

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y**  
**AMBIENTALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES**



**“DISEÑO DE UNA MICRO RED INTELIGENTE PARA ILUMINACIÓN**  
**PÚBLICA RURAL A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA:**  
**CASO DE ESTUDIO COMUNIDAD DE ZULETA”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**  
**DE INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**AUTOR:**

**Paul Esteban Sandoval Chachalo**

**DIRECTOR**

**ING. JUAN GUAMAN, MSc.**

**Septiembre – 2022**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**



**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**“DISEÑO DE UNA MICRO RED INTELIGENTE PARA ILUMINACIÓN  
PÚBLICA RURAL A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA:  
CASO DE ESTUDIO COMUNIDAD DE ZULETA”**

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, previo a la obtención del Título de:

**INGENIEROS EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**APROBADO:**

Juan Guamán MSc.

**DIRECTOR**

  
.....  
**FIRMA**

Luis Álvarez MSc.

**ASESOR**

  
.....  
**FIRMA**

Jorge Granja MSc.

**ASESOR**

  
.....  
**FIRMA**

IBARRA-ECUADOR

Septiembre, 2022



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN  
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DE CONTACTO           |             |                                |            |
|-----------------------------|-------------|--------------------------------|------------|
| <b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b> | <b>DE</b>   | 105013035-8                    |            |
| <b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b> | <b>Y</b>    | Sandoval Chachalo Paul Esteban |            |
| <b>DIRECCIÓN:</b>           |             | Zuleta                         |            |
| <b>EMAIL:</b>               |             | pesandovalc@utn.edu.ec         |            |
| <b>TELÉFONO FIJO:</b>       | 06-2662-024 | <b>TELÉFONO MÓVIL:</b>         | 0988092010 |

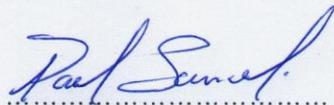
| DATOS DE LA OBRA               |  |
|--------------------------------|--|
| <b>TÍTULO:</b>                 | DISEÑO DE UNA MICRO RED INTELIGENTE PARA ILUMINACIÓN PÚBLICA RURAL A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA: CASO DE ESTUDIO COMUNIDAD DE ZULETA |
| <b>AUTOR (ES):</b>             | Sandoval Chachalo Paul Esteban   |
| <b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>       | 19/09/2022   |
| SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO    |  |
| <b>PROGRAMA:</b>               | <input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO   |
| <b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b> | Ingeniero en Energías Renovables   |
| <b>ASESOR /DIRECTOR:</b>       | ING. JUAN GUAMAN, MSc.   |

## 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 19 días del mes de septiembre del 2022

**EL AUTOR:**



Sandoval Chachalo Paul Esteban

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias a mis padres quienes, con sacrificio de enseñar a ser una persona con valores, capaz de enfrentar las adversidades que se presentan sin temor alguno y por darme este valioso regalo como lo es la educación superior.

Un agradecimiento especial para el director de tesis MSc. Juan Guamán, quien brindo su valioso tiempo y conocimiento para formarme como profesional crítico, comprometido y responsable, también al Msc. Luis Álvarez y al MSc. Jorge Granja por brindarme sus conocimientos dentro de la carrera universitaria.

Gracias a la COMUNA ZULETA y a su importante disposición y colaboración para que esta investigación se pueda llevar a cabo, en especial a los miembros del cabildo 2020 - 2021. A EMELNORTE por su colaboración en los equipos e implementos necesarios para llevar a cabo este trabajo. En particular queremos agradecer a nuestros compañeros y amigos quienes han sido de gran ayuda en varias ocasiones, por fortalecer un lazo de compañerismo con la que siempre podremos contar.

## **DEDICATORIA**

A mi madre Margarita Chachalo quien siempre luchó por darme la educación, este trabajo de ingeniería es fruto de todos sus esfuerzos, sin su compañía y sabiduría no habría llegado hasta aquí.

A mi Padre Carlos Sandoval, por todo su esfuerzo y constancia en apoyarme en la educación, y gracias a su esfuerzo se llega a este trabajo de ingeniería.

A mis hermanos Carlos, Danilo, Galy, Alina a ustedes gracias por su apoyo moral para seguir adelante, y sobre todo su ayuda en la vida universitaria y por eso este logro lo comparto con ustedes, familiares y amistades.

Paul Esteban Sandoval Chachalo

## Índice de Contenidos

|   |     |
|---|-----|
| RESUMEN.....  | xv  |
| ABSTRACT.....   | xvi |
| Capítulo I.....   | 1   |
| Introducción .....  | 1   |
| 1.1    Antecedentes.....  | 1   |
| 1.2    Planteamiento del problema y justificación .....                     | 3   |
| 1.3    Pregunta directriz.....  | 5   |
| 1.4    Objetivos de la investigación.....                                   | 5   |
| 1.4.1  Objetivo general.....  | 5   |
| 1.4.2    Objetivos específicos .....  | 5   |
| 1.5    Hipótesis .....  | 5   |
| Capítulo II.....  | 6   |
| Marco Teórico.....  | 6   |
| 2.1.  Revisión de Literatura .....  | 6   |
| 2.2  Marco legal.....   | 13  |
| 2.2.1  La Constitución del Ecuador .....                                    | 13  |
| 2.2.2  Ley orgánica del servicio público de energía eléctrica – CENASE..... | 13  |
| 2.2.3  Ley orgánica de eficiencia energética .....                          | 13  |
| 2.2.4  Objetivos del desarrollo sostenible ONU.....                         | 14  |
| Capítulo III.....   | 15  |
| Metodología .....   | 15  |
| 3.1    Área de Estudio .....  | 15  |
| 3.2    Métodos .....  | 15  |
| 3.2.1  Análisis Luminotécnico .....   | 16  |
| 3.2.2  Dimensionamiento sistema fotovoltaico.....                           | 16  |
| 3.2.3  Diseño del modelo matemático.....                                    | 18  |

|  |    |
|--|----|
| 3.2.4 Sistema de control y monitoreo.....  | 19 |
| Capitulo IV.....   | 20 |
| Resultados y Discusión. ....   | 20 |
| 4.1. Análisis Luminotécnico. ....  | 20 |
| 4.2. Dimensionamiento de sistema fotovoltaico. ....  | 20 |
| 4.2.1. Análisis el consumo de energía al día.....  | 20 |
| 4.2.2. Valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano del generador<br>fotovoltaico $G_{dm}(\alpha, \beta)$ .....               | 22 |
| 4.2.3. Cálculo de la potencia mínima del generador fotovoltaico necesaria para<br>cubrir la demanda y elección el tamaño del generador. .... | 23 |
| 4.2.3.1 Numero de paneles solares en serie .....   | 23 |
| 4.2.3.2 Numero de paneles en paralelo .....  | 23 |
| 4.2.4. Dimensionado de la capacidad del acumulador. ....   | 24 |
| 4.2.5. Se dimensiona el regulador y el inversor. ....  | 25 |
| 4.3. Implementación del sistema fotovoltaico.....  | 29 |
| 4.4. Mediciones de parámetros eléctricos. ....   | 32 |
| 4.4.1. Análisis de Voltaje. ....   | 32 |
| 4.4.2. Análisis de armónicos. ....   | 33 |
| 4.4.3. Análisis de Factor de Potencia .....  | 34 |
| 4.4.4. Análisis de la Frecuencia. ....   | 35 |
| 4.4.5. Análisis de Flicker.....  | 36 |
| 4.4.6. Análisis de normalidad de datos. ....   | 37 |
| 4.4.7. Análisis comparativo entre dos variables.....   | 38 |
| 4.5. Modelación matemática y simulación.....   | 47 |
| 4.6 Sistema de monitoreo.....  | 50 |
| 4.7. Analisis de datos de medición del sistema de monitoreo.....   | 57 |

|                      |    |
|----------------------|----|
| Capitulo V .....     | 64 |
| Conclusiones .....   | 64 |
| Recomendaciones..... | 65 |
| Bibliografía. ....   | 66 |
| ANEXOS.....          | 74 |

### **Índice de tablas**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tabla 1</b> Datos técnicos de modulo fotovoltaico.....                  | <b>21</b> |
| <b>Tabla 2</b> Calculo de la demanda energética.....                       | <b>21</b> |
| <b>Tabla 3</b> Calculo de la irradiación sobre el plano de generador.....  | <b>23</b> |
| <b>Tabla 4</b> Valores de eficiencia de los componentes.....               | <b>24</b> |
| <b>Tabla 5</b> Configuración del sistema de almacenamiento de energía..... | <b>25</b> |
| <b>Tabla 6</b> Resultados específicos del regulador de carga.....          | <b>26</b> |
| <b>Tabla 7</b> Resultados específicos del inversor.....                    | <b>26</b> |
| <b>Tabla 8</b> Resumen del dimensionamiento del sistema.....               | <b>27</b> |
| <b>Tabla 9</b> Resumen estadístico Voltaje FV-Voltaje casa.....            | <b>39</b> |
| <b>Tabla 10</b> Resumen estadístico Armónicos Vtdh% FV-Casa.....           | <b>42</b> |
| <b>Tabla 11</b> Comparación de desviación estándar.....                    | <b>42</b> |
| <b>Tabla 12</b> Resumen estadístico FP casa – FP panel.....                | <b>45</b> |
| <b>Tabla 13</b> Comparación de desviación estándar.....                    | <b>45</b> |

## Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> Unidad básica de sistema fotovoltaico.....                     | 7  |
| <b>Figura 2</b> Tipo de asociación de módulos fotovoltaicos.....               | 7  |
| <b>Figura 3</b> Sistema fotovoltaico autónomo.....                             | 8  |
| <b>Figura 4</b> Sistema fotovoltaico conectado a la red.....                   | 9  |
| <b>Figura 5</b> Área de estudio.....   | 15 |
| <b>Figura 6</b> Recuadro de evaluación de calzada.....                         | 20 |
| <b>Figura 7</b> Irradiación sobre el plano fotovoltaico.....                   | 22 |
| <b>Figura 8</b> Selección de componentes para el sistema.....                  | 28 |
| <b>Figura 9</b> Diagrama de conexión.....                                      | 29 |
| <b>Figura 10</b> Implementación de estructura del sistema.....                 | 30 |
| <b>Figura 11</b> Soterramiento de cableado.....                                | 30 |
| <b>Figura 12</b> Implementación del sistema fotovoltaico.....                  | 31 |
| <b>Figura 13</b> Voltaje sistema fotovoltaico – Casa comunal.....              | 33 |
| <b>Figura 14</b> Armónico $V_{thd\%}$ sistema fotovoltaico – casa comunal..... | 34 |
| <b>Figura 15</b> Factor de potencia sistema fotovoltaico – casa comunal.....   | 35 |
| <b>Figura 16</b> Frecuencia Hz sistema fotovoltaico – casa comunal.....        | 35 |
| <b>Figura 17</b> Flicker sistema fotovoltaico – casa comunal.....              | 36 |
| <b>Figura 18</b> Análisis de normalidad de datos casa comunal.....             | 37 |
| <b>Figura 19</b> Análisis de normalidad de datos sistema fotovoltaico.....     | 38 |
| <b>Figura 20</b> Análisis comparativo de Voltaje FV – Voltaje casa.....        | 39 |
| <b>Figura 21</b> Grafica de cuantiles Voltaje FV – Voltaje casa.....           | 41 |
| <b>Figura 22</b> Análisis comparativo Armónico $V_{thd\%}$ Fv - Casa.....      | 41 |

|                  |  |    |
|------------------|--|----|
| <b>Figura 23</b> | Grafico de cuantiles Armónico Vthd% Fv - Casa.....               | 44 |
| <b>Figura 24</b> | Análisis comparativo FP panel – FP casa.....                     | 44 |
| <b>Figura 25</b> | Grafico de cuantiles Factor de potencia.....                     | 47 |
| <b>Figura 26</b> | Modelo matemático Voltaje sistema fotovoltaico.....              | 48 |
| <b>Figura 27</b> | Modelo matemático Armónico Vthd% sistema fotovoltaico.....       | 48 |
| <b>Figura 28</b> | Modelo matemático Factor de potencia sistema fotovoltaico.....   | 49 |
| <b>Figura 29</b> | Modelo matemático Potencia activa sistema fotovoltaico.....      | 50 |
| <b>Figura 30</b> | Esquema de conexión del sensor ZMPT101B.....                     | 51 |
| <b>Figura 31</b> | Diagrama de programación del sensor ZMPT101B.....                | 52 |
| <b>Figura 32</b> | Esquema de conexión del sensor ACS712 5-A.....                   | 52 |
| <b>Figura 33</b> | Diagrama de programación del sensor ACS712 5-A.....              | 53 |
| <b>Figura 34</b> | Esquema de conexión del sensor de voltaje DC.....                | 53 |
| <b>Figura 35</b> | Diagrama de programación del sensor de voltaje DC.....           | 54 |
| <b>Figura 36</b> | Diagrama de conexión del sensor ACS712 20-A.....                 | 55 |
| <b>Figura 37</b> | Interfaz visual de los parámetros eléctricos.....                | 55 |
| <b>Figura 38</b> | Diagrama de programación y generación del reporte de datos ..... | 56 |
| <b>Figura 39</b> | Generación de reporte de datos a Excel.....                      | 56 |
| <b>Figura 40</b> | Visualización de la interfaz web.....                            | 57 |
| <b>Figura 41</b> | Grafica de Pareto (Voltaje salida del inversor).....             | 58 |
| <b>Figura 42</b> | Grafica de Pareto (Corriente suministrada por el inversor).....  | 59 |
| <b>Figura 43</b> | Grafica de Pareto (Potencia).....                                | 60 |
| <b>Figura 44</b> | Historial de consumo eléctrico Casa Comunal Zuleta.....          | 60 |
| <b>Figura 45</b> | Grafica de Pareto (Voltaje FV).....                              | 61 |

**Figura 46** Grafica de Pareto (Corriente FV).....62

**Figura 47** Grafica de Pareto (Potencia FV).....63

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y**  
**AMBIENTALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES**  
**TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Anteproyecto del trabajo de titulación

Nombre de los estudiantes: Paul Esteban Sandoval Chachalo

**RESUMEN**

El incesante crecimiento de las necesidades energéticas propone a la academia incursionar en la investigación de nuevas formas o procedimientos para un uso eficiente de la energía y promover el incremento del uso de energías renovables, con el objetivo de impulsar el desarrollo sustentable y mitigación al cambio climático. El presente proyecto establece una alternativa al uso de los recursos energéticos renovables a través de micro redes inteligentes fotovoltaicas, para iluminación pública rural, donde una red convencional de alumbrado público tiene un alto costo de inversión por el transporte de energía eléctrica a los centros de consumo. La investigación está orientada a la implementación de una micro red fotovoltaica para iluminación del área comunal de Zuleta, en la primera etapa se instala un sistema fotovoltaico aislado de 660W de potencia, para cubrir una demanda energética de 1.30 kWh/día de la casa comunal de Zuleta, gracias al recurso solar incidente en este sector. La segunda fase comprende en generar un modelo matemático, para el voltaje, armónicos y factor de potencia, con coeficientes predictivos de 94.51%, 41.12% y 48.08% respectivamente, también la energía del sistema fotovoltaico se ajusta a la normativa de calidad de servicio eléctrico 004/01 del CONELEC. En la fase final se crea un sistema de monitoreo y adquisición de datos a través de sensores de voltaje y corriente, con un monitoreo a tiempo real del sistema fotovoltaico, para detección de fallas y análisis de datos.

**Palabras clave:** Energía solar, Sistema fotovoltaico, Micro red, Voltaje, Corriente, SCADA

## ABSTRACT

The incessant growth of energy needs proposes the academy to venture into the investigation of new forms or procedures for an efficient use of energy and promote the increase in the use of renewable energies, with the aim of promoting sustainable development and mitigation of climate change. . This project establishes an alternative to the use of renewable energy resources through smart photovoltaic microgrids, for rural public lighting, where a conventional public lighting network has a high investment cost for the transport of electrical energy to consumption centers. . The research is oriented towards the implementation of a photovoltaic micro-network for lighting in the communal area of Zuleta. In the first stage, an isolated photovoltaic system of 660W of power is installed, to cover an energy demand of 1.30 kWh/day of the communal house of Zuleta. Zuleta, thanks to the incident solar resource in this sector. The second phase includes generating a mathematical model, for voltage, harmonics and power factor, with predictive coefficients of 94.51%, 41.12% and 48.08% respectively, also the energy of the photovoltaic system is adjusted to the quality of electrical service regulations. 004/01 of CONELEC. In the final phase, a monitoring and data acquisition system is created through voltage and current sensors, with real-time monitoring of the photovoltaic system, for fault detection and data analysis.

## Capítulo I

### Introducción

#### 1.1 Antecedentes

La demanda de energía en el planeta aumenta a causa del crecimiento demográfico y se busca nuevas formas de generar energía eléctrica para satisfacer las necesidades de este recurso con una demanda creciente, mientras los recursos energéticos usuales (petróleo, carbón, gas natural y uranio), son escasos cada vez, es necesario generar nuevas fuentes de energías alternas para suplir de energía eléctrica, en términos de sostenibilidad, de manera que su transporte y precio sean asequibles para la población (Austin, 2011).

El uso de las energías renovables a gran escala es una parte del área de tecnología y ciencia con mayor desarrollo a nivel global, gracias a las ventajas de producir energía eléctrica, frente a los sistemas tradicionales de generación (INEA, 1997). Según la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) la energía solar será una de las principales fuentes de energía renovables de este siglo, no contamina y ha mejorado el rendimiento, y comercialmente es posible utilizarla para generar electricidad (IRENA, 2018). La creación de un sistema energético sostenible, asequible y seguro es muy importante para asegurar un desarrollo global, la necesidad de esta amplia transformación ha adquirido una respuesta internacional para mitigar el cambio climático (IRENA 2019).

El acceso a fuentes modernas de energía es un elemento clave para el bienestar de la sociedad, desarrollo de los pueblos, generación de ingresos familiares o colectivos, la educación, salud y otros conceptos considerados como prioritarios en el desarrollo humano (APPD Energía LATAM, 2011). Las perspectivas para aliviar la pobreza fracasaron debido al desinterés real en generar desarrollo sostenible y equitativo en comunidades rurales (Alvares & Fuente, 2004). Las tecnologías para el aprovechamiento de las energías renovables mediante un suministro eléctrico en sistemas aislados o autónomos (sin conexión a red pública eléctrica) o mini redes, son unas de las opciones más apropiadas para fomentar las tasas de electrificación en las zonas rurales, apartadas y con bajos niveles de población, la extensión de la red la mayoría de las veces, no resulta viable desde un punto de vista económico (Proyecto TECH4CDM, sf).

La electrificación rural en el caso de Chile, por ejemplo, no resultan rentables para las empresas o cooperativas eléctricas de distribución, entre otros motivos, por el bajo nivel de

consumo de electricidad, la lejanía de los centros de abastecimiento y la alta dispersión geográfica de los hogares (ELEC, 2014). Por otro lado, Perú podría lograr el acceso universal a la electricidad en el 2020, pero se requiere dedicar mayor atención a la electrificación no convencional, sobre todo al uso de modelos de gestión no convencionales para garantizar la sostenibilidad, dada la geografía del país (Olivares, 2015). Mientras tanto en el Ecuador la cobertura del servicio eléctrico para diciembre 2013 se estableció en 96,77%, la meta propuesta para diciembre de 2014 es de 97,04%, posicionando así al Ecuador como uno de los países con mayor cobertura de servicio eléctrico en la región (Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2014).

Frecuentemente las instalaciones de sistemas de energía renovable en áreas rurales no han sido acompañadas de la necesaria formación, capacitación y sensibilización de la población beneficiaria, también de la falta de empoderamiento de la población, ha limitado en gran medida su sostenibilidad (MEER, sf). CELEC EP Termopichincha, con la finalidad de dotar de servicio de energía eléctrica a las viviendas rurales situadas en comunidades aisladas, lleva a cabo el proyecto “Electrificación Rural con Energías Renovables en zonas aisladas del Ecuador”, así cumplimiento al Plan Nacional para el Buen Vivir y al Plan Maestro de Electrificación (CELEC EP, 2016).

Para el programa de obras financiados con el Fondo de Electrificación Rural y Urbano - Marginal (FERUM), el CONELEC calificó 1 194 proyectos, que beneficiarían a 291 491 familias, la ejecución de los proyectos de electrificación rural financiados con el FERUM por parte de las empresas distribución durante el período comprendido entre los años 1998-2009, ha alcanzado un total de 13.863 proyectos para atender a 1 177 150 viviendas (CONELEC, 2009).

El Gobierno del Ecuador el 20 de marzo de 2007 informó y encargó la ejecución del Programa EURO-SOLAR al Ministerio de Energía y Minas (MEM) (EURO-SOLAR, 2007). El Ecuador, siendo un país rico en fuentes de energía renovable, históricamente ha dependido en gran medida de los combustibles fósiles como fuente de energía. La academia y el Gobierno buscan revertir la situación con un radical cambio en la matriz energética (Chamba & Orellana Lalangui, 2015). El MEER mediante su informe del cambio de la Matriz Energética del Ecuador estipula que para el año 2020 el Ecuador debe contar con un 2% de tecnologías renovables no convencionales (1% solar o eólica, 1% biomasa). Adicional se tiene

3 023 MW de potencia hidráulica en construcción y un aproximado de 900 MW de recurso eólico (Samaniego, 2015).

## **1.2 Planteamiento del problema y justificación**

La falta de iluminación pública rural en Ecuador se considera actualmente como un problema importante, la ausencia de alumbrado público y energía eléctrica en los hogares y es un punto a tratar en los gobiernos actuales. Electrificar comunidades rurales es un problema complejo, porque la dificultad de acceso y bajo consumo de energía eléctrica, no se ajustan a las reglas ordinarias del mercado energético y a corto plazo están excluidas de la extensión de las redes eléctricas. Los sistemas aislados con energías renovables son tecnologías eficientes para dar este servicio, pero aun es necesario consolidar problemas importantes para garantizar su sostenibilidad.

Además, proveer energía eléctrica a sectores rurales, con una dispersión de los hogares dentro de un sector, dotar de electricidad y alumbrado público supone a las empresas encargadas de proveer este servicio, elevadas inversiones en tendidos eléctricos, materiales, suministros y como también la complejidad de detectar averías en las líneas.

Por estas razones la electrificación rural en hogares y alumbrado público supone altos costos de inversión, sin tomar en cuenta el desperdicio energético en transportar energía a sectores alejados. En octubre del 2019 la pérdida en transportar energía fue 11.84%, valor obtenido de los balances de energía de las empresas distribuidoras (ARCONEL, 2019). Esto representa un desbalance económico para las empresas, razón por la cual electrificar sectores rurales tiene una gran brecha de diferencia entre inversión y número de beneficiarios.

En los países en vías de desarrollo existen poblaciones rurales dispersas y es un gran desafío establecer modelos de desarrollo sostenible ajenos a los convencionales, sin descuidar la planificación energética. Adicionalmente en el contexto local debido a la falta de conocimiento y confianza en las nuevas tecnologías limpias de generación eléctrica. En la comunidad de Zuleta se tiene un déficit de alumbrado público en el centro comunal, condición apropiada para desarrollar una micro red autónoma fotovoltaica para la iluminación pública e interior de la casa comunal mediante el aprovechamiento de la energía solar, contribuir a la protección del medio ambiente y reducir las pérdidas energéticas por distribución y desarrollo de la comunidad

El incremento de consumo de energía eléctrica en el Ecuador y la búsqueda de diversificar la matriz energética con fuentes de energías renovables, ha dado lugar a

desarrollar aplicaciones y uso de tecnologías de aprovechamiento de la energía solar y eólica. La necesidad de administrar mejor los recursos energéticos, favorecer la protección del medio ambiente y responder a los requerimientos cada vez más exigentes, la calidad y confiabilidad del servicio para el usuario es una prioridad, por ello se deben buscar soluciones para asegurar un servicio de energía constante. El presente estudio de investigación se justifica considerando que la empresa distribuidora de energía eléctrica del Norte del país gastó \$4'558.034 en el año 2015 en alumbrado público general (ARCONEL, 2015), este monto es tan elevado, a causa del alto costo que representa transportar la electricidad y sus los dispositivos complementarios. Por ello se busca reducir el alto costo de transportar la electricidad para iluminación vial y ornamental gracias a la implementación de un sistema que aprovecha la energía del sol para generar electricidad in situ, de este modo eliminando las pérdidas energéticas en distribución de energía eléctrica de un sistema convencional.

Como una solución a este problema es posible implementar micro redes autónomas, en estas redes de distribución de energía eléctrica se aplican tecnologías modernas para la mejora del servicio eléctrico. Una micro red permite un ahorro de energía y una independencia de la red convencional, por otro lado las ventajas adicionales como la reducción de pérdidas en la red, descongestiona los sistemas de transporte de energía y disminuye el impacto ambiental del sistema eléctrico, con su implementación no solo se puede aumentar la confiabilidad y calidad del servicio de energía, sino mantener una sostenibilidad ambiental integrando la generación distribuida de fuentes no convencionales de energía renovable.

La energía eléctrica es una de las herramientas que requiere la población para el desarrollo de sus actividades productivas y mejorar su calidad de vida, satisfacer las necesidades básicas de las familias y comunidad, en cuanto a entretenimiento, comunicación, alumbrado y principalmente para desarrollar sus actividades agropecuarias, artesanales, comerciales e industriales.

Este proyecto está enfocado a mejorar la iluminación en área comunal de Zuleta, mediante el aprovechamiento de los recursos energéticos renovables del lugar, para brindar una iluminación adecuada a sus usuarios y personas de la localidad, son estas razones para desarrollar el diseño de una micro red inteligente basada en energía fotovoltaica que tendrá la capacidad de brindar el suministro eléctrico en la cantidad requerida, en el momento que sea necesario y con calidad de servicio eléctrico, beneficiando así a todas la comunidad, y promover el desarrollo de Zuleta.

### **1.3 Pregunta directriz**

¿Las micro redes autónomas son idóneas para el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica para iluminación pública rural?

### **1.4 Objetivos de la investigación**

#### ***1.4.1 Objetivo general***

Desarrollar una micro red inteligente para iluminación pública rural con energía solar fotovoltaica.

#### ***1.4.2 Objetivos específicos***

1. Determinar la demanda de energía eléctrica para iluminación pública rural en el área comunal de Zuleta.
2. Diseño del modelo matemático del sistema de iluminación.
3. Establecer un sistema SCADA de la micro red.

### **1.5 Hipótesis**

Por medio del aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica se reduce el consumo eléctrico de la red convencional para iluminación.

## Capítulo II

### Marco Teórico

En este capítulo se expone la información utilizada para el desarrollo de la investigación, se tomó referencias de investigaciones, artículos científicos y estudios con enfoque en energía solar en sectores rurales, y estudios de monitoreo del recurso solar.

#### 2.1. Revisión de Literatura

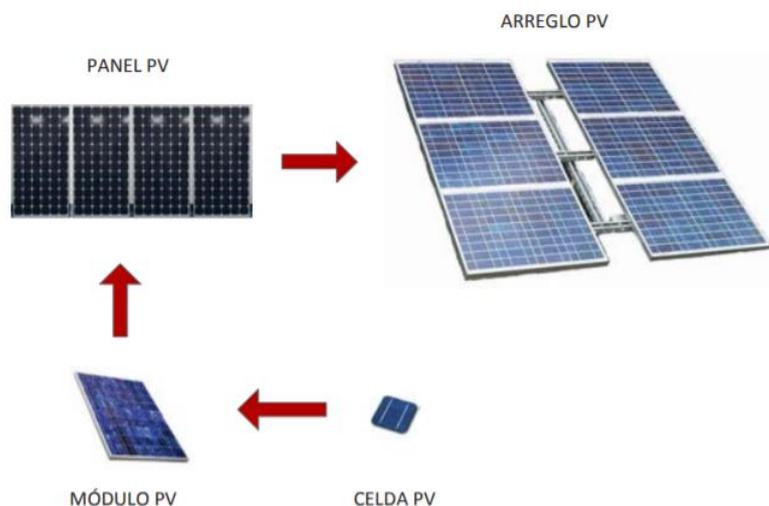
Los recursos naturales son recursos renovables que logran ser recuperados en un ciclo corto de tiempo, es decir, las energías renovables son generadas a partir de recursos naturales como, por ejemplo, viento, luz solar, movimiento del agua, biomasa y calor geotérmico (Gorjian, 2017). La energía solar fotovoltaica es la forma más inmediata de convertir la radiación solar en energía eléctrica y se basa en el efecto fotovoltaico, se define como la generación de un voltaje eléctrico entre dos electrodos unidos a un sistema sólido o líquido al iluminar este sistema (Lotsch et al,2005).

Una celda fotovoltaica es un dispositivo donde se produce la transformación de la luz solar en energía eléctrica, convierte la energía lumínica (fotones) en energía eléctrica (flujo de electrones), mediante el efecto fotoeléctrico (Arencibia, Carballo 2016). La celda fotovoltaica está formada por una delgada capa de un material semiconductor, generalmente compuesto por silicio (Tagüeña, Martínez, 2008).

Dado que la potencia eléctrica generada por una celda solar es pequeña, es necesario conectar varias para aumentar el voltaje o la corriente, generalmente se fabrican para producir voltajes de 12 o 24 volts de corriente directa, dando resultado un conjunto de varias celdas conectadas entre sí llamadas panel o módulo fotovoltaico (Bulnes, Best & Brown, 2010). Por otra parte, los módulos fotovoltaicos pueden ser conectados para formar un arreglo - rama o Sting, estos arreglos pueden ser conectados entre sí en paralelo o serie para obtener más corriente o más potencia (Islam et al, 2016).

## Figura 1

*Unidad básica de sistema fotovoltaico.*

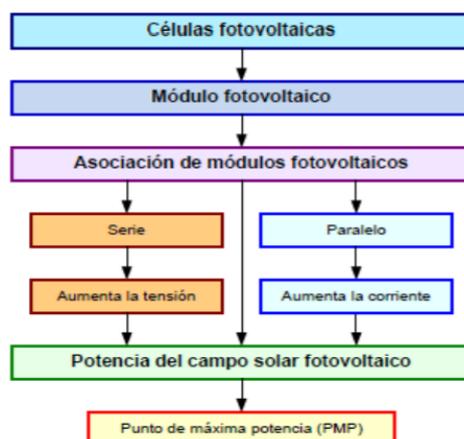


*Nota. Tomado de (Kannan N, & Vakeesan D, 2016)*

Un sistema de generación está conformado por los paneles fotovoltaicos, donde su número y tipo de conexión existente entre ellos depende de varios factores como: el valor promedio de la insolación del lugar, las cargas eléctricas y la máxima potencia nominal de salida del panel (García, 2016).

## Figura 2

*Tipo de asociación de módulos fotovoltaicos.*



*Nota. Tomado de Hauff J, Rendschmidt D. (2011).*

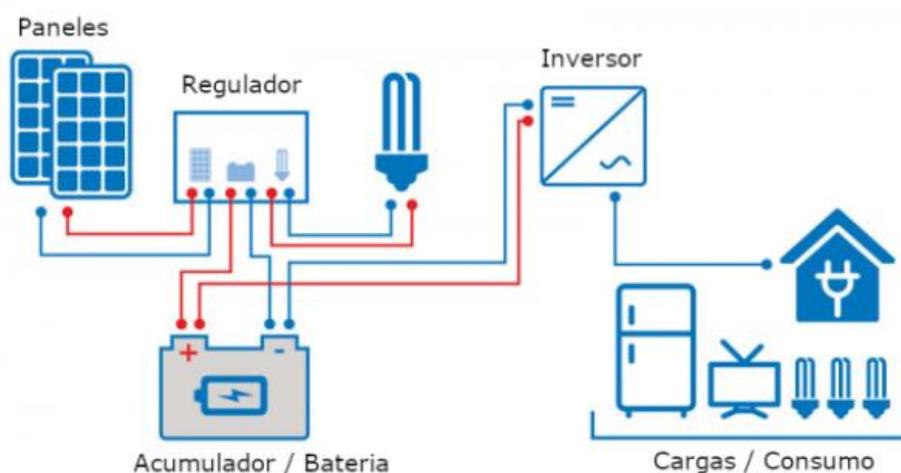
Si bien el módulo o generador fotovoltaico es el elemento esencial en un sistema, no es el único. En general el sistema fotovoltaico – SFV, a escala residencial (Pelález & Espinoza, 2015). Está formado por:

1. Un generador fotovoltaico
2. Una batería de acumulación
3. Un regulador de carga
4. Un inversor
5. El consumo (la carga)

El dispositivo fundamental en una instalación fotovoltaica es el inversor, el cual convierte la energía generada por los módulos fotovoltaicos en electricidad adecuada para su uso en las redes eléctricas convencionales (Seguí S, Orts S, Gimeno J, 2014).

### Figura 3

*Componentes esenciales en un sistema fotovoltaico autónomo.*

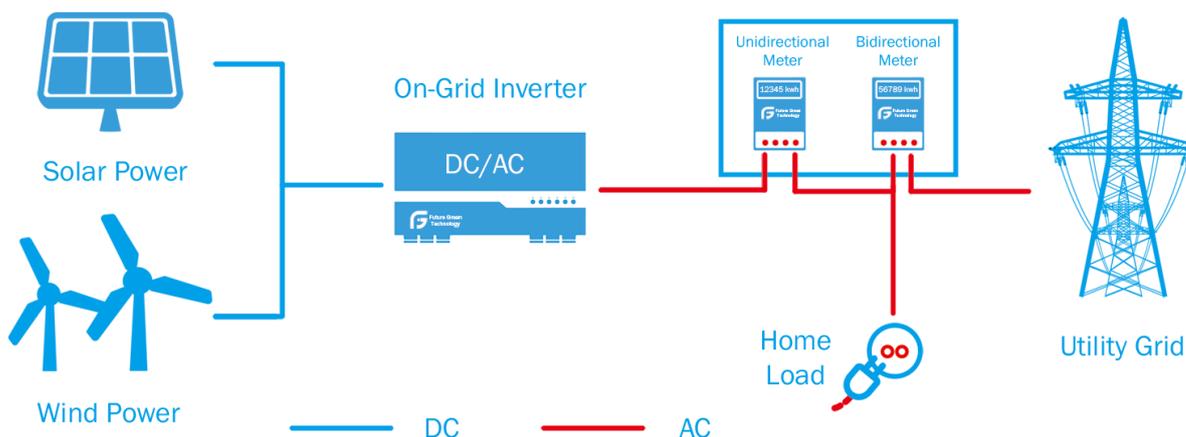


*Nota. Estructura básica de un sistema fotovoltaico autónomo, tomado de (Abella, 2008).*

Los sistemas de generación pueden ser interconectados a una red convencional de energía y pueden estar completamente aislados y funcionar de manera autónoma (Deleg, Agaña, 2016). Las micro redes se pueden definir como un sistema de distribución de electricidad compuesto por cargas y por fuentes energéticas distribuidas, capaces de operar de forma controlada en modo conectado a la red principal o aislado de ella (Ubilla, 2012).

**Figura 4**

*Esquema de sistema fotovoltaico interconectado a la red de energía.*



*Nota. Obtenido de (FUTURE GREEN TECHNOLOGY, 2019)*

Los generadores empleados en los sistemas de generación distribuida o micro-redes se conocen como: Recursos Energéticos Distribuidos, (DER del inglés Distributed Energy Resources), (Katiraei, Iravani, Hatziargyriou, Dimeas, 2008). En otro contexto existe smartgrids (micro red inteligente) las cuales poseen diferencias en relación a una micro red convencional, una red inteligente debe poseer una auto reparación tras perturbaciones eléctricas, tener una interacción activa entre los consumidores en respuesta a la demanda energética, dotar de un suministro de calidad y tener una eficiencia en operatividad, a nivel internacional existe una amplia variedad de experiencias de micro redes en zonas urbanas de distintos países, así como también en zonas rurales como en Ecuador, Sudáfrica, Marruecos y Bangladesh (Del Carpio, 2010) (Vallvé, 2010).

Según Palma (2010), una red inteligente consta de tecnologías, que se dividen en cuatro capas, que proporcionarían las funciones de una red inteligente: la capa física es donde se produce la conversión, transporte, almacenamiento y consumo de la energía, la capa de sensores y actuadores, la capa de comunicación y la capa de inteligencia y decisión, en la cual se encuentran todos los programas informáticos. Los desafíos principales a los que se enfrentan las redes inteligentes, es mejorar la eficiencia, fiabilidad, seguridad y sostenibilidad medioambiental, dependerán de una combinación de tecnologías de sensores, comunicación, información y control, para conseguir que toda la red sea inteligente, desde el ciclo de producción de energía hasta el suministro y el uso (Santacana, Husain, Halvarsson, Rackliffe, Tang, Feng, 2010)

Para obtener un control sobre una micro red inteligente es necesario contar con un sistema informático de monitoreo, recopilación y análisis de datos en tiempo real, para visualizar el comportamiento de la micro red a cada instante, para esto existen los sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), en los sistemas eléctricos los operadores de la red de distribución usan los sistemas SCADA para administrar la red (Chowdhury, Crossley, 2009). Una micro red que cuenta con unos sistemas de control debe garantizar una totalidad en suministro de energía de calidad, así como también tener capacidad de funcionamiento después de un colapso, etc (Katiraei, Iravani, Hatziargyriou, Dimeas, 2008). La supervisión y administración de una micro red, a través de un sistema SCADA se puede basar en servicios Web, por lo general en este tipo de aplicaciones se emplea una arquitectura centralizada (Álvarez Campos, García, González, Díez, 2010).

Si bien un sistema SCADA a nivel industrial requiere de técnicos muy capacitados para su supervisión, debido a la complejidad de estos sistemas de monitoreo, se crea el SCADA Social. En este sistema, se promueve el uso de la tecnología para el control y adquisición de datos, por medio de simplificar las interfaces hombre máquina (HMI), facilitando de esa manera el intercambio de información entre el sistema de micro red y la comunidad (Jiménez-Estévez, Palma-Behnke, Ortiz, Núñez, & Silva, 2014). Esta simplicidad de la interfaz permite que las personas de la comunidad que van a operar el SCADA Social, puedan ser capacitados con un proceso básico para interactuar con el sistema eléctrico de manera práctica (Núñez, Ortiz, & Palma, 2013).

Las micro redes constituyen en fuente de mejoramiento del nivel de vida de las comunidades y del potenciamiento de un proceso de desarrollo local a través de experiencias en participación comunitaria y de autogestión local (Palavicino, 2011). Por otro lado, los sectores rurales en especial los que están más alejados son los más afectados en no poseer energía suficiente para los hogares y para iluminación pública, debido al alto costo de transportar la energía hasta estos lugares por la red eléctrica, elevado costo de operación y mantenimiento, además de ser inviable una inversión tan grande para pocos usuarios (Reyes & Tolosa, sf).

Un claro ejemplo es la implementación de los proyectos del Centro de Energía, Chile, en los casos Huatacondo, Ollagüe, El Romeral, se optó como estrategia de entrada en las comunidades seleccionadas, y poner en propuesta de proyectos de micro-redes de energía eléctrica con un perfil eminentemente técnico, para organizar las estrategias y acciones para

concretizar lo propuesto a nivel teórico-conceptual sobre el desarrollo y diseñar un proyecto de micro-redes con energías renovables acorde a la realidad local (Aracena & Farías, 2013). La relación a las estrategias para la acción, el Centro de Energía aprobó un esquema de monitoreo y evaluación de los proyectos, este esquema considera un primer punto sobre la determinación de los atributos de las comunidades a intervenir, en sus aspectos sociales, culturales, económicos, ambientales y de patrones de uso de la energía eléctrica, para poder determinar el estado inicial de las comunidades al comenzar el diseño de los proyectos. (Álvarez, 2010).

El caso de la comunidad quechua Huatacondo, Región de Tarapacá, Chile, esta experiencia corresponde a la primera micro red instalada en Chile, basada en energías renovables, solar y eólica, designada como proyecto ESUSCON (Electrificación Sustentable Córdor) a cargo del Centro de Energía de la Universidad de Chile (CE-FCFM), en la comunidad quechua de Huatacondo (Alvial & Palavicino, 2011). Este es un proyecto que ha sido financiado principalmente, por la Empresa Minera Collahuasi, bajo dos modalidades: una mixta (pública y comunitaria) o de autofinanciamiento comunitaria (Álvarez, 2016).

Se propuso en Santander-Colombia la investigación una microrred solar fotovoltaica - FV- para suplir requerimientos energéticos de una planta compacta de bajo costo en purificación del agua en Barichara con asistencia del software Homer Micro grid, la fiabilidad de la planta se calculó por las variaciones en la demanda de agua, y el consumo de energía de la planta en una escala de tiempo de 1 año. Se encontró que una radiación media de 5,34 kW/h/m<sup>2</sup> día, es suficiente para satisfacer la demanda de energía de la planta de potabilización con total independencia del sistema energético convencional y así cubrir las necesidades de agua de un pequeño grupo de personas en un período de un año (Bayona, 2015).

En el caso de estudio de micro redes para comunidades rurales se caracterizan por tener incertidumbre de los recursos renovables y demanda eléctrica (Morales, 2017). Para la planificación de la micro red, se emplea softwares de optimización de sistemas distribuidos, que permiten la evaluación de diferentes configuraciones de sistemas de energía (National Renewable Energy Laboratory, 2005). A través de un proceso de simulación, los algoritmos de optimización determinan la mejor configuración para un sistema híbrido basado en el equilibrio de potencia, las opciones tecnológicas, los costos, la especificación de los componentes y de los recursos disponibles (Kolhe & Ranaweera, 2013).

En el tema de estudio de Smart Grid San Martín, red de distribución y generación de energía, presenta el desarrollo e implementación un sistema piloto de red inteligente para lograr un uso más eficiente y racional de electricidad, siguiendo los criterios definidos en el plan argentina innovadora (Argentina Innovadora, 2015), con la incorporación de producción eléctrica de fuentes renovables (Generación Distribuida) se desarrollará un sistema de control que, integrado al sistema de telecontrol actual, que permita la administración de los sistemas de generación distribuida fotovoltaicas en interconexión con la red de media y baja tensión, incluyendo el desarrollo del sistema de telecontrol de equipos de maniobra y protección de media tensión (Mercado, 2015). Mitja A. Izquierdo S. Serrano J (2001), afirman que después de introducir el servicio eléctrico mediante una MGS (microrred con generación solar híbrida) se está iniciando la recuperación del pueblo Rampla del Agua, una pequeña población rural de Andalucía.

Por otro lado, el caso de estudio de “Diseño de una microrred híbrida a base de energía fotovoltaica y energía térmica diésel para reducir la contaminación ambiental”, en la empresa Trace Oilfield Services Cia. Ltda., seleccionando los tipos de componentes que integran parte de la micro red teniendo: sistema de generación fotovoltaica, un sistema de generación térmica diésel (respaldo) y la red de distribución CNEL SUCUMBIOS, se estudia de radiación solar incidente con ayuda de un software (Labview) con una interfaz de recopilación de datos, para poder conocer la radiación solar del sector, una vez que se tenga claro cuál es el recurso solar disponible en el sector se procede a realizar el diseño para el generador fotovoltaico (Yanchapanta & Vaca, 2013).

Si bien existen programas informáticos para la realización del diseño o del análisis económico, como es el caso del PVSyst, SAM o HOMER, estos programas tienen un coste elevado y una metodología definida para realizar los cálculos, dicha metodología no se puede modificar (Cuenca & Mora, 2010). El proceso de diseño de una microrred puede ser laborioso si este se realiza manualmente, una de las herramientas más conocidas y utilizadas por los estudiantes durante sus estudios de grado y master es la hoja de cálculo de MS Excel, que es el recurso tecnológico utilizado en esta metodología de diseño de sistema híbrido basado en energía solar PV en micro redes Eléctricas (Alcázar & Álvarez, 2018).

## **2.2 Marco legal**

La investigación se orienta a fomentar el uso y desarrollo de energías alternativas, no contaminantes, buscando eficiencia energética, sin afectar al medio ambiente, y sin afectar a la soberanía alimentaria, enmarcadas en los diferentes artículos de la constitución del Ecuador y leyes orgánicas, a continuación, se detallan los artículos que están ligados a la presente investigación, adicionalmente contribuir a la investigación de la universidad.

### ***2.2.1 La Constitución del Ecuador***

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto.

Art. 413.- El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.

### ***2.2.2 Ley orgánica del servicio público de energía eléctrica – CENASE.***

La presente ley regula la participación de los sectores público y privado, en actividades relacionadas con el servicio público de energía eléctrica, así como también la promoción y ejecución de planes y proyectos con fuentes de energías renovables, y el establecimiento de mecanismos de eficiencia energética.

En el Título VI EFICIENCIA ENERGÉTICA Artículo 74.- Objetivos.- La eficiencia energética tendrá como objetivo general la obtención de un mismo servicio o producto con el menor consumo de energía. En particular, lo siguiente: Promover valores y conductas orientados al empleo racional de los recursos energéticos, priorizando el uso de energías renovables.

### ***2.2.3 Ley orgánica de eficiencia energética***

Artículo 2.- Declaración de Interés Nacional. - Se declara de interés nacional y como política de Estado, el uso eficiente, racional y sostenible de la energía, en todas sus formas, como elemento clave en el desarrollo de una sociedad solidaria, competitiva en lo productivo y preocupada por la sostenibilidad económica y ambiental.

Artículo 20.- Investigación y desarrollo tecnológico. - El Estado ecuatoriano favorecerá la investigación científica y el desarrollo tecnológico en el ámbito de la eficiencia energética y uso racional de la energía a nivel de universidades, escuelas politécnicas, centros

de investigación, y pudiendo contar con la participación de empresas nacionales que se involucren en los proyectos de investigación.

#### ***2.2.4 Objetivos del desarrollo sostenible ONU***

El objetivo 7 “Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos” haciendo énfasis al 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas, por otro lado también duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética, así como también ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados.

## Capítulo III

### Metodología

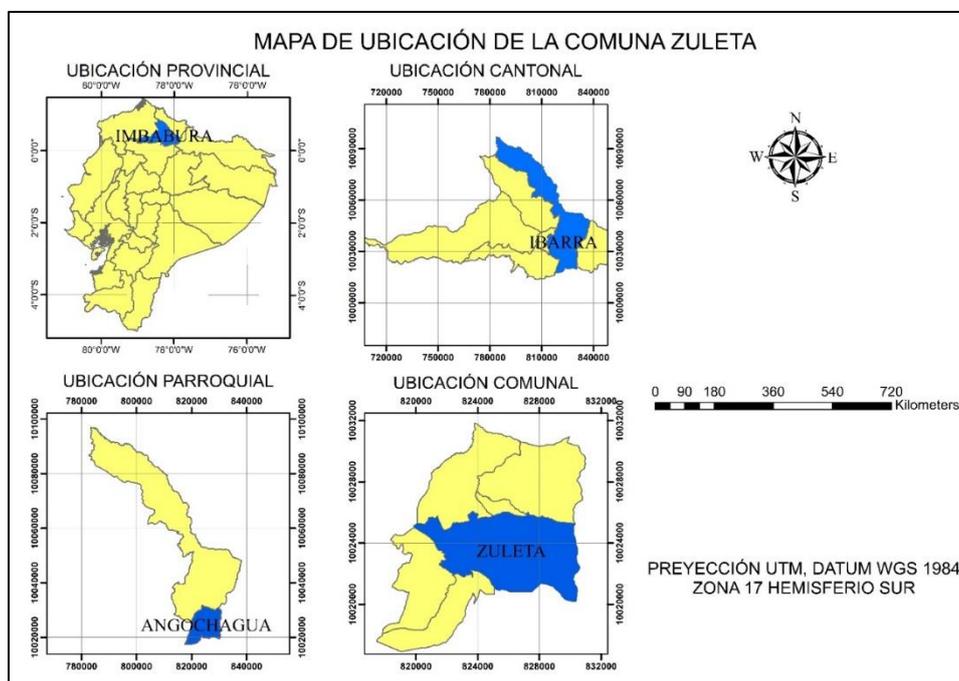
A continuación, se detalla los procesos que se llevaron a cabo para cumplir con los objetivos propuestos, así como también el uso de materiales y equipos que se emplearon durante el desarrollo de la investigación.

### 3.1 Área de Estudio

La comuna Zuleta está situada al sur oriente de la provincia de Imbabura, administrativamente forma parte de la parroquia Angochagua del cantón Ibarra. Tiene una superficie total de 2 878 hectáreas, de las cuales 500 están ocupadas por la población y el resto de superficie constituye zonas de conservación (Silva, Aguilar, Hidalgo, 2009).

**Figura 5**

*Área de estudio*



### 3.2 Métodos

Acorde con las características del tema de investigación, sus objetivos, la pregunta directriz, se seleccionaron los procesos y técnicas metodológicas que se describen a continuación.

### 3.2.1 Análisis Luminotécnico

Para el croquis del sistema de iluminación se elaborará simulaciones mediante el programa DIALUX para realizar los diseños luminotécnicos (García, 2020). El área a iluminar se debe tomar en consideración entre 15 a 25 luxes como promedio para áreas de iluminación exterior general (Munté, 2016).

### 3.2.2 Dimensionamiento sistema fotovoltaico.

Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico aislado, se sigue los siguientes pasos, tomando en cuentas los datos técnicos de generador fotovoltaico (García, 2016) (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2009).

#### 3.2.2.1 Análisis el consumo de energía al día.

$$ED = Pot * horas de uso [Wh/día] \quad Ec (1).$$

Donde:

ED = La energía demandada por el sistema conectado a la red (cargas).

Pot = Sumatoria de las potencias nominales de todas las cargas. (W)

#### 3.2.2.2 Estimación el valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano del generador fotovoltaico $Gdm(\alpha, \beta)$ .

$Gdm(\alpha, \beta)$  es el valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano del generador fotovoltaico

$$Gdm(\alpha, \beta) = Gdm_0 * k * FI * FS [kWh/día] \quad Ec (2).$$

Donde:

$Gdm_0$  = irradiación media sobre la horizontal (Atlas, PVGIS, NASA, etc).

k = factor de corrección, obtenido en función del período de diseño o de tabla de latitud.

FI = Factor de Irradiación, porcentaje de irradiación incidente para un generador de orientación e inclinación elegidas ( $\alpha, \beta$ ) respecto a la correspondiente para una orientación e inclinación óptimas.

$$FI = 1 - \left[ 1,2 * 10^{-4}(\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 * 10^{-5} * \alpha^2 \right] \text{ para } 15^\circ < \beta < 90^\circ \quad Ec (3).$$

$$FI = 1 - [1,2 * 10^{-4}(\beta - \beta_{opt})^2] \text{ para } 15^\circ < \beta \quad Ec (4).$$

$FS$  = Factor de Sombreado, porcentaje de irradiación incidente para un generador respecto al caso de ausencia total de sombras. Pérdidas de sombreado  $(1-FS)$ .

### 3.2.2.3 Calculo de la potencia mínima del generador fotovoltaico necesaria para cubrir la demanda. Se elige el tamaño del generador.

$$Pmp = \frac{ED * GCEM}{Gdm(\alpha, \beta) * PR} \quad \text{Ec (5).}$$

Donde:

$Pmp$  = Potencia pico del generador

$GCEM$  = Irradiación en Condiciones Estándar de Medida [1kW/m<sup>2</sup>]

$ED$  = Consumo de la carga [kWh/día]

$Gdm(\alpha, \beta)$  = irradiación mensual media diaria sobre el plano del generador fotovoltaico.

$PR$  = rendimiento energético de la instalación “performance ratio” estimado. Eficiencia de la instalación en condiciones reales de trabajo para el período de diseño. Valores típicos (sistemas con inversor 0,7), (sistemas con inversor y batería 0,6).

### 3.2.2.4 Numero de paneles en serie.

$$Ns = \frac{Vnominal(regulador)}{Vmp(módulo\ v)} \quad \text{Ec (6).}$$

### 3.2.2.5 Numero de ramas en paralelo.

$$Np = 1,2 * \frac{\frac{Pmp, min}{Vn}}{Ns * Imp, MFV} \quad \text{Ec (7).}$$

### 3.2.2.6 Dimensionado de la capacidad del acumulador (en función de las necesidades de autonomía del sistema y de la probabilidad de insuficiencia del recurso solar), del regulador y del inversor.

$$C_{20} = \frac{A * LD}{PD_{máx} * \eta_{inv} * \eta_{rb}} \quad \text{Ec (8).}$$

Donde:

$C_{20}$  = Capacidad del acumulador [Ah]

$A$  = Autonomía [días].

$PD_{\text{máx}}$  = Profundidad de descarga máxima.

$\eta_{inv}$  = Rendimiento del inversor.

$\eta_{rb}$  = Rendimiento del regulador + batería.

$LD$  = Consumo diario medio de la carga [Ah].

$$LD = \frac{ED[Wh/día]}{V_{nom}[V]} \quad \text{Ec (9).}$$

Donde:

$ED$  = Consumo de la carga

$V_{nom}$  = Tensión nominal del almacenamiento.

### 3.2.2.7 Se dimensiona el regulador y el inversor.

Selección del regulador.

12Vdc: pequeños sistemas para iluminación y televisión

Potencia máxima: 300W

Corriente: 25A

Inversor < 1kW

24Vdc: aplicaciones de tamaño medio para electrificación de viviendas aisladas con refrigeración.

Potencia máxima: 1kW

Corriente: 42A

Inversor < 5kW

La intensidad máxima de entrada procedente del generador:

$$I_{entrada} = I_{sc, GFV} * N_p * 1,25 \quad \text{Ec (10).}$$

### 3.2.2.8 Selección del inversor.

$$P_{entrada} = P_{mp, GFV} + 10\% \quad \text{Ec (11).}$$

### 3.2.3 Diseño del modelo matemático.

En el diseño del modelo matemático del sistema de iluminación se tomará las variables eléctricas independientes a las cargas, en el sistema implementado de iluminación, para ello se usará sistemas informáticos que nos ayuden a realizar mediciones de parámetros

eléctricos, con herramientas para procesamiento de datos, e identificación del sistema (Ogata, 2003).

#### ***3.2.4 Sistema de control y monitoreo.***

Para el diseño del sistema SCADA se toma la metodología para el desarrollo del sistema de control y monitoreo de los autores (Fiallos & Castro, 2014) en el software LABVIEW, adoptada en casos similares en sistemas de monitoreo y control de sistemas fotovoltaicos. Con esto se creará una interfaz visual, en la cual se observarán parámetros eléctricos como: tensión de salida, corriente de salida, potencia del sistema, y de los módulos fotovoltaicos. La interfaz del sistema de monitoreo y control tendrá un acceso remoto para visualización del funcionamiento sistema en tiempo real.

## Capítulo IV

### Resultados y Discusión.

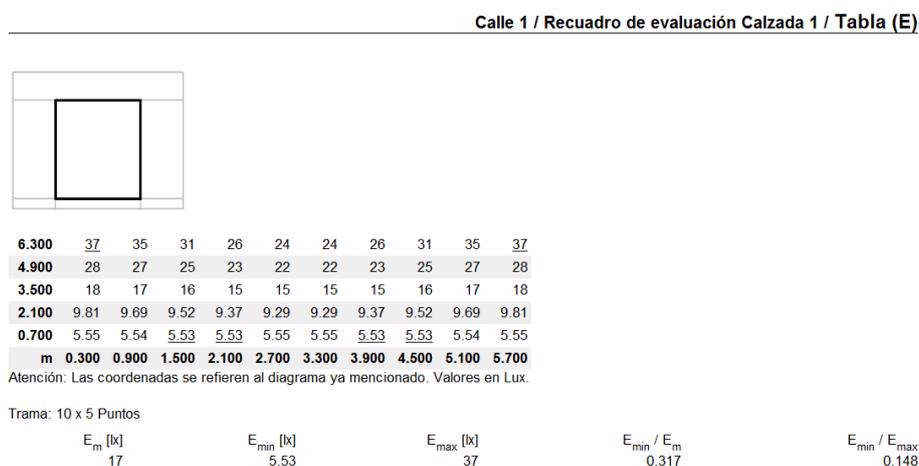
En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante el lapso de ejecución del proyecto investigativo, en base a cada uno de los objetivos específicos propuestos.

#### 4.1. Análisis Luminotécnico.

Utilizando la metodología de García (2020), para análisis luminotécnicos, en el software Dialux se obtiene los resultados a partir de una distribución de luminarias para llegar a los valores promedio de iluminación, en la figura 4 se evidencia una media de 17 luxes en el recuadro de evaluación. Logrando una distribución unilateral de luminarias a una altura de foco de luz de 4.41m y una distancia entre mástiles de 6m. Esta distribución se aplica a las luminarias exteriores usando proyectores led. El promedio de iluminación debe contar de 15 a 25 luxes para áreas de iluminación exterior general (Munté, 2016).

#### Figura 6

*Recuadro de evaluación de Calzada.*



*Nota. Resultados obtenidos de los cálculos en DIALUX.*

#### 4.2. Dimensionamiento de sistema fotovoltaico.

Para la elaboración del sistema fotovoltaico se sigue la metodología antes mencionada del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, (2009).

##### 4.2.1. Análisis el consumo de energía al día

Se calcula la demanda de energía diaria suplir con el sistema fotovoltaico, considerando las cargas eléctricas y sus características técnicas. En la tabla 1 se dan las especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico seleccionado para el dimensionamiento del

sistema aislado, se selecciona un tipo de modulo fotovoltaico policristalino de 110 W de potencia para cubrir la demanda de energía eléctrica de la casa comunal y luminarias exteriores, sin sobredimensionar el sistema y aprovechar el recurso solar.

**Tabla 1**

*Datos técnicos del panel solar seleccionado.*

| Especificaciones del panel solar seleccionado para la instalación |  |       |    |
|---|--|-------|----|
| Potencia panel Panel  |  | 110   | Wp |
| Vmp   |  | 18.49 | V  |
| Voc   |  | 22.58 | V  |
| Imp   |  | 5.95  | A  |
| Isc   |  | 6.26  | A  |

*Nota. Las especificaciones técnicas del panel dependen del arreglo fotovoltaico, y las comprobaciones del dimensionamiento.*

En este apartado se toma en cuenta todos los equipos eléctricos a los cuales se suplirá de energía, cantidad de artefactos, potencia y las horas de uso de los mismo, con el fin de cubrir el consumo energético de todos los componentes eléctricos.

**Tabla 2**

*Cálculo de la demanda energética a suplir el sistema fotovoltaico.*

| Cargas eléctricas             | Cantidad | Potencia (kW) | Potencia total (kW) | Uso diario (h) | Energía diaria ED (kWh/día) |
|-------------------------------|----------|---------------|---------------------|----------------|-----------------------------|
| Luminarias Exterior           | 4        | 0.02          | 0.08                | 10             | 0.80                        |
| Luminarias Oficina            | 10       | 0.009         | 0.090               | 3              | 0.27                        |
| Laptop oficina                | 1        | 0.06          | 0.06                | 2              | 0.12                        |
| Impresora                     | 1        | 0.03          | 0.03                | 0.3            | 0.01                        |
| Total Cargas                  |          |               |                     |                | 1.09                        |
| Pérdidas (Regulador Inversor) | +        |               |                     |                | 0.1                         |
| Total energía diaria          |          |               |                     |                | 1.30                        |

*Nota. Las pérdidas del regulador de carga corresponden al 3% del total de las cargas, y las pérdidas del inversor el 5% de la suma entre total de las cargas y la pérdida del regulador.*

#### 4.2.2. Valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano del generador fotovoltaico Gdm ( $\alpha$ , $\beta$ ).

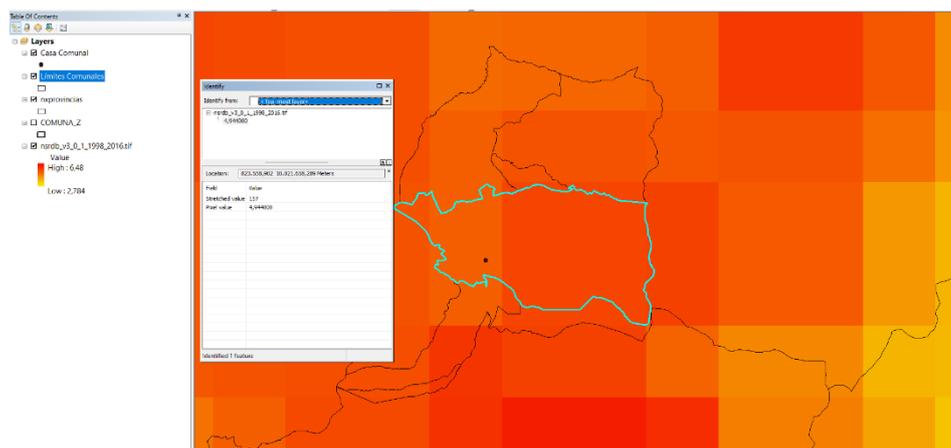
En esta etapa se calcula el valor de irradiación solar sobre el punto geográfico en el cual se situará el sistema fotovoltaico.

En la figura 7 se observa la delimitación de la comuna Zuleta, y el punto GPS de ubicación del lugar en el cual se implementará el sistema fotovoltaico. Con este valor se obtiene de la base de datos, la irradiación sobre el plano del generador fotovoltaico considerando el grado de inclinación, al cual se instalará el sistema de generación.

Para una correcta implementación de los módulos fotovoltaicos, se debe tener en cuenta los ángulos de inclinación y orientación. (Udemy, 2020). Analiza que los módulos fotovoltaicos deben estar orientados con dirección hacia la línea ecuatorial, es decir ubicaciones del hemisferio sur deberá tener una inclinación de los módulos hacia el norte, y viceversa para ubicaciones situadas en el hemisferio norte.

#### Figura 7

Valor de irradiación sobre el plano horizontal del generador fotovoltaico.



*Nota.* El valor obtenido de 4.9 kWh/m<sup>2</sup> dentro del pixel de información.

En relación a esto en la tabla 3 se determina un ángulo de inclinación de 7° con dirección hacia el sur, con una orientación de 0° con respecto al norte. Considerando factores ambientales como lluvia, polvo que podrían afectar el funcionamiento óptimo de los módulos fotovoltaicos.

**Tabla 3**

*Cálculo de la irradiación sobre el plano del generador fotovoltaico.*

|                                    |          |        |
|------------------------------------|----------|--------|
| Gdm                                | 4.9      | kWh/m2 |
| k                                  | 0.94     |        |
| FI=1-(1,2*((10)^(-4))*((β-βopt)^2) | 1.00     |        |
| β                                  | 7°       |        |
| βopt                               | 7°       |        |
| α                                  | 0°       |        |
| FS=1-3%                            | 0.97     |        |
| Latitud                            | 0.343895 | Norte  |
| Gdm (7°, 7°) = Gdm(0)*k*FI*FS      | 4.47     | kWh/m2 |

*Nota. El valor obtenido es de 4.47 kWh/m2 al día, con 7° de inclinación del generador fotovoltaico.*

El factor de corrección k para superficies inclinadas, representa el cociente entre energía incidente en un día sobre una superficie orientada hacia el Ecuador e inclinada un determinado ángulo, y otra horizontal.

#### **4.2.3. Cálculo de la potencia mínima del generador fotovoltaico necesaria para cubrir la demanda y elección el tamaño del generador.**

$$P_{mp} = \frac{ED * GCEM}{Gdm(\alpha, \beta) * PR} = \frac{1.30 * 1}{4.47 * 0.6} = 0.484 \text{ kW}$$

El cálculo de la potencia mínima es garantizar un buen suministro energético incluso para los meses críticos, estos suelen ser en épocas de verano por las altas temperaturas ambientales reducirían el rendimiento del sistema, y en invierno donde hay menor radiación.

##### **4.2.3.1 Numero de paneles solares en serie**

$$N_s = \frac{V_{nominal} Reg}{V_{mp} Fv} = \frac{24}{18.49} = 1.30 \rightarrow 2$$

Como se observa el número de paneles es de 1.30, pero se debe considerar 2 paneles en serie. Se toma en cuenta el voltaje nominal de regulador de carga. Adicional el valor de NS se debe redondear al inmediato superior, siempre dejando un valor entero.

##### **4.2.3.2 Numero de paneles en paralelo**

$$N_p = 1.2 * \frac{\frac{P_{mp}}{V_n}}{N_s * I_{mp} Fv} = 1.2 * \frac{\frac{483.73}{24}}{2 * 5.95} = 2.03 \rightarrow 3$$

**Comprobación 1.**

$P_{mp}$  sistema fotovoltaico  $>$   $P_{mp}$  mínima necesaria

$$P_{mp} \text{ sistema fotovoltaico} = NS * NP * \text{Potencia nominal del panel}$$

$$P_{mp} \text{ Sistema fotovoltaico} = 2 * 3 * 110$$

$$P_{mp} \text{ Sistema fotovoltaico} = 660 \text{ w}$$

En este caso la potencia que generaría el arreglo de paneles supliría los requerimientos mínimos de potencia demandada, por lo cual no es necesario reorganizar el diseño de los módulos fotovoltaicos.

**Comprobación 2.**

Se debe realizar como requisito obligatorio para verificar si el sistema no está sobredimensionado a los requerimientos de potencia mínima que debe suplir el sistema.

$$P_{mp} \text{ sistema fotovoltaico} < 1,2 * P_{mp} \text{ mínima necesaria}$$

$$1,2 * P_{mp} \text{ mínima necesaria} = 580,47 \text{ W}$$

$$660 \text{ W} < 580,47 \text{ W}$$

En este caso el arreglo fotovoltaico supera al valor de este paso, pero al disponer únicamente de este panel solar con las especificaciones técnicas detalladas al inicio, no se puede acoplar a este requisito, pero el sistema cumplirá con los requerimientos de potencia necesarios, obteniendo una configuración de 2 paneles en serie y 3 paneles en paralelo.

**4.2.4. Dimensionado de la capacidad del acumulador.**

$$LD = \frac{ED}{V_{nom} \text{ Regulador}} = \frac{1296.72}{24} = 54.03 \text{ Ah/día}$$

$$C_{20} = \frac{A * LD}{PD_{máx} * \eta_{inv} * \eta_{rb}} = \frac{0.41 * 54.03}{0.7 * 0.9 * 0.9} = 37.01 \text{ Ah}$$

**Tabla 4.**

Lo valores de eficiencia se obtiene de los pliegos de datos técnicos de cada componente.

|                           |      |      |
|---------------------------|------|------|
| A (Autonomía)             | 0.41 | días |
| PD <sub>máx</sub> batería | 0.7  |      |
| $\eta_{inv}$              | 0.9  |      |
| $\eta_{rb}$               | 0.9  |      |

La capacidad y configuración de la bancada de baterías depende del voltaje nominal al cual está el regulador de carga, la capacidad necesaria del acumulador y los valores técnicos de la batería a ser usada. En los cálculos es necesario usar valores enteros y redondear los valores.

$$\text{Numero de baterías} = \frac{C_{20} * Vnom \text{ Reg.}}{\text{Capacidad bat.} * Vnom \text{ bat.}} = \frac{37.01 * 24}{100 * 12} = 0.74 \rightarrow 1$$

$$\text{Baterías serie} = \frac{Vnom \text{ Reg.}}{Vnom \text{ bat.}} = \frac{24}{12} = 2$$

$$\text{Baterías paralelo} = \frac{\text{baterías serie}}{\text{numero de baterías}} = \frac{2}{1} = 2$$

Los resultados del sistema de acumulación de energía se detallan en la tabla 5, en el cual se determina que el sistema debe optar por una bancada de baterías de 4 unidades.

**Tabla 5**

*Configuración y capacidad de la bancada de baterías.*

|                         |      |      |          |
|-------------------------|------|------|----------|
| Capacidad de la batería | 100  |      | Ah       |
| Tensión batería         | 12   |      | V        |
| Número de baterías      | 0.71 | 1.00 | baterías |
| Baterías en serie       | 2.00 | 2.00 | baterías |
| Baterías en paralelo    | 0.50 | 2.00 | baterías |
| Capacidad de la bancada |      | 200  | Ah       |

#### 4.2.5. Se dimensiona el regulador y el inversor.

Con los cálculos realizados a continuación, se determina que el regulador de carga de soportar una corriente de ingreso de 23.48 A, y un voltaje nominal de 24 V, como se muestran en la tabla 6.

$$I_{entrada} = I_{sc, GFV} * Np * 1.25$$

$$I_{entrada} = 6.26 * 3 * 1.25 = 23.48 \text{ A}$$

$$I_{salida} = 1.25 * \frac{Sca * fp}{\eta_{inv}} = 1.25 * \frac{260 * 1}{0.9} = 14.25 \text{ A}$$

**Tabla 6.**

*Resultados específicos para el regulador de carga.*

|   |       |   |
|---|-------|---|
| Entrada= $I_{sc}, GFV * N_p * 1,25$                     | 23.48 | A |
| Salida= $1,25 * (P_{cc} + (S_{ca} / \eta_{inv})) / V_n$ | 14.25 | A |
| Tensión del regulador                                   | 24.00 | V |

*Nota. Con estos valores se elige el regulador de carga que disponga de parámetros superiores a los resultados de la tabla 6. En las ecuaciones ( $S_{ca}$ ) es la referencia a la potencia total de las cargas.*

### **Inversor de corriente DC/AC**

En la tabla 7 se indican los resultados obtenidos del cálculo para las características que debe tener el inversor, en los cuales debe tener una potencia de 726 W y debe entregar una potencia activa de 325 VA en corriente alterna.

$$P_{entrada} = P_{GFV} + 10\% * P_{GFV}$$

$$P_{entrada} = 660W + 10\% * 660W = 726W$$

$$P \text{ requerida en ca} = 1.25 * \frac{P \text{ carga}}{\text{Factor de potencia}}$$

$$P \text{ requerida en ca} = \frac{1.25 * P \text{ carga}}{\text{Factor de potencia}} = \frac{1.25 * 260}{1} = 325VA$$

$$I_{ca} = \frac{P \text{ cargas}}{110 * fp} = \frac{260 w}{110 * 1} = 2.36 A$$

**Tabla 7.**

*Especificaciones para el inversor DC/AC*

|  |      |    |
|--|------|----|
| Entrada = $P_{mp}, GFV + P_{mp}, GFV * 10\%$                             | 726  | W  |
| P requerida en ca = $1,25 * P \text{ carga} / \text{Factor de potencia}$ | 325  | VA |
| V nominal entrada  | 24   | V  |
| V salida   | 110  | V  |
| I requerida en ca  | 2.36 | A  |
| Frecuencia   | 60   | Hz |
| Rendimiento  | 90   | %  |

El propósito de dimensionar un sistema fotovoltaico es el cálculo del número de módulos fotovoltaicos y su configuración, así como también la cantidad de baterías necesarias según los días de autonomía que se requiera, para suministrar energía fiable. En la tabla 8 se

detallan los valores cálculos de entrada y salida de los componentes, se realiza la elección de dispositivos de protección, ante sobre corrientes que podrían afectar al sistema en caso de fallos técnicos, o cortocircuitos que se pueden producir por factores climáticos externo

**Tabla 8**

*Se detalla el resumen de los componentes del sistema fotovoltaico.*

| Parámetro  | Valor   | Unidades           |
|--|---------|--------------------|
| Energía diaria de las cargas   | 1296.72 | Wh/día             |
| Potencia de las cargas   | 206.00  | W                  |
| Factor de potencia   | 1.00    |                    |
| Valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano del generador fotovoltaico | 4.47    | kWh/m <sup>2</sup> |
| Potencia mínima necesaria del generador para cubrir la demanda                         | 483.73  | W                  |
| Número total de paneles  | 6.00    | paneles            |
| Número de paneles en serie   | 2.00    | paneles            |
| Número de paneles en paralelo  | 3.00    | paneles            |
| Potencia del generador   | 660.00  | W                  |
| Tensión de la bancada  | 24.00   | V                  |
| Capacidad de la bancada  | 37.01   | Ah                 |
| Número total de baterías   | 4.00    | baterías           |
| Número de baterías en serie  | 2.00    | baterías           |
| Número de baterías en paralelo   | 2.00    | baterías           |
| Parámetro  | Valor   | Unidades           |
| Tensión nominal del regulador  | 24.00   | V                  |
| Corriente máxima de entrada al regulador   | 23.48   | A                  |
| Corriente máxima de salida del regulador   | 14.28   | A                  |
| Tensión de entrada al inversor   | 24.00   | V                  |
| Potencia de salida del inversor  | 325.00  | VA                 |
| Tensión de salida del inversor   | 110.00  | V                  |
| Corriente requerida del inversor   | 2.36    | A                  |
| Frecuencia del inversor  | 60.00   | Hz                 |

Los componentes seleccionados, se encuentran actualmente en el mercado, si bien el los cuadros del cálculo para la corriente de entrada del regulador de carga es de 23.28 A, el regulador seleccionado es de 20 A, dentro de los datos técnicos consta que está diseñado para soportar una corriente de hasta 25 A, y se selecciona este regulador del tipo MPPT, no se selecciona un regulador de más corriente nominal ya que el costo de este componente y en conjunto con los demás artículos, sobrepasa del presupuesto que disponía la comunidad beneficiaria.

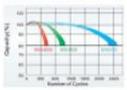
Para los componentes de protección se implementó un DPS contra sobretensiones transitorias a la entrada del regulador de carga, con una línea de descarga a tierra. Se implementa interruptores termomagnéticos después del DPS que soporte una corriente de hasta 20 A en DC, así como también un dispositivo de protección entre el regulador de carga

y la bancada de baterías. Se coloca un magnetotérmico de 4A a la salida del inversor, con el fin de evitar sobre descargar de energía del sistema.

En el sistema de iluminación exterior cuenta con un temporizador para los horarios de encendido y apagado de las luminarias de tipo led, el sistema de transporte de energía está completamente soterrado para evitar daños en las líneas de transmisión de energía. Poveda et al (2018), los sistemas fotovoltaicos deberán contar con cableado de 12AWG para sistemas de transporte de energía y 8 AWG para el conductor de tierra. En la figura 8 constan los equipos necesarios para el sistema fotovoltaico.

### Figura 8

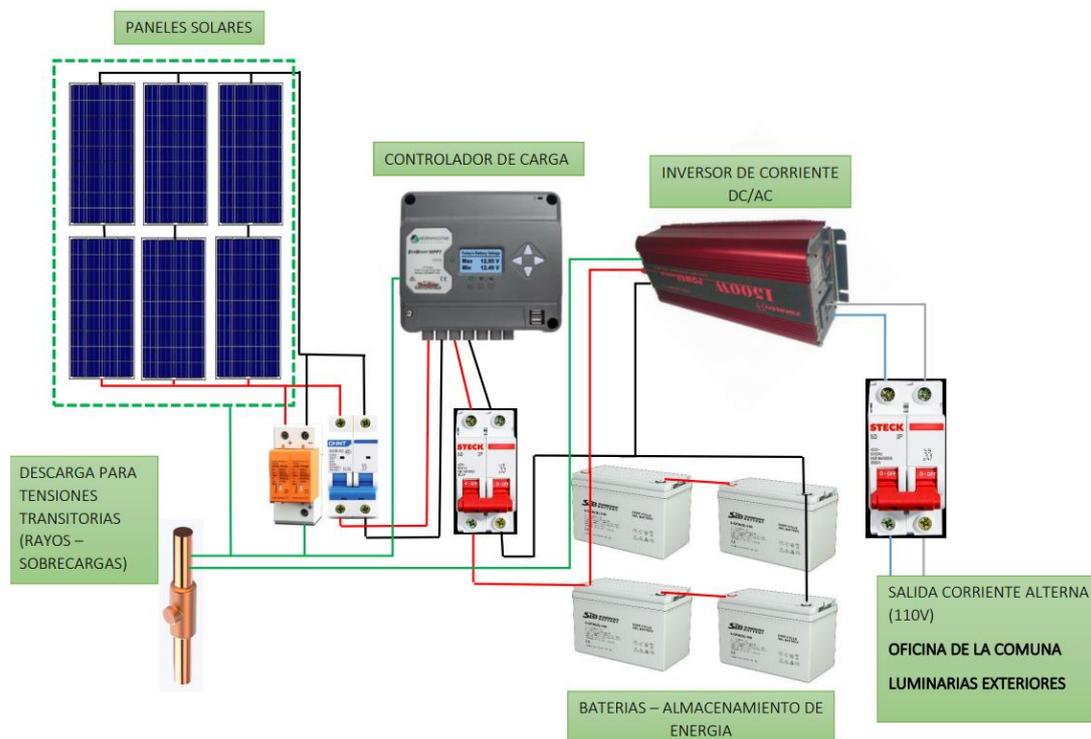
*Componentes del sistema fotovoltaico seleccionados, que cumplan los requerimientos energéticos del cálculo realizado.*

|   |  |
|---|--|
| <p><b>Panel Solar ECO GREEN 110Wp/12VDC</b><br/>           Panel Policristalino<br/>           Potencia: 110 Wp<br/>           Variación de potencia: 0...±5%<br/>           Voltaje nominal: 12 VDC<br/>           Voltaje circuito abierto/óptimo: 22,57/18,49V<br/>           Corriente cortocircuito/óptimo: 6,46/5,95 A<br/>           Max. Voltaje String: 1000VDC<br/>           Número de celdas: 36<br/>           Dimensiones: 1120 x 670 x 30 mm<br/>           Peso: 8,5 Kg<br/>           Garantía técnica de 2 años</p>   | <p><b>Inversor ZONHAN 1500W/24VDC/120VAC</b><br/>           Potencia nom: 1500 W (continua)<br/>           Potencia max: 3000 W (2seg)<br/>           Voltaje Entrada: 24 VDC (baterías)<br/>           Voltaje Salida: 120VAC<br/>           Eficiencia 80%<br/>           Frecuencia: 60Hz sinusoidal pura<br/>           Uso continuo 24/7<br/>           País: China</p>   |
| <p><b>Controlador MORNINGSTAR EcoBoost 20 MPPT</b><br/>           Voltaje batería: 12/24 VDC<br/>           Voltaje paneles max: 120 VDC<br/>           Corriente: 20 A<br/>           Tecnología: MPPT<br/>           Potencia max: 300Wp a 12Vdc<br/>           600Wp a 24 Vdc<br/>           Con LVD (low Voltage Disconnect)<br/>           Con tres LEDs para el estado de batería<br/>           Con una LED que indica la recarga<br/>           Todas las protecciones eléctricas<br/>           Equipo Tropicalizado y de estado sólido<br/>           Diseño EE.UU.</p>  | <p><b>Batería SBB GEL 100Ah/12Vdc</b><br/>           La mejor batería para sistemas fotovoltaicos por el mejor rendimiento que baterías AGM, con casi el doble de ciclos.<br/>           Voltaje: 12 VDC<br/>           Capacidad: 100 Ah@10h<br/>           Tipo: GEL descarga profunda<br/>           Libre mantenimiento.<br/>           Ciclos 2400 DOD30%<br/>           Dimensiones: 330x173x217 mm<br/>           Peso: 31 Kg</p>   |

Los equipos se adquirieron Proviento-Quito, un total de 6 paneles de 110w por unidad, un regulador de carga, 4 baterías y un inversor, como componentes principales del sistema fotovoltaico con un costo de inversión de \$ 2 250 con los materiales y accesorios necesarios para la instalación, en el anexo 13 se observa los equipos adquiridos. En la figura 9 se representa un esquema del sistema fotovoltaico con todos sus componentes y conexiones para su implementación. En el anexo 14 se adjunta un diagrama detallado de los componentes electrónicos del sistema fotovoltaico.

**Figura 9.**

*Diagrama del sistema fotovoltaico.*



### 4.3. Implementación del sistema fotovoltaico.

Se inicia con la elaboración de la estructura de soporte de los paneles conjuntamente con el gabinete con materiales metálicos, que soporten las condiciones climáticas externas.

Se diseña una estructura metálica que servirá como soporte de los paneles fotovoltaicos, de 2m de longitud y 2.1m de ancho, con una pintura anticorrosiva que evitará el desgaste de la estructura. Para la sujeción de cada panel a la estructura se hace uso de pernos galvanizados de 4cm de longitud a cada esquina del panel. La estructura fue montada sobre unas bases de madera tratada a unos 2 m de altura con bases fundidas de concreto.

Se instala la estructura de soporte con 7° de inclinación con dirección al sur, esto ayudara de manera positiva a la inclinación del panel solar, a aprovechar de mejor manera el recurso solar y aportara con caída para la lluvia, suciedad u otros factores que podrían interferir con la captación del recurso solar.

**Figura 10.**

*Implementación de infraestructura del sistema fotovoltaico.*



Durante la etapa de instalación en el sitio, se realiza el proceso de soterrar las líneas eléctricas para evitar daños en las mismas, se efectúa con la ayuda de los trabajadores comunitarios.

**Figura 11.**

*Soterramiento de cableado para las luminarias exteriores y bases de soporte a los paneles.*



Para la conexión de los paneles en serie se utiliza los conectores MC4 de los mismos módulos, para la conexión en paralelo se utiliza dos conectores MC4 de 3 a 1 con un cable 10 AWG, por factores ambientales se soterró todas las líneas de transmisión hasta el gabinete.

Se diseña una estructura metálica para el alojamiento de los componentes eléctricos y electrónicos del sistema fotovoltaicos, para protegerles de factores ambientales externos. Las dimensiones son de 0.9m de longitud, 0.6 m de ancho y 1m de altura. En la Figura 12 se observa la instalación del regulador de carga, baterías e inversor.

**Figura 12.**

*Implementación de sistema fotovoltaico.*



Se realiza la conexión de baterías hacia el controlador de carga, este proceso es muy importante para arrancar con el funcionamiento del regulador, si se conecta el generador fotovoltaico antes que las baterías al regulador, puede generar daños a este componente, una vez puesto en marcha el regulador se realizó la conexión del conjunto de módulos fotovoltaicos, luego se ejecuta la conexión del inversor hacia la bancada de baterías, se realiza la instalación de los componentes del sistema eléctrico, implementación de los postes para el alumbrado público y luminarias, y puesta en marcha del sistema.

Durante la etapa de implementación no se generaron inconvenientes, hasta el momento el sistema no ha presentado fallas, cabe señalar que este es un sistema autónomo y se busca reducir la facturación eléctrica del establecimiento, aportando así a la independencia de una red convencional de energía eléctrica, y generando su propia energía de consumo para el establecimiento. En el anexo 15 se adjunta el plan de mantenimiento preventivo y correctivo para el sistema fotovoltaico aislado de la comuna Zuleta. Hasta el mes de abril del 2022, se evita la emisión de 327.15 Kg CO<sub>2</sub> eq, tras la instalación del sistema fotovoltaico.

Estudios relacionados a implementación de sistema de generación fotovoltaica autónoma, se centran en implementación de varias metodologías. Villegas, Alcivar (2020), implementan un sistema fotovoltaico usando la metodología de dimensionamiento del Instituto para la diversificación y ahorro energético (IDAE), en el cual optan según sus

cálculos por un sistema conformado por dos paneles Jinko de 280 W, un regulador de carga del tipo MPPT de 30 A de la marca Victron Energy, cuatro baterías de una capacidad de 105 Ah, un inversor de 500 VA, con la finalidad de suplir la demanda energética de un ventilador de 60 W, un PC de 55W, dos focos de 15W y varios artículos que suman 100W, implementado los módulos fotovoltaicos a una inclinación de 5° sobre el techo del establecimiento. Teniendo en cuenta la potencia instalada, el sistema solar implementado en la comuna Zuleta consta con características con una potencia instalada de 660 W, un controlador de carga de 20 A, cuatro baterías de 110 Ah, un inversor de 375VA, cabe señalar que estos dos sistemas son completamente autónomos, la diferencia es el grado de inclinación al cual han sido instalados los paneles y sus características.

Según el IDAE (2009), en la línea ecuatorial los módulos fotovoltaicos deben tener hasta 10° de inclinación para el aprovechamiento del recurso solar. Villegas, Alcivar (2020) en la provincia del Guayas implementan su sistema a 5° de inclinación, y tiene un funcionamiento del sistema sin interferencias, y cumplen con los requerimientos energéticos, en el caso del sistema implementado en la comuna Zuleta tiene 7° de inclinación y se desempeña de manera efectiva a los requerimientos energéticos de las luminarias exteriores y del establecimiento.

#### **4.4. Mediciones de parámetros eléctricos.**

El establecimiento de la casa comunal de Zuleta, se alimenta de una red eléctrica monofásica, en este sentido se remplace el sistema convencional de suministro eléctrico por un sistema autónomo fotovoltaico, se realiza mediciones de parámetros eléctricos, de la red eléctrica convencional, y al mismo tiempo de la red eléctrica del sistema fotovoltaico. Para completar el proceso de toma de mediciones se realiza durante un lapso de 7 días, con un intervalo de medición cada 10 minutos, con un total de 1014 valores de medición, registrando las siguientes variables: armónicos (%), corriente (A), Potencia (kW), factor de potencia ( $\cos \phi$ ), y voltaje (V). Para ello se usó un analizador de red FLUKE 1748, para mediciones en baja tensión. Para el análisis entre estas dos redes eléctricas se toman en cuenta variables exógenas que sean independientes a las cargas eléctricas de cada red, así se llega a un análisis combinado de, Voltaje, Armónicos y el factor de potencia.

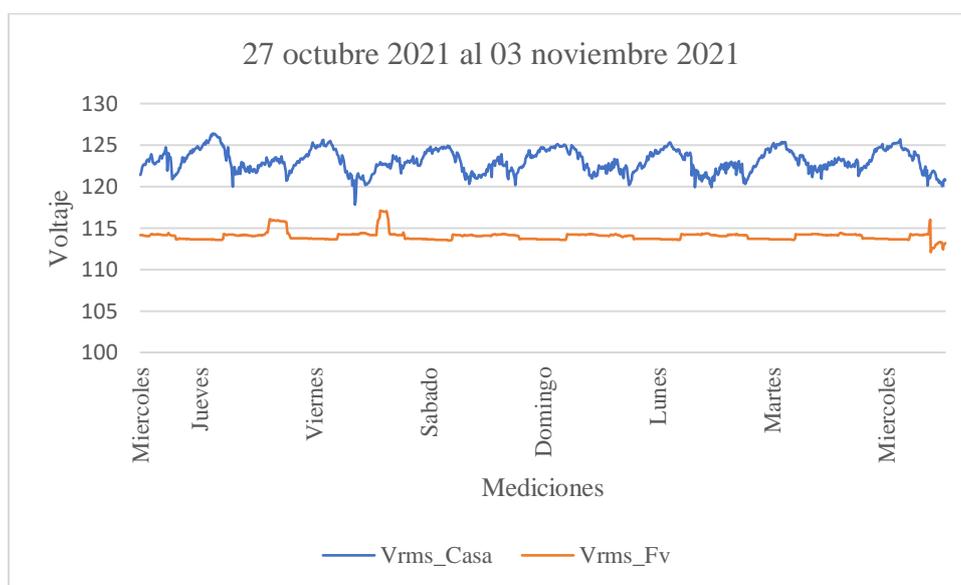
##### **4.4.1. Análisis de Voltaje.**

Los valores de medición corresponden a los días entre el 27 de octubre al 3 de noviembre del 2021, en la figura 13 muestra las mediciones de voltaje en cuanto a la red

eléctrica convencional y el sistema fotovoltaico. Se evidencia el comportamiento del voltaje con 1014 mediciones realizadas, el voltaje que proviene del sistema fotovoltaico es más estable que el voltaje que suministra la red, es decir los valores están más cercanos a los 110V llegando así a estar dentro de los rangos permitidos para suministros eléctricos rurales de un ( $\pm 10\% V_n$ ), dada por la regulación de calidad de servicio eléctrico 004/01 emitida por el CONELEC para sectores rurales. En las mediciones del suministro eléctrico de la casa comunal se observan variaciones de voltaje, superiores al 10% admitido según la regulación, y podría ocasionar daños hacia los equipos eléctricos. Por ello un suministro ideal es aquel que sus valores estén más próximos a los 110v.

### Figura 13

*Voltaje sistema fotovoltaico – Casa comunal.*

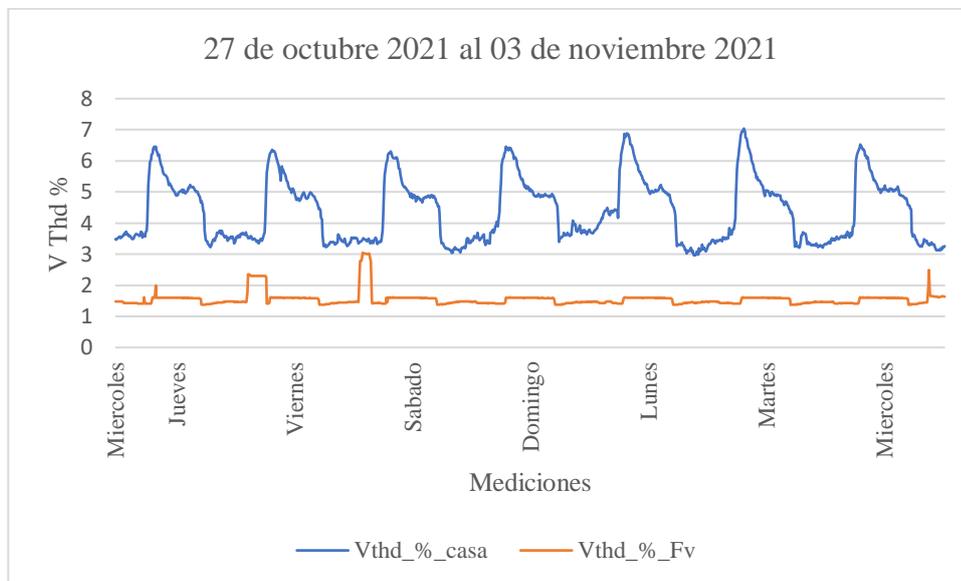


#### 4.4.2. Análisis de armónicos.

En la figura 14 muestran los armónicos de tensión ( $V_{Thd} \%$ ) registrados en el periodo de medición, se puede evidenciar la diferencia de los valores entre la red de energía fotovoltaica y la red convencional de energía. Dada por la regulación de calidad de servicio eléctrico 004/01 emitida por el CONELEC, los valores de armónicos no deben superar el 8%, en este caso tanto la línea fotovoltaica como la línea convencional están dentro de rango de cumplimiento de la regulación. En red eléctrica de la casa presenta mayor contenido de armónicos debido a las cargas no lineales que circulan por esta línea, además esta aporta mayor carga reactiva. Por lo cual se debería optar por el uso del sistema fotovoltaico, ya que este presenta valores menores de armónicos comparado a la red convencional de energía que suplía de electricidad al establecimiento.

**Figura 14**

*Armónicos V Thd % sistema fotovoltaico – Casa comunal.*



#### **4.4.3. Análisis de Factor de Potencia**

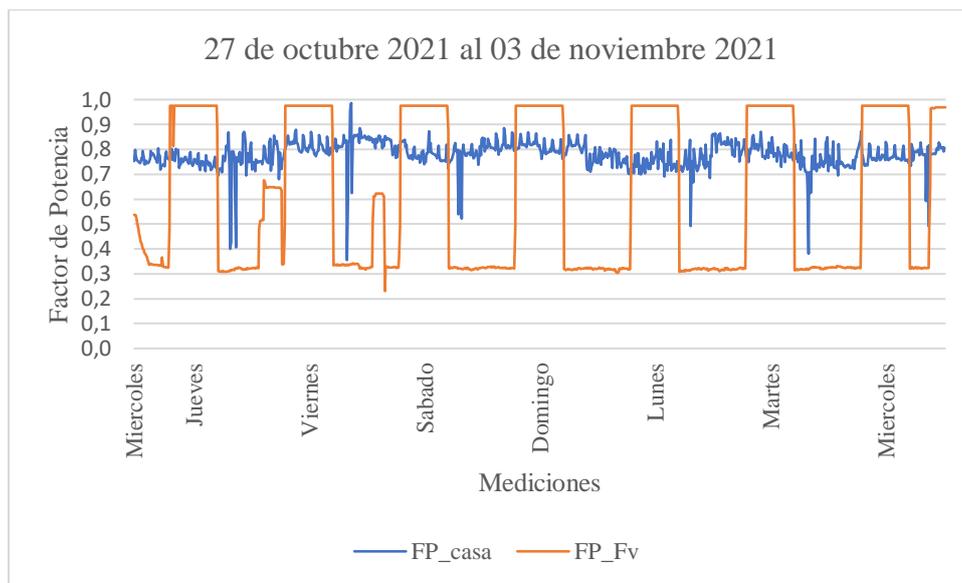
La Regulación 004/01 emitida por el CONELEC, menciona, el límite admisible del factor de potencia es del 0.92, cabe mencionar que entre el valor de este factor sea más cercano a la unidad la potencia suministrada por el sistema se habrá transformado en potencia útil.

En la figura 15 se puede observar los valores tanto del sistema fotovoltaico y del sistema convencional. Se puede demostrar que el factor de potencia del sistema fotovoltaico tiene muchas fluctuaciones, esto se debe a que la potencia suministrada en su totalidad no se está transformando en trabajo, esto a futuro podría generar daños al sistema ya que en la línea existe una gran cantidad de potencia reactiva, la cual podría ocasionar deterioros a los aparatos eléctricos, para ellos será necesaria instalar un sistema de compensación para reducir estas caídas del factor de potencia.

En la línea de suministro convencional de la casa se puede evidenciar que el factor de potencia está por debajo del límite admisible, por lo que se concluye que toda la potencia suministrada no se está transformando en un trabajo útil.

**Figura 15**

*Factor de Potencia sistema fotovoltaico – Casa comunal.*

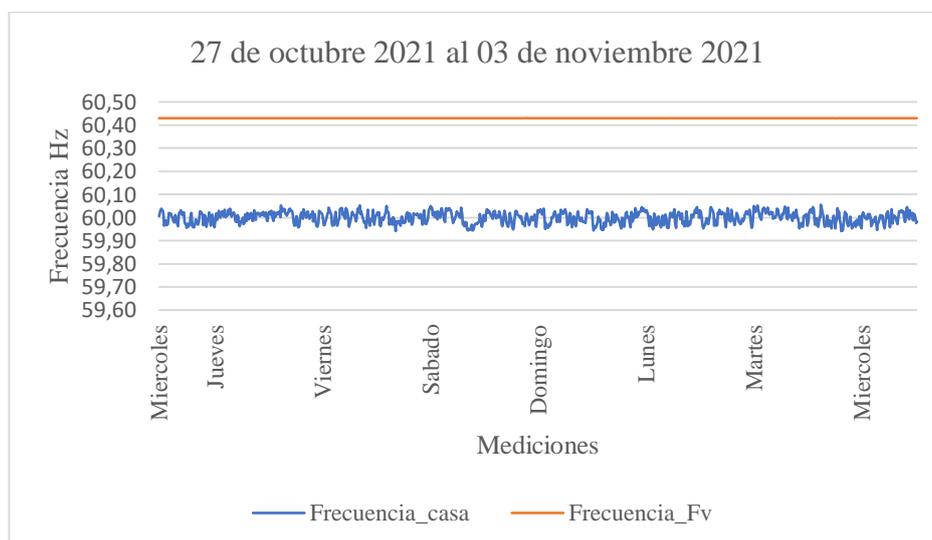


#### 4.4.4. Análisis de la Frecuencia.

En la figura 16 se observa el comportamiento de la frecuencia, la regulación 004/01 emitida por el CONELEC, los valores de frecuencia de una red eléctrica deberán estar dentro del rango de valores de 59.85 a 60.15 Hz. En el sistema fotovoltaico tiene un valor máximo de 60.431 Hz y un valor mínimo de 60.428 Hz, los valores sobrepasan el rango admisible por la regulación. En el sistema convencional de energía existen valores dentro del rango máximo de 60.055 Hz y un valor mínimo de 59.941 Hz, en este caso existen valores que sobrepasan el límite mino según la regulación.

**Figura 16**

*Frecuencia Hz sistema fotovoltaico – Casa comunal.*

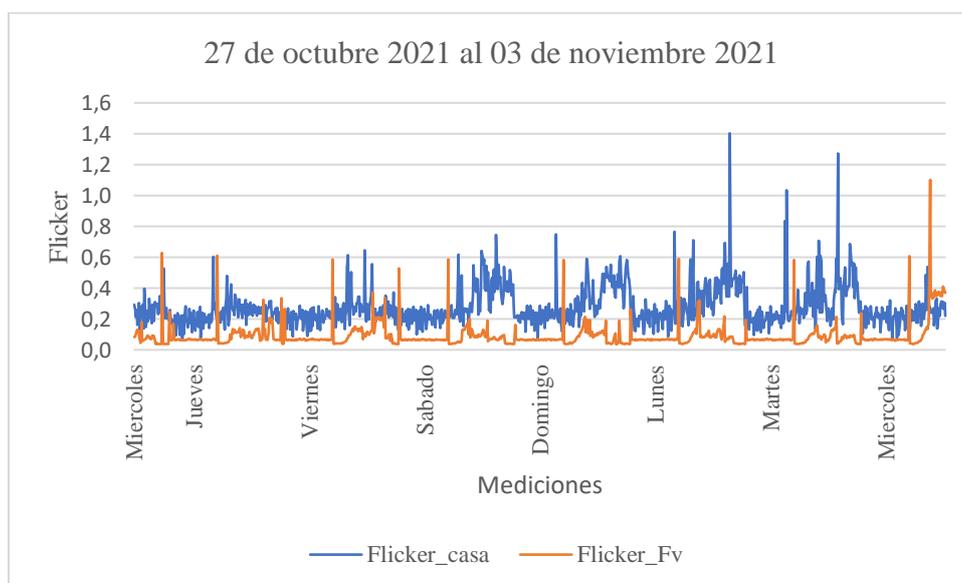


#### 4.4.5. Análisis de Flicker

En la figura 17 se muestran los comportamientos de las perturbaciones (parpadeo o flicker) en el sistema fotovoltaico y en la red convencional. Los datos registrados durante la medición muestran, en su mayoría cumplimiento de la regulación 004/01 pues el límite establecido para el índice de severidad de Flicker de corta duración es de 1 pu (unidades de perceptibilidad), si bien se evidencia valores que sobrepasan el rango máximo admisible, esto se debe a acciones sorpresivas generadas en los sistemas. Pero en su mayoría los datos se encuentran dentro del rango admisible por la regulación.

**Figura 17**

*Flicker sistema fotovoltaico – Casa comunal.*



En un estudio similar, Ñauta (2018), realiza un publicación basada en un estudio calidad de energía eléctrica de un sistema fotovoltaico domiciliario conectado a una red pública de energía eléctrica, en el cual obtiene resultados para voltaje valores superiores a 120V, armónicos en porcentaje valores por debajo del 3%, en cuanto a la frecuencia de la red obtiene valores cercanos a 60Hz, por otra parte en Factor de potencia obtiene valores inestables por debajo del 0.80 hasta tener valores negativos en su historial de medición. Esto en comparación con los datos obtenidos del sistema instalado del caso de estudio en la comuna Zuleta, se puede decir que, este sistema tiene parámetros eléctricos que se ajustan a la regulación en cuanto a calidad de energía.

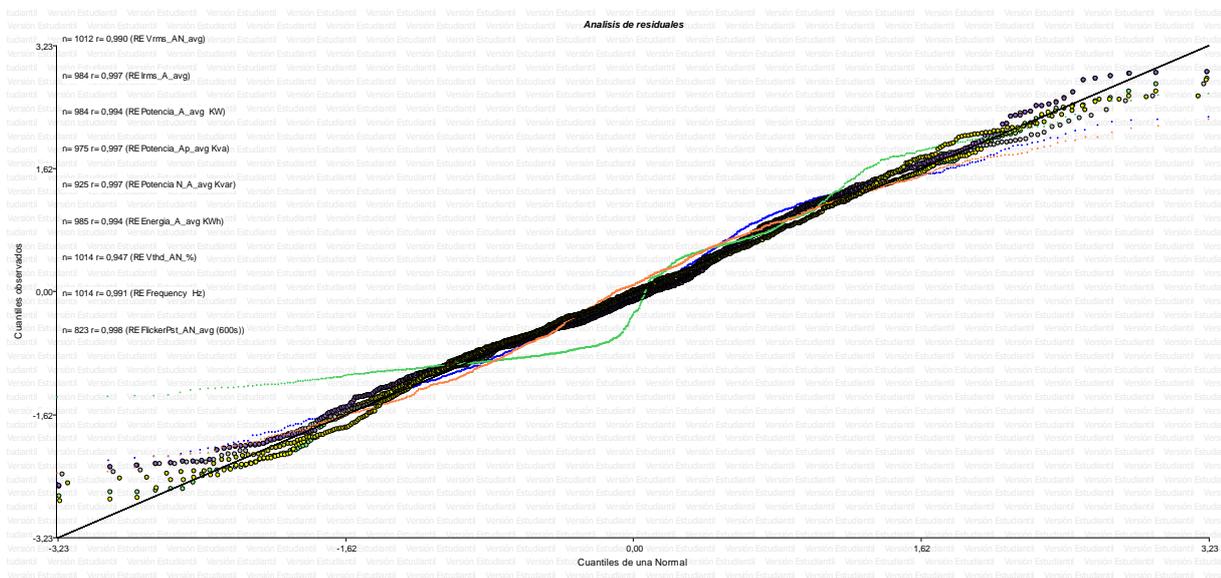
#### 4.4.6. Análisis de normalidad de datos.

Por otra parte, se realiza un análisis de estadística descriptiva, tanto para los datos del sistema fotovoltaico, como los datos de la red convencional, para ello se realiza un pretratamiento a los datos para descartar datos atípicos que estén fuera de su distribución normal de los datos, en el software Statgraphics se realiza un análisis de todas las variables eléctricas medidas por el analizador de red, para descartar los aberrantes (valores atípicos dentro de los valores medidos).

Teniendo los datos procesados, en el Software InfoStat, se realiza un análisis de varianza como se muestra en el Anexo 1. Análisis de dispersión de datos Anexo 2, también los histogramas por cada variable analizada cómo se muestran en el anexo 3. Llegando a obtener valores para el análisis de normalidad a través de los residuales, en la figura 18 se muestran los valores de todos los parámetros eléctricos de la red que supe de energía eléctrica convencional a la casa comunal, el valor (r) deberá ser mayor al 0.95 para tener una distribución normal dentro de los datos. Se puede observar que la variable de V Thd % tiene un valor menor al 0.95 por lo que estaría fuera del rango de normalidad, en el Anexo 2 se muestra los histogramas por cada una de las variables con un ajuste hacia la distribución normal, en lo cual se puede evidenciar que todas las variables tienen una distribución normal a partir de sus residuales, todo este proceso estadístico se realiza con un grado de confianza del 95%.

**Figura 18**

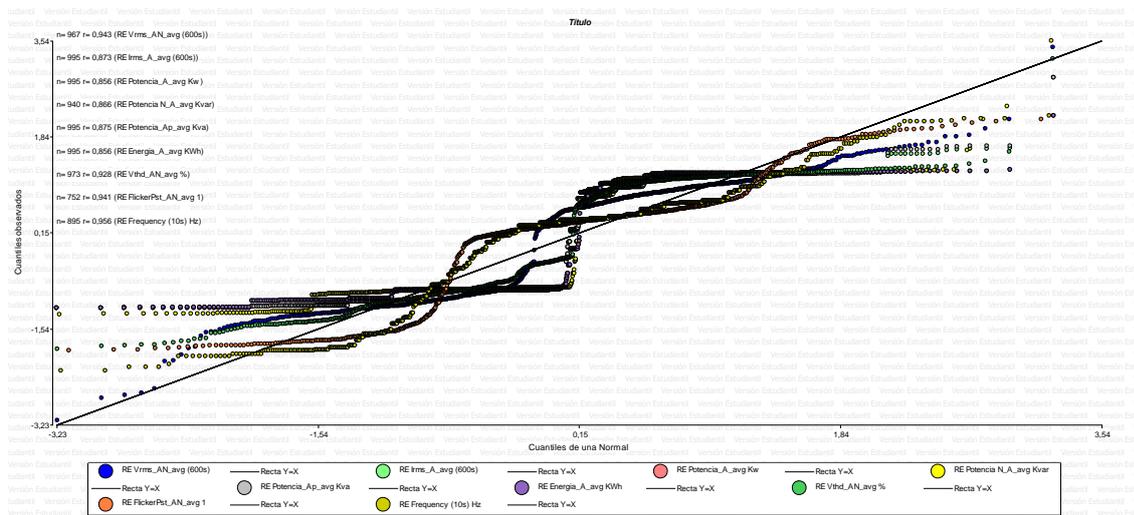
*Análisis de normalidad de datos de la red eléctrica de la casa comunal.*



En la figura 19 se muestran los resultados del análisis de normalidad para las variables eléctricas del sistema fotovoltaico. Los valores de medición no tienen normalidad, esto se produce por acciones sorpresivas dentro de la red, ya que tiene muchas fluctuaciones dentro de las variables eléctricas en estudio. El valor de la Frecuencia con una  $r = 0.95$  para una distribución de normalidad. Al ser sistemas completamente distintos tiene una alta probabilidad que sus datos no se asemejen, por lo cual se toma en cuenta que tanto los valores del sistema fotovoltaico y del sistema convencional tiene una diferencia significativa.

**Figura 19**

### *Análisis de normalidad de datos del sistema fotovoltaico*



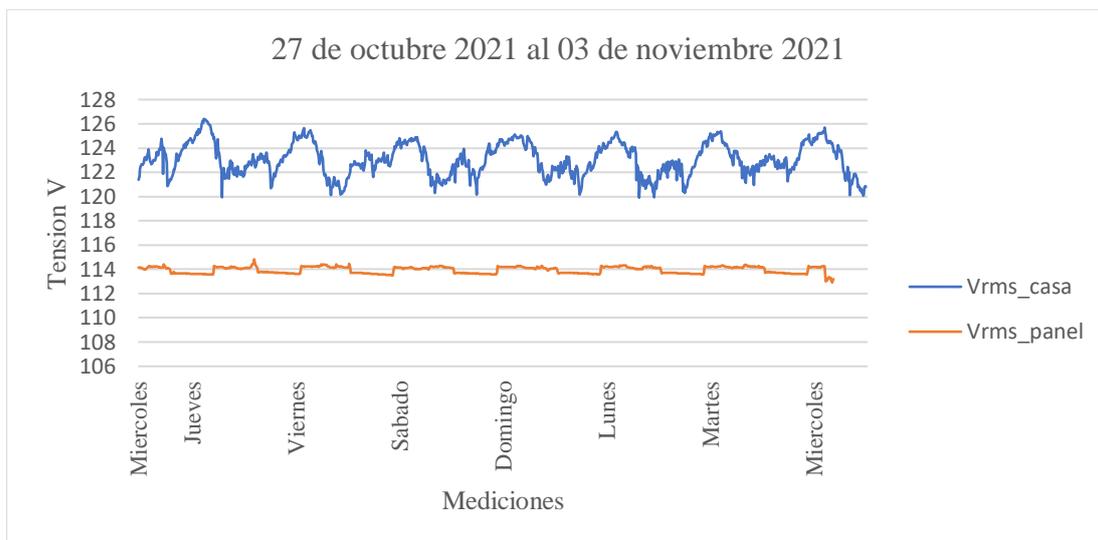
#### **4.4.7. Análisis comparativo entre dos variables**

Al poseer cargas eléctricas distintas entre el sistema fotovoltaico y la red eléctrica convencional, se toma las variables exógenas que no dependan de estas cargas, se analiza únicamente las variables de Voltaje (V), Armónicos (V Thd %) y el factor de potencia.

En la figura 20 se muestra el análisis de voltaje entre los dos sistemas eléctricos, el estado inicial (red convencional de energía) y el estado final (sistema fotovoltaico), en el cual se puede evidenciar que el voltaje de la red convencional de energía eléctrica sobrepasa los límites admisibles en sistemas de baja tensión, y esto podría ocasionar daños a los aparatos eléctricos, por otra parte se puede evidenciar que el voltaje generado por el sistema fotovoltaico se apega al valor de 110 V, y se encuentra dentro de los límites admisibles según la regulación de sistemas eléctricos de baja tensión. Para este análisis se realiza un pretratamiento de los datos, eliminando valores atípicos dentro del historial de medición, para ello se realizó en el programa estadístico *statgraphic*.

**Figura 20**

*Análisis comparativo Voltaje sistema fotovoltaico – Casa comunal.*



Muestra 1: Vrms\_casa

Muestra 2: Vrms\_panel

Muestra 1: 1012 valores en el rango de 119,912 a 126,409

Muestra 2: 967 valores en el rango de 112,914 a 114,827

**Tabla 9**

*Resumen Estadístico*

|                           | <i>Vrms_casa</i> | <i>Vrms_panel</i> |
|---------------------------|------------------|-------------------|
| Recuento                  | 1012             | 967               |
| Promedio                  | 123,062          | 113,94            |
| Desviación Estándar       | 1,35592          | 0,277677          |
| Coefficiente de Variación | 1,10182%         | 0,243705%         |
| Mínimo                    | 119,912          | 112,914           |
| Máximo                    | 126,409          | 114,827           |
| Rango                     | 6,497            | 1,913             |
| Sesgo Estandarizado       | 0,123115         | -3,70738          |
| Curtosis Estandarizada    | -4,93837         | -5,85226          |

### **Prueba t para comparar medias**

Hipótesis nula: media1 = media2

Hipótesis Alt.: suponiendo varianzas iguales:  $t = 205,131$  valor-P = 0

Se rechaza la hipótesis nula para  $\alpha = 0,05$ .

Puesto que el intervalo no contiene el valor 0, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras, con un nivel de confianza del 95,0%. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la diferencia no es igual a 0,0. Puesto que el valor-P calculado es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis nula en favor de la alterna, por lo cual se llega a los resultados de que existe una diferencia significativa entre las muestras.

### **Comparación de Medianas**

Mediana de muestra 1: 122,977

Mediana de muestra 2: 114,055

Prueba W de Mann-Whitney (Wilcoxon) para comparar medianas

Rango Promedio de muestra 1: 1473,5

Rango Promedio de muestra 2: 484,0

$W = 0$  valor-P = 0

Se rechaza la hipótesis nula para  $\alpha = 0,05$ .

Esta opción ejecuta la prueba W de Mann-Whitney para comparar las medianas de dos muestras. Esta prueba se combinan las dos muestras, ordenando los datos de menor a mayor, y comparando el promedio de las dos muestras en los datos combinados. Debido a que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel de confianza del 95,0%.

### **Prueba de Kolmogorov-Smirnov**

Estadístico DN estimado = 1,0

Estadístico K-S bilateral para muestras grandes = 22,2372

Valor P aproximado = 0

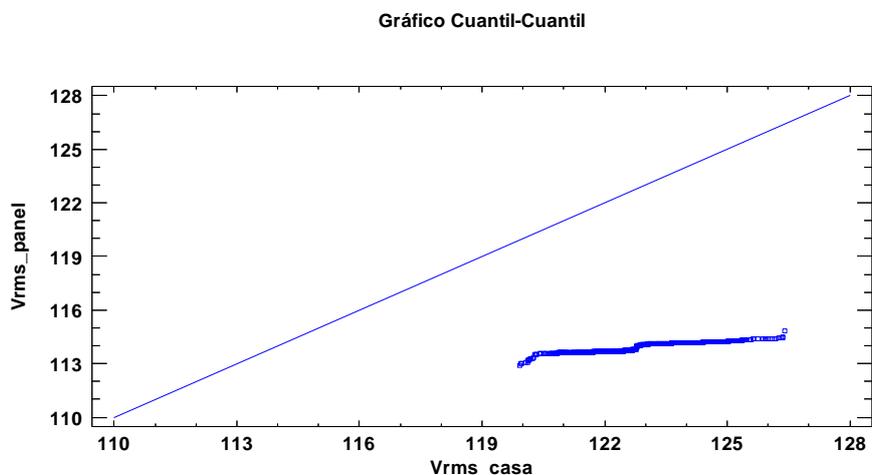
Esta opción ejecuta una prueba de Kolmogorov-Smirnov para comparar las distribuciones de las dos muestras. Esta prueba se realiza calculando la distancia máxima entre las distribuciones acumuladas de las dos muestras. En este caso, la distancia máxima es 1,0, que puede verse gráficamente en la Gráfica de Cuantiles. De particular interés es el valor-P aproximado para la prueba. Debido a que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las dos distribuciones con un nivel de confianza del 95,0%.

En la figura 21 se puede observar en gráfico de análisis de cuantiles, en el cual podemos observar que los valores están fueran se asemejarse, por lo cual existe una diferencia

significativa entre los parámetros comparados, ya que los valores tienden a desplazarse hacia los extremos.

### Figura 21

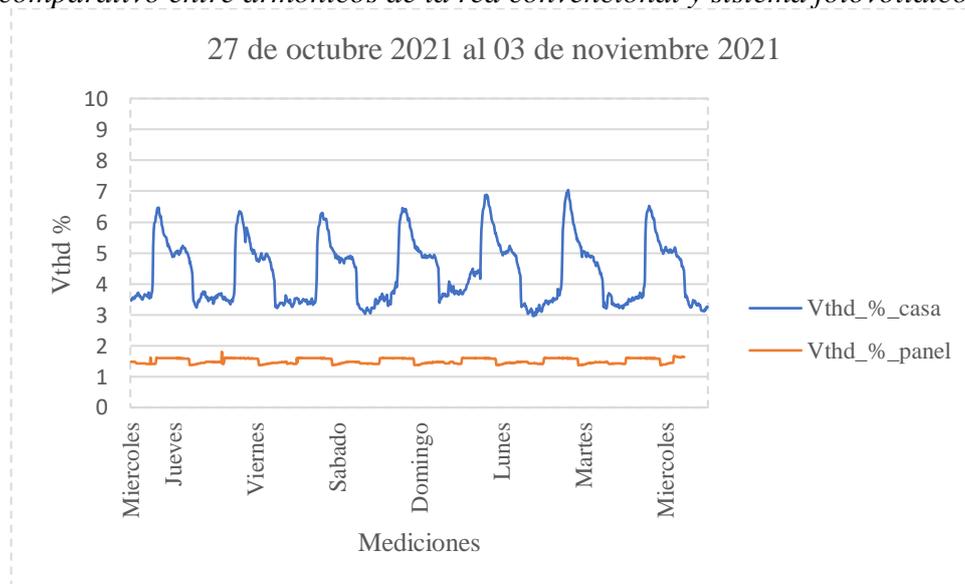
Gráfica de Cuantiles



En la figura 22 se muestran los valores comparativos de los armónicos en porcentaje  $V_{thd\_ \%\_ casa}$  &  $V_{thd\_ \%\_ panel}$ , de igual manera se realiza un pretratamiento de los datos en el programa ststgraphic, para desacertar datos atípicos dentro del historial de toma de datos.

### Figura 22

Análisis comparativo entre armónicos de la red convencional y sistema fotovoltaico.



Muestra 1: Vrthd\_%\_casa

Muestra 2: Vrthd\_%\_panel

Muestra 1: 1014 valores en el rango de 2,95797 a 7,04105

Muestra 2: 973 valores en el rango de 1,36831 a 1,80358

**Tabla 10***Resumen Estadístico*

|                           | <i>Vthd_%_casa</i> | <i>Vthd_%_panel</i> |
|---------------------------|--------------------|---------------------|
| Recuento                  | 1014               | 973                 |
| Promedio                  | 4,38672            | 1,50841             |
| Desviación Estándar       | 1,03331            | 0,0851666           |
| Coefficiente de Variación | 23,5554%           | 5,64613%            |
| Mínimo                    | 2,95797            | 1,36831             |
| Máximo                    | 7,04105            | 1,80358             |
| Rango                     | 4,08308            | 0,43527             |
| Sesgo Estandarizado       | 7,12075            | 0,677489            |
| Curtosis Estandarizada    | -5,59494           | -10,0357            |

**Prueba t para comparar medias**

Hipótesis nula:  $media1 = media2$

Hipótesis Alt.:  $media1, media2$  suponiendo varianzas iguales:  $t = 86,6061$

Valor-P = 0

Se rechaza la hipótesis nula para  $\alpha = 0,05$ .

De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde 2,81318 hasta 2,94345. Puesto que el intervalo no contiene el valor 0, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras, con un nivel de confianza del 95,0%. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la diferencia no es igual a 0,0. Puesto que el valor-P calculado es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis nula en favor de la alterna. Por lo cual se expresa que estadísticamente existe una diferencia significativa entre las muestras a comparar.

**Tabla 11***Comparación de Desviaciones Estándar*

|                     | <i>Vthd_%_casa</i> | <i>Vthd_%_panel</i> |
|---------------------|--------------------|---------------------|
| Desviación Estándar | 1,03331            | 0,0851666           |
| Varianza            | 1,06773            | 0,00725335          |
| Gl                  | 1013               | 972                 |

Razón de Varianzas= 147,205

Intervalos de confianza del 95,0%

Desviación Estándar de *Vthd\_%\_casa*: [0,990213; 1,08036]

Desviación Estándar de *Vthd\_%\_panel*: [0,0815434; 0,0891293]

Razones de Varianzas: [129,96; 166,713]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar

$F = 147,205$  valor-P = 0

Se rechaza la hipótesis nula para  $\alpha = 0,05$ .

### **Comparación de Medianas**

Mediana de muestra 1: 4,16139

Mediana de muestra 2: 1,47413

Prueba W de Mann-Whitney (Wilcoxon) para comparar medianas

Rango Promedio de muestra 1: 1480,5

Rango Promedio de muestra 2: 487,0

$W = 0$  valor-P = 0

Se rechaza la hipótesis nula para  $\alpha = 0,05$ .

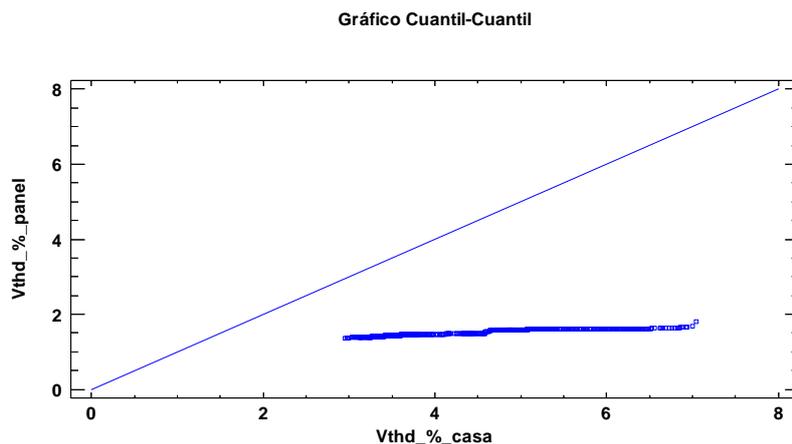
### **Prueba de Kolmogorov-Smirnov**

Estadístico DN estimado = 1,0

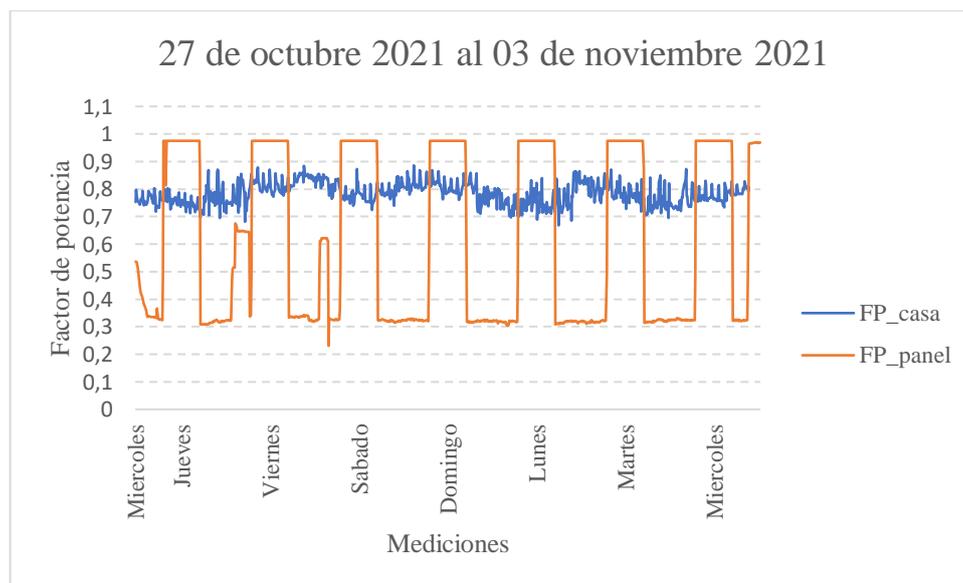
Estadístico K-S bilateral para muestras grandes = 22,2831

Valor P aproximado = 0

Esta opción ejecuta una prueba de Kolmogorov-Smirnov para comparar las distribuciones de las dos muestras. Esta prueba se realiza calculando la distancia máxima entre las distribuciones acumuladas de las dos muestras. En este caso, la distancia máxima es 1,0, que puede verse gráficamente seleccionando Gráfica de Cuantiles de la lista de Opciones Gráficas. De particular interés es el valor-P aproximado para la prueba. Debido a que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las dos distribuciones con un nivel de confianza del 95,0%. En la figura 23 se puede observar en gráfico de análisis de cuantiles, en el cual podemos observar que los valores están fueran se asemejar, por lo cual existe una diferencia significativa entre los parámetros comparados, ya que los valores tienden a desplazarse hacia los extremos.

**Figura 23***Gráfico de cuantiles*

En la figura 24 se muestra los datos comparativos entre el Factor de potencia del sistema convencional y el factor de potencia del sistema fotovoltaico, de igual manera se realiza un tratamiento de datos en el software Statgraphic, para desacatar datos atípicos.

**Figura 24***Comparación de Dos Muestras - FP\_casa & FP\_panel*

Muestra 1: FP\_casa

Muestra 2: FP\_panel

Muestra 1: 996 valores en el rango de 0,668112 a 0,885866

Muestra 2: 1014 valores en el rango de 0,230743 a 0,975711

En tabla 12 contiene el resumen estadístico para las dos muestras de datos. Pueden utilizarse otras opciones tabulares, dentro de este análisis, para evaluar si las diferencias entre los estadísticos de las dos muestras son estadísticamente significativas. De particular interés son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada que pueden usarse para comparar si las muestras provienen de distribuciones normales, valores estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar las pruebas que comparan las desviaciones estándar. En este caso, FP\_panel tiene un valor de sesgo estandarizado fuera del rango normal. Ambas muestras tienen valores de curtosis estandarizada fuera del rango normal.

**Tabla 12**

*Resumen Estadístico*

|                           | <i>FP_casa</i> | <i>FP_panel</i> |
|---------------------------|----------------|-----------------|
| Recuento                  | 996            | 1014            |
| Promedio                  | 0,783118       | 0,620462        |
| Desviación Estándar       | 0,0400488      | 0,314691        |
| Coefficiente de Variación | 5,11402%       | 50,7188%        |
| Mínimo                    | 0,668112       | 0,230743        |
| Máximo                    | 0,885866       | 0,975711        |
| Rango                     | 0,217754       | 0,744967        |
| Sesgo Estandarizado       | 1,09162        | 2,36972         |
| Curtosis Estandarizada    | -3,91491       | -12,4123        |

### **Prueba t para comparar medias**

Hipótesis nula:  $media_1 = media_2$

Hipótesis Alt.: suponiendo varianzas iguales:  $t = 16,184$  valor-P = 0

Se rechaza la hipótesis nula para  $\alpha = 0,05$ .

Puesto que el intervalo no contiene el valor 0, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras, con un nivel de confianza del 95,0%. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la diferencia no es igual a 0,0. Puesto que el valor-P calculado es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis nula en favor de la alterna.

**Tabla 13**

*Comparación de Desviaciones Estándar*

|                     | <i>FP_casa</i> | <i>FP_panel</i> |
|---------------------|----------------|-----------------|
| Desviación Estándar | 0,0400488      | 0,314691        |
| Varianza            | 0,00160391     | 0,0990305       |
| Gl                  | 995            | 1013            |

Intervalos de confianza del 95,0%

Desviación Estándar de FP\_casa: [0,038364; 0,0418895]

Desviación Estándar de FP\_panel: [0,301566; 0,32902]

Razones de Varianzas: [0,0143108; 0,0183309]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar

$F = 0,0161961$  valor-P = 0

Se rechaza la hipótesis nula para  $\alpha = 0,05$ .

De particular interés es el intervalo de confianza para la razón de varianzas, el cual se extiende desde 0,0143108 hasta 0,0183309. Puesto que el intervalo no contiene el valor de 1, existe diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar de las dos muestras con un 95,0% .

También puede ejecutarse una prueba-F para evaluar una hipótesis específica, en este caso, la prueba se ha construido para determinar si el cociente de las desviaciones estándar es igual a 1,0 versus la hipótesis alternativa de que el cociente no es igual a 1,0. Puesto que el valor-P calculado es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis nula en favor de la alterna.

### **Comparación de Medianas**

Mediana de muestra 1: 0,781861

Mediana de muestra 2: 0,377079

### **Prueba W de Mann-Whitney (Wilcoxon) para comparar medianas**

Rango Promedio de muestra 1: 1073,78

Rango Promedio de muestra 2: 938,435

$W = 436968$ , valor-P = 0

Se rechaza la hipótesis nula para  $\alpha = 0,05$ .

En esta opción ejecuta la prueba W de Mann-Whitney para comparar las medianas de dos muestras. Esta prueba se construye combinando las dos muestras, ordenando los datos de menor a mayor, y comparando los rankeos promedio de las dos muestras en los datos combinados. Debido a que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel de confianza del 95,0%.

### **Prueba de Kolmogorov-Smirnov**

Estadístico DN estimado = 0,566075

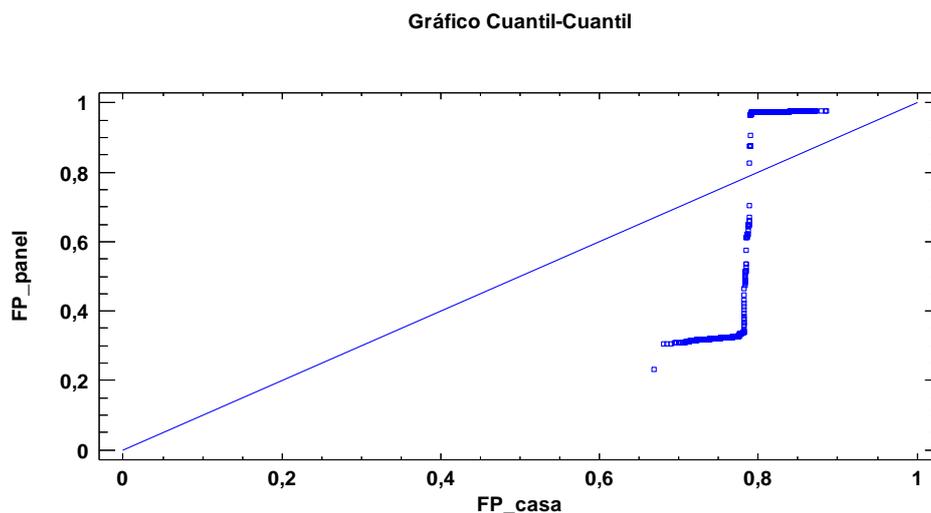
Estadístico K-S bilateral para muestras grandes = 12,6889

Valor P aproximado = 0

En esta opción ejecuta una prueba de Kolmogorov-Smirnov para comparar las distribuciones de las dos muestras. Esta prueba se realiza calculando la distancia máxima entre las distribuciones acumuladas de las dos muestras. En este caso, la distancia máxima es 0,566075, que puede verse gráficamente en la figura 25 Gráfica de Cuantiles. De particular interés es el valor-P aproximado para la prueba. Debido a que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las dos distribuciones con un nivel de confianza del 95,0%.

### Figura 25

*Gráfico de cuantiles de Factor de potencia de la red convencional y del sistema fotovoltaico.*



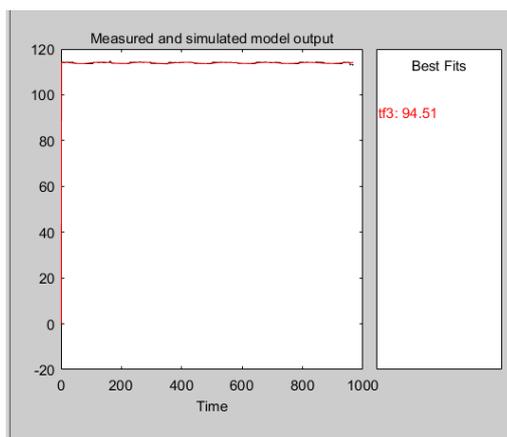
### 4.5. Modelación matemática y simulación.

Para describir el funcionamiento del sistema fotovoltaico en la realidad con términos matemáticos se procede a ejecutar la modelación matemática y la simulación con los datos de la Tensión (Voltios), Armónicos en %, y el factor de potencia, datos promedios medidos a través del tiempo, con un total de 1008 datos para cada una de las variables.

Tiempo vs Tensión (Voltios) del sistema fotovoltaico para obtener el modelo matemático se debe describir mediante una serie de variables, teniendo así que calcular la función de transferencia para observar el comportamiento del voltaje en función del tiempo, para ello se usó el valor promedio del sistema fotovoltaico en el Software Matlab, el voltaje representa la respuesta del sistema real y las restantes son los resultados a las funciones de transferencia realizadas, con la aplicación System Identificación.

**Figura 26**

*Resultado del modelo matemático del parámetro Voltaje del sistema fotovoltaico*



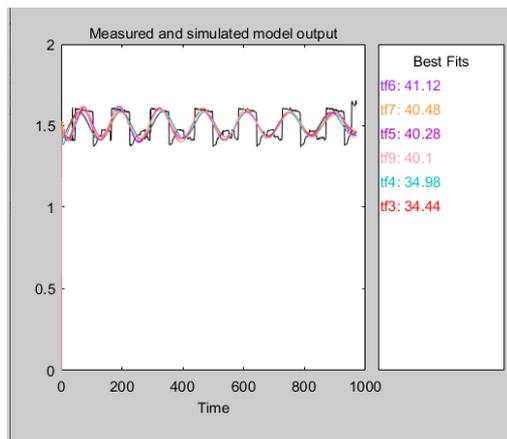
Se toma el modelo tf3, ya que este tiene como resultado un FIT del 94.51%, y los coeficientes para este modelo corresponde a la siguiente ecuación que se expresa a continuación, con un total de 4 polos y 3 ceros.

$$tf3 = \frac{-3.591e05s^3 - 373.4s^2 - 74.24s - 0.0003775}{s^4 + 149.8s^3 + 2837s^2 + 2.682s + 5.89}$$

Al igual que el apartado anterior se realiza la simulación para el modelo matemático en este caso con los valores de Armónicos de voltaje (Vthd%), en la figura 27 se muestran los resultados de las distintas estimaciones de la función de transferencia. Se realizan varias evaluaciones hasta obtener el FIT alto, con esto se representará cuan estable o controlable puede ser el sistema.

**Figura 27**

*Modelo matemático del parámetro Armónico de voltaje (Vthd %) del sistema fotovoltaico*



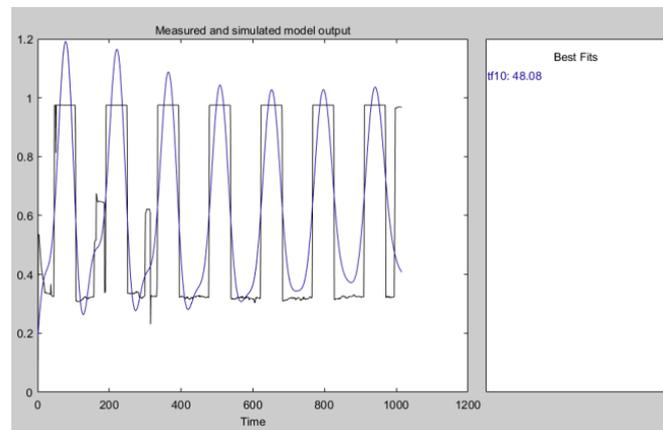
En este caso se opta por el valor Tfs 6, obteniendo un valor del FIT del 41.12 %, y los coeficientes para este modelo corresponde a la siguiente ecuación que se expresa a continuación, con un total de 7 polos y 6 ceros.

$$tf6 = \frac{728.6s^6 + 17.38s^5 + 3.477s^4 + 0.00459s^3 + 0.004058s^2 + 2.18e^{-05}s + 3.282e^{-10}}{s^7 + 116.5s^6 + 220.2s^5 + 5.819s^4 + 0.9979s^3 + 0.01394s^2 + 0.001092s + 5.921e^{-06}}$$

En la figura 28 se observa la simulación para el modelo matemático, en este caso con los valores históricos de medición del factor de potencia de la micro red del sistema fotovoltaico, se realiza varias simulaciones en el apartado función de transferencia para así llegar al modelo semejante al comportamiento de la red a la realidad.

### Figura 28

*Modelo matemático del parámetro Factor de potencia del sistema fotovoltaico*



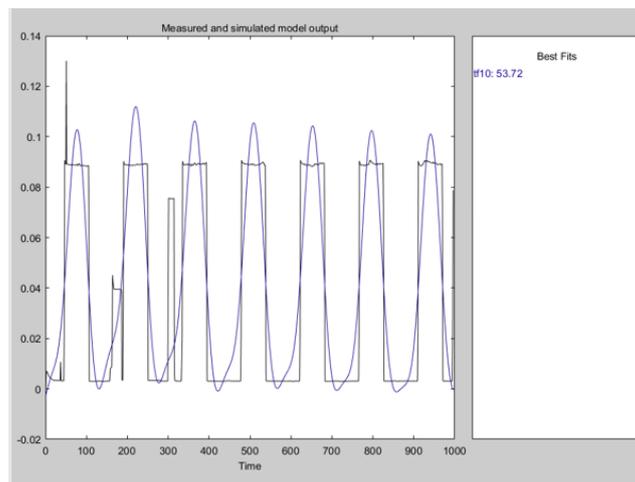
En este caso se opta por el valor Tfs 10, ya que tiene un valor del FIT del 48.08 %, y los coeficientes para este modelo corresponde a la siguiente ecuación que se expresa a continuación, con un total de 6 polos y 5 ceros.

$$tf6 = \frac{0.0009499s^5 + 1.347e^{-05}s^4 + 7.813e^{-06}s^3 + 1.136e^{-07}s^2 + 3.983e^{-10}s + 2.254e^{-13}}{s^6 + 0.01844s^5 + 0.009715s^4 + 0.0001566s^3 + 1.52e^{-05}s^2 + 2.233e^{-07}s + 8.406e^{-10}}$$

También se realiza el modelo matemático con el parámetro de Potencia Activa generada por el sistema fotovoltaico, de igual manera que el apartado anterior se realiza varias simulaciones con la opción Función de Transferencia en el software Matlab, llegando a obtener el modelo que se ajuste a la realidad, en la figura 29 se puede observar en la gráfica de salida del resultado, cual es estimación que se acopla a los valores reales del sistema fotovoltaico.

**Figura 29**

*Modelo matemático del parámetro Potencia Activa del sistema fotovoltaico*



En este caso se toma el valor Tfs 10, al tener un valor del FIT del 53.72 %, y los coeficientes para este modelo corresponde a la siguiente ecuación que se expresa a continuación, con un total de 6 polos y 5 ceros.

$$tf6 = \frac{3.185e^{-05}s^5 - 2.104e^{-06}s^4 + 5.80e^{-07}s^3 + 3.865e^{-09}s^2 + 2.061e^{-10}s - 4.248e^{-14}}{s^6 + 0.01228s^5 + 0.009855s^4 + 0.000115s^3 + 1.742e^{-05}s^2 + 1.734e^{-07}s + 4.485e^{-09}}$$

Cabe mencionar que este sistema fotovoltaico corresponde a un sistema dinámico que varía su estado en función del tiempo, por lo cual no se llega a tener índices altos en los modelos matemáticos ajustándose a su comportamiento real. Al hacer uso de esta herramienta Función de Transferencia se hace uso de la transformada de Laplace, la cual permite representar el comportamiento dinámico o estacionario de un sistema. Con los resultados obtenidos anteriormente se puede observar que el sistema fotovoltaico corresponde a un régimen dinámico que varía en función del tiempo, por lo cual, es se puede decir que a partir de sus ecuaciones de modelos matemáticos, tomando en cuenta sus polos y ceros, tenemos que es el sistema es inestable en los parámetros eléctricos antes descritos (Armónicos, factor de potencia, potencia activa), a acepción del Voltaje que tiene un índice FIT mayor al 75%, que correspondería a un sistema estable.

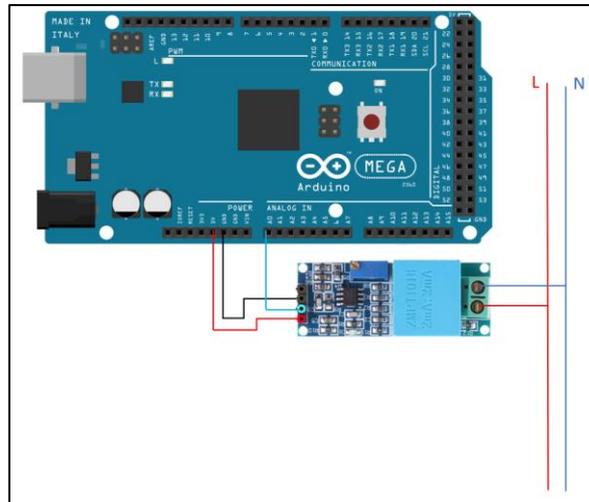
#### 4.6 Sistema de monitoreo

Para obtener una interfaz visual en la cual se visualicen los parámetros eléctricos del sistema fotovoltaico, se genera a partir del Software LABVIEW, usando sensores que midan corriente y voltaje. En la figura 30 se muestra el diagrama de conexión del sensor de corriente

ZMPT101B para 110V en AC, este componente funciona con un voltaje de 5V desde un Arduino, generando una señal análoga proporcional al voltaje de la línea eléctrica.

### Figura 30

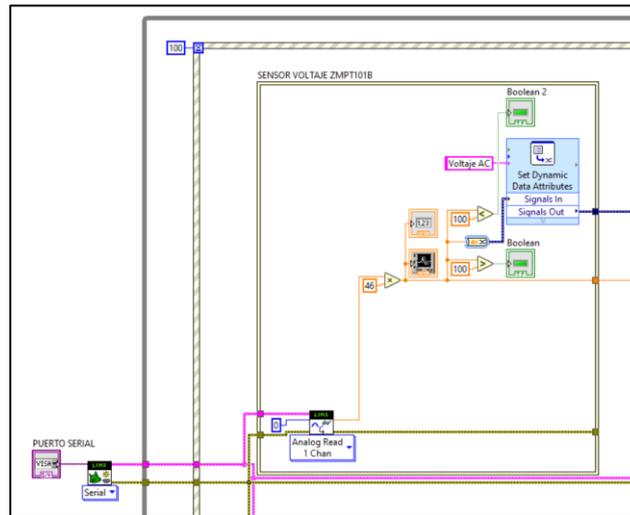
*Esquema de conexión del sensor ZMPT101B*



Para la conversión de la señal análoga generada por el sensor, se realiza operaciones matemáticas para llegar al valor real de medición, al ser una señal proporcional al voltaje, se toma el valor de la pendiente teniendo en consideración un voltaje de cero cuando no existe un voltaje en la línea eléctrica, y un valor de 5V cuando la línea esta energizada hasta 250V AC, llegando a un valor numérico de 46 a multiplicar por la señal entregada por el sensor. En la figura 31 se muestra la programación de bloques en el software LABVIEW, usando la librería LINX, con la opción MAKERHUB para una comunicación serial con el Arduino por medio de un puerto USB, que generalmente lo selecciona como un canal COM5. Se toma un bloque para la lectura análoga la cual estará vinculada a un puerto análogo del Arduino, para generar un reporte de datos se crea un archivo Excel convirtiendo la señal de salida a un dato dinámico el cual podrá ser traslado hacia la tabla, con su respectiva columna de valores.

**Figura 31**

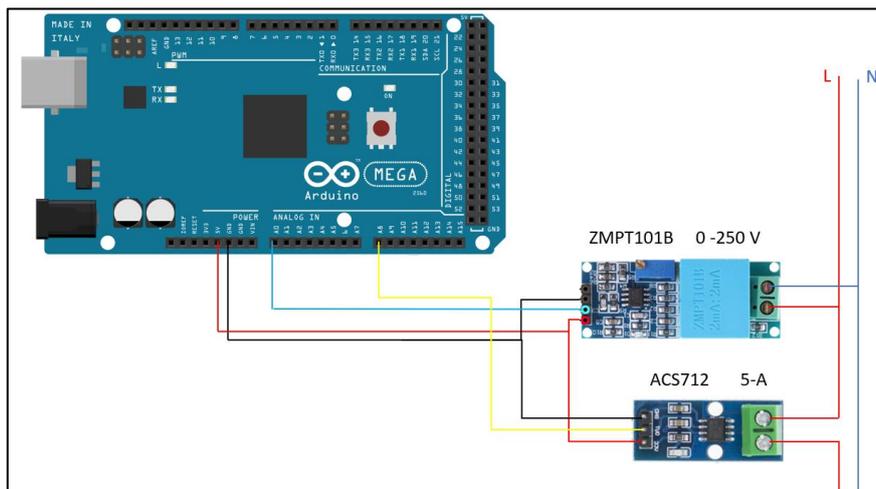
*Diagrama de programación del sensor ZMPT101B*



Para realizar mediciones de corriente, el sensor ACS712 con un máximo de 5A, el cual posee un grado de sensibilidad de 185 mV/A con una alimentación de 5V por medio de Arduino, para el funcionamiento de este sensor invasivo es necesario operar en serie en la línea eléctrica a realizar el censo, en la figura 32 se muestra el diagrama de conexión.

**Figura 32**

*Esquema de conexión del sensor ACS712 5-A AC/DC*

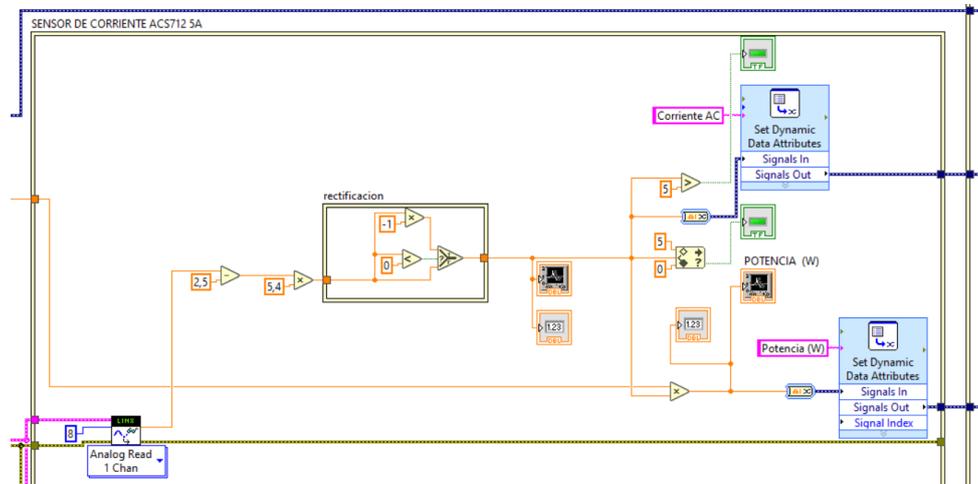


Para generar el valor de corriente, se menciona que el sensor emite una señal analógica de 2.5V cuando no existe una corriente que circule por la línea eléctrica, y esta incrementará según su sensibilidad al cual está programando dicho sensor. Teniendo en cuenta su incremento proporcional de 185 mV/A, se llega a los valores de conversión como se muestra en la figura 33 dentro de los bloques de programación en LABVIEW, al tener valores

censados de voltaje y corriente del sistema eléctrico, es posible generar valores de potencia del sistema.

**Figura 33**

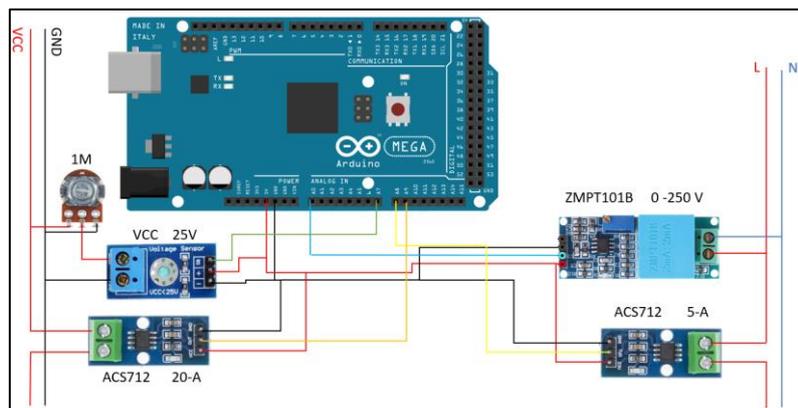
*Bloques de programación con factores de conversión para el sensor ACS712*



Los sensores mencionados se instalan a la salida del Inversor para censar valores en AC, con la finalidad de visualizar el comportamiento del voltaje entregado por el inversor del sistema fotovoltaico. Por otra parte, se requiere censar los parámetros eléctricos de voltaje y corriente generados por paneles fotovoltaicos, para el voltaje de aplica un sensor DC 25V, al tener un voltaje generado por el arreglo de paneles fotovoltaicos superior a los 35V, se aplica un divisor de voltaje para reducir a un valor menor a los 25V admisibles para el sensor. En la figura 34 se muestra el esquema de conexión del sensor en paralelo a las líneas eléctricas que ingresan al regulador de carga.

**Figura 34**

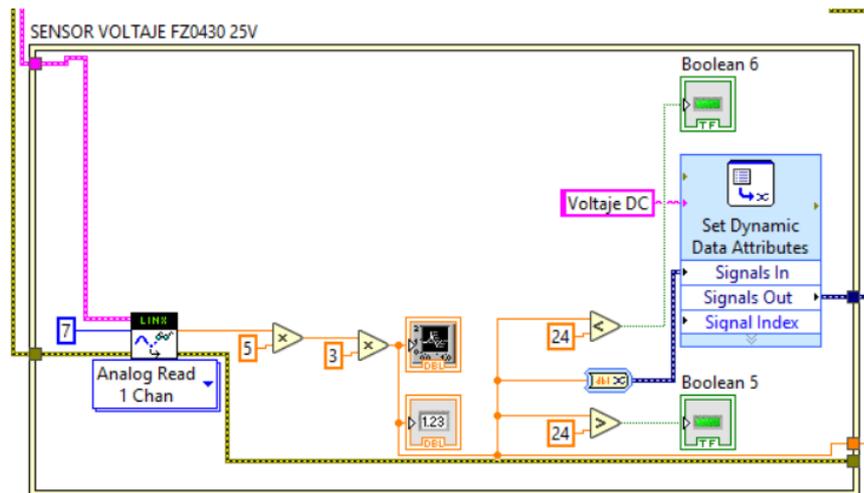
*Esquema de conexión del sensor de voltaje DC y el divisor de voltaje*



Al hacer el uso de un potenciómetro como divisor de voltaje, se divide el voltaje de entrada, logrando así tener un valor menor al admisible por el sensor, para llegar al valor real en el bloque de programación, a la señal leída por el sensor se lo multiplica por cinco, este valor viene dado por la hoja de datos técnicos del sensor, y a partir de ese dato de medición se multiplica por tres, logrando así llegar al valor real de voltaje de la línea, en la figura 35 se muestra los valores aplicados para el voltaje real.

**Figura 35**

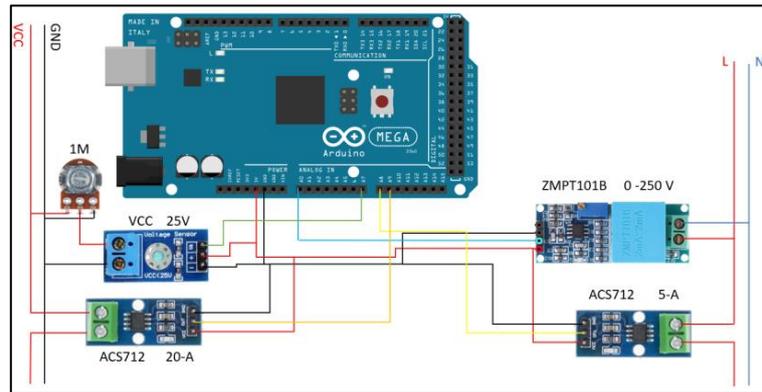
*Bloques de programación para el sensor de voltaje DC*



Para medir la corriente se aplica el sensor ACS712 20-A, a diferencia de otro sensor de corriente instalado anteriormente, este está programado con una sensibilidad de 100 mV/A, por esto se requiere de otros factores de conversión a la señal análogo que ingresara al Arduino, en la figura 36 se muestra el diagrama de conexión de los sensor, se toma en cuenta que el sensor emite una señal de 2.5V cuando no existe una corriente que circula por la línea eléctrica, a partir de ese valor se irá incrementando en proporción a la sensibilidad a la cual está programado este sensor.

**Figura 36**

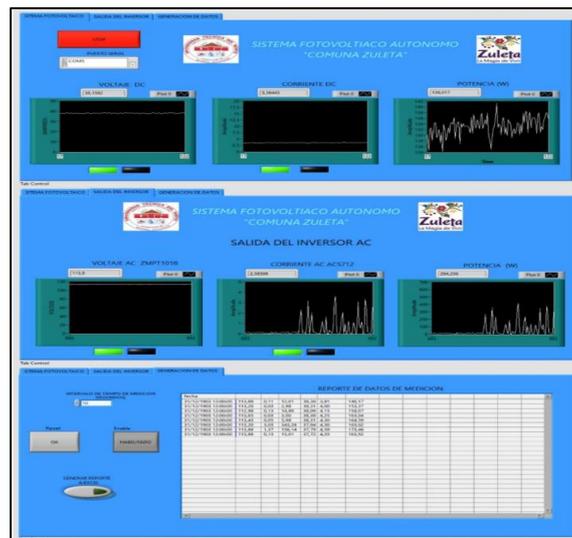
*Diagrama de conexión del sensor de corriente ACS712 20-A*



Una vez los sensores puestos en funcionamiento se puede visualizar en el software LABVIEW los parámetros de voltaje corriente y potencia, tanto en la salida del inversor y los parámetros antes de la entrada al regulador. En la figura 37 se puede observar las gráficas de los parámetros eléctricos, existen variaciones de mediciones en el sensor ACS712 AC, al censar en corriente alterna, obteniendo valores negativos de medición, pero con una requiere una rectificación de la señal de medición.

**Figura 37**

*Interfaz visual de parámetros eléctricos*



A continuación se muestra los bloques de programación que se realiza en LABVIEW, para generar toda esta comunicación entre los sensores y el Arduino, se usa un firmware para usar el dispositivo programable como un medio de comunicación, al realizar la generación de un reporte de datos se usa un bloque de programación generando un Excel en el cual se guardaran los datos de medición en los intervalos de tiempo definidos, se genera una



Con el fin de obtener una interfaz visual remota, se genera una dirección web en la cual se podrá visualizar el monitoreo desde otra ubicación, en la cual el usuario únicamente podrá interactuar con la red visualizando los parámetros eléctricos, y no realizar cambios o parar el funcionamiento de los sensores. En la figura 40 se puede observar cómo se visualiza la interfaz web generada por LABVIEW, [http://laptop-851q4c5o:8000/sensores\\_SCADA.html](http://laptop-851q4c5o:8000/sensores_SCADA.html) es el URL generado que se aplica al navegador de internet Explorer por no tener restricciones para enlazar la dirección web con el computador. La desventaja consta que la interfaz se puede visualizar cuando el programa está en funcionamiento y el usuario está en interacción con la red.

**Figura 40**

*Visualización de la interfaz en la web*

### SISTEMA FOTOVOLTAICO ZULETA

Text that is going to be displayed before the VI panel image.



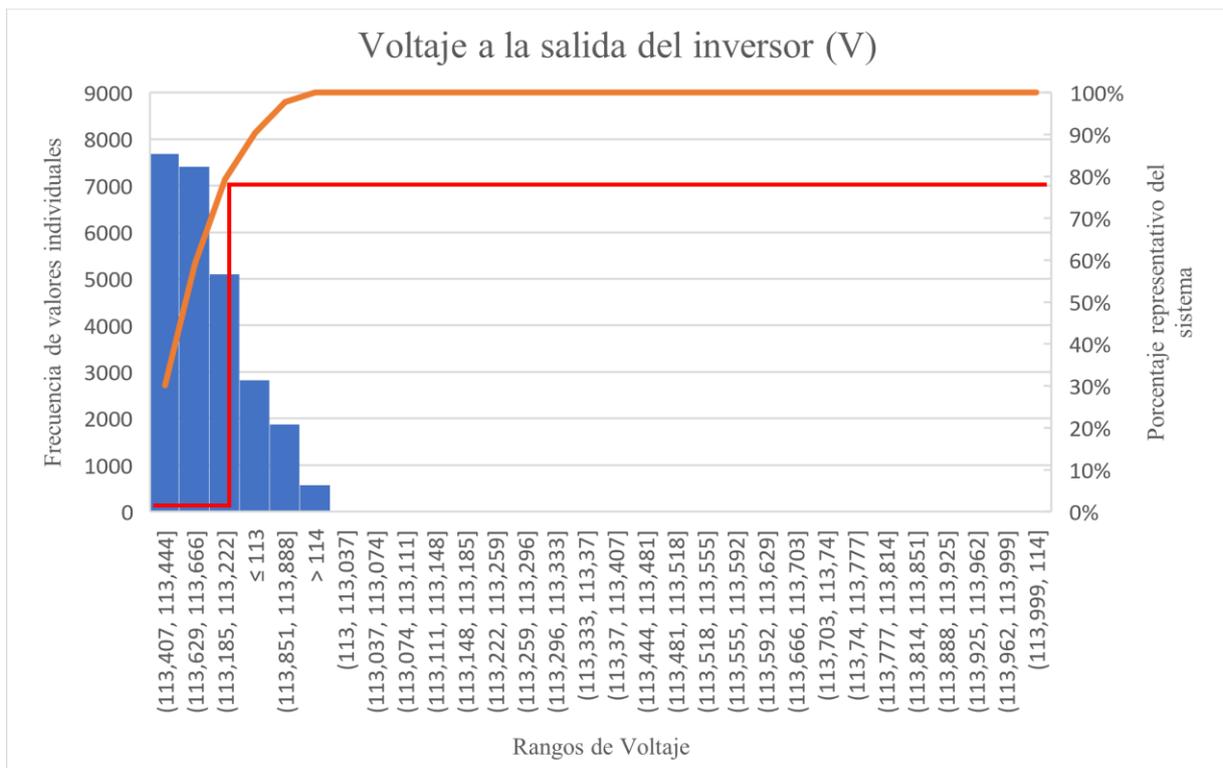
#### 4.7. Analisis de datos de medición del sistema de monitoreo.

Para generar una base de datos, y comprobar si hay variaciones en las mediciones, se realiza este proceso por tres ocasiones, con el fin de verificar si existe variabilidad en el historial de datos. En este caso en particular se realiza mediciones con un intervalo de tiempo de 10 segundos, en el horario de 8:30 am, hasta las 14:30, obtenido resultados de voltaje y corriente a la salida del inversor y la potencia suministrada al sistema, al igual que los parámetros de voltaje y corriente generada por los módulos fotovoltaicos. Este proceso de medición se realizó durante tres semanas obteniendo 1700 datos por cada día con un total de 25 486 por cada parámetro eléctrico. En la figura 41 se muestran los resultados del parámetro

de Voltaje suministrado por el inversor, en el cual se obtiene valores de voltaje entre los 113,18V y 113,66V, en este rango con más frecuencia individual que ha ocurrido durante las etapas de medición., representado así el 80% de datos medidos en el sistema, lo cual concuerdan con los valores medios anteriormente con los analizadores de red. En el anexo 7 se visualiza las mediciones de voltaje de las 3 semanas.

**Figura 41**

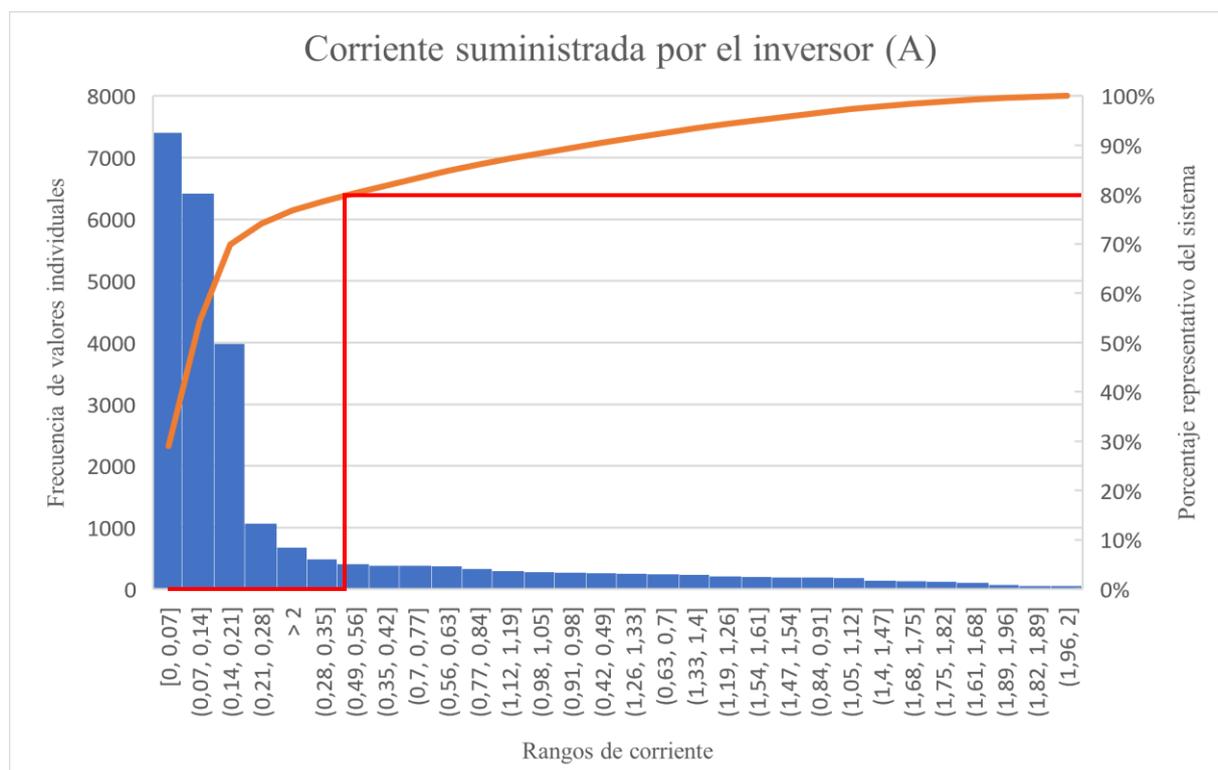
*Grafica de PARETO, con el parámetro de Voltaje suministrado por el inversor.*



En la figura 42 se observa los valores que representan al 80% de datos de medición, en el cual los rangos de corriente, de mayor consumo por el establecimiento se encuentran entre 0A y 0,56 A, y valores sobre los 2 A, en el Anexo 8 se puede evidenciar una gráfica de valores del historial de medición. Con esto se llega a evidenciar que el consumo de corriente está en las luminarias de la casa comunal y en los equipos eléctricos de la oficina.

Figura 42

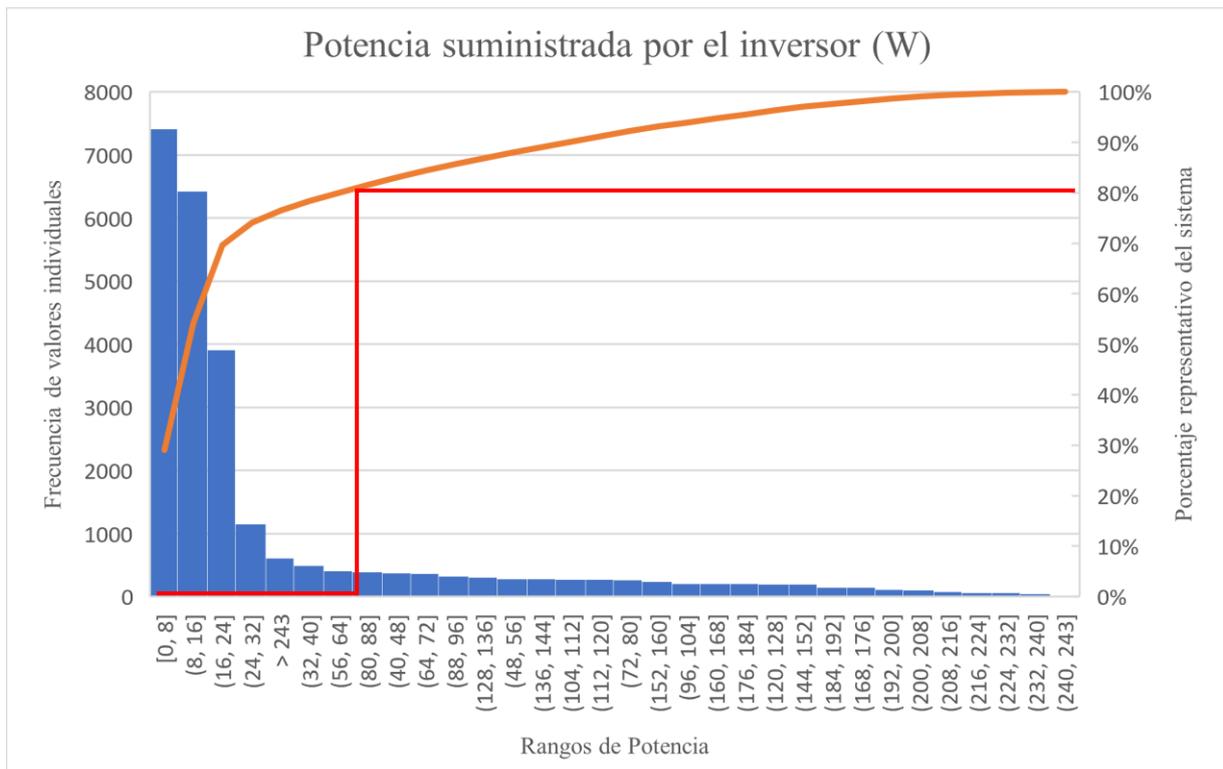
Grafica de PARETO, con el parámetro de la Corriente suministrado por el inversor.



En la figura 44 se observa los valores de la potencia suministrada al sistema obteniendo valores desde 0W hasta 88W como valores representativos para el 80% del sistema, también valores sobre los 243W, el resto de valores fuera de estos rangos corresponden al 20%. Con esto se calcula la energía de consumo del establecimiento, con las 8 horas de funcionamiento del establecimiento, obtenido un consumo de energía 21,60 Kwh/mes, representado así un pago de servicio eléctrico correspondiente a \$ 3,24 para la potencia de consumo de 90W, con el costo de 0,16\$Kwh, en este caso tomando en cuenta la inversión con un valor de \$2 250, la energía solar debe ser más costosa para lograr el retorno de la inversión, por otra parte el establecimiento a partir del historial de facturación eléctrica, que se presenta en la figura 45, teniendo un ahorro de \$80.13 hasta el mes de abril, posterior a la implementación del sistema fotovoltaico desde el mes de Julio del 2021 se evidencia una reducción del pago de energía eléctrica, hasta la fecha el sistema no se encuentra funcionando al 100% por el deterioro del sistema eléctrico que tiene la casa comunal, y se propone a los dirigentes crear nuevas redes eléctricas para mejorar la seguridad de los conductores eléctricos. En el Anexo 9 se visualiza la potencia generada durante el periodo de medición correspondientes a las 3 semanas.

**Figura 43.**

*Grafica de PARETO, con el parámetro Potencia.*

**Figura 44.**

*Historial de consumo eléctrico de la casa comunal de Zuleta.*

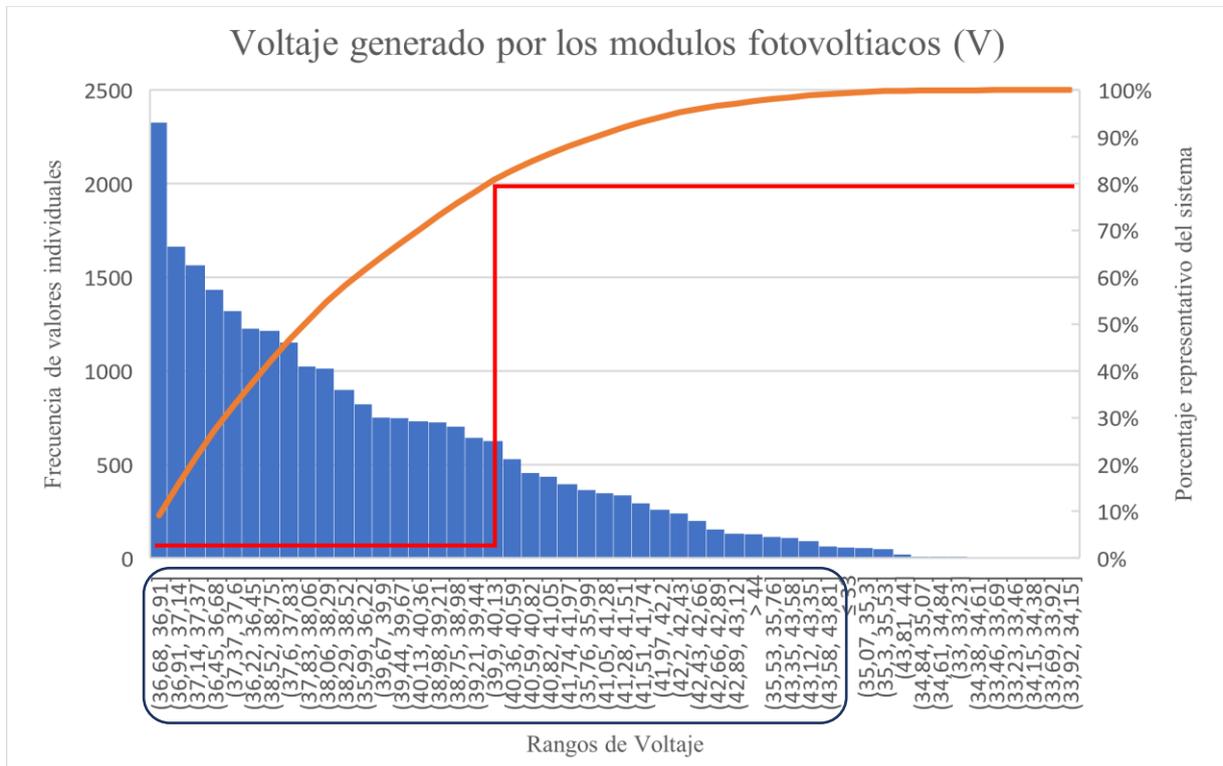


En la figura 46 se muestra los valores de voltaje generados por los módulos fotovoltaicos, tomando en cuenta los valores que se encuentren dentro del 80% de ser representativos del sistema y con mayor frecuencia de valores individuales, en el cual se obtiene un voltaje entre 36,68V hasta 43,81 V, cabe señalar que existen valores fuera de estos rangos durante las etapas de mediaciones a causa de las condiciones climáticas suscitadas dentro de este proceso, en lo cual se puede observar valores superiores a los 44 V. Pero

cumple con el voltaje requerido para el sistema de 24V nominales. En el Anexo 10 se puede evidenciar el historial de voltaje durante las tres semanas de monitoreo

**Figura 45**

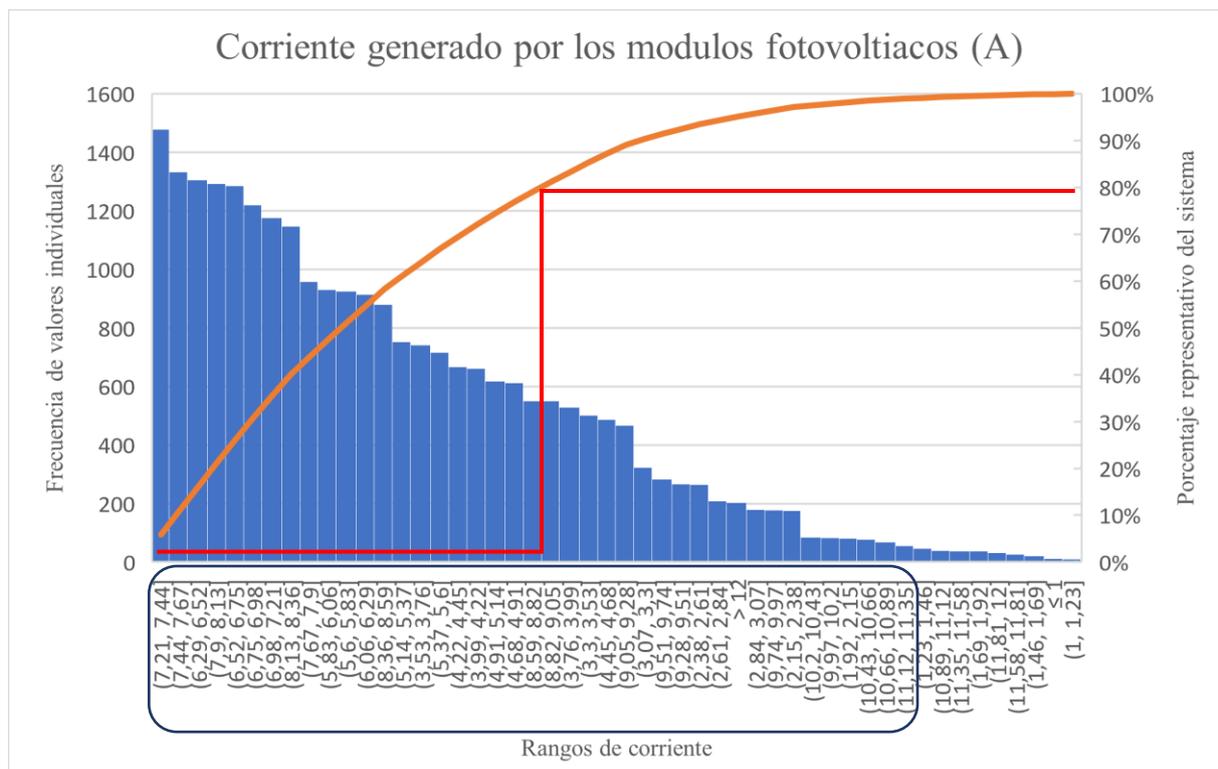
*Grafica de PARETO, con el parámetro de Voltaje generado por los módulos fotovoltaicos.*



Los valores censados de corriente se presentan en la figura 47, en la cual se puede evidenciar resultado entre los 2,15 A y 11,53 A que representan el 80% del sistema, el 20% restante de datos corresponden a valores fuera de los rangos mencionados anteriormente. En el Anexo 11 se puede visualizar las mediciones por cada semana durante el periodo de medición.

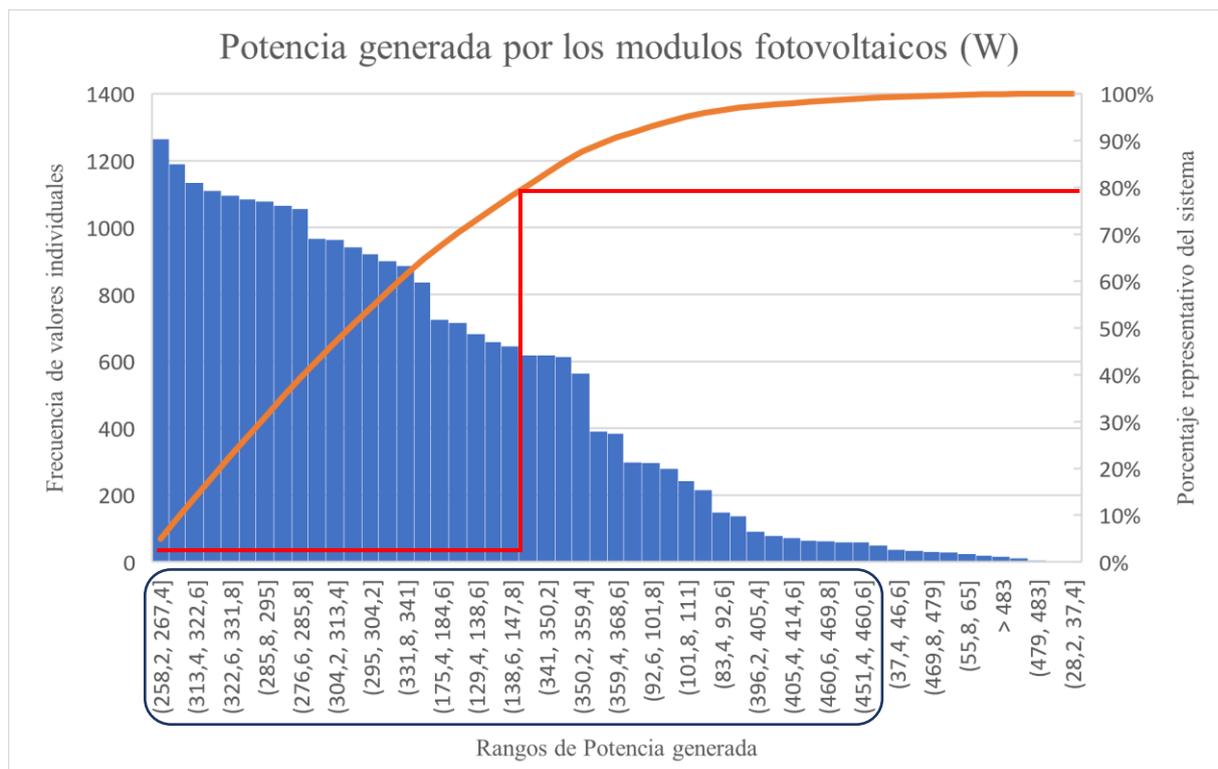
**Figura 46.**

*Grafica de PARETO, con el parámetro de Corriente generado por los módulos fotovoltaicos.*



**Figura 47.**

*Grafica de PARETO, con el parámetro de Potencia generado por los módulos fotovoltaicos.*



En casos similares de monitoreo de parámetros eléctricos, usan distintos bloques de programación e interfaz de comunicación con Arduino, pero tienen la misma finalidad en procesar señales análogas generadas por los sensores. Lindao & Layana (2014) realizan la implementación de un sistema scada en LABVIEW para el control automatizado del módulo solar Eph2 en un laboratorio de instrumentación con una instrumentación a partir de una comunicación entre los sensores del módulo fotovoltaico con bloques de programación que tengan comunicación con un PLC para la adquisición de datos, llegando a tener un error porcentual de medición del 2%. En el caso aplicado en el sistema fotovoltaico en Zuleta, tenemos un error porcentual que depende de las características técnicas de cada sensor, en el mayor de los casos tenemos un error porcentual de medición de un 3%. En el parámetro de voltaje medido por el sensor ZMPT101B se obtiene valores de 114V reflejados en el reporte de datos generado por el software, igualando los valores de medición antes realizados con el analizador de red FLUKE 1748.

## Capítulo V

### Conclusiones

La comunidad de Zuleta dispone de un recurso solar incidente de 4,9 kWh/m<sup>2</sup>, adecuados para suplir la demanda de energía eléctrica diaria de 1,30 kWh requerida por la casa comunal de Zuleta, con un sistema fotovoltaico de 660 W de potencia instalada.

La calidad de energía eléctrica de este sistema fotovoltaico se ajusta a la normativa 004/01 del CONELEC, con valores dentro del rango de  $\pm 10\%$  en Voltaje, armónicos hasta el 8%, factor de potencia con un mínimo de 0.92,

El modelo matemático tiene valores aproximados al coeficiente predictivo, para el voltaje, armónicos y factor de potencia, con factores predictivos de 94.51%, 41.12% y 48.08% respectivamente, siendo el sistema fotovoltaico a un proceso dinámico, estable, con parámetros eléctricos que varían en función del tiempo.

La interfaz gráfica del SCADA es aplicable en sistemas fotovoltaicos aislados en comunidades rurales, por su facilidad de uso e instalación, registro de datos, con un monitoreo del sistema a tiempo real, detección de fallas en la red aislada y genera una mejor interacción entre el usuario y la red eléctrica aislada.

Este proyecto es una opción posible a la solución de escasas de electrificación en sectores rurales, como una versión ejecutable, para el aprovechamiento del recurso solar.

### **Recomendaciones**

Se pide realizar mediciones de calidad de energía en días laborales, en donde haya mayor consumo de energía eléctrica, para tener valores de medición apegados a la realidad.

Se recomienda realizar estudios con sensores de radiación solar en el sitio donde se instalaría un sistema fotovoltaico, para generar una base de datos del lugar.

Para la aplicación de este tipo de proyectos, se recomienda la revisión de la red eléctrica del establecimiento, donde va a suplir de energía eléctrica fotovoltaica.

Se recomiendo realizar una aplicación móvil de SCADA, para tener mejor accesibilidad al monitoreo de la red eléctrica fotovoltaica.

### Bibliografía.

- M. Austin, (2011). *Battery and energy trends and the driving forces behind them*. In IEEE Technology Time Machine Symposium on Technologies Beyond 2020 (TTM), Hong Kong.
- International Renewable Energy Agency (IRENA), (2018). *Renewable Capacity Statistics*.  
Obtenido de: <https://www.irena.org/publications/2018/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2018>
- IRENA (2019). *Transforming the energy system – and holding the line on the rise of global temperatures*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- Villegas, Alcivar (2020). *Diseño de un sistema fotovoltaico para la escuela de educación básica Simón Bolívar, en la comunidad Masa 2, golfo de Guayaquil*. Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil - Ecuador
- APPD Energía LATAM, (2011). *Las Alianzas Público Privadas para el Desarrollo como herramientas para la electrificación de zonas rurales aisladas en Latinoamérica*, INFORME FINAL.
- Alvares & Fuente, (2004). *Modelos de electrificación rural dispersa mediante energías renovables en américa latina, un planteo alternativo basado en el desarrollo rural*. Cuaderno Urbano N° 4, pp. 203-229, Resistencia, Argentina, Diciembre 2004
- ELEC, (2014). *Electrificación Rural: Objetivos e Instrumentos para su Desarrollo (Chile)*. IV Seminario Latinoamericano y del Caribe de Electricidad.
- Olivares, (2012). *El modelo de electrificación rural de Perú Micro energía*, BNAMERICA, Publicado: miércoles, 11 abril, 2012.
- Campana, L (1987). *La electrificación rural en el Ecuador*. Secretaria general del consejo de seguridad nacional, instituto de altos estudios nacionales
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, (2014). *Fondo de electrificación rural y urbano marginal (FERUM)*. Obtenido de: <https://www.recursoyenergia.gob.ec/fondo-de-electricacion-rural-y-urbano-marginal-ferum/>
- M. R. P. Samaniego y J. L. E. Abad, (2015). *Energías Renovables en el Ecuador situación actual tendencias y perspectivas*. Cuenca: Universidad de Cuenca.

- CONELEC, (2009). *Plan Maestro de Electrificación del Ecuador 2009 – 2020*. Capítulo 9, desarrollo de la energización rural y la electrificación urbano-marginal
- MEER, (sf). Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Programas y Servicios. *ELECTRIFICACIÓN RURAL CON ENERGÍAS RENOVABLES*. <http://www.mer.gov.ec/>
- CELEC\_EP, (2016). *Paneles solares fotovoltaicos como soluciones de electrificación en comunidades aisladas en la Amazonía*, Obtenido de: <https://www.celec.gob.ec/termopichincha/index.php/retos-empresariales/proyectos-de-generacion-no-convencional/energia-fotovoltaica>
- Proyecto TECH4CDM, *Electrificación Rural en el Ecuador*, Obtenido de: <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00288.pdf>
- Chamba, J. F., & Orellana Lalangui, A. G (2015). *Estudio de factibilidad del uso de energía solar y eólica en sistemas de alumbrado público para la vía de integración barrial, sector el plateado servido por empresa eléctrica regional del sur*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7872/1/UPS-CT004708.pdf>
- Ubilla, Karen. (2012). *Diagnóstico de la capacidad de autogestión de una comunidad rural para un proyecto de micro-red con energía eólica y solar: caso de estudio Ollaguë*. Memoria de Título de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Universidad de Chile.
- Farid, K. Reza, I. Nikos, H. Aris, D. (2008). *Microgrids Management Controls and Operation Aspects of Microgrids*. DEIE Power and Energy Magazine. Volume: 6, Page(s): 54 – 65.
- Abella, A. (2008). *Sistemas Fotovoltaicos*. Centro de investigaciones energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. Laboratorio de Energía solar fotovoltaica PVLabDER.
- Seguí, S. Orts, S. Gimeno, J. (2014). *Inversores Fotovoltaicos en instalaciones de conexión a red*. Centro De Formacion Permanente, Universidad Politecnica de Valencia, Valencia, España.
- Santacana, E. Bazmi, H. Per, Ha. Rackliffe, G. Tang, L. Feng, X. (2010). *El Siguiete Nivel de Evolución*. Revista ABB (1/10) Redes Inteligentes. Pag(s): 10 – 15.
- S. Chowdhury, S.P. Chowdhury and P. Crossley, (2009). *Microgrids and Active Distribution Networks*. The Institution of Engineering and Technology. Paginas: 1 – 8, 109 – 111.

- Farid, K. Reza, I. Nikos, H. Aris D. (2008). *Microgrids Management Controls and Operation Aspects of Microgrids*. DEIE Power and Energy Magazine. Volume: 6, Page(s): 54 – 65.
- E. Álvarez, A. M. Campos, R. García, S. González and C. Díez, (2010). *Scalable and Usable Web Based. Supervisory and Control System for Micro-grid Management*. International Conference on Renewable. Energies and Power Quality Granada (España).
- Jiménez-Estévez, G., Palma-Behnke, R., Ortiz, D., Núñez, O., & Silva, C. (2014). *It Takes a Village*. IEEE power & energy magazine, 60-69.
- Núñez, Ortiz & Palma, Behnke, (2013). *Microrredes en la red eléctrica del futuro, caso huatacondo*. Ciencia y Tecnología, 1-16.
- Del Carpio, T., D. Ramos and R. Vasquez-Arnez. (2010). *Microgrid Systems: Current Status and Challenges*. Pp 8-10. In: Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America. Sao Paulo, Brazil.
- Poveda, M. (2018). *Norma Ecuatoriana de construcción*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-SB-IE-Final.pdf>
- Vallvé, X. (2010). *Micro-grid power systems based on renewable energy for rural electrification: benefits, examples and steps to promote these solutions*. In: International hearing on Climate change and energy access for the poor. Limbé, Cameroon.
- Reyes & Tolosa. (sf). *Algoritmo de priorización de cargas para un sistema residencial automatizado basado en una micro red hibrida*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Alvial-Palavicino, Carla, et. al. (2011). *A methodology for community engagement in the introduction of renewable based smart microgrid*. Energy for Sustainable Development, 15 (2011) 314-323, Elsevier Inc.
- Aracena & Farías, (2013). *Proyectos de energización con fuentes de energías renovables en comunidades rurales chilenas como facilitadores del desarrollo local*. Simposio de Estudios del Desarrollo. Nuevas rutas hacia el bienestar social, económico y ambiental. Universidad de Santiago de Chile, Chile.
- Álvarez, Mariel (2010). *Estrategias para la intervención tecnológica de energías renovables no convencionales en comunidades rurales, bajo el marco de la iniciativa GEVI*

- (*Generador Virtual*). Memoria de Título de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Universidad de Chile.
- Álvarez, L. (2016). *Aspectos económicos y sociales de la etapa de operación y mantenimiento de proyectos de micro-red, a partir de fuentes de energías renovables no convencionales, en comunidades rurales*. Memoria de Título de la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, Universidad de Chile.
- Hernández. (2015). *Micro-redes en comunidades indígenas de Chile: análisis antropológico de estas experiencias*. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Otto Ferney Bayona Peñaloza, (2015). *Solar photovoltaic micro grid for automation of a compact water purification plant*. Universidad de Santander, Bucaramanga, Colombia. Revista ESAICA Sección Ingeniería de Software
- Adolfo R, Morales C, (2017). *Planificación de micro-redes para comunidades rurales con caracterización de incertidumbre de los recursos renovables y demanda eléctrica*. Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Departamento de ingeniería eléctrica.
- NREL National Renewable Energy Laboratory. *Getting Started Guide for HOMER Version 2.1*. Golden, Colorado, p. 30, 2005.
- Peláez R, Espinoza J, (2015). *Energías renovables en el Ecuador, situación actual, tendencias y perspectivas*.  
[https://www.researchgate.net/publication/291356953\\_Energia\\_solar\\_en\\_el\\_Ecuador](https://www.researchgate.net/publication/291356953_Energia_solar_en_el_Ecuador).
- Perea E, Rodriguez R, Turienzo E, (2008). *Una solución sostenible para un suministro energético integral a eco comunidades*. Revista DYNA Inicio Vol. 83, Núm. 9.
- Kannan N, & Vakeesan D,(2016). “*Solar energy for future world: - A review,*” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 62, pp. 1092–1105. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10713/2018Baezjose.pdf?sequence=1>
- M. Kolhe, K. M. I. U. Ranaweera, and A. G. B. S. Gunawardana, “*Techno-economic optimum sizing of hybrid renewable energy system,*” in *Industrial Electronics Society. IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE*, 2013, pp. 1898–1903.
- Hauff J, Rendschmidt D, (2011). *Enabling the european consumer to generate power for*

*selfconsumption*. SunEdison, US ,pp. 1-52.

Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación ´Argentina Innovadora 2020. (2015).  
Disponible en: [www.argentinainnovadora2020.mincyt.gob.ar](http://www.argentinainnovadora2020.mincyt.gob.ar)

Mitja A, Izquierdo S, Serrano J, (2001). *Electrificación de aldeas mediante microredes eléctricas con generación solar híbrida*. Era solar: Energías renovables, ISSN 0212-4157, N°. 103,pág. 58.

Instituto para la Diversificación y ahorro de Energía, IDEA (2009). *Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica*. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red.

Mercado, G. (2015). *Smart Grid San Martin Red de Distribución y Generación de Energía Inteligente en Ciudad Gral San Martin – Mendoza*. EDESTE - Empresa Distribuidora de Electricidad del Este S.A. Boulogne Sur Mer 490, Gral. San Martín - Mendoza ,  
ResearchGate.

Yanchapanta &Vaca, (2013). *Diseño de una microred híbrida a base de energía fotovoltaica y energía térmica diesel para reducir la contaminación ambiental*. Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga.

Cuenca, D., Tamayo, R., Tamayo, J. (2010). *Aplicación del Programa Microsoft Excel para resolver problemas experimentales de Física*. Sistema de Información Científica. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal (Julio-septiembre, 2010) Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba.

Mora, R., Céspedes, M. (2010). *Excel, Herramienta del Ingeniero*. Alicante: Universidad de Alicante.

Alcázar & Álvarez. (2018). *Utilización de Microsoft EXCEL en la enseñanza de sistemas eléctricos de potencia: desarrollo de un método matricial para la resolución del problema de despacho económico*. En: Congreso Nacional de Innovación Educativa y Docente en Red In-Red. (19 y 20 de julio de 2018, Valencia). Disponible en <http://ocs.editorial.upv.es/index.php/INRED/INRED2018/paper/viewFile/8562/3937>.

Castro, Miguel. (2011). *Hacia una Matriz Energética Diversificada en Ecuador*, Quito, CEDA, noviembre 2011

CENACE (2019). *Informe Anual 2018*. Quito-Ecuador

- Chamba, J. F., & Orellana Lalangui, A. G. (febrero de 2015). *Estudio de factibilidad del uso de energía solar y eólica en sistemas de alumbrado público para la vía de integración barrial, sector el plateado servido por empresa eléctrica regional del sur*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7872/1/UPS-CT004708.pdf>
- García, V., González, J., & González, J. (2014). *Eficiencia energética en las instalaciones de iluminación interior y alumbrado exterior*. Málaga: IC Editorial.
- Ministerio de Energías y Recursos Naturales No Renovables. (2019). *Obtenido de <https://www.recursoyenergia.gob.ec/>*
- ARCONEL (2015). *Costos de Alumbrado Público General - 2015*. Disponible en: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/10/Costo-Alumbrado-P%C3%BAblico-SAPG-2015-PHI.pdf>
- J. Nelson, The physics of solar cells. U. Imperial College, Ed. IC, 2003.
- Department of Energy DOE, (2012). *Summary Report*. DOE Microgrid Workshop. Chicago, USA, 2012.
- Ley orgánica de eficiencia energética, (2019). *Suplemento – Registro Oficial N° 449*.
- Constitución de la república del ecuador, (2008). *Decreto Legislativo 0*, Registro Oficial 449 de 20-oct-2008, Última modificación: 13-jul-2011, Estado: Vigente
- Código Orgánico del Ambiente, (2017). *Suplemento – Registro Oficial N°983*
- Naciones Unidas, (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe* (LC/G.2681-P/Rev.3), Santiago.
- Silva, A. Aguilar, Z. y P. Hidalgo. (2009). *Zuleta, un nuevo paraje de alpacas*. Lecciones aprendidas en el Proyecto de Manejo y Aprovechamiento Sustentable de Alpacas en los Páramos de Zuleta. EcoCiencia-PPA y PRODERENA-MAE. Quito.
- Sergi Ramos Munté, (2016). *Cálculo luminotécnico del alumbrado público de una calle en zona urbana*. Universidad Rovira, Departamento de ingeniería eléctrica.
- Mascarós Mateo, Vicente, (2016). *Gestión del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas*. Paraninfo
- Ogata, K. (2003). *Ingeniería de control moderna*. Pearson Educación, ISBN 8420536784, 9788420536781

- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, (2009). *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red*. Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica. E - 28004 - MADRID [www.idae.es](http://www.idae.es).
- Future green technology, (2019). *Sistema general de energía solar*. Obtenido de: [https://es.futuregreenbattery.com/on-grid-vs-off-grid-solar\\_n38](https://es.futuregreenbattery.com/on-grid-vs-off-grid-solar_n38)
- Universidad de Sevilla, (s.f.). *Control clásico aplicado a la planta basada en las Reglas de Ziegler-Nichols*. Uso de la IEC 1131-7 para el control de plantas industriales 65 – 168. Obtenido de: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12070/fichero/4.+CAP%C3%8DTULO+4.pdf>
- Fiallos & Castro, (2014). *Implementación de un sistema SCADA en Labview para el control automatizado del módulo solar eph2 del laboratorio de instrumentación*". ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL. Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación. Guayaquil-Ecuador. Obtenido de: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/30829>
- Arencibia y Carballo, Gustavo (2016). *La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica*. REDVET. Revista Electrónica, ISSN. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63647456002>
- Tagüeña, Martínez (2008), *Fuentes renovables de energía y desarrollo sustentable*, México, ADN editores.
- Bulnes, Best & Brown (2010). *Energía del sol*. Instituto de Geofísica de la UNAM.
- Islam, M. M., Pandey, A. K., Hasanuzzaman, M. y Rahim, N. A. (2016). *Recent progresses and achievements in photovoltaic-phase change material technology: A review with special treatment on photovoltaic thermal-phase change material systems*. Energy Conversion and Management, 126, 177-204. Doi: 10.1016/j.enconman.2016.07.075.
- García, M. E. (2016). *Energía solar fotovoltaica aislada*. Applied Solar Energy, curso de energías renovables. Universidad Politecnica de Valencia. Recuperado de: [www.cursofotovoltaica.com](http://www.cursofotovoltaica.com)
- Deleg, Aguña. (2016). *Análisis de la curva de demanda de potencia eléctrica de red debido a la incorporación de generación fotovoltaica en el edificio Cornelio Merchan de la Universidad Politécnica Salesiana*.

- EURO-SOLAR, (2007), *Programa EURO-SOLAR Ecuador*. Informe País, Obtenido de:  
[https://ec.europa.eu/europeaid/sites/devco/files/anexo-iii-informe-ecuador\\_es.pdf](https://ec.europa.eu/europeaid/sites/devco/files/anexo-iii-informe-ecuador_es.pdf)
- Garcia, J. (2020). “*diseño luminotécnico de vías públicas y zona deportiva del municipio de Rionegro, Antioquia*”. Universidad de Antioquia, Ingeniería Eléctrica. Medellín – Colombia.
- Gorjian, S. (2017). *Renewable Energy Technnologies*.
- Lotsch, H. K. V, Goetzberger, A., U.Hoffmann, V., Rhodes, W. T., Asakura, T., Brenner, K.-H., Hänsch, T. W., Kamiya, T., Krausz, F., Monemar, B., Venghaus, H., Weber, H., & Weinfurter, H. (Eds.). (2005). *What Is Photovoltaics? BT - Photovoltaic Solar Energy Generation* (pp. 1–10). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/3-540-26628-3\\_1](https://doi.org/10.1007/3-540-26628-3_1)
- Lindao, C. Layana, P. (2014). *Implementación de un sistema scada en LabVIEW para el control automatizado del módulo solar eph2 del laboratorio de instrumentación*. ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación. Guayaquil-Ecuador.

## ANEXOS

### Anexo 1 Análisis estadístico de la red eléctrica “Casa Comunal ZULETA”

#### Análisis de la varianza

##### Vrms\_AN\_avg

| Variable    | N    | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV   |
|-------------|------|----------------|-------------------|------|
| Vrms AN avg | 1012 | 0,02           | 0,01              | 1,09 |

##### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.   | SC      | gl   | CM   | F    | p-valor |
|--------|---------|------|------|------|---------|
| Modelo | 35,85   | 7    | 5,12 | 2,82 | 0,0065  |
| Fecha  | 35,85   | 7    | 5,12 | 2,82 | 0,0065  |
| Error  | 1822,89 | 1004 | 1,82 |      |         |
| Total  | 1858,74 | 1011 |      |      |         |

##### Irms\_A\_avg

| Variable   | N   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|------------|-----|----------------|-------------------|-------|
| Irms A avg | 984 | 0,08           | 0,08              | 25,69 |

##### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.   | SC     | gl  | CM   | F     | p-valor |
|--------|--------|-----|------|-------|---------|
| Modelo | 16,05  | 7   | 2,29 | 12,53 | <0,0001 |
| Fecha  | 16,05  | 7   | 2,29 | 12,53 | <0,0001 |
| Error  | 178,54 | 976 | 0,18 |       |         |
| Total  | 194,58 | 983 |      |       |         |

##### Potencia\_A\_avg KW

| Variable          | N   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|-------------------|-----|----------------|-------------------|-------|
| Potencia A avg KW | 984 | 0,09           | 0,09              | 27,34 |

##### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.   | SC   | gl  | CM      | F     | p-valor |
|--------|------|-----|---------|-------|---------|
| Modelo | 0,19 | 7   | 0,03    | 14,15 | <0,0001 |
| Fecha  | 0,19 | 7   | 0,03    | 14,15 | <0,0001 |
| Error  | 1,88 | 976 | 1,9E-03 |       |         |
| Total  | 2,07 | 983 |         |       |         |

##### Potencia N\_A\_avg Kvar

| Variable              | N   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|-----------------------|-----|----------------|-------------------|-------|
| Potencia N A avg Kvar | 925 | 0,11           | 0,10              | 19,47 |

##### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V.   | SC   | gl  | CM      | F     | p-valor |
|--------|------|-----|---------|-------|---------|
| Modelo | 0,07 | 7   | 0,01    | 15,48 | <0,0001 |
| Fecha  | 0,07 | 7   | 0,01    | 15,48 | <0,0001 |
| Error  | 0,59 | 917 | 6,5E-04 |       |         |
| Total  | 0,66 | 924 |         |       |         |

##### Potencia\_Ap\_avg Kva

| Variable            | N   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|---------------------|-----|----------------|-------------------|-------|
| Potencia Ap avg Kva | 975 | 0,08           | 0,07              | 25,05 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.   | SC   | gl  | CM      | F     | p-valor |
|--------|------|-----|---------|-------|---------|
| Modelo | 0,22 | 7   | 0,03    | 12,04 | <0,0001 |
| Fecha  | 0,22 | 7   | 0,03    | 12,04 | <0,0001 |
| Error  | 2,56 | 967 | 2,6E-03 |       |         |
| Total  | 2,78 | 974 |         |       |         |

**Energia\_A\_avg KWh**

| Variable          | N   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|-------------------|-----|----------------|-------------------|-------|
| Energia A avg KWh | 985 | 0,09           | 0,09              | 27,35 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.   | SC   | gl  | CM      | F     | p-valor |
|--------|------|-----|---------|-------|---------|
| Modelo | 0,01 | 7   | 7,7E-04 | 14,28 | <0,0001 |
| Fecha  | 0,01 | 7   | 7,7E-04 | 14,28 | <0,0001 |
| Error  | 0,05 | 977 | 5,4E-05 |       |         |
| Total  | 0,06 | 984 |         |       |         |

**Vthd\_AN\_%**

| Variable  | N    | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|-----------|------|----------------|-------------------|-------|
| Vthd AN % | 1014 | 0,02           | 0,02              | 23,37 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.   | SC      | gl   | CM   | F    | p-valor |
|--------|---------|------|------|------|---------|
| Modelo | 24,63   | 7    | 3,52 | 3,35 | 0,0016  |
| Fecha  | 24,63   | 7    | 3,52 | 3,35 | 0,0016  |
| Error  | 1056,98 | 1006 | 1,05 |      |         |
| Total  | 1081,61 | 1013 |      |      |         |

**Frequency Hz**

| Variable     | N    | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV   |
|--------------|------|----------------|-------------------|------|
| Frequency Hz | 1014 | 0,02           | 0,01              | 0,04 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.   | SC   | gl   | CM      | F    | p-valor |
|--------|------|------|---------|------|---------|
| Modelo | 0,01 | 7    | 1,8E-03 | 3,02 | 0,0038  |
| Fecha  | 0,01 | 7    | 1,8E-03 | 3,02 | 0,0038  |
| Error  | 0,60 | 1006 | 6,0E-04 |      |         |
| Total  | 0,62 | 1013 |         |      |         |

**FlickerPst\_AN\_avg (600s)**

| Variable                 | N   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|--------------------------|-----|----------------|-------------------|-------|
| FlickerPst AN avg (600s) | 823 | 0,01           | 0,01              | 23,34 |

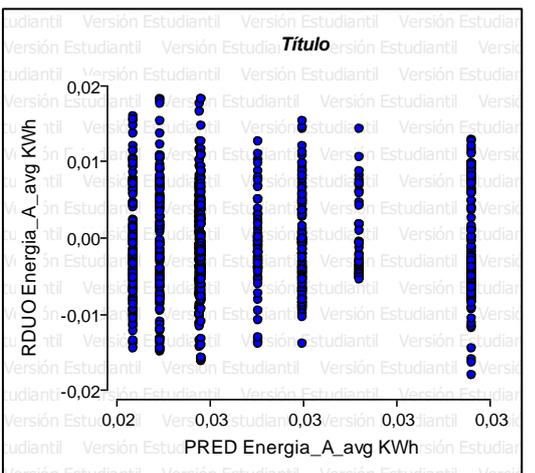
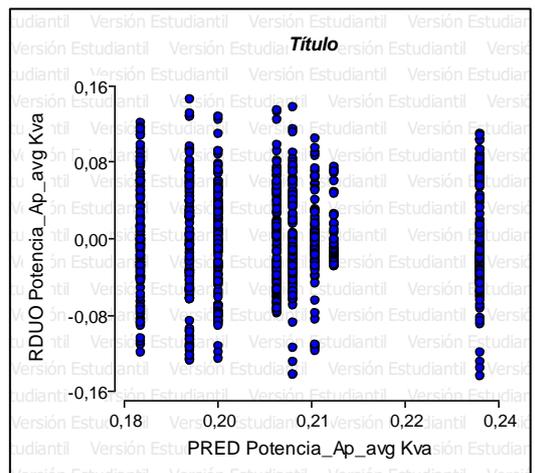
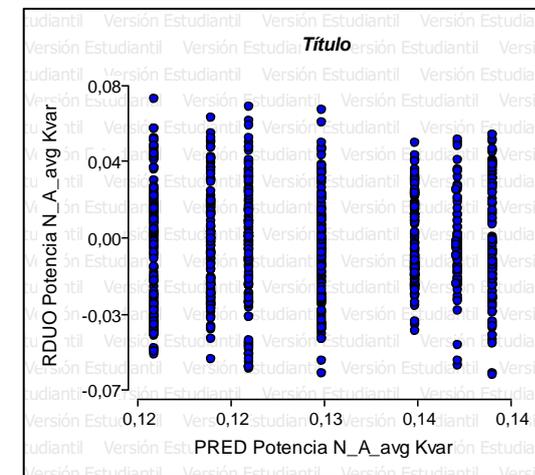
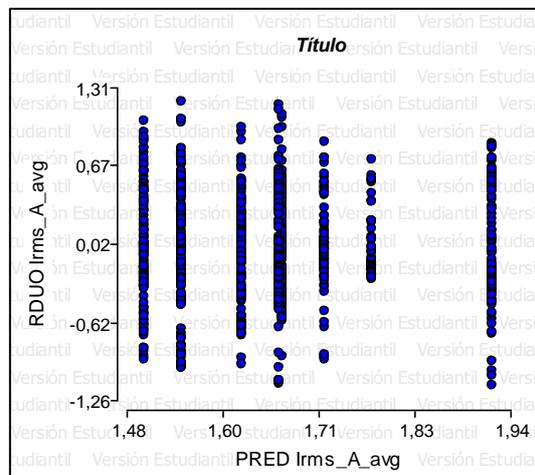
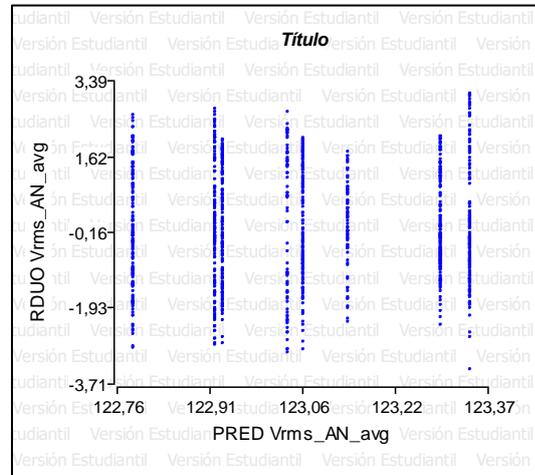
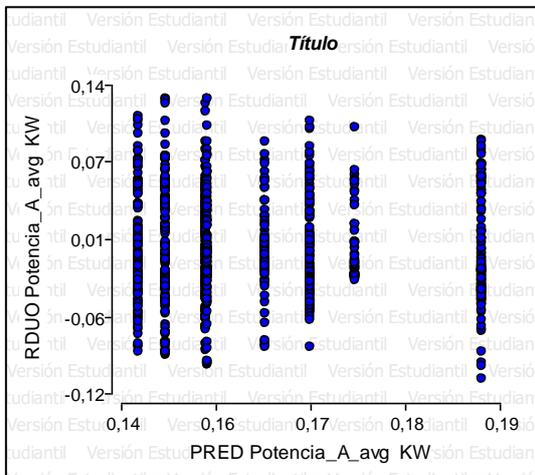
**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

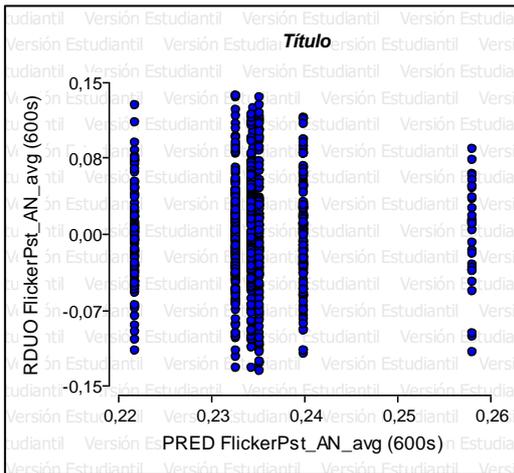
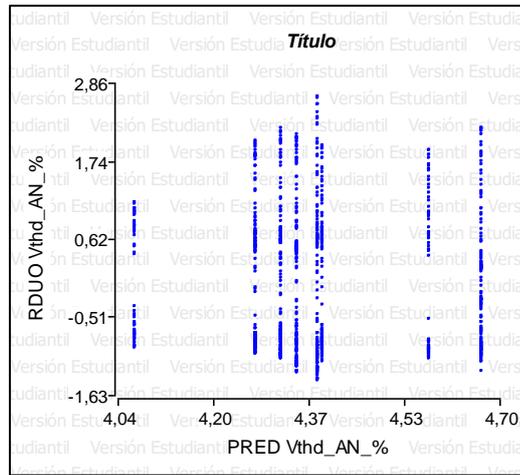
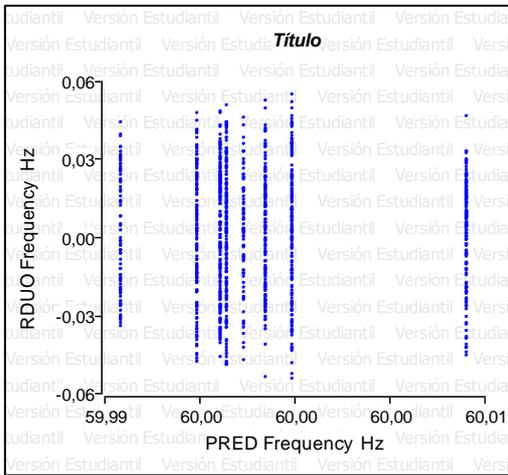
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------|----|----|----|---|---------|
|------|----|----|----|---|---------|

|        |      |     |         |      |        |
|--------|------|-----|---------|------|--------|
| Modelo | 0,03 | 6   | 0,01    | 1,90 | 0,0789 |
| Fecha  | 0,03 | 6   | 0,01    | 1,90 | 0,0789 |
| Error  | 2,40 | 816 | 2,9E-03 |      |        |
| Total  | 2,43 | 822 |         |      |        |

### Anexo 2

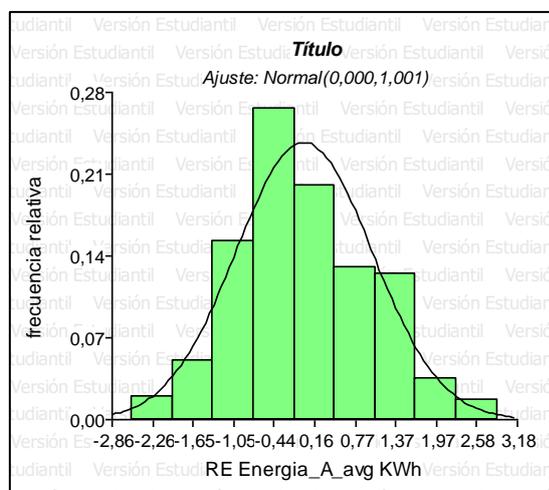
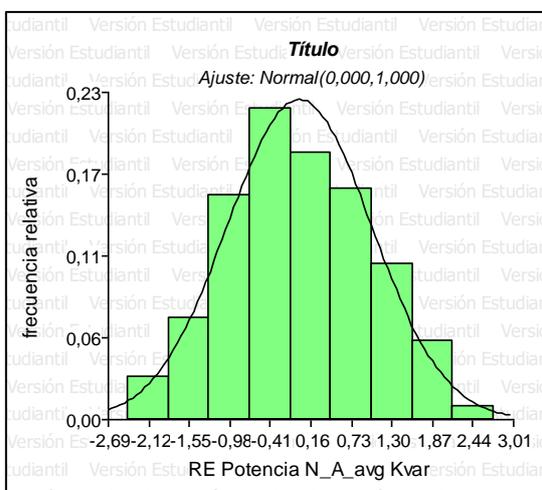
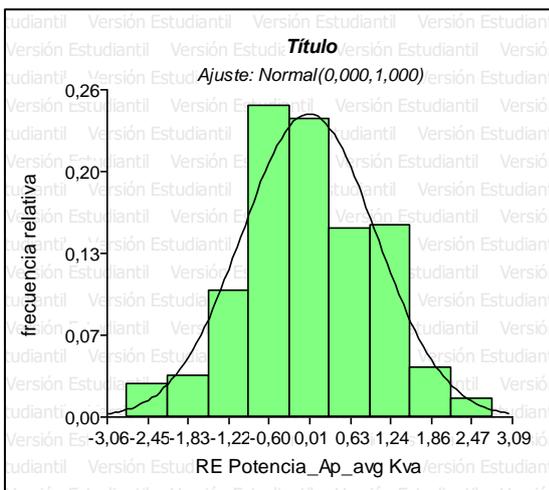
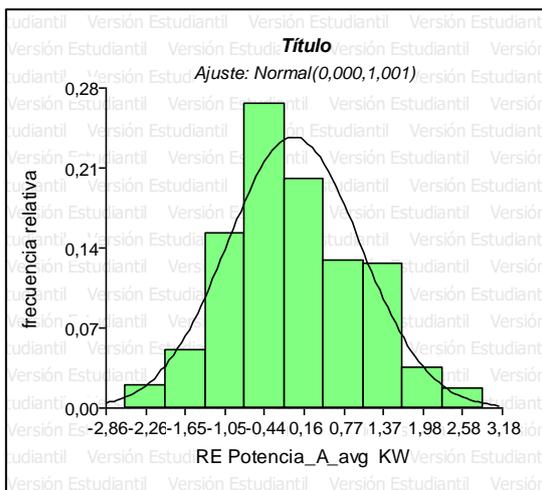
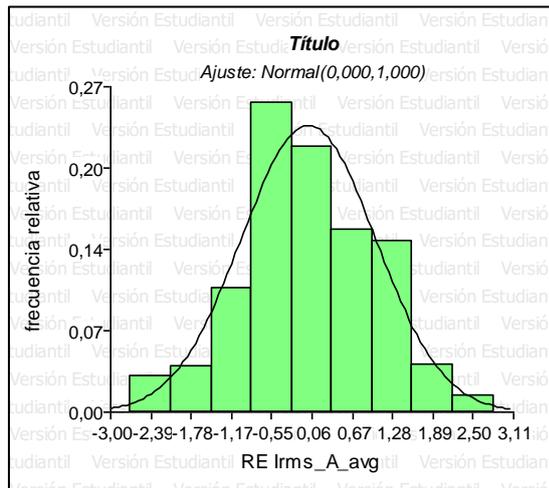
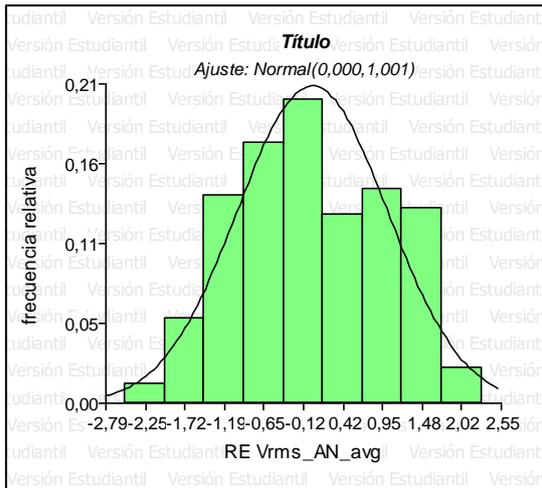
### Análisis de dispersión de datos “Casa Comunal ZULETA”

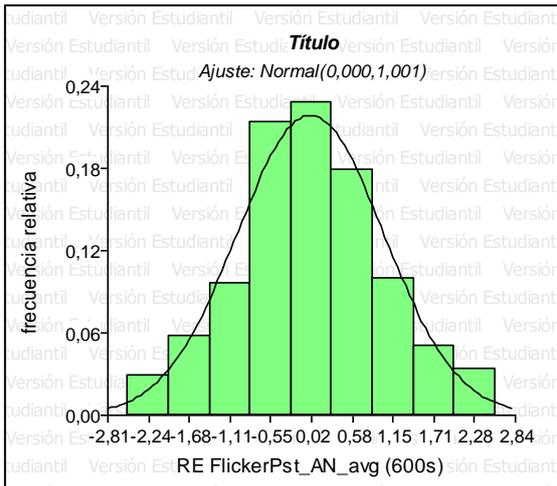
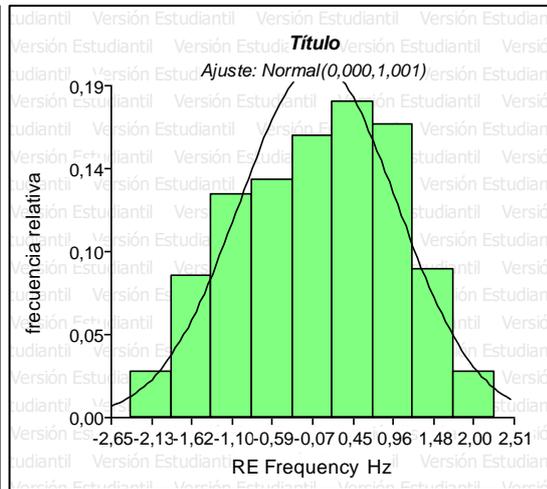
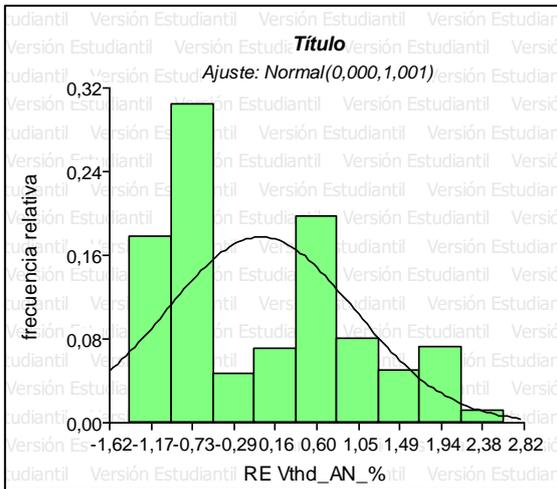




Anexo 3

Histogramas de datos “Casa Comunal ZULETA”





**Anexo 4**  
**Análisis de la varianza de datos del Sistema Fotovoltaico “Comuna ZULETA”**

**Vrms\_AN\_avg (600s)**

| Variable           | N   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV   |
|--------------------|-----|----------------|-------------------|------|
| Vrms AN avg (600s) | 967 | 0,02           | 0,02              | 0,24 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.   | SC    | gl  | CM   | F    | p-valor |
|--------|-------|-----|------|------|---------|
| Modelo | 1,67  | 7   | 0,24 | 3,15 | 0,0027  |
| Fecha  | 1,67  | 7   | 0,24 | 3,15 | 0,0027  |
| Error  | 72,81 | 959 | 0,08 |      |         |
| Total  | 74,48 | 966 |      |      |         |

**Irms\_A\_avg (600s)**

| Variable          | N   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|-------------------|-----|----------------|-------------------|-------|
| Irms A avg (600s) | 995 | 0,02           | 0,01              | 85,37 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.   | SC     | gl  | CM   | F    | p-valor |
|--------|--------|-----|------|------|---------|
| Modelo | 1,97   | 7   | 0,28 | 2,21 | 0,0311  |
| Fecha  | 1,97   | 7   | 0,28 | 2,21 | 0,0311  |
| Error  | 125,41 | 987 | 0,13 |      |         |
| Total  | 127,37 | 994 |      |      |         |

**Potencia\_A\_avg Kw**

| Variable          | N   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV     |
|-------------------|-----|----------------|-------------------|--------|
| Potencia A avg Kw | 995 | 0,01           | 1,7E-03           | 100,57 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.   | SC   | gl  | CM      | F    | p-valor |
|--------|------|-----|---------|------|---------|
| Modelo | 0,02 | 7   | 2,2E-03 | 1,25 | 0,2740  |
| Fecha  | 0,02 | 7   | 2,2E-03 | 1,25 | 0,2740  |
| Error  | 1,72 | 987 | 1,7E-03 |      |         |
| Total  | 1,74 | 994 |         |      |         |

**Potencia N\_A\_avg Kvar**

| Variable              | N   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|-----------------------|-----|----------------|-------------------|-------|
| Potencia N A avg Kvar | 940 | 0,02           | 0,02              | 39,06 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.   | SC      | gl  | CM      | F    | p-valor |
|--------|---------|-----|---------|------|---------|
| Modelo | 6,8E-04 | 7   | 9,7E-05 | 3,17 | 0,0026  |
| Fecha  | 6,8E-04 | 7   | 9,7E-05 | 3,17 | 0,0026  |
| Error  | 0,03    | 932 | 3,1E-05 |      |         |
| Total  | 0,03    | 939 |         |      |         |

**Potencia\_Ap\_avg Kva**

| Variable            | N   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|---------------------|-----|----------------|-------------------|-------|
| Potencia Ap avg Kva | 995 | 0,02           | 0,01              | 85,31 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.   | SC   | gl  | CM      | F    | p-valor |
|--------|------|-----|---------|------|---------|
| Modelo | 0,03 | 7   | 3,8E-03 | 2,30 | 0,0253  |
| Fecha  | 0,03 | 7   | 3,8E-03 | 2,30 | 0,0253  |
| Error  | 1,63 | 987 | 1,6E-03 |      |         |
| Total  | 1,65 | 994 |         |      |         |

**Energia\_A\_avg KWh**

| Variable          | N   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV     |
|-------------------|-----|----------------|-------------------|--------|
| Energia A avg KWh | 995 | 0,01           | 1,7E-03           | 100,57 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.   | SC      | gl  | CM      | F    | p-valor |
|--------|---------|-----|---------|------|---------|
| Modelo | 4,2E-04 | 7   | 6,1E-05 | 1,25 | 0,2740  |
| Fecha  | 4,2E-04 | 7   | 6,1E-05 | 1,25 | 0,2740  |
| Error  | 0,05    | 987 | 4,9E-05 |      |         |
| Total  | 0,05    | 994 |         |      |         |

**Vthd\_AN\_avg %**

| Variable      | N   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV   |
|---------------|-----|----------------|-------------------|------|
| Vthd AN avg % | 973 | 0,02           | 0,01              | 5,61 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V.   | SC   | gl  | CM   | F    | p-valor |
|--------|------|-----|------|------|---------|
| Modelo | 0,15 | 7   | 0,02 | 3,01 | 0,0040  |
| Fecha  | 0,15 | 7   | 0,02 | 3,01 | 0,0040  |
| Error  | 6,90 | 965 | 0,01 |      |         |
| Total  | 7,05 | 972 |      |      |         |

**FlickerPst\_AN\_avg 1**

| Variable            | N   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV    |
|---------------------|-----|----------------|-------------------|-------|
| FlickerPst AN avg 1 | 752 | 3,3E-03        | 0,00              | 20,79 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

| F.V.   | SC      | gl  | CM      | F    | p-valor |
|--------|---------|-----|---------|------|---------|
| Modelo | 4,0E-04 | 5   | 7,9E-05 | 0,49 | 0,7829  |
| Fecha  | 4,0E-04 | 5   | 7,9E-05 | 0,49 | 0,7829  |
| Error  | 0,12    | 746 | 1,6E-04 |      |         |
| Total  | 0,12    | 751 |         |      |         |

**Frequency (10s) Hz**

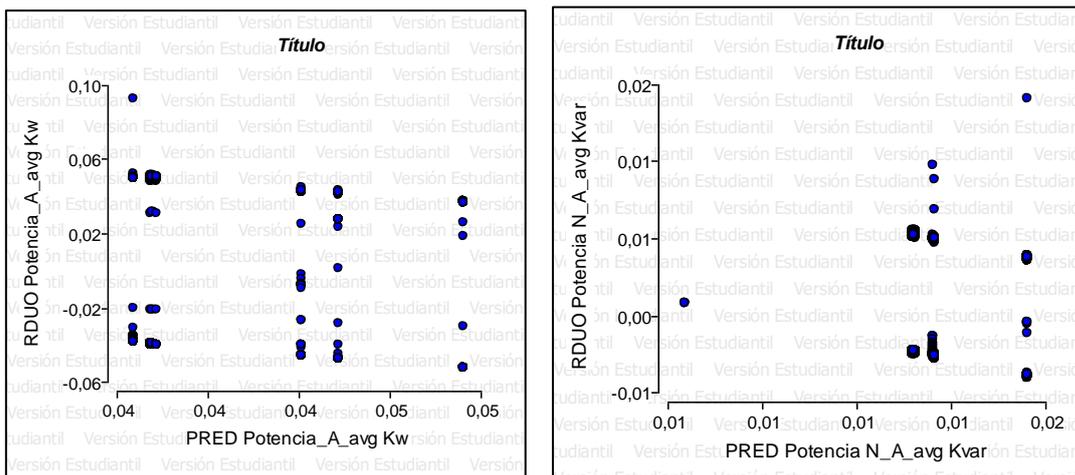
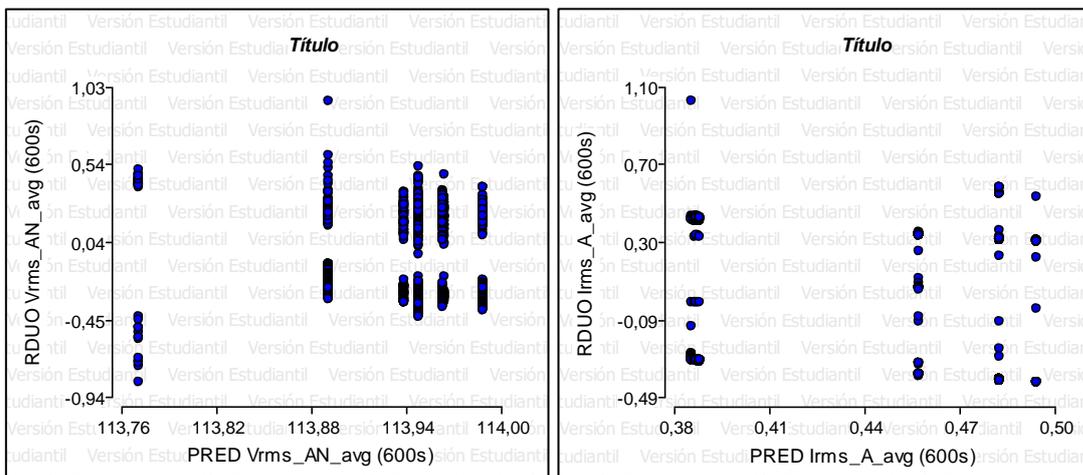
| Variable           | N   | R <sup>2</sup> | R <sup>2</sup> Aj | CV      |
|--------------------|-----|----------------|-------------------|---------|
| Frequency (10s) Hz | 895 | 3,5E-03        | 0,00              | 5,8E-04 |

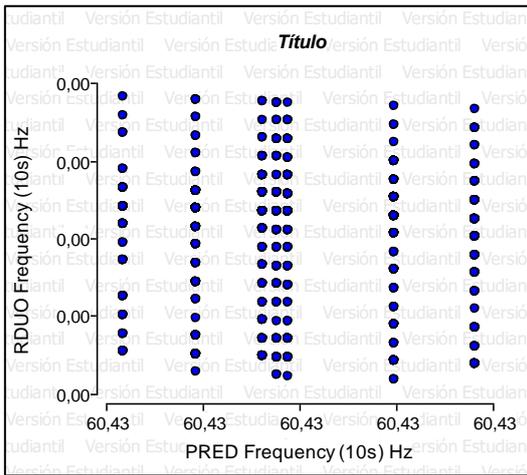
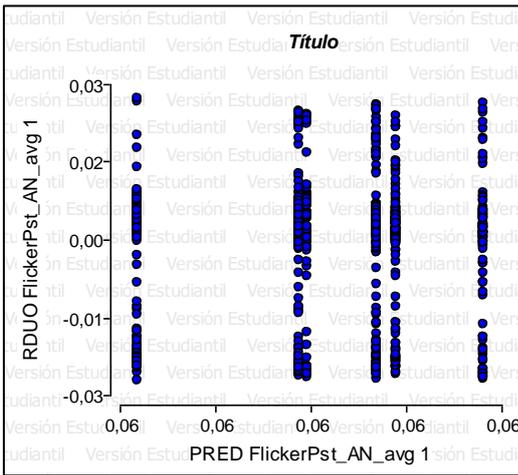
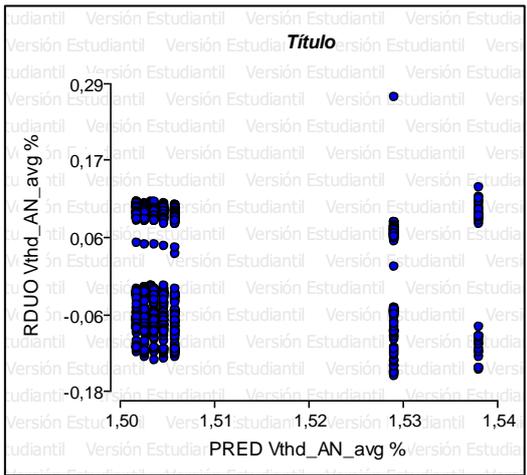
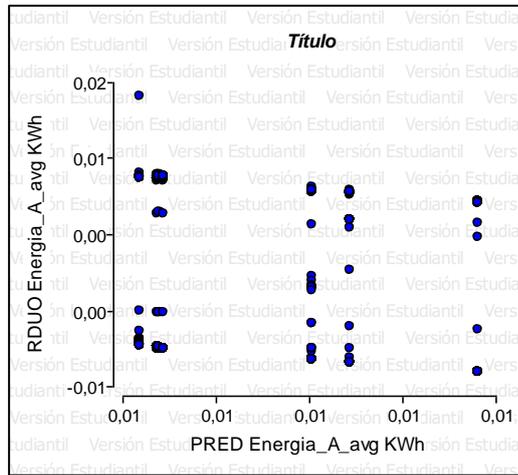
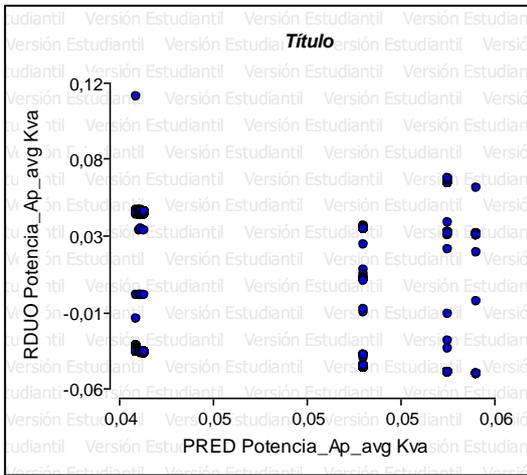
**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

| F.V.   | SC      | gl  | CM      | F    | p-valor |
|--------|---------|-----|---------|------|---------|
| Modelo | 3,8E-07 | 6   | 6,3E-08 | 0,52 | 0,7934  |
| Fecha  | 3,8E-07 | 6   | 6,3E-08 | 0,52 | 0,7934  |
| Error  | 1,1E-04 | 888 | 1,2E-07 |      |         |
| Total  | 1,1E-04 | 894 |         |      |         |

### Anexo 5

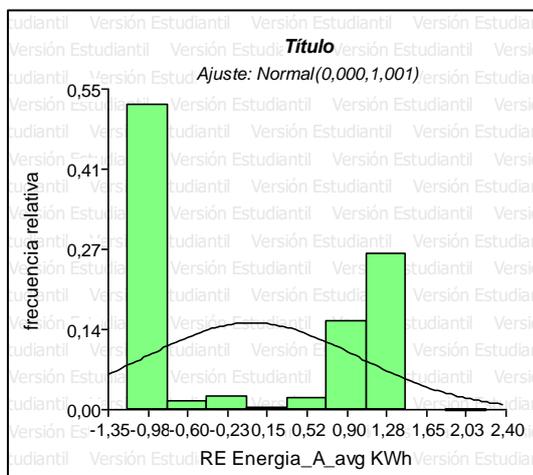
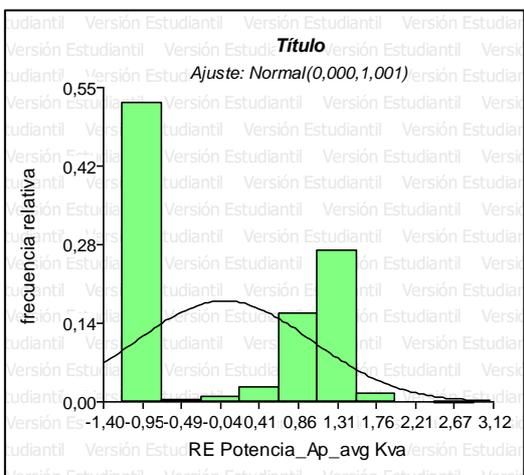
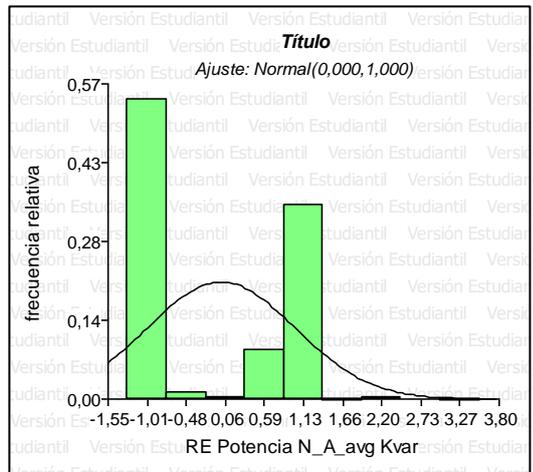
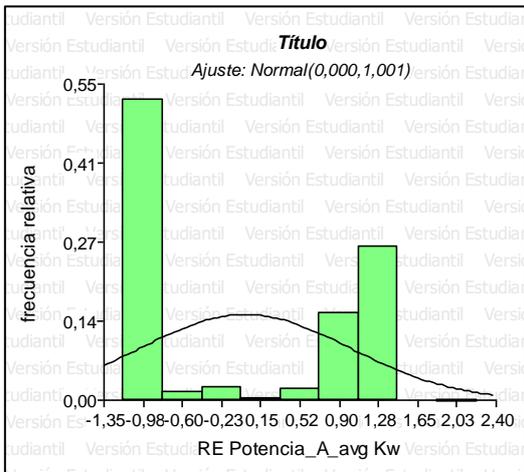
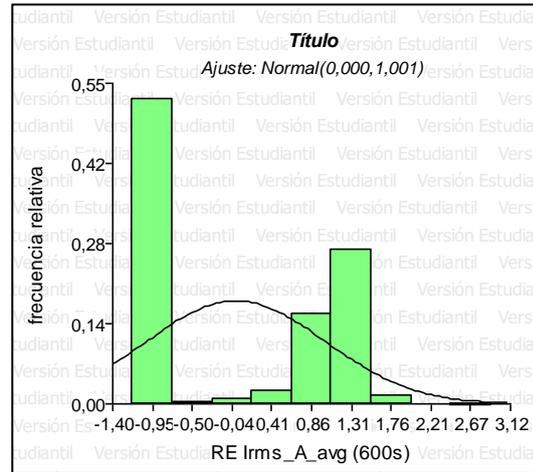
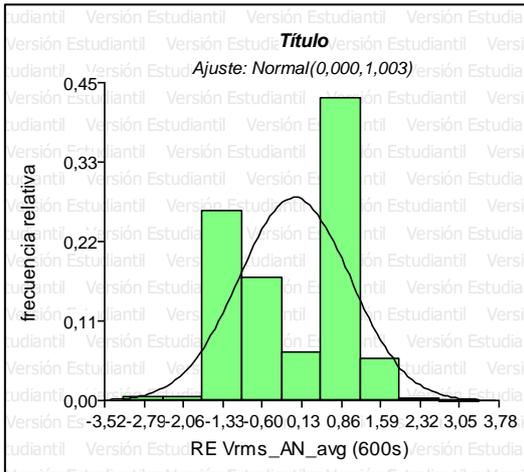
### Análisis de dispersión de datos del sistema fotovoltaico “Casa Comunal ZULETA”

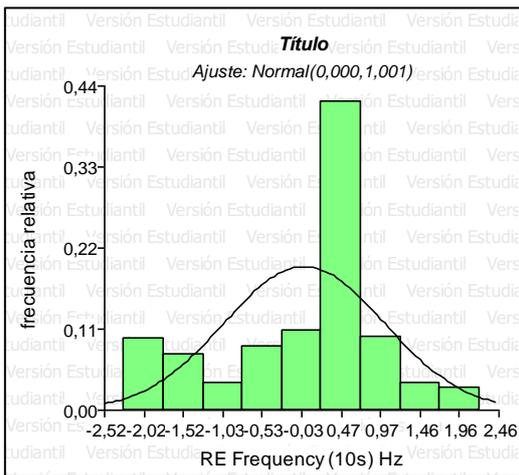
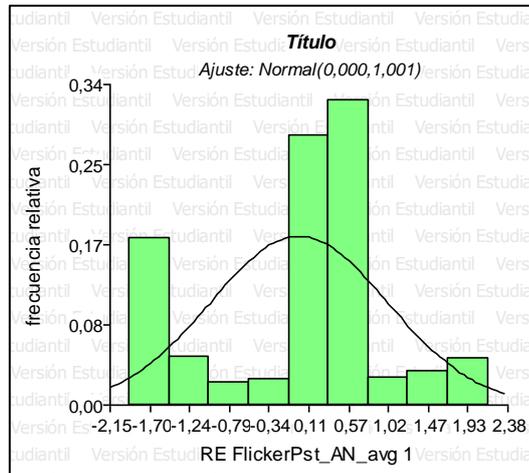
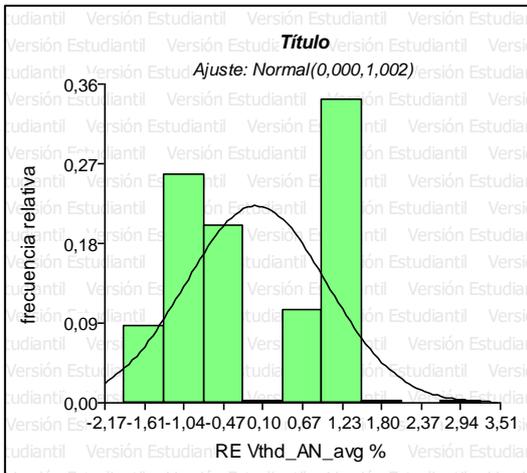




Anexo 6

Análisis de histogramas de datos del sistema fotovoltaico “Casa Comunal ZULETA”

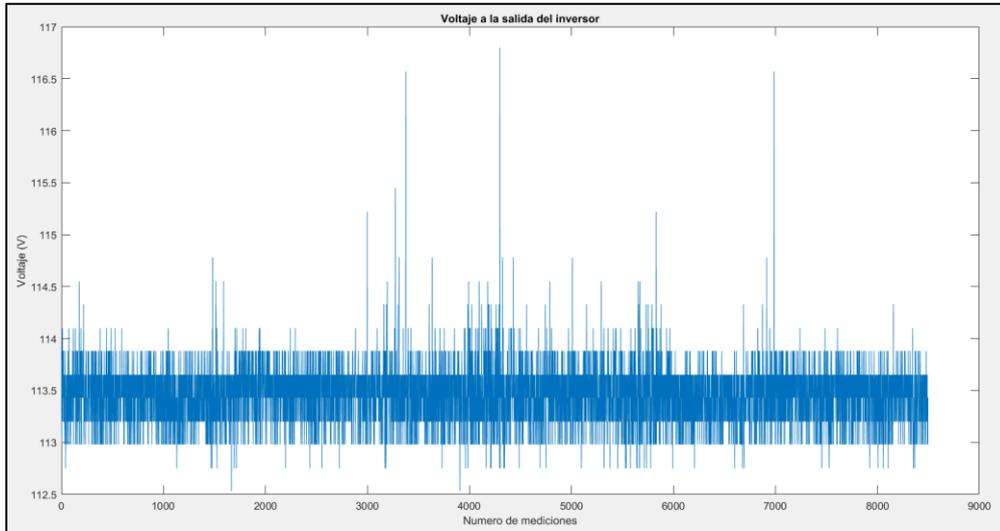




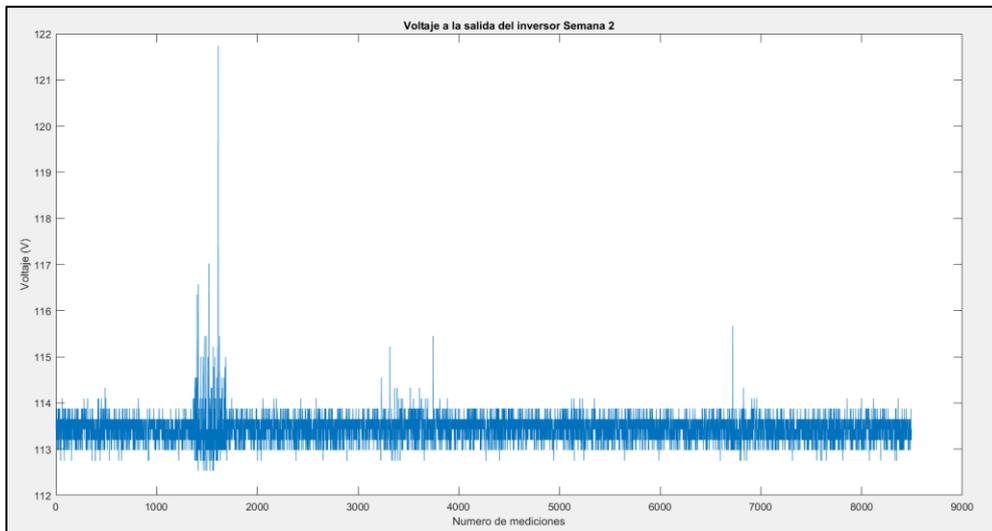
## Anexos 7

### Voltaje a la salida del inversor del sistema fotovoltaico “Comuna ZULETA”

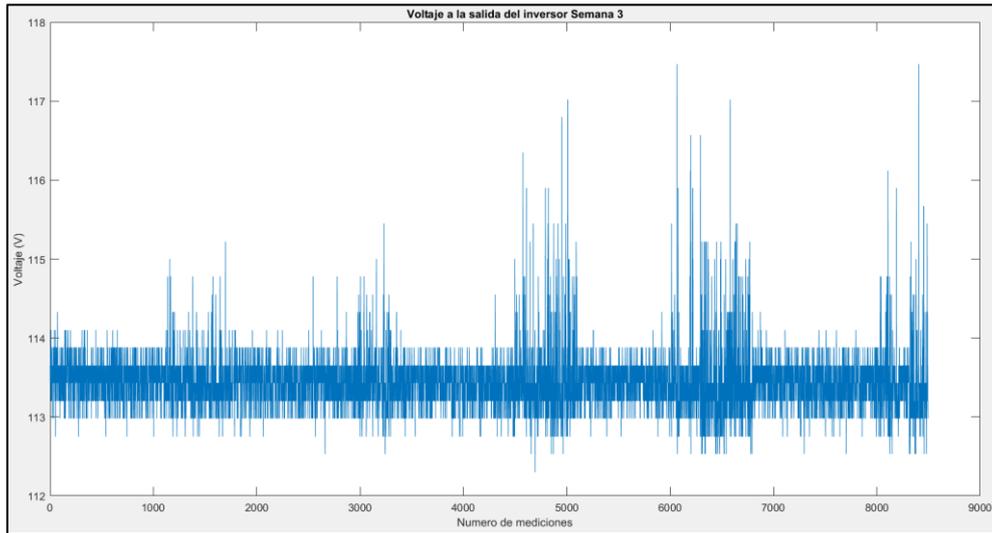
#### Medición de voltaje “Semana 1”



#### Medición de voltaje “Semana 2”



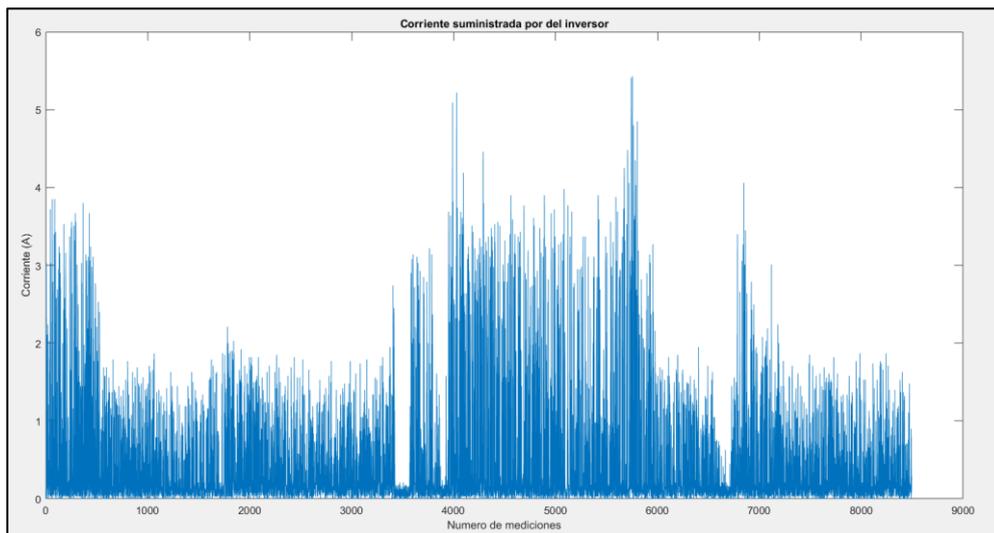
### Medición de voltaje “Semana 3”



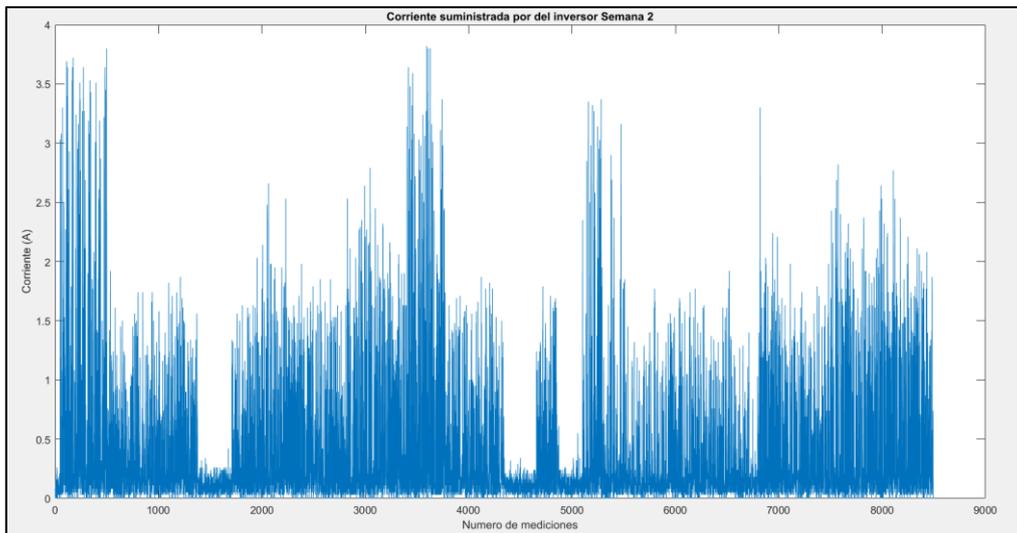
## Anexos 8

### Corriente a la salida del inversor del sistema fotovoltaico “Comuna Zuleta”

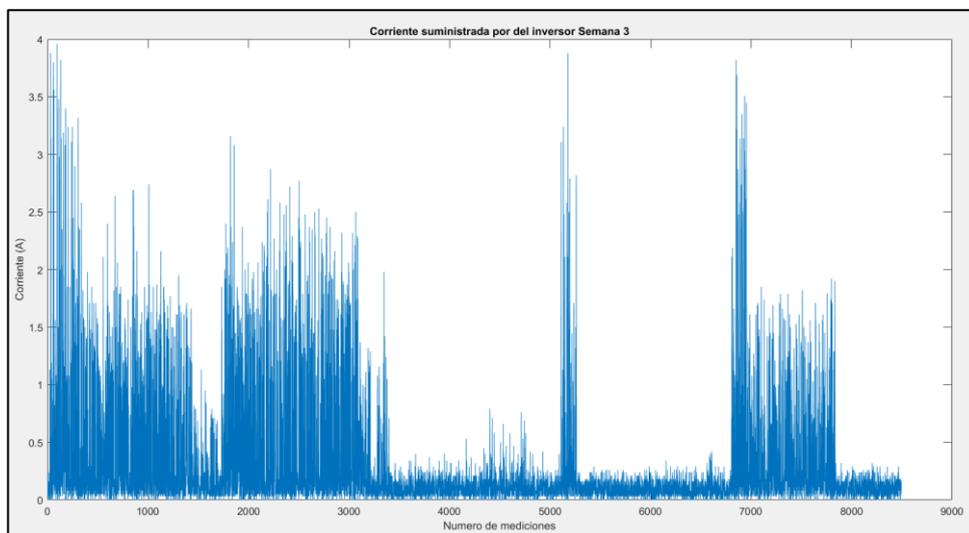
#### Medición de corriente “Semana 1”



## Medición de corriente “Semana 2”



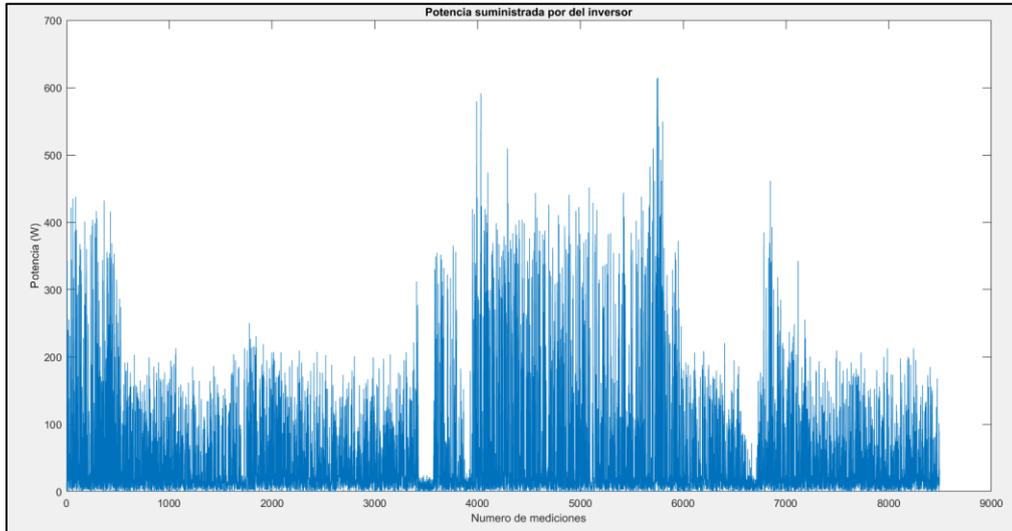
## Medición de corriente “Semana 3”



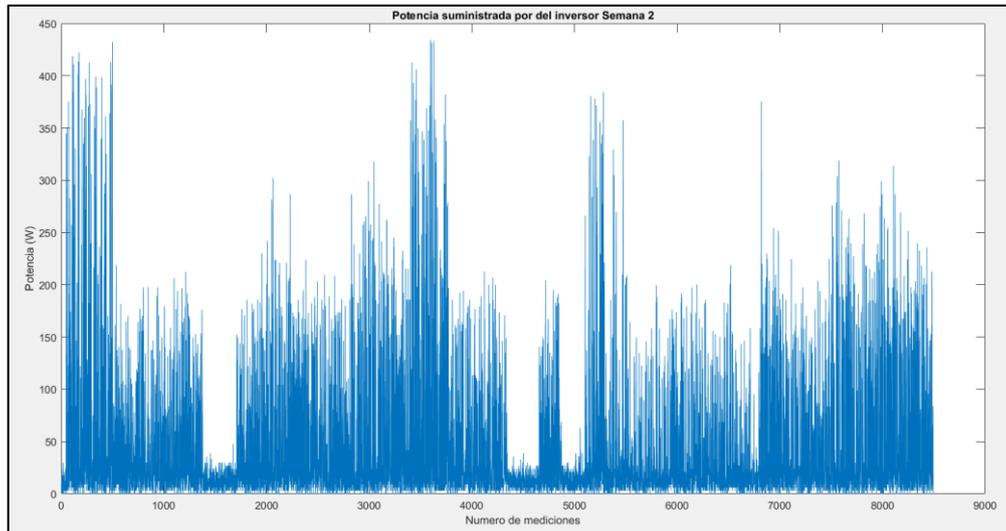
## Anexos 9

### Potencia (W) a la salida del inversor del sistema fotovoltaico “Comuna ZULETA”

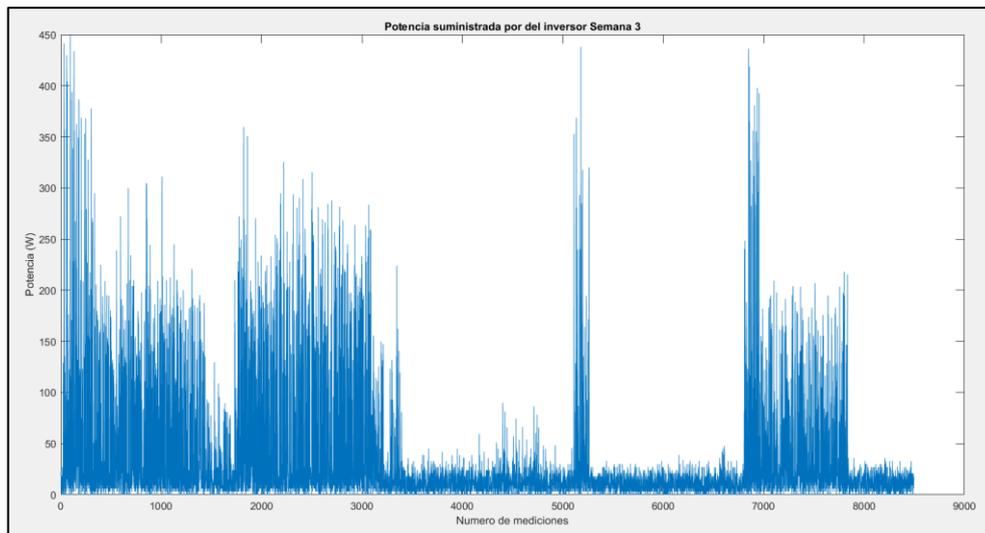
#### Medición de potencia “Semana 1”



#### Medición de potencia “Semana 2”



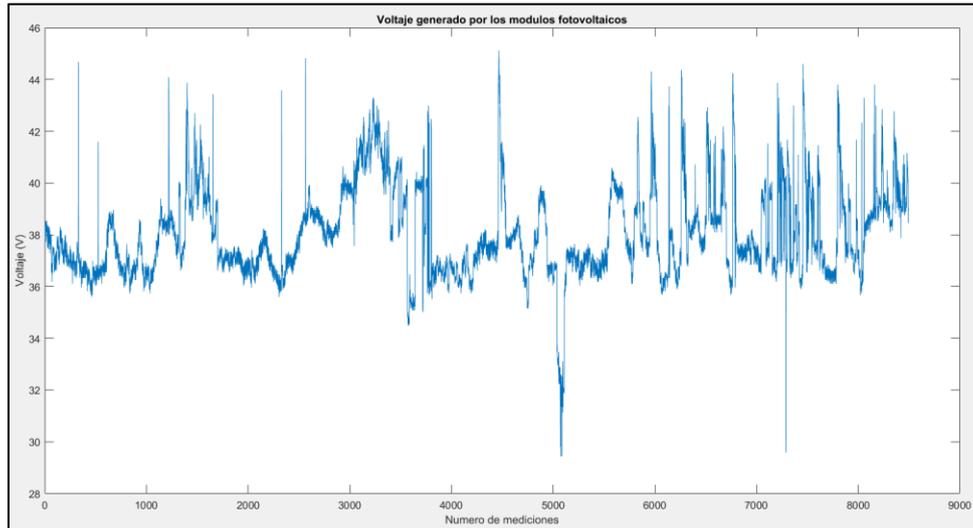
#### Medición de potencia “Semana 3”



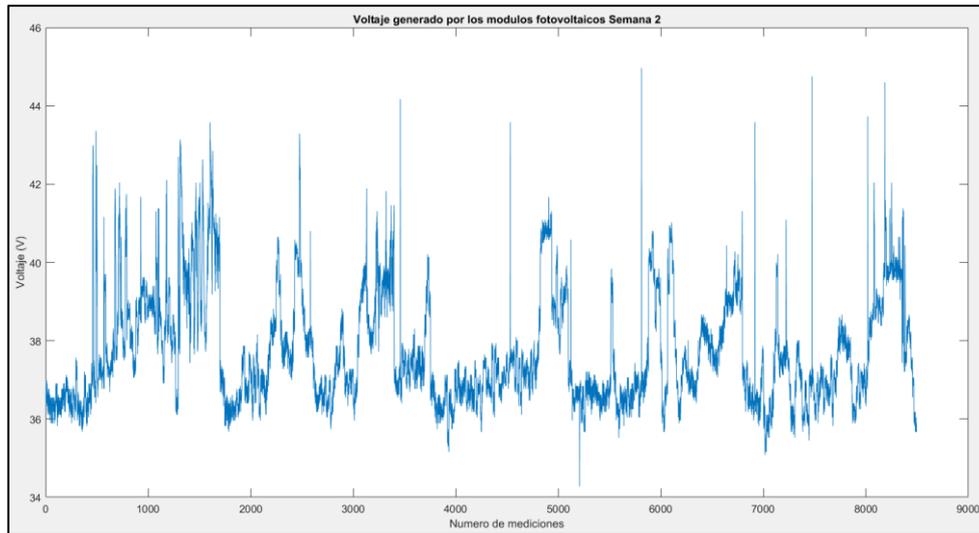
## Anexos 10

### Voltaje generado por los módulos fotovoltaicos “Comuna Zuleta”

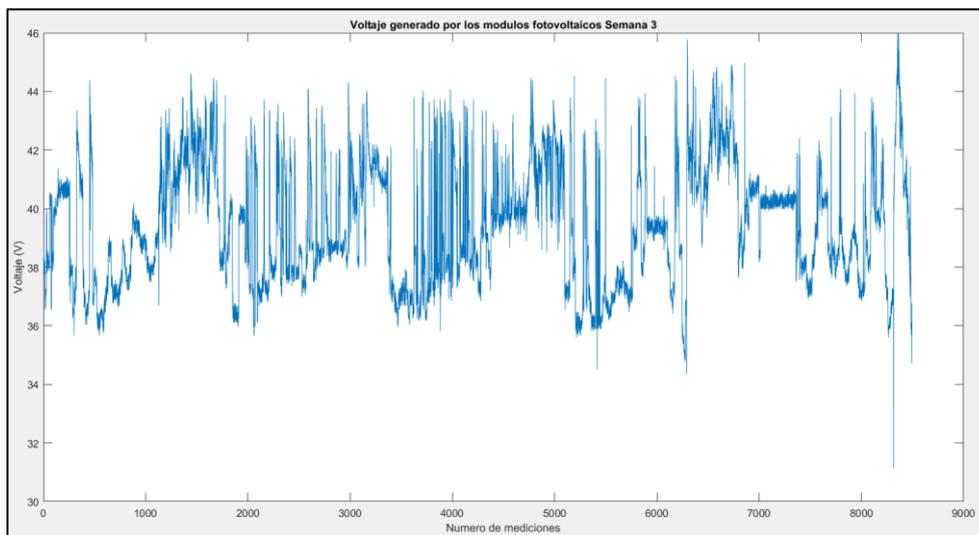
#### Medición de Voltaje “Semana 1”



#### Medición de voltaje “Semana 2”



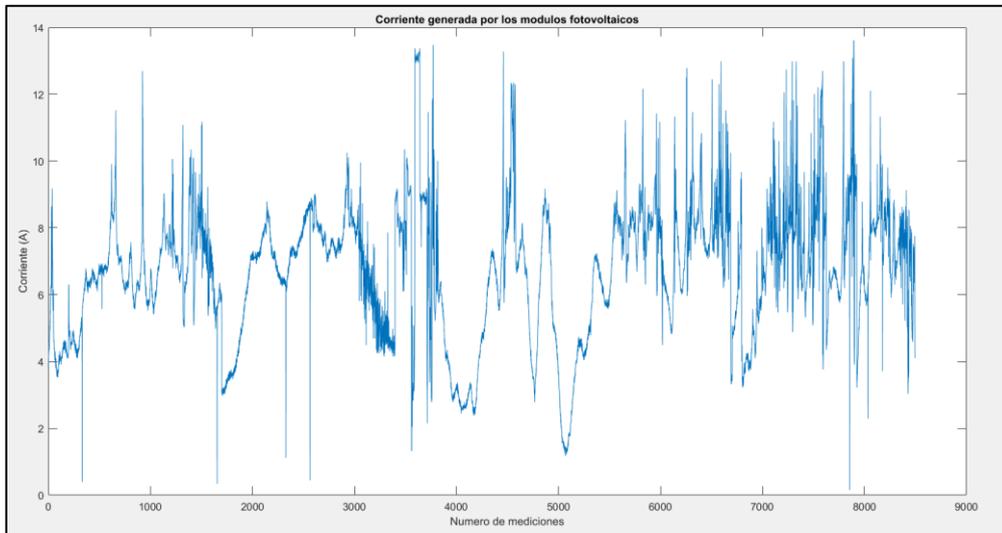
Medición de voltaje "Semana 3"



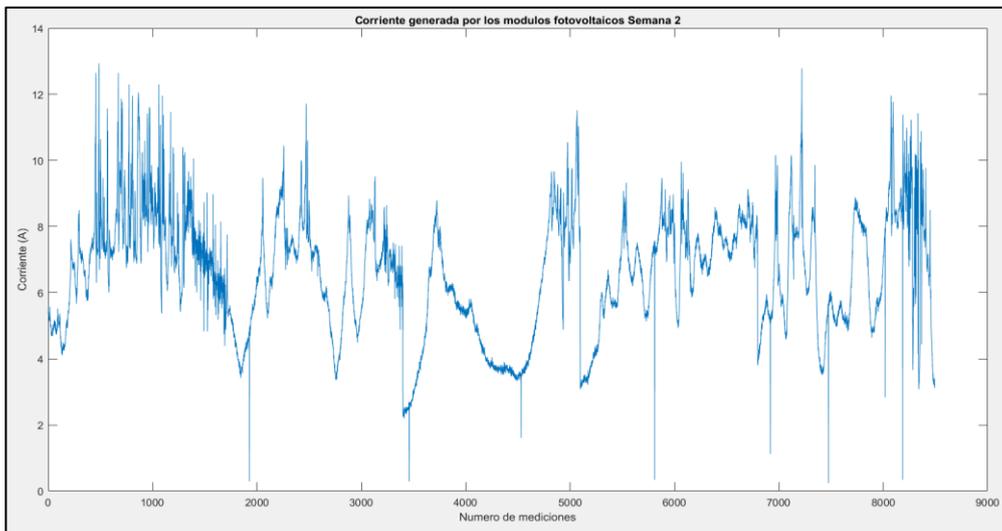
## Anexos 11

### Corriente generado por los módulos fotovoltaicos “Comuna Zuleta”

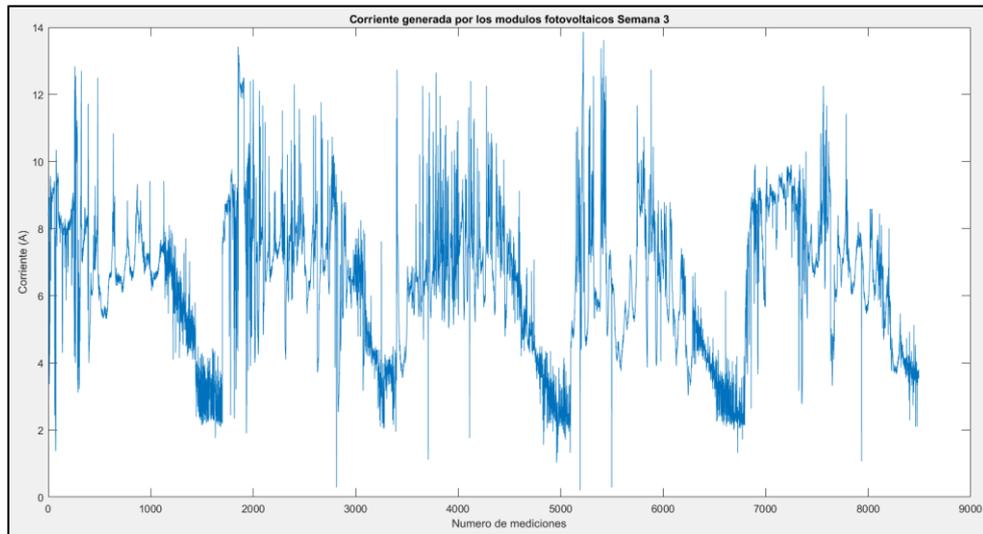
#### Medición de corriente “Semana 1”



#### Medición de corriente “Semana 2”



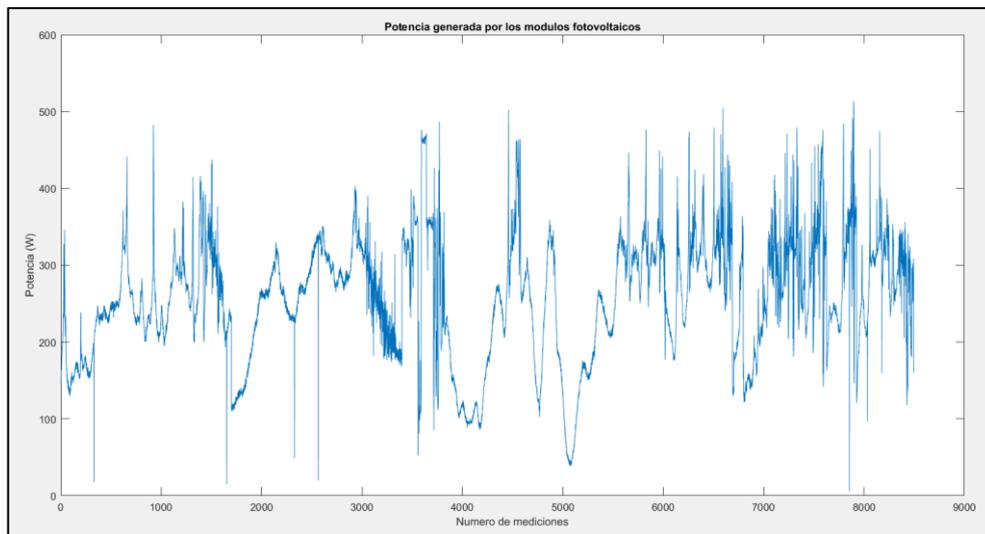
### Medición de corriente “Semana 3”



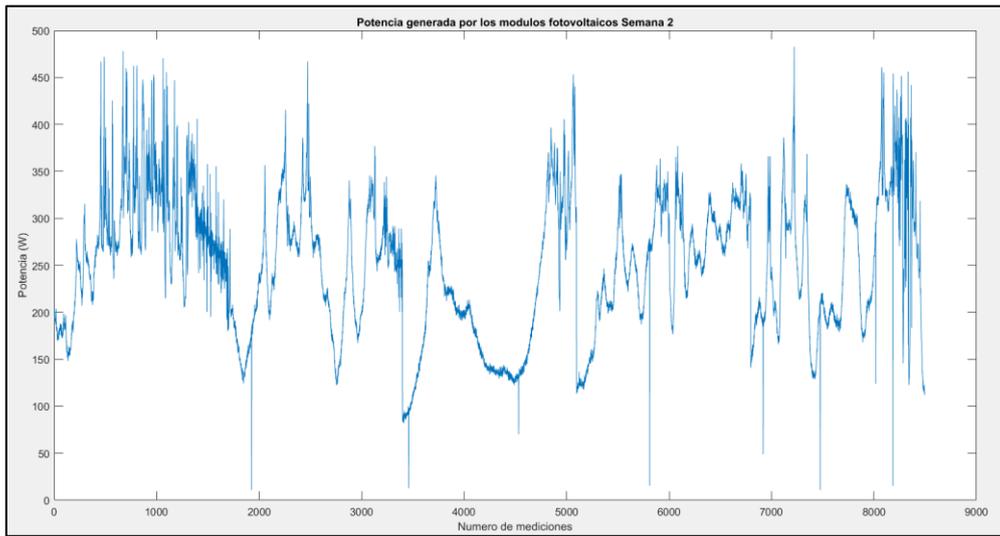
### Anexos 12

#### Potencia generada por los módulos fotovoltaicos “Comuna Zuleta”

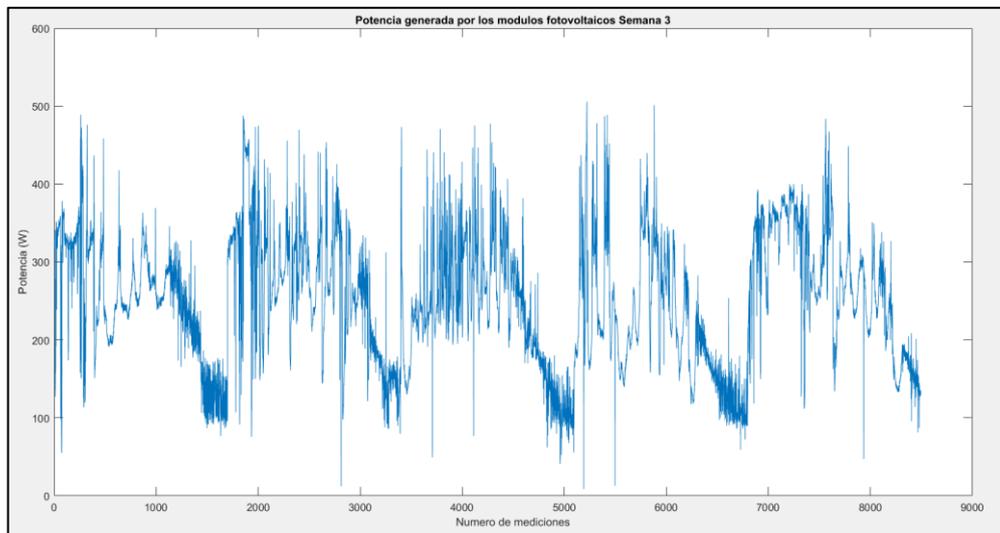
#### Medición de potencia “Semana 1”



## Medición de potencia “Semana 2”



## Medición de potencia “Semana 3”



## Anexos 13

## Compra de equipos para el sistema fotovoltaico “Comuna Zuleta”



|   |         |        |           |
|---|---------|--------|-----------|
| <b>PROVIENTO S.A. Energías Renovables Ecuador</b> |         |        |           |
| RUC: 1791819446001                                |         |        |           |
| Proforma #:                                       | 96-0421 | Fecha: | 13-abr-21 |

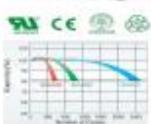
Srs. COMUNA ZULETA:

A continuación la proforma del sistema fotovoltaico solicitado.

## Datos del cliente:

|                      |               |
|----------------------|---------------|
| Nombre/Razon Social: | COMUNA ZULETA |
| Atención:            | Paúl Sandoval |
| Dirección:           | Quito         |

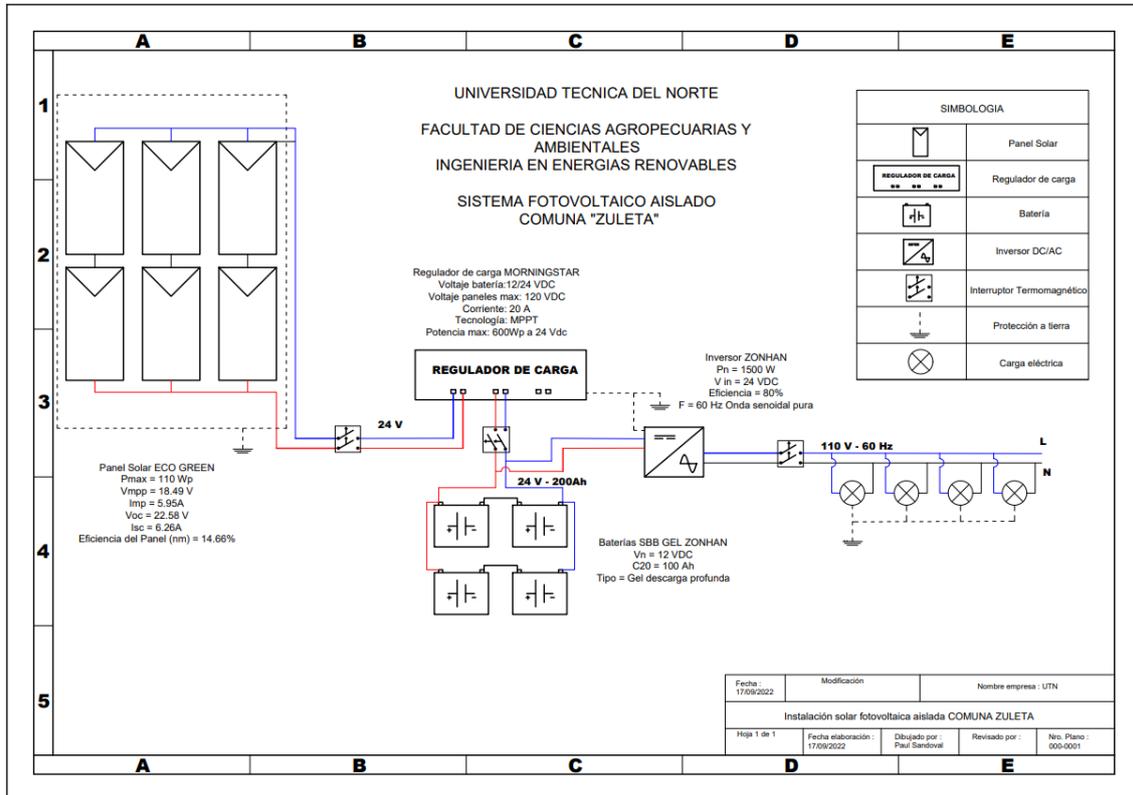
## Proforma por:

| Equipos Medición:         |          | Equipos Generación:  |       | X | Servicios Instalación: | Servicios externos: |                 |
|---------------------------|----------|--|-------|---|------------------------|---------------------|-----------------|
| Cantidad:                 |          | Descripción Item:  |       |   |                        | Valor (USD)         |                 |
| #                         | En Stock | Unidad   | Total |   |                        |                     |                 |
| 6                         | Pcs      | si   |       |   |                        | 70.00               | 420.00          |
|                           |          | <b>Panel Solar ECO GREEN 110Wp/12VDC</b><br>Panel Policristalino<br>Potencia: 110 Wp<br>Variación de potencia: 0...+/-5%<br>Voltaje nominal: 12 VDC<br>Voltaje circuito abierto/óptimo: 22,57/18,49V<br>Corriente cortocircuito/óptimo: 6,46/5,95 A<br>Max. Voltaje String: 1000VDC<br>Número de células: 36<br>Dimensiones: 1120 x 670 x 30 mm<br>Peso: 8.5 Kg<br>Garantía técnica de 2 años                              |       |   |                        |                     |                 |
|                           |          |    |       |   |                        |                     |                 |
|                           |          |   |       |   |                        |                     |                 |
| 1                         | Pcs      | si   |       |   |                        | 260.00              | 260.00          |
|                           |          | <b>Controlador MORNINGSTAR EcoBoost 20 MPPT</b><br>Voltaje batería: 12/24 VDC<br>Voltaje paradas max: 120 VDC<br>Corriente: 20 A<br>Tecnología: MPPT<br>Potencia max: 300Wp a 12Vdc<br>600Wp a 24 Vdc<br>Con LVD (Low Voltage Disconnect)<br>Con tres LEDs para el estado de batería<br>Con una LED que indica la recarga<br>Todas las protecciones eléctricas<br>Equipo Tropicalizado y de estado sólido<br>Diseño EE.UU. |       |   |                        |                     |                 |
|                           |          |   |       |   |                        |                     |                 |
| 1                         | Pcs      | 2  |       |   |                        | 320.00              | 320.00          |
|                           |          | <b>Inversor ZONHAN 1500W/24VDC/120VAC</b><br>Potencia nom: 1500 W (continua)<br>Potencia max: 3000 W (2arg)<br>Voltaje Entrada: 24 VDC (batería)<br>Voltaje Salida: 120VAC<br>Eficiencia 80%<br>Frecuencia: 60Hz sinusoidal pura<br>Uso continuo 24/7<br>País: China   |       |   |                        |                     |                 |
|                           |          |   |       |   |                        |                     |                 |
| 4                         | Pcs      | si   |       |   |                        | 230.00              | 920.00          |
|                           |          | <b>Batería SBB GEL 100Ah/12Vdc</b><br>La mejor batería para sistemas fotovoltaicos por el mejor rendimiento que baterías AGM, con casi el doble de ciclos.<br>Voltaje: 12 VDC<br>Capacidad: 100 Ah@10h<br>Tipo: GEL descarga profunda<br>Libre mantenimiento.<br>Ciclos 2400 DOD50%<br>Dimensiones: 310x173x217 mm<br>Peso: 31 Kg  |       |   |                        |                     |                 |
|                           |          |   |       |   |                        |                     |                 |
|                           |          |   |       |   |                        |                     |                 |
| SUBTOTAL SIN IMPUESTOS:   |          |  |       |   |                        |                     | 1,920.00        |
| SUBTOTAL IVA 0%:          |          |  |       |   |                        |                     | 420.00          |
| SUBTOTAL IVA 12%:         |          |  |       |   |                        |                     | 1,500.00        |
| Descuento: -10.0%:        |          |  |       |   |                        |                     | -192.00         |
| IVA 12.0%:                |          |  |       |   |                        |                     | 162.00          |
| <b>VALOR TOTAL (USD):</b> |          |  |       |   |                        |                     | <b>1,890.00</b> |

Anexos 14

Diagrama eléctrico detallado del sistema fotovoltaico “Comuna Zuleta”

SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO DE LA COMUNA ZULETA



## Anexos 15

### Guía de mantenimiento sistema fotovoltaico aislado “Comuna Zuleta”

#### SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO DE LA COMUNA ZULETA

##### Parámetros Técnicos del Sistema Fotovoltaico

Ficha técnica de cada módulo fotovoltaico:

| <b>PANEL FOTOVOLTAICO</b>                  |  |
|--|--|
| <b>PERLIGHT SOLAR TYPE PLM -190 M -72</b>  |  |
| <b>Potencia Nominal (Pmax)</b>             | 110 Wp   |
| <b>Voltaje a Pmáx (Vmpp)</b>               | 17.90 V  |
| <b>Intensidad a Pmáx.</b>                  | 5.88 A   |
| <b>Voltaje en Circuito Abierto (Voc)</b>   | 21.88 V  |
| <b>Intensidad en Corto Circuito</b>        | 6.26A  |
| <b>Eficiencia del Panel (nm)</b>           | 14.66%   |
|  |  |
| <b>Tolerancia de Potencia</b>              | 0/+5%  |
| <b>Coefficiente de Temperatura (Isc)</b>   | 0.05%/°C   |
| <b>Coefficiente de Temperatura (Voc)</b>   | -0.32%/ °C   |
| <b>Coefficiente de Temperatura (Pmáx.)</b> | -0.39%/ °C   |
| <b>Voltaje máximo del Sistema</b>          | 1000 V   |
| <b>Diodos de Baipás por módulo</b>         | 6  |
| <b>Caja de Conexiones</b>                  | IP65 nominal   |
| <b>Cable y Conexiones</b>                  | Ø= 4 mm <sup>2</sup> , L=900 mm, TÛ certificado                          |
| <b>Conector</b>                            | MC4 compatible   |
|  |  |
| <b>Arreglo de células</b>                  | 36 (policristalino, 4x9)   |
| <b>Dimensiones (l/a/e)</b>                 | 1020mmx670mmx30 mm   |
| <b>Peso</b>                                | 7Kg  |
| <b>Cubierta Frontal</b>                    | Vidrio con alta transmisión  |
| <b>Certificados</b>                        | ISO Quality Management system, CE, TUV, VDE, UL (ICE61215 and IEC61730). |



**Ficha técnica de las baterías a implementar:**

| <b>ULTRACELL 12 V 8AH</b>                    |  |
|--|--|
| <b>ESPECIFICACIONES FÍSICAS</b>              |  |
| <b>Número</b>                                | UC8-12                                 |
| <b>Longitud</b>                              | 30 cm                                  |
| <b>Ancho</b>                                 | 17 cm                                  |
| <b>Altura del contenedor</b>                 | 21 cm                                  |
| <b>Peso aproximado</b>                       | 30 Kg                                  |
| <b>ESPECIFICACIONES</b>                      |  |
| <b>Voltaje normal</b>                        | 12 V                                   |
| <b>Capacidad normal (20HR)</b>               | 100 AH                                 |
| <b>Terminal estándar</b>                     | Bornes con perno                       |
| <b>Capacidad afectada por la temperatura</b> | 40°C (104°F) 103%                      |
| <b>Diseño de vida flotante a 20 ° C</b>      | 12 años                                |
| <b>Temp. De funcionamiento Distancia</b>     | Descarga: -15 ~ 50°C (5 ~ 122°F)       |
|  | Carga: 0 ~ 40°C (5 ~ 104°F)            |
|  | Almacenamiento: -15 ~ 40°C (5 ~ 104°F) |



### Ficha técnica del sistema de regulación:

|   |  |
|---|--|
| <b>Controlador MORNINGSTAR</b>  |  |
| <b>MODELO: EcoBoost 20 MPPT</b>   |  |
| <p>Voltaje batería: 12/24 VDC<br/>         Voltaje paneles max: 120 VDC<br/>         Corriente: 20 A<br/>         Tecnología: MPPT<br/>         Potencia max: 300Wp a 12Vdc<br/>         600Wp a 24 Vdc<br/>         Con LVD (low Voltage Disconnect)<br/>         Con tres LEDs para el estado de batería<br/>         Con una LED que indica la recarga</p> |  |
|   |  |

### Ficha técnica del inversor:

|  |               |
|--|---------------|
| <b>Controlador MORNINGSTAR</b>                 |               |
| <b>MODELO: EcoBoost 20 MPPT</b>                |               |
| Potencia Máxima en Corriente Alterna: 3000 Wac |               |
| Tipo Onda                                      | Sinoidal Pura |
| Dimensiones                                    | 315*195*135mm |
| Peso   | 2.6 kg        |

|   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| Tecnología  | Frecuencia alta sin transformador |
| Voltaje   | 24 VDC 220 VAC                    |
| Pantalla  | Si                                |
| Potencia  | 1500 W                            |
| Eficiencia <sup>9</sup>   | 90%                               |
| Potencia Pico (1seg)  | 3000W                             |
| Inversor/Cargador Con Transferencia Automática                                    | No                                |
| OnGrid  | No                                |
| Origen  | China                             |
|  |                                   |

#### Ficha técnica del cableado de conducción eléctrica:

| <b>Cables Solares con doble chaqueta (rojo+negro)</b>                               |  |
|---|--|
| <b>Serie</b>  | UNE-EN 50525-2-21 / IEC 60245-4  |
| <b>Conductor</b>  | Cable especial de calidad para sistemas fotovoltaicos con doble chaqueta de 10mm <sup>2</sup> (AWG8) superflex |
| <b>Aislamiento</b>  | Goma EPR.  |
| <b>Cubierta</b>   | Goma flexible de color negro   |
|  |  |

| <b>Plan De Mantenimiento Preventivo</b> |  |  |  |
|---|--|--|--|
| <b>PERIODICIDAD</b>                     | <b>OPERACIÓN</b>                             | <b>DESCRIPCIÓN</b>   | <b>EQUIPO DE MANTENIMIENTO</b>   |
| Cada 12 meses                           | Limpieza superficial de cada módulo.         | Aprovechando la época lluviosa que en Ibarra tiene mayor incidencia en el mes de marzo, se debe eliminar todo tipo de suciedad de la superficie del panel.   | -Escoba de lavado<br>-Esponja o gamuza suave<br>-Cubo para agua                                |
|   | Examinación del estado del regulador         | Debe poseer una adecuada ventilación. Los tornillos de sujeción deben estar ajustados correctamente y las terminales sin corrosión por suciedad o humedad.   | -Destornillador<br>-Multímetro<br>-Guantes de protección eléctrica<br>-Cámara termográfica     |
|   | Inspección de los dispositivos de protección | Inspección visual de los fusibles y seccionadores existentes para cada dispositivo   | -Guantes de protección<br>-Multímetro  |
|   | Limpieza para el inversor                    | Inspección de polvo, suciedad, humedad y filtraciones de agua.   | -Guantes de protección<br>-Embace de aire comprimido seco                                      |
|   | Revisión del cableado del inversor           | Comprobar si el aislamiento o los bornes presentan descoloración o alteraciones de otro tipo. Prestar atención a la firmeza de las conexiones del cableado eléctrico y, dado el caso, deben ser ajustadas. | -Destornillador<br>-Guantes de protección<br>-Multímetro                                       |
| Cada 6 meses                            | Limpieza de filtros para el inversor         | Se refiere al cambio de las esteras de los filtros de entrada de aire  | -Guantes de Protección<br>-Pinzas de agarre  |
| Cada 4 meses                            | Limpieza de terminales de conexión           | Los terminales de conexión deben ser limpiados, aplicando vaselina para cubrir las conexiones.   | -Guantes y gafas de protección<br>-Esponja o gamuza suave<br>-Trapo seco<br>-Tarro de vaselina |
| Cada mes                                | Revisión de los nodos                        | Se verifica el estado de conexión, entre todos los dispositivos del sistema fotovoltaico.  | -Multímetro<br>-Plano de ubicación de puntos de red  |
|   | Revisión del estado del cableado general     | Consiste en inspeccionar el estado del material de conducción para verificar si no hay daños por desgaste.   | -Guantes de protección eléctrica<br>-Multímetro  |

|  |                                 |  |  |
|--|---------------------------------|--|--|
|  | Medición de fallos              | Hacer una lectura de los datos archivados y de la memoria de fallos con ayuda del programa Monitor NT.   | -Mediante un ordenador   |
|  | Limpieza para baterías y bornes | Enjuagar la parte superior de las baterías y bornes con una mezcla de bicarbonato sódico y agua (unos 100 gramos de bicarbonato por cada litro de agua). Secar al final. | -Guantes y gafas de protección<br>-Esponja o gamuza suave<br>-Limpiador seco |
|  | Revisión del gabinete           | Consiste en inspeccionar el estado del material para verificar si no hay daños por desgaste.   |  |

**REVISIÓN ANUAL**  
**SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO DE LA COMUNA ZULETA**  
**Mantenimiento Preventivo**

**Responsable:** \_\_\_\_\_

| Supervisión anual                            | Fecha: | Estado de Revisión |              | Observaciones |
|--|--------|--------------------|--------------|---------------|
|  |        | Ejecutada          | No Ejecutada |               |
| Limpieza superficial de cada módulo.         |        |                    |              |               |
| Examinación del estado del regulador         |        |                    |              |               |
| Inspección de los dispositivos de protección |        |                    |              |               |
| Limpieza para el inversor                    |        |                    |              |               |
| Revisión del cableado del inversor           |        |                    |              |               |
| Supervisión cada 6 meses                     | Fecha: | Estado de Revisión |              | Observaciones |
|  |        | Ejecutada          | No Ejecutada |               |
| Limpieza de filtros para el inversor         |        |                    |              |               |
| Supervisión cada 4                           |        | Estado de Revisión |              | Observaciones |

| meses                                    | Fecha: | Ejecutada          | No Ejecutada |               |
|--|--------|--------------------|--------------|---------------|
| Limpieza de terminales de conexión       |        |                    |              |               |
| Supervisión mensual                      | Fecha: | Estado de Revisión |              | Observaciones |
|  |        | Ejecutada          | No Ejecutada |               |
| Revisión de los nodos                    |        |                    |              |               |
| Revisión del estado del cableado general |        |                    |              |               |
| Medición de fallos                       |        |                    |              |               |
| Limpieza para baterías y bornes          |        |                    |              |               |
| Revisión visual del gabinete             |        |                    |              |               |
| <b>Medidas De Reparación</b>             |        |                    |              |               |
|  |        |                    |              |               |

Para la guía de mantenimiento correctivo, en el caso de presentar fallas de algún componente del sistema fotovoltaico, el propietario debe ponerse en contacto con el personal técnico a su vez con el proveedor donde adquirió los equipos, para una revisión del componente que presenta fallas, y de ser el caso realizar el cambio por un componente nuevo.

Advertencia, de ser al caso de cambio de componente, se sugiere adquirir uno con las mismas características técnicas que se menciona al principio de este manual de mantenimiento, por seguridad del resto de componentes no sustituir por otro artefacto con distintas características técnicas antes mencionadas, con el fin de garantizar el funcionamiento correcto del sistema.

