



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS
Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES**

**CARRERA DE INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA**

**OPTIMACIÓN ENERGÉTICA Y ECONÓMICA DE UN
SISTEMA FOTOVOLTAICO EN LA VIVIENDA
SUSTENTABLE DE LA FACULTAD DE LA ENERGÍA
EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

AUTOR:

HOLMES FERNANDO RUILOVA NAGUA

DIRECTOR:

Ing. JUAN CARLOS SOLANO JIMÉNEZ PhD

**LOJA – ECUADOR
2021**

CERTIFICACIÓN

Ingeniero

Juan Carlos Solano, PhD.

**DIRECTOR DE TESIS Y DOCENTE TITULAR DE LA FEIRNNR DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

CERTIFICA:

Haber dirigido y asesorado el presente trabajo de tesis de grado realizado por el señor egresado: **HOLMES FERNANDO RUILOVA NAGUA** con C.I. 0705712248, en su trabajo de investigación titulado: “**OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA Y ECONÓMICA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO EN LA VIVIENDA SUSTENTABLE DE LA FACULTAD DE ENERGÍA EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**”, previo a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, el mismo que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, en consecuencia, me permito autorizar su presentación, sustentación y defensa.



Juan Carlos Solano Jiménez, PhD.

DIRECTOR DE TESIS

Loja, 26 de agosto del 2021

AUTORÍA

Yo, **HOLMES FERNANDO RUILOVA NAGUA**, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.



Holmes Fernando Ruilova Nagua

C.I.: 0705712248

Fecha: 26 de agosto de 2021

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL Y TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO

Yo, Holmes Fernando Ruilova Nagua, declaro ser el autor de la tesis titulada “OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA Y ECONÓMICA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO EN LA VIVIENDA SUSTENTABLE DE LA FACULTAD DE ENERGÍA EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA”, como requisito para optar por el título de INGENIERO ELECTROMECAÁNICO; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja, para que, con fines académicos, disponga ante la sociedad el presente trabajo, evidencia de la riqueza académica de nuestra alma máter, de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar su contenido, de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tengan convenio la Universidad Nacional de Loja.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los veintiséis días del mes de agosto del dos mil veintiuno:

Firma:

Holmes Fernando Ruilova Nagua

CI. 0705712248

Correo electrónico: ruilovaf@yahoo.es

Tel: 072-503 054 (Móvil) +593 987654812

Director de Tesis: Ing. Juan Carlos Solano Jiménez, PhD.

Tribunal de grado:

Presidente: Ing. Jorge Enrique Carrión González, PhD
Ing. Julio César Cuenca Tinitana, Mg. Sc
Ing. Juan Carlos Chunchu Morocho, Mg. Sc.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres por su amor, trabajo y apoyo incondicional en todos estos años de mi formación profesional.

Dedico este trabajo a mi hija Fernanda Valentina Ruilova Díaz, que fue mi motivo y fortaleza para llegar a cumplir esta meta.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mi familia.

Expreso mi sentimiento de gratitud y amor a mis queridos padres Holmes F. Ruilova Nagua y Narcisa de Jesús Nagua Sandoval y a toda mi familia por el apoyo incondicional brindado en cada momento.

A mi tutor de tesis.

Manifiesto mi sincero agradecimiento al Ing. Juan Carlos Solano PhD, por la contribución fundamental en el desarrollo del presente trabajo.

ABREVIATURAS

CONELEC	Consejo Nacional de Electricidad
ARCONEL	Agencia de Regulación y Control de Electricidad
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NEREL	Laboratorio Nacional de Energía Renovable
INAMI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción
SFV	Sistemas Fotovoltaicos
THD	Distorsión Armónica Total
SFCR	Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red Eléctrica
TC	Trasformador de Corriente
CNEL	Corporación Nacional de Electricidad del Ecuador
EERSSA	Empresa Eléctrica Regional del Sur
GitHub	Plataforma de Desarrollo Colaborativo
TCP	Protocolo de Control de Trasmisión
HTTP	Protocolo de Trasmisión de Hipertexto
GUI	Interfaz Gráfica de Usuario
MPPT	Seguidor del Punto Máximo de Potencia
PCB	Placa de Circuito Abierto
SOC	Centro de Operaciones de Seguridad

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN.....	II
AUTORÍA	III
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL Y TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
ABREVIATURAS	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
1. TÍTULO.....	1
2. RESUMEN.....	2
3. INTRODUCCIÓN.....	5
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
4.1. Recurso solar y fuentes de irradiación solar.....	7
4.1.1. Energía solar.....	7
4.1.2. Fuentes de información de irradiación solar.....	9
4.1.3. Sistemas híbridos fotovoltaicos e interconectados a la red eléctrica.....	9
4.1.4. Generador fotovoltaico.....	11
4.1.4.1. Célula y efecto fotovoltaicos.....	11
4.1.5. Módulo Fotovoltaico.....	12
4.1.6. Inversor fotovoltaico.....	13
4.1.7. Medidor bidireccional.....	15
4.1.8. Tablero distribución.....	16
4.2. Marco regulatorio para sistemas fotovoltaicos a baja tensión conectados a la red eléctrica.....	16
4.2.1. Generalidades.....	16
4.2.2. Softwares y Hardware.....	26

4.3.	Factor de Planta, Índice de Rendimiento y Factores eléctricos Fundamentales.....	34
4.3.1.	Factor de planta.....	34
4.3.2.	Coeficiente de rendimiento.....	34
4.3.3.	Factores eléctricos fundamentales.....	35
5.	MATERIALES Y METODOS.....	37
5.1.	Materiales.....	37
5.2.	Métodos.....	37
6.	DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	38
6.1.	Descripción de la vivienda en estudio.....	41
6.2.	Adquisición de datos de irradiación solar, estación meteorológica La Argelia.....	42
6.3.	Diseño del sistema fotovoltaico para la vivienda en estudio.....	42
6.3.1.	Diseño del sistema fotovoltaico sin almacenamiento.....	42
6.3.2.	Diseño de sistema fotovoltaico con almacenamiento.....	54
6.4.	Simulación del sistema fotovoltaico diseñado para la vivienda en estudio.....	56
6.5.	Análisis técnico - económico del sistema fotovoltaico diseñado.....	56
6.6.	Diseño del sistema de monitorización, adquisición y transición de las principales variables eléctricas para el sistema fotovoltaico de la vivienda en estudio.....	57
6.6.1.	Adquisición de materiales.....	57
6.6.2.	Acoplamiento del sistema.....	57
6.6.3.	Alimentación del prototipo.....	59
6.6.4.	Librerías necesarias para programar el NodeMCU.....	59
6.6.5.	ADC ADS1115.....	60
6.6.6.	Librerías de Ubidots.....	61
6.6.7.	Diagrama de conexiones electrónicas.....	61
6.6.8.	Procesamiento de datos.....	62
6.6.9.	Programación, calibración y sistema de comunicación.....	66
7.	RESULTADOS.....	71
7.1.	Encuestas sobre consumo eléctrico a usuarios de la Zona 7 de Ecuador.....	71

7.1.1. Generación de curvas de consumo eléctrico para los cantones que conforman la Provincia de El Oro.....	71
7.1.2. Generación de curvas de consumo eléctrico para los cantones que conforman la Provincia de Loja.	71
7.1.3. Generación de curvas de consumo eléctrico para los cantones que conforman la Provincia de Zamora Chinchipe.....	71
7.1.4. Generación de curvas de consumo eléctrico por zonas climáticas para la Provincia de El Oro.	75
7.1.5. Generación de curvas de consumo eléctrico por zonas climáticas para la Provincia de Loja.	77
7.1.6. Generación de curvas de consumo eléctrico por zonas climáticas para la provincia de Zamora Chinchipe	79
7.1.7. Generación de curvas de consumo eléctrico promedio para la Zona 7 de Ecuador.	81
7.1.8. Datos de irradiación solar obtenidos de la estación meteorológica La Argelia. ..	83
7.2. Diseño del sistema fotovoltaico para la vivienda en estudio.....	83
7.3. Simulación técnica - económica del sistema fotovoltaico diseñado.....	87
7.3.1. Simulación de producción de energía.....	87
7.3.2. Cantidad de energía producida, consumida y exportada a la red eléctrica, en periodos mensuales en lapso de un año.....	88
7.3.3. Cantidad de energía producida, consumida y exportada a la red, en periodos horarios para un día.....	88
7.4. Estudio de factibilidad.....	89
7.5. Diseño del sistema de monitorización, adquisición y transición de las principales variables eléctricas para el sistema fotovoltaico de la vivienda en estudio.....	94
8. DISCUSIÓN.....	97
9. CONCLUSIONES.....	98
10. RECOMENDACIONES	100
11. BIBLIOGRAFÍA	101
12. ANEXOS	104

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Esquema de la estructura del código de las unidades de propiedad.</i>	8
<i>Figura 2. Mapa de Radiación Solar Región Sur del Ecuador.</i>	8
<i>Figura 3. Sistema fotovoltaico para conexión a la red eléctrica</i>	11
<i>Figura 4. Representación de la célula fotovoltaica.</i>	12
<i>Figura 5. Representación de módulo fotovoltaico</i>	13
<i>Figura 6. Curvas de rendimiento de inversor y variación con la tensión de entrada.</i>	14
<i>Figura 7. Medidor bidireccional</i>	15
<i>Figura 8. Arduino Uno.</i>	27
<i>Figura 9. NodeMCU.</i>	28
<i>Figura 10. Convertidor analógico digital ADC ADS1115.</i>	30
<i>Figura 11. Modo de empleo del sensor sct-013.</i>	31
<i>Figura 12. Modo de lectura de datos STC-013.</i>	31
<i>Figura 13. Puente rectificador de diodos.</i>	31
<i>Figura 14. Regulador de tensión LM7805.</i>	32
<i>Figura 15. Sensor SCT – 013.</i>	32
<i>Figura 16. Interfaz plataforma Ubidots.</i>	33
<i>Figura 17. Plataforma web EERSA.</i>	38
<i>Figura 18. Plataforma de consulta de valores de consumo de energía eléctrica</i>	39
<i>Figura 19. Curvas de demanda eléctrica mínima, media, máxima</i>	40
<i>Figura 20. Vista aérea de la vivienda en estudio (FEIRNNR).</i>	41
<i>Figura 21. Vivienda en estudio UNL.</i>	42
<i>Figura 22. Interfaz principal del software Solarius PV.</i>	43
<i>Figura 23. Estructura de desarrollo del diseño Solarius PV</i>	44
<i>Figura 24. Datos geográficos e irradiación solar.</i>	45
<i>Figura 25. Diagrama solar vivienda en estudio U.N.L.</i>	46
<i>Figura 26. Diseño instalación BIM.</i>	46
<i>Figura 27. Modelo 3D casa en estudio.</i>	47
<i>Figura 28. Área para la instalación de los paneles fotovoltaicos.</i>	48
<i>Figura 29. Diseño del campo fotovoltaico.</i>	48
<i>Figura 30. Análisis de rendimiento y posicionamiento de los módulos fotovoltaicos.</i>	49
<i>Figura 31. Selección de módulos fotovoltaicos.</i>	50
<i>Figura 32. Disposición de los paneles fotovoltaicos.</i>	50
<i>Figura 33. Diseño de generador fotovoltaico (inversor).</i>	51
<i>Figura 34. Selección de inversor fotovoltaico.</i>	52
<i>Figura 35. Comprobaciones eléctricas entre sistema fotovoltaico y generado (Inversor).</i>	52
<i>Figura 36. Diseño de cuadro de protecciones eléctricas AC Y DC.</i>	53
<i>Figura 37. Configuración de protecciones eléctricas.</i>	53
<i>Figura 38. Diseño final de sistema fotovoltaico y sus componentes.</i>	54
<i>Figura 39. Diseño sistema de almacenamiento.</i>	55
<i>Figura 40. Parámetros de capacidad nominal y porcentaje de profundidad.</i>	55
<i>Figura 41. Electrodomésticos considerados en el estudio energético.</i>	56
<i>Figura 42. Divisor resistivo.</i>	58

<i>Figura 43. Recursos de tarjetas en Arduino.</i>	59
<i>Figura 44. Generic ESP8266 Module IDE arduino.</i>	60
<i>Figura 45. Gestor de librería Arduino.</i>	61
<i>Figura 46. Incorporación librería Ubidots Arduino.</i>	61
<i>Figura 47. Esquema de conexiones Fritzing.</i>	62
<i>Figura 48. Diagrama de flujo del proceso de medición de la energía.</i>	67
<i>Figura 49. Banco de pruebas.</i>	68
<i>Figura 50. Medición y calibración del nivel de tensión.</i>	68
<i>Figura 51. Medición y calibración nivel de corriente.</i>	69
<i>Figura 52. Medición y calibración nivel de potencia.</i>	69
<i>Figura 53. Identificación de Variable Vrms y visualización de datos.</i>	70
<i>Figura 54. Curvas de consumo eléctrico promedio para los cantones de la provincia de El Oro.</i>	72
<i>Figura 55. Curvas de consumo eléctrico promedio para los cantones de la provincia de Loja.</i>	73
<i>Figura 56. Curvas de consumo eléctrico promedio para los cantones de la provincia de Zamora Chinchipe.</i>	74
<i>Figura 57. Curvas de consumo eléctrico promedio para las zonas climáticas de la provincia de El Oro.</i>	76
<i>Figura 58. Curvas de consumo eléctrico promedio para las zonas climáticas de la provincia de Loja.</i>	78
<i>Figura 59. Curvas de consumo eléctrico promedio para las zonas climáticas de la provincia de Zamora Chinchipe.</i>	80
<i>Figura 60. Curvas de consumo eléctrico promedio para las Zona 7 de Ecuador (El Oro - Loja - Zamora Chinchipe).</i>	82
<i>Figura 61. Promedio de irradiación solar para la estación meteorológica la Argelia 2017-2018.</i>	83
<i>Figura 62. Sistema fotovoltaico.</i>	84
<i>Figura 63. Protección a tierra del sistema.</i>	84
<i>Figura 64. Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico.</i>	85
<i>Figura 65. Coeficiente de sombreado.</i>	86
<i>Figura 66. Cobertura energética mensual.</i>	88
<i>Figura 67. Valores de consumo horario - Solarius PV.</i>	88
<i>Figura 68. Producción anual de energía debido a perdida de eficiencia del sistema.</i>	91
<i>Figura 69. Aumento de consumo eléctrico.</i>	91
<i>Figura 70. Tasa de inflación de energía.</i>	92
<i>Figura 71. Inflación anual de costos periódicos.</i>	93
<i>Figura 72. Flujo de caja.</i>	93
<i>Figura 73. Variación la variable Vrms.</i>	94
<i>Figura 74. Datos almacenados de la variable Vrms.</i>	95
<i>Figura 75. Interfaz del sistema de adquisición de datos eléctricos Ubidots.</i>	95
<i>Figura 76. Interfaz del sistema de adquisición de datos eléctricos Ubidots (Smartphone).</i>	96
<i>Figura 77. Hoja de datos técnicos panel fotovoltaico eco green energy ege 350p.</i>	127
<i>Figura 78. Hoja de datos técnicos inversor afore new energy hns1500tl-1.</i>	128
<i>Figura 79. Hoja de datos técnicos batería fiamm.</i>	129

Figura 80. Programación utilizada para el sistema de adquisición y transmisión de datos eléctricos..... 130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Precios preferentes energía renovables en (cusd/kwh).....	18
Tabla 2. Máxima profundidad de descarga en función del tipo de batería.....	23
Tabla 3. Datos de consumo eléctrico mensual <i>el Guabo</i>	39
Tabla 4. Coordenadas geográficas de la vivienda en estudio.....	41
Tabla 5. Código Ubidots.....	70
Tabla 6. Componentes fotovoltaicos.....	86
Tabla 7. Cantidad de energía producida en periodos horarios medios mensuales para un año.....	87
Tabla 8. Evaluación de costos de equipos empleados.....	90
Tabla 9. Consumo eléctrico promedio para los cantones de la provincia de El Oro.....	113
Tabla 10. Consumo eléctrico promedio para los cantones de la provincia de Loja.....	117
Tabla 11. Consumo eléctrico promedio para los cantones de la provincia de Zamora Chinchipec.....	122
Tabla 12. Datos de irradiación solar estación meteorológica La "Argelia" (2017).....	125
Tabla 13. Datos de irradiación solar estación meteorológica La "Argelia" (2018).....	126

1. TÍTULO

**OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA Y ECONÓMICA DE UN SISTEMA
FOTOVOLTAICO EN LA VIVIENDA SUSTENTABLE DE LA FACULTAD DE
ENERGÍA EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.**

2. RESUMEN

La energía solar es una fuente de energía renovable que se obtiene a partir de la radiación electromagnética que llega del sol, y para el caso de Ecuador, varía desde $2.9 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$ a $6.3 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$, cuyos valores máximos rigen para las provincias de Pichincha, Imbabura, Loja, y Galápagos.

Como objetivo para el presente trabajo, se plantea el diseño de un sistema fotovoltaico que permita el aprovechamiento y la optimización energética y económica, en la vivienda sustentable de la Facultad de Energía en la Universidad Nacional de Loja, utilizando los datos del consumo eléctrico promedio de una vivienda típica, los registros de radiación de una estación meteorológica del INAMHI, mediante la simulación con software especializado para estas tareas.

El trabajo investigativo se inició con la búsqueda de información de los sistemas fotovoltaicos, las herramientas informáticas disponibles, encuestas a usuarios y seguimiento del consumo eléctrico en la Zona 7 del Ecuador (El Oro – Loja – Zamora Chinchipe), usando la plataforma web de la Corporación Nacional de Electricidad del Ecuador y Empresa Eléctrica Regional del Sur, para el periodo julio 2018 – julio 2019. En el diseño y la optimización del sistema, se usó el software Solarius PV, aplicado a una vivienda típica ubicada en la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja, considerando los electrodomésticos más utilizados según, la etapa de encuestas.

De acuerdo con los datos obtenidos del consumo energético de la zona de estudio, se determinó consumos promedios por cantones, provincias y pisos climáticos, lo que permitió establecer que el consumo promedio varía considerablemente, más que por el cantón o la provincia, que por el piso climático y por el tamaño de la zona urbana. En cuanto a la variación por piso climático, se determinó que para la provincia de El Oro es de 128 kWh, 122 kWh y 115.4 kWh, para las zonas cálidas, templadas y frías, respectivamente. Con relación a los datos de radiación solar promedios obtenidos para la estación meteorológica “La Argelia”, que fue utilizada para este estudio, los valores oscilan entre 2984 a 4932

Wh/m². Aplicado el diseño y simulación del sistema, se obtuvo que el mismo presenta un factor de planta de 12.54 %, un índice de rendimiento de 76.0 %, a partir del análisis de factibilidad y considerando una vida útil de 25 años, se estableció que el costo total de inversión es de USD \$1862.12, lo que genera un VAN de \$ 840.82 y una TIR de 8.05 %.

Palabras claves: Medidor de energía; Sistema fotovoltaico; vivienda sustentable; consumo eléctrico en la Zona 7; ubidots.

ABSTRACT

Solar energy is a source of renewable energy gotten from the electromagnetic radiation, which comes from the Sun and in Ecuador varies from 2.9 Wh/m²/ per day to 6.3 Wh/m²/ per day, these maximum values are for the provinces of Pichincha, Imbabura, Loja, and Galapagos.

The objective of this research work is to suggest a design of a photovoltaic system in order to the use and streamlining of energy and economic for a sustainable flat of the Faculty of Energy at the National University of Loja, using the data of the average electricity uptake in a simple home, the radiation records of an INAMHI weather station and the recreation with a trained software for these tasks.

To carry out this work, it was made a search of information about the photovoltaic systems, available computer tools, user surveys and a monitoring of electricity uptake in the Zone 7 of Ecuador (El Oro - Loja - Zamora Chinchipe), using the web platform of the Corporación Nacional de Electricidad del Ecuador (CNEL) and Empresa Regional del Sur, from period July 2018 to July 2019. In order to design and optimize the system was used the Solarius PV software applied on a simple house, which is located at the National University of Loja, of the Faculty of Energy, Industries and Non-Renewable Natural Resources, for this were considered the most used appliances according to the survey stage.

In accordance with the data obtained from the energy uptake of the study area, it was determined that the average uptake by cities, provinces and weather floors. From this it was obtained that the average uptake varies considerably more than in a city or province, than in the weather floor and by the size of the urban area. In order hand the variation by weather floor, for the province of El Oro is of 128 kWh, 122 kWh and 115.4 kWh for warm, temperate and cold areas. In connection with the data of average solar radiation obtained from the “La Argelia” weather station, used for this study, there were values ranging from 2984 to 4932 Wh/ m². Once that design and recreation of the system was carried out, it was obtained that it presents a plant factor of 12.54 %, a Yield Index of 76.0 %. From the analysis of manageability and considering a useful life of 25 years, it was obtained that the total investment cost is USD \$1862.12, which generates a NPV of \$840.82 and an IRR of 8.05 %.

Keywords: Energy meter, bidirectional, efficiency, photovoltaic, ubidots

3. INTRODUCCIÓN

La energía solar es una fuente renovable, se la obtiene a partir de la radiación electromagnética que llega del sol, generar calor y electricidad; es una de las fuentes de energía más amigables con el medio ambiente ya que en tan solo una hora sol, lanza al planeta tierra la suficiente radiación para producir toda la energía que se necesita durante un año. El valor promedio aproximado de la radiación solar global en el Ecuador, varía desde 2.9 Wh/m²/día a 6.3 Wh/m²/día, donde el mayor potencial para generación fotovoltaica está en las provincias de Pichincha, Imbabura, Loja, y Galápagos.

Para aprovechar esta energía, se implementan sistemas fotovoltaicos que generan energía eléctrica a partir de la energía solar, algunos de ellos son: sistemas autónomos, los sistemas híbridos y los sistemas conectados a la eléctrica convencional. La regulación del diseño, instalación, componentes y funcionamiento está basada en una amplia normativa que es aplicada en el Ecuador para su funcionamiento.

Como parte del proceso de dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos se tiene la simulación previa, para lo cual se usa software específico que facilita determinar la demanda de energía eléctrica necesaria para una vivienda y ejecutar diseños tanto técnicos como económicamente eficientes; adicionalmente, permiten monitorizar, adquirir y transferir datos eléctricos para ser evaluados en un proceso de mejora continua. Entre los softwares disponibles se tienen a Solarius PV, que se lo utiliza para estimar la producción solar fotovoltaica y, a partir de datos reales de irradiación solar disponibles para numerosos lugares del mundo; otro de los softwares a utilizar es Ubidots, que es un servicio en la nube, para almacenar datos de sensores y visualizarlos en tiempo real a través de una página web.

Otro de los procesos necesarios en el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos, es la estimación de la demanda energética, para lo cual se realizan encuestas que permiten obtener datos del consumo promedio, los que varían entre regiones, provincias, altitud, temperatura ambiente promedio y nivel socioeconómico. Adicional a ello, existen disponibles plataformas web que mantienen y registran el consumo eléctrico mensual de los usuarios, y para el caso de Ecuador, las plataformas web son: la Corporación Nacional de Electricidad del Ecuador y Empresa Eléctrica Regional del Sur.

Los datos de radiación solar dependen del lugar donde se encuentra la edificación, por lo que es necesario acceder a estaciones meteorológicas más cercanas que dispongan de esta información y que para el Ecuador es el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMI).

Con todos estos elementos y fuentes de información, se tiene la base para la implementación del diseño de un sistema fotovoltaico. Para que sea factible su implementación final, es necesario realizar la evaluación económica, la que incluye el costo de los componentes, instalación, mano de obra, mantenimiento y demás costos asociados. Los parámetros que permiten tomar una decisión final sobre la factibilidad de la implementación del sistema son el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Recurso solar y fuentes de irradiación solar.

4.1.1. Energía solar.

La energía solar es una fuente de energía renovable que se obtiene a partir de la irradiación electromagnética que llega del sol, con la que se pueden generar calor y electricidad. A la vez, es una de las fuentes de energía más amigables con el medio ambiente y su impacto para el cuidado del planeta tierra puede ser enorme, si se aprovecha adecuadamente (Sukhatme & Nayak, 2017).

Tan solo en una hora, el sol lanza al planeta tierra la suficiente radiación para producir toda la energía que se necesita durante un año (Kabir et al., 2018). La energía solar varía de un lugar a otro dependiendo de factores geográficos, época del año y condiciones de la atmósfera local.

Ecuador se encuentra en una ubicación privilegiada en cuanto a recurso solar, siendo casi perpendicular la radiación que recibe, con un ángulo de incidencia constante; características que otorgan a la fotovoltaica enorme potencial de aprovechamiento. Según (Vaca-Cárdenas et al., 2019) el valor medio aproximado de la irradiación solar global en el Ecuador, varía desde 2.9 Wh/m²/día a 6.3 Wh/m²/día, en la Figura 1 puede observarse las zonas con mayor insolación en el país y, por tanto, con mayor potencial para generación fotovoltaica, como ocurre con las provincias de Pichincha, Imbabura, Loja, y Galápagos.

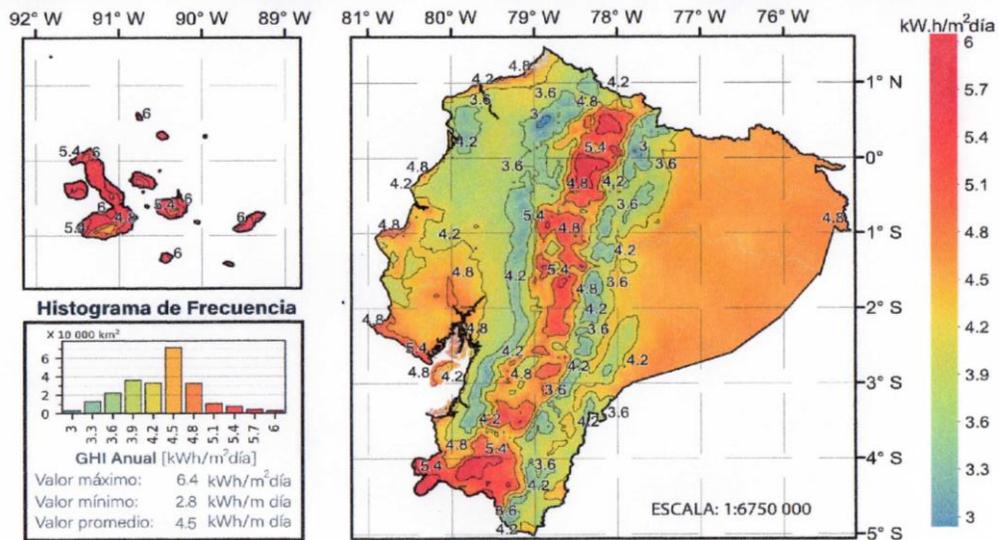


Figura 1. Esquema de la estructura del código de las unidades de propiedad.

Fuente:(Vaca-Cárdenas et al., 2019)

En la Figura 2 se puede observar los valores máximos de radiación global, para la Región 7 del sur del Ecuador (Provincias de Loja, El Oro y Zamora Chinchipe).

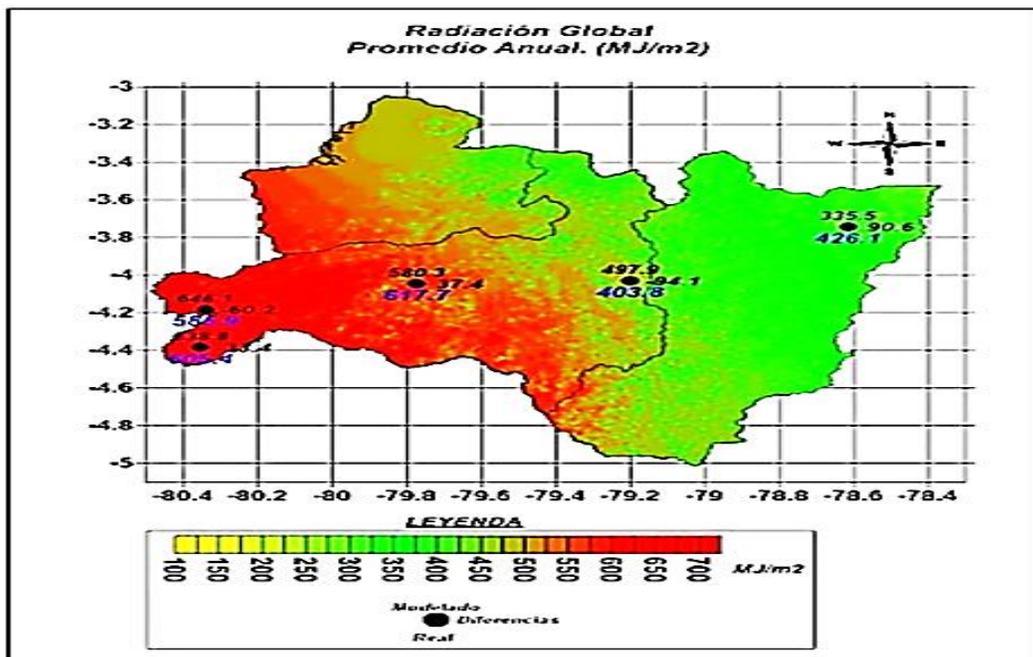


Figura 2. Mapa de Radiación Solar Región Sur del Ecuador.

Fuente: (Álvarez et al., 2018)

4.1.2. Fuentes de información de irradiación solar.

Existen diversas plataformas que permiten obtener datos de irradiación solar global, entre las principales tenemos las siguientes.

NASA: SSE, es un software de la nasa destinado al estudio meteorológico que permite obtener datos de radiación solar diaria, promedio mensual y anual para cualquier parte del mundo. El software se puede acceder ingresando al enlace <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL):

Tiene como objetivo proporcionar una base de datos completa de radiación solar global horizontal, directa y difusa, en rangos de media hora y una hora. Datos recopilados de ubicaciones, escalas temporales y espaciales para representar con precisión los climas regionales de radiación solar (NSRDB, n.d.)

Mapa Solar del Ecuador: El Mapa Solar del Ecuador tiene por finalidad incluir la cuantificación del potencial solar disponible y con posibilidades de generación eléctrica, en base a mapas mensuales de insolación directa, global y difusa. Se obtiene los datos de radiación solar de (Vaca Revelo & Ordóñez, 2020).

Estaciones Meteorológicas: El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, n.d.) cuenta con estaciones meteorológicas repartidas en todo el territorio ecuatoriano que poseen una base de datos históricos de mediación de irradiancia solar global. Para la obtención de los datos de estaciones meteorológicas automáticas en la Región 7 del Ecuador, se debe realizar una solicitud al INAMI y proporcionará los datos solicitados.

4.1.3. Sistemas híbridos fotovoltaicos e interconectados a la red eléctrica.

Es la energía procedente del sol, que se convierte en energía eléctrica mediante generadores fotovoltaicos, la inclinación y la orientación de los generadores fotovoltaicos son fundamentales para conseguir una conversión eficiente (Rosas, 2009).

Existe un amplio rango de tecnologías solares para capturar la energía solar y convertirla en electricidad, en la actualidad, el 85 % de los sistemas fotovoltaicos están basados en tecnología de silicio-cristalino, tecnologías más nuevas están siendo investigadas, basadas en

nano materiales que podrían ser un gran aporte para el futuro en términos de eficiencia (Moreno, 2016).

La implementación de sistemas para generación de energía eléctrica a partir de la energía solar fotovoltaica, poseen muchas ventajas y beneficios como los siguientes:

- Energía limpia y 100 % renovable
- Instalación sencilla y bajos costes de mantenimiento
- Tiene una vida útil superior a 25 años
- Es modular y versátil, adaptable a diferentes situaciones
- Contribuye al desarrollo sostenible
- Los paneles solares se sitúan en espacios libres de la vivienda como el tejado.

Los sistemas fotovoltaicos autónomos son las soluciones diseñadas para la generación de energía mediante fuentes renovables. Su aplicación es fundamental en aquellos lugares donde el suministro eléctrico es de baja calidad, o en lugares aislados, donde ni siquiera existe ese suministro (Karabanov et al., 2010).

Sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica

Los sistemas de interconexión a la red eléctrica son instalaciones que se conectan directamente a la instalación eléctrica interna de una vivienda o negocio, misma que se consume primero en su interior, únicamente la porción de energía sobrante se dirige hacia la red eléctrica del distribuidor. Por consiguiente, si la demanda de energía en el interior de la vivienda/negocio excede la cantidad suministrada por la planta fotovoltaica, la energía adicional requerida se toma directamente de la red eléctrica (Salazar-Peralta et al., 2016).

Componentes principales de un sistema fotovoltaico conectado a la red

Un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica está compuesto por un generador fotovoltaico, inversor, medidor bidireccional, como se muestra en la Figura 3.

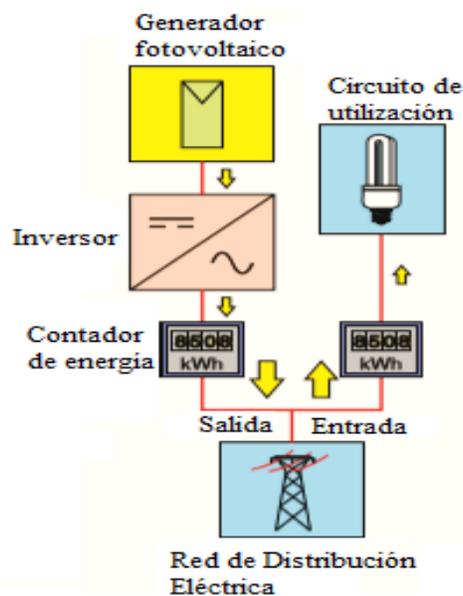


Figura 3. Sistema fotovoltaico para conexión a la red eléctrica

Fuente: (Rosas, 2009)

4.1.4. Generador fotovoltaico.

Los generadores fotovoltaicos están formados por dos o más módulos fotovoltaicos que producen corriente continua (DC) en función del nivel de irradiación recibido. A su vez los módulos están compuestos de un conjunto de células fotovoltaicas eléctricamente conectadas entre sí. De acuerdo con (Abella, 2005) los sistemas de generación se pueden dividir en los 3 subcomponentes: célula fotovoltaica, módulo y generador fotovoltaicos.

4.1.4.1. Célula y efecto fotovoltaicos.

Las células están diseñadas para albergar un efecto fotovoltaico, que es la base para convertir la irradiación en energía eléctrica. Dado que la luz solar está compuesta por fotones de diferentes longitudes de onda, y por lo tanto de diferente energía, al incidir sobre la célula fotovoltaica una parte de los fotones son reflejados y otra absorbidos, y estos últimos son los responsables de la generación de electricidad. Al ser absorbidos, su energía es transferida a uno de los electrones de los átomos de la célula fotovoltaica y así son capaces de escapar de su posición original. Este movimiento de electrones da lugar a una corriente eléctrica. Para que el fenómeno fotovoltaico ocurra las células deben ser de un material semiconductor (Silicio), el cual facilita la conductividad cuando aumenta la energía, pero actúa como aislante a bajas temperaturas (Abella, 2005).

En la Figura 4 se puede observar el proceso que ocurre al incidir la irradiación sobre los estos materiales.

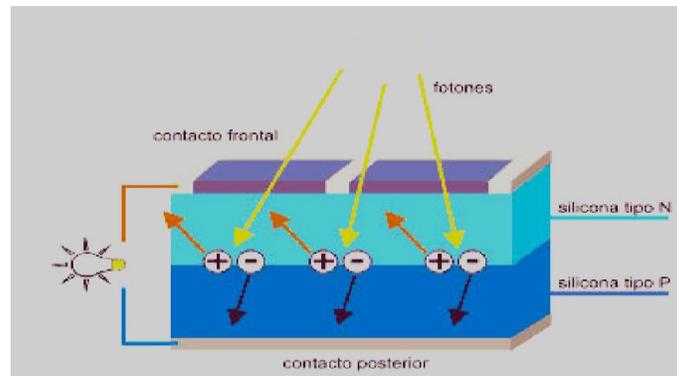


Figura 4. Representación de la célula fotovoltaica.

Fuente: (Pilco & Jaramillo, 2008)

4.1.5. Módulo Fotovoltaico.

El módulo fotovoltaico, también conocido como panel o placa solar, es el dispositivo que capta la energía solar para iniciar el proceso de transformación en energía sostenible. El material semiconductor del que está recubierto suele ser el silicio, un elemento básico para cada una de las células solares, es sensible a la luz y genera electricidad al recibir la radiación solar gracias al fenómeno físico conocido como efecto fotovoltaico (Fernández Ferichola, 2009). Las células pueden estar conectadas en serie o en paralelo, en función de la potencia que se desee obtener. La Figura 5 describe los elementos que componen un módulo fotovoltaico y las capas que protegen del exterior.

Las características principales de un módulo fotovoltaico que deben ser valoradas a la hora de su selección son las siguientes:

- Rendimiento de las células: está definido por el proceso de fabricación y representa la conversión de energía solar en eléctrica.
- Punto de trabajo en la curva I-V o resistencia de la carga: el punto de operación ideal es donde se genera la máxima potencia (PMP).
- Irradiación solar donde se va a producir el efecto fotovoltaico.
- Temperatura de las células fotovoltaicas (Abella, 2005).

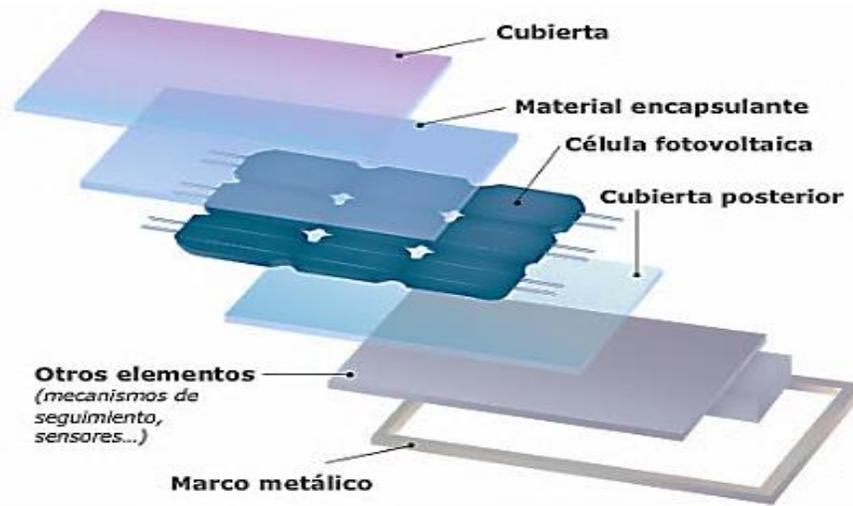


Figura 5. Representación de módulo fotovoltaico

Fuente: (Fernández Ferichola, 2009)

4.1.6. Inversor fotovoltaico.

Un inversor es un dispositivo capaz de convertir la corriente continua producida por el generador fotovoltaico en corriente alterna, igual a la utilizada en la red eléctrica; 120 v de valor eficaz y una frecuencia de 60 Hz (Díaz Martínez, 2017).

(Miranda Escobar, 2016) afirman, “*el lugar de instalación del inversor idealmente debe ser fresco y seco, protegido contra polvo, vapores, radiación directa y lluvia, y tener buena accesibilidad para hacer mantención en caso de necesitarse*” (p. 23).

La Figura 6 muestra el rendimiento de un inversor para diferentes regímenes de carga, se puede ver que el rendimiento del inversor disminuye cuando trabaja con la potencia de carga.

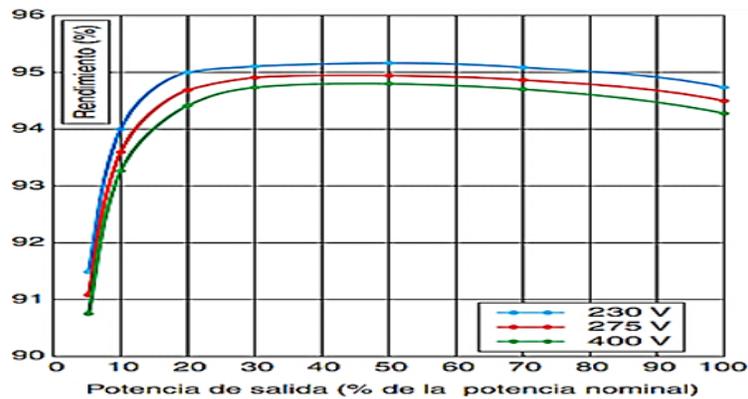


Figura 6. Curvas de rendimiento de inversor y variación con la tensión de entrada

Fuente: (Castejón & Santamaría, 1993)

Existen dos grandes tipos de inversores solares:

- a. Inversor de onda senoidal pura, genera energía eléctrica con las mismas características de la energía eléctrica de la red. Prolongando la vida de los aparatos electrónicos alimentados con la energía de los inversores de onda pura.
- b. Inversor de onda modificada, se pueden utilizar en aparatos eléctricos, considerando las características del aparato ya que no todos los inversores de onda modificada pueden hacer funcionar cualquier sistema solar fotovoltaica.

También existen inversores solares híbridos que funcionan para sistemas solares aislados o sistemas fotovoltaicos conectados a la red, con o sin banco de baterías, flexibles para adaptarse a cualquier tipo de instalación solar y por consiguiente para satisfacer la demanda eléctrica para distintas situaciones (Enerver, n.d.).

La información que se puede obtener de la ficha técnica proporcionada por el fabricante de un inversor puede incluir los siguientes parámetros.

- Potencia nominal y máxima, siendo ésta un porcentaje de sobrecarga que el equipo es capaz de soportar durante un determinado período de tiempo (indicado por el fabricante).
- Ventana de búsqueda del Punto de Máxima Potencia (MPP en siglas inglesas): es el rango de tensiones en las que el inversor aplica un algoritmo de búsqueda del MPP del generador fotovoltaico.

- Tensión máxima de entrada: es la máxima tensión que el inversor puede aguantar sin sufrir una avería. A diferencia de la ventana de tensiones anterior, sobrepasar esta tensión tiene consecuencias importantes sobre algunos componentes de entrada del inversor.
- Tensión nominal de salida: es la tensión de red a la que se puede conectar el inversor.
- Eficiencia máxima: máximo valor que toma la relación entre potencia de salida y potencia de entrada. En inversores de calidad la eficiencia es estable en un amplio rango de funcionamiento del equipo y de un valor cercano a la eficiencia máxima.
- Rendimiento europeo: es la relación entre la energía entregada por un inversor que recibe una energía producida por un generador fotovoltaico funcionando en unas condiciones de radiación características de la zona centroeuropea (Yang et al., 2020).

4.1.7. Medidor bidireccional.



Figura 7. Medidor bidireccional

Fuente: (Yang et al., 2020)

Los medidores Figura 7 de última generación permiten leer tanto la energía inyectada como la consumida por separado (no sólo la resta entre ambas), con lo cual se puede realizar el cálculo del pago por energía sin problemas para la distribuidora, cuando el precio del kWh comprado a la distribuidora es diferente al precio del kWh vendido a ésta. Además, algunos tienen la capacidad de detectar fallas y entregar información a la empresa distribuidora (Yang et al., 2020).

4.1.8. Tablero distribución.

Es el tablero donde se alojan las protecciones y dispositivos de maniobra para los circuitos de la instalación eléctrica; puede ser alimentado desde un tablero general o directamente desde el empalme, como ocurre generalmente en el caso de consumos domiciliarios. En un tablero de distribución se encuentran las principales protecciones, que son protecciones diferenciales y disyuntores monofásicos.

La protección diferencial es un dispositivo electromagnético que sirve para proteger a las personas del contacto directo con partes activas de la instalación o indirecto (falla en el aislamiento) y el disyuntor monofásico (o interruptor automático) es el encargado de abrir el circuito cuando la corriente que circula por él sobrepasa un valor crítico, con la finalidad de evitar daños en los equipos eléctricos (Miranda Escobar, 2016).

4.2. Marco regulatorio para sistemas fotovoltaicos a baja tensión conectados a la red eléctrica.

4.2.1. Generalidades.

Las leyes, reglamentos y regulaciones que se encuentran en vigencia y que conforman el marco jurídico, financiero en el cual se desarrolla la electrificación fotovoltaica en el Ecuador, se describen a continuación.

Regulación Nro. 002 ARCONEL - 042/18 (ARCONEL, 2018).

La presente regulación denominada “*Generación fotovoltaicas para el autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica*”, tiene como objetivo:

Establecer las condiciones para el desarrollo, implementación y participación de consumidores que cuenten con sistemas de microgeneración fotovoltaica - μ SFV- hasta 100kW de capacidad nominal instalada, ubicados en techos, superficies de viviendas o en edificaciones para las categorías residencial y general determinados en el pliego tarifario en bajo o medio voltaje.

Esta regulación es aplicable a empresas distribuidoras y para aquellos usuarios regulados, que decidan, previo al cumplimiento de requisitos, instalar un sistema de microgeneración fotovoltaica μ SFV con una capacidad nominal instalada de hasta 100 kW en medio y/o bajo

voltaje, que operen en sincronismo con la red, cuya producción sea autoconsumida en sus propias instalaciones y aporten eventuales excedentes a la red de distribución. De igual manera esta regulación determina:

- Las condiciones técnicas y comerciales para la instalación de sistemas fotovoltaicos hasta 100 kW de capacidad nominal instalada.
- Los requisitos y procedimiento para la conexión a las redes de la empresa distribuidora y la autorización de instalación y operación del μ SFV.
- La operación en sincronismo con la red de distribución y condiciones para la medición.
- El tratamiento comercial de la energía producida, de la energía consumida y eventuales excedentes de generación entregados al sistema de distribución (ARCONEL, 2018).

Regulación Nro. CONELEC - 004/11 (CONELEC, 2012).

La presente Regulación denominada “*Tratamiento para la energía producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales*”, tiene como objetivo:

- Establecer los requisitos, precios, su período de vigencia, y forma de despacho para la energía eléctrica entregada al Sistema Nacional Interconectado y sistemas aislados, por los generadores que utilizan fuentes renovables no convencionales.

Para los efectos de la presente Regulación, las energías renovables no convencionales comprenden las siguientes: eólica, biomasa, biogás, fotovoltaica, geotermia y centrales hidroeléctricas de hasta 50 MW de capacidad instalada (CONELEC, 2012).

Los precios para reconocer por energía medida en el punto de entrega se encuentran detallados en la Tabla 1.

Tabla 1. Precios preferentes energía renovables en (cusd/kwh)

Centrales	Territorio Continental	Territorio Insular de Galápagos
Eólica	9.13	10.04
Fotovoltaicas	40.03	44.03
Solar termoeléctrica	31.02	34.12
Corrientes marinas	44.77	49.25
Biomasa y biogás < 5MW	11.05	12.16
Biomasa y biogás > 5MW	9.60	10.56
Geotérmicas	13.21	14.53

Fuente:(NEC, 2011)

Norma NEC - 11

La Norma NEC - 11 parte 14.2 enfocado a Sistemas de Generación con Energía Solar Fotovoltaica para Sistemas Aislados y Conexión a Red de hasta 100 kW en el Ecuador tiene como objetivo:

- Establecer las especificaciones y características técnicas que deben tener los sistemas fotovoltaicos (SFV) que se emplean en la generación de energía de origen fotovoltaico en el Ecuador y los servicios que deben proporcionar las empresas proveedoras para garantizar la confiabilidad, seguridad y durabilidad de los componentes del sistema a instalar, según sus fichas técnicas.

Esta norma cubre los sistemas fotovoltaicos aislados de la red de cualquier potencia, según su aplicación. Cubre también los sistemas fotovoltaicos conectados a la red de hasta 100 kW de potencia nominal, definida como potencia del inversor.

La presente Norma establece que los componentes fotovoltaicos deben cumplir diferentes especificaciones detalladas a continuación:

Paneles Fotovoltaicos

- Debe cumplir al menos con la norma internacional IEC-61215 “Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para aplicación terrestre. Calificación del diseño y aprobación de tipo, IEEE1262 “Recommended Practice for Qualification of Photovoltaic (PV) Modules” o equivalente. Para los módulos de capa delgada se aplicarán al menos los procedimientos de certificación IEC-61646, SERI/TR-213-3624. Los módulos deben contar con diodos de protección de corriente inversa (bypass).
- Debe poseer un certificado del fabricante, con marca, modelo, potencia pico del módulo, tiempo de garantía de producción, condiciones técnicas de operación, curva intensidad de corriente vs. voltaje y curva o factor de reducción de capacidad por envejecimiento.
- El marco debe ser de aluminio anodizado, rígido y suficientemente resistente para que soporte tensiones mecánicas durante el transporte, instalación y operación. También debe ofrecer facilidad para fijación de los soportes y conexiones.
- La caja de conexión debe estar firmemente unida al módulo El índice de protección (IP) mínimo de la caja debe ser IP54.
- La potencia pico (Wp) del módulo fotovoltaico después de 20 años de operación, no debe ser inferior al 80 % de su potencia inicial
- Un módulo fotovoltaico igual o mayor a 140 Wp de potencia debe tener un voltaje nominal de 24 V

Regulador de Carga

- El controlador de carga debe ser fabricado bajo la norma internacional UL 1741 u otras normas aplicables. Las especificaciones de la presente norma aplican para reguladores de carga que trabajan con baterías solares de descarga profunda de plomo – ácido, estacionarias tipo tubular y selladas AGM o GEL.
- La operación del regulador de carga debe ser automática.

- La vida útil del regulador de carga debe ser igual o mayor a 10 años.
- Debe proveer protección contra descargas profundas de la batería.
- Debe proveer protección contra sobrecargas de la batería.
- El desempeño de las funciones de desconexión y reconexión de los módulos fotovoltaicos y de la carga, deben ubicarse dentro de los siguientes límites, para un voltaje del banco de baterías de 12 V, y correspondientemente para otros voltajes.
 - o Desconexión del arreglo fotovoltaico: entre 13,90 V y 14,60 V
 - o Reconexión del arreglo fotovoltaico: entre 12,60 V y 13,50 V
 - o Desconexión de la carga: entre 11,45 V y 11,90 V
 - o Reconexión de la carga: entre 13,20 y 13,60 V
- Debe poder operar en ambientes cuya humedad relativa supere 90 % y con temperaturas desde -5°C hasta 60°C .
- Todos los terminales del regulador deben poder acomodar fácilmente cables de calibre al menos # 10 AWG.
- Las caídas internas de tensión del regulador de carga deben ser consideradas dentro del valor máximo permitido para el SFV en las peores condiciones de operación, es decir, con todas las cargas apagadas y con la máxima corriente procedente del generador fotovoltaico.
- El regulador de carga debe ser capaz de resistir cualquier situación posible de operación “sin batería” en condiciones de carga permitida, limitando el voltaje de salida a un máximo de 1,3 veces del voltaje nominal.
- El regulador de carga debe resistir sin daño la siguiente condición de operación: temperatura ambiente 45°C , corriente de carga 25 % superior a la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico en las condiciones estándar de prueba, y corriente de descarga 25 % superior a la correspondiente a todas las cargas encendidas al voltaje nominal de operación.
- El regulador de carga no debe producir interferencias en las radiofrecuencias en ninguna condición de operación.

- El regulador de carga debe estar protegido contra polaridad inversa y sobretensiones tanto en la línea del generador como en la de la batería.
- El usuario debe ser alertado de que el estado de carga de la batería alcanzó el nivel mínimo antes de la desconexión automática de las cargas, que puede ser repuesta manualmente.
- El autoconsumo del controlador en cualquier condición climática, geográfica y de funcionamiento solicitado no debe exceder el 2/1000 de su capacidad nominal de carga (lado del generador fotovoltaico) en amperios.
- La información mínima proporcionada por el regulador de carga debe ser la siguiente:
 - o Estado de carga referencial de la batería
 - o Señal visual o audible por cercanía de desconexión del consumo.
 - o Señal visual o audible por desconexión del consumo
- La caja del regulador de carga debe poseer, como mínimo, un índice de protección según las normas IEC 529 o DIN 40050:
 - o IP 32 al instalar en regiones andinas.
 - o IP 44 cuando sean instalados en regiones de tropicales y Amazónicas
- Opcionalmente, el regulador de carga podrá ser instalado en una caja certificada con el índice de protección correspondiente a cada caso. El volumen mínimo de esta caja debe ser equivalente a 2 veces el volumen del regulador de carga.
- De no contar el regulador de carga con una protección electrónica, este debe ser protegido mediante fusibles.

Baterías

Las características principales de las baterías solares son:

- Entregar el máximo valor de corriente a una carga fija en forma continua durante un determinado número de horas sin necesidad de recarga.
- Permitir un alto grado de profundidad de descarga (PdD).
- Tener una larga vida útil determinada por el máximo número de ciclos (NOC) de carga y descarga.

Especificaciones

- Las baterías para aplicaciones solares deben estar fabricadas de conformidad con la norma IEC 61427 (Secondary cells for solar photovoltaic energy systems. General requirements and test methods) u otra Norma internacional aplicable.
- Ser nuevas y libres de daños físicos al momento de instalarse lo cual implica que la caja o contenedor no presente grietas o fisuras, infladas, abolladuras, golpes, sus terminales no deben presentar deformaciones ni desajustes.
- Los terminales deben ser de tuerca tornillo de material de bronce o acero inoxidable, lo que permitirá que no presenten desajustes en las conexiones.
- Soportar al menos 8 eventos de descarga (al 50 % de la capacidad) por año sin que se reduzca el tiempo especificado de su vida útil.
- Tener un régimen de autodescarga no mayor de 5 % por mes.
- El material de construcción de la caja y de la tapa debe ser rígido y de materiales retardantes de llama.
- Una batería con más de tres meses de fabricación previa su instalación debe ser recargada.
- El banco de baterías debe colocarse en un lugar ventilado, con acceso restringido y protegido del ambiente.
- Se recomienda dispongan de válvula de seguridad o de alivio de acción automática para regular la presión interna que puede incrementarse durante la operación.
- La máxima profundidad de descarga, PdDmax (referida a la capacidad nominal de la batería en 20 horas) no debe exceder los valores propuestos en la Tabla 2.
- La vida de la batería (es decir, antes de que su capacidad residual caiga por debajo del 80 % de su capacidad nominal) a 20°C, debe exceder un cierto número de ciclos, NOC, a una PdD del 50 %, dada por la Tabla 2.

Tabla 2. Máxima profundidad de descarga en función del tipo de batería.

Tipo de Batería	Máxima PdD (%) Recomendado	Número de ciclos NOC a 50% PdD
Tubular o estacionaria	80	3600
Estacionaria sellada	60	600 - 1200
Plomo acido solar abierta	50	900 - 1000
Plomo acido sellada GM	60	500 - 800
Plomo acido sellada GEL	60	600 - 950
Ion Litio	100	Más de 1000
Sodio Azufre (NaS)	80	Más de 4000

Fuente:(NEC, 2011)

- Se debe asegurar que la capacidad inicial de las baterías puestas en operación no difiera en más del 5 % de su valor nominal.

Inversor de conexión a la red

- El inversor de conexión a red debe cumplir los requisitos de la norma IEC 61683:1999, UL458 u otras normas equivalentes aplicables.
- Las características básicas de los inversores serán las siguientes:
 - o Principio de funcionamiento: fuente de corriente.
 - o Auto conmutados.
- Seguimiento automático del punto de máxima potencia del generador.
- Deben poseer todas las protecciones a equipos y personas especificadas en la presente norma.
- El diseño debe asegurar que en ningún caso el sistema inyecte corriente continua a la red eléctrica.
- El tiempo de reconexión después de una falla en la red eléctrica, y una vez que se ha restablecido el servicio normal de la misma, no debe ser superior a 2 minutos y el accionamiento será automático.

- Debe tener protección contra polaridades inversas.
- Su operación debe ser silenciosa (menor a 40 dB) y no debe presentar ruidos inducidos por transformadores y mucho menos por desajustes mecánicos.
- Las perturbaciones generadas por armónicos deben ser los aceptados por la normativa ecuatoriana correspondiente.
- El inversor debe cumplir con las condiciones de calidad y confiabilidad del servicio según las regulaciones del sector eléctrico ecuatoriano, incorporando como mínimo las siguientes protecciones:
 - o Cortocircuitos en alterna.
 - o Tensión de red fuera de rango.
 - o Frecuencia de red fuera de rango.
 - o Sobretensiones, mediante varistores o similares.

Cada inversor incorporará, al menos, los controles manuales siguientes:

- o Encendido y apagado general del inversor.
- o Conexión y desconexión del inversor a la CA de la red.
- o Podrá ser externo al inversor.

Las características eléctricas de los inversores serán las siguientes:

- o Deben ser de onda senoidal pura.
- o La eficiencia a potencia pico será mayor a 90 %
- o El autoconsumo del inversor en modo nocturno debe ser inferior al 1 % de la potencia nominal.
- o El factor de potencia debe ser superior a 0,96 entre el 25 % y el 100 % de la potencia nominal.
- o El inicio de inyección de energía a la red, debe ocurrir antes del 10 % de su potencia nominal.
- o El valor de distorsión armónica total (THD) no será mayor al 2 %.
- o La potencia pico instantánea deberá ser mayor al 100 % de la potencia nominal.
- o Debe cumplir al menos las especificaciones de seguridad y compatibilidad electromagnética dada en las normas UL 458 / FCC Clase B.

- o Se recomienda satisfaga la especificación e-Mark e-13* 72/245/EEC, 95/54/EC.

Los inversores tendrán un grado de protección mínima IP 20 para inversores en el interior de edificios y lugares inaccesibles, IP 30 para inversores en el interior de edificios y lugares accesibles, y de IP 65 para inversores instalados a la intemperie.

Los inversores estarán garantizados para operación en las siguientes condiciones ambientales: entre 0°C y 40°C de temperatura y entre 0 % y 85 % de humedad relativa.

La vida útil de los inversores de conexión a la red no debe ser inferior a 10 años.

Cables

- Las secciones de los conductores externos deben ser tales que las caídas de tensión en ellos sean inferiores al 3 % entre el arreglo fotovoltaico y el regulador de carga, inferiores al 1 % entre la batería y el regulador de carga, e inferiores al 3 % entre el regulador de carga y las cargas. Todos estos valores corresponden a la condición de máxima corriente.
- El cable entre el arreglo fotovoltaico y el regulador de carga se debe seleccionar de tal forma que su capacidad sea 1.25 veces la corriente de cortocircuito de todo el campo fotovoltaico. Igual para el cable entre el regulador y la batería.
- Los cables exteriores de la instalación fotovoltaica deben ser especificados para uso en presencia de humedad, temperatura 90°C, doble aislamiento multifilares y resistentes a los rayos ultravioleta, tipo XHHN (ssss), superflex, o similar.
- Las instalaciones interiores de las viviendas que utilicen los sistemas fotovoltaicos aislados de la red deben usar conductores bipolares de doble aislamiento, o unipolares en tubería. Estos cables pueden ser del tipo THW y multifilares.
- Todos los terminales de los cables deben permitir una conexión segura y mecánica fuerte. Deben tener una resistencia interna pequeña, que no permita caídas de tensión superiores al 0,5 % del voltaje nominal. Esta condición es aplicable a cada terminal en las condiciones de máxima corriente.
- Los terminales de los cables no deben favorecer la corrosión que se produce cuando hay contacto entre dos metales distintos.

- Los extremos de los cables de sección $\geq 4 \text{ [mm]}^2$ deben estar dotados con terminales específicos y de cobre. Los extremos de los cables de sección $\leq 4 \text{ [mm]}^2$ podrán retorcerse y estañarse para lograr una conexión adecuada.
- Los fusibles deben elegirse de modo tal que la máxima corriente de operación esté en el rango del 50 al 80% de la capacidad nominal del fusible (NEC, 2011).

4.2.2. Softwares y Hardware.

La disponibilidad de softwares y hardware ingenieriles pone al alcance herramientas que facilitan determinar la demanda de energía eléctrica necesaria para una vivienda, para ejecutar un futuro diseño fotovoltaico tanto técnico como económicamente eficiente, de la misma manera nos permiten monitorizar, adquirir y transferir datos eléctricos para ser evaluados.

Solaris PV

Es un software completo, fiable e innovador para el diseño y la simulación técnica económica de instalaciones fotovoltaicas de cualquier tipo y dimensión.

Solaris PV estima la producción solar fotovoltaica a partir de datos reales de irradiación solar disponibles para numerosos lugares del mundo, adquiriendo desde las principales bases de datos climáticos como PVGIS, Meteonorm etc., también permite configurar desde las coordenadas GPS de la localidad deseada, a su vez brinda la posibilidad de crear un archivo personalizado con datos climáticos de estaciones meteorológicas. Cuenta con extensas librerías completas y actualizadas como de detalla a continuación:

- Librerías de módulos, inversores, baterías y componentes fotovoltaicos completos con los artículos más utilizados.
- Librerías de perfiles de consumo (cargas eléctricas) con estimación analítica horaria de los consumos horarios por tipología de usuario (oficina, vivienda etc.) o por tipología de dispositivo (pc, lavadora, horno etc.) (Umar et al., 2018).

Arduino

Es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines hembra. Estos permiten

establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera muy sencilla.



Figura 8. Arduino Uno.

Fuente: (Nayyar & Puri, 2016)

Arduino Figura 8 es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores. Esta plataforma permite crear diferentes tipos de microordenadores de una sola placa a los que la comunidad de creadores puede darles diferentes tipos de uso. El software libre son los programas informáticos cuyo código es accesible por cualquiera para que quien quiera pueda utilizarlo y modificarlo. Arduino ofrece la plataforma Arduino IDE (Entorno de Desarrollo Integrado), que es un entorno de programación con el que cualquiera puede crear aplicaciones para las placas Arduino, de manera que se les puede dar todo tipo de utilidades (Nayyar & Puri, 2016).

IDE Arduino

Es un entorno de programación que ha sido empaquetado como un programa de aplicación; es decir, que consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI). Además, en el caso de Arduino incorpora las herramientas para cargar el programa ya compilado en la memoria flash del hardware (Nayyar & Puri, 2016).

El IDE de Arduino se compone de 3 partes principalmente:

Botonera o barra de navegación:

- Verificar: Se encarga de verificar la sintaxis de nuestro programa.
- Cargar: Si la verificación ha sido correcta, podemos cargar el código en nuestra placa de Arduino.

- Nuevo: Simplemente abrimos un documento vacío (salvo funciones principales) para comenzar un nuevo programa.
- Abrir: Para abrir proyectos en otros directorios o rutas.
- Guardar: Simplemente guarda el programa en el directorio que especifiquemos (si es la primera vez que lo guardamos).
- Monitor serial: Supongamos que necesitamos saber en algún momento qué ocurre dentro de nuestra placa de Arduino, pues bien, mediante el monitor serial podemos enviar datos que se mostrarán en nuestro monitor.

Editor de programación

Es la parte principal de Arduino IDE, básicamente donde se programan las líneas y líneas de código en lenguaje processing.

Notificaciones:

Conocido normalmente por consola, es la parte de depuración donde notifica al programador sobre errores de sintaxis, comunicación, etc.

Módulo NodeMCU

El NodeMCU Figura 9 es un kit de desarrollo de código abierto basado en el popular chip ESP8266 (ESP-12E), que utiliza el lenguaje de programación Lua para crear un ambiente de desarrollo propicio para aplicaciones que requiera conectividad Wifi de manera rápida.

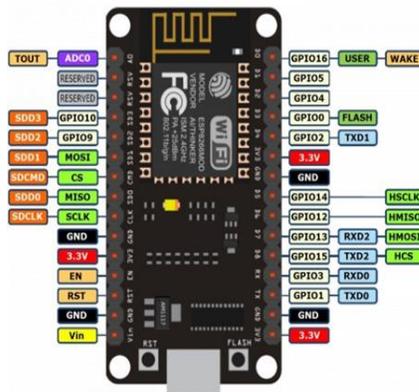


Figura 9. NodeMCU.

Fuente: (Parihar, 2019)

Algunas de sus características más relevantes son:

- Voltaje de Alimentación (USB): 5V DC
- Voltaje de Entradas/Salidas: 3.3V DC
- SoC: ESP8266 (Módulo ESP-12)
- CPU: Tensilica Xtensa LX3 (32 bit)
- Frecuencia de Reloj: 80MHz/160MHz
- Instruction RAM: 32KB
- Data RAM: 96KB
- Memoria Flash Externa: 4MB
- Pines Digitales GPIO: 17 (pueden configurarse como PWM a 3.3V)
- Pin Analógico ADC: 1 (0-1V)
- Chip USB-Serial: CP2102
- Certificación FCC
- Antena en PCB
- Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP
- Stack de Protocolo TCP/IP integrado
- PLLs, reguladores, DCXO y manejo de poder integrados
- Potencia de salida de +19.5dBm en modo 802.11b
- Corriente de fuga menor a 10uA (Parihar, 2019).

Convertidor analógico digital ADC ADS1115

Este módulo se encarga de medir y convertir señales analógicas a digitales, consta de un convertidor delta sigma de 16 bits de resolución, tiene la capacidad de leer 4 señales analógicas individuales o diferenciales, las ganancias son programables que permiten 256 mV en escala completa e integra un comparador programable con salida directa al pin. Los datos digitales son leídos mediante bus I2C y puede alcanzar hasta 860 muestras por segundo en la Figura 10 se muestra el módulo (Itterheimová et al., 2021).

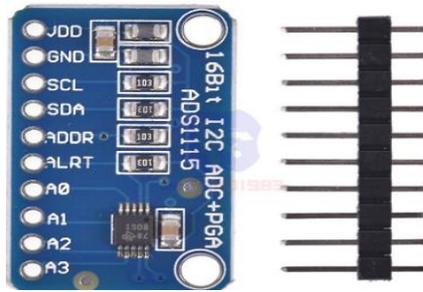


Figura 10. Convertidor analógico digital ADC ADS1115.

Fuente: (Itterheimová et al., 2021)

Algunas de sus características técnicas son las siguiente:

- Voltaje de Alimentación: 2.0V- 5.5V DC
- Corriente de alimentación: 200uA en modo de lectura continua, y un modo de auto apagado 5uA
- Interfaz con microcontrolador: I2C
- Chip principal: ADS1115
- Muestras por segundo: 8 - 860
- Voltaje de referencia estabilizado interno
- canales en modo individual, 2 canales en modo comparador
- Comparador programable
- Dirección I2C: seleccionable con el pic addr, hasta cuatro direcciones 0x48-0x4B.
- Circuito de acondicionamiento con divisor de voltaje y filtro RC (Itterheimová et al., 2021).

Sensor SCT-013

El sensor de corriente no invasivo SCT-013 Figura 11 permiten medir la intensidad de corriente que atraviesa un conductor sin necesidad de cortar o modificar el mismo conductor (Llamas, 2017).

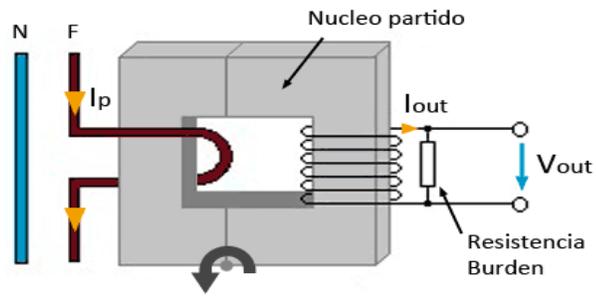


Figura 11. Modo de empleo del sensor sct-013.

Fuente: (Llamas, 2017)

Estos sensores son básicamente transformadores de corriente (TC), disponen de un núcleo ferromagnético “partido” por la mitad que permite su apertura para enrollar un conductor, existen principalmente 2 modelos, uno que proporciona una salida de intensidad y otro que proporciona una salida de tensión, como se puede apreciar en la Figura 12.

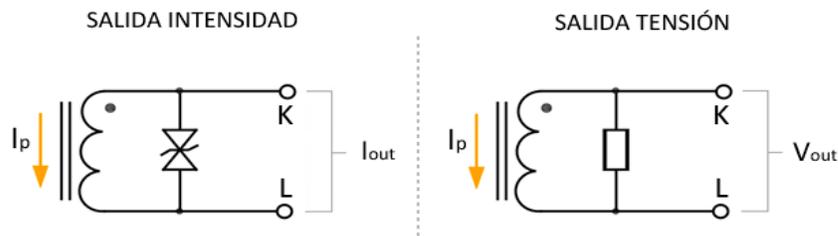


Figura 12. Modo de lectura de datos STC-013.

Fuente: (Llamas, 2017)

Puente rectificador de diodos

Es un dispositivo eléctrico que transforma corriente alterna (AC) en corriente continua (DC) se muestra en la Figura 13.

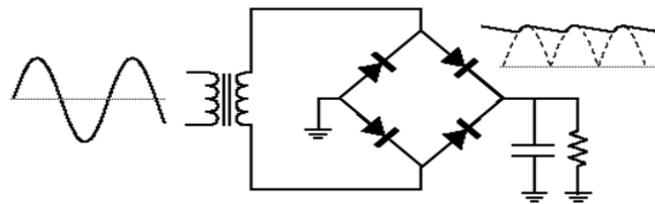


Figura 13. Puente rectificador de diodos.

Fuente:(Olmos Sanchis & Pinci Ferrer, 2019)

Regulador de tensión LM7805

Es un dispositivo capaz de modificar una señal de tensión que se obtiene a su entrada y entregar a la salida una señal diferente de voltaje, como se muestra en la Figura 14.

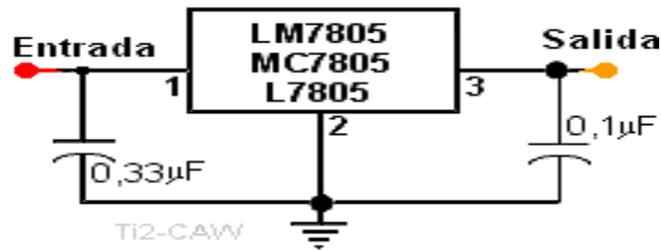


Figura 14. Regulador de tensión LM7805.

Fuente:(Parrado et al., 2010)

Características LM7850

- Voltaje de salida: +5 V
- Corriente de salida max.: 1 A
- Protección contra sobrecarga térmica
- Limitación interna de corriente contra cortocircuitos
- Voltaje de entrada máximo: 35 V
- Tolerancia: 4%
- Caída de voltaje: 2 V típico (Parrado et al., 2010)

Sensor SCT-013

Son sensores de corrientes no invasivos que permiten medir la intensidad que atraviesa un conductor sin necesidad de cortar o modificar el conductor (Llamas, 2017)



Figura 15. Sensor SCT – 013.

Fuente:(Llamas, 2017)

Ubidots

Ubidots Figura 16 es una plataforma de desarrollo de aplicaciones de IoT que proporciona un método simple y seguro para enviar y recibir datos hacia y desde dispositivos IoT utilizando la red global en la nube en tiempo real, permitiéndoles recuperar y usar fácilmente los datos del sensor en todo el mundo y convertirlos en algo útil (Ubidots, 2021).

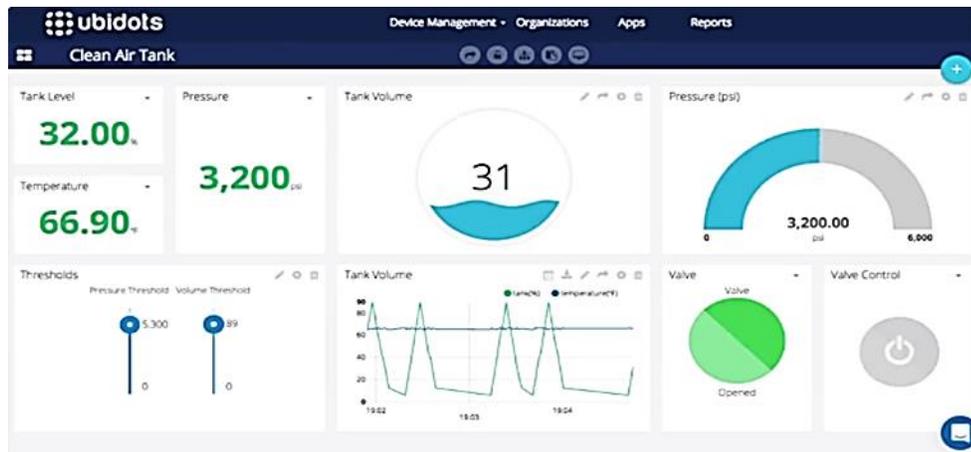


Figura 16. Interfaz plataforma Ubidots.

Fuente:(Ubidots, 2021)

Características

- Conexión del hardware a la nube con multitud de bibliotecas, SDKs y tutoriales.
- Configuración automática de variables, propiedades y de apariencia de los dispositivos para replicar el proceso en nuevos dispositivos.
- Mejora de la supervisión y el análisis de datos de las aplicaciones con integraciones API.
- Transformación de datos nativos en información mediante variables sintéticas.
- Creación de cuadros de mando en tiempo real para el análisis de datos y control de los dispositivos.
- Facilita compartir datos con enlaces públicos o integrando cuadros de mando o widgets en aplicaciones web privadas y móviles.

- Asignación de permisos y restricciones a cualquier usuario que interactúe con cuadros de mando, dispositivos y/o eventos (Martín-Lopo et al., 2020)

4.3. Factor de Planta, Índice de Rendimiento y Factores eléctricos Fundamentales

4.3.1. Factor de planta

El factor de planta se define como el cociente entre la energía real generada por el sistema fotovoltaico durante un periodo de tiempo, que puede ser días, meses, años y la energía que en teoría debería generar si hubiese trabajado a plena carga durante el mismo intervalo de tiempo. Se calcula mediante la ecuación.

$$FP = \frac{\text{Energía real generada}}{\text{Energía teórica generada}} * 100\% \quad \text{Ec.1}$$

El factor de planta promedio máximo experimentado por plantas de generación fotovoltaicas en Ecuador es aproximadamente 25.25% (Castaño, 2004).

4.3.2. Coeficiente de rendimiento

El coeficiente de rendimiento indica en porcentaje y expresa la relación entre el rendimiento real y el rendimiento nominal de la instalación fotovoltaica. De esta forma indica el porcentaje de energía realmente disponible para la alimentación tras haber descontado las pérdidas energéticas (debido a pérdidas térmicas y a pérdidas por cableado) y el consumo propio para la operación. Cuanto más cercano al 100 % sea el valor del coeficiente de rendimiento calculado para una instalación fotovoltaica, de manera más efectiva trabajará esta instalación fotovoltaica. No obstante, no es posible alcanzar un valor real del 100 % puesto que durante la operación de la instalación fotovoltaica se producen siempre pérdidas inevitables (pérdidas térmicas por el calentamiento de los módulos fotovoltaicos). Sin embargo, las instalaciones fotovoltaicas eficientes alcanzan un coeficiente de rendimiento de hasta el 80 % (SMA, 2011).

$\begin{aligned} &\text{Índice de rendimiento} \\ &= \frac{\text{Rendimiento real de la instalación en kWh al año}}{\text{Rendimiento nominal calculado de la instalación en kWh al año}} \end{aligned}$	Ec.2
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------

4.3.3. Factores eléctricos fundamentales

Valor eficaz

El V_{RMS} se define como el valor del voltaje o corriente en C.A. que produce el mismo efecto de disipación de calor que su equivalente de voltaje o corriente directa, y se determina mediante las siguientes ecuaciones.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} v^2(n)}{N}} \quad \text{Ec.3}$$

Donde.

$v(n)$: Es la tensión instantánea

N: Número de muestras

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} I^2(n)}{N}} \quad \text{Ec.4}$$

Donde.

$I(n)$: Es la corriente instantánea.

N: Numero de muestras.

Potencia aparente

La potencia aparente se define como el producto entre I_{rms} y V_{rms}

$$S = I_{rms} V_{rms} \quad \text{Ec.5}$$

Donde.

I_{rms} : Corriente eficaz.

V_{rms} : Tensión eficaz.

Potencia activa

Es la cantidad total de potencia «útil» que consume un equipo eléctrico, es decir la potencia en kW realmente utilizada para realizar el trabajo.

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v(n) i(n) \quad \text{Ec.6}$$

Donde.

$v(n)$: Es la tensión instantánea.

$i(n)$: Es la corriente instantánea.

Potencia reactiva

La potencia reactiva es la encargada de generar el campo magnético que requieren para su funcionamiento los equipos inductivos como los motores y transformadores, se calcula mediante la ecuación.

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad \text{Ec.7}$$

Donde.

S^2 : Potencia aparente del sistema

P^2 : Potencia activa del sistema

Factor de potencia

Se define como la relación entre la potencia activa, P, y la potencia aparente, S, o bien como el coseno del ángulo que forman los fasores de la intensidad y el voltaje, se determina mediante:

$$FP = \frac{P}{S} \quad \text{Ec.8}$$

Donde.

P: Potencia activa del sistema

S: Potencia aparente del sistema.

5. MATERIALES Y METODOS

5.1. Materiales.

Para la elaboración del presente trabajo de investigativo se aplicó una encuesta para la obtención de los datos de consumo promedio de energía de los diferentes cantones de las provincias que conforman la Zona 7 del Ecuador (El Oro – Loja – Zamora Chinchipe), en la misma se realizaron interrogantes como el número de personas que habitan en la vivienda, tipo de electrodomésticos usados, código único eléctrico, etc. véase anexo 1.

Se utilizaron, además, catálogos de componentes fotovoltaicos, así como programas de computación como Microsoft Office 2016, Mendeley, el Software Solarios PV, Software y hardware Arduino, la plataforma virtual Ubidots, datos de radiación, estación meteorológica la Argelia y componentes electrónicos.

Fue necesaria la revisión bibliográfica para la fundamentación científico teórico – técnica que el desarrollo investigativo propuesto requirió.

Cada uno de estos elementos, de acuerdo con sus características particulares y especiales, permitieron el desarrollo de los objetivos propuestos, así como la redacción pertinente.

5.2. Métodos.

- **El método de observación**

Aplicando este método permitió determinar los equipos y elementos necesarios a utilizar para solventar la propuesta planteada, tomando en consideración el modelo de vivienda.

- **El método científico**

Este método permitió a través de la revisión de literatura identificar trabajos relaciones, modelos, y sobre todo esclarecer la problemática, así mismo, recolectar los datos necesarios de revistas, blogs, folletos y demás material de apoyo relacionado sobre el uso de la plataforma de Internet de las Cosas Ubidots y el lenguaje de programación Arduino, y todo lo referente a los costos directos e indirectos de la propuesta fotovoltaica.

- **Método deductivo**

Permitió a través de los resultados realizar las conclusiones y recomendaciones alineadas a los objetivos planteados.

6. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

En el presente apartado se describe los procesos para el desarrollo de la propuesta. Se realizó la consulta del consumo eléctrico mensual durante el periodo julio 2018 – julio 2019 de los usuarios encuestados, para lo cual se utilizó la plataforma web de la Corporación Nacional de Electricidad del Ecuador y Empresa Eléctrica Regional del Sur, donde ingresando a la opción valores por consumo energía como se muestra en la Figura 17, se abre una ventana en la cual se elige la opción consultar por código único eléctrico nacional, y se obtiene el consumo eléctrico para este periodo como se puede observar en la Figura 18.



Figura 17. Plataforma web EERSSA

Fuente: (EERSSA, 2021)

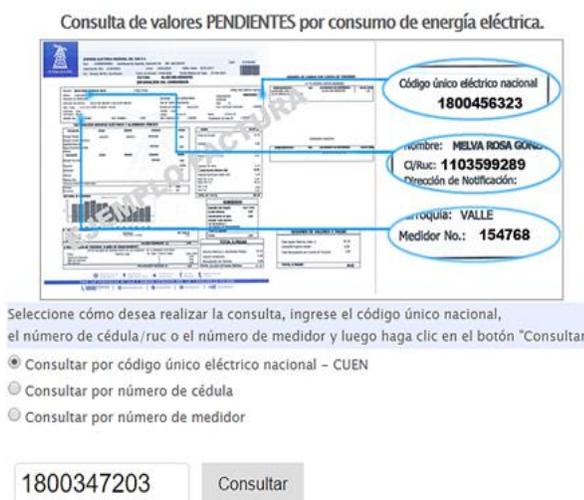


Figura 18. Plataforma de consulta de valores de consumo de energía eléctrica

Fuente: (EERSSA, 2021)

Obtenido los datos de consumo eléctrico, como se muestra en la Tabla 3 para los diferentes usuarios encuestados, con la ayuda de una hoja del software Microsoft Excel se generan las curvas de consumos eléctricos mínimo, medio y máximo por Cantón, Provincia y piso climático correspondiente, como se muestra en la Figura. 19.

Tabla 3. Datos de consumo eléctrico mensual *el Guabo*

Mes	Ord	Us1	Us2	Us3	Us4	Us5	Media	Min	Max	Mediana	Dev-est
ene	1	146	110	90	139	120	121	90	146	120	22.54
Feb	2	135	120	80	127	92	110.8	80	135	120	23.64
Mar	3	129	180	83	133	97	124.4	83	180	129	37.59
Abr	4	152	100	94	144	117	121.4	94	152	117	25.86
May	5	152	130	105	143	105	127	105	152	130	21.55
Jun	6	100	148	106	148	119	124.2	100	148	119	22.79
Jul	7	131	140	88	110	95	112.8	88	140	110	22.42
Jul	7	160	120	93	137	108	123.6	93	160	120	25.97
Ago	8	129	150	94	120	110	120.6	94	150	120	20.95
Sep	9	114	153	86	100	85	107.6	85	153	100	28.01
Oct	10	129	165	70	109	114	117.4	70	165	114	34.38
Nov	11	131	157	74	121	97	116	74	157	121	31.84
Dic	12	128	164	71	130	102	119	71	164	128	34.71

Fuente: Autor

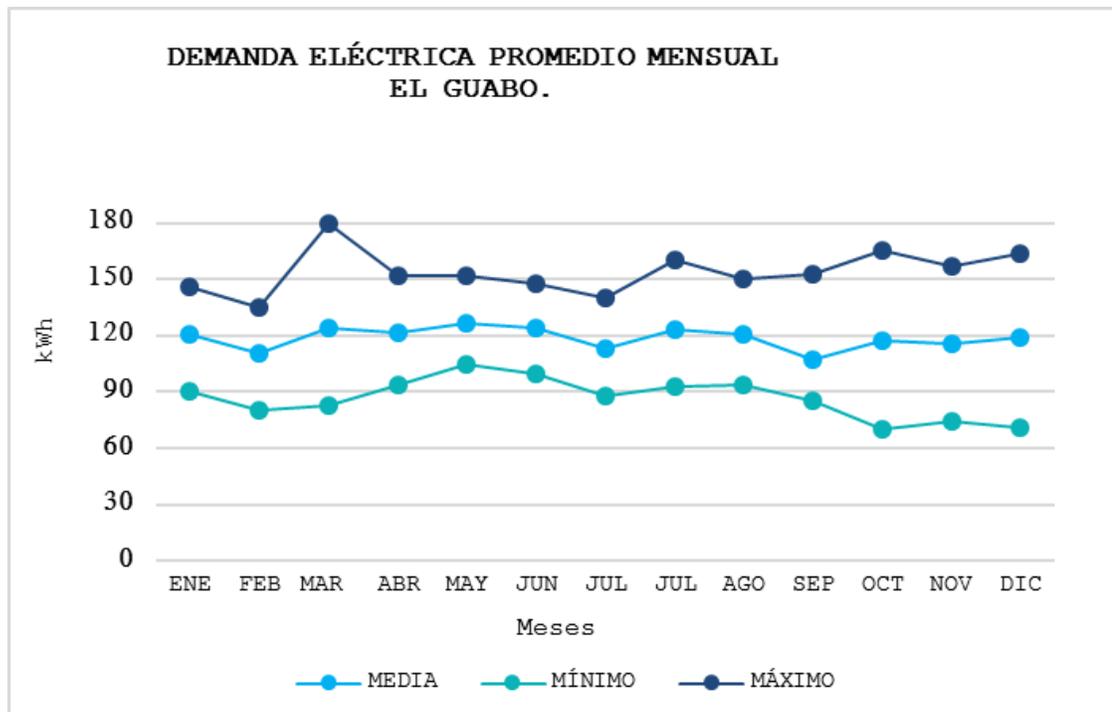


Figura 19. Curvas de demanda eléctrica mínima, media, máxima
Fuente: Autor

Para la generación de las curvas de demanda eléctrica por piso climático, de cada una de las 3 provincias se agruparán de la siguiente manera:

Zona cálida: cantones con una altitud entre 0 - 1000 msnm y temperatura promedio de 25°C.

Zona templada: cantones con una altitud entre 1000 - 2000 msnm y temperatura promedio de 19.5 °C.

Zona fría: cantones con una altitud entre 2000 - 3000 msnm y temperatura promedio de 12°C.

La curva final para la Zona 7 del Ecuador estará conformada por todos los cantones de las provincias El Oro, Loja y Zamora Chinchipe.

6.1. Descripción de la vivienda en estudio

La localización de la vivienda para la instalación fotovoltaica a proyectar se encuentra ubicada en la ciudad de Loja, Facultad de Energía y los Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja, situada a 2140 metros sobre el nivel del mar y sus coordenadas son:

Tabla 4. Coordenadas geográficas de la vivienda en estudio.

Latitud	04°01'50" S
Longitud	79°11'58" W

Fuente: Autor

En la Figura 20 y Figura 21 se muestra la ubicación exacta de la casa en estudio:

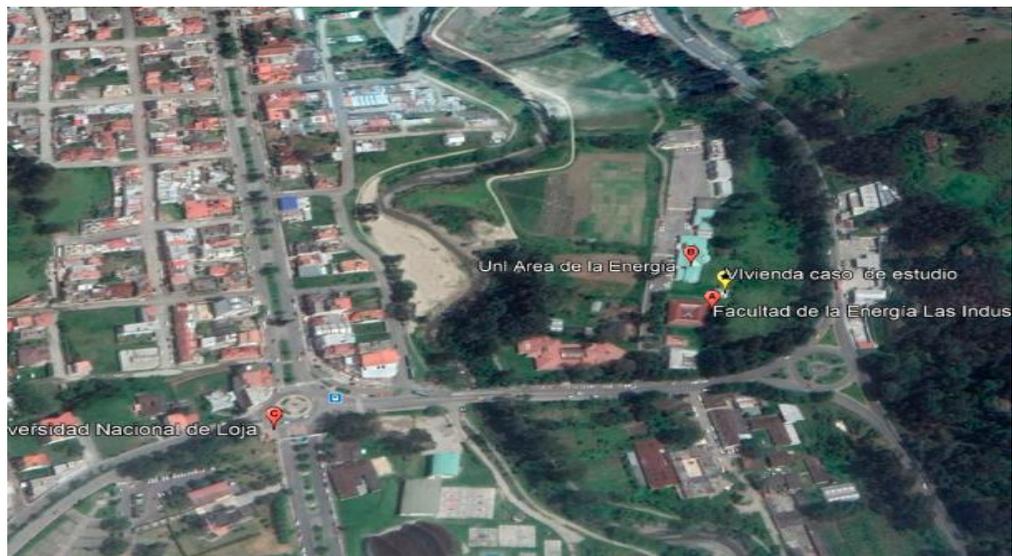


Figura 20. Vista aérea de la vivienda en estudio (FEIRNNR).

Fuente: Autor



Figura 21. Vivienda en estudio UNL.

Fuente: Autor

6.2. Adquisición de datos de irradiación solar, estación meteorológica La Argelia.

Los datos de irradiación solar se obtuvieron de la estación meteorológica La Argelia estación que está a cargo del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMI). Una vez obtenidos los datos se procedió a realizar la depuración y procesamiento de los mismo realizando las conversiones de unidades y cálculo de promedios mensuales, mediante Microsoft Excel®, como se puede observar en el Anexo 3.

6.3. Diseño del sistema fotovoltaico para la vivienda en estudio.

6.3.1. Diseño del sistema fotovoltaico sin almacenamiento.

Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico de la vivienda en estudio, se utilizó el Software Solarius PV, se detalla a continuación el proceso:

- **Abrir Solarius PV.**

Al abrir el software, se accede a la interfaz principal llamada Home, donde se crea un nuevo documento eligiendo instalación monofásica en baja tensión, véase Figura 22.

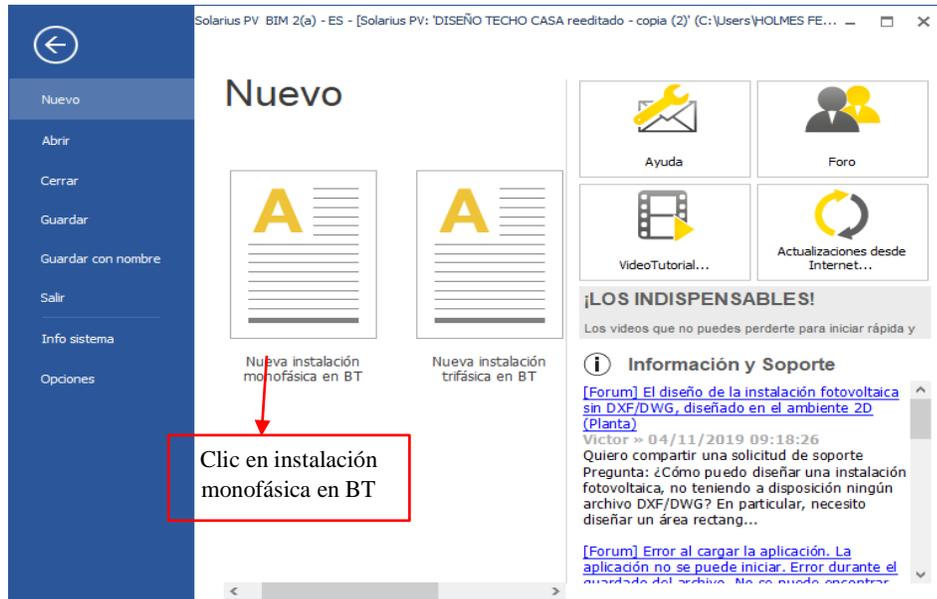


Figura 22. Interfaz principal del software Solarius PV.

Fuente: Autor

A continuación, el software presenta un nuevo archivo, donde en la parte izquierda presenta una estructura árbol que permite definir los pasos lógicos a seguir, como se observa en la Figura 23.

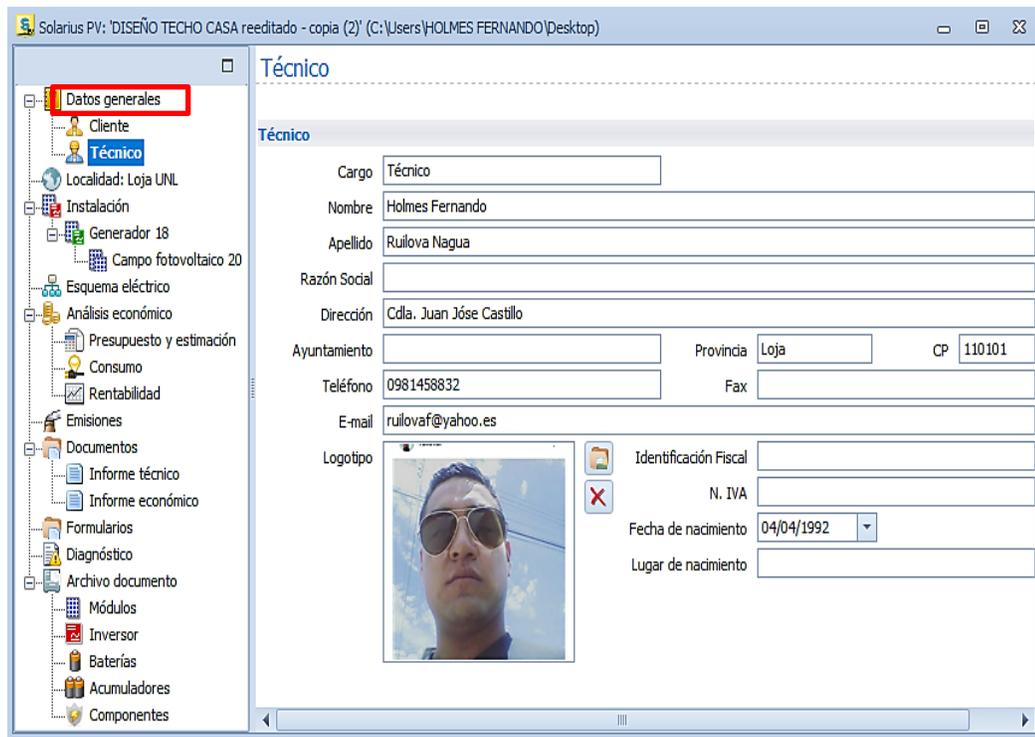


Figura 23. Estructura de desarrollo del diseño Solarius PV

Fuente: Autor

Seleccionar datos generales como observamos en la Figura. 23. En este apartado se caracterizan de manera personalizada, los datos geográficos y de irradiación solar sobre el plano horizontal (kWh/m^2), obtenidos a través de la estación meteorológica La Argelia, como se puede apreciar en la Figura. 24.

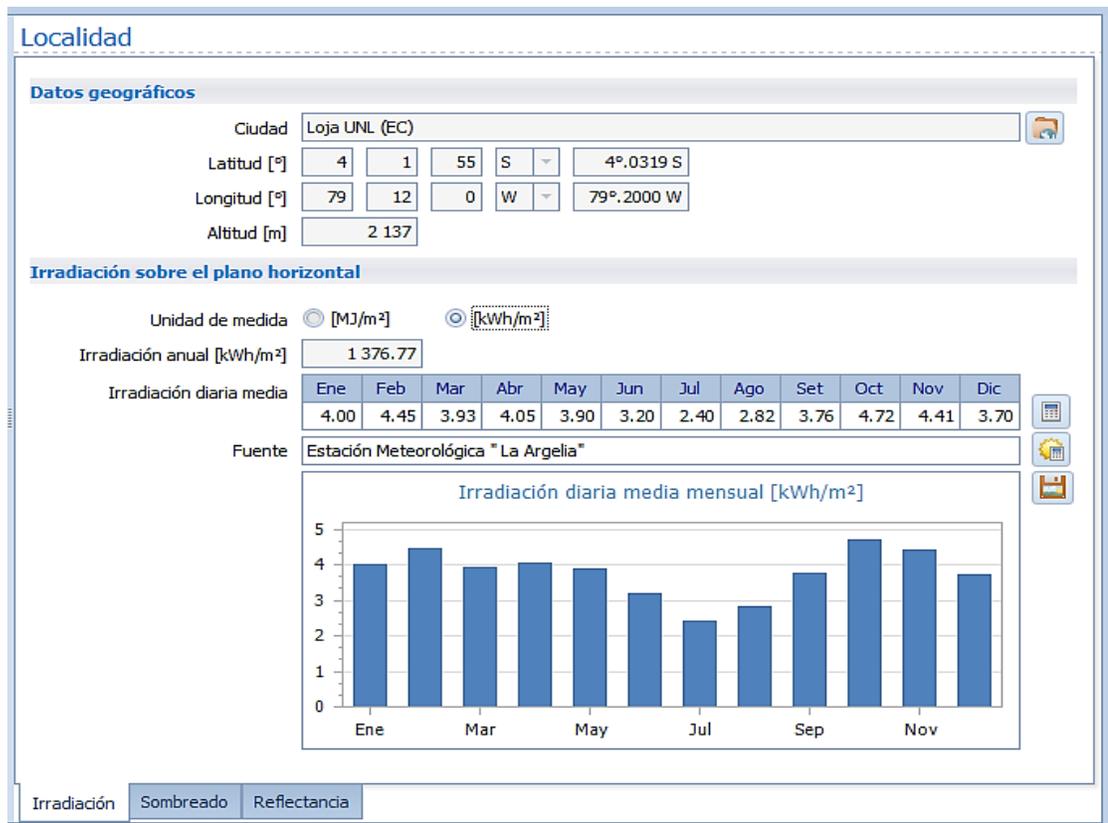


Figura 24. Datos geográficos e irradiación solar.

Fuente: Autor

De la misma manera accediendo a la pestaña **sombreado**, ubicada en la parte inferior de dicha interfaz se realizó un levantamiento fotográfico del lugar de implementación del sistema fotovoltaico, trazando los obstáculos existentes a su alrededor, se define el coeficiente de sombreado, como se muestra en la Figura 25.

DIAGRAMA SOLAR

Loja UNL - Lat. 4°.0319 S - Long. 79°.2000 W - Alt. 2 137 m
Coef. de sombreado (de diagrama) 0,90

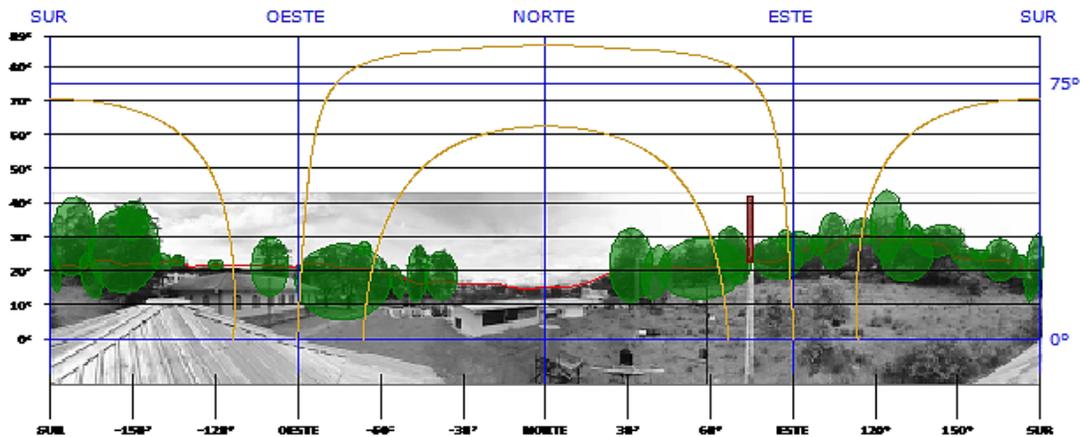


Figura 25. Diagrama solar vivienda en estudio U.N.L.

Fuente: Autor

El siguiente paso es seleccionar el nodo instalación, dentro de esta misma ventana elegimos diseño instalación BIM, como se muestra en la Figura 26.

Diseño instalación BIM

Datos generales

Nombre:

Descripción del sitio:

Dirección:

Ayuntamiento: CP

Configuración

Tipo de conexión:

Almacenamiento

Sistema de almacenamiento:

Resumen

Energía anual [kWh]	<input type="text"/>	Superficie total módulos [m ²]	<input type="text"/>
Potencia total [kW]	<input type="text"/>	Número total módulos	<input type="text"/>
Energía por kW [kWh/kW]	<input type="text"/>	Número total inversores	<input type="text"/>
		Capacidad de almacenamiento útil global [kWh]	<input type="text"/>

Figura 26. Diseño instalación BIM.

Fuente: Autor

Una vez ingresado a la opción diseño de instalación BIM, se realiza los siguientes pasos:

- Seleccionar la pestaña objeto IFC e importar el diseño de la vivienda en estudio previamente elaborado, como se muestra en la Figura 27.

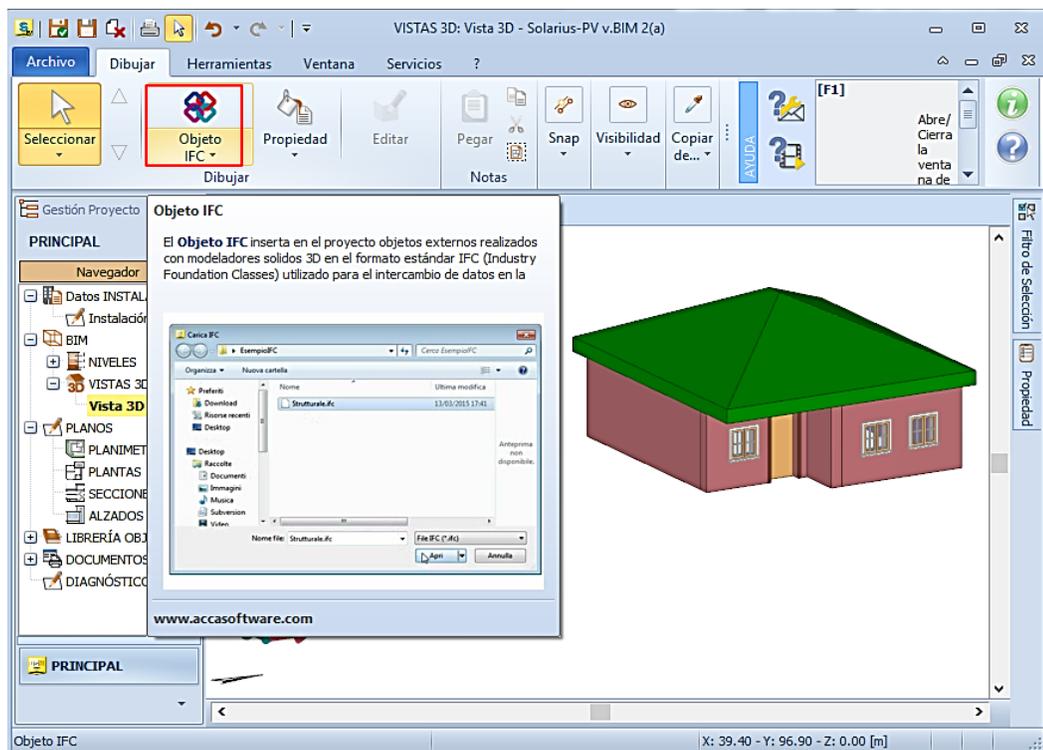


Figura 27. Modelo 3D casa en estudio.

Fuente: Autor

Una vez importado el archivo de diseño de la vivienda en la cual se va a implementar el sistema fotovoltaico, seleccionar campo fotovoltaico, donde se elige el área en la cual se va a implementar los paneles fotovoltaicos, véase Figura 28.

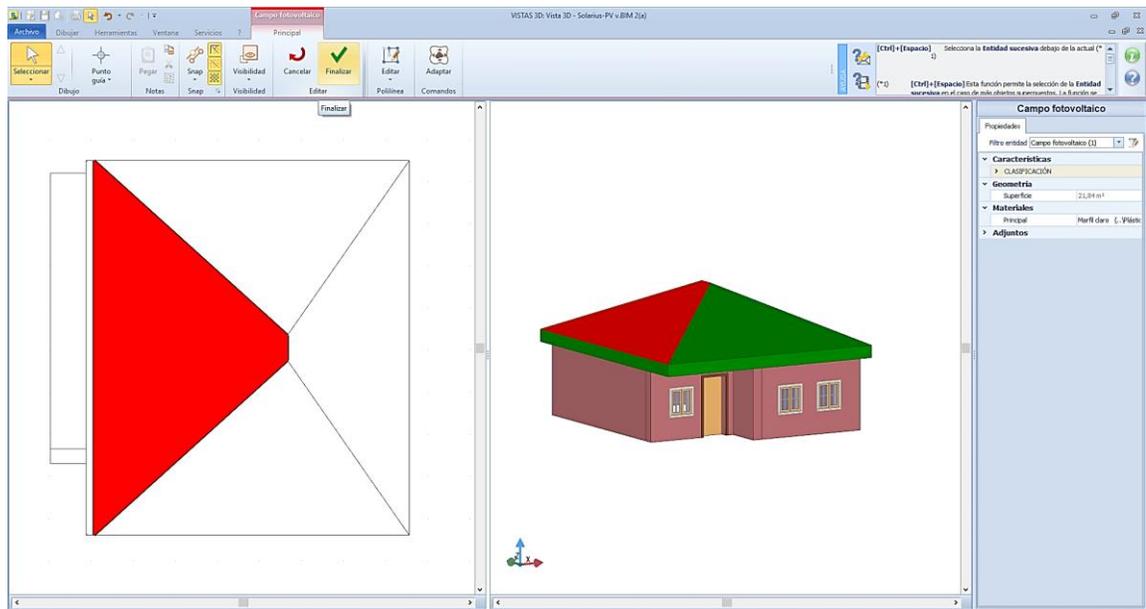


Figura 28. Área para la instalación de los paneles fotovoltaicos

Fuente: Autor

A continuación, seleccionar el área definida para la incorporación de los paneles fotovoltaicos y seleccionar la pestaña diseño de campo fv, como se muestra en la Figura 29.

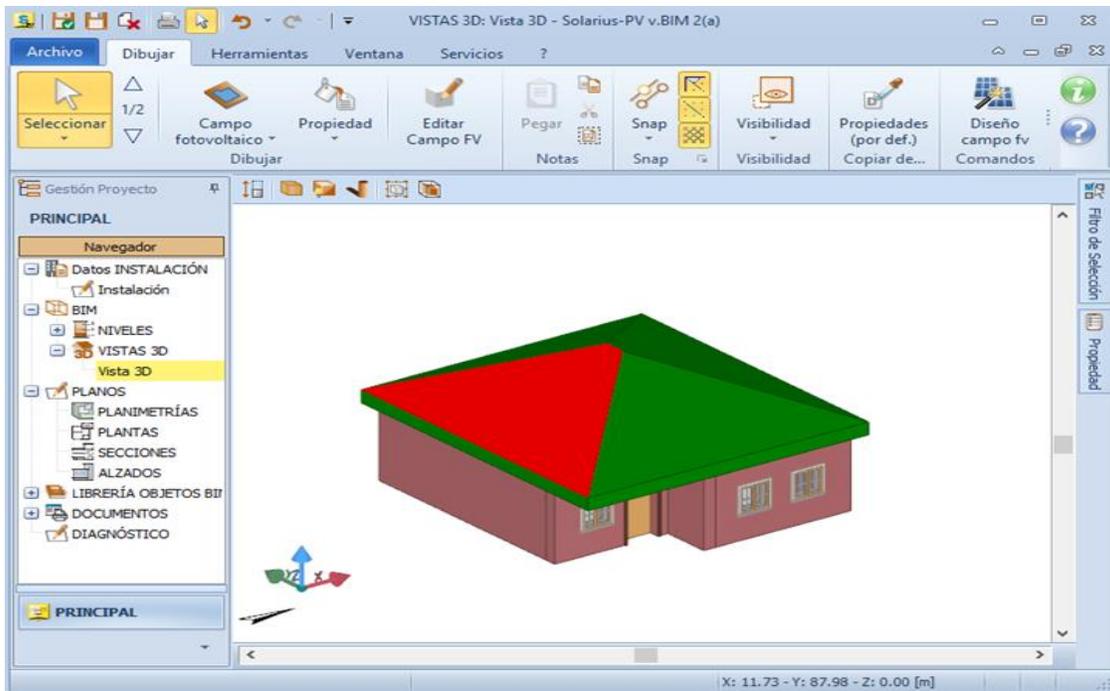


Figura 29. Diseño del campo fotovoltaico.

Fuente: Autor

Inmediatamente el software despliega una tabla en la cual se elige el posicionamiento de los módulos solares a instalarse y el rendimiento del sistema. La opción para considerar es **coplanaria a la superficie** y la estructura de soporte **fija**, seguidamente pulsar **siguiente**, véase Figura 30.

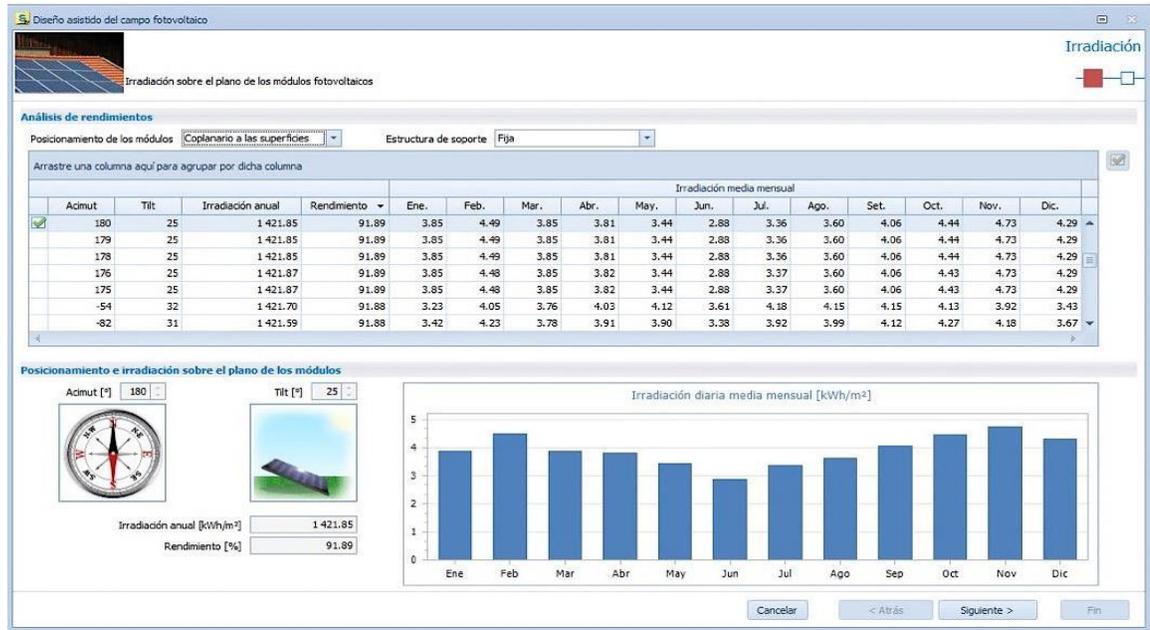


Figura 30. Análisis de rendimiento y posicionamiento de los módulos fotovoltaicos.

Fuente: Autor

Una vez realizada la configuración anterior, seleccionar el tipo de panel fotovoltaico a emplear, para ello Solarius PV mostrará una base de datos con algunos tipos de paneles definidos por marca, modelo, serie, capacidad o tamaño, acordes a la demanda eléctrica a cubrirse, seguidamente pulsar **fin**, véase Figura 31.

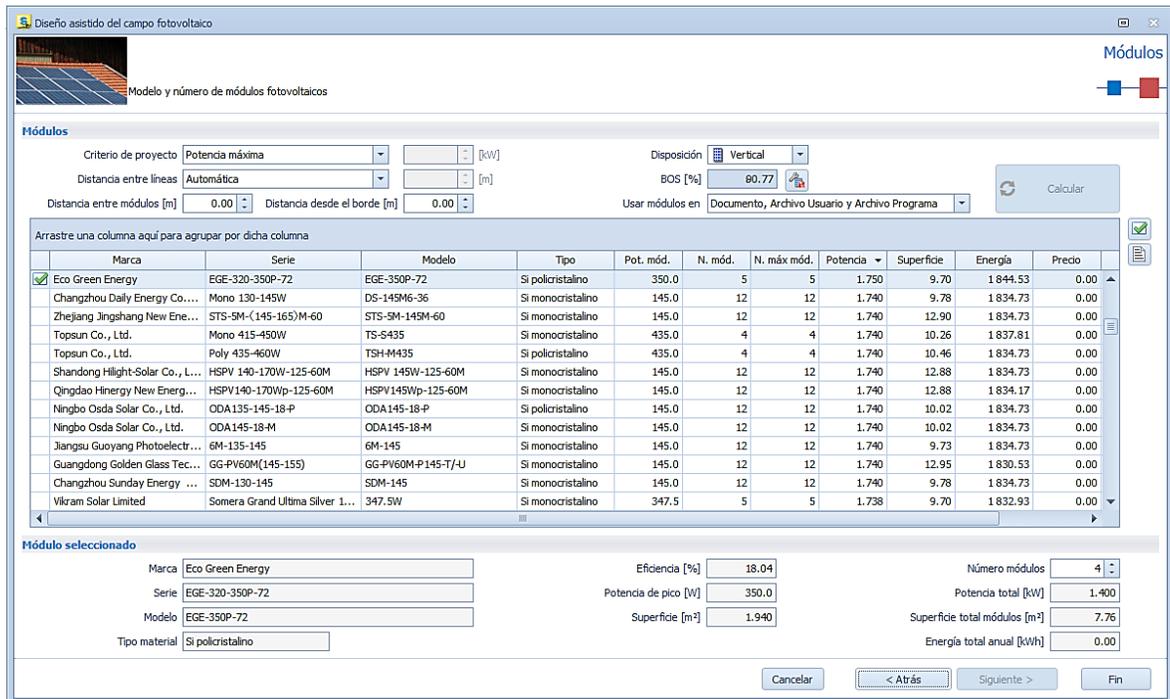


Figura 31. Selección de módulos fotovoltaicos.

Fuente: Autor

Finalmente, de forma automática el software mostrará la disposición de los paneles solares en el área seleccionada, como se puede observar en la Figura 32.

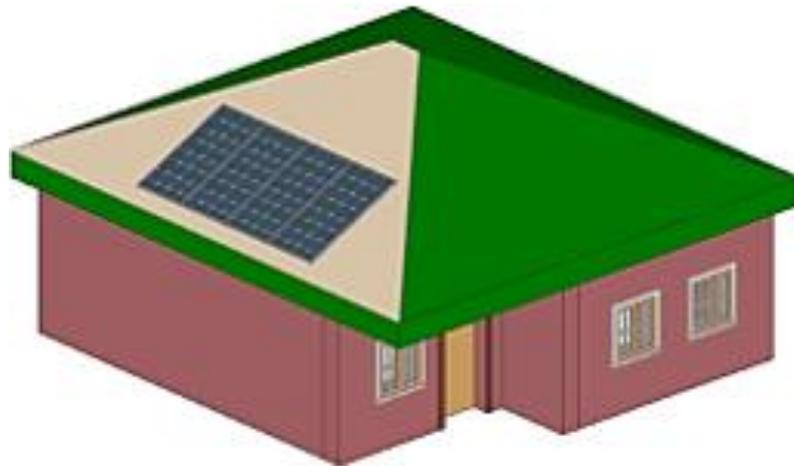


Figura 32. Disposición de los paneles fotovoltaicos.

Fuente: Autor

Para el diseño de Generador fotovoltaico (inversor), se considera lo siguiente:

Seleccionar la pestaña de **generador fotovoltaico** en la que el software proporciona un modelo 3D del inversor a diseñar, que debe ser colocado sobre la vivienda modelo, como se aprecia en la Figura 33.

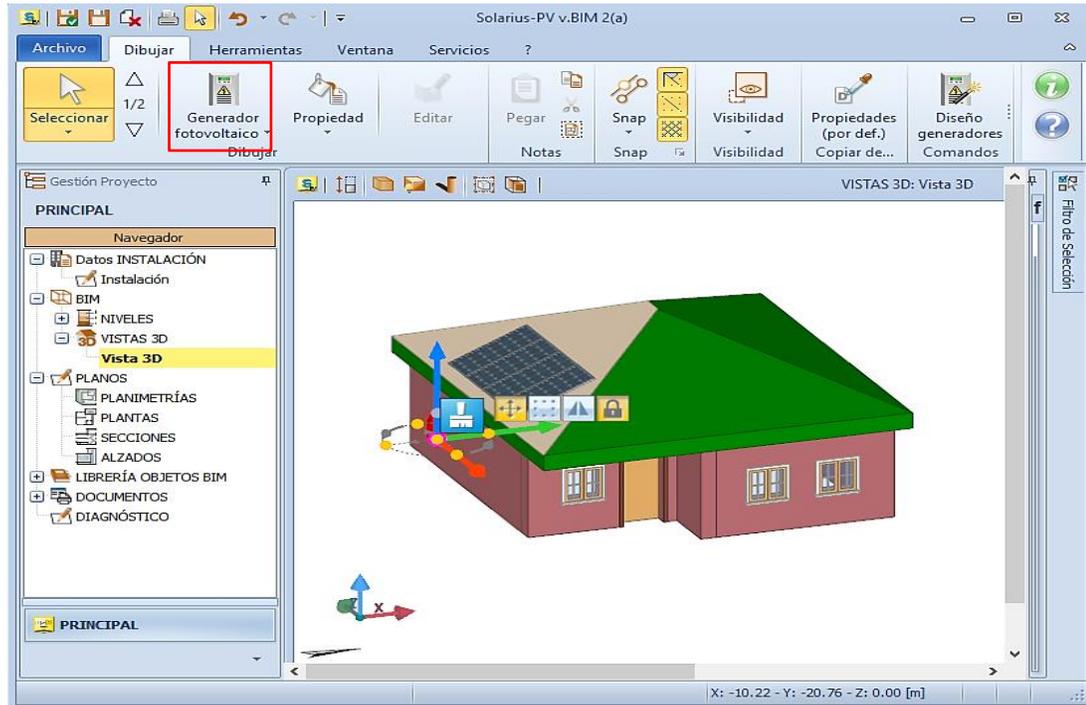


Figura 33. Diseño de generador fotovoltaico (inversor).

Fuente: Autor

Realizado el paso anterior, hacer clic sobre la pestaña **diseño generadores** como se aprecia en la Figura 33, inmediatamente Solarius PV proporciona una ventana auxiliar en la que se debe seleccionar siguiente, incorporando una nueva ventana con la descripción del campo fotovoltaico instalado anteriormente y con la lista de inversores que cumplen las exigencias de dicho campo, una vez seleccionado el inversor presionar **siguiente**, como se muestra en la Figura 34.

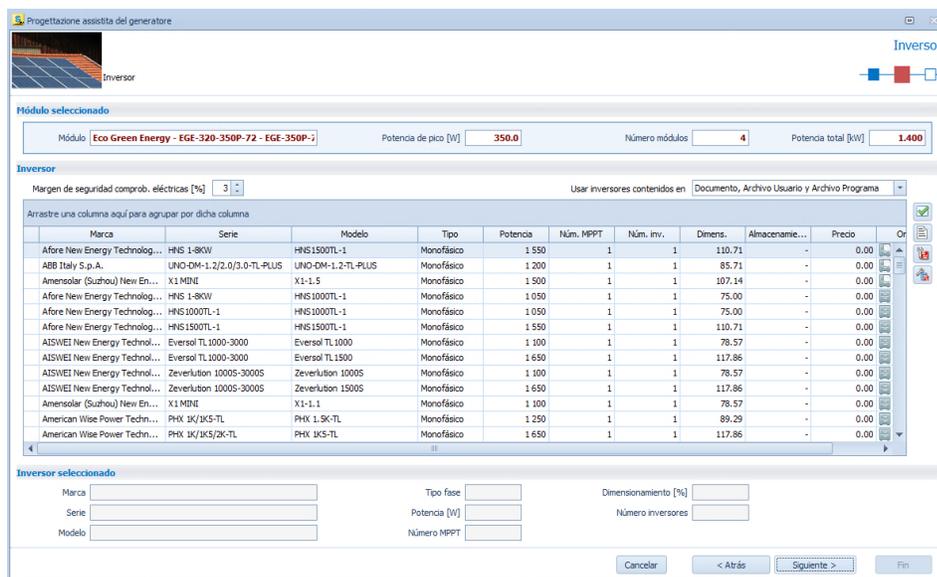


Figura 34. Selección de inversor fotovoltaico.

Fuente: Autor

Finalmente, el software proporciona las comprobaciones eléctricas entre el campo fotovoltaico y el generador (inversor), como se muestra en la Figura 35.

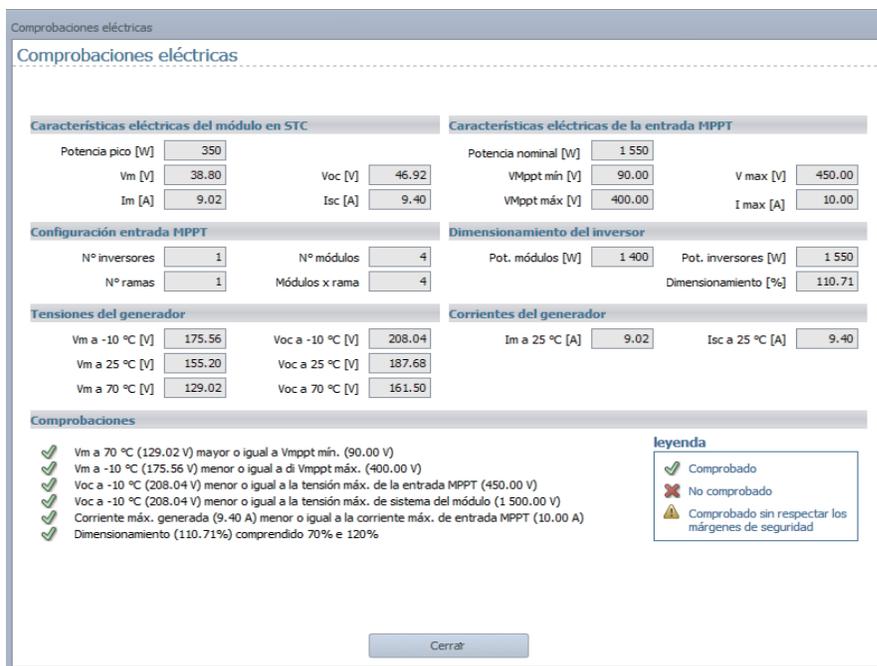


Figura 35. Comprobaciones eléctricas entre sistema fotovoltaico y generado (Inversor).

Fuente: Autor

Para el diseño de las protecciones eléctricas en CC y CA fue necesario seguir, secuencialmente, los siguientes:

Ingresar el esquema del cuadro de protecciones desde la pestaña **cuadro general** como se muestra en la Figura 36.

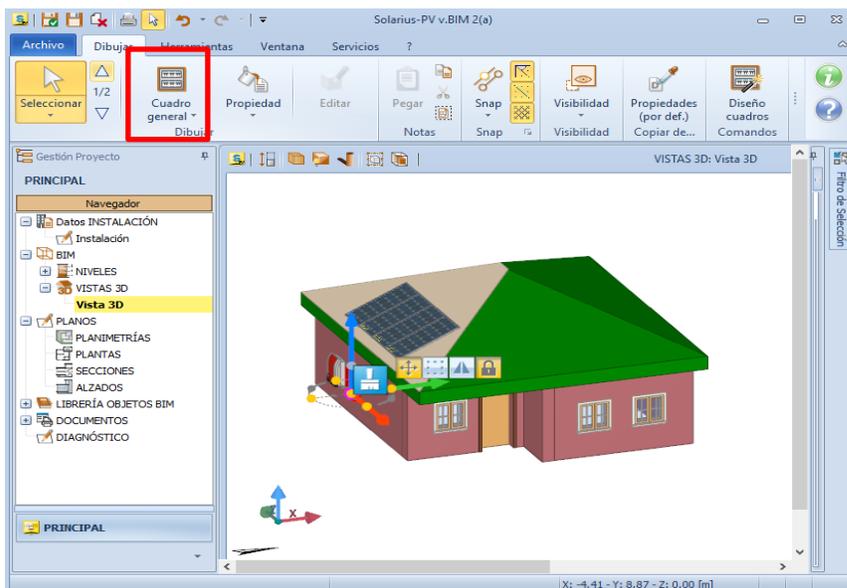


Figura 36. Diseño de cuadro de protecciones eléctricas AC Y DC.

Fuente: Autor

En esta sección se elige los conductores en CD y CA, especificando la normativa aplicada, tipo de conductor, aislante, entre otros, como se observa en la Figura 37.



Figura 37. Configuración de protecciones eléctricas.

Fuente: Autor

Finalmente, el software muestra el estado final del sistema empleado en la vivienda de estudio y cada uno de los componentes, como se muestra en la Figura 38.

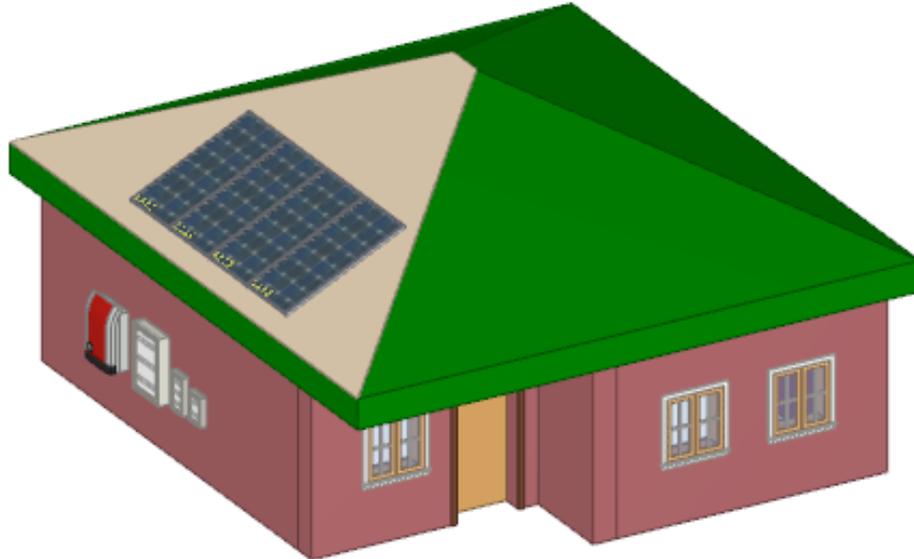


Figura 38. Diseño final de sistema fotovoltaico y sus componentes.

Fuente: Autor

6.3.2. Diseño de sistema fotovoltaico con almacenamiento

Para el diseño de un sistema fotovoltaico con sistema de almacenamiento se debe considerar los siguientes pasos descritos a continuación:

- Seleccionar el nodo localidad

Una vez seleccionado el nodo localidad el software nos presenta la ventana como se muestra en la Figura 39, en la misma ventana nos dirigimos a la opción almacenamiento donde se elegirá la opción **lado post producción bidireccional** y **diseñar**.

Diseño instalación BIM

Datos generales

Nombre: Vivienda FEIRNR
 Descripción del sitio: Diseño de sistema fotovoltaico (Cubierta de la vivienda)
 Dirección: Universidad Nacional de Loja (FEIRNR)
 Ayuntamiento: Loja UNL CP: 110103

Configuración

Tipo de conexión: Monofásico en baja tensión

Almacenamiento

Sistema de almacenamiento: Lado post producción bidireccional en c.a. Diseñar

Resumen

Energía anual [kWh]	1 477.03	Superficie total módulos [m ²]	7.76
Potencia total [kW]	1.400	Número total módulos	4
Energía por kW [kWh/kW]	1 055.02	Número total inversores	1
		Capacidad de almacenamiento útil global [kWh]	0.00

Figura 39. Diseño sistema de almacenamiento.

Fuente: Autor.

A continuación, el software presenta una nueva ventana como se muestra en la Figura 40, donde se configura los parámetros de capacidad nominal y porcentaje de profundidad de descarga.

Dimensionamiento del sistema de almacenamiento

Selección batería o acumulador

Tipo: Batería Usar baterías/almacenamiento contenidas en: Documento, Archivo Usuario y Archivo Programa

Capacidad almacenamiento útil mín [kWh]: 4.08 max [kWh]: 5.00
 Tensión nominal del sistema [V]: 48.0 SOC mín [%]: 50.0 DOD máx [%]: 50.0 Calcular

Arrastre una columna aquí para agrupar por dicha columna

Marca	Modelo	Tipo	Tensión nom.	Capacidad nom.	Capacidad acu. útil	Núm. ramas	N. bat. p
FIAMM	12 XL 175	Plomo - ácido (sellado AGM)	12.0	170.0	4.08	1	
FIAMM	12 XL 205	Plomo - ácido (sellado AGM)	12.0	200.0	4.80	1	
FIAMM	12 XL 60	Plomo - ácido (sellado AGM)	12.0	60.0	4.32	3	
FIAMM	12FGL100	Plomo - ácido (sellado AGM)	12.0	94.0	4.51	2	
FIAMM	12FGL205	Plomo - ácido (sellado AGM)	12.0	190.0	4.56	1	
FIAMM	12FGL27	Plomo - ácido (sellado AGM)	12.0	24.0	4.61	8	
FIAMM	12FGL33	Plomo - ácido (sellado AGM)	12.0	30.0	4.32	6	
FIAMM	12FGL42	Plomo - ácido (sellado AGM)	12.0	38.0	4.56	5	
FIAMM	12FGL55	Plomo - ácido (sellado AGM)	12.0	50.0	4.80	4	
FIAMM	12FGL70	Plomo - ácido (sellado AGM)	12.0	63.0	4.54	3	
FIAMM	12FGL70/L	Plomo - ácido (sellado AGM)	12.0	62.0	4.46	3	

Figura 40. Parámetros de capacidad nominal y porcentaje de profundidad.

Fuente: Autor.

Finalmente seleccionamos confirmar y el software nos presenta el número de baterías necesaria para el proyecto.

6.4. Simulación del sistema fotovoltaico diseñado para la vivienda en estudio.

Para la simulación energética del proyecto se utilizó el software Solarius PV, considerando los electrodomésticos más utilizados según la etapa de encuestas.

Se inicia ingresando a la pestaña **consumo**, en esta sección se ingresan los electrodomésticos que forman parte de estudio, así como su consumo promedio, como se muestra en la Figura 41.

Lista de los dispositivos

Descripción	Gasto anual
Frigorífico	219.00
Televisor	168.85
Plancha	104.00
Licuadaora	48.91
Computadora	165.36
Lavadora	228.38
Equipo sonido	215.33
Arrocera	208.80
Iluminarias sala	44.31
Iluminarias dormitorios	51.71

Gasto anual [kWh] 1 471.06

Figura 41. Electrodomésticos considerados en el estudio energético.

Fuente: Autor.

6.5. Análisis técnico - económico del sistema fotovoltaico diseñado.

Para realizar el análisis del sistema fotovoltaico diseñado, se requiere:

- Exportar mediante Excel® los datos de producción de energía obtenidos anteriormente en la simulación del sistema fotovoltaico realizada en Solarius PV.
- Generar un histograma de la cantidad de energía: producida, consumida y exportada, en periodos mensuales.
- Generar curvas para evaluar el comportamiento de la cantidad de energía: producida, consumida y exportada, en periodos horarios.
- Determinar el factor de planta y el índice de rendimiento del sistema diseñado, para un año, aplicar las ecuaciones, Ec:1 y Ec:2.

Para el estudio de factibilidad realizar lo siguiente:

- Cotizar el precio de los componentes del sistema, mano de obra e inflación anual de energía, y determinar; pérdida de eficiencia del sistema, aumento de consumo de energía anual, costos de operación y mantenimiento.
- Finalmente determinar el flujo de caja y el retorno de la inversión para el sistema diseñado.

6.6. Diseño del sistema de monitorización, adquisición y transición de las principales variables eléctricas para el sistema fotovoltaico de la vivienda en estudio.

Los sistemas fotovoltaicos para generación eléctrica es de suma importancia contar con un control de la cantidad de energía producida por el sistema, mismo que ayuda a conocer y a corroborar las horas pico de generación, y a su vez realizar un seguimiento de la cobertura energética diaria. Al hablar de un dispositivo de adquisición de datos, es necesario contar con una base de datos donde se almacene dichos valores, estos serán de mucha importancia en un futuro, ya que ayudará a conocer la pérdida de eficiencia en cada periodo anual del sistema lo que implica una reducción en la cantidad de producción de energía eléctrica.

6.6.1. Adquisición de materiales.

Como primer punto se adquirieron los equipos necesarios para la medición de datos de energía en tiempo real. Los elementos adecuados para lograr este objetivo son los siguientes:

- Transformador 110V a 22V.
- Puente de diodos rectificador.
- Regulador de tensión LM7805.
- Divisor resistivo.
- Sensor de corriente no invasivo SCT-013 20 Amp.
- Módulo de procesamiento de datos NodeMCU ESP8266
- Convertidor analógico digital ADC ADS1115

6.6.2. Acoplamiento del sistema

Para proceder a realizar la lectura del nivel de tensión de la red eléctrica se empleó el transformador que, midiendo el secundario del mismo, se obtendrá un valor de 21.5 V,

adicional a esto se empleó un divisor resistivo que es de mucha importancia, ya que permite reducir el nivel de tensión y acoplar dicha tensión a las entradas analógicas del ACD ADS1115 para su posterior lectura. Cabe mencionar que se alimenta el ADC en VDD con una tensión de 3.3V y en sus pines analógicos se medirá hasta 3.3V + 0.3V, para ello, se utiliza un divisor resistivo como se aprecia en la Figura 42.

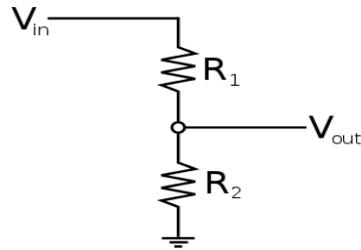


Figura 42. Divisor resistivo.

Fuente: Autor.

Para determinar el nivel de tensión adecuado se utilizó la siguiente ecuación:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} * V_{in} \quad \text{Ec.9}$$

Como R2 se empleó una resistencia de 8.2k y se alimentó el ADC con una tensión de 3.3V se procedió a realizar la determinación de R1 teniendo en cuenta que el ADC soporta una tensión en sus entradas analógicas de 3.3V + 0.3V, como seguridad se determinará R2 asumiendo $V_{out} = 1V$.

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} * V_{in} \quad \text{Ec.10}$$

$$1V = \frac{8.2k}{8.2k + R_1} * 21.5V$$

$$1V * (2k + R_1) = 8.2k * 21.5V$$

$$2 + R_1 = 176.3$$

$$R_1 = 176.3 - 2$$

$$R_1 = 174.3k$$

Por lo que se emplea una resistencia normalizada de 170 k.

Posterior a esto se procedió a determinar la tensión de entrada a los pines analógicos.

$$V_{out} = \frac{8.2k}{8.2k + 170k} * 21.5V = 0.98V$$

Lo cual es una tensión segura para la lectura de datos.

6.6.3. Alimentación del prototipo

Para alimentar el prototipo se optó por el acoplamiento de un módulo regulador de tensión LM7805, el cual, permite obtener un voltaje estable de 5 voltios en corriente continua, con el que se alimenta a la tarjeta NodeMCU ESP8266.

6.6.4. Librerías necesarias para programar el NodeMCU

Para trabajar con este módulo NodeMCU fue necesario contar con las librerías adecuadas para el IDE de Arduino disponibles en GitHub, estas librerías dan soporte al chip ESP8266 las cuales brindan bibliotecas para comunicarse a través de Wifi mediante TCP y UDP, configurar servidores HTTP, mDNS, SSDP y DNS, hacer actualizaciones OTA, utilizar un sistema de archivos en la memoria flash, y trabajar con tarjetas SD, servos, periféricos SPI e I2C.

Para realizar la instalación de la tarjeta NodeMCU en el entorno IDE de Arduino se debe introducir en el gestor de URLs adicionales de tarjetas la siguiente dirección:

https://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json

Posterior, se realiza una búsqueda de la tarjeta en el gestor del mismo nombre para proceder con la instalación, como se muestra en la Figura 43.



Figura 43. Recursos de tarjetas en Arduino.

Fuente: Autor.

Finalizada la instalación de la tarjeta se debe reiniciar el entorno y seleccionar el NodeMCU y corroborar que se instaló correctamente como se muestra en la Figura 44.

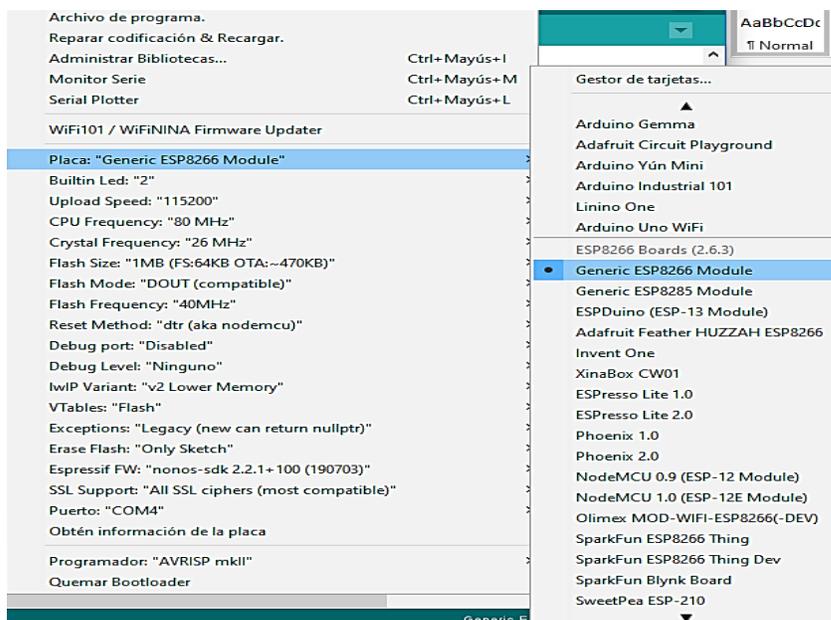


Figura 44. Generic ESP8266 Module IDE arduino.

Fuente: Autor.

. Realizado esto, se tendrá la placa y el entorno listo para su programación.

6.6.5. ADC ADS1115

El módulo NodeMCU, al contar únicamente con una entrada analógica no es posible realizar la lectura de todos los parámetros necesarios, es por ello que se utilizará un convertidor analógico digital de 4 canales.

Para trabajar directamente con este módulo, fue necesario instalar las librerías respectivas ya que por sí solo no es posible realizar ningún tipo de lectura. Dentro del gestor de librerías del IDE Arduino se procedió a buscar la librería denominada Adafruit ADS1X15 que incluye una compatibilidad para el módulo ADS1115, como se puede observar en la Figura 45. Finalmente instaladas todas las librerías se procederá a realizar la programación como se puede observar en el Anexo 5.

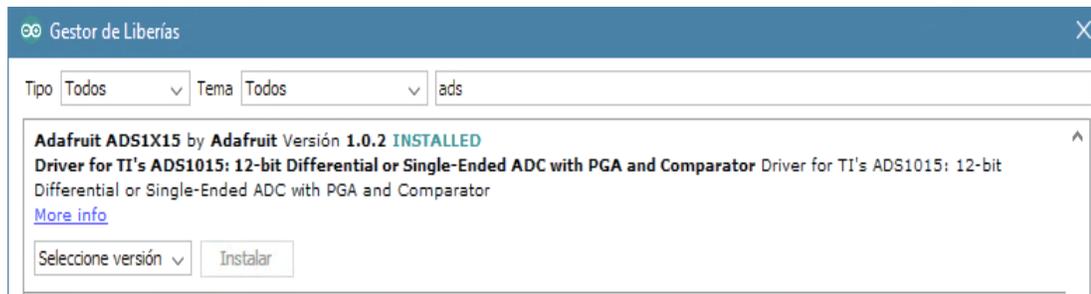


Figura 45. Gestor de librería Arduino.

Fuente: Autor.

6.6.6. Librerías de Ubidots

Para trabajar directamente con la plataforma Ubidots y es sketch de Arduino se procede a instalar la librería que permite la comunicación, ya que para visualizar los datos se necesita contar con un entorno limpio y de fácil manipulación. Esta se encuentra disponible en la rama oficial de Ubidots en GitHub propiamente realizada para el NodeMCU. Una vez descargada la librería .zip de la rama oficial se procede a añadirla, como se puede visualizar en la Figura 46.

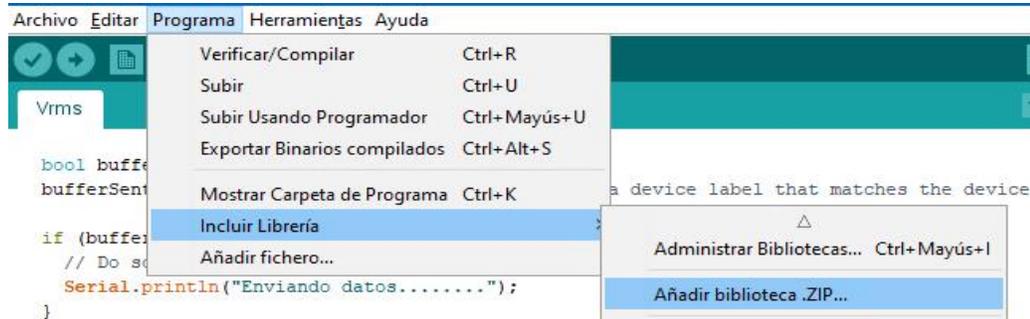


Figura 46. Incorporación librería Ubidots Arduino.

Fuente: Autor.

6.6.7. Diagrama de conexiones electrónicas

El diagrama de conexiones entre todos los módulos empleados se representa en la Figura 47.

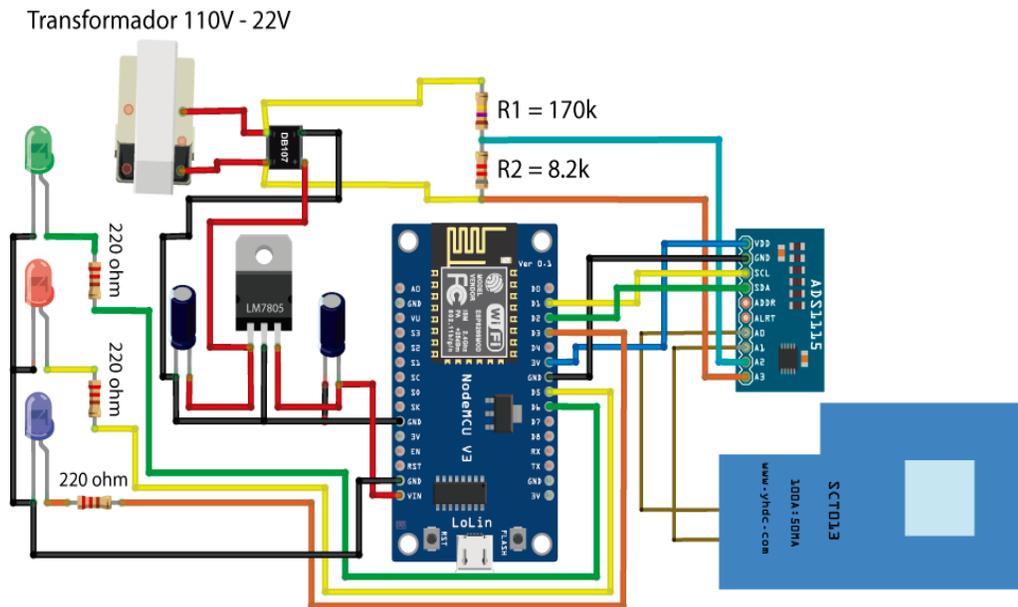


Figura 47. Esquema de conexiones Fritzing.

Fuente: Autor.

6.6.8. Procesamiento de datos.

Determinación de V_{rms}

El transformador de tensión al estar directamente acoplado a los puertos analógicos A2 y A3 del ADC estará limitado con una resolución de 16 bits (2^{15}) es decir, tendrá una resolución de 32768 datos. Para determinar el valor eficaz de la tensión se emplea la siguiente ecuación.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} v^2(n)}{N}} \quad \text{De Ec. 3}$$

Donde:

$v(n)$: Es la tensión instantánea.

N : Número de muestras

Como se puede observar en la Figura 47, el V_{rms} está directamente relacionado con el número de muestras en un tiempo determinado. El sensor estará tomando pequeñas muestras de tensión a lo largo de la curva sinusoidal.

Para determinar el Vrms visto desde código de programación se utiliza la operación descrita a continuación:

- **multiplier** = 0.0625F;
- **V_RATIO** = VCAL * multiplier;
- **Vrms** = V_RATIO * squareRoot(sumV / numberOfSamples);

Donde:

VCAL: Valor de calibración de tensión.

V_RATIO: Coeficiente de calibración de la tensión.

squareRoot: Raíz cuadrada

sumV: sumatoria de tensión instantánea

numberOfSamples: Número de muestras tomadas

Determinación de Irms

Para determinar la Irms se utiliza la siguiente ecuación.

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} I^2(n)}{N}} \quad \text{De Ec. 4}$$

Donde:

$I(n)$: Es la corriente instantánea.

N: Número de muestras

Visto en código la determinación de Irms es el siguiente:

- **I_RATIO** = ICAL * multiplier;
- **Irms** = I_RATIO * squareRoot(sumI / numberOfSamples);

Donde:

I_RATIO: Coeficiente de calibración de corriente.

ICAL: Valor de calibración de la corriente.

sumV: sumatoria de corriente instantánea.

numberOfSamples: Número de muestras tomadas

Determinación de la potencia activa

Para determinar la potencia activa se utiliza la siguiente ecuación:

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v(n) * i(n)$$

De Ec. 6

Donde:

$v(n)$: Es la tensión instantánea.

$i(n)$: Es la corriente instantánea.

Visto en código, la determinación de la potencia activa es la siguiente:

- `realPower = V_RATIO * I_RATIO * sumP / numberOfSamples;`

Donde:

realPower: Potencia activa.

V_RATIO: Coeficiente de calibración de la tensión.

I_RATIO: Coeficiente de calibración de corriente.

sump: Sumatoria de la potencia instantánea.

numberOfSamples: Número de muestras tomadas

Determinación de la potencia aparente

Se utiliza la siguiente ecuación matemática.

$$S = I_{rms} * V_{rms}$$

De Ec. 5

Donde:

I_{rms} : Corriente eficaz.

V_{rms} : Tensión eficaz.

Visto en código, la determinación de la potencia activa es la siguiente:

- `apparentPower = Vrms * Irms;`

Donde:

pparentPower: Potencia aparente.

Vrms: Tensión eficaz.

Irms: Corriente eficaz.

Determinación de la potencia reactiva

Se utiliza la siguiente ecuación matemática.

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

De Ec. 7

Donde:

S^2 : Potencia aparente del sistema

P^2 : Potencia activa del sistema.

Visto en código la determinación de la potencia reactiva es la siguiente:

- `reactivePower=sqrt((apparentPower*apparentPower)-(realPower*realPower));`

Donde:

Sqrt: Raíz cuadrada

apparentPower: Potencia aparente

realPower: Potencia activa

Determinación del factor de potencia

Para determinar el factor de potencia se utiliza la siguiente ecuación matemática.

$$FP = \frac{P}{S}$$

De Ec. 8

Donde:

P: Potencia activa del sistema

S: Potencia aparente del sistema.

Visto en código la determinación del factor de potencia es el siguiente:

`powerFactor = realPower / (apparentPower*PCAL);`

Donde:

powerFactor: Factor de potencia.

realPower: Potencia activa.

apparentPower: Potencia aparente.

PCAL: Valor de calibración de potencia

Determinación de la energía consumida

Finalmente, para determinar la cantidad de energía consumida se utiliza la siguiente ecuación:

$$E_c = P * t$$

De Ec. 9

Donde:

P: Potencia activa

t: Tiempo estimado de consumo

Para poder visualizar programar este parámetro se utilizó el siguiente relación :

$$\text{consu_kwh} = \text{consu_kwh} + (\text{realPower} * (2.05/60/60/1000))$$

Donde:

Consu_kwh: Consumo en kWh.

realPower: Potencia real.

(2.05/60/60/1000): Factor de conversión a energía.

6.6.9. Programación, calibración y sistema de comunicación

Para este prototipo se utilizará el firmware basado en EmonLib disponible en la plataforma GitHub, esta librería es de código abierto con licencia GNU GPL (General Public License) con sus respectivas condiciones, limitaciones y permisos del uso del software.

Como primer punto se definirá todo el proceso simplificado en un solo flujo, comenzando por la configuración de todas las variables, así como el nombre de la red wifi a la que se conectará el NodeMCU y su contraseña respectiva, para que una vez realizada la conexión indicar mediante un led verde la conexión establecida para proceder a la adquisición y procesamiento de datos que serán enviados a la plataforma de Ubidots para su respectivo análisis, en el caso que no exista una conexión a internet el prototipo utilizara un indicador led de color rojo indicando dicho problema y repetir el ciclo de reconexión. Cabe mencionar que este es un bucle infinito que enviara datos cada cierto tiempo utilizando un indicador led de color azul que parpadeara cada vez que envíe datos correctamente

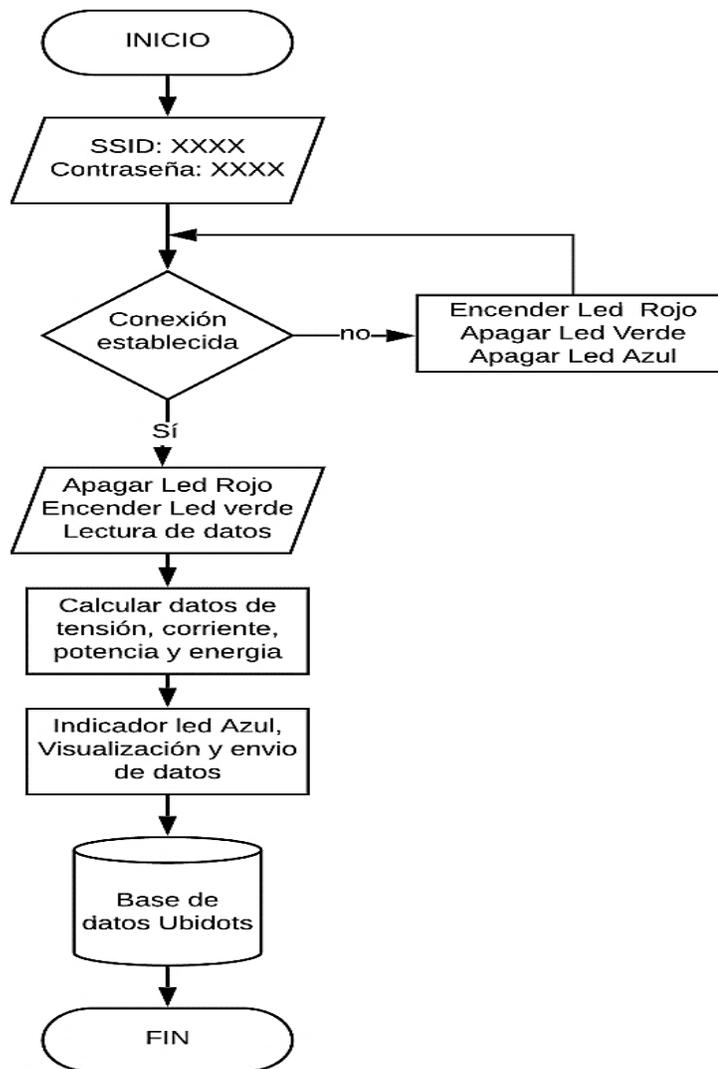


Figura 48. Diagrama de flujo del proceso de medición de la energía.

Fuente: Autor.

Calibración de parámetros

Para proceder a realizar la medición de las distintas variables, se emplea un pequeño banco de pruebas como se muestra en la Figura 49, donde se medirá el **Vrms** y **Irms** con una carga instalada (Laptop completamente cargada) paralelamente con el prototipo funcionando.

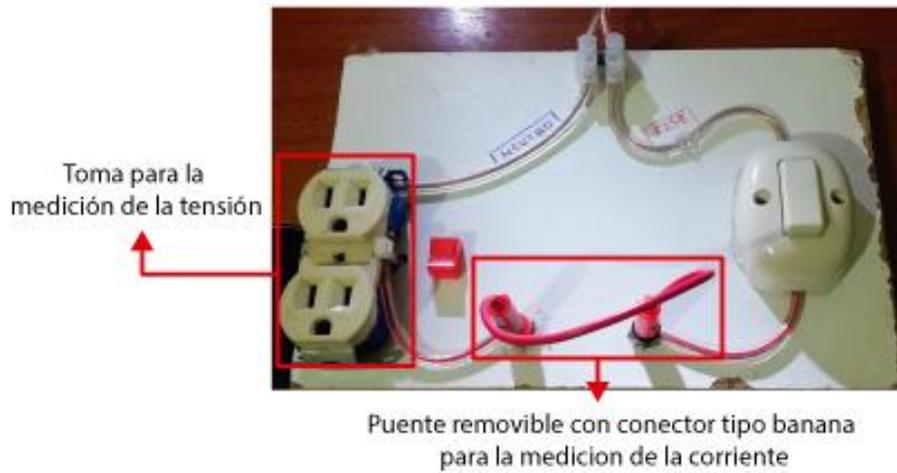


Figura 49. Banco de pruebas.

Fuente: Autor.

Como primer punto se procederá a realizar la medición y calibración del nivel de tensión disponible en la red eléctrica empleando una pinza amperométrica True RMS, como se evidencia en la Figura 50.

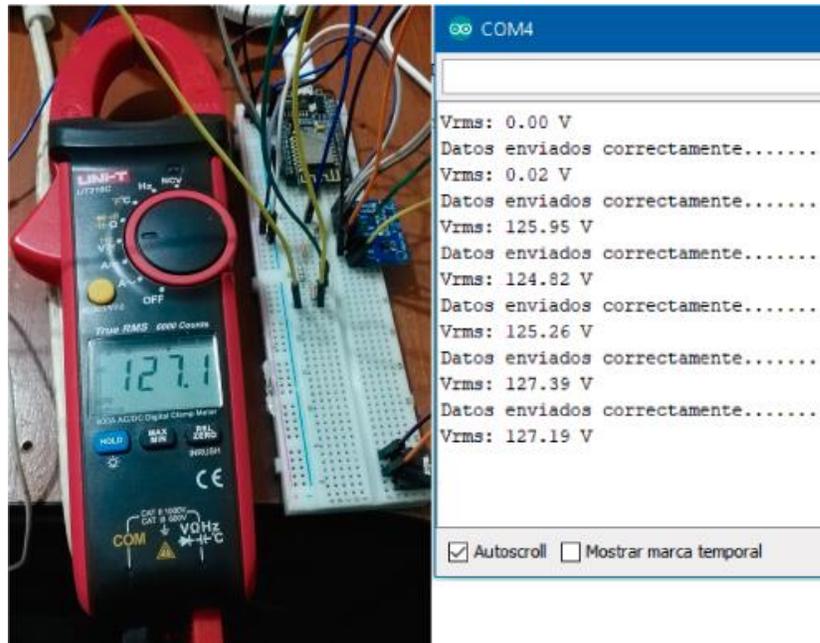


Figura 50. Medición y calibración del nivel de tensión.

Fuente: Autor.

Una vez calibrado el nivel de tensión, se procedió a calibrar el nivel de corriente Figura 51.



Figura 51. Medición y calibración nivel de corriente.

Fuente: Autor.

Finalizado esto se procedió a unificar el código para la lectura del nivel de potencia y los demás parámetros, se muestre este proceso en la Figura 52.



Figura 52. Medición y calibración nivel de potencia.

Fuente: Autor.

Sistema de comunicación

Para realizar la comunicación entre el prototipo desarrollado y la plataforma Ubidots se necesita contar con las librerías respectivas, crearse una cuenta en la plataforma y obtener el Token o código de seguridad que manejan los servidores de la plataforma Ubidots, el Token no es más que una llave digital personal y única de cada cuenta necesaria para autenticarse y recibir los datos en la plataforma. Obtenida la cuenta, no es necesario realizar ningún tipo de configuración en la plataforma, ya que los datos y las variables serán enviadas por el prototipo.

Tabla 5. Código Ubidots.

Código	Descripción
<code>Ubidots.add("Vrms", Vrms);</code>	Almacenamiento de datos de Vrms en la variable Vrms

Fuente: Autor

Al utilizar el Token respectivo en el prototipo y realizar la comunicación y envío de los primeros valores de las variables, la plataforma crea automáticamente identificaciones de las variables respectivas, estos valores los podemos encontrar en la pestaña Devices de la plataforma, como se muestra en la Figura 53.

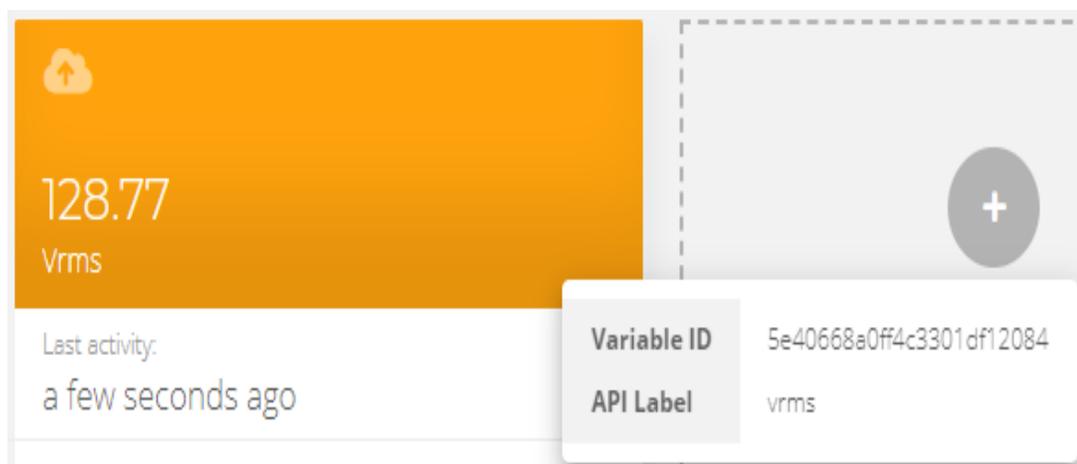


Figura 53. Identificación de Variable Vrms y visualización de datos.

Fuente: Autor.

Una vez obtenido todos los valores de las distintas variables se procede a crear los tableros de visualización en la pestaña Data > Dashboards de Ubidots.

7. RESULTADOS

7.1. Encuestas sobre consumo eléctrico a usuarios de la Zona 7 de Ecuador.

Una vez realizada las encuestas en los diferentes cantones que conforman la Zona 7 del Ecuador, se tabuló la información de manera que permita la generación de las curvas de consumo eléctrico por cantón, provincia, piso climático, y finalmente una curva en general, a continuación, se describen los resultados obtenidos:

7.1.1. Generación de curvas de consumo eléctrico para los cantones que conforman la Provincia de El Oro.

La Figura 54 detalla el comportamiento de las curvas de energía eléctrica promedio consumido para los cantones que conforman la provincia de El Oro, a su vez se puede observar la curva promedio para dicha provincia alcanzando un valor máximo de 122.79 kWh en el mes de junio.

7.1.2. Generación de curvas de consumo eléctrico para los cantones que conforman la Provincia de Loja.

La Figura 55 detalla el comportamiento de las curvas de energía eléctrica promedio consumido para los cantones que conforman la provincia de Loja, a su vez se puede observar la curva promedio para dicha provincia alcanzando un valor máximo de 117.94 kWh en el mes de septiembre.

7.1.3. Generación de curvas de consumo eléctrico para los cantones que conforman la Provincia de Zamora Chinchipe.

La Figura 56 detalla el comportamiento de las curvas de energía eléctrica promedio consumido para los cantones que conforman la provincia de El Oro, a su vez se puede observar la curva promedio para dicha provincia alcanzando un valor máximo de 114.78 kWh en el mes de febrero.

Curvas de consumo eléctrico promedio para los cantones de la provincia de El Oro

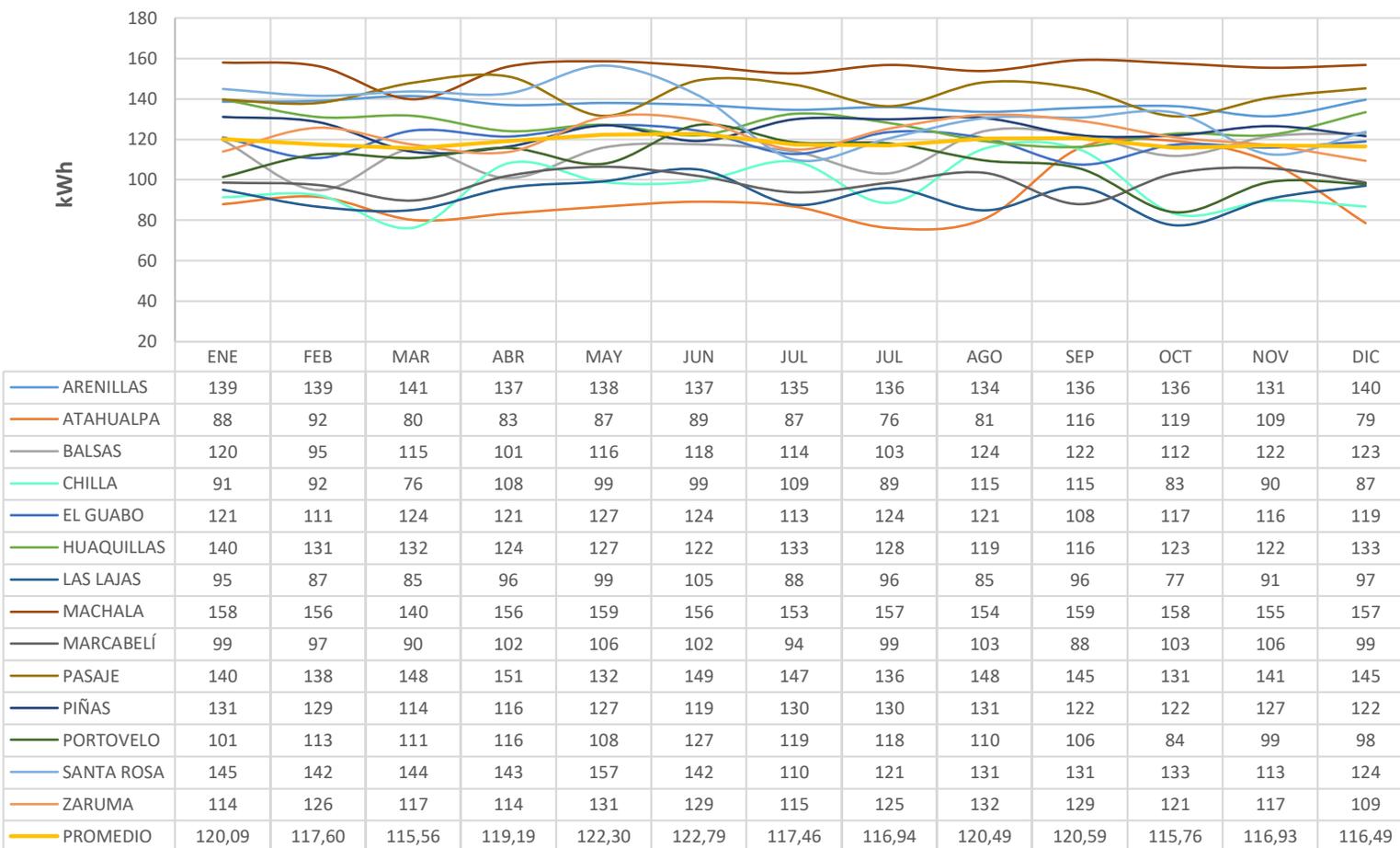


Figura 54. Curvas de consumo eléctrico promedio para los cantones de la provincia de El Oro.

Fuente: Autor.

Curvas de consumo eléctrico promedio para los cantones de la provincia de Loja

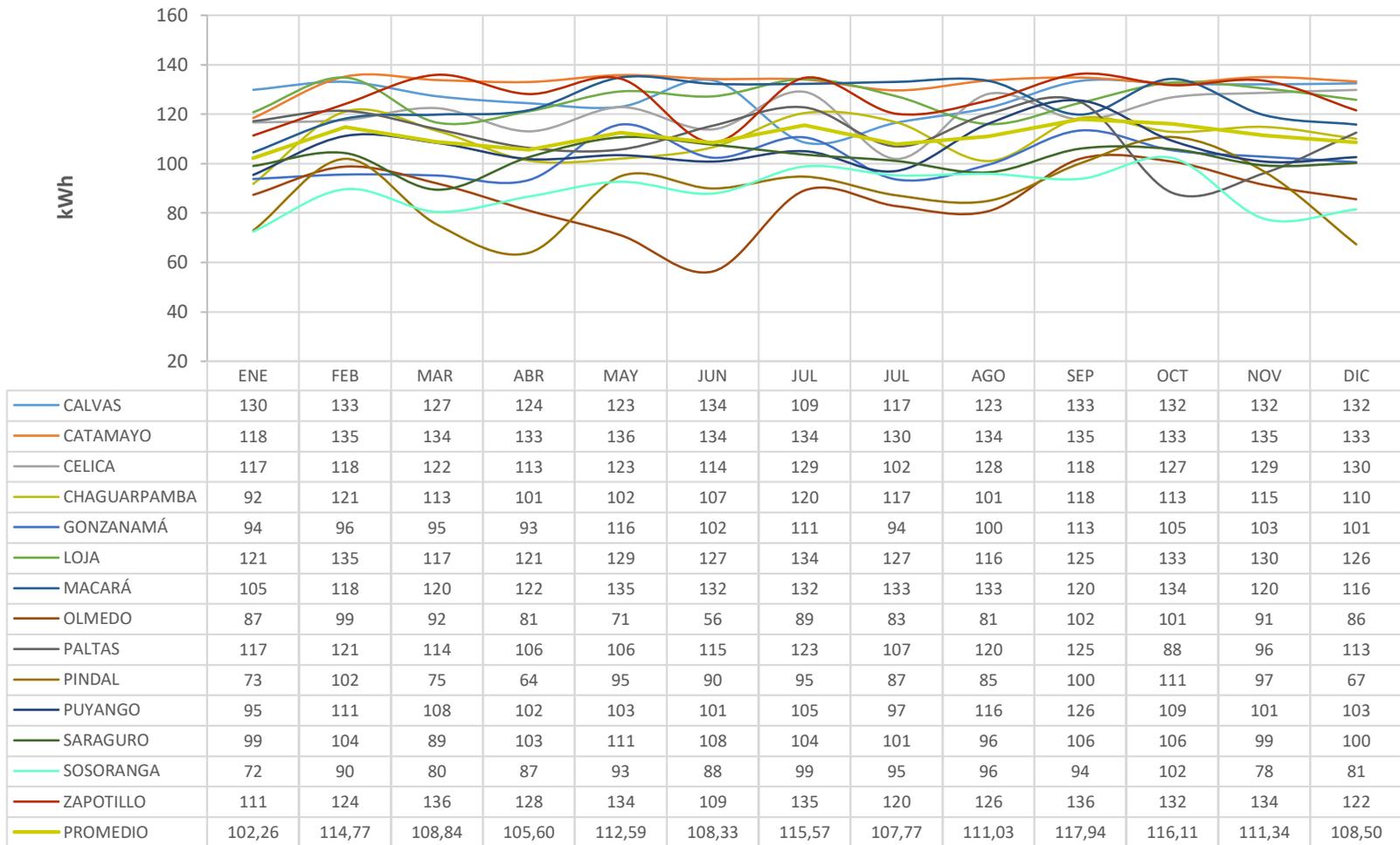


Figura 55. Curvas de consumo eléctrico promedio para los cantones de la provincia de Loja.

Fuente: Autor.

Curvas de consumo eléctrico promedio para los cantones de la provincia de Zamora Chinchipe

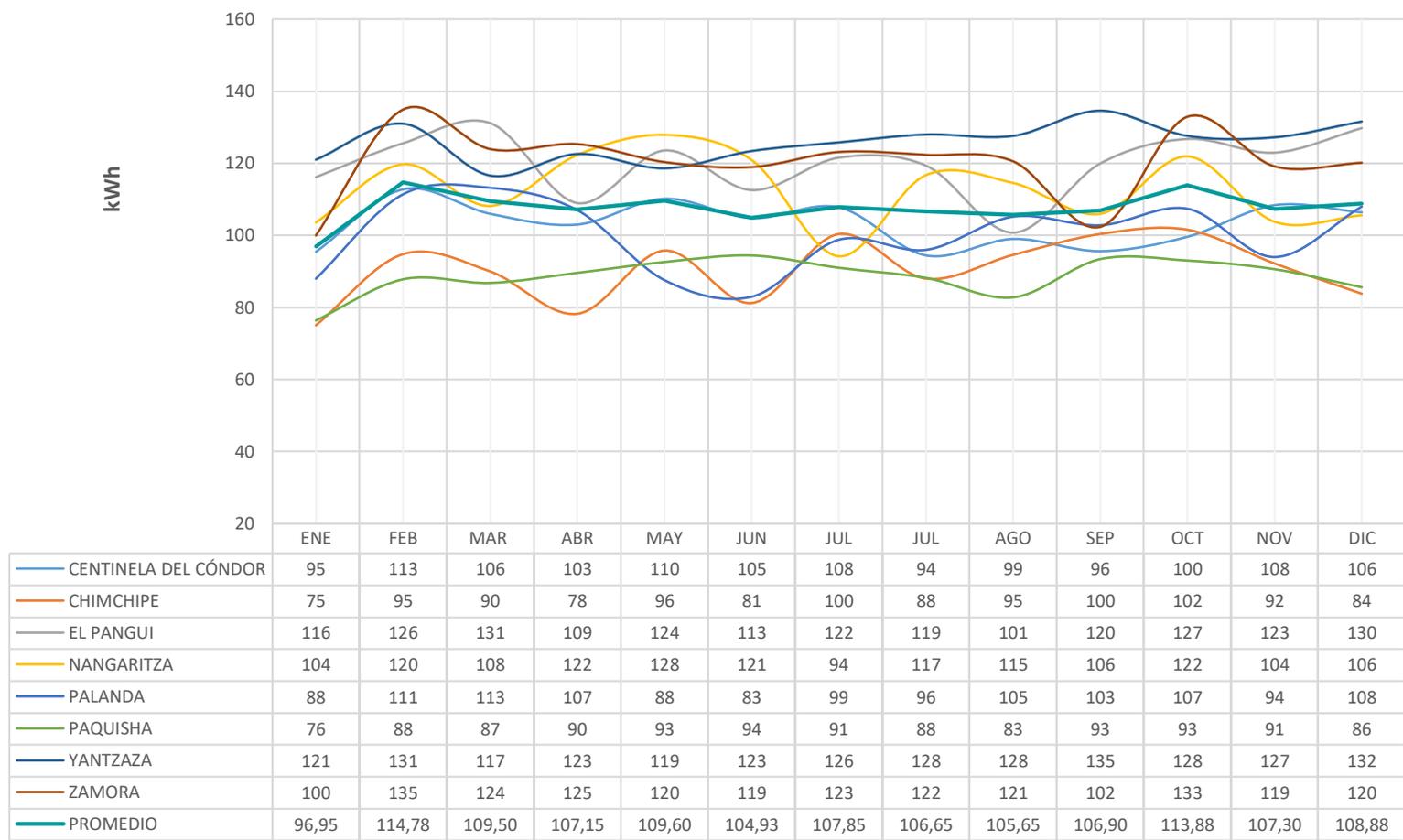


Figura 56. Curvas de consumo eléctrico promedio para los cantones de la provincia de Zamora Chinchipe.

Fuente: Autor.

7.1.4. Generación de curvas de consumo eléctrico por zonas climáticas para la Provincia de El Oro.

La figura 57 detalla el comportamiento de las curvas de energía eléctrica promedio consumido por las zonas climáticas de la provincia de El Oro, alcanzando un valor promedio máximo de 115 kWh en el mes de mayo para la zona templada, 128 kWh en el mes de junio para la zona cálida y 115 kWh en el mes de septiembre para la zona fría.

Curvas de consumo eléctrico promedio para las zonas climáticas de la provincia de El Oro



Figura 57. Curvas de consumo eléctrico promedio para las zonas climáticas de la provincia de El Oro.

Fuente: Autor.

7.1.5. Generación de curvas de consumo eléctrico por zonas climáticas para la Provincia de Loja.

La Figura 58 detalla el comportamiento de las curvas de energía eléctrica promedio consumido por zonas climáticas de la provincia de Loja, alcanzando un valor promedio máximo de 113 kWh en el mes de septiembre para la zona templada, 127 kWh en el mes de octubre para la zona cálida y 121 kWh en el mes de octubre para la zona fría.

Curvas de consumo eléctrico promedio para las zonas climáticas de la provincia de Loja

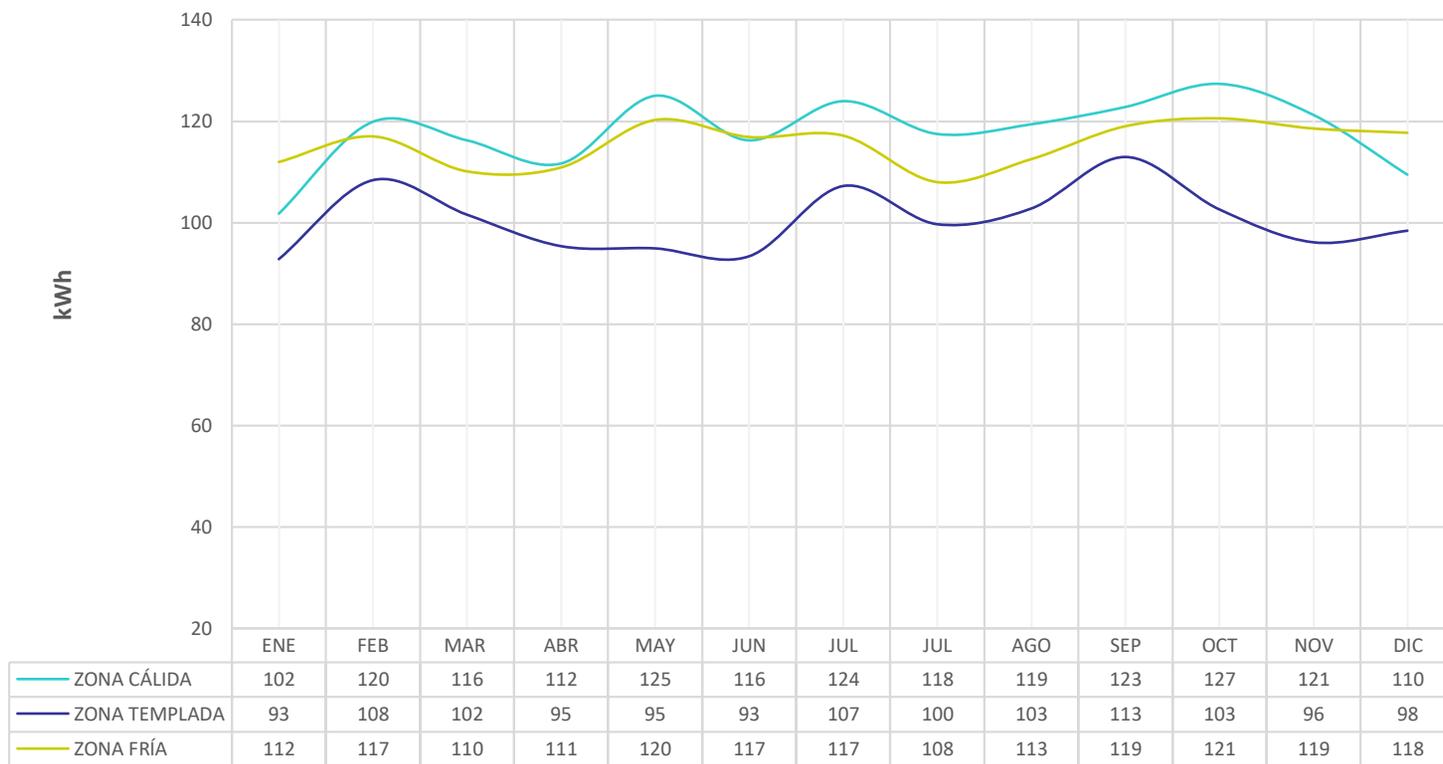


Figura 58. Curvas de consumo eléctrico promedio para las zonas climáticas de la provincia de Loja.

Fuente: Autor.

7.1.6. Generación de curvas de consumo eléctrico por zonas climáticas para la provincia de Zamora Chinchipe

La Figura 59 detalla el comportamiento de las curvas de energía eléctrica promedio consumido por zonas climáticas de la provincia de Zamora Chinchipe, alcanzando un valor promedio máximo de 105 kWh en el mes de octubre para la zona templada y 119 kWh en el mes de febrero para la zona cálida.

Curvas de consumo eléctrico promedio para las zonas climáticas de la provincia de Zamora Chinchipe

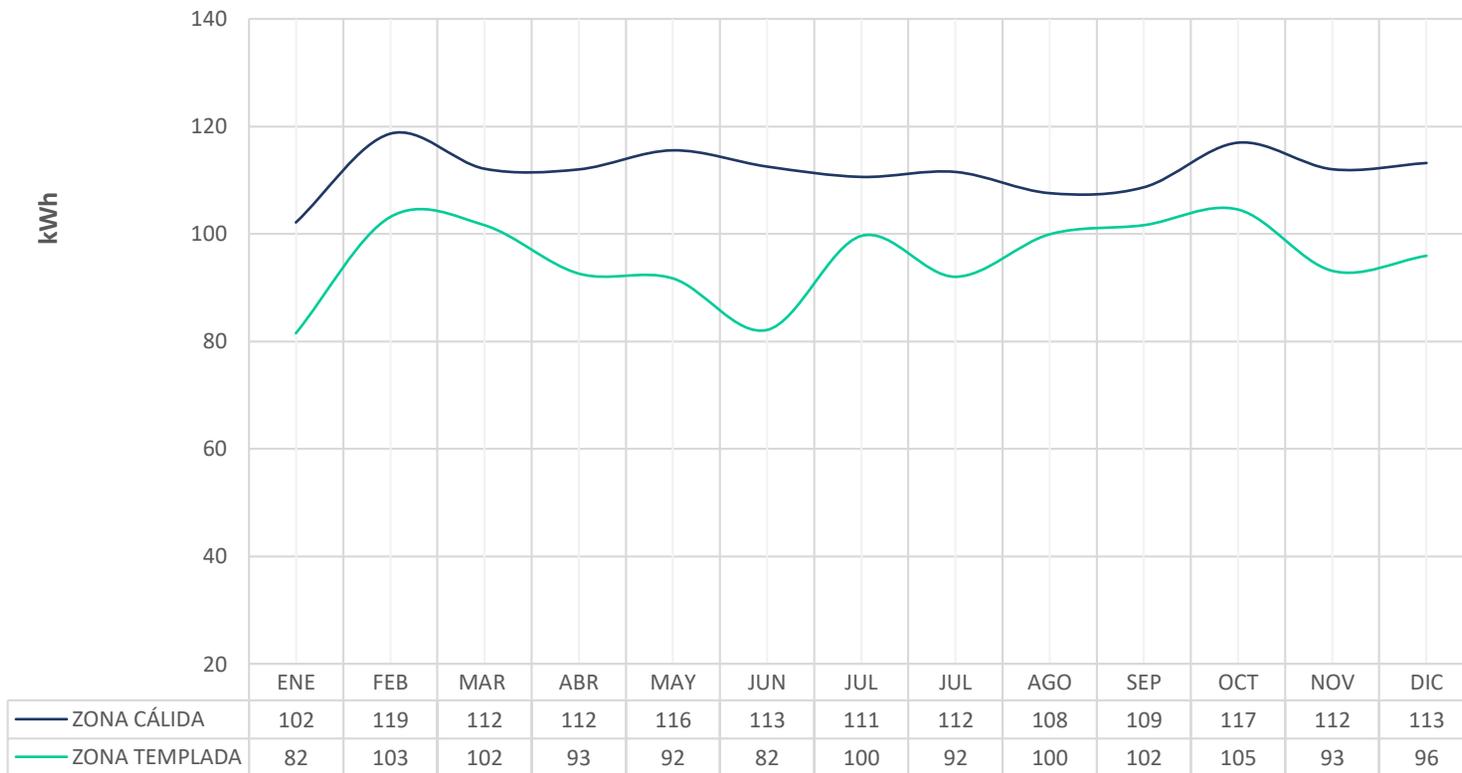


Figura 59. Curvas de consumo eléctrico promedio para las zonas climáticas de la provincia de Zamora Chinchipe.

Fuente: Autor.

7.1.7. Generación de curvas de consumo eléctrico promedio para la Zona 7 de Ecuador.

La figura 60 detalla el comportamiento de las curvas de energía eléctrica promedio consumido para la Zona 7 de Ecuador, alcanzando un valor promedio máximo de 117 kWh en el mes de septiembre.

Curvas de consumo eléctrico promedio para las zona 7 de ecuador (El Oro - Loja - Zamora Chinchipe)

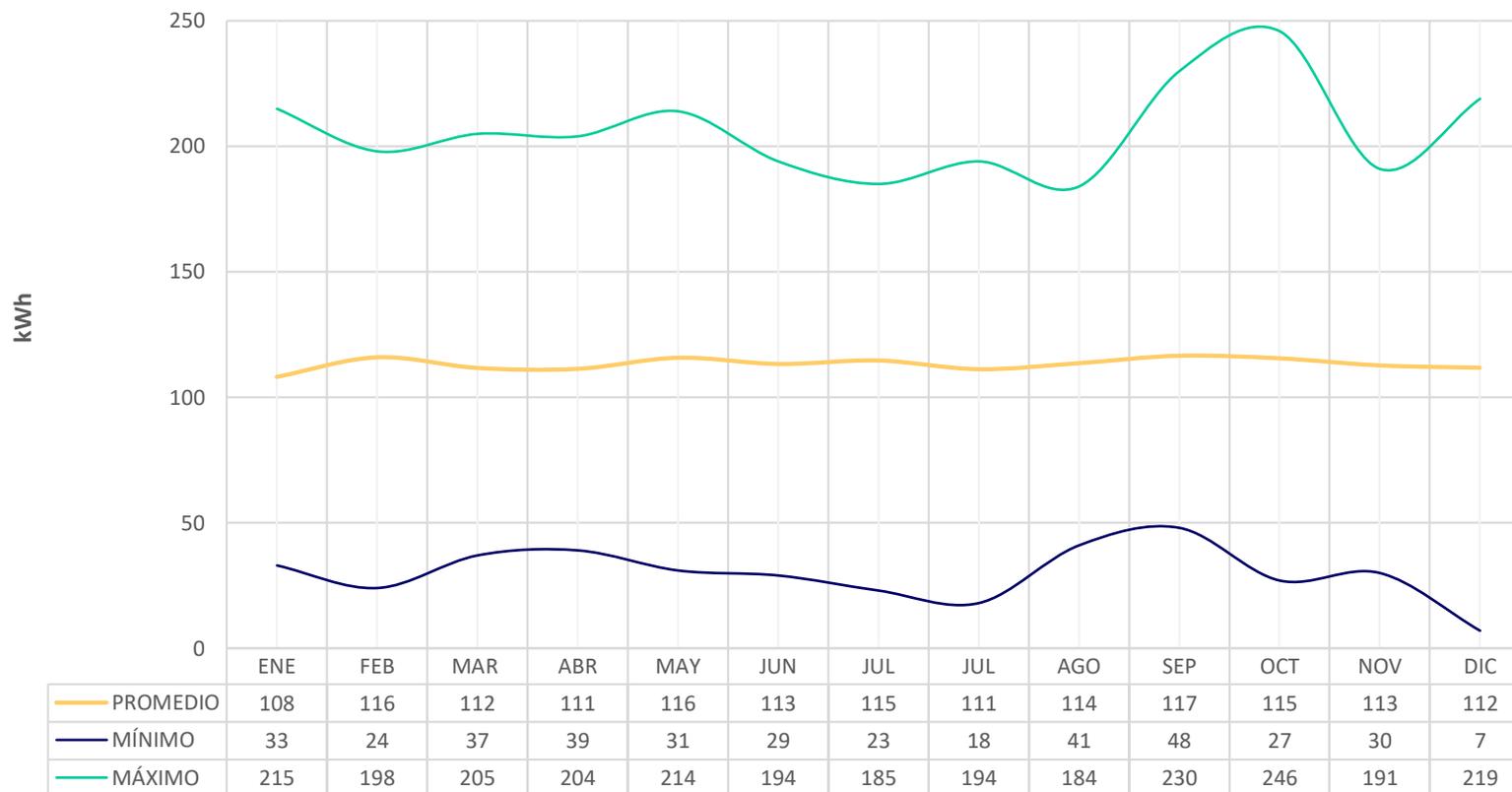


Figura 60. Curvas de consumo eléctrico promedio para las Zona 7 de Ecuador (El Oro - Loja - Zamora Chinchipe).
Fuente: Autor.

7.1.8. Datos de irradiación solar obtenidos de la estación meteorológica La Argelia.

En la Figura 61 se detallan los datos de irradiación solar promedios obtenidos para la estación meteorológica La Argelia correspondientes a los años 2017 - 2018, mediante la metodología planteada en el apartado anterior. La base de datos general utilizada se adjunta en el Anexo 3.

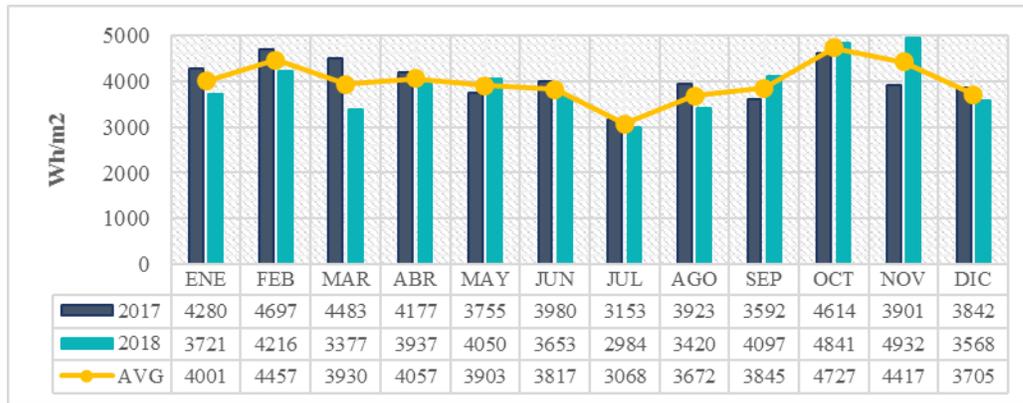


Figura 61. Promedio de irradiación solar para la estación meteorológica la Argelia 2017-2018.

Fuente: Autor.

7.2. Diseño del sistema fotovoltaico para la vivienda en estudio.

Una vez realizado el diseño en el software Solarius PV, se procedió a esquematizar el diseño fotovoltaico como se visualiza en la figura 62, se obtuvo que, para cubrir la demanda eléctrica requerida por la vivienda en estudio es necesario agrupar cuatro paneles solares conectados eléctricamente en una combinación en serie, para generar la corriente y el voltaje requeridos los cuatro paneles solares se estima que la potencia ideal es de 350 W para generar un voltaje de operación de 155 voltios en continua y una corriente de 9 amperios. Esto permitirá alimentar al inversor que a su vez transformara la corriente continua en alternar para que mediante el medidor bidireccional alimentar a la vivienda y a su vez general energía hacia la red eléctrica pública, así también es necesario realizar un sistema de protección para el sistema fotovoltaico, esto es fundamental la conexión de la estructura de los paneles solares a un sistema de puesta a tierra. Como se puede observar en la Figura 63 y así también en la Figura 64 en el cual se ilustra el diagrama unifilar del sistema fotovoltaico diseñado.

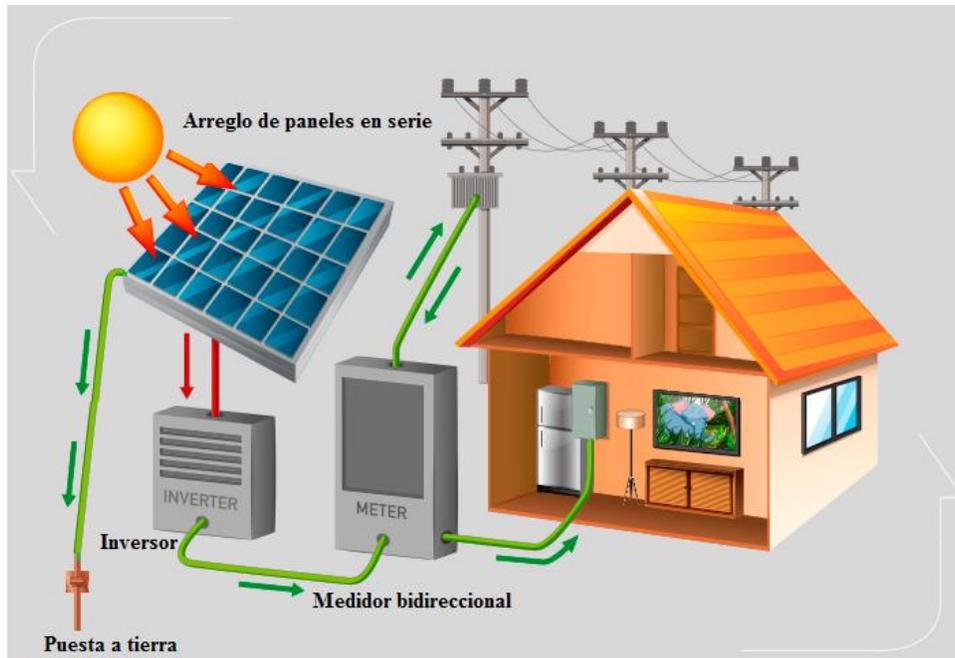


Figura 62. Sistema fotovoltaico.

Fuente: Autor.

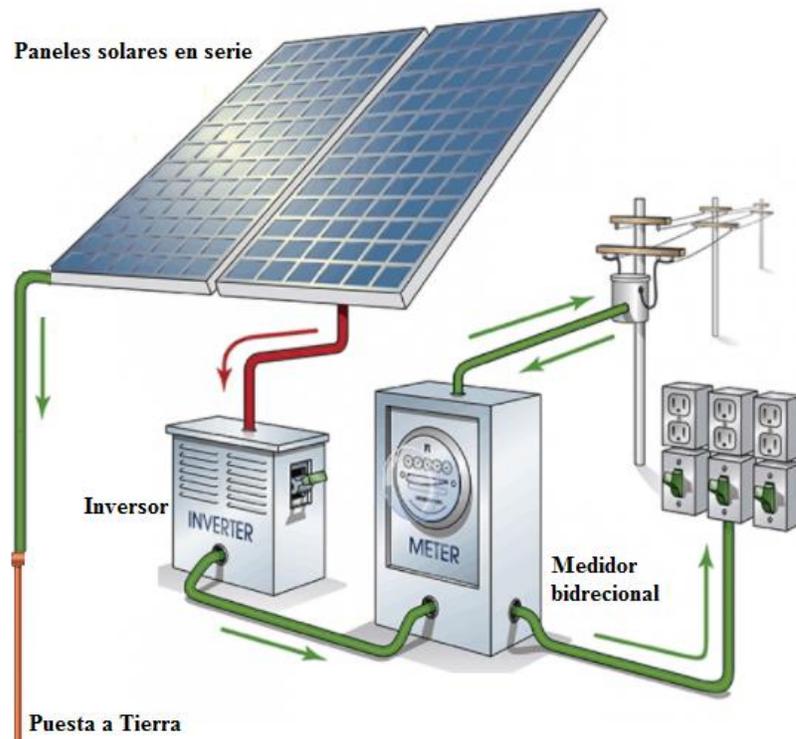


Figura 63. Protección a tierra del sistema.

Fuente: Autor.

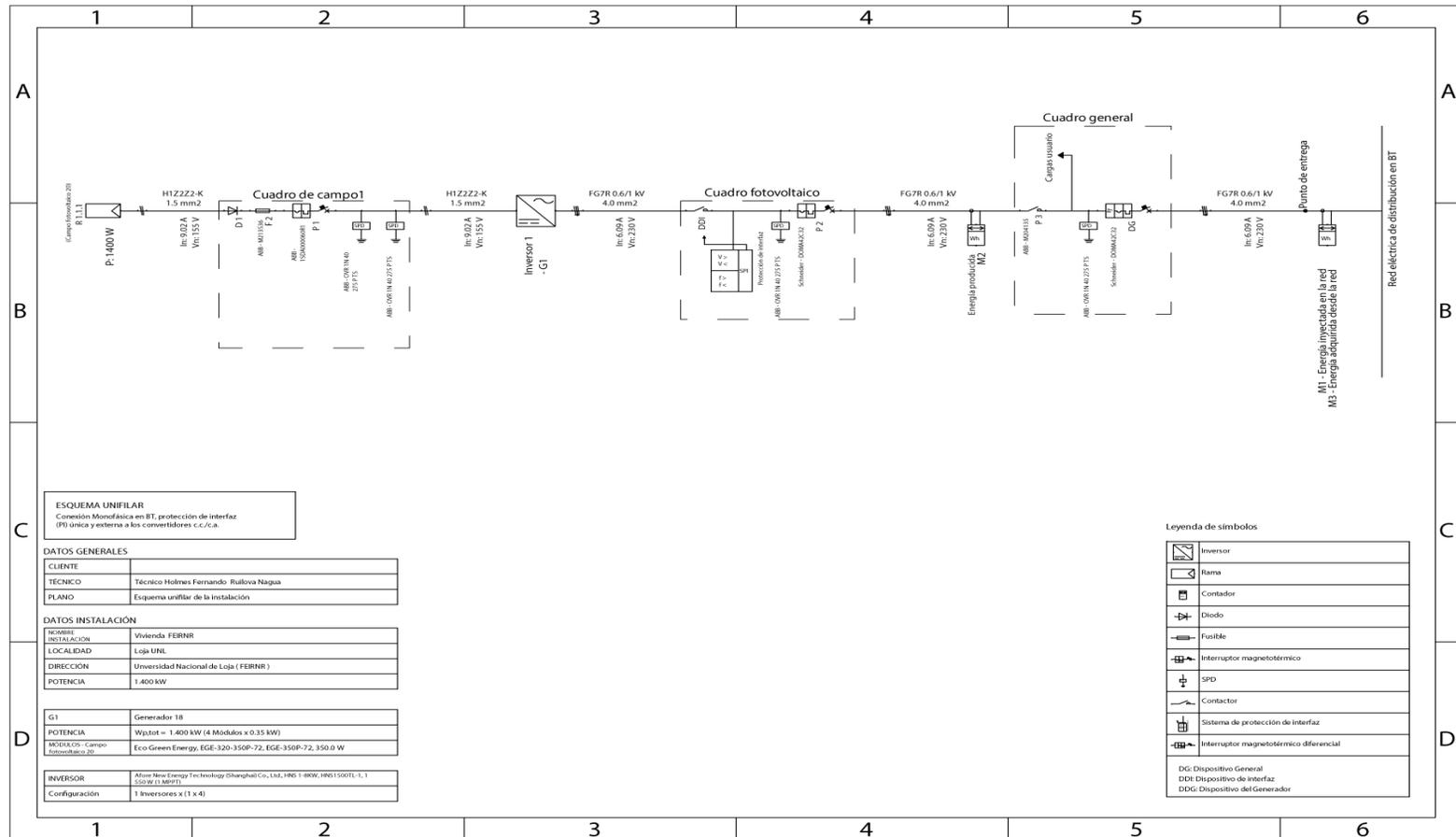


Figura 64. Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico.

Fuente: Autor

Coeficiente de sombreado

El coeficiente de sombreado debido a elementos naturales (montañas, árboles) o artificiales (edificios), obtenido para nuestro sistema fotovoltaico es de 0.90, es decir que la pérdida por obstáculos presentes al contorno del lugar de implementación es mínima, como se observa en la Figura 65.

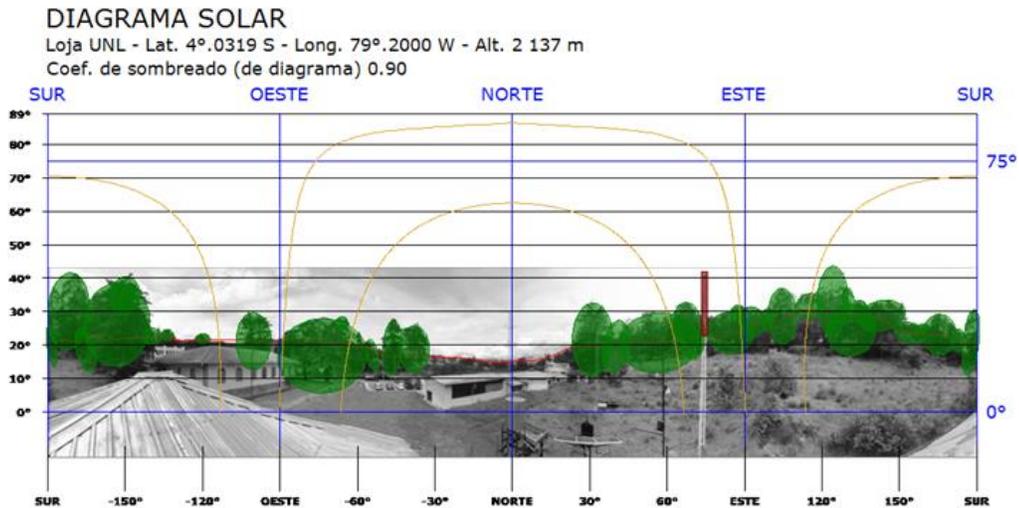


Figura 65. Coeficiente de sombreado.

Fuente: Autor.

Principales componentes del sistema

Una vez realizado el diseño en el software Solarius PV se obtuvo que, para cubrir la demanda eléctrica requerida por la vivienda en estudio, se deben considerar los principales componentes descritos a continuación en la Tabla 6, las hojas de datos técnicos se adjuntan en el Anexo 4.

Tabla 6. Componentes fotovoltaicos.

Cant.	Elemento	Marca	Modelo	Tipo	Potencia
4	Paneles	Eco Green Energy	EG-350P-72	Si Policristalino	350 Wp
1	Inversor	Afore New Energy	HNS1500TL-1	Monofásico	1550 W

Fuente: Autor

7.3. Simulación técnica - económica del sistema fotovoltaico diseñado.

Se desarrolla una simulación del sistema fotovoltaico diseñado para la vivienda, permite interpretar la producción de energía y la capacidad de abastecimiento del mismo para los equipos que integran la demanda en estudio, en esta simulación se analiza los parámetros de producción, consumo, e importación o exportación de energía hacia la red eléctrica. A continuación, se detalla cada uno de los resultados obtenidos.

7.3.1. Simulación de producción de energía.

Tabla 7. Cantidad de energía producida en periodos horarios medios mensuales para un año.

Mes	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
Ene			0.39	0.53	0.65	0.71	0.71	0.65	0.53	0.39	0.23		
Feb			0.42	0.58	0.70	0.77	0.77	0.70	0.58	0.42			
Mar			0.35	0.49	0.60	0.66	0.66	0.60	0.49	0.35	0.20		
Abr				0.47	0.59	0.65	0.65	0.59	0.47	0.33			
May			0.30	0.43	0.54	0.60	0.60	0.54	0.43	0.30			
Jun			0.28	0.41	0.51	0.57	0.57	0.51	0.41	0.28			
Jul			0.24	0.35	0.43	0.47	0.47	0.43	0.35	0.24			
Ago			0.29	0.42	0.52	0.58	0.58	0.52	0.42	0.29			
Sep			0.33	0.47	0.57	0.63	0.63	0.57	0.47	0.33			
Oct			0.43	0.60	0.73	0.81	0.81	0.73	0.60	0.43			
Nov			0.43	0.59	0.71	0.78	0.78	0.71	0.59	0.43	0.26		
Dic			0.36	0.50	0.60	0.66	0.66	0.60	0.50	0.36	0.22		

Fuente: Autor

En la Tabla 7 se muestra los valores de generación, horarios medios mensuales para un año, donde se observa que la generación para todos los meses a excepción de abril inicia a las 8 am y culmina a las 3 pm, de la misma manera se puede observar que los meses de enero, marzo, noviembre y diciembre la generación finaliza a las 4 pm.

7.3.2. Cantidad de energía producida, consumida y exportada a la red eléctrica, en periodos mensuales en lapso de un año.

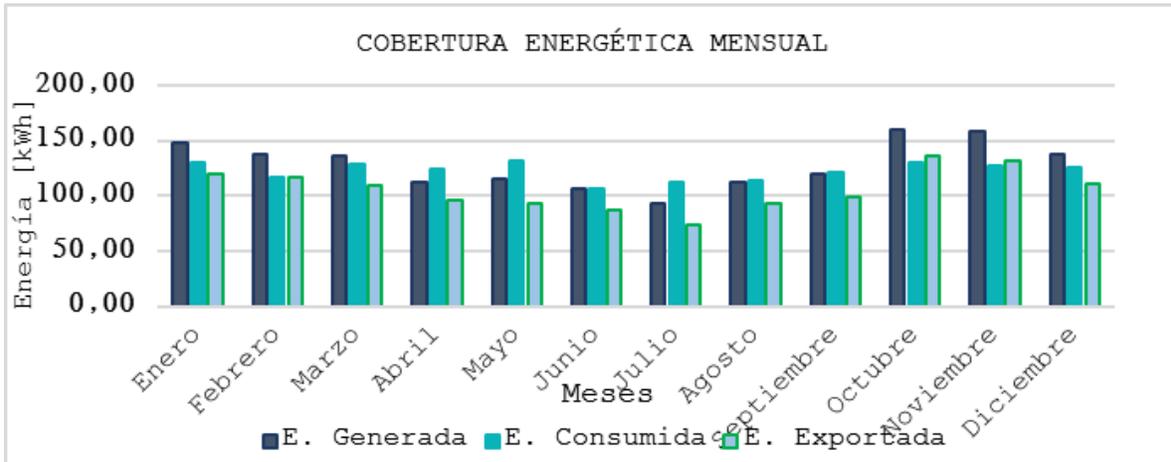


Figura 66. Cobertura energética mensual.

Fuente: Autor.

La figura 66 ilustra el comportamiento mensual entre la energía generada, consumida y exportada durante un año, se observa que para el mes de octubre existe la mayor cantidad de energía producida alcanzando un máximo de 159.34 kWh, lo cual justifica que para el mismo mes existe la mayor cantidad de energía exportada a la red eléctrica es de 1135.91 kWh.

7.3.3. Cantidad de energía producida, consumida y exportada a la red, en periodos horarios para un día.

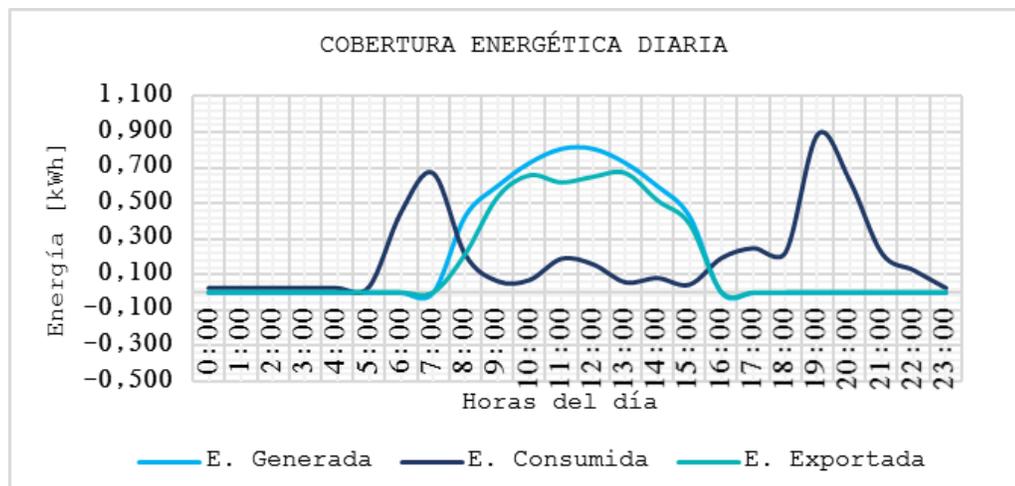


Figura 67. Valores de consumo horario - Solarius PV.

Fuente: Autor.

La figura 67 detalla el comportamiento de las curvas de energía generada, energía consumida y energía exportada a la red eléctrica un día lunes del mes de octubre, en la que se puede apreciar, las horas de mayor consumo entre las (5 -7) am y (6 -10) pm, en estos intervalos el sistema absorbe energía de la red, debido a que el periodo de generación para este día comprendido entre 8 am y 4 pm alcanza su máxima generación aproximadamente de 10 am y 2 pm, por lo tanto en este intervalo de tiempo se contará con un porcentaje de energía excedente disponible para inyectarlo a la red de modo que se compensa la cantidad de energía absorbida en las horas de mayor consumo.

Factor de planta

Este indicador visualiza la producción energética del sistema en el lapso de un año, para ello se realiza mediante el modelo matemático expuesto en la Ecuación 1.

$$F_p = \frac{1538.45 \text{ kWh}}{1.40 \text{ kWp} \cdot 8760h} \cdot (100\%)$$

De Ec.1

$$F_p = 12.54 \%$$

El factor de planta obtenido para el sistema diseñado alcanza el 12.54%, este valor es un porcentaje considerable respecto al factor de planta obtenido en centrales fotovoltaicas de gran tamaño en Ecuador se alcanza entre 12.4 % - 25%.

Índice de rendimiento

Este porcentaje establece una relación de la producción energética real del sistema, respecto a la producción energética ideal del mismo.

$$PR = \frac{1538.45 \text{ kWh}}{\frac{1444.28 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \cdot 1.40 \text{ kW}}{1 \text{ kW/m}^2}} \cdot 100$$

De Ec.2

$$PR = 76.085\%$$

El índice de rendimiento del sistema fotovoltaico diseñado alcanza el 76.085 % reflejando un valor cercano al porcentaje máximo referencial dado en un 80%, según menciona (SMA, 2011).

7.4. Estudio de factibilidad.

El estudio de factibilidad es el análisis económico que establece un criterio de valoración económica favorable o desfavorable referente a la implementación de un sistema fotovoltaico, a continuación, se detallan algunas tablas con los indicadores inmersos en el presente trabajo investigativo.

Tabla 8. Evaluación de costos de equipos empleados

Evaluación de costos								
Elem.	Cant.	C.U	C.Tot	CIF[\$]	AD.Valorem	FODIN F	IVA	Total
Paneles	4	87. 5	350	490.75	49.08	2.45	65.07	956.68
Inversor	1	250	250	102.50	27.05	1.35	35.87	416.77
							Costo de obra	1373.4
Presupuesto y estimación a partir de datos generales								
Resumen instalación				Inversión de la instalación				
Producción anual [kWh]				1538.45	Costo de equipos [\$]			1373.45
Potencia nom. instalada [kW]				1.400	Protección y Secc. [\$]			100.00
Número de módulos				4	Transporte y estructura [\$]			100.00
Número de inversores				1	Gastos técnicos [\$]			200.00
---				---	Costo Total [\$]			1773.45
---				---	Imprevistos	5%	88.67	
---				-	Costo total de obra [\$]			1862.12
Costos de operación								
Costos extraordinarios								
Descripción		Año	P. destinado	[\$/kWp]	Costo [\$]			
Mantenimiento extraordinario		10	Valor fijo	42.85	60.00			
Sustitución de inversor		10	Valor fijo	297.69	416.77			
Costos periódicos								
Descripción		Periodo	P. destinado	[\$/kWp]	Costo [\$]			
Mantenimiento		1	Valor Fijo	21.42	30.00			
Rentabilidad								
Tarifa de alimentación				Datos generales				
Tarifa de alimentación		0.000	Consumo tot. Anual [kWh]			1471.0		
Duración de tarifa alim [años]		N/A	Tarifa exportación [\$/kWh]			0.000		
			Tarifa de compra [\$/kWh]			0.095		
Factores de rentabilidad								
Tasa a considerar ----								
Tasa de inflación anual (O&M)		1%	T. inflación energía anual			1%		
Tasa de descuento		4%	Aumento consumo anual			1%		
Instalación ----								
Perdida de eficiencia anual		0.90%	Duración vida útil [años]			25		

Fuente: Autor

- **Pérdida de eficiencia**

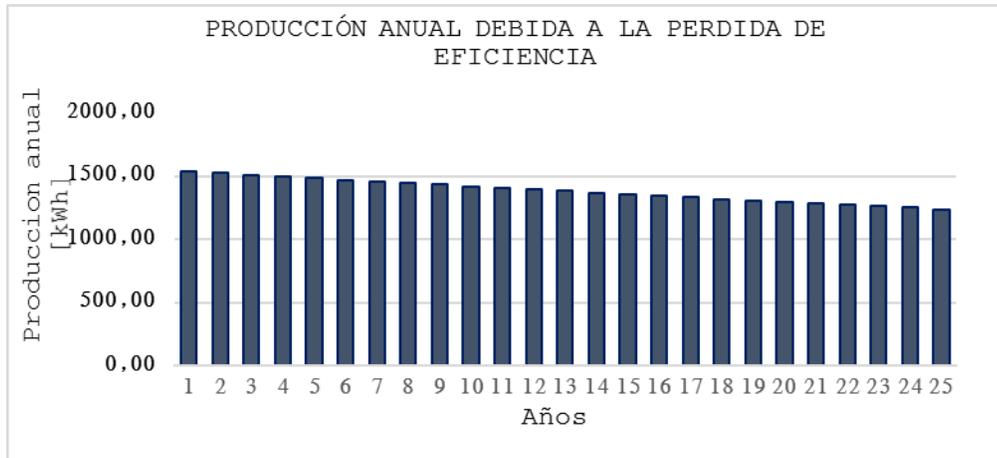


Figura 68. Producción anual de energía debido a pérdida de eficiencia del sistema.

Fuente: Autor.

La figura 68 describe la pérdida de eficiencia del sistema fotovoltaico diseñado, se considera un lapso de 25 años de vida útil, la imagen muestra en el primer año una producción de 1538.45 kWh y para el vigésimo quinto año la producción desciende a 1238.37 kWh, es decir, la generación del sistema decaerá aproximadamente en un 22.5% durante su vida útil.

- **Aumento de consumo anual**

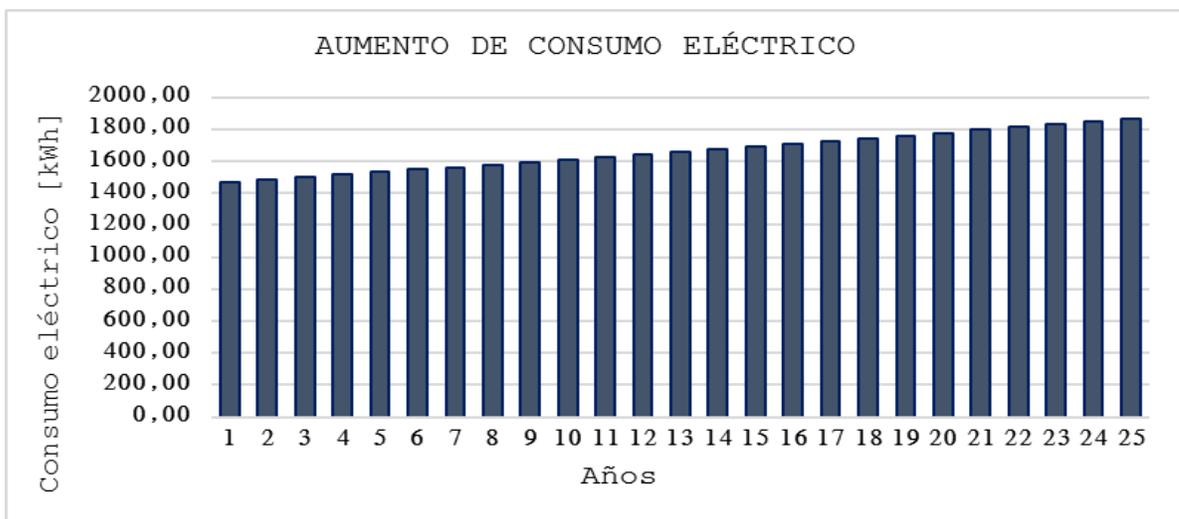


Figura 69. Aumento de consumo eléctrico.

Fuente: Autor.

La figura 69 describe el incremento de consumo anual que experimentará la vivienda en estudio, la imagen detalla una demanda eléctrica de 1471 kWh para el primer año y para el vigésimo quinto año la demanda asciende a 1867.78 kWh aproximadamente, es decir el incremento total de consumo durante los 25 años de vida útil del sistema fotovoltaico aumentará en un 25%.

- **Tasa anual de inflación de la energía con aumento de consumo**

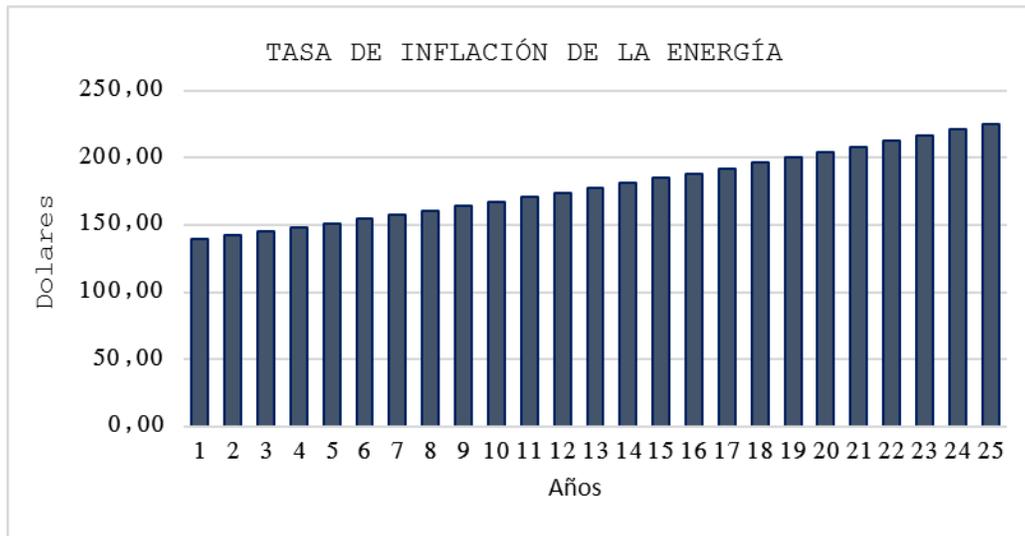


Figura 70. Tasa de inflación de energía.

Fuente: Autor.

La Figura 70 ilustra el incremento del costo del kWh respecto al incremento de consumo dado por cada año, se observa que en el primer año de implementación del sistema fotovoltaico el valor monetario de la energía consumida alcanza 139.75 \$ y para el último año de funcionamiento del sistema ascenderá a 225.30 \$ aproximadamente.

- **Costos de operación y mantenimiento**

Los rubros de operación involucran los costos extraordinarios y los costos periódicos de mantenimiento. Se considera el 1% como tasa de inflación a los costos periódicos, la Figura 71 muestra dicho incremento.

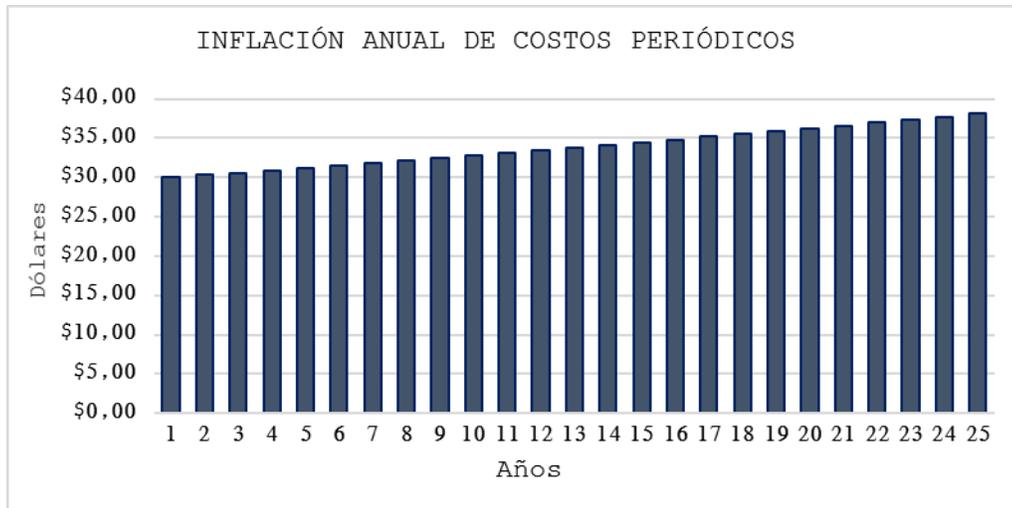


Figura 71. Inflación anual de costos periódicos.

Fuente: Autor.

La Figura 71 detalla un costo de 30 \$ para el primer mantenimiento del sistema fotovoltaico, y para el último año de operación, un valor de 38,09 \$ aproximadamente, reflejando un aumento del 25 % durante la vida útil del sistema.

- **Flujo de caja y retorno de la inversión.**

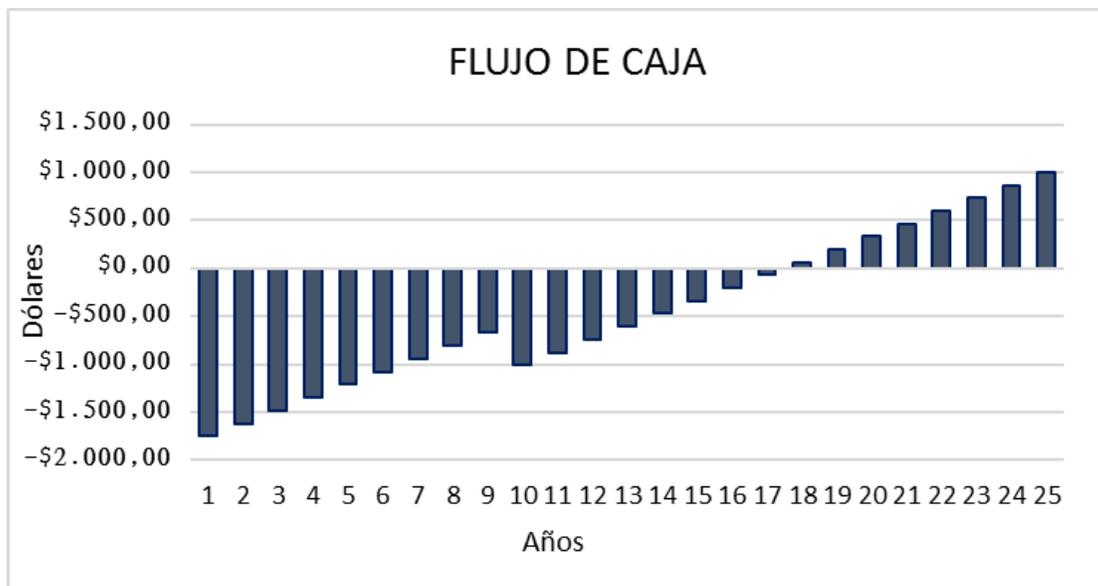


Figura 72. Flujo de caja

Fuente: Autor.

La Figura 72 puntualiza el retorno de la inversión requerida en la implementación del sistema fotovoltaico, los valores negativos representan los gastos y los valores positivos la utilidad generada. La inversión inicial del proyecto es de 1752.38 \$, dicho rubro es el valor referencial

a compensarse durante la vida útil del sistema, se aprecia que hasta el noveno año existe 669.04 \$ como saldo de la inversión inicial. En el décimo año la inversión se aumentará hasta 1010.54 \$ esto se da a razón de que en este año es necesario realizar el cambio del inversor, a partir de este año nuevamente se empieza a compensar la inversión hasta los años 17 y 18 donde se visualiza que la inversión se logrará compensar totalmente, y posterior a ello se empieza a generar utilidad hasta el vigésimo quinto año.

Valor actual neto y tasa interna de retorno.

VAN \$840.82

TIR 8.05%

7.5. Diseño del sistema de monitorización, adquisición y transición de las principales variables eléctricas para el sistema fotovoltaico de la vivienda en estudio.

El sistema para la adquisición y transmisión de datos eléctricos diseñado se presenta en una plataforma donde almacena una base de datos de las principales variables eléctricas con fecha y hora para su respectivo análisis como se muestra en la Figura 73.



Figura 73. Variación la variable Vrms.

Fuente: Autor.

En la Figura 73 se puede observar como el Vrms varia a lo largo del día, esta información es almacenada en una base de datos como se muestra en la Figura 74.

New data available		
2020-02-12 17:46:04 -05:00	128.25	0
2020-02-12 17:45:57 -05:00	126.53	0
2020-02-12 17:45:50 -05:00	126.00	0
2020-02-12 17:45:43 -05:00	124.44	0
2020-02-12 17:45:35 -05:00	126.05	0

Figura 74. Datos almacenados de la variable Vrms.

Fuente: Autor.

La Figura 75 muestra la interfaz final del sistema de monitorización, adquisición y transición de las principales variables eléctricas, diseñado para la vivienda en estudio, de igual forma, pueden ser monitorizadas desde pantalla de un celular inteligente como se puede observar se la Figura 76.

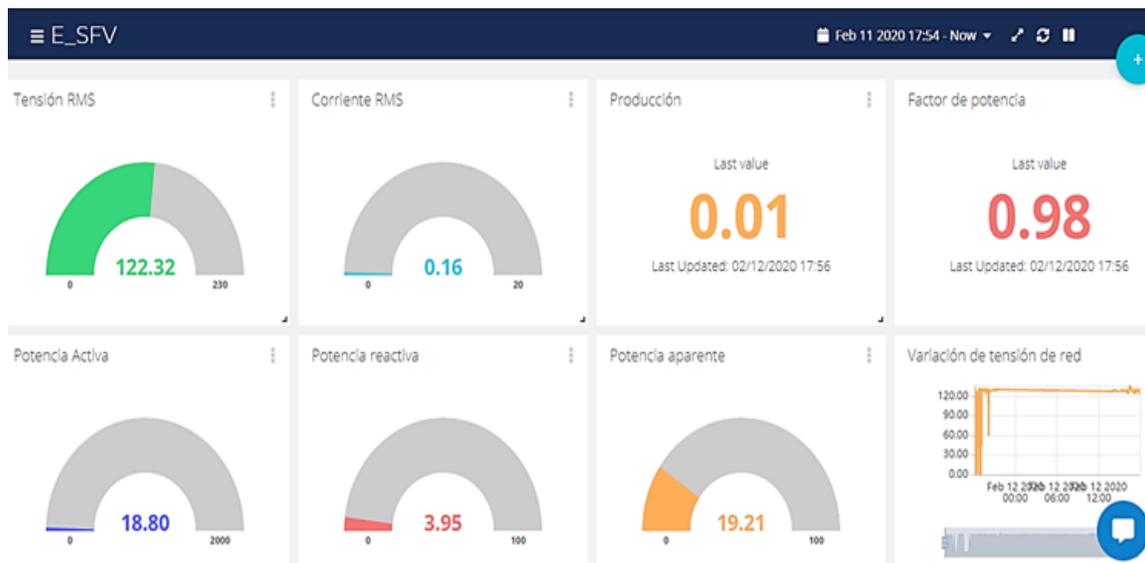


Figura 75. Interfaz del sistema de adquisición de datos eléctricos Ubidots.

Fuente: Autor.

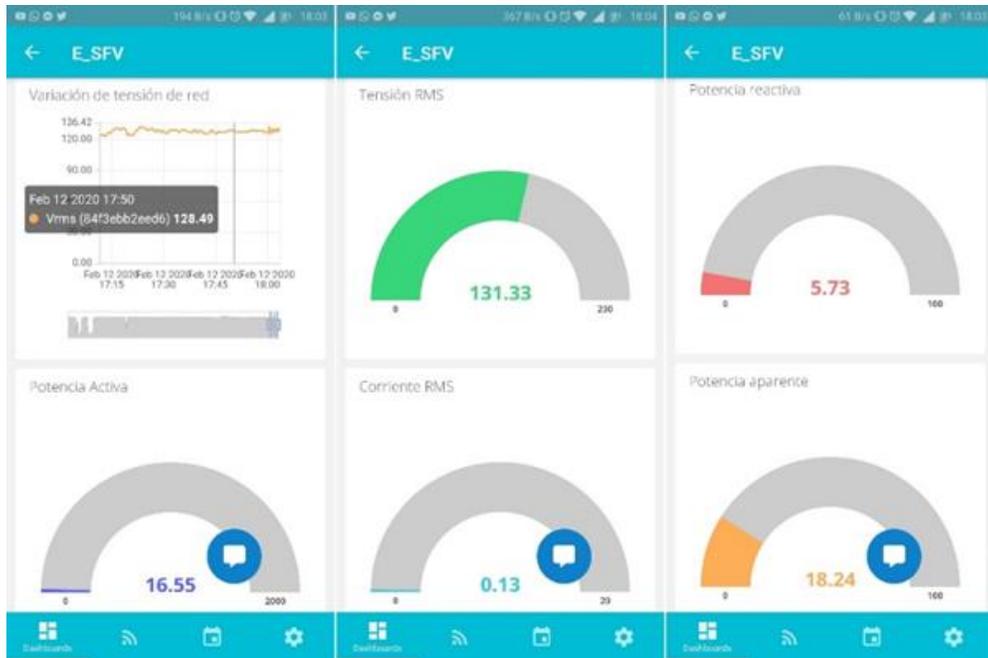


Figura 76. Interfaz del sistema de adquisición de datos eléctricos Ubidots (Smartphone).

Fuente: Autor.

8. DISCUSIÓN

Para evidencia los resultados del sistema se propuso utilizar un caso de estudio en una vivienda, obteniéndose resultados satisfactorios. El propósito es analizar, desde el punto de vista técnico-económico, un sistema fotovoltaico bidireccional, que logre alimentar la carga necesaria, así mismo, generar energía para inyectar a la red eléctrica central cuando este sistema sobrepase los valores de carga dimensionada.

Como caso de estudio, este método se aplica para analizar un proyecto que está diseñado para garantizar las demandas energéticas de una casa ubicada en Universidad Nacional de Loja, en la facultad de la Energía Las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables. De acuerdo con los requisitos del proyecto y las consideraciones técnicas, se tiene un consumo promedio por año de 1471.06kWh.

El uso de herramientas de programación para el desarrollo del proyecto permitió monitorear las variables de la propuesta como: voltaje y corriente, se aplicó conceptos del IoT, el uso de Ubidots y el NodeMCU dan la facilidad de verificar el estado del consumo de la casa desde un entorno web o móvil. Para comprobar el funcionamiento propuesto se simuló el sistema en el software Solaris PV, se configuró software en base a los cálculos matemáticos y características del caso de estudio, obteniéndose resultados satisfactorios.

9. CONCLUSIONES

Como conclusiones del trabajo de investigación se tiene:

- Las curvas promedio del consumo eléctrico en la Zona 7, en el caso de la provincia de El Oro oscilan entre un valor promedio de 115kWh en el mes de mayo para zonas templadas, y la misma tendencia para el mes de septiembre en zonas frías, en el mes de julio en zona cálida refleja un valor de 128 kWh. En el caso de la provincia de Loja, el valor promedio máximo para zonas templadas en el mes de septiembre es de 113 kWh, en el mes de octubre para zonas cálidas se refleja un valor de 127 kWh y 121 kWh para zonas frías en el mes de octubre. En el caso de la provincia de Zamora Chinchipe, en la zona templada alcanzar un valor promedio máximo de 105 kWh en el mes de octubre y en el mes de febrero 119 kWh para zonas cálidas. En base a estos datos se obtuvo una curva de consumo de energía eléctrica promedio para la zona 7 del Ecuador alcanzado un promedio máximo de 117 kWh en el mes de septiembre.
- En base a los datos obtenidos del consumo de la vivienda en estudio y los datos de radiación solar proporcionados por estación meteorológica La Argelia, se dimensionó el sistema fotovoltaico para cubrir la demanda de las cargas, como resultado, se obtiene un total de 4 paneles solares de 350W conectados en serie, dando un valor de voltaje nominal de 150 V DC y una corriente de 9 amperios, para transferir esa energía DC a AC se utiliza un inversor monofásico de 1550W que permitirá inyectar energía eléctrica al medidor bidireccional.
- Mediante el software Solaris PV, se realizó la simulación de todo el sistema fotovoltaico, dando como resultado la factibilidad de sistema, a través, de los cálculos matemáticos se obtuvo los parámetros para ingresar al software y realizar el levantamiento de simulación real, cumpliendo con los requisitos de cargas y especificaciones técnicas de los dispositivos y entorno de ubicación de la casa.
- Se realizó el sistema monitorización y adquisición de datos con la ayuda de la plataforma IoT Ubidots, misma que permite visualizar la información en tiempo real de las variables de voltaje, corriente, producción de energía, factor de potencia, potencias activa, reactiva, aparente y valores de tensión de la red. Para la adquisición de la información se utilizó el módulo NodeMCU donde se acopla el sensor SCT013 para medir las variables en mención.

- El análisis técnico - económico realizado, permite evaluar variables importantes como inversión inicial y periodo de recuperación de inversión del sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica, donde se obtiene que en el año 17 y 18 posterior al funcionamiento la inversión se lograra compensar en su totalidad y posterior se empieza a generar utilidad hasta el año 25 que es la vida útil del sistema.

10. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios de potencialidad técnico-económica en las diferentes regiones del país para promover ampliamente el uso de tecnología fotovoltaica en las ciudades, es decir que esta tecnología esté al alcance de hogares, escuelas, centros comerciales, hospitales, empresas, etc.
- Es fundamental que este tipo de tecnología sea utilizada de forma masiva en las ciudades, para lo cual es necesario la creación de incentivos por parte del gobierno que promuevan la utilización de recursos renovables para el autoconsumo.
- Realizar un estudio detallado del coeficiente de sombreado y las horas solares pico en el lugar de implementación del sistema fotovoltaico, con el objeto de aprovechar al máximo la radiación solar.
- Realizar una selección de los equipos con prioridad en la relación costo – beneficio basados en la normativa vigente, puesto que por un menor costo de equipos se arriesga la funcionalidad del sistema fotovoltaico, teniendo a futuro un diseño deficiente.
- Implementar inteligencia a la plataforma del sistema fotovoltaico diseñado, con la finalidad de evaluar el comportamiento de la generación energía eléctrica, y toma de decisiones de forma correcta en base a predicciones.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Abella, M. A. (2005). Sistemas fotovoltaicos. *SAPT Publicaciones Técnicas, SL*, 84.
- Álvarez, O., Montaña, T., & Maldonado, J. (2018). *Compendio De Apuntes Sobre Energía Renovable Y Clima De La Región Sur De Ecuador*. May.
- ARCONEL. (2018). *El Directorio De La Agencia De Regulación Y Control De Electricidad - Arconel*. <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/042-18.pdf>
- Castaño, S. R. (2004). Redes de distribución de energía. *Universidad Nacional de Colombia*, [Online].
- Castejón, A., & Santamaría, G. (1993). *Tecnología eléctrica* (McGraw-Hil). https://biblioteca.unirioja.es/biba/mas_info.php?-titn=25652
- CONELEC. (2012). *Tratamiento para la energía producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales*. https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/10/CONELEC_004_11_ERNC.pdf
- Díaz Martínez, R. (2017). *Diseño, modelamiento y simulación de un sistema fotovoltaico autónomo de bajo costo empleando matlab: caso de estudio Bahía Málaga*.
- EERSSA. (2021). *Empresa Eléctrica Regional del Sur S. A.* http://186.178.204.52/valores_facturas/
- Enerver. (n.d.). *Inversores solares con conexión a red , fuera de la red*. Retrieved August 14, 2021, from <http://enerverperu.com/inversores>
- Fernández Ferichola, J. (2009). *Caracterización de módulos fotovoltaicos con dispositivo portátil*.
- INAMHI. (n.d.). *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología*. Retrieved August 14, 2021, from <http://www.inamhi.gob.ec/>
- Itterheimová, P., Foret, F., & Kubáň, P. (2021). High-resolution Arduino-based data acquisition devices for microscale separation systems. *Analytica Chimica Acta*, 1153, 338294.
- Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A., & Kim, K.-H. (2018). Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 894–900.
- Karabanov, S., Kukhmistrov, Y., Miedzinski, B., & Okraszewski, Z. (2010). Photovoltaic systems. *2010 Modern Electric Power Systems*, 1–5.
- Llamas, L. (2017). *Sensor De Corriente Eléctrica No Invasivo Con Arduino Y Sct-013*.

- <https://www.luisllamas.es/arduino-sensor-corriente-sct-013/>
- Martín-Lopo, M. M., Boal, J., & Sánchez-Miralles, Á. (2020). A literature review of IoT energy platforms aimed at end users. *Computer Networks*, 171, 107101.
- Miranda Escobar, M. A. (2016). *Diseño de sistema de generación fotovoltaica para viviendas conectadas a la red de distribución, en el contexto de la Ley N 20.571*.
- Moreno, D. (2016). *Publicaciones De La Semana Nacional De Energía Solar*. 736.
https://anes.org.mx/wp-content/uploads/2019/04/SNES_XL.pdf
- Nayyar, A., & Puri, V. (2016). A review of Arduino board's, Lilypad's & Arduino shields. 2016 *3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, 1485–1492.
- NEC. (2011). *Norma Ecuatoriana De La Construcción 2011*.
<https://inmobiliariadja.wordpress.com/nec-2011/>
- NSRDB. (n.d.). *National Solar Radiation Database*. Retrieved August 14, 2021, from <https://nsrdb.nrel.gov/>
- Olmos Sanchis, J. J., & Pinci Ferrer, A. (2019). *Diodo rectificador. Circuito rectificador de media onda y rectificador de onda completa*.
- Parihar, Y. S. (2019). Internet of Things and Nodemcu. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 6(6), 1085.
- Parrado, D. A. A., Infante, F. E. R., Daza, L. M., & Rojas, D. C. B. (2010). Estación Meteorológica Inalámbrica. *Umbral Científico*, 17, 66–72.
- Pilco, D., & Jaramillo, J. (2008). Sistemas fotovoltaicos para iluminación: paneles fotovoltaicos. *Univ. Técnica Part. Loja*, 1–4.
- Rosas, R. M. M. (2009). *Tecnología eléctrica* (Vol. 47). Univ. Politèc. de Catalunya.
- Salazar-Peralta, A., Pichardo-S, A., & Pichardo-S, U. (2016). La energía solar, una alternativa para la generación de energía renovable. *Revista de Investigación y Desarrollo*, 2(5), 11–20.
- SMA. (2011). *Coeficiente de rendimiento, Factor de calidad de la instalación fotovoltaica*.
- Sukhatme, S. P., & Nayak, J. K. (2017). *Solar energy*. McGraw-Hill Education.
- Ubidots. (2021). *ubidots*. <https://ubidots.com/>
- Umar, N., Bora, B., Banerjee, C., & Panwar, B. S. (2018). Comparison of different PV power simulation softwares: case study on performance analysis of 1 MW grid-connected PV solar power plant. *International Journal of Engineering Science Invention (IJESI)*, 7(7), 11–24.

- Vaca-Cárdenas, M. E., Ordoñez-Ávila, E. R., Vargas-Estrada, A. A., & Vaca-Cárdenas, L. A. (2019). Impacto de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (Conectivismo) en la Promoción de Vivienda. Un estudio comparativo en la ciudad de Quito y Portoviejo – Ecuador. *Killkana Técnica*, 3(3), 34. https://doi.org/10.26871/killkana_tecnica.v3i3.587
- Vaca Revelo, D., & Ordóñez, F. (2020). *Mapa Solar del Ecuador 2019*.
- Yang, D., Alessandrini, S., Antonanzas, J., Antonanzas-Torres, F., Badescu, V., Beyer, H. G., Blaga, R., Boland, J., Bright, J. M., & Coimbra, C. F. M. (2020). Verification of deterministic solar forecasts. *Solar Energy*, 210, 20–37.

12. ANEXOS

Anexo 1. Encuesta modelo a realizar, para evaluar el consumo eléctrico en la Zona 7 del Ecuador

15/7/2021

CONSUMO ELÉCTRICO

CONSUMO ELÉCTRICO

La presente encuesta es de carácter académico y anónima enfocada a obtener una curva de demanda energética residencial, considerando para el análisis cantones de la Zona 7 del Ecuador.

Por favor, para realizar la encuesta leer cuidadosamente y señalar la opción acorde a su situación.

Muchas gracias por su colaboración.

***Obligatorio**

1.- ¿Cuál es la provincia en donde esta ubicada su vivienda? *

- El Oro
- Zamora
- Loja

2.- ¿Elija en que cantón esta ubicada su vivienda? *

Elige

3.- ¿ Cuántas personas habitan en su vivienda? Considerar el rango de edades.

	1	2	3	4	5	6
0 a 10 años	<input type="radio"/>					

	1	2	3	4	5	6
Entre 10 y 20 años	<input type="radio"/>					

 Solicitar acceso de edición

https://docs.google.com/forms/d/1ywm2EdQ4Rih05kgcLfcaQ7vikQ7GL54WNH6d3e2YLPA/viewform?chromeless=1&edit_requested=true

1/9

	1	2	3	4	5	6
Entre 20 y 30 años	<input type="radio"/>					

	1	2	3	4	5	6
Entre 30 y 40 años	<input type="radio"/>					

	1	2	3	4	5	6
Entre 40 y 50 años	<input type="radio"/>					

	1	2	3	4	5	6
Mayor a 50 años	<input type="radio"/>					

4.- Seleccione el tipo de vivienda en la que habita . *

- Casa individual de una sola planta.
- Casa individual de dos o mas plantas.
- Forma parte de un bloque de viviendas.

[Solicitar acceso de edición](#)

5.- ¿Cuál es el área aproximada de su vivienda? *

- Menos de 50 m2
- 50-100 m2
- 100-150 m2



 Solicitar acceso de edición

6.- Seleccione aquellos dispositivos de los cuales disponga en su vivienda y la cantidad de los mismos?

	1	2	3	4	5
Televisor	<input type="radio"/>				
Refrigeradora	<input type="radio"/>				
Lavadora	<input type="radio"/>				
Licuada	<input type="radio"/>				
Computadora	<input type="radio"/>				
Ducha eléctrica	<input type="radio"/>				
Cocina de inducción	<input type="radio"/>				
Teléfono	<input type="radio"/>				
Waflera	<input type="radio"/>				
Microondas	<input type="radio"/>				
Plancha	<input type="radio"/>				
Equipo de sonido	<input type="radio"/>				
Batidora	<input type="radio"/>				
Cafetera	<input type="radio"/>				
Arrocera	<input type="radio"/>				
Ventilador	<input type="radio"/>				



Solicitar acceso de edición

15/7/2021

CONSUMO ELÉCTRICO

Bomba hidráulica	<input type="radio"/>				
Aire Acondicionado	<input type="radio"/>				
Calefacción eléctrica	<input type="radio"/>				
Taladro	<input type="radio"/>				
Amoladora	<input type="radio"/>				
Pistola de silicon	<input type="radio"/>				
Cargador de celular	<input type="radio"/>				

Otros especifique

Tu respuesta



 Solicitar acceso de edición

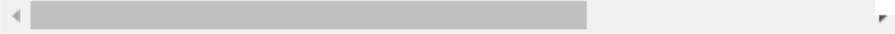
7.- De acuerdo al total de luminarias (bombillos) en su vivienda, ¿Cuántas luminarias tiene en relación a la tecnología usada? (Desplazar a la derecha para seleccionar respuestas mayores a 7)



INCANDESCENTES

0 1 2 3 4 5 6 7

Incandescentes



 Solicitar acceso de edición



FLUORESCENTES
COMPACTOS

0 1 2 3 4 5 6 7 8

Fluorescentes



LED

0 1 2 3 4 5 6 7 8 1

Led



Solicitar acceso de edición

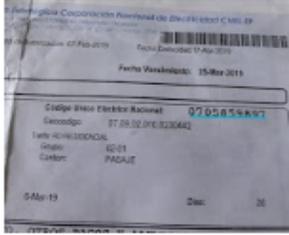


0 1 2 3 4 5 6 7 8

Halogena

◀

8.- Observe su planilla de facturación eléctrica y digite su Código Único Eléctrico Nacional o número de medidor? *



Tu respuesta

 Solicitar acceso de edición

9.- Seleccione el rango aproximado de pago por consumo eléctrico mensual de su vivienda. *

- 0 a 10 dólares
- Entre 10 - 20 dólares
- Entre 20- 30 dólares
- Entre 30 - 40 dólares
- Mayor a 40 dólares

Página 1 de 1

Enviar

Nunca envíe contraseñas a través de Formularios de Google.

Este formulario se creó en Universidad Nacional de Loja. [Notificar uso inadecuado](#)

Google Formularios



 Solicitar acceso de edición

Anexo 2. Base de datos del consumo eléctrico anual en la Zona 7 del Ecuador

Tabla 9. Consumo eléctrico promedio para los cantones de la provincia de El Oro.

CONSUMO ELÉCTRICO - PROVINCIA EL ORO																
CANTÓN	CUEN/Nº MEDIDOR	USUARIO	MENSUAL KWH/MES													ANUAL KWH/ AÑO
			JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	
ARENILLAS	705143440	CACERES CHERREZ EDWIN BISMARCK	145	119	110	127	118	149	147	178	166	187	251	210	190	2097
ARENILLAS	705392618	GUERRERO CUEVA ANITA DEL ROCIO	164	154	152	130	140	142	159	178	177	186	213	175	165	2135
ARENILLAS	705221197	SOLORZANO OCHOA CLAUDIO	87	97	119	140	123	155	160	160	138	147	166	180	161	1833
ARENILLAS	705140920	ROSALES FREDIBRANDO	142	151	163	170	167	185	189	204	170	188	202	171	179	2281
ARENILLAS	705265996	CORDOVA ENCALADA JOSE ANTONIO	135	147	134	155	146	162	147	165	161	148	174	154	164	1992
ATAHUALPA	705630744	MACAS CORONEL JHONNY ROLANDO	111	102	230	246	184	106	109	99	86	103	121	82	95	1674
ATAHUALPA	707907455	MATAMOROS LOAIZA ANGEL EDUARDO	60	56	72	68	77	67	74	77	62	64	62	66	55	860
ATAHUALPA	707917000	ROMERO GALLARDO NESTOR JACINTO	108	94	100	106	109	89	108	109	89	91	92	116	87	1298
ATAHUALPA	707901000	BUELE SACA JORGE FERNANDO	74	73	79	86	84	64	73	79	74	82	76	89	70	1003
ATAHUALPA	707907175	TINOCO TINOCO MARTHA ESTELA	81	79	98	90	89	67	76	94	90	77	83	93	74	1091
BALSAS	705312988	ROBLES MEDINA VICENTE JAVIER	113	132	92	86	98	95	108	101	91	43	104	143	108	1314
BALSAS	705313010	GALLARDO BRAVO HELDER ANGEL	107	119	100	93	149	159	94	24	70	67	53	56	68	1159
BALSAS	708700065	VARGAS MEDINA REMIGIO RUPERTO	200	190	216	190	240	178	200	146	243	200	214	190	180	2587
BALSAS	708700085	RAMIREZ RAMIREZ JOSE VICENTE	90	70	77	72	80	83	85	81	84	87	97	97	84	1087
BALSAS	708700066	SANCHEZ GALARZA GALO MECIAS	140	150	126	118	101	108	111	122	132	107	112	102	76	1505

CHILLA	703801880	FAJARDO FAJARDO MARIANA PILAR	152	172	162	128	176	131	115	132	102	128	114	115	101	1728
CHILLA	703806400	PALTIN VELEPUCHA LOLITA NARCISA	90	86	93	73	67	89	79	59	76	124	112	134	90	1172
CHILLA	703808710	CUENCA COJITAMBO CARLOS HUMBERTO	110	128	129	110	99	94	111	93	76	110	111	95	79	1345
CHILLA	703810601	RUILOVA VELEPUCHA HOLMES FERNANDO	60	50	51	56	47	49	74	89	61	65	64	62	53	781
CHILLA	703803605	MACAS MACAS JOSE LEONARDO	133	141	139	49	60	71	78	89	67	114	93	91	120	1245
EL GUABO	702881900	JORDAN PEREZ FILOMENO ALBERTO	131	129	114	129	131	128	146	135	129	152	152	170	160	1806
EL GUABO	702895030	ENCALADA VIVAR MIGUEL ANGEL	140	150	153	165	157	164	206	183	180	195	179	148	186	2206
EL GUABO	705863790	ALCIVAR GONZALEZ MERCEDES	88	94	86	70	74	71	103	80	83	94	105	106	93	1147
EL GUABO	702895044	URGILES ORTEGA MARIANA DE JESUS	110	120	100	109	121	130	139	127	133	144	143	148	137	1661
EL GUABO	702895034	MOLINA LOPEZ FLORENCIO	95	110	85	114	97	102	120	92	97	117	105	119	108	1361
HUAQUILLAS	706008870	CASTRO DAVILA WILBER ALEXANDRO	124	113	104	107	102	120	122	109	107	113	127	122	121	1491
HUAQUILLAS	705982739	SUAREZ ENCARNACION MIGUEL WALTER	139	141	140	138	137	143	161	157	88	137	124	128	114	1747
HUAQUILLAS	705982735	CONZA MOTOICHE ANGEL TEODORO	130	125	105	123	120	147	146	139	131	179	188	164	165	1862
HUAQUILLAS	705333687	CASTRO RUEDA LUZ ESTELA	182	142	168	184	151	179	194	182	127	184	192	201	179	2265
HUAQUILLAS	705673005	SALVATIERRA JAEN JIRGE ALFREDO	140	74	64	62	101	147	186	190	205	175	179	197	135	1855
LAS LAJAS	705426267	JARAMILLO PONCE JUAN JOSE	51	46	55	46	48	56	46	44	37	60	95	106	105	795
LAS LAJAS	705335446	QUEZADA SARANGO EDWIN EFRAIN	130	110	133	104	119	135	114	107	111	123	114	128	118	1546
LAS LAJAS	705345550	TANDAZO JIMENEZ ABSALON	63	62	74	59	67	66	80	62	60	73	65	65	57	853
LAS LAJAS	705318985	VINCES VIDAL QUINTILIANO HECTOR	102	101	109	86	110	116	112	104	100	99	94	95	74	1302
LAS LAJAS	705335286	VIVANCO ENCALADA FRANKLIN GILBERTO	92	105	110	92	109	112	123	116	117	125	128	131	125	1485
MACHALA	705338165	HERRERA SACA CARLOS MANUEL	138	155	150	160	157	179	185	202	178	178	193	205	166	2246

MACHALA	700823696	MACAS DUCHICELA PAULA ADRIANA	185	193	154	144	149	176	196	182	136	190	230	184	136	2255
MACHALA	705241781	JAYA ROMERO JONAS EBELIO	190	184	185	172	191	213	210	118	101	124	150	121	97	2056
MACHALA	700100104	CHEVEZ VAGAS NURIS MERCEDES	160	170	172	155	164	158	163	198	135	199	170	198	191	2233
MACHALA	700100105	RODRIGUEZ YAGUAL JACINTO REINALDO	140	130	150	157	116	161	177	155	149	188	190	156	194	2063
MARCABELÍ	705673033	GRANDA VARGAS DIGNA ROSITA	89	159	155	162	171	158	150	170	140	162	153	152	143	1964
MARCABELÍ	705403332	JARAMILLO QUILUMBA ANGEL AUGUSTO	90	100	87	94	89	85	92	90	85	98	114	109	115	1248
MARCABELÍ	708640650	ASTUDILLO CAMPOVERDE	68	70	62	58	65	63	66	68	66	66	72	73	71	868
MARCABELÍ	708641339	HERRERA VALAREZO SERGIO VICTORIANO	127	81	86	109	95	80	85	64	71	91	88	88	97	1162
MARCABELÍ	708636550	ROBLES SARITAMA MARTIN	95	107	50	93	108	107	100	95	87	93	105	87	67	1194
PASAJE	705869425	NAGUA SANDOVAL FANNY MARGARITA	156	153	131	122	146	141	151	126	145	126	128	156	131	1812
PASAJE	703475856	CAIMINAGUA CAIMINAGUA ANGEL	169	168	100	76	121	105	81	113	121	124	128	110	89	1505
PASAJE	703908220	MACAS NAGUA JOSE LUCIANO	140	155	160	150	149	165	158	162	185	204	71	171	173	2043
PASAJE	703914856	CAIMINAGUA CAIMINAGUA LUIS	256	197	222	208	191	219	215	182	221	198	204	180	186	2679
PASAJE	705172531	CAIMINAGUA NAGUA DANNY VIVIANA	120	125	112	101	96	96	93	107	99	103	127	129	103	1411
PIÑAS	705683594	PESANTEZ BANDERAS MANUEL POLIVIO	120	130	140	101	136	107	162	121	120	118	152	134	115	1656
PIÑAS	705097456	TORRES AJILA CARLOS MANUEL	184	108	103	110	97	111	93	89	92	80	91	97	187	1442
PIÑAS	708357504	TINOCO AGUILAR EDGAR VICENTE	140	125	117	103	118	115	123	104	90	95	90	102	93	1415
PIÑAS	708144565	CABRERA MALDONADO GALO ROQUE	120	140	110	130	132	124	133	141	87	109	127	81	89	1523
PIÑAS	708329200	SUAREZ MANUEL IGNACIO	130	150	140	166	180	151	186	188	180	180	175	182	166	2174
PORTOVELO	705002903	ARREAGA CEVALLOS MARIA DE LOURDES	130	120	135	114	145	124	128	152	149	155	145	177	127	1801
PORTOVELO	707114860	VALAREZO SALAMEA BERTHA MARLENE	90	100	110	71	71	102	111	83	93	119	98	116	115	1279
PORTOVELO	706001655	ESPINOSA TORRES SUSAN NATHA	130	106	63	60	66	70	47	101	85	75	95	159	146	1203

PORTOVELO	707100200	ALVARADO ZAMBRANO JOSE FABIAN	100	81	70	40	60	50	68	65	98	85	66	70	47	900
PORTOVELO	705467758	CUEVA SIGCHO LADY	143	141	150	135	153	144	153	162	129	145	136	141	155	1887
SANTA ROSA	704747596	LAINES VASQUEZ CECILIA ISABEL	117	114	127	125	122	83	119	120	113	120	118	115	123	1516
SANTA ROSA	704270535	TANDAZO SARANGO DELIA MIRANDA	140	133	144	133	134	167	140	155	133	149	159	143	133	1863
SANTA ROSA	704111271	GUAMAN DIAZ NANCY	135	138	119	121	122	151	170	160	175	172	186	194	165	2008
SANTA ROSA	704111285	PEÑALOZA CABRERA SERGIO POLIBIO	135	140	147	153	86	92	129	135	143	113	158	126	32	1589
SANTA ROSA	705127279	ARMIJOS ROMERO WASHINGTON JORGE	23	128	117	134	99	126	167	138	155	160	162	130	150	1689
ZARUMA	706170356	TITUANA MEDINA VICTOR MANUEL	140	166	187	174	186	149	156	161	197	192	176	171	155	2210
ZARUMA	706634070	MALDONADO RAMIREZ ELSA NORMITA	60	86	91	85	88	87	84	90	102	85	95	66	58	1077
ZARUMA	705019427	CARRION MALDONADO IVAN PATRICIO	120	130	140	116	98	94	84	93	81	102	161	97	109	1425
ZARUMA	705004007	TINOCO AGUILAR EDITH ESPERANZA	125	145	125	92	85	93	105	135	93	94	135	167	143	1537
ZARUMA	705002555	PINEDA NARVAEZ GUIDO FERNANDO	130	140	140	138	128	124	141	150	114	96	114	146	162	1723

Tabla 10. Consumo eléctrico promedio para los cantones de la provincia de Loja.

CONSUMO ELÉCTRICO - PROVINCIA LOJA																
CANTÓN	CUEN/N° MEDIDOR	USUARIO	MENSUAL KWH/MES													ANUAL KWH/ AÑO
			JUL	AGO	SEP	OCT	NO V	DIC	ENE	FEB	MA R	ABR	MAY	JUN	JUL	
CALVAS	1800470435	MAGDALENA AGUILAR TORRES	141	175	189	206	175	155	133	177	155	120	132	70	110	1938
CALVAS	1800525048	OSCAR YOVANY CUMBICUS TORRES	118	136	130	140	135	136	107	168	138	131	145	170	118	1772
CALVAS	1800520866	ROSA LASTENIA LANCHI YAGUANA	107	99	114	114	161	189	179	203	158	208	208	174	108	2022
CALVAS	1800480905	JIMENEZ SALAZAR FREDY BOLIVAR	72	98	98	92	89	92	90	66	87	87	58	125	150	1204
CALVAS	1800464297	SARANGO VEGA RAUL ANTOLIN	105	105	136	185	173	90	140	139	98	104	110	133	97	1615
CATAMAYO	3173796	VIVENTE AGUSTIN VALDIVIEZO	115	101	115	115	127	127	129	127	121	112	119	109	101	1518
CATAMAYO	1800578930	MARCO ANTONIO AGILA JARAMILLO	140	120	100	153	211	179	134	221	178	215	170	189	182	2192
CATAMAYO	1800591719	CARRION CORDOVA M.	182	161	162	162	151	147	107	180	145	129	143	144	122	1935
CATAMAYO	1800497297	DAVILA OJEDA JORGE GUSTAVO	149	178	177	167	170	155	112	119	125	115	127	167	103	1864
CATAMAYO	1800585299	MONTERO BRAVO HERNAN BOLIVAR	156	146	168	160	154	147	110	184	181	129	157	169	201	2062
CELICA	1800610865	ARMIJOS DIAZ MIGUEL	192	179	203	188	181	172	170	181	216	150	214	158	168	2372

CELICA	1800613216	UREÑA RAMON JUAN MANUEL	99	87	90	87	80	80	66	94	94	79	106	70	57	1089
CELICA	1801473230	CORONEL CRUZ DARWIN VICENTE	106	102	106	98	96	102	88	98	106	102	104	105	94	1307
CELICA	1800610568	DIAZ FERNANDEZ PAUL WLADIMIR	150	142	140	143	134	138	134	65	127	121	134	180	124	1732
CELICA	1800617118	FLORES CORDOVA MARIO MANUEL	169	150	93	118	152	157	125	161	155	113	140	56	66	1655
CHAGUARPAMB A	1800664276	CAPA E. GALO	156	135	156	154	134	129	109	154	149	100	110	150	140	1776
CHAGUARPAMB A	1800646398	CRIOLLO ENCALADA SAIDA	120	71	107	100	69	87	70	130	99	120	100	59	120	1252
CHAGUARPAMB A	1801539097	HERRERA CONZA MARCO ANTONIO	97	70	160	80	133	85	77	130	99	87	96	107	100	1321
CHAGUARPAMB A	1800658401	CRIOLLO LUIS MEDARDO	140	120	120	130	134	138	112	138	115	70	62	150	122	1551
CHAGUARPAMB A	1800646109	BRAVO CARRION JORGE ASDRUBAL	115	109	125	100	104	111	91	117	104	129	142	67	101	1415
GONZANAMA	1800705632	GALO ACARO RIVAS	114	102	121	114	113	107	94	99	114	93	115	96	90	1372
GONZANAMA	1800737981	CASTILLO PAREDES NILSON MILTON	103	81	110	100	105	101	117	111	82	108	100	101	103	1322
GONZANAMA	1800701060	PALMA CASTILO CARLOS A.	120	120	110	99	93	114	94	97	82	101	126	135	113	1404
GONZANAMA	1800705335	HERRERA HERRERA PATRICIO NICOLAS	102	93	105	100	90	74	70	72	84	72	123	84	72	1141
GONZANAMA	1800705672	ACARO RIVAS GALO	114	102	121	114	113	107	94	99	114	93	115	96	90	1372

LOJA	1704253	PAUCAR ALVARADO LUZ	106	111	161	189	177	183	177	177	18	284	265	294	275	2417
LOJA	1405372	JULIO RUPERTO RUILOVA GODOY	141	123	127	137	139	137	117	159	159	132	146	136	118	1771
LOJA	1800347203	BYRON FABIAN PASACA	105	99	104	100	84	94	97	99	103	92	98	97	82	1254
LOJA	1801616440	CALDERON BETANCOURT M.	121	111	134	142	127	118	109	132	129	104	140	124	118	1609
LOJA	1801614072	CUEVA PARDO TIMOLEON	159	105	97	145	125	103	104	124	112	98	112	109	117	1510
MACARA	1800768085	SUQUILNANDA ORTIZ RICARDO A.	166	145	178	143	152	135	139	152	147	113	145	140	104	1859
MACARA	1800778779	BERMEO ALVAREZ JOSE LAURO	118	170	84	118	97	97	93	78	140	130	184	115	101	1525
MACARA	1800554923	ALVARADOMILTON EFREN	124	115	81	140	110	90	130	108	92	110	170	198	189	1657
MACARA	1800770644	ASTUDILLO ASTUDILLO JOHE L.	93	113	113	140	104	109	68	110	89	100	140	160	170	1509
MACARA	1803311735	JAYA CORREA MARCO AUGUSTO	187	154	143	153	135	148	93	143	131	115	144	96	130	1772
OLMEDO	1801067974	ARMIJOS ALVARADO JOSE E.	115	118	126	122	99	103	97	103	103	87	98	100	119	1390
OLMEDO	1801067982	MONTALVAN MARIO FERNANDO	61	81	117	154	146	127	145	163	173	153	121	30	100	1571
OLMEDO	1801724657	CASTILLO CARRION JORGE IVAN	143	49	112	115	65	41	55	47	42	39	31	40	67	846

OLMEDO	1800691683	GUERRERO MERINO JUAN F.	79	83	101	86	80	83	67	91	58	48	40	58	79	953
OLMEDO	1803003563	OCHOA ROBLES SUSANA C.	48	73	54	27	67	74	73	90	84	78	65	54	53	840
PALTAS	1800795062	GUAMAN JARAMILLO PEDRO	143	135	140	57	132	132	106	127	115	103	68	118	115	1491
PALTAS	1803267374	BERMEO EDUARDO	80	70	84	74	82	77	77	43	45	50	54	72	63	871
PALTAS	1800798231	GUAMAN ERAS SEGUNDO A.	138	127	145	145	135	140	135	121	143	122	122	141	117	1731
PALTAS	1801332782	DIAZ GUERRERO FELIX VICTORIA	123	107	126	115	102	114	106	134	111	102	123	121	123	1507
PALTAS	1800834036	IZQUIERDO HIDALGO JOSE G.	141	162	192	50	30	100	162	182	156	155	162	125	117	1734
PINDAL	1803114287	ORTEGA O YOFRE E	133	114	152	144	126	40	93	180	47	41	177	133	134	1514
PINDAL	1803196839	PALTAN CONDOY NIXON WILMER	61	54	54	65	53	54	54	67	60	43	42	52	59	718
PINDAL	1800988360	MONCADA RODRIGUEZ	77	67	63	74	68	73	60	62	104	91	66	29	40	874
PINDAL	1800989400	URGILES FLORES JOSE RAFAEL	153	132	167	150	137	131	113	152	103	90	140	131	129	1728
PINDAL	1801733344	ERAS VACA ANDRE	50	58	65	121	100	72	45	69	63	55	110	105	96	1009
PUYANGO (ALAMOR)	1800539023	LUIS CORSINO FLORES ERRAEZ	110	106	117	97	93	119	102	105	121	96	115	105	103	1389
PUYANGO (ALAMOR)	1800844704	CHAMBA ERAS ANGEL RODRIGO	80	71	71	65	64	61	74	86	68	101	66	77	57	941

PUYANGO (ALAMOR)	1801529643	AGUILAR FLORES ANGEL RIGOBERTO	108	137	128	145	124	116	103	130	107	81	107	103	102	1491
PUYANGO (ALAMOR)	1803119534	AGUILAR ALVAREZ JUAN ROBERTO	136	156	157	140	135	127	132	127	143	139	141	141	156	1830
PUYANGO (ALAMOR)	1801598374	CORDOVA PINTA MAURA EDIT	91	111	116	99	88	90	66	108	103	92	88	78	67	1197
PUYANGO (ALAMOR)	1800847988	AURELIO AÑAZCO BALCAZAR	153	129	147	180	120	112	116	191	107	104	151	104	119	1733
SARAGURO	1800248609	TENE MEDINA VICTOR ANGEL	104	106	92	87	79	81	79	195	75	65	82	127	82	1254
SARAGURO	1800881524	BERRU GUALAN ANGEL SALVADOR	119	101	138	130	121	125	121	95	69	183	142	124	125	1593
SARAGURO	1800941625	LOJA GUALAN LAURO VICENTE	88	75	74	66	66	66	68	98	92	89	92	70	70	1014
SARAGURO	1800923466	VACACELA LOZANO ANGEL P.	55	54	77	96	90	84	87	89	89	109	105	93	110	1138
SARAGURO	1800881540	LEON SAUCA SANTIAGO	152	146	149	150	140	145	140	89	122	120	132	124	118	1727
SOSORANGA	1800674341	NARVAEZ ATARIHUANA JOSE	112	110	143	128	120	102	86	99	112	106	101	101	98	1418
SOSORANGA	1800947218	TORRES GARCIA BOLIVAR COLON	93	92	102	99	40	50	70	60	56	65	65	67	89	948
SOSORANGA	1800947911	JARAMILLO TERREROS ALEX A.	101	93	89	80	78	91	70	95	69	84	110	103	101	1164
SOSORANGA	1800957209	SOLANO SOLANO MANUEL	73	90	75	70	68	70	70	113	73	80	80	65	68	995

SOSORANGA	1800946046	RUIZ RUIZ ANGEL E	115	94	60	134	82	94	66	81	92	98	107	103	120	1246
ZAPOTILLO	1801407394	GARCIA GONZAGA VICTOR HUGO	193	153	166	132	176	171	138	158	158	190	223	60	78	1996
ZAPOTILLO	1801361062	APONTE APONTE ROBEN	105	116	133	118	107	117	110	113	125	98	108	105	147	1502
ZAPOTILLO	1800352823	LOJAN CAMPOS LUIS GONZALO	163	140	179	165	182	72	60	119	124	110	120	110	130	1674
ZAPOTILLO	1800964916	ROSA EUDOMILIA RIVERA BARBA	150	130	120	135	138	133	109	125	190	135	149	121	123	1758
ZAPOTILLO	1800965129	JUAN BARREO B.	96	89	113	109	103	115	140	106	143	162	179	173	180	1708

Tabla 11. Consumo eléctrico promedio para los cantones de la provincia de Zamora Chinchipe.

CONSUMO ELÉCTRICO - PROVINCIA ZAMORA																
CANTÓN	CUEN/Nº MEDIDOR	USUARIO	MENSUAL KWH/MES													ANUAL KWH/AÑO
			JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	
CENTINELA DEL CÓNDOR	1801177039	HERMAN RODRIGO MINGA CUENCA	144	147	151	138	126	117	117	120	137	119	155	126	144	1741
CENTINELA DEL CÓNDOR	1803472875	GAONA CALVA FRANCO MIGUEL	80	60	54	52	65	64	63	66	68	67	74	60	70	843
CENTINELA DEL CÓNDOR	1803038825	CRIOLLO CHAMBA ZULAY ADALVIRA	117	120	115	100	113	114	86	123	105	107	119	84	43	1346
CENTINELA DEL CÓNDOR	1801173673	VICENTE ROMERO VILLALTA	106	76	74	118	147	142	141	146	124	130	140	116	133	1593
CENTINELA DEL CÓNDOR	1801177104	CARRION CARRION TEODORO SALVADOR	92	92	84	90	91	95	70	109	96	92	63	138	82	1194
CHIMCHIPE (ZUMBA)	1801167089	ALBA ALDAZ JOSE ANDRES	113	105	103	92	71	73	60	79	89	57	85	73	70	1070
CHIMCHIPE (ZUMBA)	1803191939	CUEVA CASTILLO OSCAR EFREN	61	60	60	62	62	55	70	100	73	60	66	62	64	855

CHIMCHIPE (ZUMBA)	1801728823	SOTO NARVAEZ LILIA GLORIA	107	117	153	151	122	101	69	95	91	86	120	94	110	1416
CHIMCHIPE (ZUMBA)	1801178441	OBANDO CALDERON JUAN VICENTE	163	150	138	144	162	139	138	143	141	143	150	124	148	1883
CHIMCHIPE (ZUMBA)	1803021979	GUARNIZO CORDERO MARCO	58	41	48	59	44	51	38	57	56	45	58	53	48	656
EL PANGUI	1803141140	VARGAS ULLOA FRANKLIN RAMIRO	169	123	128	168	156	154	129	130	174	165	169	178	143	1986
EL PANGUI	1801731389	ACARO TANDAZO TATIANA MARISOL	76	68	82	105	95	93	93	117	163	90	94	130	97	1303
EL PANGUI	1801219294	MENDIETA GUZMAN MANUEL LISANDRO	184	139	157	160	154	158	142	170	137	138	161	88	174	1962
EL PANGUI	1801231034	FAJARDO FAJARDO MARTHA BEATRIZ	87	76	90	89	83	89	83	114	78	94	122	78	89	1172
EL PANGUI	1801576727	GONZALEZ GONZALEZ SONIA DEL PILAR	92	98	143	140	127	193	134	97	104	58	82	89	94	1451
NANGARITZA (GUAYZIMI)	1803185899	QUIROGA ORDOÑEZ CARLOS HERNAN	24	110	94	174	109	120	142	150	144	130	158	171	164	1690
NANGARITZA (GUAYZIMI)	1801708320	VIÑAN JIMENEZ ROSA AMALIA	110	127	122	132	142	140	121	113	106	99	121	115	110	1558
NANGARITZA (GUAYZIMI)	1801406172	GUAYLLAS ORDOÑEZ JOSE LINO	95	78	94	96	90	93	90	92	96	101	101	122	117	1265
NANGARITZA (GUAYZIMI)	1803049095	GUACHISACA BANEGAS MILTON MANUEL	83	105	83	82	97	106	90	114	87	162	95	75	79	1258
NANGARITZA	1801236942	VILLA ILLESCAS LUIS EDUARDO	121	153	137	161	81	69	75	130	108	152	165	122	114	1588
PALANDA	1800327288	TAMBO MOROCHO DELIA MARIA	86	69	78	87	77	82	72	85	106	92	78	61	80	1053
PALANDA	1803339298	ALVECA JIMENEZ LUISA CRISALIDA	112	126	129	130	132	150	136	113	134	128	123	130	128	1671
PALANDA	1801046721	CASTILLO ERRAEZ DORA JAQUELINE	81	150	108	99	90	116	69	149	174	134	80	85	137	1472
PALANDA	1803459807	SOTO ABAD DEYSI YADIRA	77	74	85	97	90	93	93	118	78	98	100	89	89	1181
PALANDA	1800413591	JIMENEZ OLMEDO ROSA CLEMENCIA	138	107	114	124	81	99	70	92	74	83	57	50	46	1135
PAQUISHA	1801375419	HURTADO BUSTAAAN JUAN IVAN	48	50	60	41	71	40	33	45	41	40	57	55	47	628
PAQUISHA	1801227271	VEGA GUALAN ROSA ELENA	85	87	90	123	87	84	67	96	92	69	86	73	65	1104
PAQUISHA	1801412907	PEREZ DAVILA MARUJA R.	107	83	102	89	83	86	83	86	73	74	74	71	73	1084
PAQUISHA	1801419597	FLORES SARANGO ALICIA ESTELA	80	69	73	75	80	81	67	79	95	126	108	109	108	1150

PAQUISHA	1801209717	SANCHEZ SANCHEZ GUIDO HERNAN	135	125	142	137	132	137	132	133	133	139	138	164	148	1795
YANTZAZA	1801216100	HERRERA PAEZ RITA	103	145	147	124	116	120	116	120	99	111	109	109	96	1515
YANTZAZA	1801204635	CABRERA TELLO JORGE	158	138	139	148	143	147	143	140	123	136	136	163	141	1855
YANTZAZA	1801787134	LALANGUI MARTINEZ JULIO ENRIQUE	115	126	130	129	148	148	143	152	129	137	110	120	156	1743
YANTZAZA	1801192699	AGREDA CARCELEN GLORI ENITH	117	107	125	105	100	112	83	112	103	108	107	105	123	1407
YANTZAZA	1801189810	MUÑOZ VILLAVICENCIO MIRIAN FABIOLA	136	122	132	132	129	131	120	131	129	121	131	120	124	1658
ZAMORA	1801111665	GOMEZ ORTEGA AGUSTIN ISID	124	140	138	142	124	113	107	149	120	134	134	106	112	1643
ZAMORA	1801176528	PAUTA CUENCA EDGAR	131	120	120	128	131	123	123	127	123	150	108	135	158	1677
ZAMORA	1803479037	PUMA MAYANCELA NELSON BRAULIO	120	150	70	183	138	137	104	194	159	154	125	143	121	1798
ZAMORA	1803037256	MORA VASQUEZ JACKELINE DEL CISNE	121	86	77	95	93	115	85	119	114	95	116	104	95	1315
ZAMORA	1801750702	MONTESDEOCA ROGEL PORFIRIO ISAIAS	120	107	107	117	110	113	81	115	104	94	119	107	126	1420

Anexo 3. Base de datos de irradiación solar, estación meteorológica La Argelia (2017 – 2018)

Tabla 12. Datos de irradiación solar estación meteorológica La "Argelia" (2017)

IRRADIACIÓN SOLAR GLOBAL (2017) [Wh/m2/día]																													
ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE																		
1	3095.02	1	4091.02	1	3587.90	1	3257.76	1	3835.30	1	5271.73	1	3266.77	1	6159.14	1	1928.29	1	8015.27	1	4833.12	1	3315.72						
2	4053.15	2	5584.58	2	3673.27	2	2762.38	2	3662.25	2	3495.59	2	2917.60	2	6513.13	2	1522.04	2	7199.86	2	7174.74	2	2996.12	2	2996.12				
3	6808.64	3	4092.53	3	3825.23	3	3771.48	3	2411.23	3	2439.96	3	4339.12	3	1872.88	3	2295.44	3	3870.71	3	7252.63	3	2843.37	3	2843.37				
4	4452.31	4	1638.76	4	1825.61	4	3579.99	4	4731.42	4	3576.36	4	2028.71	4	2921.35	4	2268.17	4	3282.73	4	0.00	4	3355.94	4	3355.94				
5	2592.97	5	1479.61	5	3246.97	5	3376.24	5	3602.96	5	3832.28	5	3980.04	5	3097.84	5	3104.29	5	5337.07	5	0.00	5	3911.67	5	3911.67				
6	3383.82	6	1584.56	6	3691.72	6	1801.50	6	3234.15	6	6896.35	6	1535.84	6	4678.72	6	2965.91	6	6215.75	6	0.00	6	1719.10	6	1719.10				
7	5322.91	7	1586.20	7	5051.04	7	3371.50	7	5642.58	7	4954.23	7	1759.71	7	1536.08	7	6100.67	7	4423.87	7	0.00	7	3179.84	7	3179.84				
8	5612.29	8	5231.84	8	4792.37	8	3405.47	8	4088.86	8	5872.93	8	1311.96	8	3580.96	8	6887.97	8	3462.88	8	485.36	8	4166.70	8	4166.70				
9	1719.14	9	7069.93	9	3069.66	9	4244.13	9	4926.41	9	5461.17	9	2895.25	9	2414.29	9	3536.49	9	6135.03	9	7046.20	9	4718.28	9	4718.28				
10	2963.01	10	6059.25	10	6773.23	10	6179.88	10	3151.90	10	5149.32	10	3223.10	10	3316.83	10	3621.83	10	5523.10	10	1401.77	10	3591.54	10	3591.54				
11	5237.12	11	4364.21	11	5204.78	11	5343.51	11	3807.63	11	4649.51	11	3107.76	11	6182.68	11	5090.94	11	5174.87	11	4260.13	11	3599.23	11	3599.23				
12	5764.64	12	8120.16	12	4885.76	12	2919.41	12	4525.80	12	3361.45	12	5304.86	12	6093.56	12	3844.49	12	3285.78	12	4586.91	12	3089.21	12	3089.21				
13	3448.10	13	7711.98	13	3706.77	13	5215.43	13	5573.80	13	3125.27	13	5997.88	13	3096.34	13	2487.65	13	4157.90	13	3383.24	13	5333.64	13	5333.64				
14	4341.54	14	5898.52	14	3033.41	14	3417.24	14	1431.54	14	2256.39	14	6041.49	14	5298.16	14	3315.73	14	5087.61	14	3378.99	14	6636.33	14	6636.33				
15	2043.37	15	5652.75	15	6915.06	15	2974.47	15	3443.80	15	4222.11	15	6633.44	15	3826.66	15	2714.74	15	2809.26	15	4847.24	15	6480.15	15	6480.15				
16	7471.55	16	7126.48	16	7477.13	16	3544.45	16	4589.94	16	4202.40	16	4699.60	16	3021.95	16	2083.41	16	1787.26	16	5702.06	16	4471.35	16	4471.35				
17	7100.43	17	3969.83	17	3148.77	17	3849.26	17	2899.65	17	239.95	17	3114.07	17	3655.79	17	3026.19	17	1951.85	17	6771.87	17	4901.41	17	4901.41				
18	7423.60	18	6916.66	18	3482.63	18	6016.15	18	4027.20	18	4227.09	18	3487.70	18	4451.09	18	1872.42	18	2737.77	18	7445.12	18	4330.06	18	4330.06				
19	4280.52	19	6571.78	19	3646.69	19	2962.03	19	3665.49	19	1664.82	19	3584.90	19	6200.71	19	4690.41	19	2829.02	19	7399.11	19	1872.42	19	1872.42				
20	1228.19	20	4201.77	20	5191.76	20	5483.37	20	3892.21	20	2808.47	20	3648.30	20	3599.33	20	7195.01	20	3632.46	20	7417.96	20	1778.27	20	1778.27				
21	3697.17	21	3436.43	21	7174.69	21	5392.13	21	4422.37	21	2317.63	21	6247.31	21	2668.51	21	6726.85	21	4234.57	21	6630.81	21	4231.55	21	4231.55				
22	5533.56	22	2954.96	22	4725.31	22	6676.06	22	3669.85	22	5729.88	22	791.55	22	2673.79	22	2847.06	22	3569.79	22	4025.50	22	2917.19	22	2917.19				
23	6625.94	23	4079.61	23	4323.44	23	5333.84	23	4649.87	23	6503.42	23	2647.00	23	5566.70	23	2078.24	23	3859.83	23	2017.35	23	2708.10	23	2708.10				
24	7180.27	24	3132.48	24	2834.08	24	4591.48	24	1859.77	24	4606.25	24	1478.82	24	4793.25	24	2307.96	24	6656.20	24	4518.68	24	6303.18	24	6303.18				
25	2737.42	25	3456.54	25	4453.20	25	4974.40	25	2497.39	25	3763.52	25	2415.52	25	3422.75	25	2960.62	25	4867.43	25	3521.40	25	3003.73	25	3003.73				
26	1785.38	26	4325.01	26	6161.57	26	5314.24	26	4788.24	26	5042.32	26	1461.61	26	2584.11	26	3276.65	26	5961.00	26	1711.93	26	4405.28	26	4405.28				
27	1728.07	27	4529.87	27	3473.89	27	4768.26	27	2934.63	27	4920.78	27	1341.98	27	4209.40	27	4968.52	27	7437.21	27	2924.36	27	3420.12	27	3420.12				
28	2058.79	28	6659.18	28	6240.83	28	2426.03	28	2591.95	28	3758.17	28	2040.82	28	3292.76	28	3345.15	28	3322.46	28	2399.93	28	4166.00	28	4166.00				
29	3751.53			29	5892.38	29	4452.39	29	3904.74	29	3137.00	29	1246.23	29	4179.49	29	4380.47	29	2760.22	29	2221.32	29	3994.47	29	3994.47				
30	4065.41			30	5585.94	30	3917.33	30	3498.91	30	1927.53	30	1774.08	30	3012.01	30	4328.70	30	5768.98	30	3675.93	30	3674.77	30	3674.77				
31	5184.87			31	1886.53			31	4450.21			31	3416.02	31	3698.91			31	7662.68			31	3994.97	31	3994.97				
4280.35	4697.37	4483.28	4177.39	3755.23	3980.46	3152.87	3923.20	3592.41	4613.56	3901.12	3842.25	Promedio mensual																	
4033.29												Promedio anual																	
1470.64												Irradiación anual [kWh/m2]																	

Tabla 13. Datos de irradiación solar estación meteorológica La "Argelia" (2018)

IRRADIACION SOLAR GLOBAL(2018) [Wh/m2/día]																							
ENERO	FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBR E	OCTUBRE	NOVIEMBR E	DICIEMBRE					
1	3794.41	1	3315.30	1	4029.84	1	3604.62	1	4480.60	1	4386.80	1	4300.28	1	2908.59	1	2205.79	1	3876.88	1	3483.98	1	7463.57
2	5181.71	2	4339.15	2	2606.63	2	2670.20	2	2931.49	2	3006.64	2	6430.84	2	6513.13	2	2913.35	2	5651.48	2	4849.77	2	7711.27
3	6480.95	3	3862.84	3	2194.00	3	4921.05	3	4592.14	3	2724.35	3	4489.02	3	3212.54	3	3066.86	3	5465.02	3	2851.69	3	5658.97
4	4468.61	4	4366.37	4	3805.87	4	5015.56	4	4142.01	4	2655.91	4	222.45	4	2921.35	4	1414.48	4	4253.83	4	2457.10	4	5614.26
5	3312.97	5	3796.42	5	3832.59	5	4016.58	5	5478.97	5	1789.92	5	3980.04	5	3742.67	5	2897.52	5	5835.83	5	5209.41	5	7414.74
6	3850.20	6	2629.87	6	3721.54	6	5323.49	6	4049.95	6	2695.26	6	1535.84	6	4678.72	6	7709.78	6	4640.11	6	6202.55	6	5204.49
7	6783.02	7	2455.14	7	2100.98	7	4812.58	7	2442.09	7	3728.87	7	1759.71	7	2053.58	7	5219.95	7	5598.25	7	4070.13	7	3825.03
8	5963.21	8	6463.60	8	2764.77	8	2503.40	8	4937.16	8	3865.90	8	1311.96	8	2074.46	8	4208.12	8	3437.01	8	3043.11	8	2372.14
9	3194.38	9	3799.61	9	2688.77	9	3829.78	9	2903.07	9	4911.16	9	2895.25	9	4241.73	9	2356.80	9	3397.59	9	4927.64	9	3204.42
10	4888.89	10	5009.82	10	2005.27	10	3396.32	10	5518.90	10	3386.00	10	3223.10	10	1746.03	10	2461.84	10	4094.45	10	3936.46	10	3792.40
11	3828.22	11	5053.99	11	1692.85	11	7283.32	11	4241.95	11	4109.41	11	3562.03	11	1698.76	11	3733.59	11	7295.60	11	6400.00	11	2810.15
12	2865.28	12	4823.13	12	2141.03	12	6104.00	12	6191.88	12	3417.73	12	1136.81	12	892.51	12	5478.12	12	4128.30	12	5049.28	12	4352.62
13	3399.44	13	2852.13	13	3236.30	13	2629.51	13	2983.27	13	4263.57	13	1798.06	13	3096.34	13	6055.35	13	4834.94	13	5804.93	13	2819.71
14	2539.23	14	2920.39	14	3714.49	14	5812.38	14	4596.40	14	3015.10	14	2615.26	14	5298.16	14	5123.95	14	4855.22	14	2929.46	14	4319.86
15	3181.13	15	3425.71	15	4527.79	15	3221.38	15	2522.48	15	2071.83	15	2455.09	15	3826.66	15	5943.37	15	3049.29	15	3186.46	15	2760.43
16	4753.38	16	1613.70	16	2115.54	16	2974.87	16	2931.98	16	3412.76	16	418.00	16	3021.95	16	3453.33	16	4891.32	16	5722.46	16	1990.47
17	4685.23	17	4564.02	17	2908.04	17	3751.79	17	4630.05	17	1812.35	17	3114.07	17	3655.79	17	4154.48	17	5372.41	17	6263.19	17	2566.08
18	3839.63	18	5297.24	18	4836.76	18	3583.27	18	5084.06	18	2570.58	18	3487.70	18	4451.09	18	4690.41	18	5694.68	18	6227.72	18	2412.78
19	2980.14	19	3135.85	19	3537.00	19	3935.99	19	4544.18	19	2640.13	19	3584.90	19	6200.71	19	2581.63	19	5799.18	19	5414.14	19	2789.29
20	2132.02	20	3303.41	20	2892.90	20	3517.67	20	2629.44	20	5449.81	20	3648.30	20	3599.33	20	3211.18	20	2806.02	20	5033.93	20	2799.72
21	3331.01	21	5310.53	21	1690.51	21	2380.69	21	3780.43	21	2317.63	21	6247.31	21	2668.51	21	1985.76	21	4052.54	21	4788.98	21	2056.29
22	2539.94	22	7013.55	22	3407.75	22	3748.24	22	4499.29	22	5729.88	22	791.55	22	2673.79	22	2110.75	22	7083.33	22	4061.41	22	5027.76
23	1859.37	23	5285.73	23	4178.43	23	3332.79	23	4078.62	23	6503.42	23	3446.17	23	5443.53	23	3369.06	23	6560.53	23	6985.23	23	4809.61
24	1516.69	24	7328.22	24	3733.52	24	5286.78	24	5136.35	24	4606.25	24	1702.57	24	4427.02	24	2424.76	24	6554.56	24	7845.13	24	2609.99
25	2461.07	25	7224.83	25	6249.66	25	2898.61	25	2726.12	25	3763.52	25	1797.73	25	3421.73	25	3729.96	25	5117.17	25	5726.04	25	1407.18
26	2383.00	26	2824.92	26	3507.73	26	4068.97	26	3360.15	26	5042.32	26	4089.84	26	3726.89	26	3524.98	26	5950.90	26	2006.08	26	921.30
27	3270.41	27	2178.73	27	3425.05	27	3539.68	27	3814.60	27	4920.78	27	4960.89	27	1392.25	27	7062.83	27	2591.77	27	3639.37	27	1665.59
28	3604.62	28	3866.41	28	5735.20	28	2319.40	28	2728.68	28	3758.17	28	2040.82	28	1471.33	28	6162.89	28	3570.39	28	5936.43	28	1173.86
29	3892.98			29	3977.85	29	4139.08	29	3678.07	29	2566.50	29	4555.59	29	4017.67	29	6518.28	29	6449.63	29	6692.00	29	1708.35
30	4035.28			30	4734.47	30	3483.76	30	4602.27	30	4458.92	30	3474.89	30	2514.15	30	7137.97	30	4707.77	30	7216.49	30	2912.79
31	4327.24			31	2701.77			31	5317.29			31	3416.02	31	4436.48			31	2460.24			31	4417.80
3720.76	4216.45	3377.25	3936.86	4050.13	3652.72	2983.62	3420.24	4096.90	4841.17	4932.02	3567.51	Promedio mensual diario											
3899.64												Promedio anual diario											
1421.396727												Irradiación anual [kWh/m2]											

Anexo 4. Hoja de datos técnico de los principales componentes fotovoltaicos utilizado en el diseño fotovoltaico

ELECTRICAL DATA AT STC*

Power output (Pmax)	320 W	325 W	330 W	335 W	340 W	345 W	350 W
Power tolerance	0~+5 W						
Module efficiency	16.49 %	16.75 %	17.01 %	17.27 %	17.52 %	17.78 %	18.04 %
Maximum power voltage (Vmp)	37.42 V	37.69 V	37.87 V	38.15 V	38.37 V	38.55 V	38.80 V
Maximum power current (Imp)	8.55 A	8.62 A	8.71 A	8.78 A	8.86 A	8.95 A	9.02 A
Open circuit voltage (Voc)	46.35 V	46.64 V	46.79 V	46.32 V	46.55 V	46.7 V	46.92 V
Short circuit current (Isc)	9.07 A	9.12 A	9.18 A	9.16 A	9.24 A	9.31 A	9.40 A

*Standard Test Conditions: Irradiance: 1 000 W / m² • Cell temperature: 25°C • AM: 1.5

ELECTRICAL DATA AT NOCT*

Power output (Pmax)	236.73 W	240.43 W	244.13 W	248.00 W	251.53 W	255.23 W	258.92 W
Maximum power voltage (Vmp)	34.56 V	34.81 V	34.98 V	35.52 V	35.44 V	35.60 V	35.84 V
Maximum power current (Imp)	6.84 A	6.90 A	6.97 A	8.15 A	7.09 A	7.16 A	7.22 A
Open circuit voltage (Voc)	43.03 V	43.29 V	43.43 V	42.78 V	43.21 V	43.35 V	43.55 V
Short circuit current (Isc)	7.36 A	7.40 A	7.45 A	7.44 A	7.50 A	7.56 A	7.63 A

*Nominal Operating Cell Temperature: Irradiance: 800 W / m² • Ambient temperature: 20°C • AM: 1.5 • Wind speed: 1 m/s

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

NOCT	45 °C ±2 °C
Temperature coefficient of Pmax	-0.41%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.31%/°C
Temperature coefficient of Isc	+0.06%/°C

MAXIMUM RATINGS

Operating temperature range	-45 °C ~+85 °C
Maximum system voltage	1500 V
Max series fuse rating	15 A
Max front load (e.g.: snow)	5 400 Pa
Max back load (e.g.: wind)	2 400 Pa

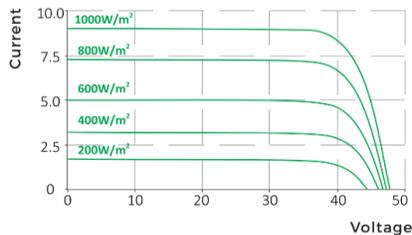
MECHANICAL CHARACTERISTICS

Cell type	Polycrystalline (156x156mm)
Number of cells	72
Dimensions	1956x992x40mm
Weight	22.8 kg
Glass	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction box	IP65 or IP67
Cable	0.9 m
Connector	MC4 or MC4 compatible

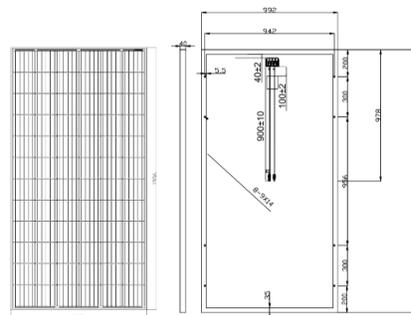
PACKAGING

Type	Pcs/ Type	Weight
Per Pallet	26 pcs	622.8 kg
20ft GP Container	300 pcs	7.2 t
40ft GP Container	624 pcs	14.9 t
40ft HQ Container	696 pcs	16.7 t

I-V CURVES



ENGINEERING DRAWINGS (mm)



Eco Green Energy Group Ltd. 2018. All rights reserved.
Add: 299 Xing Cheng Road, Chong Chuan District, Nantong,
Jiangsu, China
Tel: +86 513 66690088 / E-mail: info@eco-greenenergy.com

Specifications included in this datasheet are subject to
change without prior notice. Refer to our website for further
information or contact one of our sales staff.
www.eco-greenenergy.com

Figura 77. Hoja de datos técnicos panel fotovoltaico eco green energy ege 350p.
Fuente: Autor.

Electrical Specifications	HNS1000TL-1	HNS1500TL-1	HNS2000TL-1	HNS2500TL-1	HNS3000TL-1	HNS3600TL-1	HNS3000TL	HNS3600TL	HNS4000TL	HNS5000TL	HNS6000TL	HNS7000TL	HNS8000TL
Input (DC)													
Max DC Power (W)	1100	1650	2200	2750	3300	3710	3300	3960	4400	5500	6600	7700	8800
Max DC Voltage (V)	450	450	500	500	500	550	550	550	550	550	550	580	580
Rated/Recommended Voltage (V)	360	360	360	360	360	380	360	360	360	360	380	450	450
MPPT DC Voltage Range (V)	50-400	90-400	120-400	120-400	120-400	120-450	120-450	120-450	120-450	120-450	120-450	120-480	120-480
Start up DC Voltage (V)	60	60	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Max DC Current (A)	10	10	12	14	17	17	12*2	15*2	16*2	18*2	18*2	18*2	18*2
Number of MPPT Tracker	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
Number of DC connections (set)	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2+1	2+1
Output (AC)													
Max AC Power (W)	1050	1550	2100	2600	3100	3700	3100	3700	4100	5100	6100	7100	8000
Nominal AC Power (W)	1000	1500	2000	2500	3000	3600	3000	3600	4000	5000	6000	7000	8000
Max AC Current (A)	6	9	12	13	15	18	15	16	20	23	28	31	33
Nominal AC Current (A)	6	8	10	12	13	16	13	16	18	22	26	30	32
Nominal AC Voltage (V)	220/230						220/230						
Nominal AC Frequency (Hz)	50/60						50/60						
Power Factor	-0.95 ~ +0.95						-0.95 ~ +0.95						
Output current THD	<3%						<3%						
Power consumption													
Power consumption at Night (W)	<0.2	<0.2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Power consumption at Standby (W)	6						6						
Power Efficiency													
Max Efficiency	96.50%	96.50%	97.70%	97.70%	97.70%	97.70%	98.03%	98.03%	98.03%	98.10%	98.10%	98.20%	98.20%
Euro Efficiency	96.00%	96.00%	96.60%	96.90%	97.00%	97.00%	97.60%	97.60%	97.60%	97.60%	97.60%	97.80%	97.80%
MPPT Efficiency	>99.9%	>99.9%	>99.9%	>99.9%	>99.9%	>99.9%	>99.9%	>99.9%	>99.9%	>99.9%	>99.9%	>99.9%	>99.9%
Safety and protection													
Safety Standard	EN/IEC 62109-1/-2						EN/IEC 62109-1/-2						
EMC Standard	EN/IEC 61000-6, EN/IEC 61000-3						EN/IEC 61000-6, EN/IEC 61000-3						
Anti-islanding Protection	Internal						Internal						
General information													
Dimensions (H x W x D) [mm]	320*345*170			360*345*170			460*345*170			560*345*170			
Enclosure	IP65						IP65						
RCD	Internal						Internal						
Weight (kg)	9			12			17			18.5			
Ambient Temperature Range	-25°C ~ +60°C						-25°C ~ +60°C						
Relative humidity	0% ~ 100%						0% ~ 100%						
Topology	Transformerless						Transformerless						
Communication Interface	RS485/WI-FI/Wire Ethernet/GPRS (optional)						RS485/WI-FI/Wire Ethernet/GPRS (optional)						
Cooling Concept	Convection						Convection						
Noise Emission [dB]	<28						<40						
Maximum Altitude(above sea level) (m)	Up to 2000m without derating						Up to 2000m without derating						



Figura 78. Hoja de datos técnicos inversor afore new energy hns1500tl-1.

Fuente: Autor.

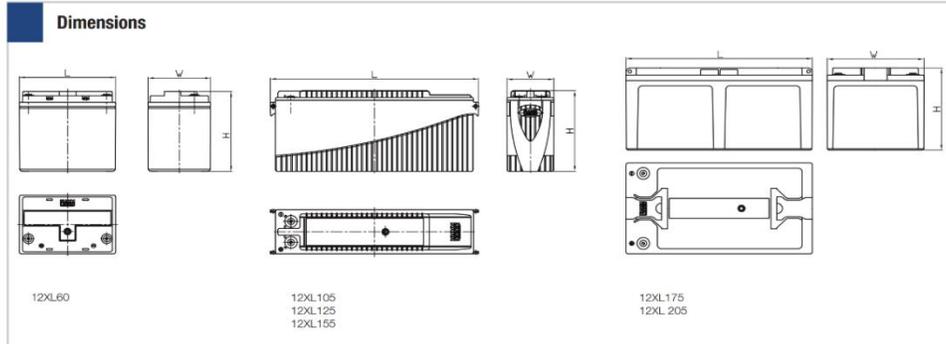
HL 12V blocs

FIAMM XL range

Model	Nominal Voltage (V)	Capacity (Ah) at 20°C	Short Circuit Current (A)	Internal Resistance (mΩ)	Dimensions (mm)			Weight (kg)	Terminal Type
		10 hrs to 1.80 VPC	IEC 60896 21-22	IEC 60896 21-22	Length	Width	Height		
12 XL 60	12	60	1423	8.88	259	168	228	25.5	Female M8
12 XL 80	12	80	1886	6.74	329	172.5	222	31.9	Female M8
12 XL 105	12	100	1895	6.78	558	126	230	36.0	Female M8
12 XL 125	12	120	2144	5.82	558	126	270	44.9	Female M8
12 XL 155	12	150	2519	4.97	558	126	320	54.8	Female M8
12 XL 175	12	170	3437	3.62	500	226	235	62.4	Female M8
12 XL 205	12	200	3611	3.44	500	260	235	73.9	Female M8

Note: dimensions may have a natural tolerance of ± 2mm

Dimensions



Electrical Characteristics

- ✦ FLOAT VOLTAGE CHARGE AT 20-25°C: Standby use 13.50-13.62 V/bloc (2.25-2.27V/cell)
- ✦ BOOST CHARGE: 2.35 V/cell
- ✦ MAXIMUM CHARGE CURRENT: 0.25 C₁₀A (i.e. for a 100Ah bloc maximum charge current is 25 Amps)
- ✦ FLOAT VOLTAGE TEMPERATURE COMPENSATION: -2.5 mV/°C/cell
- ✦ SELF-DISCHARGE AT 20°C: < 2% / month
- ✦ WARNING: in order for the warranty to be valid in all critical, frequent discharge and hybrid applications please coordinate with Fiamm Group to clarify required operating and charging settings

FIAMM Energy Technology S.p.A. reserves the right to change or revise without notice any information or detail given in this publication XL_FAP_2019_02

FIAMM Energy Technology (Wuhan) Co. Ltd. Reserve Power Solutions www.fiamm.com email: info.standby.asia@fiamm.com	
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------

Figura 79. Hoja de datos técnicos batería fiamm.
Fuente: Autor.

Anexo 5. Programación – Código empleados en el sistema de adquisición y transmisión de datos eléctricos.

Programación utilizada

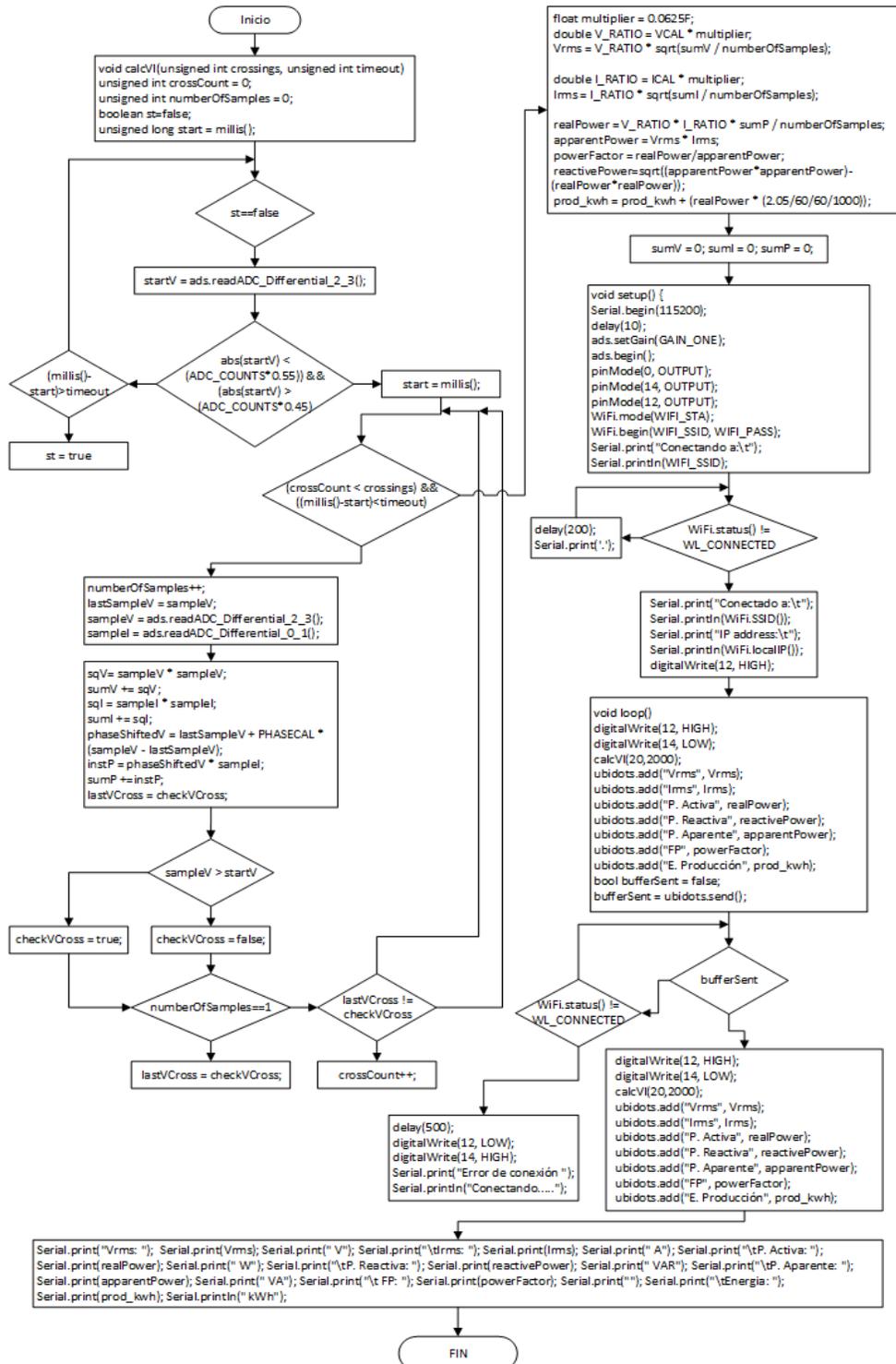


Figura 80. Programación utilizada para el sistema de adquisición y transmisión de datos eléctricos.

Fuente: Autor.

Código de programación empleado

```
//Librerias incluidas
#include <ESP8266WiFi.h>
#include "Ubidots.h"
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1015.h>
Adafruit_ADS1115 ads;

//Credenciales Wifi y credenciales ubidots
const char* UBIDOTS_TOKEN = "BBFF-sS8g6j0HAfzEXRb7a5Ah2ubT49rifq";
const char* WIFI_SSID = "SDwifi";
const char* WIFI_PASS = "sofi@992";
Ubidots ubidots(UBIDOTS_TOKEN, UBI_TCP);

//Definicion de valores de calibración
#define ADC_COUNTS 32768
#define PHASECAL 1.35
#define VCAL 0.3221111
#define ICAL 0.0511111
#define PCAL 1.1555555
int lastSampleV, sampleV, sampleI;
double realPower,
apparentPower,
powerFactor,
reactivePower,
prod_kwh,
Vrms, Irms;
double phaseShiftedV;
int startV;
```

```

double sqV,sumV,sqI,sumI,instP,sumP;
boolean lastVCross, checkVCross;

void calcVI(unsigned int crossings, unsigned int timeout) {
unsigned int crossCount = 0;
unsigned int numberOfSamples = 0;
boolean st=false;
unsigned long start = millis();

while(st==false){
startV = ads.readADC_Differential_2_3();
if ((abs(startV) < (ADC_COUNTS*0.55)) && (abs(startV) > (ADC_COUNTS*0.45))) st=true;
if ((millis()-start)>timeout) st = true;
}
start = millis();
while ((crossCount < crossings) && ((millis()-start)<timeout)) {
numberOfSamples++;
lastSampleV = sampleV;

sampleV = ads.readADC_Differential_2_3();
sampleI = ads.readADC_Differential_0_1());

sqV= sampleV * sampleV;
sumV += sqV;
sqI = sampleI * sampleI;
sumI += sqI;
phaseShiftedV = lastSampleV + PHASECAL * (sampleV - lastSampleV);
instP = phaseShiftedV * sampleI;

```

```

sumP +=instP;

lastVCross = checkVCross;
if (sampleV > startV) checkVCross = true;
else checkVCross = false;
if (numberOfSamples==1) lastVCross = checkVCross;
if (lastVCross != checkVCross) crossCount++;
}
float multiplier = 0.0625F;
double V_RATIO = VCAL * multiplier;
Vrms = V_RATIO * sqrt(sumV / numberOfSamples);

double I_RATIO = ICAL * multiplier;
Irms = I_RATIO * sqrt(sumI / numberOfSamples);

realPower = V_RATIO * I_RATIO * sumP / numberOfSamples;
apparentPower = Vrms * Irms;
powerFactor = realPower/apparentPower;
reactivePower=sqrt((apparentPower*apparentPower)-(realPower*realPower));
prod_kwh = prod_kwh + (realPower * (2.05/60/60/1000));
sumV = 0;
sumI = 0;
sumP = 0;
}
void setup() {
Serial.begin(115200);
delay(10);
ads.setGain(GAIN_ONE);

```

```

ads.begin();

pinMode(0, OUTPUT);
pinMode(14, OUTPUT);
pinMode(12, OUTPUT);
WiFi.mode(WIFI_STA);
WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASS);
Serial.print("Conectando a:\t");
Serial.println(WIFI_SSID);

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  delay(200);
  Serial.print('.');
}
Serial.print("Conectado a:\t");
Serial.println(WiFi.SSID());
Serial.print("IP address:\t");
Serial.println(WiFi.localIP());
digitalWrite(12, HIGH);
}
void loop() {
digitalWrite(12, HIGH);
digitalWrite(14, LOW);
calcVI(20,2000);
ubidots.add("Vrms", Vrms);
ubidots.add("Irms", Irms);
ubidots.add("P. Activa", realPower);
ubidots.add("P. Reactiva", reactivePower);
ubidots.add("P. Aparente", apparentPower);

```

```

ubidots.add("FP", powerFactor);
ubidots.add("E. Producción", prod_kwh);

bool bufferSent = false;
bufferSent = ubidots.send();

if (bufferSent) {
digitalWrite(0, HIGH);
delay(300);
digitalWrite(0, LOW);
delay(300);
Serial.println("Datos enviados correctamente.....");
}else{
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
delay(500);
digitalWrite(12, LOW);
digitalWrite(14, HIGH);

Serial.print("Error de conexión ");
Serial.println("Conectando....");
}
}

//Corroborar datos generados y enviados en el monitor serie
Serial.print("Vrms: ");
Serial.print(Vrms);
Serial.print(" V");
Serial.print("\tIrms: ");
Serial.print(Irms);

```

```
Serial.print(" A");  
Serial.print("\tP. Activa: ");  
Serial.print(realPower);  
Serial.print(" W");  
Serial.print("\tP. Reactiva: ");  
Serial.print(reactivePower);  
Serial.print(" VAR");  
Serial.print("\tP. Aparente: ");  
Serial.print(apparentPower);  
Serial.print(" VA");  
Serial.print("\t FP: ");  
Serial.print(powerFactor);  
Serial.print("");  
Serial.print("\tEnergia: ");  
Serial.print(prod_kwh);  
Serial.println(" kWh");  
}
```