón Pedro Moncayo de la provincia de Pichincha, los proyectos Cóndor Solar y SOLARCONNECTION representan 30 MW y 20 MW de potencia respectivamente, tendrán una capacidad máxima de 62.5 MW, estará dotada de 234000 paneles solares, inversores múltiples y una subestación para procesar y distribuir la energía, el proyecto beneficiará a aproximadamente 100000 hogares en la región norte del Ecuador [8].



Figura 2: Proyectos Cóndor solar y solar connection. [8]

**Paragachi.-** Es la primera planta solar instalada en Ecuador y beneficia a más de 2000 familias, está ubicada en el cantón PIMANPIRO de la provincia de Imbabura, la planta ocupa aproximadamente 3.5 hectáreas donde están instalados 4160 paneles solares de 240 vatios cada uno, el proyecto cuenta con una potencia de 980 kW [9].





**Figura 3:** Planta solar Paragachi. [4]

**Santa Rosa.-** Con una capacidad de 3 MW el parque solar fotovoltaico Santa Rosa inicio su operación comercial en octubre del 2014, suministra servicio eléctrico al cantón Santa Rosa de la provincia del Oro, está conformado por tres plantas fotovoltaicas: SARACAYSOL S.A, SOLSANTROS S.A y SANERSOL S.A.



**Figura 4:** Planta fotovoltaica SANERSOL. [4]

**Gonzanamá.-** Tiene una capacidad de 2 MW de potencia, distribuidas en dos plantas fotovoltaicas: GONZAENERGY S.A y San Pedro Solar S.A. Está ubicado en la provincia de Loja y entró en operación en octubre del 2014, su capacidad es de 1MW cada una. [10].



**Figura 5:** Parque solar Gonzanamá. [4]

### **1.2.1.5. Situación actual en el sector Río Blanco**

El lugar de estudio se encuentra en el sector “RÍO BLANCO” ubicado a 4030 msnm, sus coordenadas son: 01°21’22.08’’ latitud sur y 78°49’3.169’’ longitud oeste, conforma una de las 36 localidades de la zona media de la parroquia PILAHUIN perteneciente al Cantón Ambato. Cuenta con una población aproximada de 192 habitantes de bajos recursos económicos dedicados al cultivo de pasto, crianza de bovinos, producción de leche y carne como su principal fuente de ingresos [11, 12]. El sector de estudio se encuentra aproximadamente en el kilómetro 40 de la vía Ambato – Guaranda a mano derecha, cuenta con un vía de acceso lastrada que lamentablemente con el cambio constante del clima se encuentra en mal estado, allí se instaló una torre para prospección del recurso solar y eólico, junto a esta se encuentran varias viviendas, algunas cuentan con energía, otras no, facilitando de esta manera la posibilidad de implementar el sistema fotovoltaico en una de las viviendas.

### **1.3. Justificación**

En el sector predomina el clima frío, un pico alto superior con rangos de altitudes que van desde 3480 hasta 4360 msnm, la densidad del aire esta inversamente relacionada con la altitud al nivel del mar, a mayor altura la presión del aire es menor y la densidad del aire es más fina decreciendo con la altura e influyendo directamente en la cantidad de radiación recibida considerándola una ventaja para la generación de energía solar en relación a la energía eólica.

El propósito del proyecto es el diseño y construcción de un sistema fotovoltaico de baja potencia que genere energía eléctrica para satisfacer las necesidades energéticas básicas de una vivienda ubicada junto a la zona de estudio, en la misma se encuentra una estación meteorológica propiedad de la Universidad Técnica de Ambato dotada de varios instrumentos de medición, toma de datos de radiación global y velocidad del viento cuyos datos permiten que la ejecución del proyecto sea viable.

Este proyecto no es el único que suministrará energía eléctrica a una vivienda del sector, otros estudiantes están enfocando su estudio en la determinación del potencial eólico y

generación de energía eléctrica mediante un aerogenerador de baja potencia reduciendo de esta manera el costo económico para la generación eléctrica con energías renovables.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Diseñar y construir un sistema fotovoltaico de baja potencia en el sector Rio Blanco perteneciente a la comunidad Yatzaputzan

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar la necesidad energética.
- Realizar un análisis estadístico de los datos obtenidos.
- Determinar la radiación solar en la zona de estudio durante el periodo de seis meses
- Seleccionar los componentes del sistema fotovoltaico de acuerdo a los parámetros de diseño.
- Implementar el sistema fotovoltaico en la zona.

## CAPÍTULO II

### 2. FUNDAMENTACIÓN

#### 2.1. Investigaciones previas

Para el desarrollo del presente proyecto técnico se realizó un estudio previo en busca de información similar al tema de investigación propuesto, se cita a continuación los trabajos de mayor relevancia.

G. X. Guzñay Sánchez, «**Calculo y diseño de un sistema fotovoltaico autónomo, que genera 5KW,**» Cuenca 2013. El trabajo de investigación establece una forma simplificada de cálculo para obtener todos los elementos necesarios para la generación de la energía eléctrica, el estudio concluye que la implementación de sistemas fotovoltaicos en nuestro país es una opción eficaz y conveniente ya que la fuente de energía es inagotable y sin impacto ambiental a diferencia de otros tipos de generación, recomienda un dimensionamiento e instalación cuidadosa de los conductores para evitar pérdidas de energía.

C. Joaquín Barrios, «**Diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado, para el suministro de energía eléctrica a la comunidad rural Buena Vista, San Marcos,**» Guatemala 2008. Tiene como objeto dar solución al problema del suministro de energía eléctrica mediante el uso de fuentes renovables, hace un análisis de los recursos disponibles en el lugar, diseña dos tipos de sistemas fotovoltaicos individuales variando la necesidad energética que se debe a la diferencia de situación económica de las familias asentadas en el lugar de estudio. Se concluye la factibilidad de implementación de sistemas fotovoltaicos en Guatemala y estos estarán en la capacidad de cubrir necesidades básicas de iluminación y entretenimiento dependiendo de la vivienda con capacidad de ampliación gracias a la versatilidad del sistema.

J. Aguilera, «**Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos autónomos,**» Jaén. Brinda un método de dimensionamiento para sistemas fotovoltaicos autónomos didáctico y de

fácil comprensión, abarca especificaciones, ecuaciones, formas de cálculo para la selección y dimensionamiento de cada uno de los componentes, propone una serie de pasos a seguir desde la estimación del consumo, cálculo de irradiación e inclinación de los paneles, dimensionamiento del generador fotovoltaico, sistema de acumulación, regulador, inversor y cableado.

## 2.2. Fundamentación teórica

### 2.2.1. El sol

Es la principal fuente de energía en la generación eólica y solar para la tierra y su estrella más próxima, está formada por hidrogeno y una pequeña proporción de helio. El sol es el motor de los nueve planetas y de los miles de pequeños cuerpos que giran a su alrededor, causante de los vientos, la evaporación de agua, formación de nubes, su luz y calor son necesarios para el desarrollo de la vegetación y los animales.

En la Tabla II se presenta las características principales del sol, encontramos valores de diámetro, volumen, densidad, temperatura y energía que llega a la atmosfera exterior de la tierra.

**TABLA II:** Características del sol. [13]

| <b>Características</b>                                 | <b>Valores</b>                     |
|--|------------------------------------|
| Edad   | 4600 millones de años              |
| Periodo de rotación alrededor de la galaxia            | 225000000 años                     |
| Diámetro   | 1391980 km                         |
| Volumen  | $1.412 \times 10^{27} \text{ m}^3$ |
| Masa   | $1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$   |
| Densidad   | 150 veces la del agua              |
| Temperaturas   | En la superficie: 5000 °K          |
| Distancia media desde la Tierra                        | 150000000 km                       |
| Energía  | $3,83 \times 10^{26} \text{ J/s}$  |
| Energía que llega a la atmosfera exterior de la Tierra | $1367 \text{ W/m}^2$               |

### 2.2.1.1. Movimientos de traslación y rotación

La tierra tiene dos movimientos principales en el espacio, un movimiento de rotación y un movimiento de traslación, este último describe una órbita elíptica alrededor del sol dando lugar a los solsticios y equinoccios durante el transcurso del año, estos momentos del año son de vital importancia para tener un indicio de la cantidad de radiación solar que puede llegar a la superficie de la tierra a lo largo del año. El eje de rotación terrestre forma un ángulo con la perpendicular al plano de la órbita elíptica conocido como declinación y varía de  $-23.45$  en invierno a  $23.45$  en verano [14].

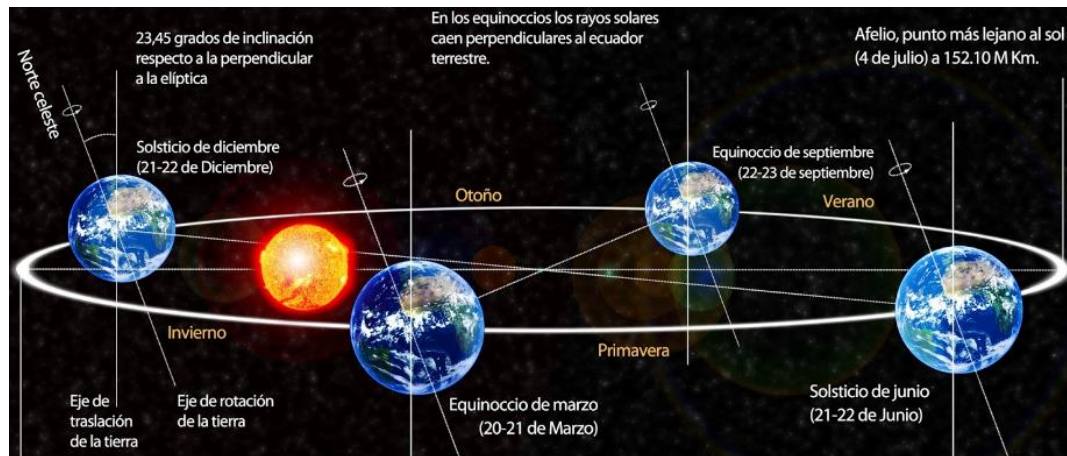


Figura 6: Declinación de la tierra, solsticios y equinoccios. [15]

### 2.2.2. Posición del sol

La posición exacta del sol permite conocer la orientación y el ángulo óptimo de inclinación de los módulos fotovoltaicos, para conocer la posición del sol se supone que la tierra esta fija en el espacio, el sol será quien describa el movimiento alrededor de la tierra y que el origen del sistema de coordenadas se localiza en el lugar de estudio [16].

Los métodos que se utilizan para saber la posición del sol son las coordenadas horarias y las coordenada angulares, Las coordenadas horarias muestra la posición del sol mediante tres ángulos: declinación, latitud y ángulo horario, mientras que las coordenadas angulares toman como referencia el plano del horizonte tangente a la superficie del lugar de estudio mediante dos ángulos (Azimut y altitud) [17].

### 2.2.2.1. Azimut

Es el ángulo que forma la proyección del sol sobre un plano horizontal dado y la dirección sur. El ángulo azimut es igual a 0 cuando coincide con la orientación norte, se consideran positivos los medidos hacia el oeste mientras que son considerados negativos los ángulos medidos hacia el este [17].

### 2.2.2.2. Altitud

Es el ángulo que forma la posición del sol y su proyección sobre un plano horizontal dado, su origen está en el horizonte y se consideran positivos los medidos en forma ascendente. En la figura 7 se muestran los ángulos azimut y elevación [18] .

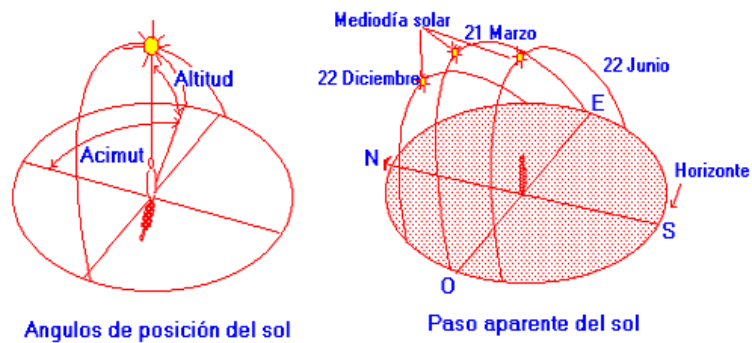


Figura 7: Ángulos de posición del sol, paso aparente del sol. [19]

### 2.2.3. Hora solar pico

También conocida como hora perfecta de sol (HPS), se empleada en aplicaciones de energía solar fotovoltaica para conocer la cantidad de radiación solar aprovechada cuando el sol está brillando en su valor máximo, sin nubes y durante un determinado número de horas. El HPS se obtiene sumando toda la energía recibida en un día dividida para  $1000\text{W/m}^2$

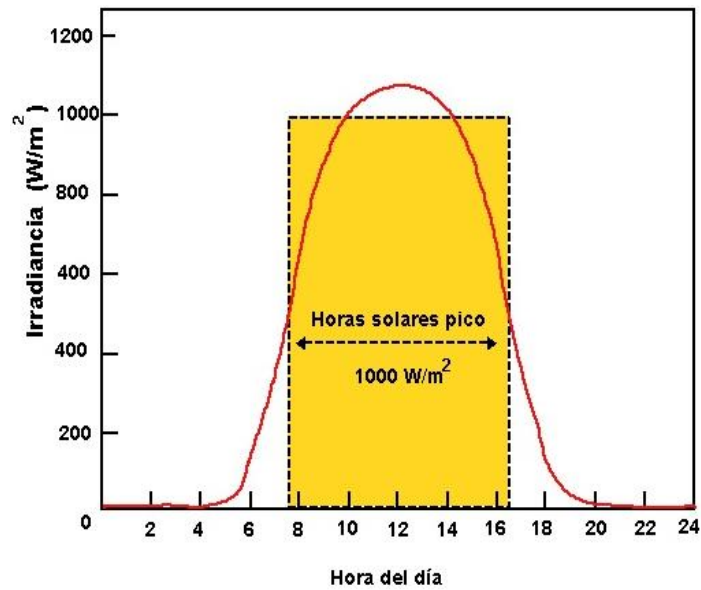


Figura 8: Hora solar pico. [19]

#### 2.2.4. Radiación solar

La radiación solar es la fuente de energía procedente del sol, capaz de proveer de luz y calor a nuestro planeta, es aprovechada por los paneles solares en la conversión de energía, a la superficie de la tierra llegan diferentes tipos de radiación, pero son tres los tipos de radiación que puede aprovechar un panel solar: radiación directa, difusa y albedo.

- **Radiación directa.-** Es la energía procedente del sol e incidente sobre una superficie con un ángulo único y preciso sin cambiar de dirección. [17]
- **Redición difusa.-** Su origen es la radiación directa, es la energía atenuada por la atmosfera debido a la reflexión de las nubes, alcanza la superficie de la tierra en distintas direcciones. [20]
- **Albedo.-** Es la energía de la radiación directa y difusa considerada después de haberse reflejado por el suelo u otras superficies próximas [19].
- **Radiación global.-** Es la suma de la radiación directa y difusa
- **Radiación total.-** Es las suma de la radiación directa, difusa y el albedo

La radiación global es el factor de mayor interés a la hora de evaluar el clima del sector donde se pretende instalar un sistema fotovoltaico, como ya se ha mencionado anteriormente, es posible obtener este valor y se mide como: irradiancia o irradiación.



- **Irradiancia.-** Es la potencia de radiación solar que se recibe en un instante determinado sobre un metro cuadrado de superficie, se expresa en  $W/m^2$  [14].
- **Irradiación solar.-** Es la cantidad de energía que se obtiene a través de la integración de la irradiancia sobre un periodo de tiempo específico que puede ser generalmente una hora, un día, se expresa en  $kWh//m^2$  [15].

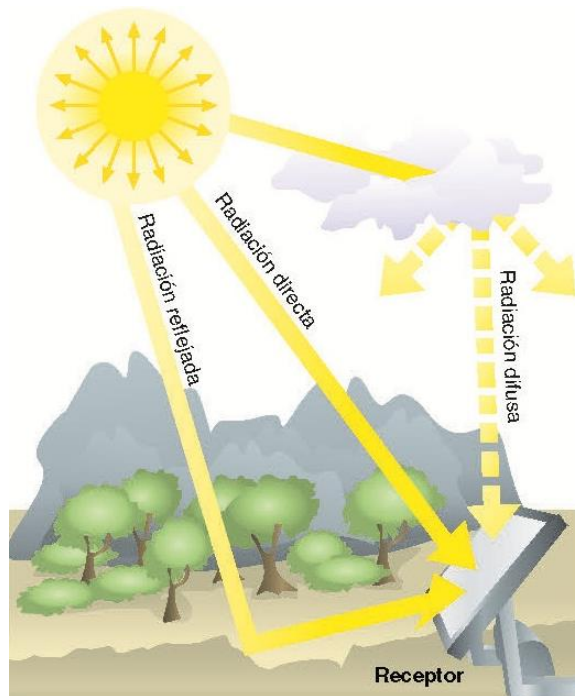


Figura 9: Tipos de radiación que llegan a una superficie. [19]

### 2.2.5. Sistemas fotovoltaicos

Es un conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos construidos e integrados en un sistema capaz de captar la energía del sol y transformarla en energía eléctrica utilizable para cualquier aplicación. [21]. La conversión de energía es realizada por un módulo fotovoltaico del cual se puede obtener corriente continua de 12, 24 o 48V dependiendo de su configuración, esta energía eléctrica es almacenada en baterías para ser utilizadas a cualquier momento y no solo en presencia de radiación solar asegurando de esta manera el suministro más continuo de energía, estos componentes deben ser controlados por un regulador de carga responsable del buen funcionamiento del sistema, encargado de controlar la sobrecarga y descarga de las baterías para así prolongar su vida

útil, al final del sistema puede incluirse un inversor de corriente continua a corriente alterna de 110V o 220V dependiendo de la aplicación, generalmente es utilizado para alimentar aparatos de bajo consumo como: lámparas, equipo de sonido, televisor, cargador de celulares entre otras [18].

A continuación en la Figura 10 se observan los componentes de un sistema fotovoltaico anteriormente mencionados.

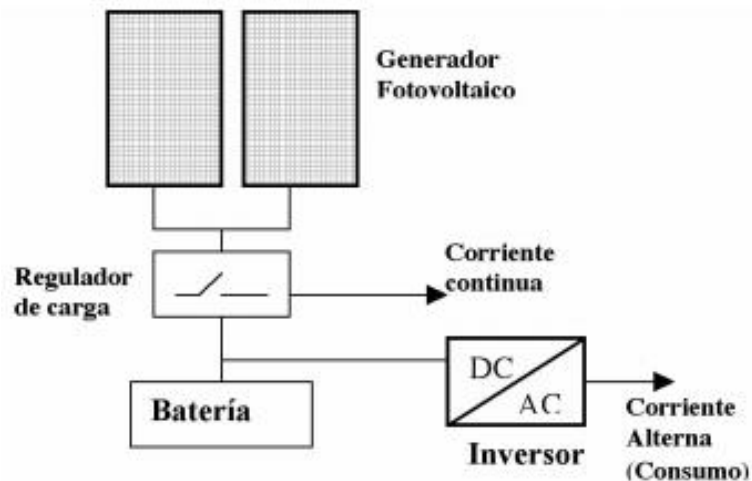


Figura 10: Componentes básicos de un sistema fotovoltaico. [1]

Dependiendo del diseño y aplicación, los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar en dos grandes grupos: los sistemas aislados y los sistemas conectados a la red eléctrica, también existen casos en los que se combinan con otras fuentes de energía para formar sistemas híbridos de generación.

### 2.2.5.1. Sistemas aislados o autónomos

Representan una solución económica, amigable al ambiente y se emplean en viviendas aisladas cuando no se dispone de una red eléctrica de distribución pública o si el costo de instalación es muy elevado, es muy utilizado en zonas rurales para viviendas donde la necesidad energética no es elevada, para iluminar áreas aisladas o para el bombeo de agua, dependiendo de su configuración pueden o no poseer un sistema de acumulación. Con los sistemas de acumulación se garantiza el consumo de corriente cuando la presencia radiación es insuficiente para generar electricidad [22].

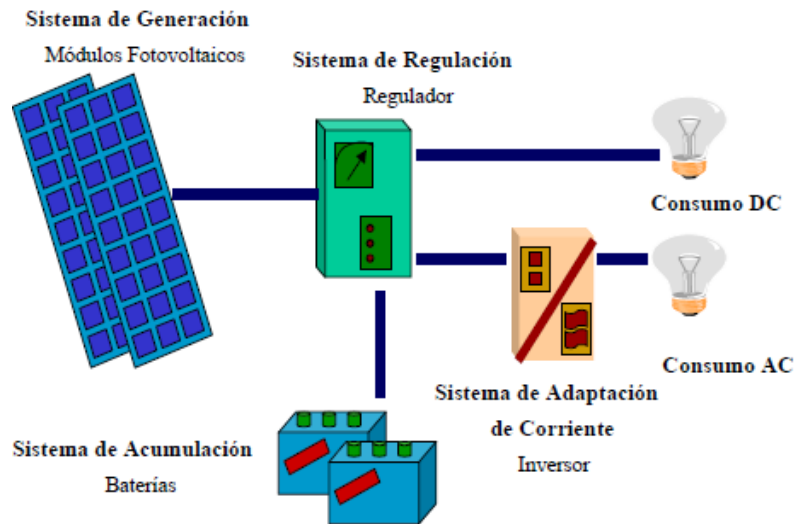


Figura 11: Sistemas fotovoltaicos autónomos. [23]

**Sistemas centralizados.-** Empleado para electrificar una pequeña población rural aislada a la red eléctrica de distribución, se diferencian de los sistemas fotovoltaicos autónomos porque su capacidad de generación es mayor y utilizan un único generador fotovoltaico para todas las viviendas, esta forma de generación requiere de circuitos secundarios que permitan distribuir la electricidad desde la planta de generación hacia las viviendas [22].

#### 2.2.5.2. Sistemas conectados a la red

Se emplea en sectores donde existe la red pública de distribución eléctrica, en estos casos el sistema solar fotovoltaico es conectado directamente a la red eléctrica, para ello se debe adaptar la tensión y corriente eléctrica a los valores de la red eléctrica en general, su objetivo principal a más de satisfacer la demanda de consumo es la venta de energía eléctrica a la red pública, no necesitan de un sistema de almacenamiento de energía, tiene la particularidad de trabajar en intercambio con la red eléctrica, cuando el sistema está en operación el usuario puede consumir la energía y el sobrante se transfiere a la red, mientras que cuando el potencial solar es insuficiente, la red eléctrica es la que garantiza el suministro de energía. Es aplicable para pequeñas instalaciones, medianas instalaciones, grandes instalaciones y centrales fotovoltaicas [24].

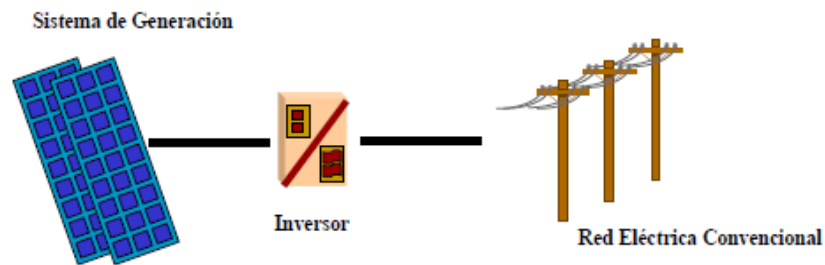


Figura 12: Sistemas fotovoltaicos conectados a la red. [23]

### 2.2.5.3. Sistemas híbridos

Estos sistemas combinan simultáneamente varias fuentes de generación de electricidad para garantizar la continuidad del servicio eléctrico a lo largo del día, se componen de fuentes energéticas renovables o no renovables, la configuración de un sistema híbrido puede ser entre fuentes: eólicas, solares, hidráulicas o sistemas de generación convencional que funcionan con motores de combustión interna.

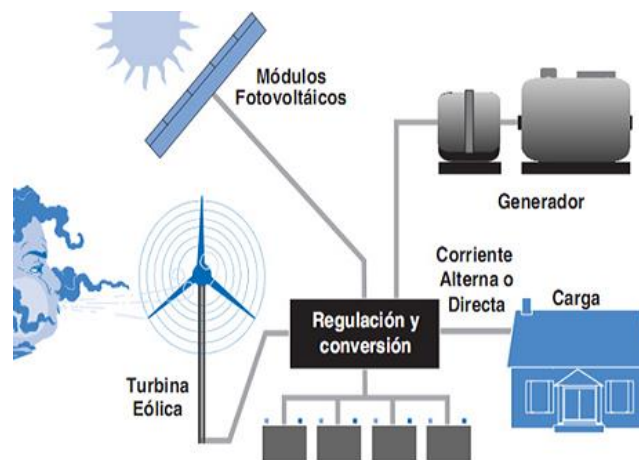


Figura 13: Sistemas fotovoltaicos híbridos. [21]

### Sistemas eólicos – fotovoltaicos

El componente principal de un sistema híbrido de generación eólico-fotovoltaico a más de los paneles solares es un aerogenerador eólico que se encargan de aprovechar la energía proveniente del viento, los aerogeneradores son equipos encargados de transformar la energía cinética del viento en energía mecánica [25]. La electricidad obtenida es utilizada en: el bombeo de agua, molienda de granos, alumbrado público, etc. Los aerogeneradores se clasifican dependiendo de la potencia a generar y por la orientación del giro del rotor.

## **Según su capacidad de generación y orientación de giro**

Pequeños aerogeneradores.- Su capacidad de generación puede llegar hasta los 30 kW de potencia con diámetros en sus aspas de hasta 10 metros

Medianos aerogeneradores.- Tiene una capacidad de generación de entre 30 kW a 600 kW de potencia y pueden llegar a tener diámetros de 50 metros

Grandes aerogeneradores.- Generar entre 1.5 a 3 MW de potencia con diámetros en sus aspas que pueden llegar a ser de 100 metros o más.

Aerogeneradores de eje vertical.- Dotan de un diseño simple, no requiere la construcción de enormes torres y veletas para lograr el giro del rotor, su característica principal es que el eje de rotación se encuentra en posición perpendicular al suelo. Existen tres tipos de aerogeneradores: los **darrieus** que cuentan con dos o tres arcos, los **panemomas** de cuatro o más semicírculos y los **sabonius** con dos a más filas de semicilindros [25].

Aerogeneradores de eje horizontal.- La diferencia de este tipo de aerogenerador es que el eje de rotación es paralelo al suelo, necesitan de un sistema de control de orientación, pueden ser a barlovento los que enfrentan la dirección del viento y a sotavento los que están a favor de la dirección del viento [25].

### **2.2.6. Componentes de un sistema fotovoltaico**

#### **2.2.6.1. Paneles solares**

Es el elemento principal de un sistema fotovoltaico, dota de placas rectangulares formadas por un conjunto de celdas fotovoltaicas conectadas una tras otra con el fin de transformar directamente la energía proveniente del sol en corriente eléctrica continua, debido a su frigidez están protegidas por un marco de aluminio y una cubierta de vidrio, la tensión nominal que suministra un panel puede ser de 12 V, 24 V o mayor [26].

Como norma general los paneles solares deben ser orientados hacia el sur si la instalación se encuentra en el hemisferio norte y hacia el hemisferio norte si son instalados en el sur. El ángulo de inclinación de los paneles con respecto a la horizontal en la mayoría de los casos coincide con la latitud del lugar de estudio, se recomienda utilizar un ángulo de 15° para asegurar la captación de radiación en épocas de invierno [27]. La figura 14 muestra los elementos principales de un panel solar

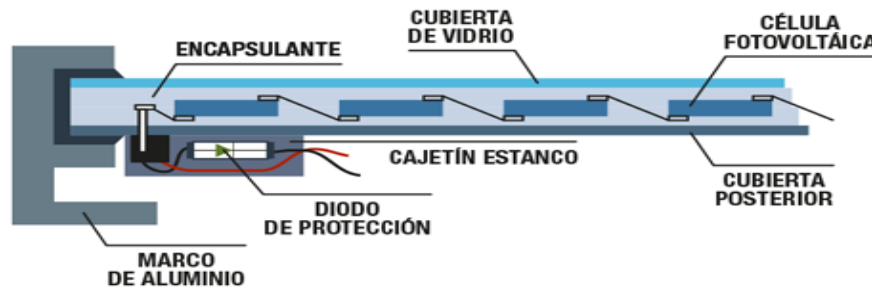


Figura 14: Elementos constitutivos de un panel solar. [28]

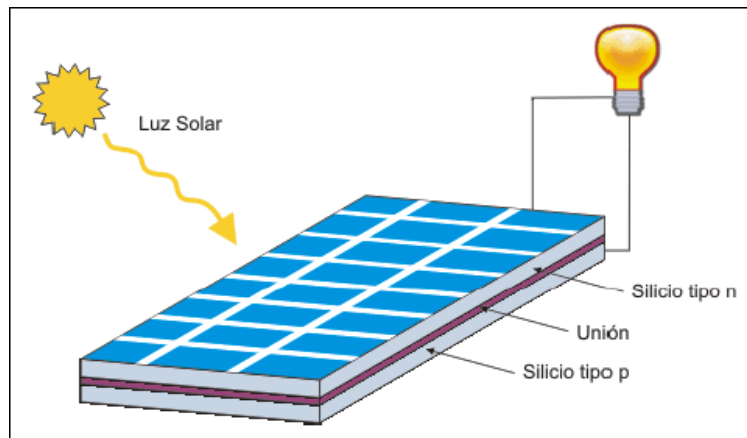
En la Tabla III se puede apreciar las condiciones estándar de medida (STC) de un panel fotovoltaico, proporcionados por los fabricantes de módulos fotovoltaicos y utilizadas por los organismos de prueba.

TABLA III: Condiciones estándar de medidas de un panel. [21]

| Parámetros               | Valor                 |
|--------------------------|-----------------------|
| Irradiancia              | 1000 W/m <sup>2</sup> |
| Distribución espectral   | AM 1.5                |
| Incidencia               | Normal                |
| Temperatura de la célula | 25 °C                 |

### Fenómeno fotovoltaico

El material del cual se fabrican los paneles solares está compuesto por tres capas: un silicio tipo “n”, la unión “pn” y un silicio tipo “p” unidos en sus extremos por un cable eléctrico, este fenómeno se produce cuando el material de la celda solar absorbe parte de los fotones del sol, el fotón al caer sobre el material semiconductor es capaz de proporcionar suficiente energía para liberar a un electrón que comienza a fluir de la zona n a la zona p creando una corriente eléctrica que puede ser utilizada para alimentar aparatos eléctricos [29].



**Figura 15:** Fenómeno Fotovoltaico. [29]

### **Corriente y tensión características de un panel solar**

**Corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ).**- Es la intensidad máxima de corriente extraída de un panel bajo condiciones de cortocircuito en sus terminales, es decir, cuando la tensión en las terminales del circuito es cero y al recibir la radiación solar la intensidad de corriente que circula por el panel alcanza su valor máximo [30].

**Voltaje a cortocircuito abierto ( $V_{oc}$ ).**- Es el voltaje máximo extraído de un panel bajo condiciones de circuito abierto en sus terminales, es decir, cuando la corriente en las terminales del circuito es cero y al recibir la radiación solar la tensión alcanza su valor máximo [30].

### **Curva característica de un panel solar**

El comportamiento y las características de un módulo solar está determinado por las curvas de tensión-intensidad ( $i-v$ ), a diferentes valores de radiación y temperatura la curva característica nos indica la cantidad de voltaje y corriente que puede aportar un panel. Las figuras siguientes indican los posibles valores de tensión y corriente que se puede obtener dependiendo de la temperatura y la radiación solar en las células del módulo.

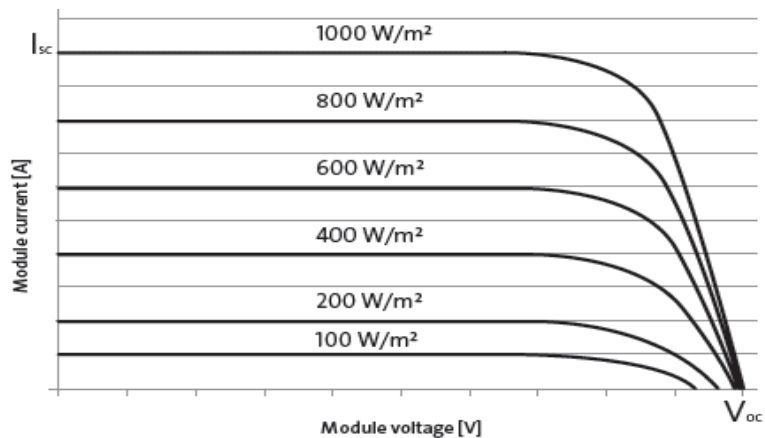


Figura 16: Curva característica de los módulos a diferentes valores de irradiación. Fuente: (SunFields, 2017)

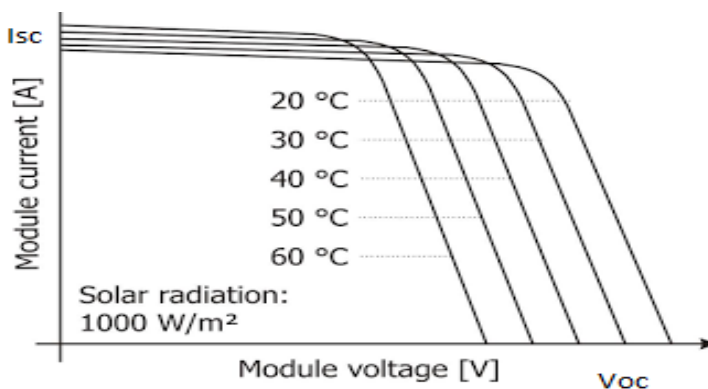


Figura 17: Curva característica de los módulos a diferentes valores de temperatura. Fuente: (Fotonia, 2016)

## Células fotovoltaicas

Es el componente del sistema fotovoltaico encargado de captar la energía y transformarla en electricidad, el silicio del cual se fabrican las células es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre, se extrae de la arena, en su forma más pura puede ser utilizado en la industria de la microelectrónica [26]. Las células son de forma cuadrada con espesores que varían entre 0.25 y 0.35 mm y superficies de 100 cm<sup>2</sup>, en el mercado existen varios tipos disponibles de células, la diferencia radica en su eficiencia y en la disposición de los átomos en su estructura cristalina [31].

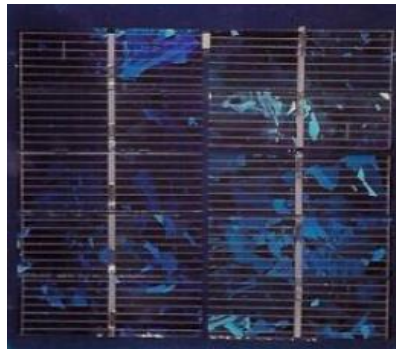
**Silicio mono-cristalino.-** Fabricados desde 1954, para obtener este material se funde el silicio puro con pequeñas proporciones de boro, su estructura cristalina es casi perfecta y se distinguen por su color azul homogéneo, el rendimiento de esta célula varía entre el 15 al 18% con respecto a la radiación incidente sobre su superficie [20].





**Figura 18:** Panel de silicio mono-cristalino. [29]

**Silicio poli-cristalino.-** Se distinguen por el color azul de diferente tonalidad, contienen menos facetas de cristalización en relación a las células de silicio mono-cristalino, son de menor pureza, espesor y su rendimiento varía entre el 12 al 14% con respecto a la radiación incidente sobre su superficie.



**Figura 19:** Panel de silicio poli-cristalino. [29]

**Silicio amorfo.-** Con este tipo de célula es posible fabricar paneles solares flexibles debido a la tecnología de capa delgada que ofrece, por su bajo costo de adquisición es muy utilizado en dispositivos de baja eficiencia como: calculadoras o relojes solares, es de color marrón y su rendimiento está por debajo del 10% con respecto a la radiación incidente sobre su superficie [20].



**Figura 20:** Panel de silicio amorfo. [29]

### 2.2.6.2. Regulador de carga

El Regulador de carga evita que la batería almacene más energía de la que es capaz, su función es evitar la sobrecarga por exceso de energía almacenada y la descarga excesiva debido a un incremento en el consumo eléctrico. Su funcionamiento es tal que corta la carga del generador fotovoltaico cuando la batería está cargada y cuando detecta un descenso de tensión desconecta los consumos y permite el paso de corriente para que la batería se vuelva a cargar [15]. Este dispositivo suele trabajar a tensiones nominales de 12, 24, o 48 V de corriente continua.

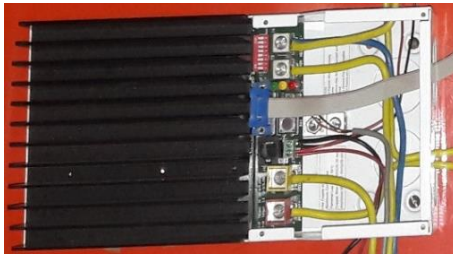


Figura 21: Controlador de carga.

(Fuente: Autor)

### 2.2.6.3. Baterías

Almacena la energía eléctrica que los paneles solares generan durante el día y suministran electricidad a las cargas por la noche o cuando exista poca radiación solar, se pueden conectar en serie o paralelo dependiendo de la tensión de diseño. Entregan un voltaje estable y constante adecuado para el buen funcionamiento de los electrodomésticos [31].

Los tipos de baterías más utilizados son las de níquel-cadmio y las de plomo-ácido, pero las que mejor se adaptan en aplicaciones de generación solar son las de plomo-ácido [32].

Parámetros a tomar en cuenta a la hora de seleccionar una batería

- **Capacidad (Ah).**- La capacidad de una batería se mide en amperes-hora y muestra la cantidad de corriente utilizable en un determinado tiempo.
- **Profundidad de descarga (PD).**- nos indica la cantidad de energía que se puede extraer de una batería.

#### 2.2.6.4. Inversor

Es el dispositivo encargado de convertir la corriente continua en corriente alterna con valores de tensión y frecuencia requeridas para los equipos a alimentar, normalmente convierte valores de 12, 24 o 48 V a 110 o 220 V con frecuencias de 50 o 60 Hz, está compuesto por tres bloques de circuitos: oscilador, convertidor de CC/ CA y la protección [20]. Las especificaciones técnicas a tomar en cuenta para seleccionar un inversor son:

- Forma de onda que puede ser sinusoidal pura, modificada o cuadrada
- Tensión nominal de entrada
- Tensión de salida
- Frecuencia
- Rendimiento
- Auto consumo.

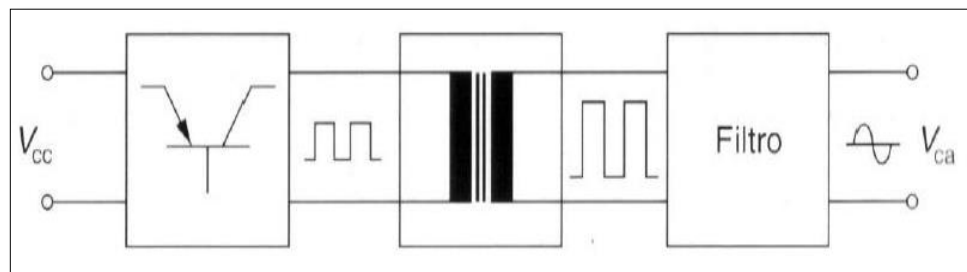


Figura 22: Inversor de corriente. [21]

Un inversor es un circuito electrónico formado de transistores los cuales están encargados de alterar la corriente continua para crear una onda cuadrada, después pasa por un transformador que permite elevar la tensión y finalmente pasa por un filtro que permite obtener una forma de onda sinusoidal igual al de la red eléctrica [21].

#### 2.2.6.5. Estructura

Son los encargados de fijar los módulos fotovoltaicos, se ubican generalmente sobre un tejado, en la fachada de un edificio o sobre el suelo a determinada altura, deben ser rígidos para soportar las condiciones climáticas del lugar, deben tener un ángulo de orientación

determinado y ser capaces de direccionar el modulo hacia el sol sin ninguna interferencia. Las estructuras se construyen de material inoxidable, aleaciones de aluminio y pueden ser soportes de tipo fijo, ajustable o con sistemas de seguimiento solar.

### **2.2.7. Sistemas para evaluar el recurso solar y eólico**

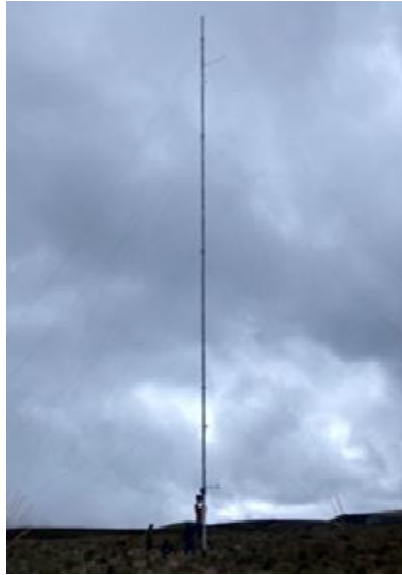
Uno de los inconvenientes para aprovechar las fuentes provenientes del sol y del viento en un determinado lugar es la falta de continuidad del mismo, por eso es necesario estimar el recurso eólico y solar del sector donde se pretende implementar un sistema, esto es posible y para ello se necesita de sistemas completos de medición y toma de datos meteorológicos. Uno de los sistemas más utilizados son las torres de medición meteorológicas dotadas de una serie de instrumentos que permiten obtener datos confiables durante largos periodos de tiempo.

#### **2.2.7.1. Torre de medición meteorológica**

Es un conjunto de dispositivos electrónicos incorporados a una estructura metálica que puede ser tubular o triangular, efectúan mediciones de las variables meteorológicas en forma numérica, su función principal es registrar la información de las variables medias, tomar los datos cada segundo que luego se promedian cada diez minutos y se transmiten a la base de datos de la torre [6].

Cuenta con los siguientes componentes:

- Sensor de velocidad ubicados a 10, 20 y 30 metros de altura
- Sensor de dirección del viento
- Sensor de temperatura
- Un sensor de radiación solar ubicado a 3 metros de altura
- Registrador (Data logger)
- Pararrayo
- Torre tubular
- Tensores



**Figura 23:** Torre de prospección eólico-solar

(Fuente: Autor)

### **Registrador de datos**

Es el componente central de la torre de prospección eólico y solar, es un sistema de registro avanzado que recoge y almacena los datos de lecturas de sensores meteorológicos de forma fiable y segura, registra los datos cada segundo que luego los promedia a diez minutos y los almacena en una tarjeta SD con fecha y hora real del registro, dependiendo del sitio los datos también pueden registrarse en un correo electrónico de internet vía GSM, CDMA, o iridium satelital con iPack opcional. Cuenta con una pantalla y un teclado que muestra los datos a tiempo real para facilitar las visitas al sitio [33].



**Figura 24:** Registrador de datos

(Fuente: Autor)

La Tabla IV se muestra las especificaciones del SYMPHONIEPLUS®3 DATA LOGGER que se encuentra instalado en la torre de prospección eólico solar

**TABLA IV:** Especificaciones técnicas del data logger symphonieplus3. [33]

| <b>Descripción</b>                     |   |
|--|---|
| Aplicación                             | Evaluación de recurso solar y eólico  |
| Sensores compatibles                   | Anemómetros y sensores de temperatura NRG Systems, piranómetros Li-Cor # 200SZ                      |
| <b>Recopilación de datos</b>           |   |
| Canales del contador                   | Cuenta con 15 canales de registro para los sensores compatibles al data logger                      |
| Intervalo del muestreo                 | 1 segundo   |
| Intervalo de promedio                  | 10 minutos fijos  |
| Reloj a tiempo real                    | Cuenta con una batería interna  |
| Formato de archivo                     | Compatible con Windows  |
| Soporte de almacenamiento              | 128 MB de tarjeta SD con formato NRG  |
| Parámetros de registro para cada canal | Cada intervalo registra los: promedios, desviación estándar, mínimos y máximos de datos almacenados |

### **Piranómetro LI-200R**

Mide la radiación global en condiciones de luz diurna natural sin obstáculos, sus unidades de medida son el vatio por metro cuadrado ( $W/m^2$ ), envía los datos a través de una pequeña señal de corriente hacia el registrador de datos, una de las características principales de este sensor es mantener la sensibilidad a mayores ángulos de incidencia y proporcionar mediciones más precisas cuando el sol va en aumento [33].



**Figura 25:** Piranómetro Li-Cor LI-200R. [33]

La tabla V muestra las especificaciones del piranómetro Li-Cor LI-200R que se encuentra instalado en la torre de prospección eólico-solar.

**TABLA V:** Especificaciones técnicas del piranómetro LI-200R. [33]

| <b>Descripción</b>                     |   |
|--|---|
| Aplicación                             | Evaluación de recurso solar<br>Estudios meteorológicos<br>Monitoreo ambiental |
| Rango del sensor                       | 0 W/ m <sup>2</sup> a 3000 W/ m <sup>2</sup>                                  |
| Compatibilidad del instrumento         | Todos los registradores de datos NRG  |
| <b>Señal de salida</b>                 |   |
| Tipo de señal                          | Corriente en $\mu\text{A}$ proporcional a la radiación solar                  |
| Sensibilidad                           | Típicamente 75 $\mu\text{A}$ por 1000 W/ m <sup>2</sup>                       |
| Tiempo de respuesta                    | Menos de 1 $\mu\text{s}$  |
| Rango de señal de salida               | 0 $\mu\text{A}$ 225 $\mu\text{A}$   |
| <b>Características de presentación</b> |   |
| Corrección del ángulo                  | Coseno corregido hasta un ángulo de incidencia de 82°                         |
| Azimut                                 | <+/- 1% de error sobre 360° a 45° de elevación                                |
| Inclinación                            | Sin error incluido por la orientación   |
| Montaje                                | Montaje en torre con soporte lateral NRG                                      |
| Temperatura de funcionamiento          | -40°C a 65°C  |
| Rango de humedad                       | Funcionamiento de 0% a 90% de humedad sin condensación                        |

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO DEL PROYECTO

#### 3.1. Selección de alternativas

De los sistemas fotovoltaicos descritos en el capítulo anterior, se debe seleccionar el sistema más favorable para el diseño e implementación y así utilizar de manera eficiente y responsable las fuentes de energía alternativas que dispone el lugar de estudio.

##### 3.1.1. Método ordinal corregido de criterios ponderados

Es un método global de ponderación utilizado para la selección de una alternativa en la etapa conceptual, permite determinar un orden preferencial de evaluación sin la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad ni estimar numéricamente cada criterio con resultados globales satisfactorios y concretos. Este procedimiento utiliza tablas de ponderación donde cada alternativa se confronta con las restantes, a continuación se muestran los valores asignados para cada criterio de selección.

TABLA VI: Valores asignados por el método ordinal de criterios ponderados.

| Valor | Criterio   |
|-------|--|
| 1     | Si el criterio de filas es superior o mejor ( $>$ ) que el de las columnas |
| 0.5   | Si el criterio de filas es similar o igual ( $=$ ) al de las columnas      |
| 0     | Si el criterio de filas es inferior o peor ( $<$ ) que el de las columnas  |

Fuente: (Diseño Concurrente, 2002)

Posteriormente, para cada criterio, se suman los valores designados en relación a los restantes criterios al que se le añade una unidad con el fin de evitar la nulidad a los criterios menos favorables, en otra columna se calcula los valores ponderados para cada criterio. Finalmente, la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio nos permite obtener la solución total para cada alternativa.



### **3.1.2. Alternativas**

Determinado el método de selección se procede a plantear las posibles alternativas para el diseño y construcción del sistema fotovoltaico, las mismas serán evaluadas mediante criterios de selección con el fin de escoger la alternativa más adecuada y conveniente.

#### **3.1.2.1. Sistemas centralizados**

El propósito del proyecto es satisfacer las necesidades energéticas básicas de una vivienda, este tipo de sistemas está en la capacidad de generar energía para una comunidad entera, por lo que no es de nuestro interés. Además para la implementación se necesita de una gran cantidad de paneles solares, baterías y de un inversor robusto, diseñar el sistema de transmisión y distribución a través de líneas eléctricas para que pueda llegar la electricidad a cada una de las viviendas, desde el punto de vista económico, esto resulta excesivamente costoso debido a que son pocas las casas que no cuentan con el recurso energético y estas se encuentran muy dispersas. Cuando las viviendas a electrificar se encuentran ubicadas de forma dispersa es recomendable implementar sistemas fotovoltaicos autónomos individuales, resulta más conveniente y se garantiza que el suministro de energía sea de calidad, si las líneas de distribución son extensas, la energía eléctrica se vuelve inestable.

#### **3.1.2.2. Sistemas conectados a la red**

La Regulación No. 005/15 emitida por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad sobre los Requerimientos Técnicos para la Conexión y Operación de Generadores Renovables no Convencionales a las Redes de Trasmisión y Distribución tiene por objeto establecer criterios y requisitos técnicos relacionados con la conexión a las redes de trasmisión y distribución a fin de mantener los niveles de corrientes y voltajes en sus rangos admisibles, garantizar la operación eficiente y segura de la red y asegurar la confiabilidad del servicio de energía eléctrica. La presente regulación es aplicable únicamente para generadores a conectarse en medio y alto voltaje, cuya potencia nominal sea mayor o igual a 100 kW. Hasta la fecha aún no existen regulaciones emitidas por

CONELEC para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red en pequeñas viviendas, PROVIENTO S. A, proveedor de componentes para la generación de energías renovables en Ecuador, por experiencia propia indica que la energía que se ingresa a la red no es remunerada de forma adecuada, incluso los medidores eléctricos no distinguen entre la energía consumida y la energía entregada, recomiendan como mejor opción dimensionar los sistemas fotovoltaicos al 100% de la energía que se consume en el hogar.

### **3.1.2.3. Sistemas autónomos**

En comparación con otras fuentes de generación, la energía solar fotovoltaica es una de las fuentes más prometedoras ya que se obtiene electricidad de forma segura y silenciosa, fácil de instalar en edificaciones ya construidas, no requieren de muchos conocimientos para su instalación, el mantenimiento es mínimo y es una fuente de energía limpia, a continuación se detallan algunas ventajas y desventajas de este sistema [21].

Ventajas:

- Fuente de energía inagotable y gratuita.
- Tiene una vida útil elevada, la vida esperada de los módulos es de más de 20 años.
- Su mantenimiento es mínimo, limpieza de los paneles solares y baterías.
- Resiste a condiciones climáticas extremas.
- No tiene dependencia de compañías de suministro de electricidad [21].

Inconvenientes:

- Costo de implementación elevado, necesita de baterías para almacenar la energía.
- Depende de los factores climáticos, cuando no hay suficiente radiación solar el sistema puede no producir electricidad [21].

### **3.1.3. Criterios de selección**

Los criterios a tomar en cuenta en la selección del sistema fotovoltaico son: Recurso disponible, demanda energética, costo, eficiencia, disponibilidad para la instalación y mantenimiento

#### **3.1.3.1. Recurso energético**

Son las fuentes de energía renovable con las que cuenta un determinado lugar para el aprovechamiento y transformación en energía eléctrica

#### **3.1.3.2. Demanda de energía**

Indica el consumo de energía eléctrica de una vivienda, para obtener este dato es necesario conocer el número de habitantes por vivienda, la cantidad de aparatos electrónicos y el tiempo de uso de cada electrodoméstico.

#### **3.1.3.3. Costo**

Este criterio involucra los costos de adquisición de: materiales, accesorios, equipos, manufactura, operación y mantenimiento.

#### **3.1.3.4. Eficiencia**

Indica la capacidad que tiene un sistema para generar energía eléctrica, este parámetro dependerá de las condiciones climatológicas del lugar.

#### **3.1.3.5. Factibilidad de instalación**

Indica las condiciones del lugar, sus características, presencia de árboles, construcciones de gran altura o montañas lejanas que puedan proyectar sombras durante el día.

### 3.1.3.6. Mantenimiento

Indica el periodo de tiempo en el cual se deberá realizar inspecciones al sistema para garantizar su funcionamiento, en instalaciones fotovoltaicas el mantenimiento es mínimo.

### 3.1.4. Ponderación

#### Evaluación del peso específico de cada criterio

TABLA VII: Evaluación del peso específico de cada criterio

| Criterio                    | Recurso energético | Demanda Energética | Costo | Eficiencia | Factibilidad de instalación | Mantenimiento | $\Sigma+1$ | Promedio |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|-------|------------|-----------------------------|---------------|------------|----------|
| Recurso energético          |                    | 1                  | 1     | 1          | 1                           | 1             | 6          | 0,286    |
| Demanda Energética          | 0                  |                    | 0,5   | 1          | 1                           | 1             | 4,5        | 0,214    |
| Costo                       | 0                  | 0,5                |       | 1          | 1                           | 1             | 4,5        | 0,214    |
| Eficiencia                  | 0                  | 0                  | 0     |            | 1                           | 1             | 3          | 0,143    |
| Factibilidad de instalación | 0                  | 0                  | 0     | 0          |                             | 1             | 2          | 0,095    |
| Mantenimiento               | 0                  | 0                  | 0     | 0          | 0                           |               | 1          | 0,047    |
|                             |                    |                    |       |            |                             | $\Sigma$      | <b>21</b>  | <b>1</b> |

Fuente: (Autor)

**Alternativa 1:** Sistemas fotovoltaicos autónomos

**Alternativa 2:** Sistemas fotovoltaicos centralizados

#### Evaluación del peso específico del criterio recurso energético

TABLA VIII: Evaluación del criterio recurso energético

| Recurso Energético | Alternativa 1 | Alternativa 2 | $\Sigma+1$ | Promedio |
|--------------------|---------------|---------------|------------|----------|
| Alternativa 1      |               | 0,5           | 1,5        | 0,5      |
| Alternativa 2      | 0,5           |               | 1,5        | 0,5      |
|                    |               |               | 3          | 1        |

Fuente (Autor)

## Evaluación del peso específico del criterio Demanda de energía

TABLA IX: Evaluación del criterio demanda de energía

| <b>Demanda de energía</b> | Alternativa 1 | Alternativa 2 | $\Sigma+1$ | Promedio |
|---------------------------|---------------|---------------|------------|----------|
| Alternativa 1             |               | 0             | 1          | 0,33     |
| Alternativa 2             | 1             |               | 2          | 0,67     |
|                           |               |               | 3          | 1        |

Fuente: (Autor)

## Evaluación del peso específico del criterio Costo

TABLA X: Evaluación del criterio costo

| <b>Costo</b>  | Alternativa 1 | Alternativa 2 | $\Sigma+1$ | Promedio |
|---------------|---------------|---------------|------------|----------|
| Alternativa 1 |               | 1             | 2          | 0,667    |
| Alternativa 2 | 0             |               | 1          | 0,333    |
|               |               |               | 3          | 1        |

Fuente: (Autor)

## Evaluación del peso específico del criterio Eficiencia

TABLA XI: Evaluación del criterio eficiencia

| <b>Eficiencia</b> | Alternativa 1 | Alternativa 2 | $\Sigma+1$ | Promedio |
|-------------------|---------------|---------------|------------|----------|
| Alternativa 1     |               | 1             | 2          | 0,67     |
| Alternativa 2     | 0             |               | 1          | 0,33     |
|                   |               |               | 3          | 1        |

Fuente: (Autor)

## Evaluación del peso específico del criterio Factibilidad de instalación

TABLA XII: Evaluación del criterio factibilidad de instalación

| <b>Factibilidad de instalación</b> | Alternativa 1 | Alternativa 2 | $\Sigma+1$ | Promedio |
|------------------------------------|---------------|---------------|------------|----------|
| Alternativa 1                      |               | 1             | 2          | 0,67     |
| Alternativa 2                      | 0             |               | 1          | 0,33     |
|                                    |               |               | 3          | 1        |

Fuente: (Autor)

## Evaluación del peso específico del criterio Mantenimiento

TABLA XIII: Evaluación del criterio mantenimiento

| Mantenimiento | Alternativa 1 | Alternativa 2 | $\Sigma+1$ | Promedio |
|---------------|---------------|---------------|------------|----------|
| Alternativa 1 |               | 1             | 2          | 0,667    |
| Alternativa 2 | 0             |               | 1          | 0,333    |
|               |               |               | 3          | 1        |

Fuente: (Autor)

### 3.1.5. Conclusión

TABLA XIV: Conclusiones según los criterios de cada alternativa

| Conclusiones  | Recurso energético | Demanda Energética | Costo | Eficiencia | Disponibilidad de instalación | Mantenimiento | $\Sigma$ | Prioridad |
|---------------|--------------------|--------------------|-------|------------|-------------------------------|---------------|----------|-----------|
| Alternativa 1 | 0,143              | 0,07               | 0,14  | 0,095      | 0,063                         | 0,031         | 0,547    | 1         |
| Alternativa 2 | 0,143              | 0,143              | 0,070 | 0,047      | 0,031                         | 0,015         | 0,451    | 2         |

Fuente: (Autor)

Como se puede apreciar en la tabla XIV, la alternativa con mayor prioridad es la numero uno, entonces, para el desarrollo del proyecto se opta por el diseño y construcción de un sistema fotovoltaico autónomo individual.

### 3.2. Modelo operativo

Una vez que se ha seleccionado el sistema se procede a diseñar y determinar todos los componentes necesarios, en el sector estudiantes de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato están realizando estudios para determinar el potencial eólico, diseño e implementación de un aerogenerador eólico de baja potencia, se deberá analizar la posibilidad de acoplar el sistema fotovoltaico con el eólico y así cubrir la demanda de la vivienda mediante dos fuentes de energía renovable optimizando así la producción de electricidad.

### 3.2.1. Necesidad energética

Determinar la necesidad energética diaria de una vivienda implica conocer el número de cargas, la potencia de cada una y el número de horas diarias de funcionamiento, nos apoyaremos en encuestas de prospección eólica-solar realizadas a los pobladores del sector Rio Blanco para conocer su situación económica y la necesidad energética de sus viviendas. Para facilitar el proceso de encuestas se debe escoger a un grupo significativo que represente al total de habitantes, se aplica el método de población y muestra.

#### 3.2.1.1. Población y muestra

El sector Rio Blanco forma parte de la zona media de la parroquia Pilahuín del cantón Ambato perteneciente a la provincia de Tungurahua, cuenta con una población de 192 habitantes, la ubicación geográfica del sector es:

- Altitud geográfica: 4030 msnm
- Posición geográfica: Latitud 01°21'22.08'' S y Longitud 78°49'3.169'' O
- Temperatura promedio: varia ente 0 a 14° C



Figura 26: Ubicación geográfica del sector Rio Blanco. Fuente: (Pixelis Maps)

Para realizar el cálculo del tamaño de muestra se utiliza la siguiente formula:

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{N * e^2 + Z^2 * p * q} \quad (\text{Ec. 1})$$

**Dónde:**

**N** = Universo

**e** = Error de estimación

**Z** = Nivel de confianza

**p** = Probabilidad a favor

**q** = Probabilidad en contra

La tabla XV muestra los valores para el cálculo del tamaño de muestra.

**TABLA XV:** Tamaño de una muestra por niveles de confianza.

| Certeza        | 95%    | 94%    | 93%    | 92%    | 91%    | 90%  | 80%  | 62.27% | 50%    |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|------|------|--------|--------|
| Z              | 1.96   | 1.88   | 1.81   | 1.75   | 1.69   | 1.65 | 1.28 | 1      | 0.6745 |
| Z <sup>2</sup> | 3.84   | 3.53   | 3.28   | 3.06   | 2.86   | 2.72 | 1.64 | 1.00   | 0.45   |
| e              | 0.05   | 0.06   | 0.07   | 0.08   | 0.09   | 0.10 | 0.20 | 0.37   | 0.50   |
| e <sup>2</sup> | 0.0025 | 0.0036 | 0.0049 | 0.0064 | 0.0081 | 0.01 | 0.04 | 0.1369 | 0.25   |

Fuente: (Seminario de automatización de archivos. E. Rodríguez, 2010)

Para el cálculo del tamaño de muestra se toma en cuenta las siguientes consideraciones:

- La suma del valor de probabilidad a favor (p) y probabilidad en contra (q) será siempre uno, se asignan valores de:  $p = 0.5$ ;  $q = 0.5$  cuando no se tiene información.
- Es recomendable usar porcentajes de confianza de 91% en adelante cuando no se conoce su valor, con un porcentaje de confianza de 91% se tiene ( $Z = 1.69$ )
- El grado de error máximo no debe ser mayor al 10%, valores superiores reducen la validez de la información, con un 9% se tiene ( $e = 0.09$ )

Se obtiene un tamaño de muestra de **59** personas, serán a quienes se realice las encuestas.

### **3.2.1.2. Resultados de la encuesta**

A continuación se detalla los resultados arrojados en el proceso de encuestas realizadas a las personas del sector, el formato de encuestas se muestra en el ANEXO 2.



### Pregunta 1 ¿Posee energía eléctrica la vivienda?

Todos los encuestados cuentan con casa propia, 57 respondieron que sí disponen de energía eléctrica y solo 2 no están conectados a la red, los resultados se muestran en la Figura 27.

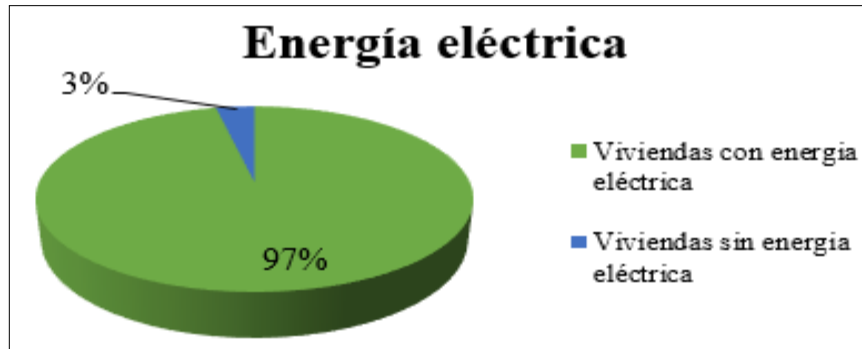


Figura 27: Viviendas con energía eléctrica.

(Fuente: Autor)

### Pregunta 2 ¿Consumo de energía eléctrica a mes?

El consumo de energía eléctrica en la mayor parte de los pobladores esta entre 3 a 6 dólares con un 68%, mientras que un 22% de los encuestados indican que pagan por el consumo mensual entre 6 a 9 dólares, los resultados se muestran en la figura 28.

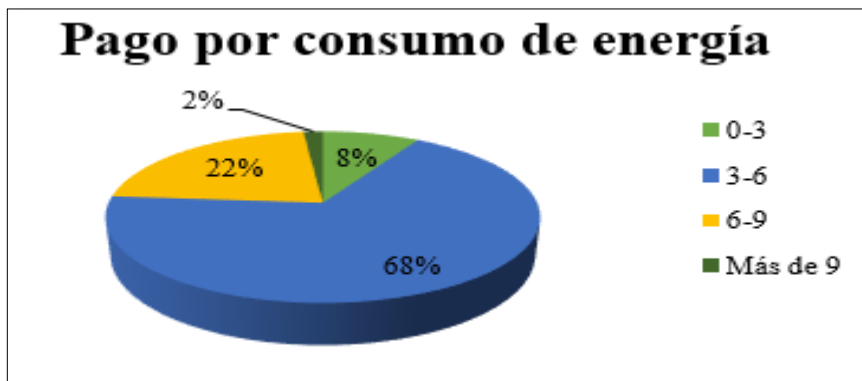


Figura 28: Pago mensual por consumo de energía eléctrica.

(Fuente: Autor)

### Pregunta 3 ¿Composición familiar?

La mayor parte de las familias están compuestas por 4 personas con un 24% y un 19% de las familias está compuesta entre 5, 6 y más de seis personas, los resultados se muestran en la figura 29.

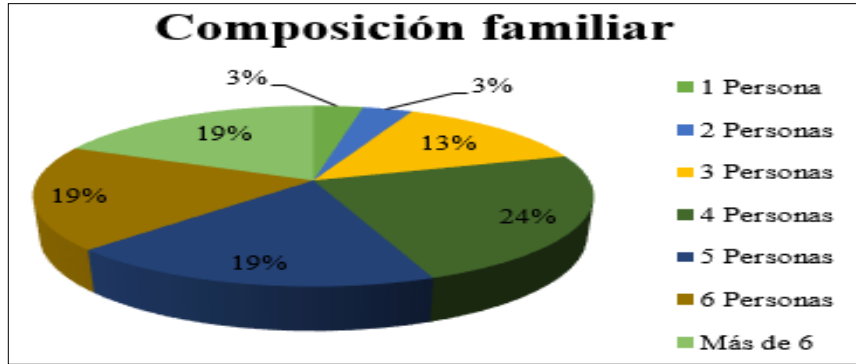


Figura 29: Composición familiar.

(Fuente: Autor)

### Pregunta 4 ¿Ingreso mensual por familia?

Los principales ingresos de las familias provienen de la agricultura, crianza de ganado y un menor porcentaje dedicado a la construcción, el mayor porcentaje de las familias tiene ingresos mensuales de entre 50 – 250 dólares, los resultados se muestran en la Figura 30.

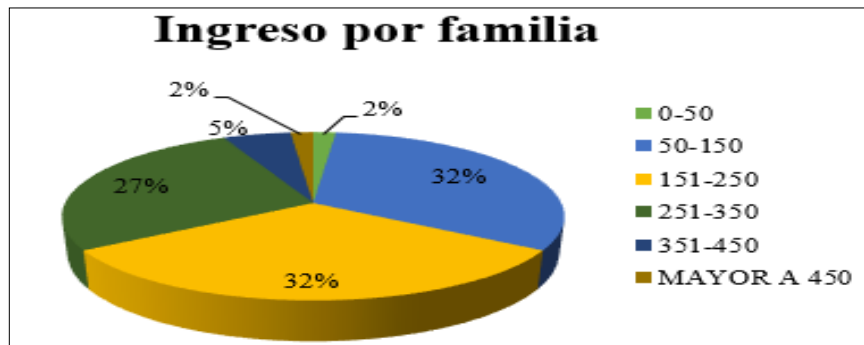


Figura 30: Ingreso mensual por familia.

(Fuente: Autor)

### Pregunta 5 ¿Electrodomésticos que utilizan las familias en sus viviendas?

En cuanto a los electrodomésticos que posee una vivienda, las familias en mayor porcentaje cuentan con un televisor y un radio para su distracción en las horas de descanso a más de un cargador de celular, los resultados se muestran en la Figura 31.

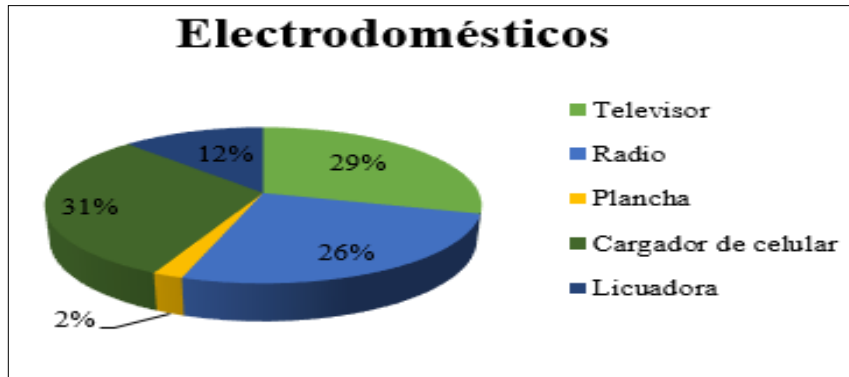


Figura 31: Electrodomésticos que utilizan las familias en sus viviendas.

(Fuente: Autor)

### Pregunta 6 ¿Cantidad de luminarias por casa?

El mayor porcentaje de las personas disponen de dos luminarias en sus viviendas con un 47% mientras que un 34% disponen de tres luminarias, los resultados se muestran en la Figura 32.

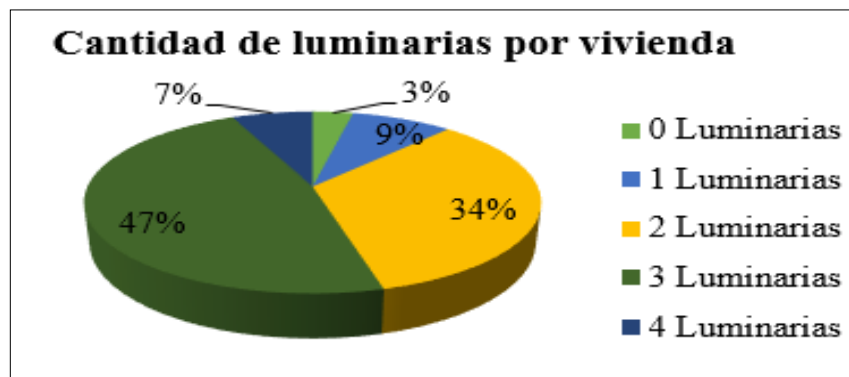


Figura 32: Cantidad de luminarias por casa.

(Fuente: Autor)

### Pregunta 7 ¿Época del año con mayor presencia de sol?

Las personas que viven en la zona indican que el sol se siente con mayor fuerza entre los meses de: Octubre, Noviembre y Diciembre, los resultados de esta pregunta se muestran en la Figura 33.

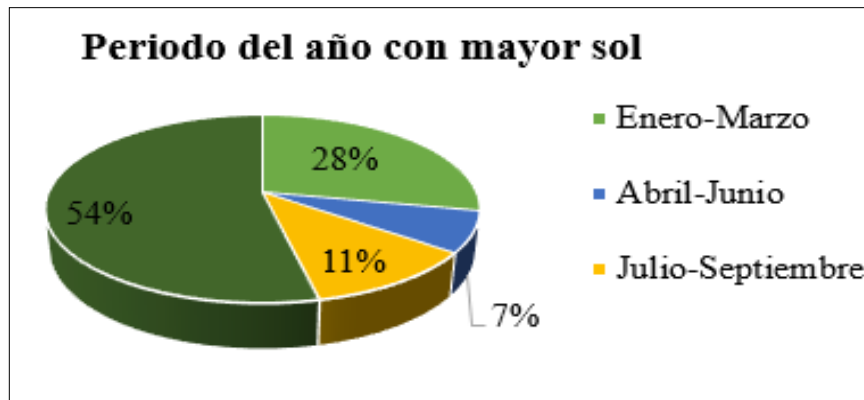


Figura 33: Época del año con mayor presencia de sol.

(Fuente: Autor)

### Pregunta 8 ¿horas del día con mayor presencia de sol?

El 72% de los encuestados afirman que al medio día el sol se siente con mayor intensidad, los resultados se muestran en la figura 34.

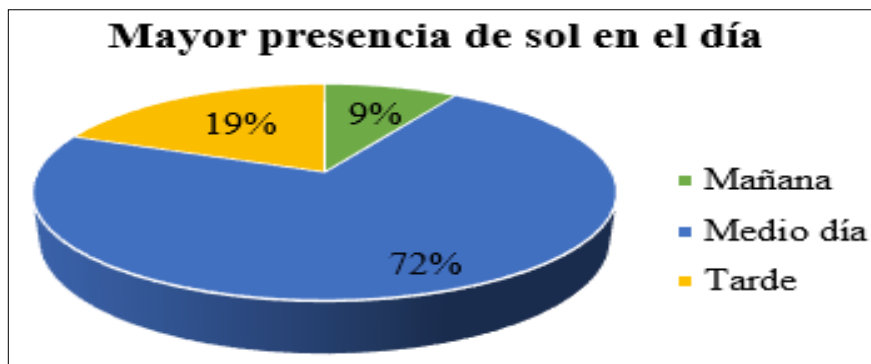


Figura 34: Hora del día con mayor presencia de sol.

(Fuente: Autor)

### 3.2.1.3. Conclusiones de las encuestas

Al ser los pobladores del sector Rio Blanco de escasos recursos y de lo que se pudo apreciar durante el proceso de encuestas, en la zona se ha encontrado pequeños modelos de casas las cuales constan únicamente con un cuarto de espacio reducido, el uso de electrodomésticos es limitado depende de los ingresos de cada familia, por lo general las viviendas cuentan únicamente con un televisor pequeño y un radio que utilizan como entretenimiento en sus horas de descanso, también utilizan un cargador para su celular, nadie cuenta con cocinas eléctricas y un número reducido de personas utilizan una licuadora por las mañanas. En cuanto al tiempo de consumo de energía eléctrica, por las mañanas las personas salen a sus labores cotidianas y regresan alrededor de las 5 a 6 de la tarde, los niños van a la escuela, regresan por la tarde y se incorporan con sus padres al trabajo en el campo o al cuidado de los animales, las luminarias permaneces encendidas aproximadamente por tres horas durante el día, mientras que los electrodomésticos como el televisor o el radio que utilizan los niños y mayores en sus horas de descanso es por alrededor de 2 horas.

La tabla XVI muestra un consumo energético modelo de las viviendas del sector.

**TABLA XVI:** Consumo energético de una vivienda modelo.

| <b>Equipo en AC</b> | <b>N°</b> | <b>Potencia [W]</b> | <b>Tiempo de uso (h/día)</b> | <b>Capacidad instalada [W]</b> | <b>Demanda energética [Wh/Día]</b> |
|---------------------|-----------|---------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| <b>Televisor</b>    | 1         | 100                 | 3                            | 100                            | 300                                |
| <b>Radio</b>        | 1         | 16                  | 2                            | 16                             | 32                                 |
| <b>Cargador</b>     | 1         | 5                   | 2                            | 5                              | 10                                 |
| <b>Luminarias</b>   | 3         | 20                  | 3                            | 60                             | 180                                |
| <b>TOTAL</b>        |           |                     |                              | 181                            | 522                                |

Fuente: (Autor)

Por tanto se puede concluir que la necesidad energética de las viviendas será de:

$$E_T = 522 \left[ \frac{W \cdot h}{Día} \right]$$

Se debe tomar en cuenta las pérdidas causadas por el autoconsumo del inversor y las reservas futuras. Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11, capítulo 14 considera: las pérdidas causadas por el autoconsumo del inversor bajo cualquier condición climática y de funcionamiento no debe superar al 5% del consumo de energía con carga, recomienda agregar un margen de seguridad del 20% de reserva futura pensando en que con el pasar del tiempo el usuario podrá incluir más cargas en su vivienda [34]. Por tanto:

$$E_i = E_T * (5/100) \quad (\text{Ec. 2})$$

$$E_R = E_T + E_i \quad (\text{Ec. 3})$$

$$E_D = E_R * 1.2 \quad (\text{Ec. 4})$$

**Donde:**

$E_R$ , es la demanda requerida del sistema fotovoltaico en  $Wh/día$  asumida la pérdida por el autoconsumo del inversor,  $E_i$  representa el consumo de energía del inversor y  $E_D$  muestra la demanda de energía total de la vivienda.

La energía total requerida para una vivienda será:  $E_D = 657.72 [Wh/día]$

### **3.2.2. Potencial solar**

#### **3.2.2.1. Atlas solar del Ecuador**

Como referencia de cálculo se usó los mapas de insolación global presentados en el atlas solar del Ecuador para tener una idea de la cantidad de radiación que se puede aprovechar, según el atlas solar del Ecuador, Tungurahua cuenta con una irradiación solar global que esta entre 4.0 a 4.5 kWh/m<sup>2</sup>/día, siendo una cifra favorable para la producción de electricidad y sugerida para el uso de paneles solares, la figura 35 muestra la insolación global promedio en Tungurahua [5].

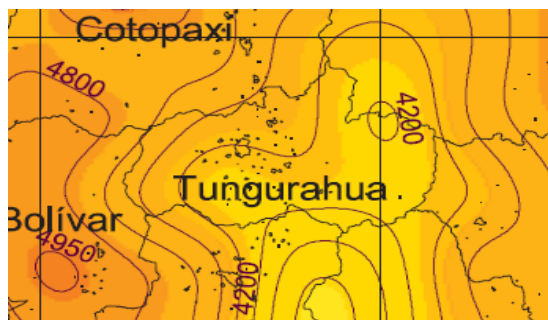


Figura 35: Insulación global anual promedio de la provincia de Tungurahua [5].

### 3.2.2.2. Metodología utilizada para determinar el potencial solar

El comportamiento específico de irradiación solar se puede determinar procesando los datos reales extraídos de la torre de medición almacenados en el Data logger durante el periodo de un año. Para el procesamiento y análisis estadístico de la información se siguieron los siguientes lineamientos:

- a) Se extrajo toda la base de datos de la estación, se suprimió datos innecesarios, los parámetros que se tomaron en cuenta fueron los valores de irradiancia. Se procesó la información desde el mes de noviembre del 2015.
- b) Para hacer un análisis más detallado del potencial solar se pretendía procesar la información durante un año para determinar de todos el mes más crítico, pero, por problemas en el equipo, se perdió la información del doceavo mes, por lo tanto el análisis de ese mes queda descartado.
- c) Los datos procesados son promedios de cada diez minutos durante las 24 horas del día, se obtuvo los promedios mensuales de cada hora, luego se realizaron graficas que relacionan la irradiancia en función de las horas del día (Irradiancia vs tiempo).
- d) Para facilitar el estudio se utilizó un software y hojas de cálculo en Excel
- e) Para determinar la irradiación global diaria promedio mensual sobre un plano horizontal se utilizó el método del trapecio integrando los valores del área bajo la curva de las gráficas de irradiancia vs tiempo.
- f) Para determinar la irradiación total diaria promedio mensual con respecto al plano inclinado del panel solar se aplicó el método desarrollado por Lui y Jordán.

### 3.2.2.2.1. Media aritmética

Conocida también como promedio o simplemente media, determina el promedio de un conjunto de N números, se emplea este método para obtener los valores promedio horarios de irradiancia de los intervalos cada diez minutos, la ecuación característica es:

$$\bar{G} = \frac{G_1 + G_2 + \dots + G_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n G_i \quad (\text{Ec. 5})$$

**Donde:**

$\bar{G}$  = Irradiancia promedio mensual expresada en  $[W/m^2]$

### 3.2.2.2.2. Método del trapecio

La regla del trapecio es un método de aproximación para el cálculo del área bajo la curva, consiste en trazar un trapecio a partir de dos puntos sobre una curva con el fin de determinar su área.

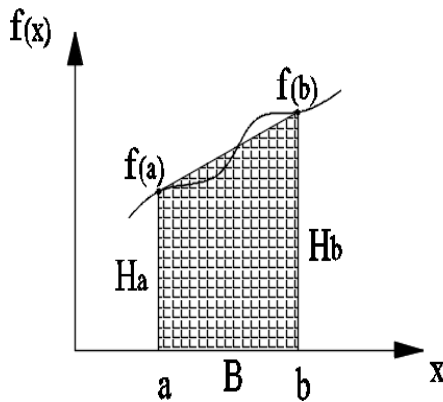


Figura 36: Área bajo la curva

Su fórmula es la siguiente:

$$\text{Area} = \int_a^b f(x) dx \cong (b - a) \frac{f(a) + f(b)}{2} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde *Area* representa el área bajo la curva del trapecio



La energía solar disponible se aproxima al área bajo la curva de las variables de irradiancia en función del tiempo y su valor representa la irradiación global promedio mensual, relacionando el método del trapecio con la gráfica de (irradiancia vs tiempo) se tiene:

$$A = Ed = \int_{t_1}^{t_2} G(t)dt \cong (t_2 - t_1) \frac{G_1 + G_2}{2}$$

Al ser los intervalos en horas del mismo ancho se tiene:

$$t_2 - t_1 = 1 \text{ hora}$$

$$Ed = \frac{1}{2}(G_1 + G_2) [kWh/m^2] \quad (\text{Ec. 7})$$

**Donde:**

$Ed$  = Irradiación mensual horaria expresada en  $[kWh/m^2]$

$G_1, G_2$  = Irradiancia promedio mensual a una determinada hora  $[kW/m^2]$

Para determinar la irradiación global diaria promedio mensual disponible se debe sumar los valores parciales obtenidos de los intervalos en horas, a continuación la fórmula:

$$EG = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{2}(G_i + G_{i+1}) [kWh/m^2 \text{ dia}] \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde  $EG$  representa el valor de irradiación global solar mensual diaria sobre una superficie horizontal expresada en  $[kWh/m^2]$

**Integral definida**

La integral definida permite encontrar el área bajo la curva de una función  $f(x)$  limitada por un intervalo cerrado  $(a, b)$ , siempre y cuando  $(a < b)$ , integrar la ecuación característica de la línea de tendencia de la gráfica (irradiancia vs tiempo) permite verificar el resultado que se obtiene aplicando el método del trapecio. Es recomendable utilizar una ecuación

polinómica de grado seis ya que esta se ajusta mejor a la gráfica de dispersión, mientras el grado del polinomio es mayor el porcentaje de error de aproximación que representa la línea de tendencia es mínimo, a continuación la ecuación para este cálculo:

$$G(t) = a t^6 + b t^5 + c t^4 + d t^3 + e t^2 + f t + g$$

$$A = EG = \int_{t_0}^{t_1} (a t^6 + b t^5 + c t^4 + d t^3 + e t^2 + f t + g) dt \text{ [kWh/m}^2 \text{ dia]}$$

### 3.2.2.2.3. Método de Liu y Jordán

Para aplicar este método es necesario conocer el ángulo óptimo de inclinación del módulo fotovoltaico, la ubicación geográfica de Ecuador permite obtener un gran potencial de energía solar, en nuestro país los paneles solares pueden ser ubicados con cero grados de inclinación, pero por cuestiones de mantenimiento y acumulación de basura en los mismos se recomienda inclinar los módulos a un ángulo no mayor a 10 grados.

La inclinación y orientación de los módulos solares afecta considerablemente en la cantidad de energía que podrá captar el panel, el método desarrollado por Liu y Jordan permite determinar la radiación solar total a determinado ángulo de inclinación tomando como datos de partida la irradiación global diaria promedio mensual sobre una superficie horizontal y la latitud del lugar, considera que la radiación total incidente sobre un plano inclinado está compuesta por tres factores; la radiación directa del sol, la radiación difusa procedente de la bóveda celeste y la radiación reflejada por el suelo hacia la superficie inclinada [16]. Es decir:

$$\bar{H}_T = \bar{I}_{b,h} \bar{R}_b + \bar{I}_{d,h} \bar{R}_d + (\bar{I}_{b,h} + \bar{I}_{d,h}) \bar{R}_\rho \quad (\text{Ec. 9})$$

**Donde:**

$\bar{H}_T$  = Radiación total diaria promedio mensual sobre una superficie inclinada

$\bar{I}_{b,h}$  = Radiación directa diaria promedio mensual incidente sobre un plano horizontal

$\bar{I}_{d,h}$  = Radiación difusa diaria promedio mensual incidente sobre un plano horizontal

$\bar{R}_b$ ,  $\bar{R}_d$  y  $\bar{R}_\rho$ ; son factores de conversión para las componentes de radiación directa, difusa y reflejada sobre una superficie inclinada respectivamente.

**Factor de conversión para la componte directa ( $\bar{R}_b$ ).**

Este factor se obtiene entre la relación de la irradiación directa mensual sobre una superficie inclinada y la irradiación directa mensual sobre una superficie horizontal, depende de la transmitancia atmosférica y varía en función de la nubosidad, concentraciones de vapor de agua y otras partículas [16]. Se aplica la siguiente ecuación:

$$\bar{R}_b = \frac{\omega'_s \text{sen} \delta \text{sen}(\phi - s) + \text{cos} \delta \text{cos}(\phi - s) \text{sen} \omega'_s}{\omega_s \text{sen} \delta \text{sen} \phi + \text{cos} \delta \text{cos} \phi \text{sen} \omega_s} \quad (\text{Ec. 10})$$

**Donde:**

$\delta$  = Declinación

$\omega_s, \omega'_s$  = Son los ángulo de amanecer y puesta del sol.

$s$  = Angulo de inclinación de los paneles solares.

$\phi$  = Latitud del lugar

La declinación indica la posición angular del sol al medio día solar con respecto al plano del Ecuador, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\delta = 23.45^\circ \text{sen} \left[ 360 * \frac{284 + n}{365} \right] \quad (\text{Ec. 11})$$

**Donde:**

$n$  = Días del mes, en el ANEXO 3 se indica los días típicos representativos para cada mes

El ángulo de amanecer y puesta del sol muestra la distancia angular entre el medio día solar y el momento en el que el sol se oculta por el horizonte, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\omega_s = \arccos(-\tan\delta \tan\phi) \quad (\text{Ec. 12})$$

Al inclinar los módulos el ángulo  $\omega'_s$  cambia, en este caso se aplica la siguiente expresión:

$$\omega'_s = \min\{\omega_s, \arccos[-\tan(\phi - s)\tan\delta]\} \quad (\text{Ec. 13})$$

**Factor de conversión para la componente difusa ( $\bar{R}_d$ ).**

Se obtiene entre la relación de la irradiación difusa mensual sobre una superficie inclinada y la irradiación difusa mensual sobre una superficie horizontal, para obtener este factor Liu y Jordan asumen que la radiación procedente de la bóveda celeste es isotrópica [16]. Se aplica la siguiente ecuación para el cálculo:

$$\bar{R}_d = \frac{1 + \cos s}{2} \quad (\text{Ec. 14})$$

**Factor de conversión para la componente reflejada ( $\bar{R}_\rho$ ).**

Se obtiene entre la relación de la irradiación mensual reflejada sobre una superficie y la irradiación global promedio del mes en cuestión, depende de un coeficiente de reflexión que varía según el tipo de suelo, al igual que para el cálculo del factor de componente directa se asume una reflectancia isotrópica y que el suelo a su alrededor es muy grande [16]. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{R}_\rho = \frac{1 - \cos s}{2} \rho \quad (\text{Ec. 15})$$

Donde  $\rho$  representa el coeficiente de reflexión (Albedo), en el ANEXO 3 se muestra una tabla de albedo para los diferentes tipos de suelo.

**Radiación difusa sobre una superficie horizontal ( $\bar{I}_{d,h}$ ).**

Este componente se conoce rara vez o se estima mediante algún instrumento, para el cálculo se relaciona el valor de irradiación global del mes en estudio y un índice de transparencia atmosférico medio mensual, se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\bar{I}_{d,h}}{\bar{H}_G} = 1.390 - 4.027\bar{K}_T + 5.531\bar{K}_T^2 - 3.108\bar{K}_T^3 \quad (\text{Ec. 16})$$

**Donde:**

$\bar{K}_T$  = Índice de transparencia atmosférico

$\bar{H}_G$  = Radiación global mensual incidente sobre una superficie horizontal

El índice de transparencia atmosférico indica la cantidad de radiación que alcanza la superficie de la tierra y se obtiene de la relación entre la irradiación global mensual y la radiación extraterrestre mensual, ambas incidentes sobre una superficie horizontal, es decir:

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}_G}{\bar{H}_o} \quad (\text{Ec. 17})$$

Donde  $\bar{H}_o$  representa la radiación extraterrestre incidente sobre una superficie horizontal.

La radiación extraterrestre indica la cantidad de energía que llega a la parte exterior de la atmosfera, la tierra gira 360° en un día, con la latitud del lugar, la declinación y los ángulos de amanecer y puesta del sol es posible obtener el valor de radiación extraterrestre mensual sobre una superficie horizontal en un (n) día del año, así:

$$(H_o)_n = \frac{24}{\pi} I_{CS} \cdot \epsilon_0 \cdot (\cos\phi \cos\delta \sin\omega_s + \omega_s \sin\phi \sin\delta) \quad (\text{Ec. 18})$$

**Donde:**

$I_{CS}$  = Es la constante solar

$(H_o)_n$  = Radiación extraterrestre mensual horizontal en un (n) día del mes

$\epsilon_0$  = Factor de correlación tierra-sol

La tierra describe una órbita elíptica alrededor del sol por lo que su distancia al sol es variable, para obtener un resultado preciso se utiliza un factor que correlacione la distancia del sol a la tierra, se aplica la siguiente ecuación para el cálculo;

$$\varepsilon_0 = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{360 * n}{365}\right) \quad (\text{Ec. 19})$$

La radiación global sobre una superficie horizontal es la suma de la radiación directa y difusa, con esta consideración se integra cada factor antes mencionado a la ecuación (Ec.10) para obtener una expresión característica que represente la irradiación total diaria mensual sobre la superficie inclinada del módulo, así:

$$\bar{H}_T = (\bar{H}_G - \bar{I}_{d.h})\bar{R}_b + \bar{I}_{d.h} * \frac{1 + \cos s}{2} + \bar{H}_G * \frac{1 - \cos s}{2} \rho \quad (\text{Ec. 20})$$

Si aplicamos el mismo principio de conversión de las componentes de radiación, el factor de conversión de la irradiación total diaria promedio sobre una superficie inclinada será:

$$\bar{R} = \frac{\bar{H}_T}{\bar{H}_G} \quad (\text{Ec. 21})$$

Reemplazando la ecuación (Ec. 21) en la ecuación (Ec. 22) se tiene:

$$\bar{R} = \left(1 - \frac{\bar{I}_{d.h}}{\bar{H}_G}\right)\bar{R}_b + \frac{\bar{I}_{d.h}}{\bar{H}_G} * \left(\frac{1 + \cos s}{2}\right) + \frac{1 - \cos s}{2} \rho \quad (\text{Ec. 22})$$

**Donde:**

$\bar{R}$  = Es el factor de conversión de irradiación total diaria promedio mensual sobre una superficie inclinada.

### 3.2.2.3. Interpretación de resultados en gráficas y tablas

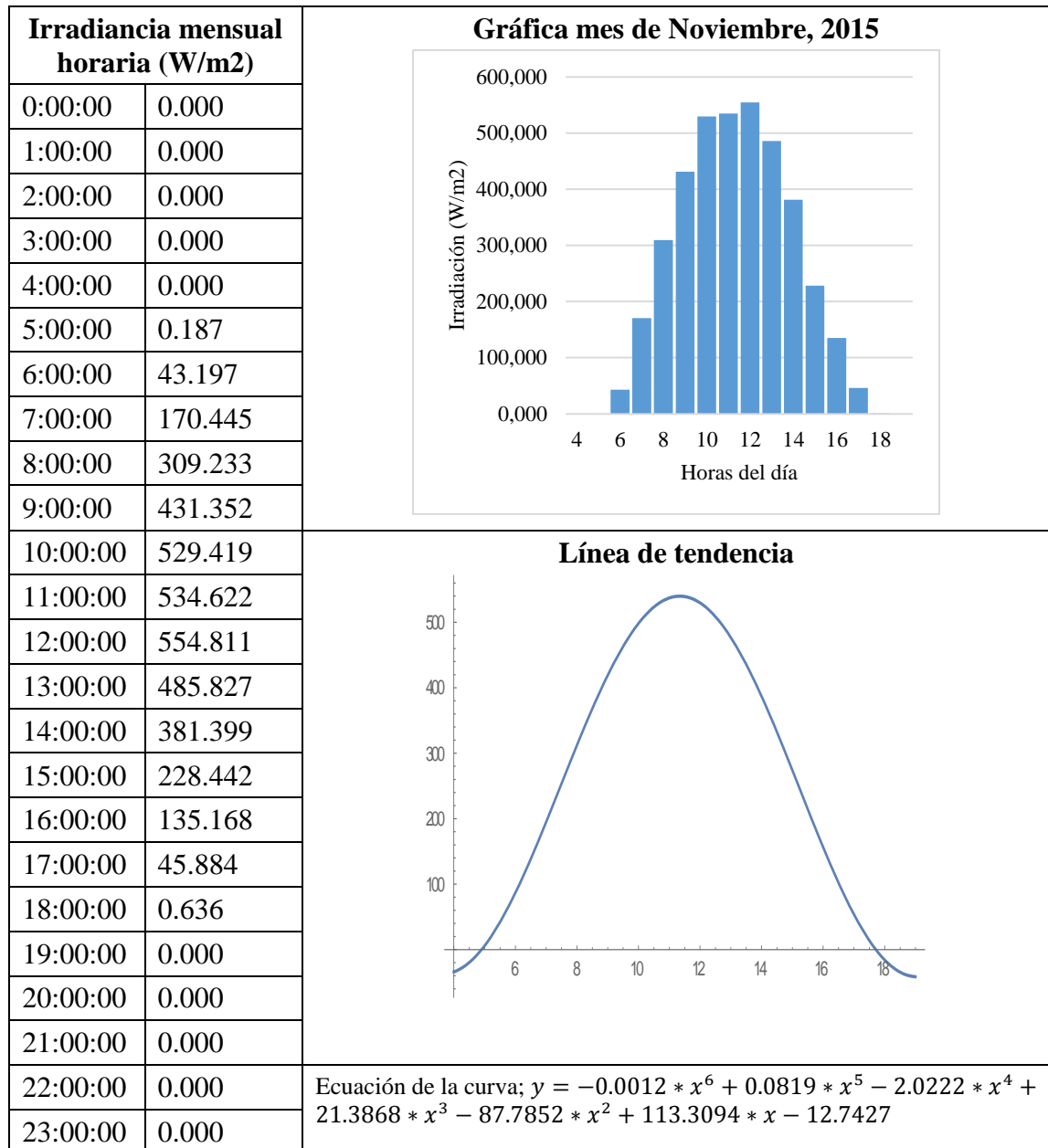
#### Irradiancia horaria promedio mensual

Una vez que se procesó los datos de radiación global extraídos de la torre de medición mediante la aplicación del método de la media aritmética se presentan los siguientes gráficos y resultados que muestran los valores promedios horarios mensuales de irradiancia característicos de cada uno de los meses analizados.

## Noviembre 2015

El comportamiento de radiación solar diaria mensual comienza a las 6:00 am y termina a las 6:00 pm, a las 6:00 de la mañana se tiene una irradiancia de 43.19 w/m<sup>2</sup>, asciende y alcanza su valor máximo a las 12:00 del mediodía, cuyo valor bordea los 554.81 w/m<sup>2</sup>, nuevamente comienza a decaer hasta llegar a las 18:00 pm con valor igual a 0.63 w/m<sup>2</sup>.

TABLA XVII: Irradiancia mensual horaria de noviembre 2015

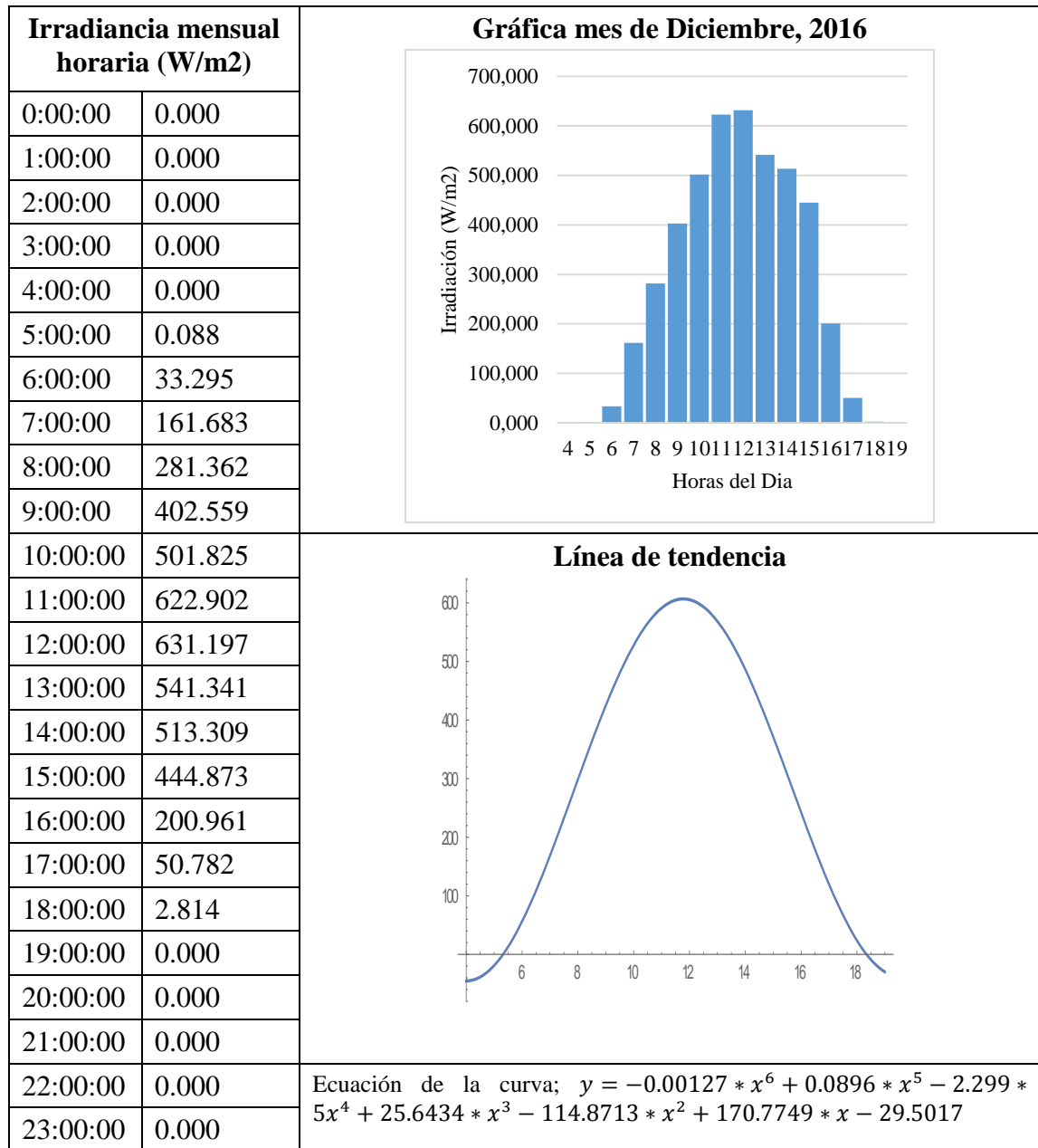


Fuente: (Autor)

## Diciembre 2015

El comportamiento de radiación solar diaria mensual comienza a las 6:00 am y termina a las 6:00 pm, a las 6:00 de la mañana se tiene una irradiancia de 33.29 w/m<sup>2</sup>, asciende y alcanza su valor máximo a las 12:00 del mediodía, cuyo valor bordea los 622.909 w/m<sup>2</sup>, nuevamente comienza a decaer hasta llegar a las 18:00 pm con valor igual a 2.814 w/m<sup>2</sup>.

TABLA XVIII: Irradiancia mensual horaria de diciembre 2015



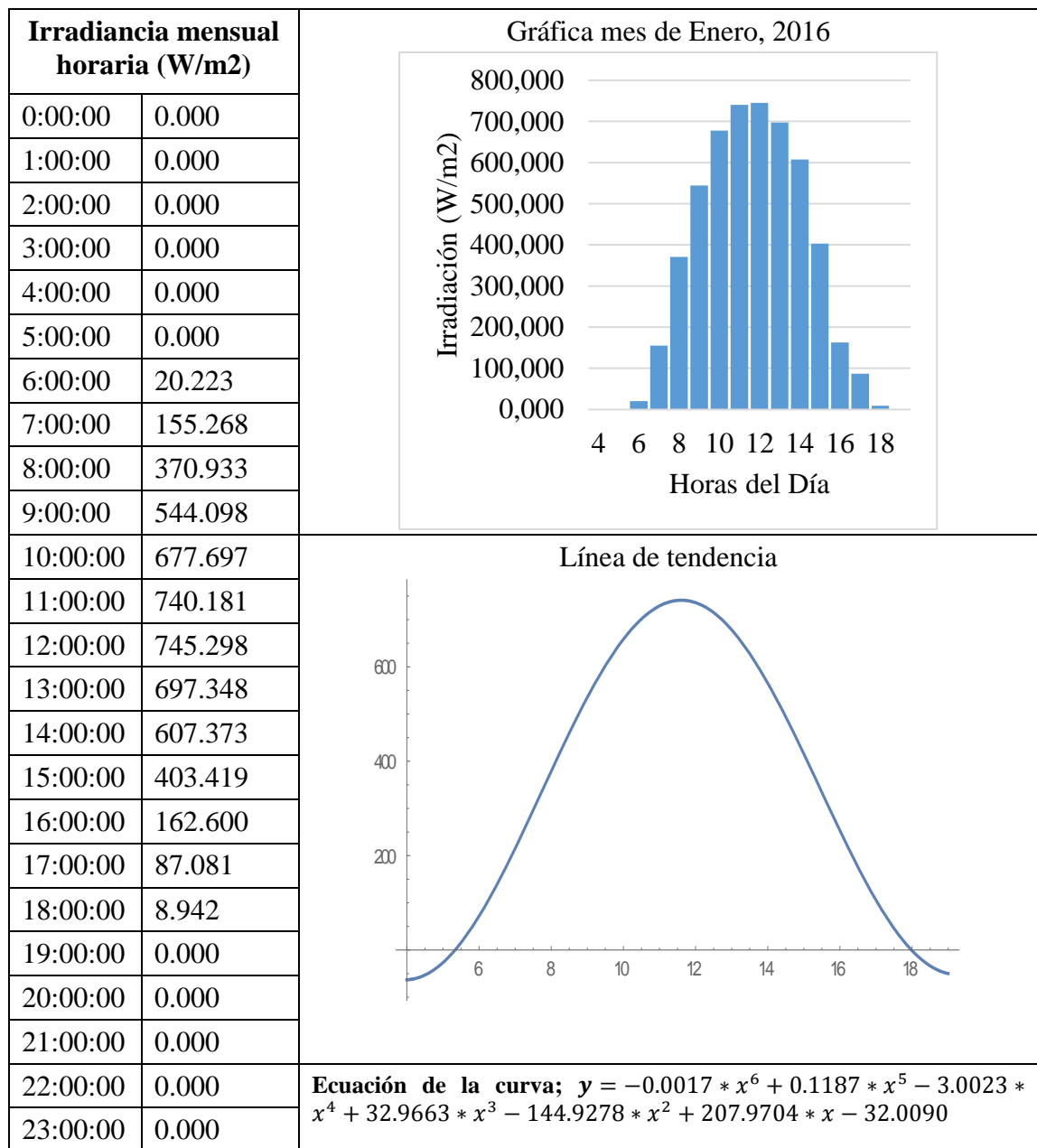
Fuente: (Autor)



## Enero 2016

El comportamiento de radiación solar diaria mensual comienza a las 6:00 am y termina a las 6:00 pm, a las 6:00 de la mañana se tiene una irradiancia de 20.22 w/m<sup>2</sup>, asciende y alcanza su valor máximo a las 12:00 del mediodía, cuyo valor bordea los 745.18 w/m<sup>2</sup>, nuevamente comienza a decaer hasta llegar a las 18:00 pm con valor igual a 8.942 w/m<sup>2</sup>.

TABLA XIX: Irradiancia mensual horaria de Enero 2016

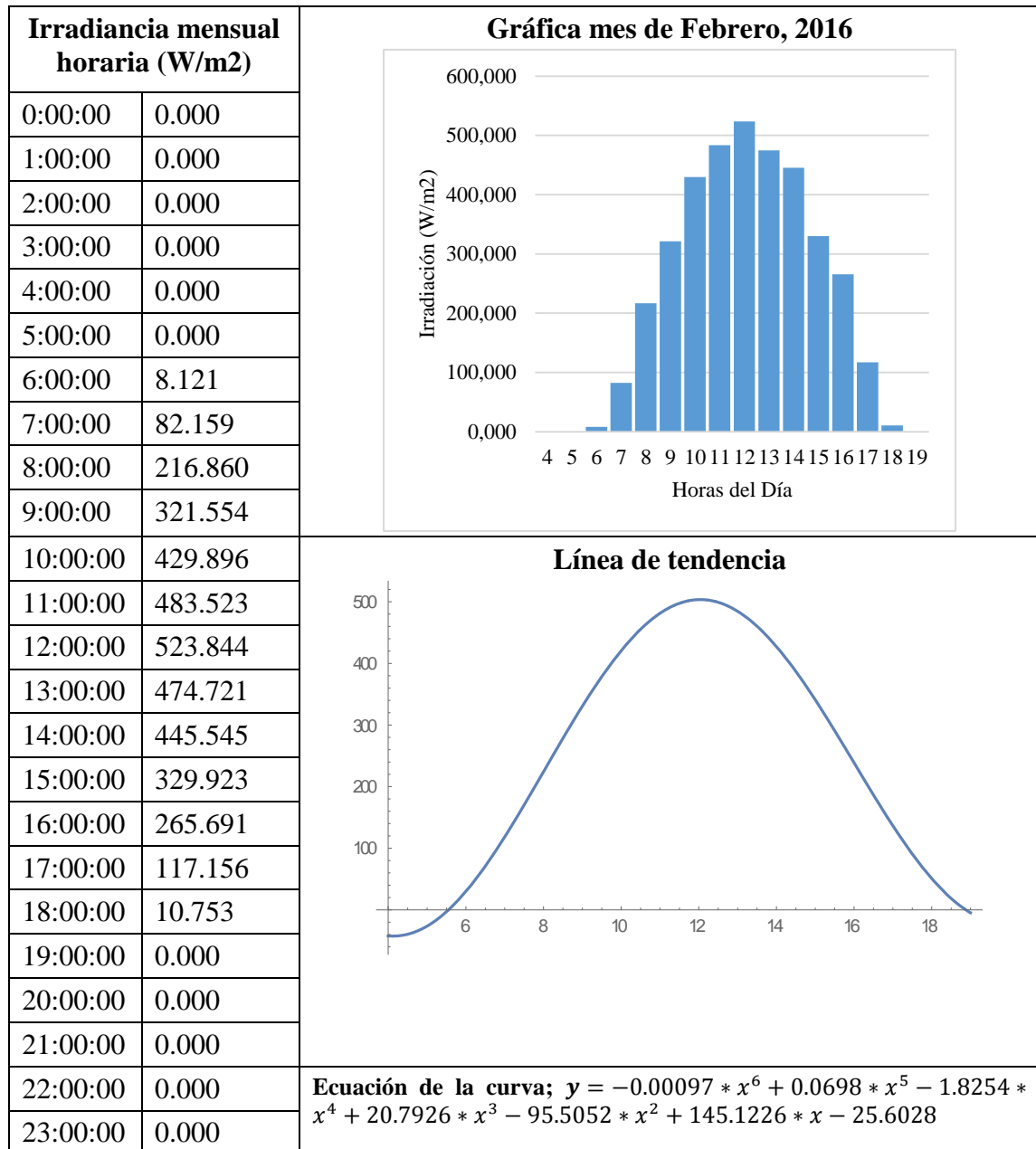


Fuente: (Autor)

## Febrero 2016

El comportamiento de radiación solar diaria mensual comienza a las 6:00 am y termina a las 6:00 pm, a las 6:00 de la mañana se tiene una irradiancia de 8.12 w/m<sup>2</sup>, asciende y alcanza su valor máximo a las 12:00 del mediodía, cuyo valor bordea los 523.84 w/m<sup>2</sup>, nuevamente comienza a decaer hasta llegar a las 18:00 pm con valor igual a 10.753 w/m<sup>2</sup>.

TABLA XX: Irradiancia mensual horaria de Febrero 2016

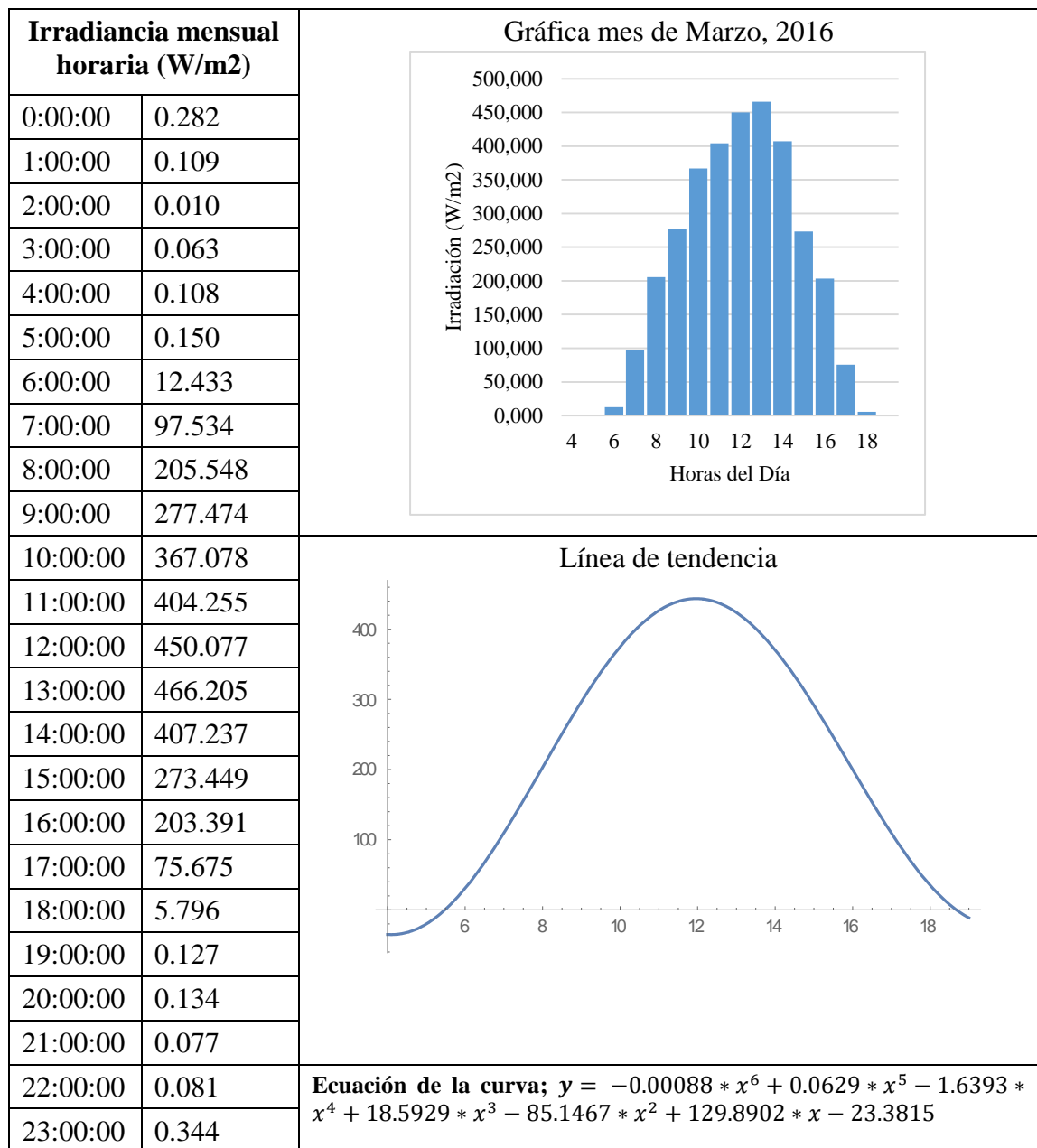


Fuente: (Autor)

## Marzo 2016

El comportamiento de radiación solar diaria mensual comienza a las 6:00 am y termina a las 6:00 pm, a las 6:00 de la mañana se tiene una irradiancia de 12.43 w/m<sup>2</sup>, asciende y alcanza su valor máximo a las 13:00 de la tarde, cuyo valor bordea los 466.205 w/m<sup>2</sup>, nuevamente comienza a decaer hasta llegar a las 18:00 pm con valor igual a 5.796 w/m<sup>2</sup>.

TABLA XXI: Irradiancia mensual horaria de Marzo 2016

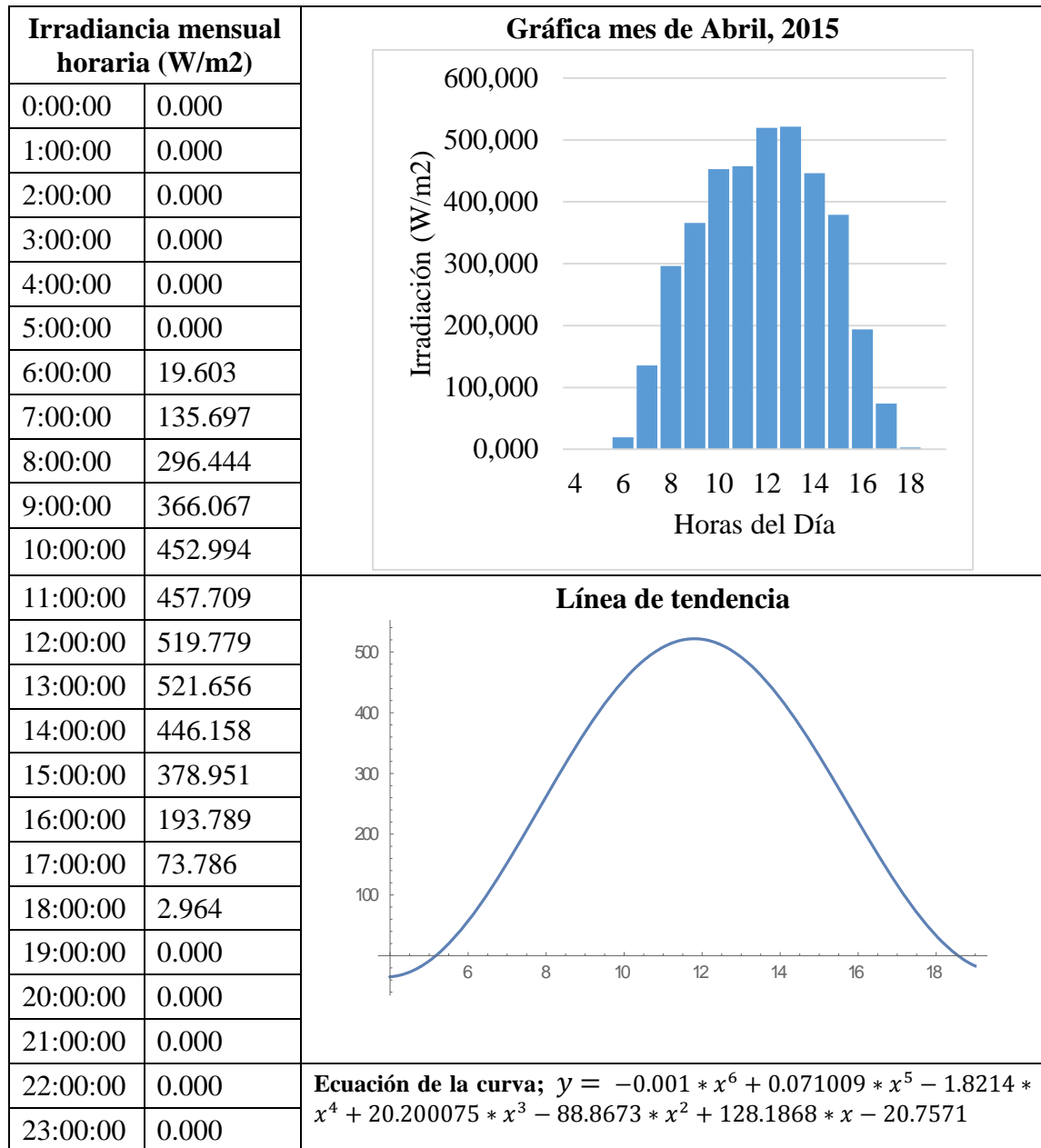


Fuente: (Autor)

## Abril 2016

El comportamiento de radiación solar diaria mensual comienza a las 6:00 am y termina a las 6:00 pm, a las 6:00 de la mañana se tiene una irradiancia de 19.603 w/m<sup>2</sup>, asciende y alcanza su valor máximo a las 13:00 de la tarde, cuyo valor bordea los 521.65 w/m<sup>2</sup>, nuevamente comienza a decaer hasta llegar a las 18:00 pm con valor igual a 2.96 w/m<sup>2</sup>.

TABLA XXII: Irradiancia mensual horaria de Abril 2016

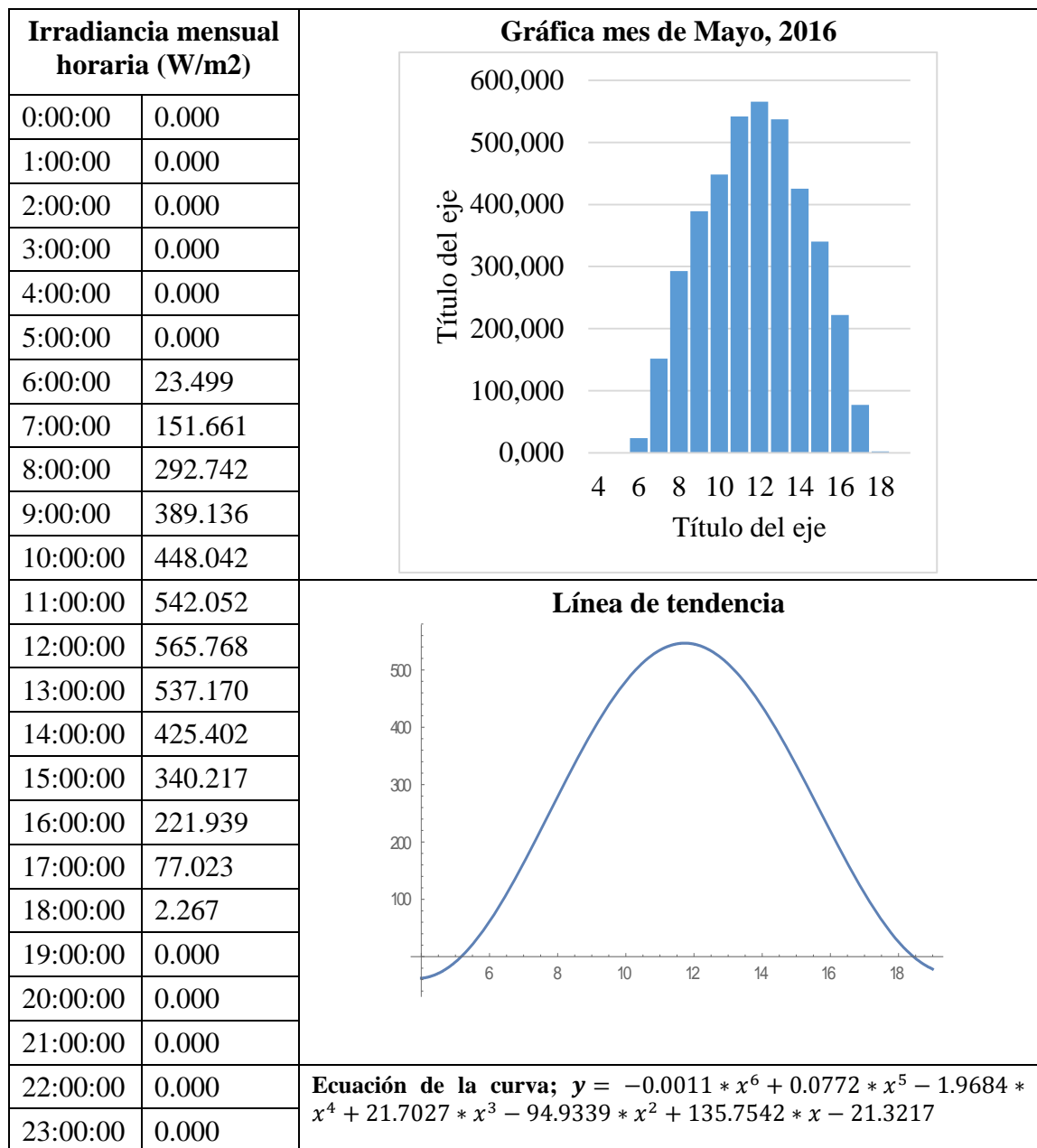


Fuente: (Autor)

## Mayo 2016

El comportamiento de radiación solar diaria mensual comienza a las 6:00 am y termina a las 6:00 pm, a las 6:00 de la mañana se tiene una irradiancia de 23.49 w/m<sup>2</sup>, asciende y alcanza su valor máximo a las 12:00 del mediodía, cuyo valor bordea los 565.76 w/m<sup>2</sup>, nuevamente comienza a decaer hasta llegar a las 18:00 pm con valor igual a 2.267 w/m<sup>2</sup>.

TABLA XXIII: Irradiancia mensual horaria de Mayo 2016

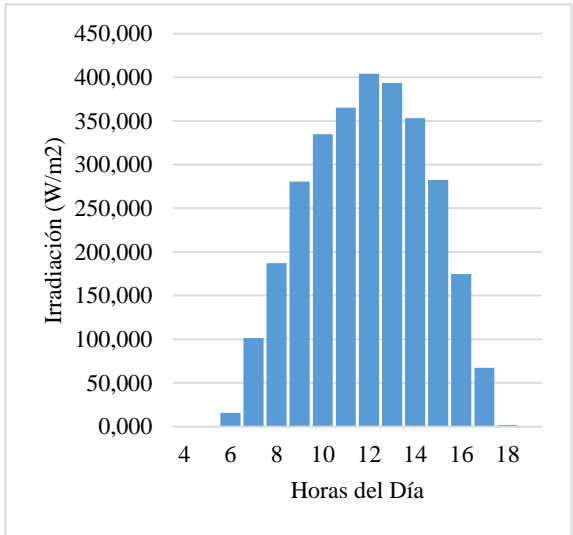


Fuente: (Autor)

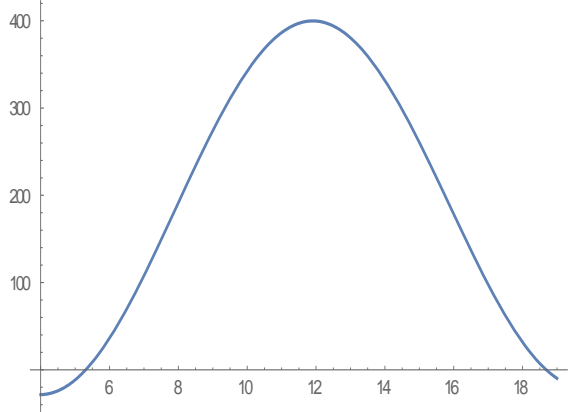
## Junio 2016

El comportamiento de radiación solar diaria mensual comienza a las 6:00 am y termina a las 6:00 pm, a las 6:00 de la mañana se tiene una irradiancia de 15.51 w/m<sup>2</sup>, asciende y alcanza su valor máximo a las 12:00 del mediodía, cuyo valor bordea los 404.15 w/m<sup>2</sup>, nuevamente comienza a decaer hasta llegar a las 18:00 pm con valor igual a 1.846 w/m<sup>2</sup>.

TABLA XXIV: Irradiancia mensual horaria de Junio 2016

| Irradiancia mensual horaria (W/m <sup>2</sup> ) |         | <p><b>Gráfica mes de Junio, 2016</b></p>  |
|---|---------|--|
| 0:00:00   | 0.000   |  |
| 1:00:00   | 0.000   |  |
| 2:00:00   | 0.000   |  |
| 3:00:00   | 0.000   |  |
| 4:00:00   | 0.000   |  |
| 5:00:00   | 0.000   |  |
| 6:00:00   | 15.519  |  |
| 7:00:00   | 101.323 |  |
| 8:00:00   | 187.027 |  |
| 9:00:00   | 280.502 |  |
| 10:00:00  | 334.841 |  |
| 11:00:00  | 365.098 |  |
| 12:00:00  | 404.150 |  |
| 13:00:00  | 393.617 |  |
| 14:00:00  | 353.071 |  |
| 15:00:00  | 282.459 |  |
| 16:00:00  | 174.732 |  |
| 17:00:00  | 67.327  |  |
| 18:00:00  | 1.846   |  |
| 19:00:00  | 0.000   |  |
| 20:00:00  | 0.000   |  |
| 21:00:00  | 0.000   |  |
| 22:00:00  | 0.000   |  |
| 23:00:00  | 0.000   |  |

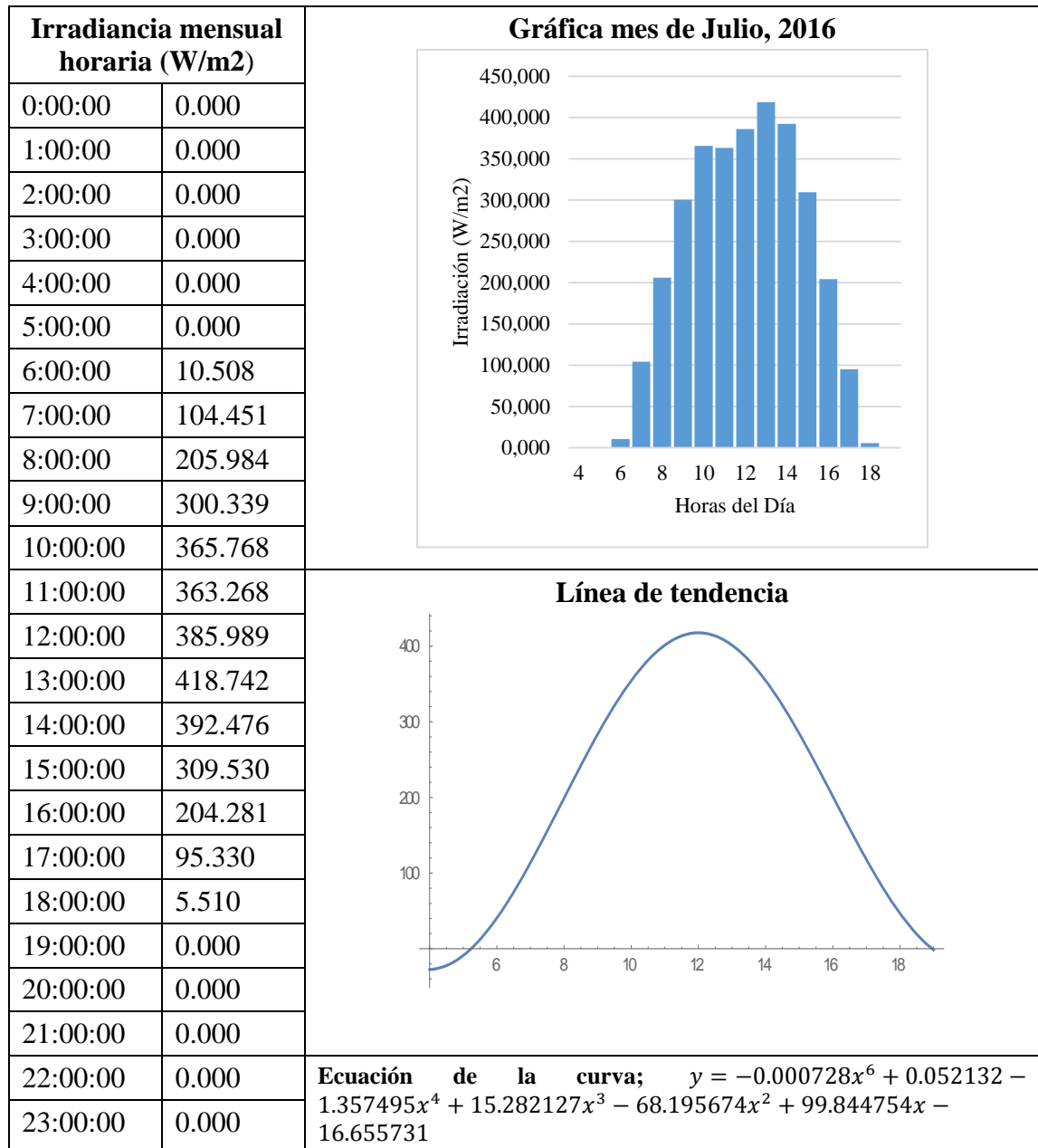
|   |  | <p><b>Línea de tendencia</b></p>  |
|---|--|---|
| <p><b>Ecuación de la curva;</b> <math>y = -0.000767 * x^6 + 0.0545 * x^5 - 1.411 * x^4 + 15.855 * x^3 - 71.2228 * x^2 + 105.821 * x - 18.249</math></p> |  |   |

Fuente: (Autor)

## Julio 2016

El comportamiento de radiación solar diaria mensual comienza a las 6:00 am y termina a las 6:00 pm, a las 6:00 de la mañana se tiene una irradiancia de 10.508 w/m<sup>2</sup>, asciende y alcanza su valor máximo a las 13:00 de la tarde, cuyo valor bordea los 418.74 w/m<sup>2</sup>, nuevamente comienza a decaer hasta llegar a las 18:00 pm con valor igual a 5.51 w/m<sup>2</sup>.

TABLA XXV: Irradiancia mensual horaria de Julio 2016

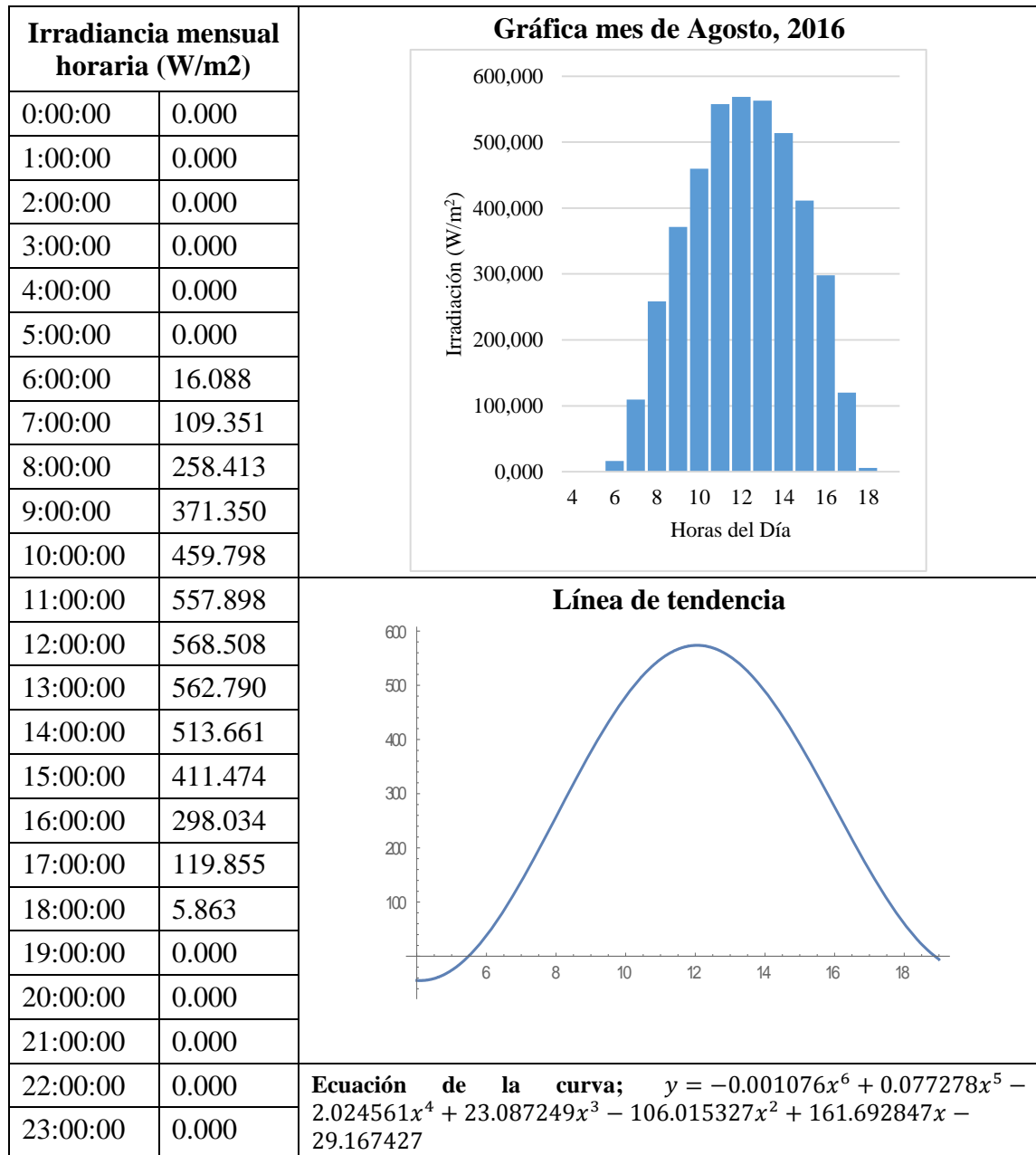


Fuente: (Autor)

## Agosto 2016

El comportamiento de radiación solar diaria mensual comienza a las 6:00 am y termina a las 6:00 pm, a las 6:00 de la mañana se tiene una irradiancia de 16.08 w/m<sup>2</sup>, asciende y alcanza su valor máximo a las 12:00 del mediodía, cuyo valor bordea los 568.508 w/m<sup>2</sup>, nuevamente comienza a decaer hasta llegar a las 18:00 pm con valor igual a 5.863 w/m<sup>2</sup>.

TABLA XXVI: Irradiancia mensual horaria de Agosto 2016



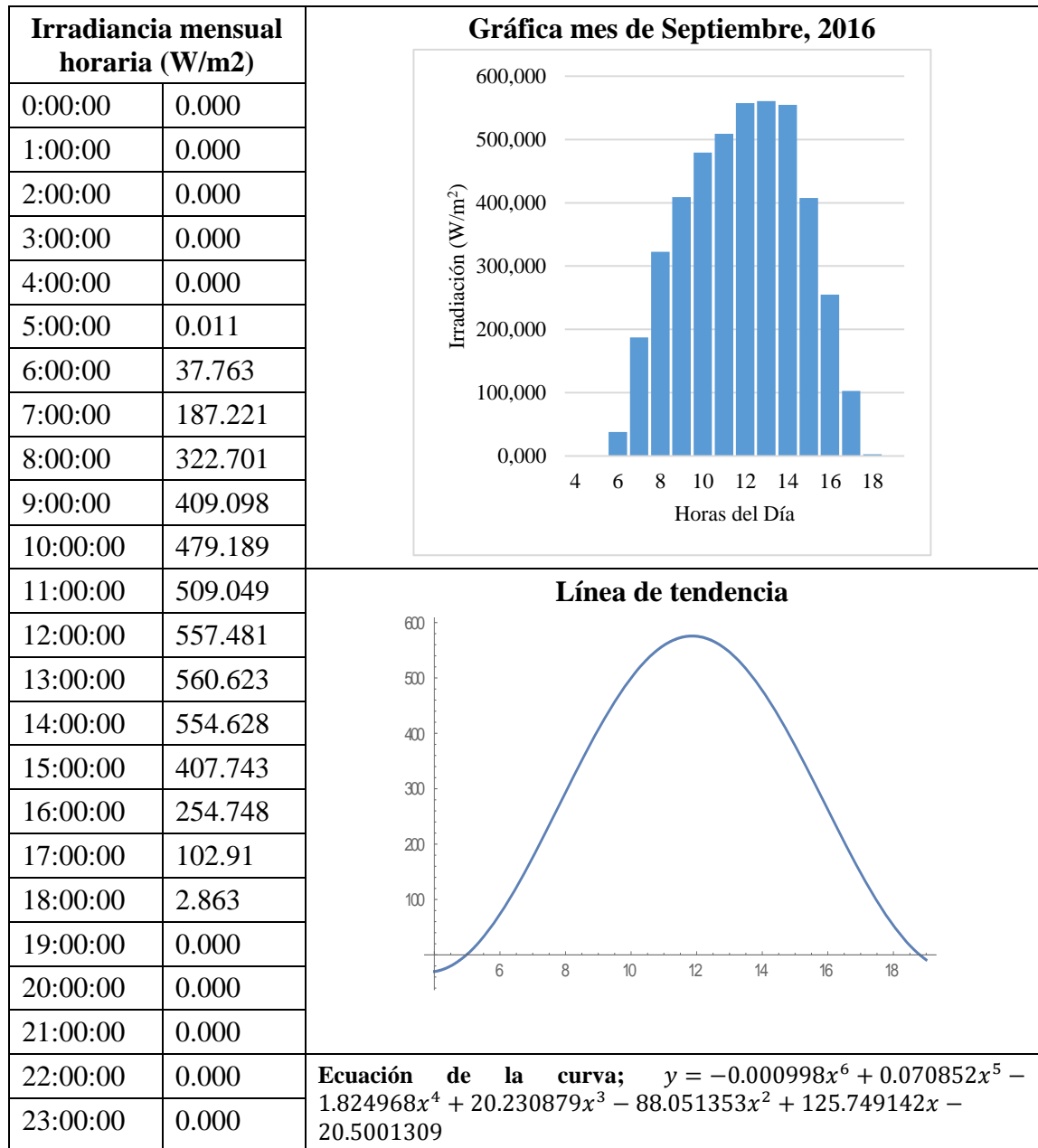
Fuente: (Autor)



## Septiembre 2016

El comportamiento de radiación solar diaria mensual comienza a las 6:00 am y termina a las 6:00 pm, a las 6:00 de la mañana se tiene una irradiancia de 37.76 w/m<sup>2</sup>, asciende y alcanza su valor máximo a las 12:00 del mediodía, cuyo valor bordea los 557.48 w/m<sup>2</sup>, nuevamente comienza a decaer hasta llegar a las 18:00 pm con valor igual a 2.863 w/m<sup>2</sup>.

TABLA XXVII: Irradiancia mensual horaria de septiembre 2016



Fuente: (Autor)

Los resultados obtenidos de los 11 meses analizados muestran que al medio día el sol brilla con más fuerza alcanzando valores altos de irradiancia, Enero es el mes con mayor presencia de sol obteniendo valores de irradiancia que llegan hasta 745.28 W/m<sup>2</sup>, mientras que en Junio se tiene valores de 404.15 W/m<sup>2</sup>.

### **Irradiación global diaria promedio mensual sobre una superficie horizontal**

Una vez aplicado el método del trapecio se presenta la tabla XXXIII que muestra los resultados de irradiación global diaria promedio mensual sobre una superficie horizontal, su irradiancia y un porcentaje de error el cual indica si es confiable el uso del método del trapecio al comparar los resultados integrando la ecuación representativa de las líneas de tendencia de cada uno de los gráficos anteriormente señalados.

**TABLA XXVIII:** Resultados de irradiación solar mensual promedio

| No | MES        | IRRADIANCIA<br>(W/m <sup>2</sup> ) | Irradiación<br>promedio<br>mensual<br>Met. Trapecio<br>kWh/m <sup>2</sup> .día | Irradiación<br>promedio<br>mensual<br>Integración<br>kWh/m <sup>2</sup> .día | PORCENTAJE<br>DE ERROR |
|----|------------|------------------------------------|--|--|------------------------|
| 1  | Noviembre  | 554.81                             | 3.6984   | 3.7324   | 0.92%                  |
| 2  | Diciembre  | 631.19                             | 4.2465   | 4.2801   | 0.79%                  |
| 3  | Enero      | 745.29                             | 5.0701   | 5.1355   | 1.29%                  |
| 4  | Febrero    | 523.84                             | 3.5912   | 3.5954   | 0.12%                  |
| 5  | Marzo      | 466.20                             | 3.1413   | 3.1555   | 0.45%                  |
| 6  | Abril      | 519.77                             | 3.7382   | 3.7308   | 0.20%                  |
| 7  | Mayo       | 565.76                             | 3.8768   | 3.8838   | 0.18%                  |
| 8  | Junio      | 404.15                             | 2.8598   | 2.8617   | 0.07%                  |
| 9  | Julio      | 418.74                             | 3.0462   | 3.0269   | 0.63%                  |
| 10 | Agosto     | 568.50                             | 4.1165   | 4.1123   | 0.10%                  |
| 11 | Septiembre | 560.62                             | 4.2003   | 4.1796   | 0.49%                  |

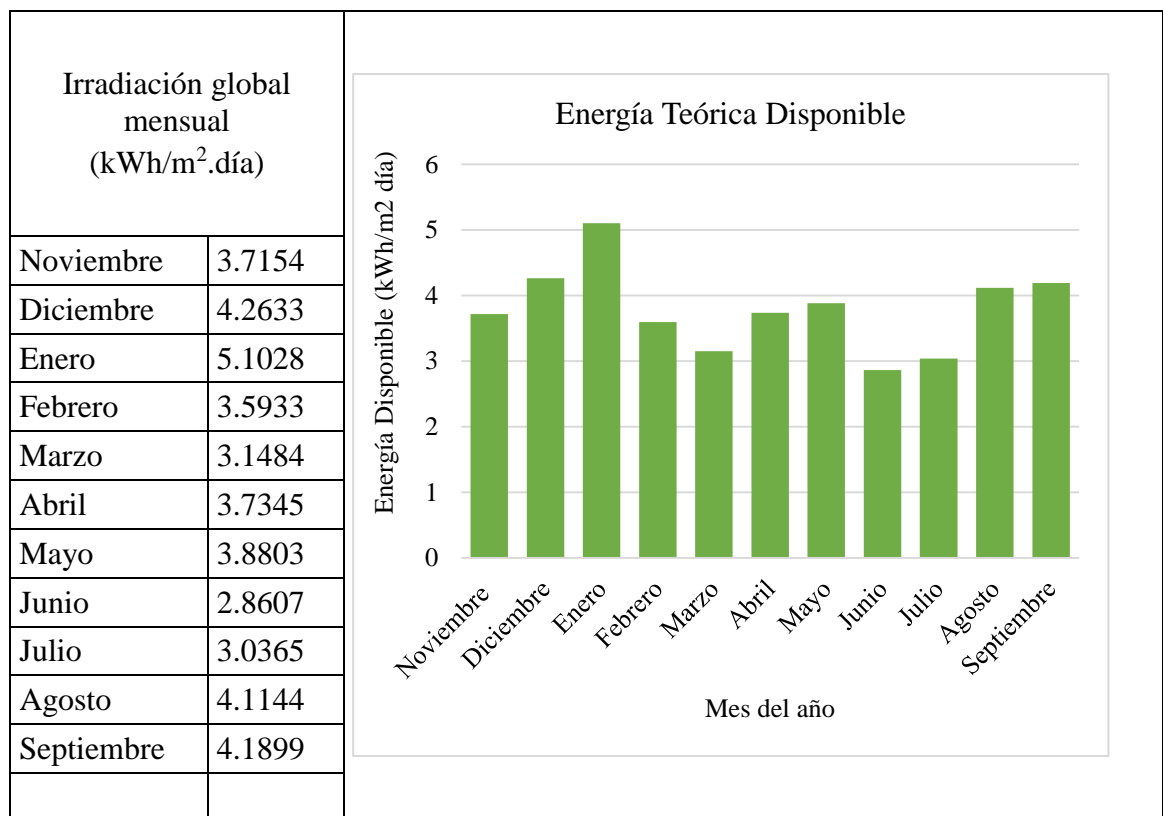
Fuente: (Autor)

Como se puede observar el margen de error o diferencia entre la integral definida de la ecuación característica para cada mes y el método del trapecio es inferior al 1.5%, por lo que se puede deducir que los resultados obtenidos son satisfactorios y que cuando no se

tiene una línea de tendencia bien definida la aplicación del método de integración se puede obviar.

Finalmente se presenta una gráfica de barras que muestra los datos de irradiación global diaria promedio de cada mes, con un promedio de los 11 meses igual a 3.7854 kWh/m<sup>2</sup> día, si comparamos este valor con los datos que nos facilita el atlas solar del Ecuador es menor (4 a 5.5 kWh/m<sup>2</sup> día), esto se debe a que los datos facilitados por dicho documento son generales para la provincia de Tungurahua y es un estudio realizado en 2008, mientras que los valores que se obtuvieron mediante el procesamiento y análisis de la información son datos reales medidos durante un periodo de tiempo en un lugar específico y que nos servirán para hacer un dimensionamiento más eficiente del sistema.

TABLA XXIX: Irradiación global mensual



Fuente: (Autor)

De la tabla anterior se puede observar que el mes con mayor irradiación global es Enero con 5.10 kWh/m<sup>2</sup>.día y el mes con menor irradiación global es Junio con 2.86 kWh/m<sup>2</sup>.día.

## Irradiación total diaria promedio mensual sobre una superficie inclinada

Para conocer este valor es necesario determinar primero algunos parámetros de cálculo generales para todos los meses, en la tabla XXX se muestra datos de latitud, ángulo óptimo de inclinación y orientación, factores de conversión de la componente difusa y reflejada

TABLA XXX: Parámetros generales de cálculo

|  |         |
|--|---------|
| Latitud  | 1.365°  |
| Angulo óptimo de inclinación del panel                         | 10°     |
| Factor de conversión de la componente difusa $\bar{R}_d$       | 0.9924  |
| Factor de conversión de la componente reflejada $\bar{R}_\rho$ | 0.00194 |

(Fuente: autor)

En la Tabla XXXI se observa parámetros de cálculo específicos para cada uno de los meses y que sirven para determinar los valores de radiación promedio sobre una superficie inclinada de cada uno de los meses analizados.

TABLA XXXI: Parámetros de cálculo para cada mes

| MES        | $n$ | $\delta$ | $\omega_s$ | $\omega'_s$ | $\epsilon_0$ | $\bar{H}_o$ | $\bar{R}_b$ | $\bar{K}_T$ | $\frac{\bar{I}_{d,h}}{\bar{H}_G}$ |
|------------|-----|----------|------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------------------|
| Noviembre  | 318 | -18.91   | 89.54      | 1.563       | 1.023        | 9.975       | 1.083       | 0.372       | 0.497                             |
| Diciembre  | 344 | -23.05   | 89.42      | 1.561       | 1.031        | 9.748       | 1.106       | 0.437       | 0.427                             |
| Enero      | 17  | -20.92   | 89.48      | 1.562       | 1.032        | 9.921       | 1.094       | 0.514       | 0.359                             |
| Febrero    | 47  | -12.95   | 89.69      | 1.565       | 1.023        | 10.319      | 1.052       | 0.348       | 0.527                             |
| Marzo      | 75  | -2.42    | 89.94      | 1.570       | 1.009        | 10.508      | 1.000       | 0.300       | 0.596                             |
| Abril      | 105 | 9.41     | 90.22      | 1.575       | 0.992        | 10.280      | 0.944       | 0.363       | 0.508                             |
| Mayo       | 135 | 18.79    | 90.46      | 1.579       | 0.977        | 9.779       | 0.899       | 0.397       | 0.469                             |
| Junio      | 162 | 23.09    | 90.58      | 1.581       | 0.969        | 9.454       | 0.876       | 0.303       | 0.592                             |
| Julio      | 198 | 21.18    | 90.53      | 1.580       | 0.968        | 9.559       | 0.886       | 0.318       | 0.569                             |
| Agosto     | 228 | 13.45    | 90.32      | 1.576       | 0.977        | 9.998       | 0.925       | 0.411       | 0.453                             |
| Septiembre | 258 | 2.22     | 90.05      | 1.572       | 0.991        | 10.353      | 0.978       | 0.405       | 0.460                             |

(Fuente: autor)

Realizados los cálculos respectivos aplicando el método desarrollado por Liu y Jordán se obtuvo los valores reales de irradiación total incidente sobre el plano inclinado del módulo

de los meses en cuestión. Tomando como base de datos los resultados de irradiación global sobre una superficie horizontal que fueron procesados de la torre de medición ubicada en el sector Rio Blanco, a continuación se muestra la tabla XXXII con los resultados más relevantes:

**TABLA XXXII:** Resultados de radiación total sobre una superficie inclinada

| Mes        | Declina-<br>ción ( $\delta^\circ$ ) | Angulo<br>horario<br>( $\omega_s^\circ$ ) | Radiación<br>extraterrestre<br>sobre una<br>superficie<br>horizontal<br>$(H_o)_n$<br>( $KWh/m^2$ ) | $\bar{R}$ | Radiación<br>global<br>mensual sobre<br>una superficie<br>horizontal<br>$\bar{H}_G$<br>( $KWh$<br>$/m^2 \cdot día$ ) | Radiación<br>total mensual<br>sobre una<br>superficie<br>inclinada<br>$\bar{H}_T$<br>( $KWh$<br>$/m^2 \cdot día$ ) |
|------------|-------------------------------------|---|--|-----------|--|--|
| Noviembre  | -18.91                              | 89.54                                     | 9.975  | 1.040     | 3.715  | 3.863  |
| Diciembre  | -23.05                              | 89.42                                     | 9.748  | 1.059     | 4.263  | 4.516  |
| Enero      | -20.92                              | 89.48                                     | 9.921  | 1.059     | 5.103  | 5.406  |
| Febrero    | -12.95                              | 89.69                                     | 10.319   | 1.023     | 3.593  | 3.674  |
| Marzo      | -2.42                               | 89.94                                     | 10.508   | 0.997     | 3.148  | 3.140  |
| Abril      | 9.41                                | 90.22                                     | 10.280   | 0.971     | 3.734  | 3.624  |
| Mayo       | 18.79                               | 90.46                                     | 9.779  | 0.945     | 3.880  | 3.665  |
| Junio      | 23.09                               | 90.58                                     | 9.454  | 0.947     | 2.861  | 2.709  |
| Julio      | 21.18                               | 90.53                                     | 9.559  | 0.949     | 3.036  | 2.880  |
| Agosto     | 13.45                               | 90.32                                     | 9.998  | 0.957     | 4.114  | 3.939  |
| Septiembre | 2.22                                | 90.05                                     | 10.353   | 0.987     | 4.190  | 4.134  |

Fuente: (Autor)

De los resultados que se muestran en la tabla anterior se puede concluir que el mes más desfavorable es Junio con un valor de irradiación total diaria promedio mensual sobre una superficie inclina igual a  $2.709 \text{ kWh}/m^2$  y con un valor de irradiación global diaria promedio mensual sobre una superficie horizontal igual a  $2.861 \text{ kWh}/m^2$ .

### 3.2.3. Fuentes de energía alternativas en el sector.

En el sector estudiantes de la Universidad Técnica de Ambato realizaron un estudio para determinar el potencial eólico e implementación de pequeños conversores de energía

eólica, los resultados del estudio muestran que la energía eólica aprovechable en el sector es alta, se obtuvo un valor real promedio de velocidad del viento de 5.5 m/s que resulta adecuado para la implementación de pequeños aerogeneradores de baja potencia, en cuanto al potencial eólico predominante en la zona, se obtuvo un valor de 258 W/m<sup>2</sup> a una altura de 12 metros suficiente para satisfacer las necesidades de una vivienda típica del sector a lo largo del año.

En cuanto al potencial solar en la zona, se obtuvo un valor real promedio de radiación global anual igual a 3.8 kWh/m<sup>2</sup>.día que es un valor relativamente alto y factible para la implementación de sistemas fotovoltaicos, a esto se suma la posición geográfica del Ecuador donde se tiene poca variabilidad en la posición del sol a lo largo del año y un promedio de 12 horas de sol al día lo cual favorece la aplicación de energía solar para implementar sistemas fotovoltaicos de baja potencia.

Haciendo un análisis de factibilidad de los resultados de velocidad del viento y radiación global mensual se puede establecer las siguientes conclusiones:

- La velocidad del viento es mayor en los meses de junio y julio con 6.67 y 6.97 m/s respectivamente, mientras que los valores de radiación solar promedio son los más bajos con 2.86 y 3.03 kWh/m<sup>2</sup>, por el contrario, la radiación solar llega a su valor más alto en el mes de enero con 5.41 kWh/m<sup>2</sup> mientras que la velocidad del viento está en su valor más bajo con 4.11 m/s, por lo tanto, bajo esta perspectiva si es viable acoplar el sistema solar con el sistema fotovoltaico ya que los dos sistemas son complementarios entres si, cuando el recurso solar es bajo el aporte eólico es alto y viceversa, mientras que en los demás meses se tienen valores promedios aceptables de ambos recursos.
- Tanto el aerogenerador como el sistema fotovoltaico están en condiciones de satisfacer la demanda de energía al 100% pero por cuestiones climatologías impredecibles y para minimizar el consto de implementación se asume que cada sub-sistema de generación deberá entregar un 50% del total de energía requerida.

### 3.2.4. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Previo a la aplicación de fórmulas para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico se utilizó el programa PVsyst V6.40 en su versión de prueba, se utilizó este programa como una guía de selección de componentes, permite hacer un estudio, análisis y simulación completa de un sistema fotovoltaico, en la figura 37 se puede apreciar la pantalla de inicio al programa con las variables que ofrece.



Figura 37: Interfaz PVsyst y selección del tipo de sistema a instalarse

Fuente: (Autor)

La base de datos del programa importa datos de radiación solar mensual de archivos proporcionados por la NASA, también permite crear una nueva base de datos dando al usuario la opción de elegir que parámetros desea utilizar en su análisis. Al contar con los datos de radiación escogeremos la segunda opción para obtener un análisis más preciso del lugar donde se pretende instalar el sistema.

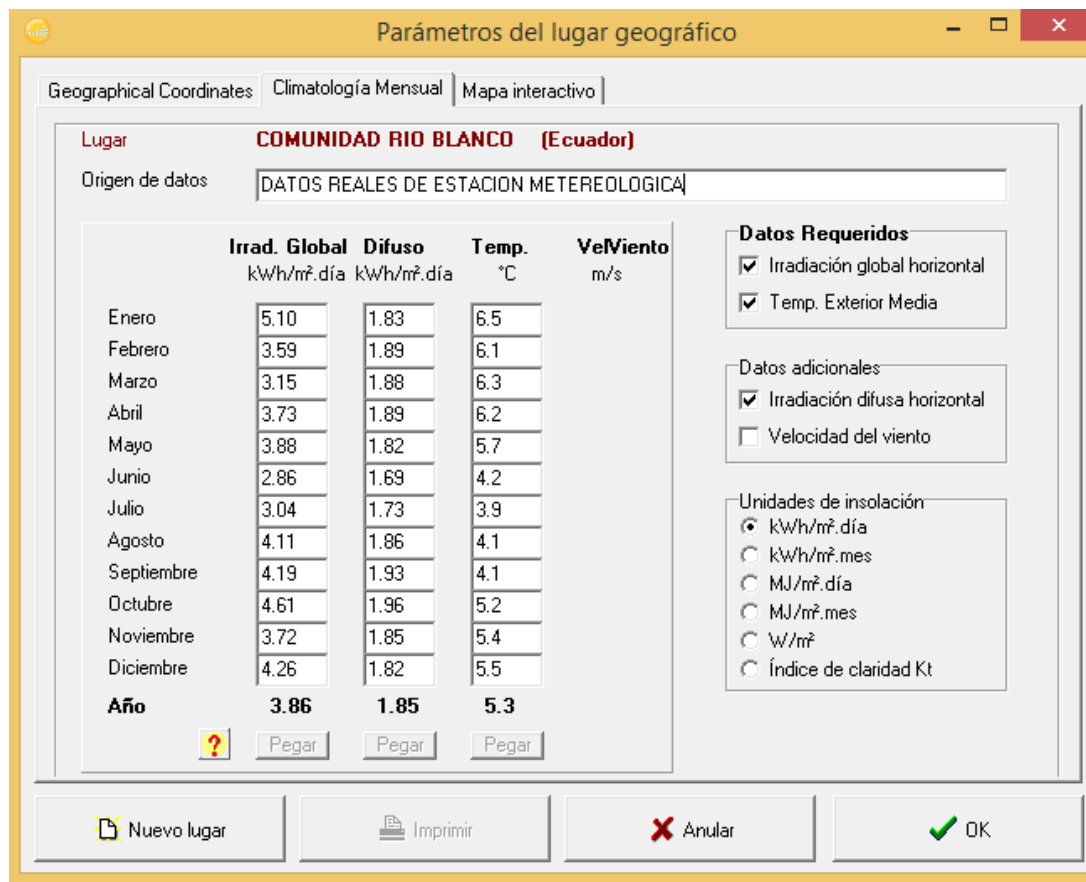


Figura 38: Radiación solar predominante en la zona

Fuente: (Autor)

Una vez que se ha ingresado los datos de orientación, necesidad energética y radiación solar global mensual el programa sugiere utilizar los siguientes parámetros de diseño:

- Pérdidas por carga: 10 %
- Voltaje nominal del sistema: 12 V
- Días de autonomía de la batería: 3
- Capacidad del banco de baterías: 154 Ah
- Potencia de los paneles solares: 187 Wp

Finalmente se procede a realizar la simulación para obtener los resultados de diseño y el informe final. La figura 39 muestra los resultados finales y nos da una opción para generar un informe detallado del diseño.



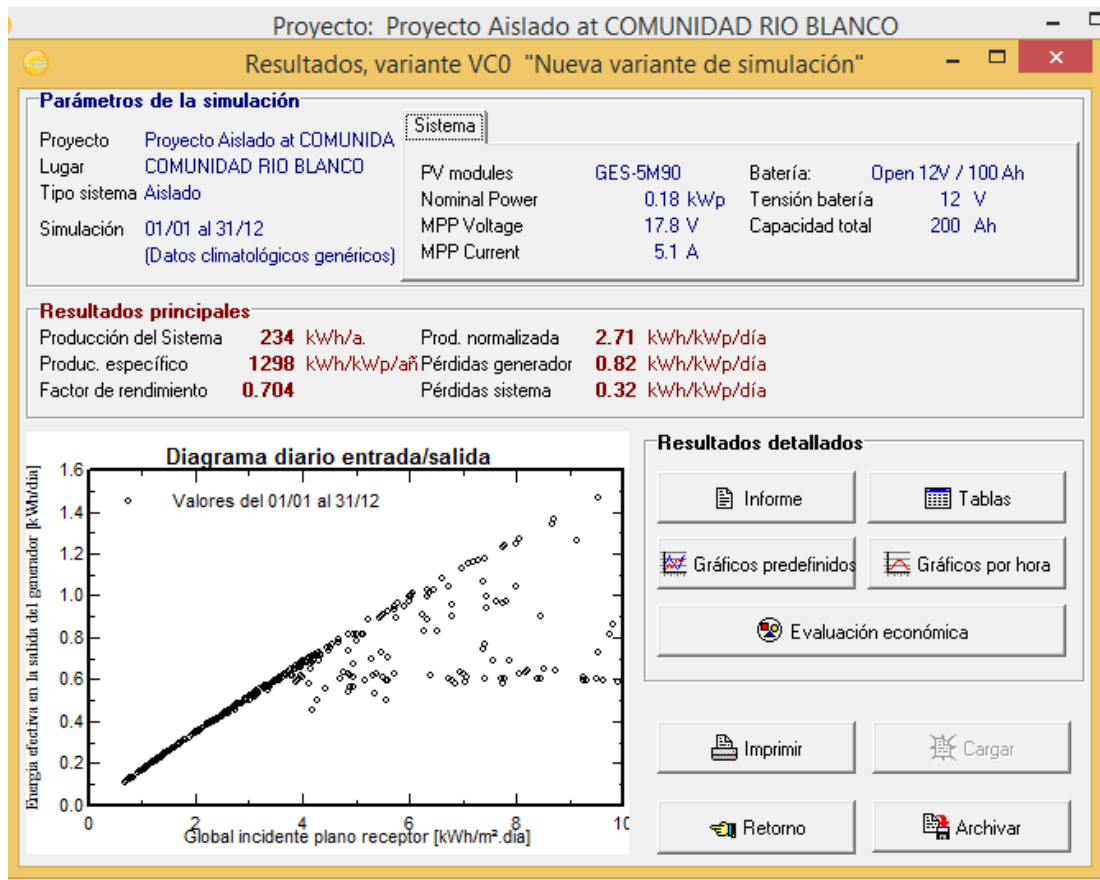


Figura 39: Ventana de resultados y generación del informe final

Fuente: (Autor)

Los resultados que arroja la simulación del programa son los siguientes:

- Factor de rendimiento: 0.704%
- Tipo de panel solar: 90 Wp/ 15V si-mono cristalino.
- Paneles en paralelo: 2
- Paneles en serie: 0
- Total de paneles: 2
- Tipo de batería: Plomo-ácido 100 Ah/ 12V
- Baterías en paralelo: 2
- Baterías en serie: 0
- Total de baterías: 2

El informe final del programa se muestra en el ANEXO 5

### 3.2.4.1. Rendimiento global del sistema

Para encontrar el rendimiento global del sistema (Performance ratio) según lo estipulado en el NEC-11, se debe considerar por lo menos los siguientes aspectos:

- $\eta_{temp}$ : Rendimiento por funcionamiento a diferentes temperaturas de las condiciones normales
- $\eta_{Suc}$ : Rendimiento por suciedad acumulada en los módulos fotovoltaicos
- $\eta_{Cab}$ : Rendimiento por caída de voltaje en los cables tanto en CC como en CA
- $\eta_{reg}$ : Rendimiento del regulador
- $\eta_{Bat}$ : Rendimiento del banco de baterías
- $\eta_{aut}$ : Rendimiento por pérdidas debido a la auto descarga del banco de baterías
- $\eta_{Inv}$ : Rendimiento del inversor

La ecuación que representa el rendimiento global del sistema es la siguiente:

$$PR = \eta_{temp} * \eta_{Suc} * \eta_{Cab} * \eta_{Inv} * \eta_{reg} * \eta_{Bat} * \eta_{aut} \quad (\text{Ec. 23})$$

**Donde:**

$PR$  = Rendimiento global del sistema

Los aspectos especificados por la NEC-11 deben cumplir los siguientes requisitos como mínimo:

- El rendimiento por efectos de suciedad no debe ser inferior al 2%
- El rendimiento por pérdidas de los cables no debe exceder los siguientes parámetros; la caída de tensión entre: el arreglo fotovoltaico y el regulador de carga, entre la batería y el regulador de carga, entre el regulador de carga y las cargas no deben ser inferiores al 3%.
- El rendimiento del regulador, baterías e inversor deben ser tomados de las hojas técnicas de los proveedores.

- El rendimiento debido a las pérdidas por auto descarga de la batería no debe ser inferior al 1%.

El rendimiento por funcionamiento a diferentes temperaturas de las condiciones estándar del panel se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\eta_{temp} = 1 - C_T(T_C - 25) \quad (\text{Ec. 24})$$

**Donde:**

$T_C$  = Es la temperatura de la celda cuando se tiene una irradiación de 1000 W/m<sup>2</sup>.

$C_T$  = Es el coeficiente de variación de potencia cuando funciona a diferente temperatura de la estándar utilizada en las pruebas, se asume 0.005 cuando no se conoce este valor

La temperatura de la celda se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$T_C = T_a + 1.25(NOCT - 20) \quad (\text{Ec. 25})$$

**Donde:**

$T_a$  = Es la temperatura ambiente, para el mes de junio es 4.22 °C

$NOCT$  = Es la temperatura normal de operación de la celda especificada en la hoja técnica del proveedor, en caso de no tener este valor se debe asumir 45°C.

Reemplazando los datos se obtiene una temperatura en la celda de 35.47 °C y un rendimiento a diferentes temperaturas de:

$$\eta_{temp} = 94.7\%$$

Utilizando la ecuación para el cálculo del  $PR$  tenemos:

$$PR = 0.95 * 0.98 * 0.97 * 0.98 * 0.90 * 0.90 * 0.99$$

$$PR = 0.709$$

### 3.2.4.2. Hora solar pico

Para obtener este dato consideramos el mes de peor radiación solar disponible, entonces:

$$HPS = 2.709 [h]$$

Este resultado nos indica que tendremos casi 3 horas durante el día en el que se podrá aprovechar un valor de  $1000\text{W}/\text{m}^2$  de irradiación sobre una superficie inclinada.

### 3.2.4.3. Potencia pico del arreglo fotovoltaico

Nos permite conocer el dimensionamiento mínimo del generador fotovoltaico necesario para suplir las necesidades energéticas de las cargas, de la norma ecuatoriana de la construcción NEC-11, en su apartado 14.2.7.1.4 muestra la fórmula para el cálculo [34].

$$Pot_p = \frac{\text{Demanda energética}}{HPS * PR} \quad (\text{Ec. 26})$$

**Donde:**

$Pot_p$  = Potencia pico del sistema

$$Potp = \frac{328.86}{2.709 * 0.709}$$

$$Potp = 171.22 \text{ Wp}$$

### 3.2.4.4. Selección de los paneles solares

Existen distintas maneras para determinar la capacidad de un arreglo fotovoltaico, todas están basadas en la carga por alimentar y su configuración que puede ser mediante paneles en serie, paralelo o una mezcla de los dos tipos, para esto se debe conocer primero el total de paneles solares, se calcula empleando la siguiente ecuación:

$$N_T = \frac{E_D}{HPS * Wp * 0.9} \quad (\text{Ec. 27})$$

**Donde:**



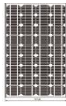

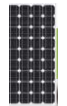

$N_T$  = Numero de paneles fotovoltaicos

$W_p$  = Potencia pico del módulo fotovoltaico

### Características de paneles solares

En la Tabla XXXIII se puede apreciar varios modelos de paneles solares con datos importantes para conocer el número total de paneles solares, de la figura se tomó tres modelos de varias marcas con potencias de 85, 90 y 100 Wp que ofrecen una garantía de 20 años con potencias pico superiores al 90% de su potencia inicial.

**TABLA XXXIII:** Características de paneles solares marca SIMAX y EXMORK

|                         |  |  |  |  |  |  |
|-------------------------|--|--|--|--|--|--|
| <b>Tipo</b>             |  | 50P  | SP536-85   | SM536-90   | SL80-100   | SM636-120  |
| <b>Material</b>         |  | Poli-cristalino  | Mono-cristalino  | Mono-cristalino  | Mono-cristalino  | Mono-cristalino  |
| <b># de celdas</b>      |  | /  | 36   | 36   | 36   | 36   |
| <b>Peso (Kg)</b>        |  | /  | 8 kg   | 8 kg   | 8 kg   | 8 kg   |
| <b>Medidas (mm)</b>     |  | 670x620x35   | 1200x540x35  | 1200x540x35  | 1196x533x35  | 1482x670x35  |
| <b>P. máxima (Pmp)</b>  |  | 50 W   | 85 W   | 90 W   | 100 W  | 120 W  |
| <b>V. nominal (Vmp)</b> |  | 17.5 V   | 17.2 V   | 17.6 V   | 17.2 V   | 17.7 V   |
| <b>V. máximo (Voc)</b>  |  | 22.0 V   | 21.6 V   | 21.8 V   | 21.6 V   | 21.7 V   |
| <b>C. nominal (Imp)</b> |  | 2.86 A   | 4.89 A   | 5.11 A   | 5.81 A   | 7.14 A   |
| <b>C. máxima (Isc)</b>  |  | 3.07 A   | 5.25 A   | 5.51 A   | 6.43 A   | 7.57 A   |

Fuente: (Autor)

### Número total de paneles solares

Reemplazando los datos en la fórmula para el cálculo del número total de paneles y considerando los modelos de la tabla XXXIII se tiene:

#### Modelo 1: 85Wp

$$N_T = \frac{328.86}{2.709 \text{ h} * 85W * 0.9} = 1.58 \approx 2$$

#### Modelo 2: 90Wp

$$N_T = \frac{328.86}{2.709 \text{ h} * 90W * 0.9} = 1.50 \approx 2$$

#### Modelo 3: 100Wp

$$N_T = \frac{328.86}{2.709 \text{ h} * 100W * 0.9} = 1.35 \approx 2$$

Para saber el número exacto de paneles solares se debe redondear el resultado, también se debe comprobar que la potencia del total de los paneles sobrepase la potencia mínima de generación calculada, los paneles que cumplen esta condición son los de 90 y 100 Wp.

$$200 \text{ W} > 171.22 \text{ W}$$

$$180 \text{ W} > 171.22 \text{ W}$$

### Paneles solares en serie

$$N_S = \frac{V_{nom}}{V_m} \quad (\text{Ec. 28})$$

**Donde:**

$N_S$  = Numero de módulos en serie por rama

$V_m$  = Tensión nominal del modulo

$V_{nom}$  = Voltaje nominal del sistema

Si se selecciona los paneles de 100 Wp, para sistemas fotovoltaicos de baja potencia se recomienda un voltaje nominal de 12 V, entonces:

$$N_s = 0.69 \approx 1$$

### **Paneles solares en paralelo**

Para saber el número de paneles en paralelo basta con dividir el número total de módulos sobre el número de módulos en serie, por tanto se necesita de dos módulos en paralelo

### **3.2.4.5. Selección de las baterías**

Los datos previos que se debe conocer para el cálculo son: la demanda diaria de energía requerida, días de autonomía y la profundidad de descarga. Para el sistema se opta por el uso de baterías para aplicaciones solares de ciclo profundo que son las más utilizadas para garantizar el suministro de energía por largos periodos de tiempo.

#### **Días de autonomía**

En sistemas fotovoltaicos generalmente se consideran como mínimo de 2 a 5 días de autonomía en los que se podrá abastecer la demanda de la vivienda, se selecciona 2 días

#### **Profundidad de descarga**

La profundidad de la batería se ha fijado al 60% este valor es recomendando para ocasiones en la que las descargas profundas no son muy frecuentes.

#### **Capacidad del banco de baterías**

Determina el consumo total en amperios hora al día que es capaz de entregar el banco de baterías, este valor se determina mediante la siguiente formula:

$$C_B = \frac{E_D * A}{V_{nom} * P_f} \quad (\text{Ec. 29})$$

**Donde:**

$C_B$  = Es el consumo total en Ah/día

$E_D$  = Consumo real en la vivienda.

$A$  = Días de autonomía

$P_f$  = Profundidad de descarga

Reemplazando los datos en la ecuación se tiene:

$$C_B = \frac{657.72 \text{ Wh/día} * 2 \text{ días}}{12 \text{ V} * 0.6}$$

$$C_B = 182.7 \text{ Ah}$$

### **Numero de baterías en paralelo**

Se obtiene al dividir la capacidad del banco de baterías para la capacidad nominal de las baterías, si se considera baterías con capacidad de 200 Ah y voltaje nominal de 6 V se tiene:

$$Nb_p = \frac{C_B}{Cn_B} \quad (\text{Ec. 30})$$

**Donde:**

$Nb_p$  = Es el número de baterías en paralelo

$Cn_B$  = Capacidad nominal de la batería

**Con 200 Ah**, se tiene:

$$Nb_p = 0.91 \approx 1$$



### Numero de baterías en serie

Se obtiene al dividir el voltaje nominal del sistema y el voltaje de la batería, entonces:

$$Nb_S = \frac{V_{nom}}{V_B} \quad (\text{Ec. 31})$$

#### Donde:

$Nb_S$  = Es el número de baterías en serie

$V_B$  = Voltaje nominal de la batería

Con un voltaje nominal de 6 V se necesitará de 2 baterías conectadas en serie

### 3.2.4.6. Selección del regulador de voltaje

Para seleccionar el regulador se debe conocer la corriente de operación en la entrada y en la salida, para asegurar el sistema se añade un 25% para darle un factor de seguridad.

La corriente a la entrada, se obtiene del total de paneles conectados en paralelo, así:

$$I_{R.ent} = 1.25 * I_{Cmodulo} * Np \quad (\text{Ec. 32})$$

#### Donde:

$I_{R.ent}$  = Corriente a soportar por el regulador a la entrada

$I_{Cmodulo}$  = Corriente máxima del modulo

$$I_{R.ent} = 1.25 * 5.81 * 2$$

$$I_{R.ent} = 14.52 \text{ A}$$

Corriente en la salida, se obtiene con la potencia instalada, así:

$$I_{R.sal} = 1.25 * \frac{P_U}{V_{nom}} \quad (\text{Ec. 33})$$

**Donde:**

$I_{R.sal}$  = Corriente a soportar por el regulador a la salida

$P_U$  = Potencia instalada

$$I_{R.sal} = 1.25 * \frac{201.11}{12}$$

$$I_{R.sal} = 20.94A$$

Es decir el regulador deberá soportar una corriente de entrada mínima de 14.52 A y una corriente a la salida de 20.949 A.

#### **3.2.4.7. Selección del inversor**

Para seleccionar el inversor se debe conocer la potencia nominal de trabajo la cual debe ajustarse a la potencia instalada cuando estén en uso todos los aparatos eléctricos, se recomienda un margen de seguridad del 25% para evitar inconvenientes, entonces:

$$P_{IN} = 1.25 * P_U \quad (\text{Ec. 34})$$

Donde  $P_U$  es la capacidad instalada en Watts

Entonces, si la potencia unitaria total de cargas es 181 W con el margen de seguridad se tiene un valor de 226.25 W, por tanto el inversor deberá cubrir una potencia de 230 W.

#### **3.2.4.8. Selección de los conductores**

Los cables deben ser aptos para operar bajo la intemperie, la longitud de los conductores debe ser lo más corta posible para minimizar pérdidas por caída de voltaje, adicional se debe cumplir los siguientes requisitos de la tabla

**TABLA XXXIV:** Caída de tensión de los conductores entre los componentes

| Componentes                   | % máximo de caída de tensión |
|-------------------------------|------------------------------|
| Paneles – Regulador de carga  | Inferior al 3%               |
| Baterías – Regulador de carga | Inferior al 1%               |
| Regulador de carga – Cargas   | Inferior al 3%               |

Fuente: (NEC\_2011. Capítulo 14, Energías Renovables)

La selección del calibre para conductores de cobre viene dada por la siguiente formula:

$$S = \frac{2 * 0.0178 * l * i}{\Delta V} [mm^2] \quad (\text{Ec. 35})$$

**Donde:**

$S$  = Sección del cable en  $mm^2$

$l$  = Es la longitud del conductor en metros, 15 metros del panel a las baterías, 3 metros de las baterías al regulador y 12 metros del inversor a las cargas.

$i$  = Es la corriente máxima que puede circular por el conductor en amperios

$\Delta V$  = Es la caída de tensión aceptable en el conductor

Realizados los cálculos pertinentes la tabla XXXV muestra los resultados para la selección del conductor.

**TABLA XXXV:** Selección del conductor para la instalación eléctrica

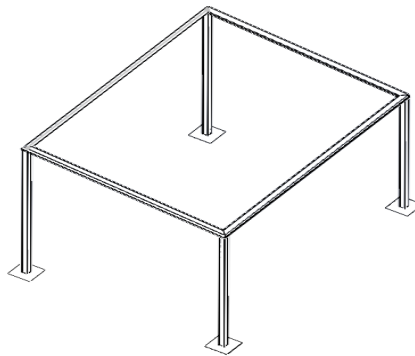
| Longitud del conductor       | Sección ( $mm^2$ ) | Calibre AWG |
|------------------------------|--------------------|-------------|
| Panel solar al regulador     | 3,05               | AWG 12      |
| Regulador hacia las baterías | 0.57               | AWG 18      |
| Regulador hacia las cargas   | 1,907              | AWG 16      |

(Fuente: Autor)

Para tener un solo calibre de conductores se escoge la sección más crítica calculada que es la de  $3.05 \text{ mm}^2$  que se próxima al cable de calibre 12 AWG el cual tiene una sección de  $3.30 \text{ mm}^2$

### 3.2.4.9. Diseño de la estructura

Para el diseño se deberá tomar en cuenta el ángulo de inclinación, el número y las dimensiones del panel solar, tipo de material de construcción, peso que va a soportar la estructura y la fuerza del viento sobre la misma. Se descarta la utilización de estructuras sobre el techo, este tipo de estructura puede perjudicar la impermeabilidad del tejado y se opta por una estructura fija con cuatro puntos de apoyo sobre el suelo esto para reducir las cargas en los elementos de la estructura.



**Figura 40:** Estructura fija para paneles solares

(Fuente: Autor)

Aspectos que se debe tomar en cuenta para el diseño de la estructura

- Peso total a soportar por la estructura
- Deberá soportar velocidades del viento de 100 km/h por lo menos
- La inclinación deberá estar entre 5 y 10°
- Ningún elemento de la estructura deberá causar sombras al módulo fotovoltaico
- La tornillería utilizada deberá ser de acero inoxidable

### Estimación de cargas

Se opta por el uso de tubos cuadrados de 25 mm de largo y 1.5 mm de espesor, el material a utilizar es el acero estructural ASTM A 500, las propiedades mecánicas son: resistencia a la tracción igual a 400 MPa y límite de fluencia de 317 MPa.

Si se va a instalar dos paneles solares de 100 Wp, el peso total es de 24 kg o 235.44 N

La fórmula para estimar la fuerza del viento que ejerce sobre una estructura es la siguiente:

$$F_V = p * S * \text{sen}\beta \quad (\text{Ec. 36})$$

**Donde:**

$F_V$  = Fuerza del viento, en N

$p$  = Presión del viento, en Bares

$S$  = Superficie de los módulos expuestos a la fuerza del viento,  $\text{cm}^2$

$\beta$  = Ángulo de inclinación del módulo fotovoltaico con respecto a la horizontal

A 100 km/h se tiene una presión del viento igual a 10 mbar o 0.01 bar, el área total de los módulos es  $12749.36 \text{ cm}^2$  y el ángulo de inclinación es  $10^\circ$ , entonces:

$$F_V = 22.139 \text{ N}$$

Adicional se asume que una persona va a realizar el montaje y mantenimiento de los módulos con un peso promedio de 70 kgf que equivale a 784.8 N

La carga total que va a soportar la estructura será de:

$$C_T = 235.44 + 22.139 + 784.8 = 1041.58 \text{ N}$$

Las dimensiones del panel solar a instalar son:

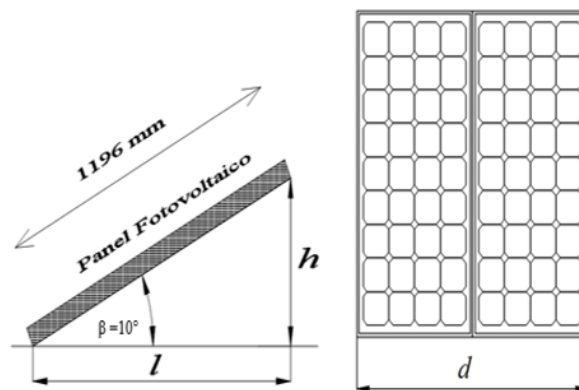
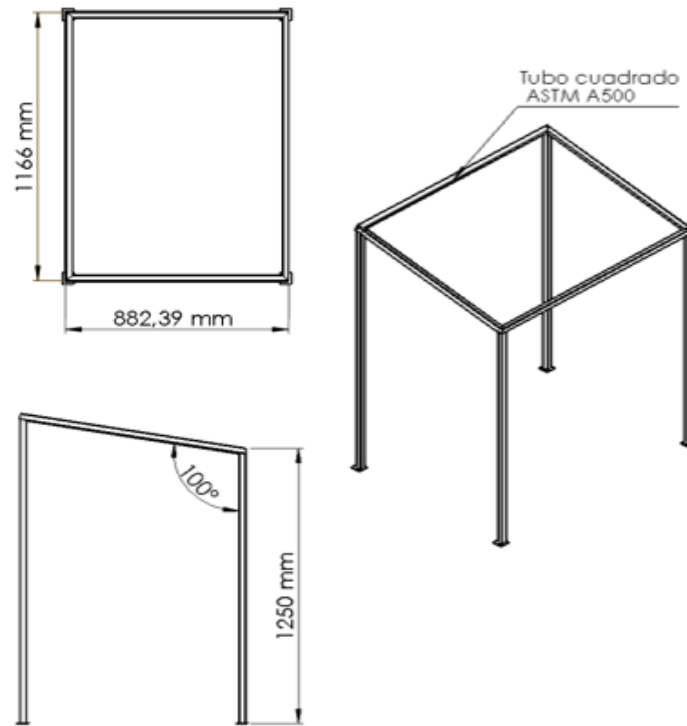


Figura 41: Altura del panel solar

Las dimensiones de la estructura donde se van a montar los módulos fotovoltaicos tendrá las siguientes dimensiones:



**Figura 42:** Dimensiones de la estructura

(Fuente: Autor)

### **Análisis estático**

Para determinar los esfuerzos y deflexiones sobre la estructura se ha realizado un análisis estático mediante una simulación en un software de diseño para así asegurar una resistencia adecuada de las cargas que va a soportar la estructura, el proceso para el análisis estático se describe a continuación

## 1.- Modelación de la geometría del soporte y aplicación del perfil estructural.

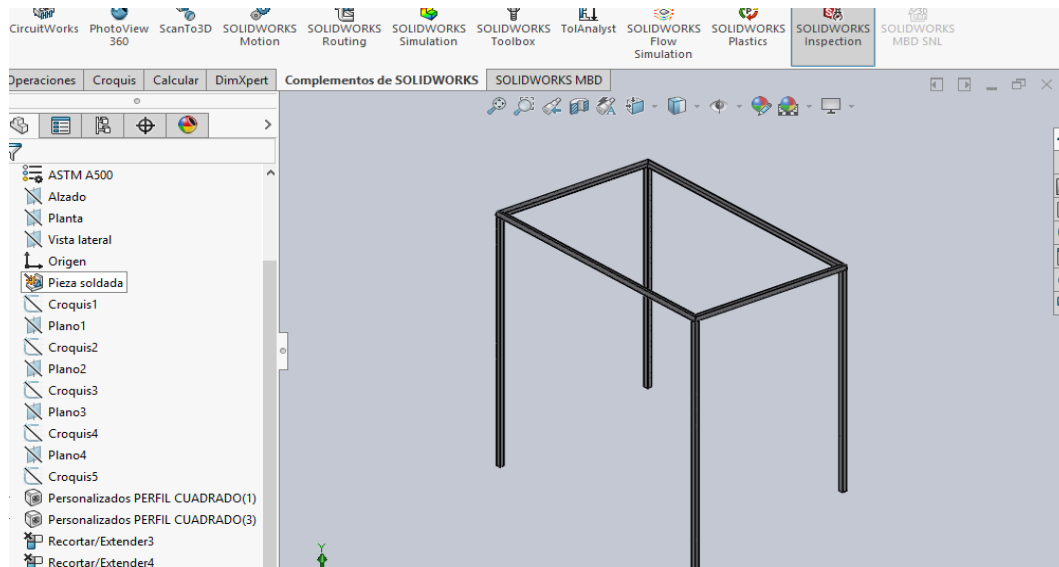


Figura 43: Modelado de la estructura y aplicación del perfil estructural

(Fuente: Autor)

## 2. Análisis estático, aplicación de fuerzas y de puntos de apoyo en la estructura

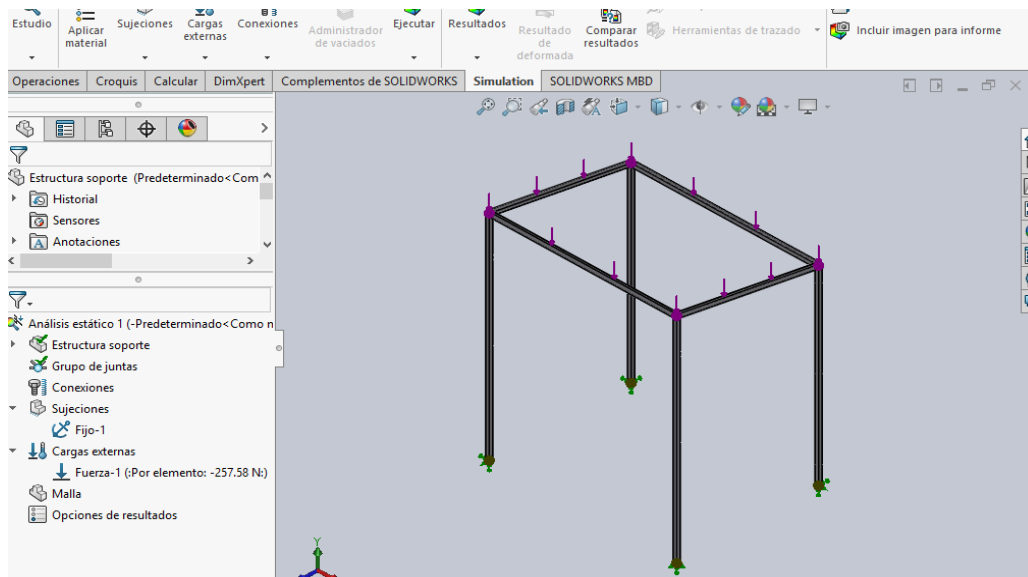


Figura 44: Aplicación de cargas sobre la estructura

(Fuente: Autor)

#### 4. Mallado sobre la estructura y ejecución del estudio

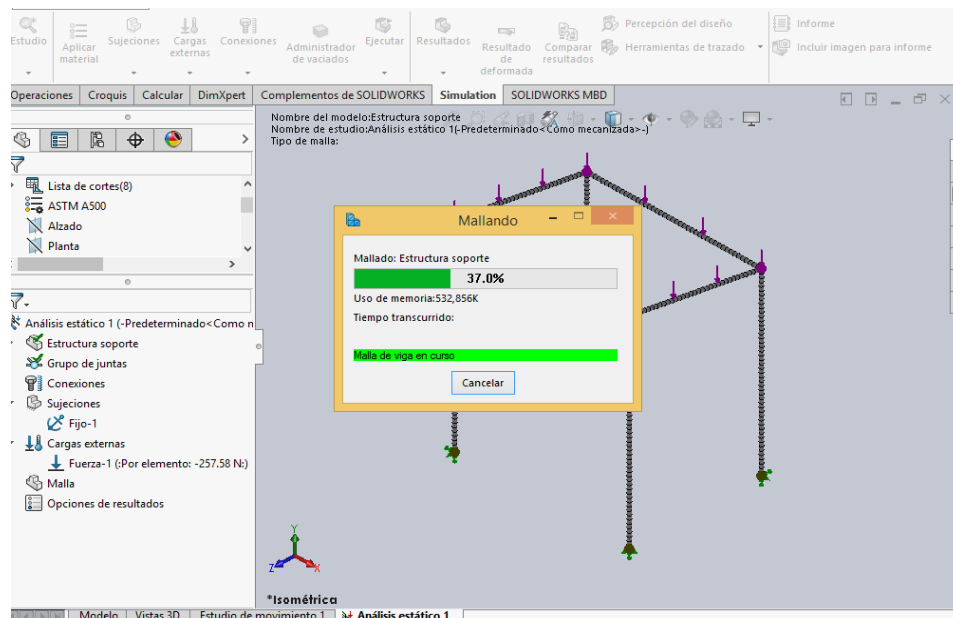


Figura 45: Mallado de la estructura

(Fuente: Autor)

#### 5. resultados del análisis

El esfuerzo máximo al cual estará expuesta la estructura será de  $\sigma = 88.75 \text{ MPa}$

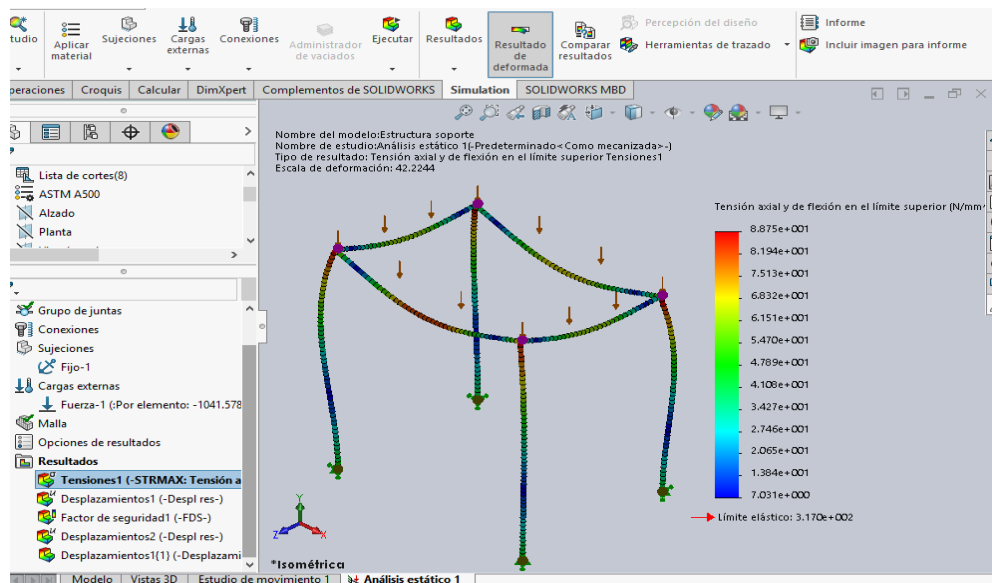


Figura 46: Esfuerzo máximo que soportará la estructura.

(Fuente: Autor)



El factor de seguridad de la estructura será de:

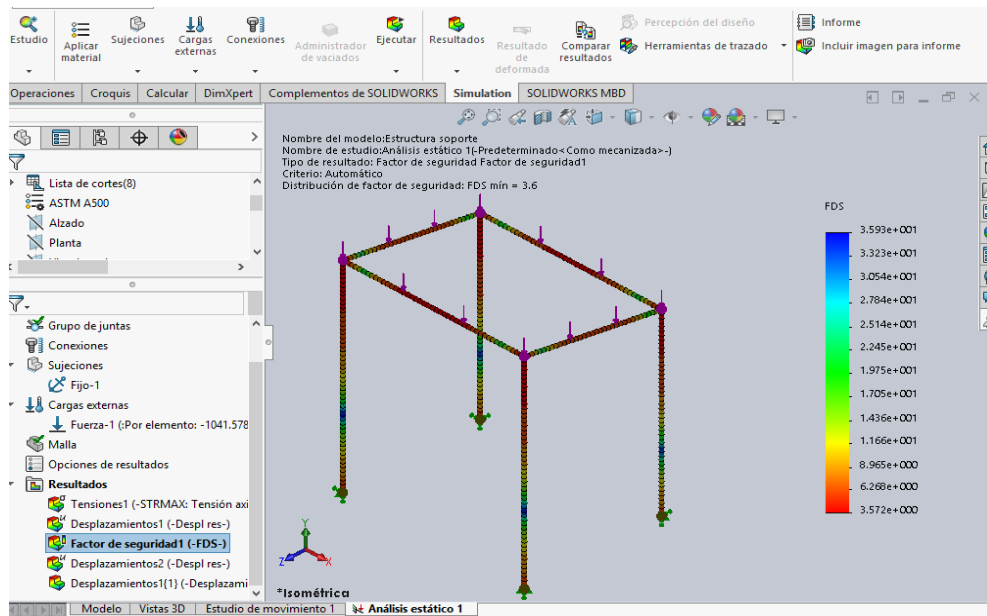


Figura 47: Factor de seguridad

(Fuente: Autor)

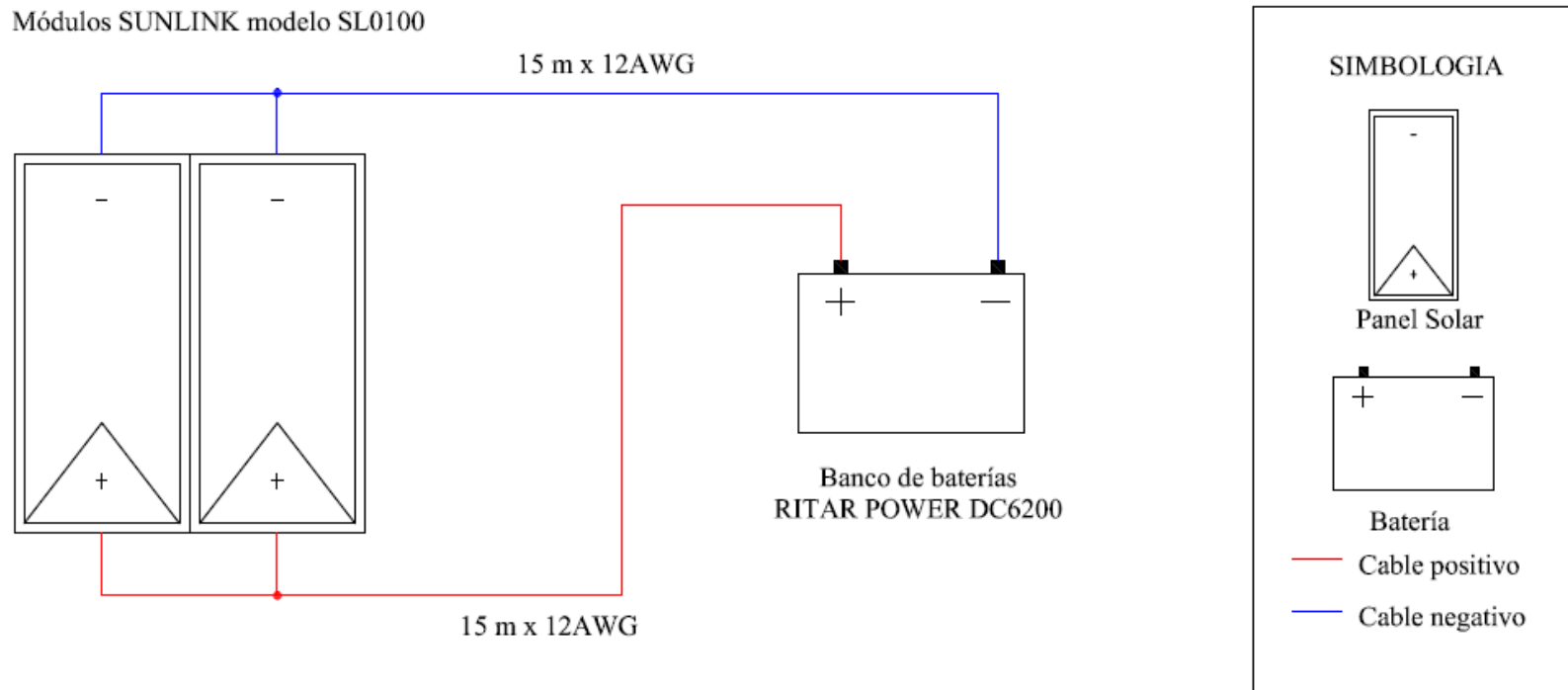
Los resultados del análisis muestran un factor de seguridad alto ( $n = 3.6$ ), se puede concluir que el diseño de la estructura soportara sin problemas las cargas generadas por el peso de los paneles, la fuerza del viento y las cargas debidas al mantenimiento y montaje de los módulos.

### 3.2.5. Diagramas de conexión

Antes de implementar el sistema fotovoltaico se debe realizar los diagramas de instalación eléctrica de cada uno de los componentes que formaran el sistema y así lograr que el proceso de implementación sea el adecuado

### 3.2.5.1. Conexión de los módulos fotovoltaicos

En la figura 48 se puede apreciar la configuración en paralelo de los módulos fotovoltaicos los cuales van conectados hacia el banco de baterías.



**Figura 48:** Conexión de los módulos fotovoltaicos

(Fuente: Autor)

### 3.2.5.2. Conexión de las baterías

En la figura 49 se puede apreciar la configuración de las baterías para alcanzar el voltaje deseado y asegurar la autonomía del sistema, se puede apreciar también dos reguladores que sirven para controlar la carga de las baterías y el consumo de la vivienda.

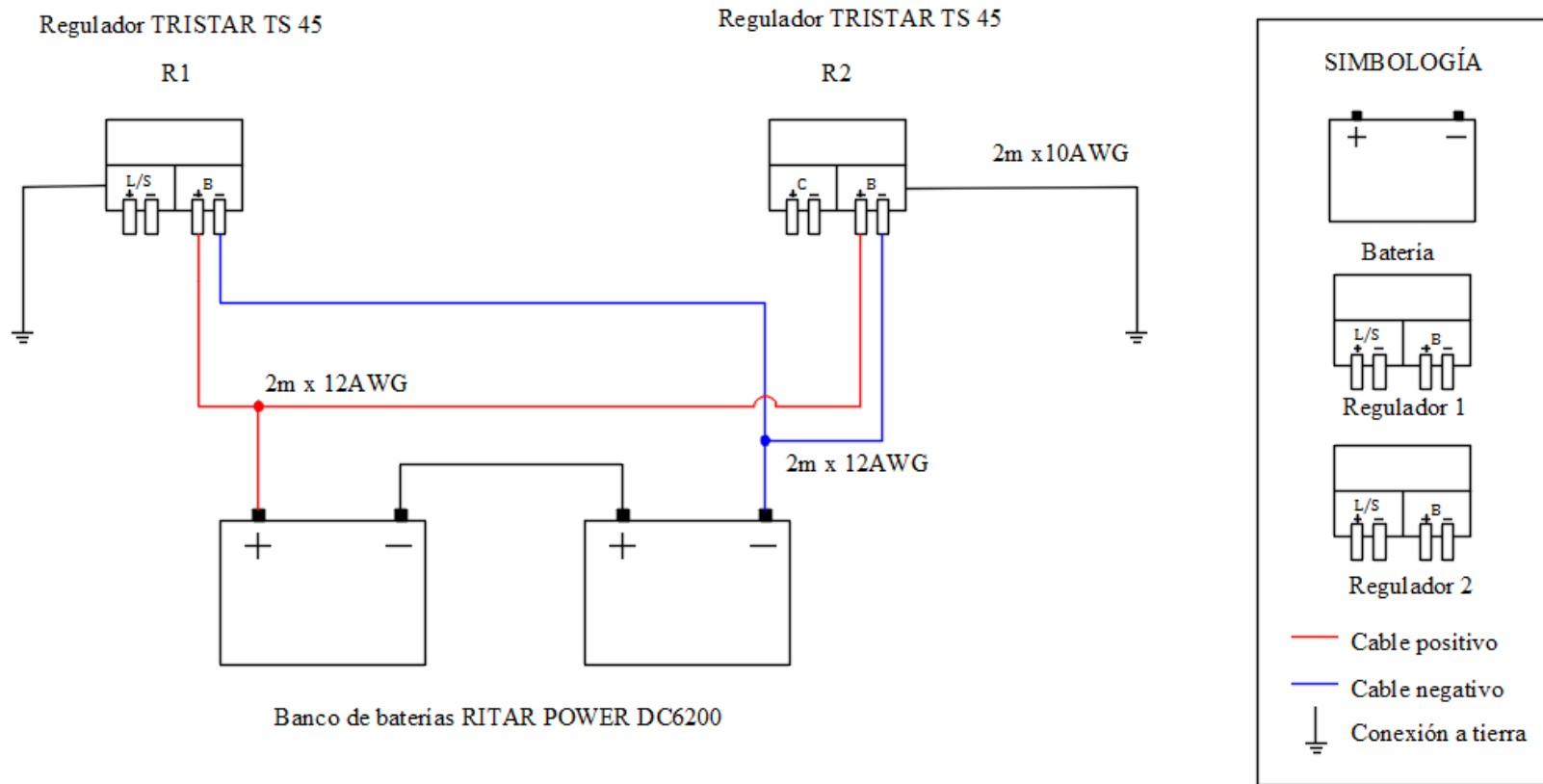


Figura 49: Conexión de las baterías.

(Fuente: Autor)

### 3.2.5.3. Conexión del regulador de carga hacia el inversor

La figura 50 muestra las conexiones del regulador de voltaje hacia el inversor de corriente y hacia él toma corriente donde se conecta las cargas

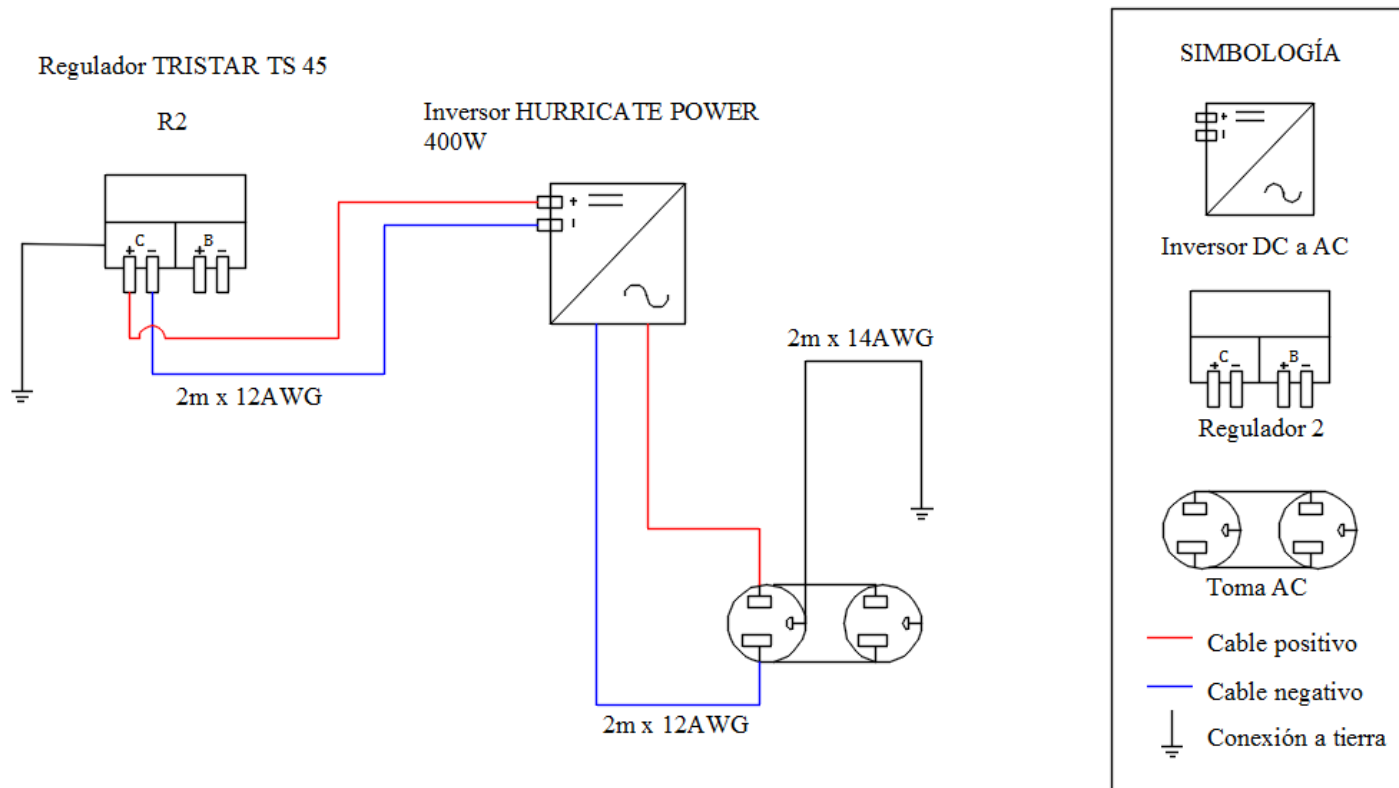


Figura 50: Conexión del regulador de carga hacia el inversor de corriente

(Fuente: Autor)

### 3.2.5.4. Diagrama completo del sistema fotovoltaico.

La figura 51 muestra un diagrama del sistema fotovoltaico unido con un sistema eólico en caso de necesitarlo, también se aprecia las protecciones respectivas para asegurar los equipos sobre posibles cortocircuitos.

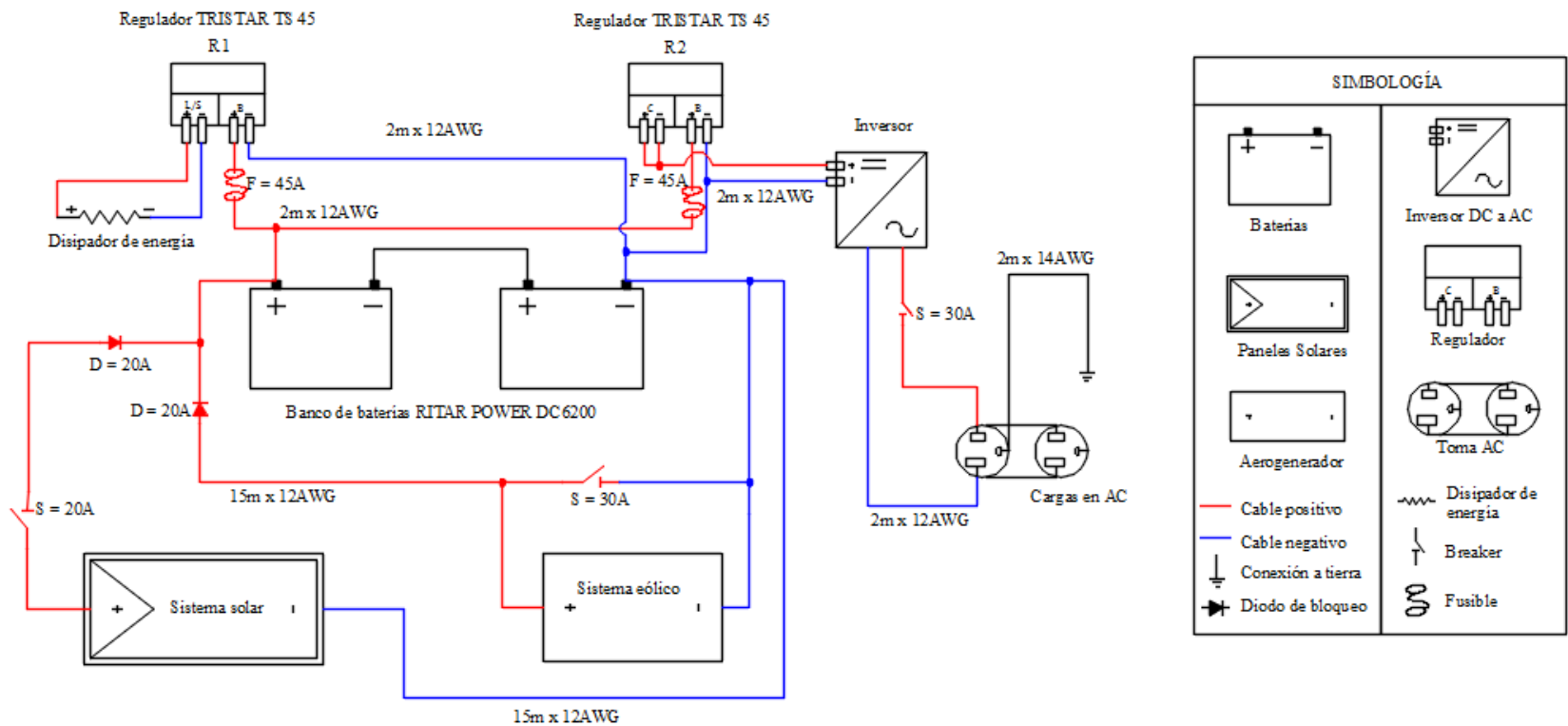


Figura 51: Diagrama completo del sistema fotovoltaico.

(Fuente: Autor)

### 3.2.6. Ubicación del sistema fotovoltaico

Para ubicar el sistema fotovoltaico es necesario hacer un reconocimiento del lugar, de las encuestas de prospección eólico solar realizadas se conoce que existen viviendas que no poseen electricidad, se hicieron visitas y se escogió la vivienda más idónea. El sistema fotovoltaico estará ubicado en una vivienda del sector Rio Blanco, el terreno es muy amplio, cuenta con suficiente espacio para ubicar los módulos fotovoltaicos los cuales recibirán directamente los rayos del sol sin ninguna clase de obstáculos ya que el sitio está libre de sombras de árboles, casas u otros objetos cercanos.

En la figura 52 se puede apreciar la ubicación y orientación de los módulos fotovoltaicos hacia el norte, también se puede observar la ubicación de la vivienda y el área que ocupa.

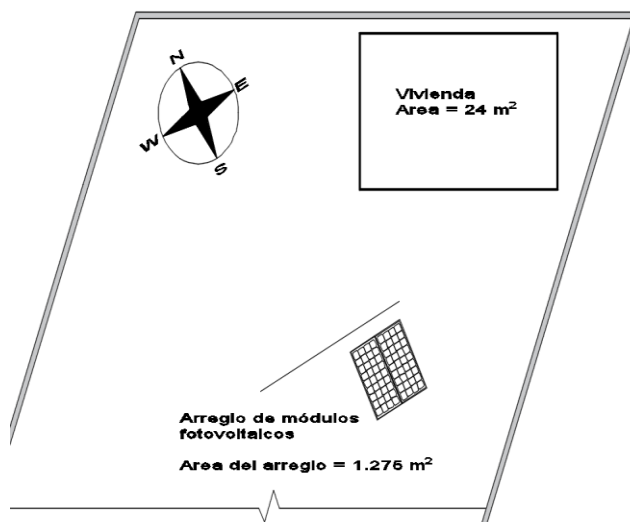


Figura 52: Ubicación y orientación de los módulos fotovoltaicos

(Fuente: Autor)

Una vez que se ha seleccionado la vivienda se procede a implementar el proyecto, primero se debe conocer la condición en la que se encuentra la vivienda, ver el lugar donde se ubicara el tablero de control, interpretar los planos de instalaciones eléctricas y finalmente hacer las pruebas de funcionamiento, a continuación se detalla el estado de la vivienda:

- La vivienda no cuenta con energía propia, en caso de necesitar electricidad toman la energía de una casa aledaña mediante un tendido eléctrico que pasa por el suelo una distancia aproximada de 100 metros.
- El único tomacorriente que se encuentra en el interior de la vivienda está deteriorado y el cable eléctrico no es el correcto para instalaciones a la intemperie.
- No posee puntos de luz.

En la fotografía 53 se puede apreciar la parte exterior e interior de la vivienda de la Sra. Elsa Punina en la cual se procederá a implementar el sistema fotovoltaico.



**Figura 53:** Situación actual de la vivienda

(Fuente: Autor)

### **3.2.7. Implementación del proyecto**

A continuación se detalla el proceso de implementación del sistema fotovoltaico.

#### **Plano eléctrico para la vivienda**

La figura 54 muestra el plano de las instalaciones eléctricas para la vivienda, esta tiene una superficie de 24 m<sup>2</sup>, en la misma se puede observar los puntos de luz y los tomacorrientes que se implementaran.

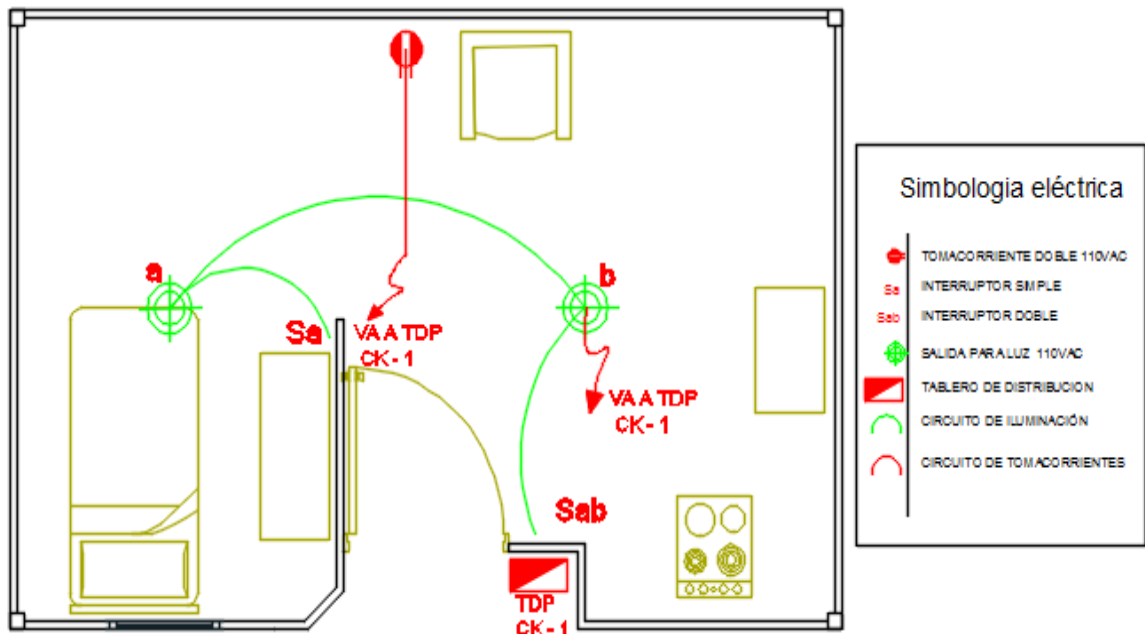


Figura 54: Plano eléctrico de la vivienda

(Fuente: Autor)

### Ubicación de los módulos fotovoltaicos en la estructura soporte.

Los módulos fotovoltaicos se fijaron utilizando pernos de acero inoxidable a una estructura soporte, los puntos de apoyo se anclaron al terreno con cemento para evitar que la estructura se mueva por el viento, la estructura tiene una inclinación de 10 grados y fue orientada mediante una brújula digital.



Figura 55: Ubicación de los módulos fotovoltaicos

(Fuente: Autor)



## Conexión eléctrica de los módulos fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos se conectaron en paralelo mediante empalmes entre los cables conductores presionando lo suficiente para evitar pérdidas eléctricas entre las uniones, se protegió las uniones aplicando primero cinta auto fundente 3M y luego cinta aislante (Taípe).



**Figura 56:** Conexión eléctrica de los módulos

(Fuente: Autor)

## Instalación eléctrica de interiores

La instalación eléctrica comprende de: dos luminarias que se encienden con un único interruptor, toma corriente polarizado doble CA y la puesta a tierra respectiva, los cables se fijaron a vigas de madera mediante grapas tipo U y regletas aislantes, todos los empalmes y uniones eléctricas fueron aseguradas mediante cinta auto fundente y aislante.

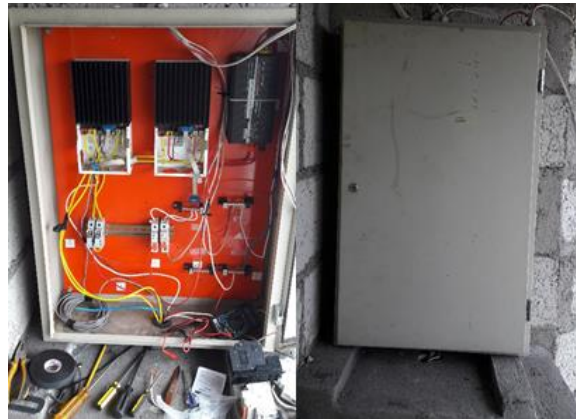


**Figura 57:** Instalación eléctrica en el interior de la vivienda

(Fuente: Autor)

## Instalación del tablero de control

Dentro del gabinete se ubicaron los equipos más sensibles del sistema fotovoltaico como son: el inversor, regulador de carga, las protecciones y los interruptores termo-magnéticos, todos los equipos están separados de tal manera que permitan una buena ventilación en su interior. El tablero de control es totalmente hermético, se ubicó junto a la puerta de la vivienda bajo techo para evitar la filtración de agua.



**Figura 58:** Instalación del tablero de control

(Fuente: Autor)

## Instalación del banco de baterías

Las baterías se conectaron en paralelo sobre una base de cemento debajo del tablero de control, el espacio no recibe los rayos del sol y es de fácil acceso, en los conductores del borne positivo se ubicó fusibles de 45 A CC para proteger al regulador de voltaje.



**Figura 59:** Instalación del banco de baterías

(Fuente: Autor)

### **Conexión a tierra del sistema**

Para proteger los aparatos eléctricos y al sistema fotovoltaico sobre cortocircuitos y descargas eléctricas imprevistas se realizó las conexiones de puesta a tierra mediante el uso de una varilla de copperwel de 1200 mm de largo por 16 mm de diámetro enterrada en el exterior de la vivienda junto a la estructura de los paneles solares



**Figura 60:** Puesta a tierra del sistema

(Fuente: Autor)

### **3.2.8. Pruebas de funcionamiento**

Se procede a realizar las pruebas de funcionamiento del sistema fotovoltaico implementado en la vivienda del sector tomando medidas en los puntos de mayor relevancia. Los resultados más relevantes se muestran a continuación

- Se puede aprovechar la energía solar por aproximadamente tres horas al día, desde las 11:00 horas hasta las 2:00 de la tarde.
- Se comprobó la autonomía del sistema asumida en los cálculos, en los días nublados con presencia de lluvia cuando los paneles no generan energía las baterías abastecen a la vivienda por dos días.
- En días soleados, con abundante irradiación se puede utilizar por más tiempo la electricidad en la vivienda, ahí se utiliza el televisor todo el día y un par de horas más en la noche, los focos también pueden utilizarse por más tiempo en la noche.
- En el sector el cambio constante del clima afecta al sistema, existen días consecutivos en los cuales se tiene poco aporte de energía por parte de los módulos

fotovoltaicos ahí, la carga de la batería es pobre restringiendo el uso de electricidad en la vivienda.

### 3.2.8.1. Medidas de voltaje y amperaje a la salida del panel

Se realizó las mediciones a la salida de los módulos fotovoltaicos, en un día normal con presencia de sol se obtuvo un valor de 20.6 V de tensión y 4.15 A amperios de corriente.



**Figura 61:** Volteje y amperaje a la salida de los módulos fotovoltaicos.

(Fuente: Autor)

### 3.2.8.2. Medidas de voltaje en las baterías

Se realizó varias mediciones en los extremos de la batería dando como resultado valores de 11.4 V lo cual indica que la batería esta descargada y valores de 12.5 V cuando la batería se está cargando.



**Figura 62:** Voltaje de la batería.

(Fuente: Autor)

### 3.2.8.3. Pruebas de funcionamiento con cargas

Se realizaron las pruebas del funcionamiento del sistema, se cargó un computador y un teléfono celular, luego se probó conectando un televisor, los resultados fueron satisfactorios ya que los electrodomésticos se cargaron y funcionaron sin ningún inconveniente.



**Figura 63:** Pruebas de funcionamiento con carga.

(Fuente: Autor)

### 3.2.8.4. Pruebas de funcionamiento de los focos

En horas de la noche se realizó las pruebas de funcionamiento de los focos con resultados satisfactorios.



**Figura 64:** Prueba de funcionamiento de los focos.

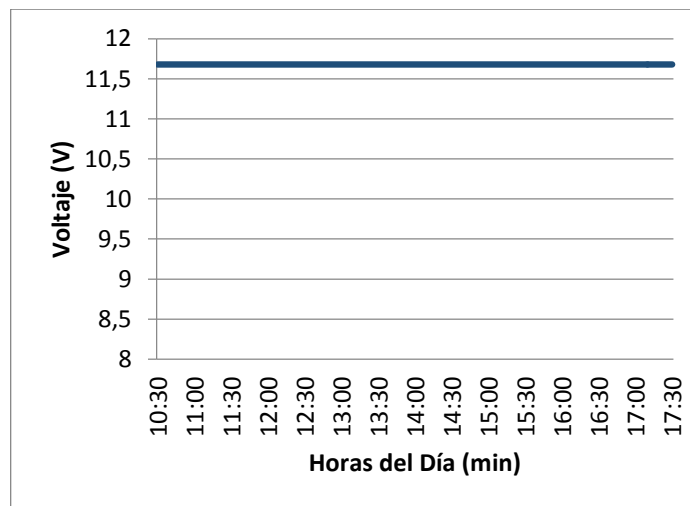
(Fuente: autor)



### 3.2.8.5. Datos procesados del controlador TS 45

Finalmente se procesaron los datos almacenados en el regulador de carga, con la ayuda del programa MSview versión 1.6.34.0 se pudo descargar y analizar los datos por varias semanas dando como resultado un funcionamiento adecuado del sistema.

La figura 65 muestra que en días lluviosos el valor de voltaje en las baterías se mantiene no existe aporte del sistema debido a la ausencia de sol, se descarta las perdidas por tensión en el sistema.



**Figura 65:** Voltaje de la batería en días lluviosos

(Fuente: Autor)

En la figura 66 se puede apreciar el voltaje de la batería, en días con presencia de sol el voltaje comienza a ascender progresivamente desde 11.63 V hasta llegar a 12.46 V donde se estabiliza y se mantiene, con esto comprobamos el aporte y buen funcionamiento del sistema

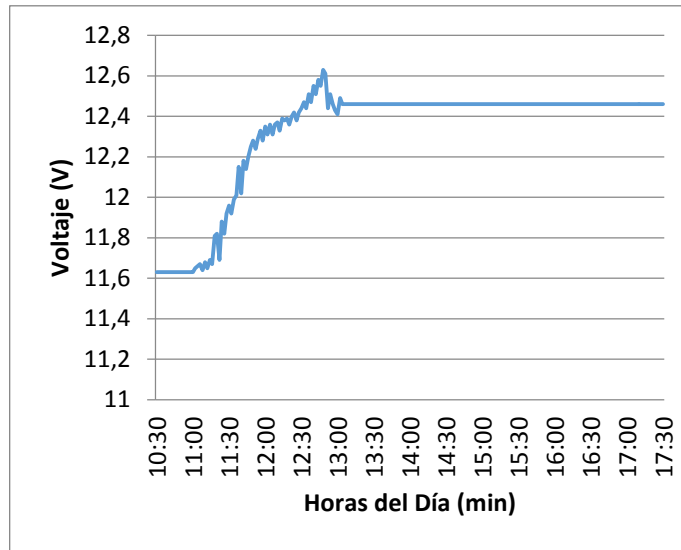


Figura 66: Voltaje de la batería en días con presencia de sol

(Fuente: Autor)

### 3.3. Presupuesto.

A continuación se detalla el presupuesto necesario para implementar el sistema fotovoltaico, se tomó en cuenta costos de: adquisición de equipos, componentes eléctricos y mano de obra.

#### 3.3.1. Componentes del sistema fotovoltaico

TABLA XXXVI: Costo de componentes fotovoltaicos.

| <b>Sistema fotovoltaico</b>       |               |                 |                       |                    |
|-----------------------------------|---------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| <b>Elemento</b>                   | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Valor unitario</b> | <b>Valor final</b> |
| Panel solar SUNLINK modelo SL0100 | U             | 2               | 144,90                | 289,8              |
| Batería RITAR POWER DC6200        | U             | 1               | 309,72                | 309,72             |
| Regulador TRISTAR TS 45           | U             | 1               | 215,00                | 215,00             |
| Inversor HIRRICANE POWER 800 W    | U             | 1               | 80,00                 | 80,00              |
|                                   |               |                 | <b>Subtotal 1</b>     | <b>\$894,52</b>    |

(Fuente: Autor)

### 3.3.2. Tablero de distribución

TABLA XXXVII: Costo del tablero eléctrico de distribución

| <b>Tablero eléctrico de distribución</b> |               |                 |                       |                    |
|--|---------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| <b>Elemento</b>                          | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Valor unitario</b> | <b>Valor final</b> |
| Caja metálica de 80x60x20 cm             | U             | 1               | 70,00                 | 70,00              |
| Breaker 2x16 LS RIEL DIN                 | U             | 1               | 11,92                 | 11,92              |
| Porta fusibles 10x38 polo 32A-500V       | U             | 2               | 1,92                  | 3,84               |
| Fusible 10x38 380V 16 <sup>a</sup>       | U             | 1               | 0,52                  | 0,52               |
| Cable flexible TFF 12C/INST.CABLEC       | Met.          | 8               | 0,53                  | 4,24               |
| Cable flexible TFF 10C/INST.CABLEC       | Met.          | 5               | 0,74                  | 3,70               |
| Barra para tierra 12x8 C/10CM            | U             | 3               | 1,45                  | 4,35               |
| Terminal sin forro estañado #25C 35-8    | U             | 8               | 0,56                  | 4,48               |
|  |               |                 | <b>Subtotal 2</b>     | <b>\$103,05</b>    |

(Fuente: Autor)

### 3.3.3. Instalación eléctrica

TABLA XXXVIII: Costo de instalación eléctrica

| <b>Instalación eléctrica</b>        |               |                 |                       |                    |
|-------------------------------------|---------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| <b>Elemento</b>                     | <b>Unidad</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Valor unitario</b> | <b>Valor final</b> |
| Cable flexible TFF 12C/INST.CABLEC  | Met.          | 40              | 0,53                  | 21,2               |
| Cable flexible TFF 14C/INST.CABLEC  | Met.          | 40              | 0,31                  | 12,4               |
| Canaletas DEXON 20X12 C/AD          | U             | 4               | 2,37                  | 9,48               |
| Varilla de COOPERWELL 5/8 x 1,20    | U             | 1               | 4,80                  | 4,80               |
| Toma sobrepuesto doble polarizado   | U             | 2               | 0,80                  | 1,60               |
| Interruptor sobrepuesto tipo TICINO | U             | 1               | 0,35                  | 0,35               |
| Boquilla de porcelana E-27 fija     | U             | 2               | 0,27                  | 0,54               |
| Tornillos TRIPEPA 1X80              | U             | 10              | 0,03                  | 0,30               |
| Taco fhiller F6                     | U             | 10              | 0,02                  | 0,20               |
| Breaker 1x20A RIEL DIN LS           | U             | 2               | 5,17                  | 10,34              |
|                                     |               |                 | <b>Subtotal 3</b>     | <b>\$61,21</b>     |

(Fuente: Autor)



### 3.3.4. Material para la estructura metálica

TABLA XXXIX: Costo del material para la estructura

| Elemento                    | Unidad | Cantidad | Valor unitario | Valor final    |
|-----------------------------|--------|----------|----------------|----------------|
| Tubo cuadrado 40x 1,5       | U      | 1        | 15,30          | 15,30          |
| Angulo de 30x3              | U      | 1        | 8,50           | 8,50           |
| Placas 10x10x4              | U      | 4        | 0,20           | 0,80           |
| Electrodos                  | lbs.   | 1        | 1,50           | 1,50           |
| Pintura Anticorrosiva ploma | lts.   | 1        | 4,83           | 4,83           |
| Cemento                     | U      | 1        | 7,35           | 7,35           |
| Bloques                     | U      | 10       | 0,22           | 2,20           |
| <b>Subtotal 4</b>           |        |          |                | <b>\$40,48</b> |

(Fuente: Autor)

### 3.3.5. Mano de obra

TABLA XL: Costo de mano de obra

| N° de trabajadores | Horas de trabajo | Costo por hora | Sub total       |
|--------------------|------------------|----------------|-----------------|
| 2                  | 8                | 2,16           | 34,56           |
| <b>Sub Total</b>   |                  |                | <b>\$ 34,56</b> |

(Fuente: Autor)

### 3.3.6. Costo total

TABLA XLI: Costo total del sistema fotovoltaico

| <b>Costo total de implementación del sistema fotovoltaico</b> |            |                  |
|---|------------|------------------|
| Componentes del sistema fotovoltaico                          | Subtotal 1 | 894,52           |
| Tablero eléctrico de distribución                             | Subtotal 2 | 103,05           |
| Instalación eléctrica   | Subtotal 3 | 61,21            |
| Material de construcción                                      | Subtotal 4 | 40,48            |
| Mano de obra  | Subtotal 5 | 34,56            |
| <b>Sub total</b>  |            | <b>1133,82</b>   |
| <b>IVA 14%</b>  |            | <b>158,73</b>    |
| <b>Total</b>  |            | <b>\$1292,55</b> |

(Fuente: Autor)

### 3.4. Especificaciones técnicas

A continuación se detallan las especificaciones técnicas y las características de cada uno de los equipos que formaron el sistema fotovoltaico. Para conformar el sistema se utilizó dos paneles de 100 Wp marca SUNLINK conectados en paralelo, el sistema de almacenamiento está compuesto de dos baterías RITAR de 200 A de capacidad y 6 V conectadas en serie para alcanzar la tensión de diseño. La carga y descarga de la batería está regulada mediante dos controladores TRISTAR TS 45 codificados para el control de carga de la batería por derivación y control del consumo respectivamente, adicional por protección a la salida y entrada de cada controlador se instalaron fusibles con capacidad de 45 A. Para transformar la corriente continua en corriente alterna a 110 V se utilizó un inversor HURRICATE POWER SI 400 con forma de onda sinusoidal modificada y capacidad de 400 Watt.

#### 3.4.1. Modulo Solar SUNLINK SL080-12M100

Panel solar de silicio mono-cristalino de alta eficiencia con 100 W de capacidad, fácil de instalar y adaptable a cualquier aplicación, ofrecen gran durabilidad con 10 años de vida útil, cuentan con certificación de calidad y están diseñados para soportar cargas producidas por el viento o nieve.

**TABLA XLII:** Especificaciones técnicas del panel solar

|  |                    |
|--|--------------------|
| Potencia máxima (Pmax)                       | 100W               |
| Tolerancia                                   | ±3%                |
| Tensión nominal (Vmp)                        | 17,2 V             |
| Corriente nominal (Imp)                      | 5,81 A             |
| Voltaje de circuito abierto (Voc)            | 21,6 V             |
| Corriente de cortocircuito (Isc)             | 6,43 A             |
| Tensión máxima del sistema                   | 1000 V DC          |
| Cantidad de células solares                  | 36 de (125x125 mm) |
| Dimensiones                                  | 1196x533x35mm      |
| Certificación ISO 9001, IEC 61215, IEC 61730 |                    |

(Fuente: Autor)

### 3.4.2. Batería RITAR RA6-200D

Batería de plomo ácido sellada con una vida en diseño flotante de 10 años, diseñada especialmente para descargas de ciclo profundo frecuentes, ofrece buen rendimiento a altas velocidades de descarga con amplios rangos de temperatura de operación, es muy utilizada para aplicaciones solares, sillas eléctricas, equipo médico, sistemas de seguridad, etc.

**TABLA XLIII:** Especificaciones técnicas de la batería

|  |                     |
|--|---------------------|
| Modelo   | RA6-200D            |
| Voltaje  | 6 V                 |
| Capacidad  | 200Ah @ 10hr        |
| Peso   | 29 kg               |
| Corriente máxima de carga  | 60 A                |
| Temperatura normal de operación  | 25°C ± 5°C          |
| Capacidad a 10 °C  | 90%                 |
| Dimensiones  | 322 x 177,5 x 226mm |
| Larga vida de diseño, baja auto descarga,<br>Certificación de calidad ISO 9001 |                     |

(Fuente: Autor)

### 3.4.3. Controlador TRISTAR TS 45

Controlador de carga de energía solar avanzado, cuenta con tres modos distintos e independientes de operación programados internamente en cada equipo: carga solar de batería, control de carga y control de carga por derivación. Existen dos versiones estándar, el TS 45 y el TS 60 especificados para corrientes máximas de operación de 45 A y 60 A respectivamente.

En el modo carga solar de batería la energía producida de un sistema solar es usada para recargar las baterías mediante un proceso eficiente que permite maximizar la vida útil de la batería. El control de carga por derivación se usa generalmente cuando se emplean fuentes hidráulicas o eólicas de energía, en este modo el controlador administra la carga de la batería mediante el desvío de energía desde la batería hacia una carga de derivación

cuando la misma se encuentra completamente cargada. En el modo control de consumo el controlador administra electricidad a las cargas a partir de las baterías y protege la misma para evitar el exceso de descarga desconectando el sistema por bajo voltaje.

El controlador TS 45 cuenta con ocho interruptores tipo DIP que se ajustan de acuerdo al modo de operación:

### Derivación

- DIP 1.- Con este interruptor se selecciona el modo de control
- DIP 2 y 3.- Sirve para escoger el voltaje del sistema
- DIP 4, 5.- Son algoritmos estándar de control de carga por derivación, conecta y desconecta el sistema a un valor específico de voltaje seleccionado.
- DIP 7.- Con este interruptor se selecciona el modo control de carga por derivación.
- DIP 8.- Permite seleccionar una ecualización manual o automática.



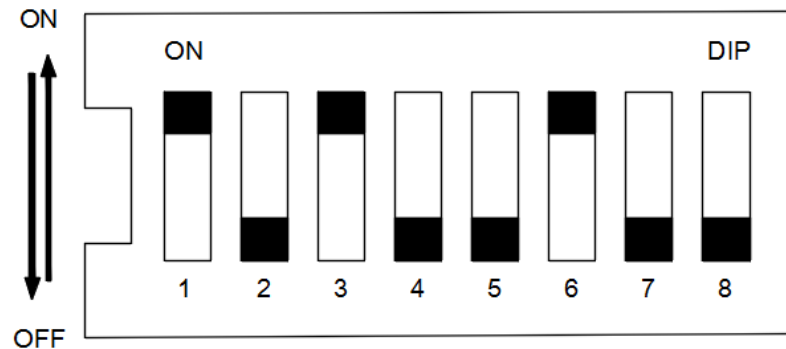
**Figura 67:** Posición de los interruptores DIP para el modo Derivación.

(Fuente: Autor)

### Control de carga e iluminación

- DIP 1.- Con este interruptor se selecciona el modo de control
- DIP 2 y 3.- Sirve para escoger el voltaje del sistema
- DIP 4, 5 y 6.- Son algoritmos estándar de carga y descarga de la batería, sirve para conectar y desconectar el sistema a un valor específico de voltaje seleccionado.
- DIP 7.- No es utilizada para en el modo control de cargas

- DIP 8.- Permite la reducción de ruido, en el modo control de carga no se utiliza.



**Figura 68:** Posición de los interruptores DIP modo control de cargas.

(Fuente: Autor)

Adicional el controlador TS 45 cuenta con un botón pulsador que permite reestablecer a partir de un error o falla corregida y tres focos LED de colores: verde (G), amarillo (R) y rojo (R)) que visualizan el estado de la batería y el consumo de las cargas, una vez que se ha verificado la polaridad de los módulos solares y de las baterías se pone en marcha el controlador y se confirma su funcionamiento mediante el destello de los LED (G-Y-R e un solo ciclo).

Los LED indican el estado de la batería cuando esta se está cargando de la siguiente manera:

- G encendido.- 80 a 95%
- G-Y encendido.- 60 a 80%
- Y encendido.- 35 a 60%
- Y-R encendido.- 0 a 35%
- R encendido.- la batería se está descargando

**TABLA XLIV:** Especificaciones técnicas del controlador de voltaje

|                                  |                 |
|----------------------------------|-----------------|
| Voltaje del sistema              | 12, 24, 48 Vcc  |
| Volteje mínimo para operar       | 9 V             |
| Voltaje solar máximo             | 125 V           |
| Voltaje máximo de funcionamiento | 68 V            |
| Consumo propio                   | < 20 mA         |
| Corriente de cortocircuito (Isc) | 6,43 A          |
| Apagado por alta temperatura     | 95 °C           |
| LED de estado de carga           |                 |
| G                                | 13,3 a PWM      |
| G/Y                              | 13,0 a 12,3 V   |
| Y                                | 12,65 a 13,0 V  |
| Y/R                              | 12,0 a 12,65 V  |
| R                                | 0 a 12,0 V      |
| Dimensiones                      | 260,4x127x71 mm |

(Fuente: Autor)

#### 3.4.4. Inversor de corriente HURRICATE POWER SI 400.

Es un inversor muy compacto y liviano, diseñado para aplicaciones pequeñas, alimentar laptops, cargador de celulares, televisores pequeños, focos y otros dispositivos de baja potencia, capaz de proporcionar una salida de potencia de aproximadamente dos veces la capacidad nominal del sistema. El inversor cuenta con dos salidas de 110 V en corriente alterna, una luz LED que indica el encendido o apagado del inversor, cuando la luz esta de color verde indica un funcionamiento normal del inversor, cuando la luz está en color rojo el inversor se apagará después de un minuto por bajo voltaje.

**TABLA XLV:** Especificaciones técnicas de inversor de corriente

|                             |                       |
|-----------------------------|-----------------------|
| Potencia máxima en continua | 400 W                 |
| Capacidad nominal           | 800 W max.            |
| Volate en CC de operación   | 12 V                  |
| Voltaje de salida           | 110 V AC $\pm$ 5%     |
| Frecuencia                  | 60 Hz                 |
| Forma de onda               | Sinusoidal modificada |

(Fuente: Autor)

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

- Los pobladores de la comunidad son de escasos recursos y disponen de electrodomésticos relativamente baratos, por lo tanto, el requerimiento energético diario de las viviendas del sector Rio Blanco es bajo, su valor es de 658 Wh/día únicamente, esto facilitó económicamente la implementación del sistema fotovoltaico. A pesar de tener el tendido eléctrico cerca de sus viviendas muchos habitantes optan por tomar la energía de casas aledañas al no disponer del recurso suficiente para pagar una acometida legal.
- Mediante la teoría consultada, procesamiento y análisis de datos extraídos de la torre de medición ubicada en el sector se obtuvo un nivel de irradiación solar promedio real de 3.8 kWh/m<sup>2</sup>.día, los mismos que son valores aceptables para la implementación del sistema fotovoltaico de baja potencia, la energía solar puede de forma individual o combinada generar energía eléctrica a la vivienda.
- Con los valores promedios reales obtenidos de radiación solar se pudo cumplir con la demanda de energía requerida por la vivienda aprovechando de esta manera las fuentes de energía renovable existentes en el sector.
- Con las pruebas de funcionamiento realizadas se comprobó la autonomía de dos días asumida para el sistema, en días soleados el sistema genera la suficiente electricidad para utilizar un televisor durante el día y aproximadamente dos horas en la noche, los focos permanecen encendidos por tres horas. En días nublados con presencia de lluvia el sistema no produce electricidad, la tensión de la batería se mantiene y no existen pérdidas de voltaje. En días variantes con poca presencia de sol el aporte de energía al sistema es pobre, se limita el uso de electricidad y únicamente se pueden encender los focos por tres horas en la noche.
- Desde el punto de vista económico, es más factible el uso de energías independientes para la generación de electricidad en el sector, al ser viviendas de

escasos recursos la demanda de energía es baja y resulta excesivamente costoso la implementación de un sistema híbrido. Con el potencial solar obtenido resulta más barato dimensionar el sistema al 100% y satisfacer sin problemas la demanda únicamente con el sistema fotovoltaico.

- Con la implementación del sistema fotovoltaico la familia beneficiada se siente feliz por el apoyo brindado y la importancia que le dan a familias de escasos recursos, de alguna manera se mejoró la calidad de vida de estas personas con el uso de fuentes de energía renovable al producir electricidad gratis para su vivienda

#### **4.2. Recomendaciones**

- Tomar en cuenta las peores condiciones para dimensionar el sistema fotovoltaico, es decir, diseñar el sistema con los datos del mes más desfavorable y así asegurar el correcto funcionamiento durante todo el año.
- Al ser considerado el sistema como una fuente limitada de energía se recomienda optimizar al máximo el uso de la electricidad, mantener luces y electrodomésticos encendidos únicamente cuando sea necesario.
- Para aprovechar de mejor manera los recursos naturales del sector se debe recolectar la mayor cantidad de datos posibles tanto de radiación solar como de velocidad y dirección del viento, se recomienda seguir monitoreando estas variables por más tiempo para así tener un dato más preciso que garantice el funcionamiento óptimo del sistema.
- La implementación de un sistema eólico es con la finalidad de mejorar la eficiencia del sistema y entregar un suministro de energía más continuo, el potencial solar y eólico del sector es relativamente alto y favorable para el uso de fuentes de energía solar y eólica en la aplicación de pequeños conversores de energía ya que en días soleados el sistema fotovoltaico es la fuente de energía, mientras que en días nublados con presencia de viento entrará en funcionamiento el sistema eólico, pero, se recomienda el uso de energías independientes en el sector, es decir implementar sistemas autónomos por separado, al tener poca demanda de energía



resulta más económico implementar y dimensionar un solo sistema conversor de energía.

- En caso de instalar un sistema híbrido de generación dimensionar cada sistema conversor de energía para que satisfaga toda la demanda de electricidad de la vivienda y así evitar inconvenientes en caso de que uno de los dos sistemas presente problemas.

## MATERIAL DE REFERENCIA

### 1. Bibliografía

- [1] F. montemadrid, «Guía de la Energía Solar,» 2006. [En línea]. Available: <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-de-la-energia-solar-fenercom.pdf>. [Último acceso: Junio 2016].
- [2] UNEF, «Unión Española Fotovoltaica,» 2015. [En línea]. Available: [www.unef.es](http://www.unef.es). [Último acceso: 25 05 2016].
- [3] J. A. Roca, «El periódico de la energía,» 24 05 2016. [En línea]. Available: [www.elperiodicodelaenergia.com](http://www.elperiodicodelaenergia.com). [Último acceso: 25 05 2016].
- [4] ARCONELC, «Agencia de Regulación y Control de Electricidad,» 20 07 2015. [En línea]. Available: [www.regulacionelectrica.gob.ec](http://www.regulacionelectrica.gob.ec). [Último acceso: 24 05 2016].
- [5] CONELEC, «Consejo Nacional de Electricidad,» 12 03 2008. [En línea]. Available: [www.conelec.gob.ec](http://www.conelec.gob.ec). [Último acceso: 23 05 2016].
- [6] S. d. Economía, «CONAGUA,» 2013. [En línea]. Available: [www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx). [Último acceso: 23 06 2016].
- [7] CNACE, «Comisión Nacional Anticorrupción Ecuador,» [En línea]. Available: [www.comisionanticorruptcion.ec](http://www.comisionanticorruptcion.ec).
- [8] L. Tupiza, «virtualpaper,» [En línea]. Available: <http://www.virtualpaper.com/en/>. [Último acceso: 08 06 2016].
- [9] «Energías Renovables,» 14 01 2013. [En línea]. Available: [www.energias-renovables.com](http://www.energias-renovables.com). [Último acceso: 21 06 2016].
- [10] E. Building, «Sun Conservation,» [En línea]. Available: [www.sunconservation.com](http://www.sunconservation.com). [Último acceso: 25 05 2016].
- [11] G. P. PILAHUÍN, «Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2015- 2020,» Tungurahua, 2015.

- [12] MORNINGSTAR, «MORNINGSTAR CORPORATION,» [En línea]. Available: [www.morningstarcorp.com](http://www.morningstarcorp.com). [Último acceso: 10 01 2017].
- [13] J. Roldán, Fuentes de Energía, Madrid, España: PARANINFO, S.A, 2008.
- [14] V. C. H. Barros, «"Sistema híbrido eólico-fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el departamento de turismo del Ilustre municipio de Baños de Agua Santa",» Ingeniería en Sistemas Electronica e Industrial, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2011.
- [15] A. B. Rivera, «ProyectLATIn,» Marzo 2014. [En línea]. Available: <http://www.proyectolaitn.org/>. [Último acceso: 18 Mayo 2016].
- [16] J. A. Manrique, Energía Solar Fundamentos y Aplicaciones Fototérmicas, Mexico : HARLA, S.A, 1984.
- [17] L. Jutglar, Energía Solar, Barcelona, España : CEAC, 2004.
- [18] L. W. S. Pérez, «Estudio comparativo entre un panel fotovoltaico fijo y móvil de 50 policristalino y su eficiencia en la captación de energía solar en la ciudad de Ambato,» Facultad de Ingeniería Mecánica, Ambato, 2016.
- [19] F. Blasco, «CalculationSolar Blog,» 11 Abril 2013. [En línea]. Available: [www.calculationsolar.com](http://www.calculationsolar.com). [Último acceso: 17 Mayo 2016].
- [20] T. Perales, Guía del Instalador de Energías Renovables, Mexico : LIMUSA, S.A , 2010.
- [21] M. V. Flores, «"Diseño comparativo entre un sistema fotovoltaico autónomo, un eólico y un sistema híbrido para el consumo eléctrico",» Facultad de ingeniería, UNAM, Mexico, 2014.
- [22] ASIF, Energía Solar Fotovoltaica en la comunidad de Madrid, Madrid : Imprenta modelo, S.L., 2016.
- [23] L. H. J. Aguilera, «Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos autónomos,» Gupo IDEA, Universidad de JÁEN, JÁEN .
- [24] J. R. Vilorio, Necesidades Energéticas y Propuestas de Instalaciones Solares, España: PARANINFO S.A. , 2011.

- [25] J. L. H. G. R. S. Toapanta Aguilar, «"Análisis e implementación de una pico central híbrida solar- eólica para generar 500W en la hacienda la Merced del canton cotopaxi,» Ingeniería en Electromecánica, Universidad Técnica de Cotopaxi , Latacunga , 2016.
- [26] BUN-CA, «Fundación de Red de energía,» 09 2002. [En línea]. Available: <http://www.bun-ca.org/>. [Último acceso: 17 05 2016].
- [27] N. Quadri, Energía solar, Buenos Aires, Argentina : ALSINA, 2010.
- [28] UREE, «Uso racional y eficiente de energía,» 12 08 2012. [En línea]. Available: <http://www.uree.com.pa/energias-renovables/energia-solar/energia-solar-fotovoltaica/>. [Último acceso: 2016].
- [29] M. S. C. Orbegozo, «GREEN ENERGY,» 2010. [En línea]. Available: [www.energiaverde.pe](http://www.energiaverde.pe). [Último acceso: 17 Mayo 2016].
- [30] G. E. Harper, El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos, Mexico: LIMUSA, 2010.
- [31] M. A. Sánchez, Energía Solar Fotovoltaica, Mexico : LIMUSA, S.A , 2011.
- [32] R. C. P. A. C. S. J. A. González, Centrales de Energías Renovables, Madrid, España : PEARSON EDUCACIÓN, S.A , 2013.
- [33] NRG, «Renewable NRG Systems,» [En línea]. Available: <https://www.renewablenrgsystems.com/>. [Último acceso: 10 01 2017].
- [34] I. E. d. Normalización, «NEC,» 2011. [En línea]. Available: [www.normaconstruccion.ec](http://www.normaconstruccion.ec). [Último acceso: 2016 06 22].

## 2. Anexos

### ANEXO 1.- CARACTERÍSTICAS DE TUBO ESTRUCTURAL ASTM A 500

**DIPAC**  
PRODUCTOS DE ACERO

## TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO



**Especificaciones Generales**

**Calidad:** ASTM A-500  
**Recubrimiento:** Negro o Galvanizado  
**Largo Normal:** 6.00 m  
**Otros largos:** Previa Consulta  
**Dimensiones:** Desde 20.00 mm a 300.00 mm  
**Espesor:** Desde 1.20 mm a 6.00 mm.

**TUBERÍA**



| Dimensiones |                |           | Área                 | Ejes X-X y Y-Y    |                   |                   |
|-------------|----------------|-----------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| A mm        | Espesor mm (t) | Peso Kg/m | Área cm <sup>2</sup> | I cm <sup>4</sup> | W cm <sup>3</sup> | i cm <sup>2</sup> |
| 20          | 1,2            | 0,72      | 0,90                 | 0,53              | 0,53              | 0,77              |
| 20          | 1,5            | 0,90      | 1,05                 | 0,58              | 0,58              | 0,74              |
| 20          | 2,0            | 1,15      | 1,34                 | 0,69              | 0,69              | 0,72              |
| 25          | 1,2            | 0,90      | 1,14                 | 1,06              | 0,87              | 0,97              |
| 25          | 1,5            | 1,12      | 1,35                 | 1,21              | 0,97              | 0,95              |
| 25          | 2,0            | 1,47      | 1,74                 | 1,48              | 1,18              | 0,92              |
| 30          | 1,2            | 1,08      | 1,28                 | 1,91              | 1,28              | 1,18              |
| 30          | 1,5            | 1,35      | 1,65                 | 2,19              | 1,46              | 1,15              |
| 30          | 2,0            | 1,78      | 2,14                 | 2,71              | 1,81              | 1,13              |
| 40          | 1,2            | 1,47      | 1,80                 | 4,38              | 2,19              | 1,25              |
| 40          | 1,5            | 1,82      | 2,25                 | 5,48              | 2,74              | 1,58              |
| 40          | 2,0            | 2,41      | 2,94                 | 6,93              | 3,46              | 1,54              |
| 40          | 3,0            | 3,54      | 4,44                 | 10,20             | 5,10              | 1,52              |
| 50          | 1,5            | 2,25      | 3,45                 | 11,05             | 4,42              | 1,87              |
| 50          | 2,0            | 3,03      | 4,74                 | 14,13             | 5,55              | 1,94              |
| 50          | 3,0            | 4,48      | 6,81                 | 21,20             | 8,48              | 1,91              |
| 50          | 2,0            | 3,86      | 5,74                 | 21,28             | 7,89              | 2,39              |
| 60          | 3,0            | 5,42      | 8,81                 | 35,05             | 11,99             | 2,34              |
| 75          | 3,0            | 6,32      | 9,74                 | 52,47             | 13,48             | 2,97              |
| 75          | 3,0            | 6,71      | 8,41                 | 71,54             | 16,98             | 2,92              |
| 75          | 4,0            | 8,28      | 10,26                | 84,98             | 24,00             | 2,87              |
| 100         | 2,0            | 6,17      | 7,74                 | 122,50            | 24,60             | 3,99              |
| 100         | 3,0            | 9,17      | 11,41                | 170,86            | 35,39             | 3,94              |
| 100         | 4,0            | 12,13     | 14,85                | 226,00            | 48,22             | 3,88              |
| 100         | 5,0            | 14,60     | 18,26                | 270,67            | 54,11             | 3,84              |

[www.dipacmanta.com](http://www.dipacmanta.com)

## ANEXO 2.- ENCUESTAS

### ENCUESTA PROSPECCIÓN EÓLICA - SOLAR

#### A. INFORMACIÓN BÁSICA DE LA LOCALIDAD

Fecha de Entrevista: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Hora \_\_\_\_\_

#### B. INFORMACIÓN SOBRE LA VIVIENDA

1.- Tenencia de la vivienda

Propia ( )

Alquilada ( )                      ¿Cuánto paga al mes? S/. .....

2.- Posee energía eléctrica    Si ( )    ¿Cuánto paga al mes? S/. .....

3.- Red de agua    si ( )                      No ( )    ¿Cuánto paga al mes? S/. .....

4.- Teléfono    si ( )                      No ( )    ¿Cuánto paga al mes? S/. .....

#### C. INFORMACIÓN SOBRE LA FAMILIA

5.- ¿Cuántos miembros tiene su familia? \_\_\_\_\_

6.- ¿Cuántas personas trabajan en su familia? \_\_\_\_\_

7.- ¿Cuál es la labor a la que se dedica el jefe de hogar? \_\_\_\_\_

8.- ¿Cuál es el ingreso mensual por familia?

| RANGO POR FAMILIA | Si/No |
|-------------------|-------|
| 0-50              |       |
| 50 – 150          |       |
| 151 – 250         |       |
| 251 – 350         |       |
| 351 – 450         |       |
| MAYOR A 450       |       |

#### D. INFORMACIÓN SOBRE EL CONSUMO DE ENERGIA EN LA VIVIENDA

9.- ¿Qué tipo de electrodomésticos dispone la vivienda y el tiempo aproximado de uso diario?

| ELECTRODOMÉSTICOS                                 | Si/No | NUMERO | TIEMPO APROXIMADO DE USO INDIVIDUAL | TOTAL |
|---|-------|--------|-------------------------------------|-------|
| Computador  |       |        |                                     |       |
| Televisor   |       |        |                                     |       |
| Radio   |       |        |                                     |       |
| Cocina eléctrica, a gas o inducción (especificar) |       |        |                                     |       |
| Plancha   |       |        |                                     |       |
| Cargador de celular                               |       |        |                                     |       |
| Licuada   |       |        |                                     |       |

10.- ¿Cantidad de luminarias por casa?

| Tipo              | Si/No | NUMERO | TIEMPO APROXIMADO |
|-------------------|-------|--------|-------------------|
| Focos normales    |       |        |                   |
| Focos ahorradores |       |        |                   |

#### E. INFORMACION SOBRE EL SANEAMIENTO

11.- ¿Estado del agua usada para el aseo personal?

| Estado   | Si/No |
|----------|-------|
| Fría     |       |
| Caliente |       |

12.- ¿Frecuencia con la que utiliza el agua caliente para el aseo personal?

| FRECUENCIA/SEMANA |       |        |           |        |         |        |         |
|-------------------|-------|--------|-----------|--------|---------|--------|---------|
|                   | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo |
| FAMILIAS          |       |        |           |        |         |        |         |

13.- ¿Medio utilizado para el calentamiento del agua?

| MEDIO     | Gas | Electricidad | Leña | Otro |
|-----------|-----|--------------|------|------|
| SELECCIÓN |     |              |      |      |

#### CARACTERÍSTICAS DEL VIENTO

14.- ¿En qué meses el viento sopla con mayor fuerza?

|       |         |       |       |      |       |       |        |            |         |           |           |
|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|

15.- ¿A qué hora del día sopla con mayor fuerza?

.....

16.- ¿Dirección diaria del viento?

**CARACTERÍSTICAS SOLARES**

17.- ¿En qué meses del año se siente con mayor fuerza la presencia de sol?

|       |         |       |       |      |       |       |        |            |         |           |           |
|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE |
|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|

18.- ¿A qué hora del día existe mayor presencia de sol?

.....





### ANEXO 3

#### DÍAS TÍPICOS REPRESENTATIVOS DE CADA MES

|    | 1  | 2  | 3  | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |
|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1  | 1  | 32 | 60 | 91  | 121 | 152 | 182 | 213 | 244 | 274 | 305 | 335 |
| 2  | 2  | 33 | 61 | 92  | 122 | 153 | 183 | 214 | 245 | 275 | 306 | 336 |
| 3  | 3  | 34 | 62 | 93  | 123 | 154 | 184 | 215 | 246 | 276 | 307 | 337 |
| 4  | 4  | 35 | 63 | 94  | 124 | 155 | 185 | 216 | 247 | 277 | 308 | 338 |
| 5  | 5  | 36 | 64 | 95  | 125 | 156 | 186 | 217 | 248 | 278 | 309 | 339 |
| 6  | 6  | 37 | 65 | 96  | 126 | 157 | 187 | 218 | 249 | 279 | 310 | 340 |
| 7  | 7  | 38 | 66 | 97  | 127 | 158 | 188 | 219 | 250 | 280 | 311 | 341 |
| 8  | 8  | 39 | 67 | 98  | 128 | 159 | 189 | 220 | 251 | 281 | 312 | 342 |
| 9  | 9  | 40 | 68 | 99  | 129 | 160 | 190 | 221 | 252 | 282 | 313 | 343 |
| 10 | 10 | 41 | 69 | 100 | 130 | 161 | 191 | 222 | 253 | 283 | 314 | 344 |
| 11 | 11 | 42 | 70 | 101 | 131 | 162 | 192 | 223 | 254 | 284 | 315 | 345 |
| 12 | 12 | 43 | 71 | 102 | 132 | 163 | 193 | 224 | 255 | 285 | 316 | 346 |
| 13 | 13 | 44 | 72 | 103 | 133 | 164 | 194 | 225 | 256 | 286 | 317 | 347 |
| 14 | 14 | 45 | 73 | 104 | 134 | 165 | 195 | 226 | 257 | 287 | 318 | 348 |
| 15 | 15 | 46 | 74 | 105 | 135 | 166 | 196 | 227 | 258 | 288 | 319 | 349 |
| 16 | 16 | 47 | 75 | 106 | 136 | 167 | 197 | 228 | 259 | 289 | 320 | 350 |
| 17 | 17 | 48 | 76 | 107 | 137 | 168 | 198 | 229 | 260 | 290 | 321 | 351 |
| 18 | 18 | 49 | 77 | 108 | 138 | 169 | 199 | 230 | 261 | 291 | 322 | 352 |
| 19 | 19 | 50 | 78 | 109 | 139 | 170 | 200 | 231 | 262 | 292 | 323 | 353 |
| 20 | 20 | 51 | 79 | 110 | 140 | 171 | 201 | 232 | 263 | 293 | 324 | 354 |
| 21 | 21 | 52 | 80 | 111 | 141 | 172 | 202 | 233 | 264 | 294 | 325 | 355 |
| 22 | 22 | 53 | 81 | 112 | 142 | 173 | 203 | 234 | 265 | 295 | 326 | 356 |
| 23 | 23 | 54 | 82 | 113 | 143 | 174 | 204 | 235 | 266 | 296 | 327 | 357 |
| 24 | 24 | 55 | 83 | 114 | 144 | 175 | 205 | 236 | 267 | 297 | 328 | 358 |
| 25 | 25 | 56 | 84 | 115 | 145 | 176 | 206 | 237 | 268 | 298 | 329 | 359 |
| 26 | 26 | 57 | 85 | 116 | 146 | 177 | 207 | 238 | 269 | 299 | 330 | 360 |
| 27 | 27 | 58 | 86 | 117 | 147 | 178 | 208 | 239 | 270 | 300 | 331 | 361 |
| 28 | 28 | 59 | 87 | 118 | 148 | 179 | 209 | 240 | 271 | 301 | 332 | 362 |
| 29 | 29 |    | 88 | 119 | 149 | 180 | 210 | 241 | 272 | 302 | 333 | 363 |
| 30 | 30 |    | 89 | 120 | 150 | 181 | 211 | 242 | 273 | 303 | 334 | 364 |
| 31 | 31 |    | 90 |     | 151 |     | 212 | 243 |     | 304 |     | 365 |

#### ALBEDO DEPENDIENDO DEL TIPO DE SUELO

| Superficie                | Albedo ( $\rho$ ) |
|---------------------------|-------------------|
| Campos, varios tipos      | 0,03 – 0,25       |
| Bosque, verde             | 0,03 – 0,10       |
| Pasto, varias condiciones | 0,14 – 0,37       |
| Suelo, común              | 0,07 – 0,20       |
| Moho, negro               | 0,08 – 0,14       |
| Arena, seca               | 0,18 – 0,40       |
| Arena, húmeda             | 0,09 – 0,18       |

## ANEXO 4.- TABLA AWG, CAPACIDAD DE CORRIENTE PERMISIBLE DE CONDUCTORES SENCILLOS

**TABLA 310-15.- Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2 000 V nominales y 60°C a 90°C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (directamente enterrados) y temperatura ambiente de 30°C.**

| Sección transversal        | Temperatura nominal del conductor (Ver Tabla 310-13)  |  |   |   |  |   | Calibre                    |
|----------------------------|---|--|---|---|--|---|----------------------------|
|                            | 60°C  | 75°C   | 90°C  | 60°C                                    | 75°C   | 90°C  |                            |
|                            | Tipo S, TW*, UF*  | Tipos FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW* | Tipos TBS, SA, SIS, FEP*, FEPF*, MI, RH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THW-2*, THWN-2*, USE-E, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2 | Tipos TW*, UF*                          | Tipos RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE* | Tipos TBS, SA, SIS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2 |                            |
| mm <sup>2</sup>            | COBRE   |  |   | ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE |  |   | AWG o kcmil                |
| 0,62                       | ---   | ---  | 14  | ---                                     | ---  | ---   | 18                         |
| 1,31                       | ---   | ---  | 18  | ---                                     | ---  | ---   | 18                         |
| 2,06                       | 20*   | 20*  | 25  | ---                                     | ---  | ---   | 14                         |
| 3,30                       | 25*   | 25*  | 30*   | 20*                                     | 20*  | 25*   | 12                         |
| 5,25                       | 30  | 35*  | 40*   | 25                                      | 30*  | 35*   | 10                         |
| 8,36                       | 40  | 50   | 55  | 30                                      | 40   | 45  | 8                          |
| 13,29                      | 55  | 65   | 75  | 40                                      | 50   | 60  | 6                          |
| 21,14                      | 70  | 85   | 95  | 55                                      | 65   | 75  | 4                          |
| 26,66                      | 85  | 100  | 110   | 65                                      | 75   | 85  | 3                          |
| 33,62                      | 95  | 115  | 130   | 75                                      | 90   | 100   | 2                          |
| 42,20                      | 110   | 130  | 150   | 85                                      | 100  | 115   | 1                          |
| 53,50                      | 125   | 150  | 170   | 100                                     | 120  | 135   | 1/0                        |
| 67,44                      | 145   | 175  | 195   | 115                                     | 135  | 150   | 2/0                        |
| 85,02                      | 165   | 200  | 225   | 130                                     | 155  | 175   | 3/0                        |
| 107,21                     | 185   | 230  | 250   | 150                                     | 180  | 205   | 4/0                        |
| 135,67                     | 215   | 255  | 290   | 170                                     | 205  | 230   | 250                        |
| 182,01                     | 240   | 285  | 320   | 190                                     | 230  | 265   | 300                        |
| 177,34                     | 260   | 310  | 350   | 210                                     | 250  | 280   | 350                        |
| 202,68                     | 280   | 335  | 380   | 225                                     | 270  | 305   | 400                        |
| 253,25                     | 320   | 380  | 430   | 250                                     | 310  | 350   | 500                        |
| 304,02                     | 355   | 420  | 475   | 285                                     | 340  | 395   | 600                        |
| 354,69                     | 385   | 460  | 520   | 310                                     | 375  | 430   | 70                         |
| 393,02                     | 400   | 475  | 535   | 320                                     | 385  | 435   | 750                        |
| 405,36                     | 410   | 490  | 545   | 330                                     | 395  | 450   | 800                        |
| 458,03                     | 435   | 520  | 585   | 355                                     | 425  | 480   | 900                        |
| 505,70                     | 455   | 545  | 615   | 375                                     | 445  | 500   | 1 000                      |
| 603,36                     | 485   | 590  | 665   | 405                                     | 485  | 545   | 1 250                      |
| 760,05                     | 520   | 625  | 705   | 435                                     | 520  | 585   | 1 500                      |
| 895,73                     | 545   | 650  | 735   | 455                                     | 545  | 615   | 1 750                      |
| 1 013,40                   | 560   | 665  | 750   | 470                                     | 560  | 630   | 2 000                      |
| FACTORES DE CORRECCIÓN     |   |  |   |   |  |   |                            |
| Temperatura ambiente en °C | Para temperaturas ambiente distintas de 30°C, multiplicar las anteriores corrientes por el correspondiente factor de los siguientes |  |   |   |  |   | Temperatura ambiente en °C |
| 21-25                      | 1,06  | 1,06   | 1,04  | 1,06                                    | 1,05   | 1,04  | 21-25                      |
| 25-30                      | 1,00  | 1,00   | 1,00  | 1,00                                    | 1,00   | 1,00  | 25-30                      |
| 31-35                      | 0,91  | 0,94   | 0,95  | 0,91                                    | 0,94   | 0,95  | 31-35                      |
| 36-40                      | 0,82  | 0,86   | 0,91  | 0,82                                    | 0,86   | 0,91  | 36-40                      |
| 41-45                      | 0,71  | 0,82   | 0,87  | 0,71                                    | 0,82   | 0,87  | 41-45                      |
| 46-50                      | 0,58  | 0,75   | 0,82  | 0,58                                    | 0,75   | 0,82  | 46-50                      |
| 51-55                      | 0,41  | 0,67   | 0,76  | 0,41                                    | 0,67   | 0,76  | 51-55                      |
| 56-60                      | ---   | 0,58   | 0,71  | ---                                     | 0,58   | 0,71  | 56-60                      |
| 61-70                      | ---   | 0,33   | 0,58  | ---                                     | 0,33   | 0,58  | 61-70                      |
| 71-80                      | ---   | ---  | 0,41  | ---                                     | ---  | 0,41  | 71-80                      |

\* Si no se permite otra cosa específicamente en otro lugar de este código, la protección contra sobrecorriente de los conductores marcados con un asterisco (\*), no debe superar los 15 A para el conductor de sección transversal 2,06 mm<sup>2</sup> (14 AWG); 20 A para 3,3 mm<sup>2</sup> (12 AWG) y 30 A para 5,25 mm<sup>2</sup> (10 AWG), todos de cobre; o 15 A para 3,3 mm<sup>2</sup> (12 AWG) y 25 A para 5,25 mm<sup>2</sup> (10 AWG) de aluminio y aluminio recubierto de cobre, una vez aplicados todos los factores de corrección por temperatura ambiente y por número de conductores.

## ANEXO 5.- SIMULACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO APLICANDO EL PROGRAMA PVSIST

|  |   |                               |
|--|---|-------------------------------|
| PVSYST V6.35   | 14/12/16  | Página 1/4                    |
| <b>Sistema Aislado: Parámetros de la simulación</b>          |   |                               |
| <b>Proyecto :</b>  | <b>Proyecto Aislado al COMUNIDAD RIO BLANCO</b>                               |                               |
| <b>Lugar geográfico</b>                                      | <b>COMUNIDAD RIO BLANCO</b>   | <b>Pais Ecuador</b>           |
| <b>Ubicación</b>   | <b>Latitud 1.4°S</b>  | <b>Longitud 78.8°W</b>        |
| <b>Hora definido como</b>                                    | <b>Hora Legal Huso hor. UT-5</b>  | <b>Altitud 4016 m</b>         |
|  | <b>Albedo 0.20</b>  |                               |
| <b>Datos climatológicos:</b>                                 | <b>COMUNIDAD RIO BLANCO Síntesis - DATOS REALES DE ESTACION METEOROLOGICA</b> |                               |
| <b>Variante de simulación : Nueva variante de simulación</b> |   |                               |
|  | <b>Fecha de simulación</b>  | <b>14/12/16 23h32</b>         |
| <b>Parámetros de la simulación</b>                           |   |                               |
| <b>Orientación Plano Receptor</b>                            | <b>Inclinación 10°</b>  | <b>Acimut 180°</b>            |
| <b>Modelos empleados</b>                                     | <b>Transposición Perez</b>  | <b>Difuso Erbs, Meteonorm</b> |

|  |   |                                 |
|--|---|---------------------------------|
| PVSYST V6.35   | 14/12/16  | Página 2/4                      |
| <b>Sistema Aislado: Necesidades detalladas del usuario</b>                     |   |                                 |
| <b>Proyecto :</b>  | <b>Proyecto Aislado al COMUNIDAD RIO BLANCO</b> |                                 |
| <b>Variante de simulación :</b>  | <b>Nueva variante de simulación</b>             |                                 |
| <b>Parámetros principales del sistema</b>                                      | <b>Tipo de sistema</b>                          | <b>Aislado</b>                  |
| <b>Orientación Campos FV</b>   | <b>Inclinación</b>                              | <b>10°</b>                      |
|  |   | <b>acimut 180°</b>              |
| <b>Generador FV</b>  | <b>N° de módulos</b>                            | <b>2</b>                        |
| <b>Batería</b>   | <b>Modelo</b>                                   | <b>Open 12V / 100 Ah</b>        |
| <b>banco de baterías</b>   | <b>N° de unidades</b>                           | <b>2</b>                        |
| <b>Necesidades de los usuarios</b>   | <b>Cons. domésticos diarios</b>                 | <b>Constante durante el año</b> |
|  |   | <b>global 191 kWh/año</b>       |
| <b>Cons. domésticos diarios, Constante durante el año, media = 0.6 kWh/día</b> |   |                                 |
| <b>Valores anuales</b>   |   |                                 |
|  | <b>Número</b>                                   | <b>Potencia</b>                 |
|  |   | <b>Utilización</b>              |
|  |   | <b>Energía</b>                  |
| <b>Lámparas fluorescentes</b>  | <b>3</b>  | <b>20 W/lámpara</b>             |
|  |   | <b>3 h/día</b>                  |
|  |   | <b>180 Wh/día</b>               |
| <b>TV/Magnetoscopio/PC</b>   | <b>1</b>  | <b>100 W/art.</b>               |
|  |   | <b>3 h/día</b>                  |
|  |   | <b>300 Wh/día</b>               |
| <b>Electrodomésticos</b>   | <b>1</b>  | <b>16 W/art.</b>                |
|  |   | <b>2 h/día</b>                  |
|  |   | <b>32 Wh/día</b>                |
| <b>Otras utilizaciones</b>   | <b>1</b>  | <b>10 W total</b>               |
|  |   | <b>1 h/día</b>                  |
|  |   | <b>10 Wh/día</b>                |
| <b>Energía total diaria</b>  |   |                                 |
|  |   | <b>522 Wh/día</b>               |

### Sistema Aislado: Resultados principales

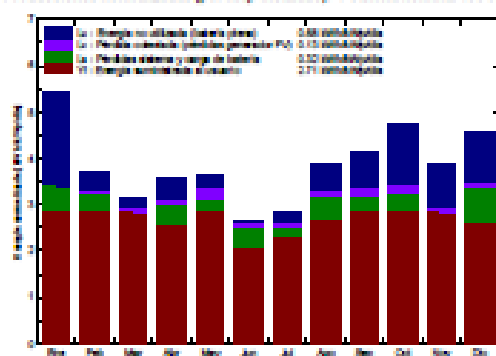
Proyecto : **Proyecto Aislado at COMUNIDAD RIO BLANCO**  
 Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

|   |                          |                          |                   |                |
|---|--------------------------|--------------------------|-------------------|----------------|
| <b>Parámetros principales del sistema</b> | <b>Tipo de sistema</b>   | Aislado                  |                   |                |
| Orientación Campos FV                     | Inclinación              | 10°                      | acimut            | 180°           |
| Generador FV                              | N° de módulos            | 2                        | Pnom total        | 180 Wp         |
| Batería                                   | Modelo                   | Open 12V / 100 Ah        | Tecnología        | bierta, placas |
| banco de baterías                         | N° de unidades           | 2                        | Tensión/Capacidad | 12 V / 200 Ah  |
| Necesidades de los usuarios               | Cons. domésticos diarios | Constante durante el año | global            | 191 kWh/año    |

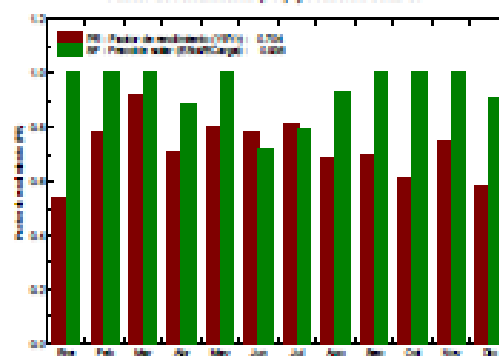
#### Resultados principales de la simulación

|                               |                                   |               |                              |                 |
|-------------------------------|-----------------------------------|---------------|------------------------------|-----------------|
| <b>Producción del Sistema</b> | <b>Energía disponible</b>         | 233.7 kWh/año | <b>Producción específica</b> | 1298 kWh/kW/año |
|                               | <b>Energía utilizada</b>          | 178.3 kWh/año | <b>Exced. (inutilizado)</b>  | 44.9 kWh/año    |
|                               | <b>Factor de rendimiento (PR)</b> | 70.4 %        | <b>Fracción solar SF</b>     | 93.6 %          |
| <b>Pérdida de carga</b>       | <b>Fracción de tiempo</b>         | 6.4 %         | <b>Energía faltante</b>      | 12.3 kWh/año    |

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 180 Wp



Factor de rendimiento (PR) y Fracción solar SF



#### Nueva variante de simulación Balances y resultados principales

|            | GlobHor<br>kWh/m² | GlobEF<br>kWh/m² | E Avail<br>kWh | EUnused<br>kWh | E Miss<br>kWh | E User<br>kWh | E Load<br>kWh | SolFrac |
|------------|-------------------|------------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------|
| Enero      | 158.1             | 163.1            | 29.67          | 11.47          | 0.000         | 16.16         | 16.16         | 1.000   |
| Febrero    | 106.5             | 100.0            | 17.32          | 1.83           | 0.000         | 14.82         | 14.82         | 1.000   |
| Marzo      | 67.7              | 64.0             | 15.79          | 1.05           | 0.000         | 16.16         | 16.16         | 1.000   |
| Abril      | 111.9             | 103.7            | 18.64          | 2.61           | 1.668         | 13.76         | 15.86         | 0.861   |
| Mayo       | 130.3             | 106.1            | 18.05          | 1.54           | 0.000         | 16.16         | 16.16         | 1.000   |
| Junio      | 85.8              | 76.7             | 12.61          | 0.02           | 4.409         | 11.25         | 15.86         | 0.710   |
| Julio      | 64.2              | 64.2             | 14.14          | 1.07           | 3.321         | 12.86         | 16.16         | 0.795   |
| Agosto     | 127.4             | 115.9            | 20.32          | 3.34           | 1.341         | 14.64         | 16.16         | 0.903   |
| Septiembre | 125.7             | 120.0            | 20.38          | 4.00           | 0.000         | 15.86         | 15.86         | 1.000   |
| Octubre    | 142.9             | 141.5            | 24.42          | 7.22           | 0.000         | 16.16         | 16.16         | 1.000   |
| Noviembre  | 111.8             | 112.7            | 18.41          | 4.62           | 0.000         | 15.86         | 15.86         | 1.000   |
| Diciembre  | 132.1             | 130.7            | 23.57          | 5.61           | 1.432         | 14.75         | 16.16         | 0.911   |
| Año        | 1408.2            | 1368.8           | 233.71         | 44.88          | 12.272        | 178.26        | 190.53        | 0.886   |

|         |         |   |         |  |
|---------|---------|---|---------|--|
| Legend: | GlobHor | Irradiación global horizontal                   | E Miss  | Energía faltante                         |
|         | GlobEF  | Global efectivo, con. para IAM y sombras        | E User  | Energía suministrada al usuario          |
|         | E Avail | Energía Solar Disponible                        | E Load  | Necesidad de energía del usuario (Carga) |
|         | EUnused | Pérdida de energía no utilizada (batería plena) | SolFrac | Fracción solar (EUtilizada/E Carga)      |

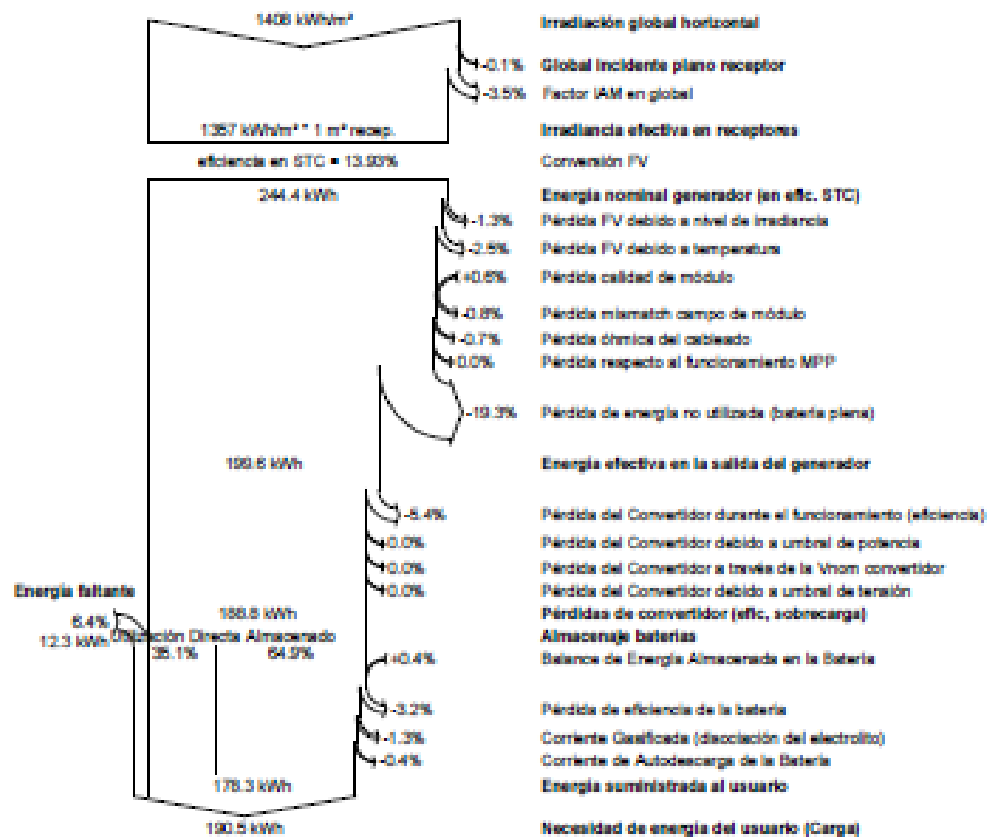
## Sistema Aislado: Diagrama de pérdidas

Proyecto : Proyecto Aislado at COMUNIDAD RIO BLANCO

Variante de simulación : Nueva variante de simulación

|                                    |                          |                          |                   |                |
|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|----------------|
| Parámetros principales del sistema | Tipo de sistema          | Aislado                  |                   |                |
| Orientación Campos FV              | Inclinación              | 10°                      | acmut             | 180°           |
| Generador FV                       | N° de módulos            | 2                        | Pnom total        | 180 Wp         |
| Batería                            | Modelo                   | Open 12V / 100 Ah        | Tecnología        | bierta, placas |
| banco de baterías                  | N° de unidades           | 2                        | Tensión/Capacidad | 12 V / 200 Ah  |
| Necesidades de los usuarios        | Cons. domésticos diarios | Constante durante el año | global            | 131 kWh/año    |

## Diagrama de pérdida durante todo el año

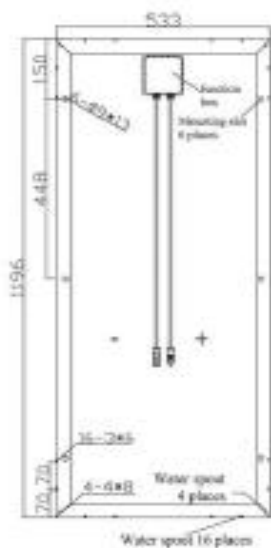


## ANEXO 6.- CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PANEL SOLAR



### 100 W Maximum Power

High Efficiency Mono-crystalline Solar Module



#### BENEFITS

- High and stable conversion efficiency based on over 8 years professional experience
- High reliability with guaranteed 0 - + 3 % output power tolerance
- Proven materials, tempered front glass and a sturdy anodized aluminum frame allow modules to operate reliably in multiple mounting configuration
- Combination of high efficiency and attractive appearance

#### QUALITY AND SAFETY

- 25-year output power warranty
- ISO9001: 2008 (Quality Management System) certified factory
- IEC 61215, Safety tested IEC 61730, CE
- Product Liability Insurance guarantee and users' benefit
- Hail impact: 277 g steel ball falling from 1 m height, 80 m/s wind speed increased snow load according to IEC 61215: up to 5400 N/m<sup>2</sup> wind load and suction according to IEC 61215: up to 2400 N/m<sup>2</sup>

#### TEMPERATURE COEFFICIENTS

| Temperature coefficients               |   | at 1000 W/m <sup>2</sup> , 25 °C, air mass: 1 |
|--|---|---|
| Voltage coefficient (V <sub>oc</sub> ) | β | -0.35 %/°C                                    |
| Current coefficient (I <sub>s</sub> )  | α | +0.055 %/°C                                   |
| Power coefficient (P <sub>max</sub> )  | γ | -0.45 %/°C                                    |
| Minimum power tolerance                |   | 0 - + 3 %                                     |



SunLink PV Technology Co., Ltd.  
 Nanyuan Road, Zhangjiagang Economic Development Zone,  
 Jiangsu Province, 215600, China.  
 Tel: +86-512-58160598 58160566  
 Fax: +86-512-58160593  
 www.sunlink-pv.com

# 100 W Maximum Power



## TECHNICAL DATA

|               |  |
|---------------|--|
| Solar cell    | 36 mono-crystalline 125 × 125 mm                                   |
| Front glass   | 3.2 mm tempered glass  |
| Junction box  | IP65 rated   |
| Bypass diodes | 1 piece  |
| Output cables | 900 mm length cable, compatible with MC <sup>4</sup> /V connectors |
| Frame         | anodized aluminium   |
| Weight        | 8 kg   |
| Dimensions    | 1198 × 533 × 35 mm   |

## ELECTRICAL DATA

| Module Type                        | SL080-12M100 | SL080-12M95 | SL080-12M90 | SL080-12M85 | SL080-12M80 |
|------------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Nominal peak power ( $P_{max}$ )   | 100W         | 95W         | 90W         | 85W         | 80W         |
| Nominal voltage ( $V_{mp}$ )       | 17.2V        | 17.2V       | 17.2V       | 17.2V       | 17.2V       |
| Nominal current ( $I_{mp}$ )       | 5.81A        | 5.52A       | 5.23A       | 4.94A       | 4.65A       |
| Open circuit voltage ( $V_{oc}$ )  | 21.6V        | 21.6V       | 21.6V       | 21.6V       | 21.6V       |
| Short circuit current ( $I_{sc}$ ) | 6.43A        | 6.11A       | 5.79A       | 5.47A       | 5.14A       |
| Module efficiency                  | 15.6%        | 14.9%       | 14.1%       | 13.3%       | 12.5%       |
| Operating Temperature              | -40~+85°C    | -40~+85°C   | -40~+85°C   | -40~+85°C   | -40~+85°C   |
| Maximum System Voltage             | 1000 V DC    | 1000 V DC   | 1000 V DC   | 1000 V DC   | 1000 V DC   |

STC: Irradiance: 1000 W/m<sup>2</sup>, module temperature: 25 °C, air mass: 1.5 (EN 60904-2)

|                                    |       |       |       |       |       |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Maximum power ( $P_{max}$ )        | 72W   | 68W   | 65W   | 61W   | 58W   |
| Nominal voltage ( $V_{mp}$ )       | 16.5V | 16.5V | 16.5V | 16.5V | 16.5V |
| Nominal current ( $I_{mp}$ )       | 4.37A | 4.15A | 3.94A | 3.72A | 3.50A |
| Open circuit voltage ( $V_{oc}$ )  | 19.9V | 19.9V | 19.9V | 19.9V | 19.9V |
| Short circuit current ( $I_{sc}$ ) | 4.79A | 4.55A | 4.31A | 4.07A | 3.83A |

NOTE: Irradiance: 800 W/m<sup>2</sup>, module temperature: 85 °C, air mass: 1.5

Reference conditions: light conditions: 200 W/m<sup>2</sup>, IMR100-1, 80.2 % (a) higher of the STC efficiency (1000 W/m<sup>2</sup>) is achieved

## PACKING CONFIGURATION

|                       | 20' GP | 40' GP |
|-----------------------|--------|--------|
| Pieces per pallet     | 40     | 40     |
| Pallets per container | 16     | 35     |
| Pieces per container  | 640    | 1400   |

## WARRANTY AND CERTIFICATIONS

| Warranty | 10 years workmanship                        |
|----------|---|
|          | 12 years 80 % of the nominal power warranty |
|          | 25 years 80 % of the nominal power warranty |

Certifications: IEC 61215, Safety tested IEC 61730 part 2, CE

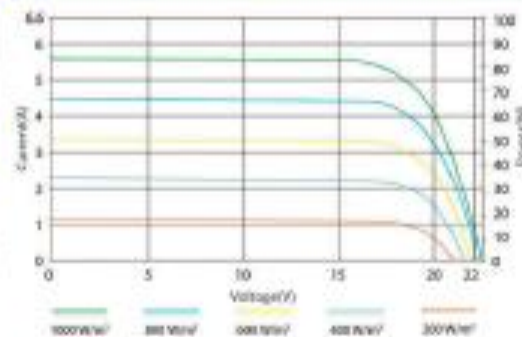
CAUTION: Read Safety And Installation Instructions Before Using The Product.

© April 2012 SunLink PV Technology Co., Ltd. All rights reserved.

Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

♻️ Printed on recycled paper.

## Current-Voltage & Power-Voltage Curve (SL080-12M95)



SunLink PV APPOINTED DEALER

ANEXO 7.- CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL REGULADOR DE  
VOLTAJE

**TRISTAR**<sup>TM</sup>.....

**Solar Charging System Controller**

**Installation, Operation and  
Maintenance Manual**



.....  
**Solar Battery Charging**

.....  
**Load Control**

.....  
**Diversion Control**



**MORNINGSTAR**

World's Leading **Solar Controllers & Inverters**

[www.morningstarcorp.com](http://www.morningstarcorp.com)

**MODELS**

**TS-45**

**TS-60**



## ANEXO 8.- CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS BATERÍAS



### RA6-200D (6V200Ah)

RA6-200D is AGM Deep cycle battery with 10 years floating design life, specially designed for frequent cyclic discharge usage. By using strong grid and specific paste plate, it makes battery have 30% more cyclic life time than standby series. It is applicable for solar energy system, golfcart, electric wheelchair, etc...

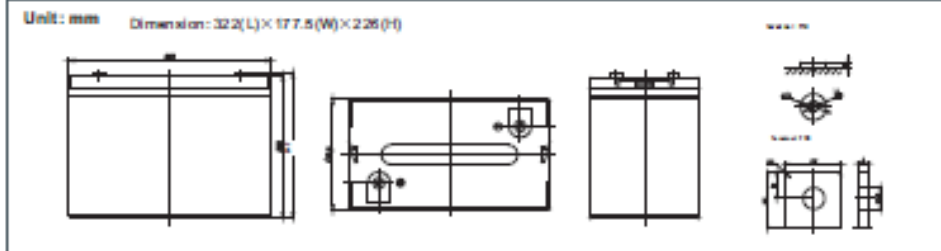


#### Specification

|  |  |
|--|--|
| Cells Per Unit                             | 3  |
| Voltage Per Unit                           | 6  |
| Capacity                                   | 200Ah@ 10hr-rate to 1.80V per cell @25°C   |
| Weight                                     | Approx. 29.0Kg   |
| Max. Discharge Current                     | 200A (5 sec)   |
| Internal Resistance                        | Approx. 1.8 mΩ   |
| Operating Temperature Range                | Discharge: -20°C~60°C<br>Charge: 0°C~50°C<br>Storage: -20°C~60°C   |
| Normal Operating Temperature Range         | 25°C±5°C   |
| Float Charging Voltage                     | 6.8 to 6.9V DC/unit Average at 25°C  |
| Recommended Maximum Charging Current Limit | 60A  |
| Equalization and Cycle Service             | 7.3 to 7.4V DC/unit Average at 25°C  |
| Self Discharge                             | RITAR Valve Regulated LeadAcid (VRLA) batteries can be stored for more than 6 months at 25°C. Self-discharge ratio less than 3% per month at 25°C. Please charge batteries before using. |
| Terminal                                   | Terminal F14 (F16)   |
| Container Material                         | A.B.S. (UL94-HB), Flammability resistance of UL94-V1 can be available upon request.  |



#### Dimensions



#### Constant Current Discharge Characteristics: A (25°C)

| F.V/Time | 5MIN  | 10MIN | 15MIN | 30MIN | 1HR   | 2HR   | 3HR   | 4HR   | 5HR   | 8HR   | 10HR  | 20HR  |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 4.80V    | 545.1 | 408.3 | 344.7 | 220.8 | 130.0 | 77.79 | 53.77 | 44.06 | 36.07 | 24.84 | 21.01 | 11.55 |
| 5.00V    | 529.4 | 388.5 | 337.6 | 217.2 | 129.4 | 77.20 | 53.56 | 43.86 | 35.86 | 24.64 | 20.80 | 11.34 |
| 5.10V    | 513.7 | 374.8 | 332.3 | 215.3 | 128.2 | 76.62 | 53.15 | 43.66 | 35.64 | 24.44 | 20.60 | 11.13 |
| 5.25V    | 461.3 | 345.9 | 316.4 | 209.9 | 127.0 | 76.03 | 52.94 | 43.25 | 35.22 | 24.24 | 20.40 | 10.92 |
| 5.40V    | 416.3 | 315.4 | 291.7 | 200.7 | 124.0 | 74.67 | 51.50 | 42.23 | 34.58 | 23.83 | 20.20 | 10.71 |
| 5.55V    | 355.5 | 281.9 | 261.6 | 188.0 | 117.8 | 71.35 | 49.23 | 40.19 | 33.10 | 22.82 | 19.59 | 10.08 |

#### Constant Power Discharge Characteristics: W (25°C)

| F.V/Time | 5MIN | 10MIN | 15MIN | 30MIN | 1HR   | 2HR   | 3HR   | 4HR   | 5HR   | 8HR   | 10HR  | 20HR  |
|----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 4.80V    | 2819 | 2174  | 1896  | 1259  | 751.1 | 458.4 | 319.9 | 262.6 | 215.1 | 148.3 | 125.5 | 69.26 |
| 5.00V    | 2764 | 2108  | 1865  | 1243  | 749.3 | 456.0 | 320.0 | 262.3 | 214.6 | 147.6 | 124.7 | 68.06 |
| 5.10V    | 2732 | 2052  | 1844  | 1234  | 743.5 | 453.3 | 318.6 | 261.7 | 213.9 | 146.6 | 123.6 | 66.80 |
| 5.25V    | 2487 | 1911  | 1759  | 1206  | 736.8 | 450.0 | 317.4 | 259.3 | 211.3 | 145.4 | 122.4 | 65.54 |
| 5.40V    | 2265 | 1761  | 1626  | 1156  | 723.2 | 444.2 | 308.7 | 253.4 | 207.5 | 143.0 | 121.2 | 64.28 |
| 5.55V    | 1990 | 1593  | 1464  | 1086  | 692.3 | 427.7 | 295.4 | 241.1 | 198.6 | 136.9 | 117.6 | 60.50 |

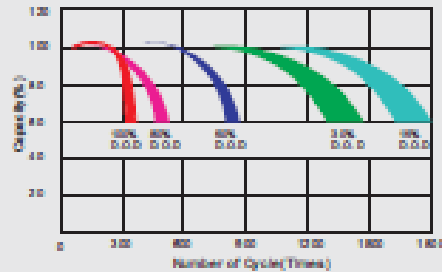
All mentioned values are average values.

# RA6-200D

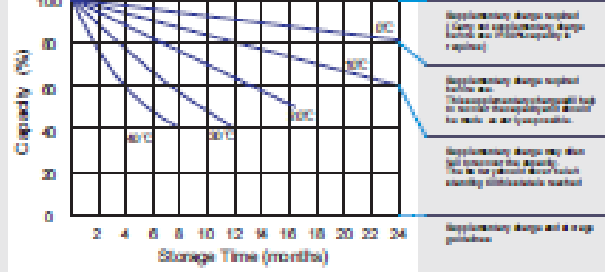
6V200Ah



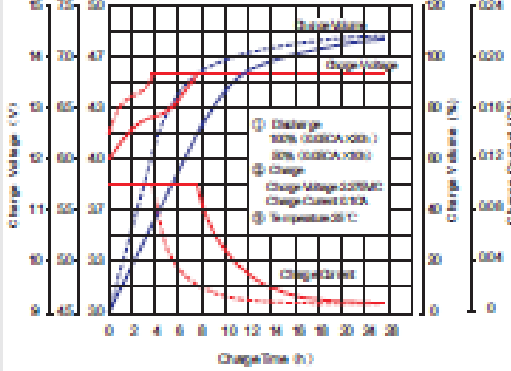
Life characteristics of cyclic use



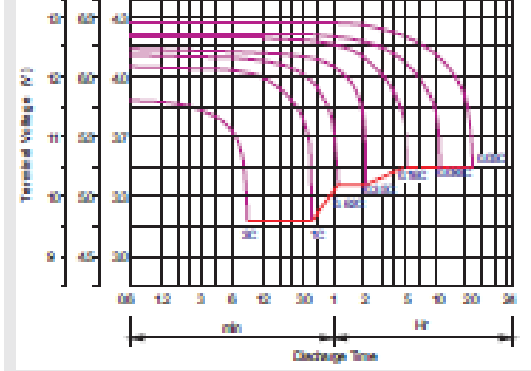
Storage characteristics



Charge characteristics curve for cyclic use



Discharge characteristics curve



### Capacity Factors With Different Temperature

| Battery Type |        | -20°C | -10°C | 0°C | 5°C | 10°C | 20°C | 25°C | 30°C | 40°C | 45°C |
|--------------|--------|-------|-------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| GEL Battery  | 6V&12V | 50%   | 70%   | 83% | 83% | 90%  | 98%  | 100% | 102% | 104% | 105% |
|              | 2V     | 60%   | 75%   | 85% | 88% | 92%  | 99%  | 100% | 103% | 105% | 106% |
| AGM Battery  | 6V&12V | 46%   | 66%   | 76% | 83% | 90%  | 98%  | 100% | 103% | 107% | 109% |
|              | 2V     | 55%   | 70%   | 80% | 83% | 92%  | 99%  | 100% | 104% | 108% | 110% |

### Discharge Current VS. Discharge Voltage

| Final Discharge Voltage V/cell | 1.75V     | 1.70V           | 1.60V     |
|--------------------------------|-----------|-----------------|-----------|
| Discharge Current (A)          | (A) <0.20 | 0.20< (A) <1.00 | (A) >1.00 |

### Maintenance & Cautions

| Cycle service  |
|--|
| ⊗ Avoid battery over discharge, especially battery series connection use.      |
| ⊗ Charged with recommen dvoltage, ensure battery can be full recharged.        |
| In general, recharge capacity should be 1.1-1.15 times discharge capacity.     |
| ⊗ Effect of temperature on cycle charge voltage: -4mV/°C/cell.                 |
| ⊗ There are a number of factors that will affect the length of cyclic service. |
| The most significant are depth of discharge, ambient temperature,              |
| discharge rate, and the manner in which the battery is recharged.              |
| Generally speaking, the most important factors is depth of discharge.          |

Charge the batteries at least once every six months, if they are stored at 25°C.

Charging Method:

|                  |  |
|------------------|--|
| Constant Voltage | -0.20x2h+2.4-2.45V/Celx24h, Max. Current 0.3CA |
| Constant Current | -0.20x2h+0.1CAx12h                             |
| Fast             | -0.20x2h+0.3CAx1.0h                            |

SHEN ZHEN RITAR POWER CO.,LTD.

URL: www.ritarpower.com

Address: Pm 405, Tower C, Huashan Building, Langshan Rd16, Nanhai District, ShenZhen, 518067, China

Tel: +86-755-33688888 Fax: 8675-434-9188

2017.06.01