



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja
Facultad de la Energía, las Industrias y los
Recursos Naturales no Renovables

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

**Herramienta web para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos
conectados a la red en el Ecuador**

**Trabajo de Titulación, previo a
optar por el Título de Ingeniera en
Electrónica y Telecomunicaciones.**

AUTORA:

Andrea Stefania Enriquez Caraguay

DIRECTOR:

Ing. Ángel José Ordoñez Mendieta, Ph.D.

Loja – Ecuador

2024

Educamos para **Transformar**

Certificación

Loja, 03 de junio de 2024

Ing. Ángel José Ordoñez Mendieta, Ph.D.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Herramienta web para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red en el Ecuador**, previo a la obtención del título de **Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones**, de la autoría del estudiante **Andrea Stefania Enriquez Caraguay**, con cédula de identidad Nro.**1104115314**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:
ANGEL JOSE ORDONEZ
MENDIETA

Ing. Ángel José Ordoñez Mendieta, Ph.D.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, Andrea Stefania Enriquez Caraguay, declaro ser la autora del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido del mismo. Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi trabajo de titulación en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula: 1104115314

Fecha: 03 de junio de 2024

Correo Electrónico: andrea.enriquez@unl.edu.ec

Teléfono: 0984757642

Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total, y/o publicación electrónica de texto completo del Trabajo de Titulación.

Yo, **Andrea Stefania Enriquez Caraguay**, declaro ser autora del trabajo de titulación denominado: **Herramienta web para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red en el Ecuador**, como requisito por el grado de: Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del trabajo de titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, Suscribo, en la ciudad de Loja, a los tres días del mes de junio del dos mil veinticuatro.

Firma:

Cédula: 1104115314

Fecha: 03 de junio de 2024

Correo Electrónico: andrea.enriquez@unl.edu.ec

Teléfono: 0984757642

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Ángel José Ordoñez Mendieta, Ph.D.

Dedicatoria

Dedico este Trabajo de Titulación a Dios, y de manera especial a mis padres Julio Enriquez y Evangelina Caraguay, cuyo inquebrantable apoyo y aliento han sido la fuente de inspiración que me ha impulsado a alcanzar esta meta académica. Han sido mi mayor fortaleza a lo largo de este viaje académico, su sacrificio y aliento han sido la fuerza impulsora que me ha permitido alcanzar este hito. A ellos, mi eterna gratitud y amor.

A mis hermanos Juan Carlos, Marithza y Janeth cuya presencia constante ha sido un faro de luz en mi vida académica. A través de sus consejos y apoyo incondicional, me han impulsado a superar desafíos y a seguir adelante.

A mi tutor Ingeniero Ángel José Ordoñez, cuya sabiduría, orientación y paciencia han sido fundamentales en mi desarrollo como estudiante y como persona. Gracias por su dedicación y por inspirarme a superar mis límites.

A mis queridos amigos, quienes han estado a mi lado en los momentos buenos y malos, brindándome su apoyo incondicional, su aliento y su compañía.

A mis profesores, cuyos conocimientos y enseñanzas me inspiraron y me brindaron las herramientas para enfrentar los desafíos académicos y profesionales.

Andrea Stefania Enriquez Caraguay

Agradecimiento

A Dios, quien me ha dado la fortaleza, la sabiduría y la guía para poder culminar con mis estudios. Su amor incondicional y su constante provisión han sido mi apoyo en cada paso del camino. A Él le entrego todos los logros alcanzados.

A mi familia y mis padres, por su apoyo incondicional, amor y comprensión. Han sido mi fortaleza durante todo este proceso académico, brindándome fuerza y ánimo en cada paso del camino.

A mis hermanos, les agradezco por estar siempre a mi lado, brindándome aliento y ánimo en cada etapa de este viaje académico.

A mi director de tesis, Ingeniero Ángel José Ordoñez, le agradezco sinceramente por su orientación experta, paciencia y dedicación a lo largo de este proyecto. Su sabiduría y liderazgo han sido fundamentales para mi crecimiento académico y profesional.

A mis queridos amigos, Delicia y Anthony, quienes han sido una fuente constante de ánimo y apoyo a lo largo de este viaje académico. Sus palabras de aliento, su confianza en mí y su presencia inquebrantable han sido un faro de luz en los momentos más desafiantes.

Mi gratitud se extiende a los docentes, cuyo respaldo ha sido fundamental en los momentos de desafío. Su paciencia y aliento han sido la luz que ha disipado las sombras, haciendo posible este logro. Este recorrido académico ha sido un viaje enriquecedor, y a todos quienes han contribuido a mi formación profesional, les estoy profundamente agradecido.

Andrea Stefania Enriquez Caraguay

Índice de contenidos

Portada.....	I
Certificación	II
Autoría	III
Dedicatoria	V
Agradecimiento	VI
Índice de contenidos.....	VII
Índice de tablas:.....	XI
Índice de figuras:	XII
Índice de anexos:	XIV
Acrónimos:	XV
1 Título	1
2 Resumen.....	2
3 Introducción	4
4 Marco teórico	6
4.1 Energías convencionales y tipos de energías renovables.....	6
4.1.1 Introducción.....	6
4.1.2 Energía solar	8
4.1.2.1 La radiación solar.	9
4.1.2.2 Tipos de irradiación	10
4.1.2.3 Radiación directa.	11
4.1.2.4 Radiación difusa.....	11
4.1.2.5 Radiación reflejada	11
4.1.2.6 Radiación global.....	11
4.1.2.7 Estimación de pérdidas.....	12
4.1.2.8 Horas solar pico.	12
4.2 Factores para el cálculo de radiación	14
4.2.1 Introducción.....	14
4.2.2 Radiación horizontal solar global.....	14
4.2.3 Radiación horizontal difusa	15
4.2.4 Factor de sombras	15
4.2.5 Ángulo de inclinación.....	16
4.2.6 Declinación solar.....	16
4.2.7 Ángulo cenital	17
4.2.7.1 Irradiancia media anual sobre la superficie inclinada.....	17
4.2.7.2 Irradiancia efectiva, teniendo en cuenta los efectos angulares y suciedad.	17
4.3 Descripción de un sistema solar fotovoltaico	19
4.3.1 Introducción.....	19
4.3.2 Componentes de un sistema solar fotovoltaico	20

4.3.2.1	Paneles fotovoltaicos.....	20
4.3.2.1.1	Tipos de conexiones de módulos fotovoltaicos.....	21
4.3.2.1.2	Funcionamiento de las celdas fotovoltaicas.....	22
4.3.2.2	Tipos de módulos fotovoltaicos.....	23
4.3.2.2.1	Módulos Monocristalinos.....	23
4.3.2.2.2	Módulos Policristalinos.....	23
4.3.2.2.3	Módulos Amorfos.....	24
4.3.2.2.4	Características de los módulos fotovoltaicos.....	24
4.3.2.2.5	Eficiencia de un módulo fotovoltaico.....	24
4.3.2.3	Batería de acumulación.....	24
4.3.2.4	Regulador de carga.....	26
4.3.2.5	Inversor.....	26
4.3.2.5.1	Características de los Inversores Fotovoltaicos.....	27
4.3.2.6	Contador de intercambio de energía.....	27
4.3.2.7	Tablero eléctrico.....	28
4.3.3	Clasificación de los sistemas fotovoltaicos por su estructura.....	29
4.3.3.1	Definición de un sistema fotovoltaico aislado.....	29
4.3.3.2	Definición de un sistema fotovoltaico conectado a la red.....	30
4.4	Sistemas fotovoltaicos conectados a la red Eléctrica.....	31
4.4.1	Introducción.....	31
4.4.1.1	Definición de un sistema fotovoltaico conectado a red.....	31
4.4.2	Tipos de sistemas fotovoltaicos conectados a la red.....	33
4.4.2.1	SFCR instalados sobre el suelo.....	33
4.4.2.2	SFCR instalados sobre edificaciones.....	33
4.4.3	Despliegue de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red en diferentes sectores y países.....	34
4.4.4	Sistemas fotovoltaicos en el Ecuador.....	36
4.4.4.1	Módulos fotovoltaicos utilizados en el Ecuador.....	37
4.4.5	Generación distribuida en el Ecuador.....	37
4.4.6	Normativas para la instalación de sistemas fotovoltaicos en el Ecuador.....	39
4.4.6.1	Regulación Nro. ARCONEL 003/18.....	39
4.4.6.2	Regulación Nro. ARCONEL 057/18.....	40
4.4.6.3	Ley Orgánica de Eficiencia Energética 2019.....	41
4.4.6.4	Regulación ARCERNNR 001/2021.....	41
4.4.6.5	Regulación Nro. ARCERNNR-004/23.....	42
4.4.6.6	Regulación Nro. ARCERNNR-008/23.....	43
4.5	Estimación del consumo y costos de energía eléctrica en el Ecuador.....	44
4.5.1	Introducción.....	44
4.5.1.1	Consumo medio diario.....	44
4.5.1.2	Consumo medio diario mensual.....	45
4.5.1.3	Consumo total anual.....	45
4.5.2	Costo del servicio público de energía eléctrica.....	45
4.5.2.1	Costos de facturación de energía eléctrica en la categoría Residencial.....	46
4.5.2.2	Costos de facturación de energía eléctrica en la categoría Comercial.....	46
4.5.2.3	Costos de facturación de energía eléctrica en la categoría Industrial.....	46
4.6	Cálculo para el dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos.....	47
4.6.1	Introducción.....	47

4.6.2	Cálculo de la eficiencia global de la instalación	47
4.6.2.1	Cálculo del ángulo de inclinación.....	47
4.6.2.2	Cálculo de la declinación solar	48
4.6.2.3	Cálculo ángulo cenital.....	48
4.6.2.4	Cálculo de la estimación de producción de energía.	49
4.6.3	Cálculo de los equipos requeridos.....	49
4.6.3.1	Cálculo de número paneles fotovoltaicos.....	49
4.6.3.2	Cálculo de número inversores.	50
4.6.4	Parámetros para medir la rentabilidad de un sistema fotovoltaico.....	50
4.6.4.1	Análisis económico.	50
4.6.4.2	Cálculo del costo de los equipos fotovoltaicos.....	51
4.6.4.3	Costos de un sistema fotovoltaico instalado en Ecuador.	52
5	Metodología	53
5.1.1	Metodologías Aplicadas.....	53
5.1.1.1	Procedimiento de Investigación Científica	53
5.1.1.2	Método Lógico Deductivo.....	57
5.1.1.3	Enfoque Analítico para desarrollo web.....	63
5.1.1.4	Metodología para la creación de sitios web	63
5.1.1.4.1	Análisis de datos	63
5.1.1.4.2	Planificación	63
5.1.1.4.3	Contenido.....	66
5.1.1.4.4	Diseño	67
5.1.1.5	Programación.....	68
5.1.1.6	Dominio y Hosting.....	68
6	Resultados	70
6.1	Diseño.....	70
6.2	Desarrollo y Programación	71
6.2.1	Procedimiento	71
6.2.2	Bases de datos para la información para el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos 71	
6.2.3	Desarrollo del sitio web Solecuador.com	71
6.2.4	Procesamiento y análisis de datos.....	75
6.2.4.1	Datos de radiación.....	75
6.2.4.2	Datos de las empresas eléctricas que existen en el Ecuador.....	76
6.2.4.3	Datos de las tarifas eléctricas.	77
6.2.4.4	Datos del panel fotovoltaico.....	77
6.2.4.5	Datos del inversor.....	78
6.2.4.6	Datos de los electrodomésticos.....	78
6.2.4.7	Programación del primer simulador con respecto al cálculo en base a su consumo.	80
6.2.4.8	Programación del segundo simulador con respecto al cálculo en base a su potencia. ..	82
6.3	Evaluación del funcionamiento y contraste de resultados	84
6.3.1.1	Validación de la herramienta web con datos de simuladores web	84
6.3.1.2	Validación de la herramienta web con datos reales.....	87
7	Discusión	92
8	Conclusiones.....	95
9	Recomendaciones.....	97

10	Bibliografia.....	98
11	Anexos.....	104

Índice de tablas:

Tabla 1. Distribución de la potencia anual de tres fuentes de energía renovable.	7
Tabla 2. Valores de los coeficientes para el caso de un módulo con suciedad media.	18
Tabla 3. Listado de los equipos electrónicos utilizados para el dimensionamiento de SFV.	44
Tabla 4. Cálculo del ángulo de inclinación óptimo.....	47
Tabla 5. Valores calculados del ángulo cenit de las 24 provincias del Ecuador.	48
Tabla 6. Detalles de los lugares de estudio para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red.	53
Tabla 7. Distribución de las empresas eléctricas en el Ecuador.	54
Tabla 8. Tarifas eléctricas en el ámbito residencial en el Ecuador.	55
Tabla 9. Tarifas eléctricas en el ámbito comercial en el Ecuador.	56
Tabla 10. Tarifas eléctricas en el ámbito industrial en el Ecuador.	56
Tabla 11. Datos de radiación de las provincias del Ecuador.	58
Tabla 12. Datos del sombreado calculado para las 24 provincias del Ecuador.	60
Tabla 13. Listado de componentes que se utilizó para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.	62
Tabla 14. Datos tomados de las diferentes herramientas web, para la validación de la herramienta.	84
Tabla 15. Datos de un sistema fotovoltaico implementado en la ciudad de Manta.	88
Tabla 16. Datos de un sistema fotovoltaico implementado en la ciudad de Quito.	89
Tabla 17. Datos de un sistema fotovoltaico implementado en la ciudad de Quito.	90
Tabla 18. Comparación de los datos obtenidos para la validación de la herramienta web.	91

Índice de figuras:

Figura 1. Fuentes y formas de uso de las energías renovables.	7
Figura 2. Espectro de la radiación solar en la tierra.	9
Figura 3. Fenómenos que experimenta la radiación solar.	10
Figura 4. Tipos de Radiación solar.	12
Figura 5. Hora Solar Pico.....	13
Figura 6. Datos de radiación solar de la provincia de Loja.	14
Figura 7. Características de los sistemas fotovoltaicos.....	20
Figura 8. Módulo fotovoltaico.	21
Figura 9. Módulos fotovoltaicos conectados en serie.	21
Figura 10. Módulos con irradiación solar no homogénea.	22
Figura 11. Módulos fotovoltaicos conectados en paralelo.	22
Figura 12. Oblea de silicio.	23
Figura 13. Conexión de Baterías en Serie.....	25
Figura 14. Conexión de Baterías en Paralelo.	26
Figura 15. Conexión de Baterías Mixta.	26
Figura 16. Sistema fotovoltaico con contador Bidireccional.....	28
Figura 17. Sistema fotovoltaico no conectado a la red.....	30
Figura 18. Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red.....	31
Figura 19. Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red instalado en el suelo con sistema de seguimiento y sistema estático.....	33
Figura 20. SFCR instalado sobre una edificación.	34
Figura 21. Infraestructura en Generación para el Plan de Expansión de Generación 2019 -2027.....	38
Figura 22. Diagrama de flujo para dimensionar sistemas fotovoltaicos.	57
Figura 23. Etiqueta de información de consumo de un dispositivo electrónico.	59
Figura 24. Modelo metodológico para sitios web.....	63
Figura 25. Interfaz para la creación de la herramienta web.....	64
Figura 26. Estructura Jerárquica, para la creación de sitios web.....	66
Figura 27. Información sobre la adquisición del dominio y hosting de la herramienta web.	69
Figura 28. Creación de la base de datos para la herramienta web.	71
Figura 29. Gestor de contenidos WordPress.	72
Figura 30. Selección del tema Twenty Twenty-Two Versión: 1.4.	72
Figura 31. Plugins Akismet Anti-Spam Versión 5.2, Elementor Versión 3.14.1.	73
Figura 32. Editor visual o editor de código HTML y CSS.....	73
Figura 33. Diseño de la página secundaria para el cálculo del dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos en base a su consumo.	74

Figura 34. <i>Diseño de la página secundaria para el cálculo del dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos en base a su potencia.</i>	74
Figura 35. <i>Creación de la base de datos para la herramienta web.</i>	75
Figura 36. <i>Datos de radiación de las provincias del Ecuador.</i>	76
Figura 37. <i>Datos de las empresas eléctricas que existen en el Ecuador.</i>	76
Figura 38. <i>Datos de la tarifa residencial en la base de datos.</i>	77
Figura 39. <i>Creación de la base de datos, para los datos de radiación solar.</i>	78
Figura 40. <i>Creación de la base de datos para el inversor.</i>	78
Figura 41. <i>Creación de la base de datos para los electrodomésticos.</i>	79
Figura 42. <i>Creación de la base de datos para la creación de usuarios.</i>	79
Figura 43. <i>Diagrama de flujo para el cálculo del dimensionamiento del sistema en base a su consumo.</i>	80
Figura 44. <i>Diagrama de flujo para el cálculo del rendimiento del sistema.</i>	81
Figura 45. <i>Diagrama de flujo para el cálculo del ahorro y retorno del sistema.</i>	82
Figura 46. <i>Diagrama de flujo para el cálculo del dimensionamiento del sistema en base a su potencia.</i>	83
Figura 47. <i>Datos obtenidos mediante la herramienta Global Solar Atlas para una potencia de 1,62 kWp, en la provincia de pichincha.</i>	85
Figura 48. <i>Datos obtenidos mediante la herramienta PVGIS con una potencia de 1,62 kWp, en la provincia de pichincha.</i>	85
Figura 49. <i>Datos obtenidos mediante la herramienta web Solecuador para una potencia de 1,62 kWp.</i>	86
Figura 50. <i>Datos obtenidos mediante las herramientas PVGIS y Global Atlas Solar para una potencia de 2,43 kWp.</i>	86
Figura 51. <i>Datos obtenidos mediante la herramienta web Solecuador para una potencia de 2,43 kWp.</i>	87
Figura 52. <i>Conexión que realiza la empresa FRONIUS, al instalar un sistema fotovoltaico conectado a la red.</i> .	88
Figura 53. <i>Datos proporcionados por la herramienta web Solecuador para una potencia de 8,25 kWp.</i>	89
Figura 54. <i>Datos proporcionados por la herramienta web Solecuador para una potencia de 5,23 kWp.</i>	90
Figura 55. <i>Datos proporcionados por la herramienta web Solecuador para una potencia de 11,235 kWp.</i>	91

Índice de anexos:

Anexo 1. Hoja de características del inversor Fronius Primo 3.8-1 208-240 Lite 4,210,064,801.	104
Anexo 2. Hoja de características del panel Solar JINKO SOLAR Tiger Pro JKM405M-54HL4-V.	105
Anexo 3. Manual de usuario.	106
Anexo 4. Certificado de traducción del Abstract.	107

Acrónimos:

θ_z :	Ángulo cenit.
β_{opt} :	Ángulo de inclinación óptimo.
δ :	Inclinación Solar.
$G_{a,ef}(\alpha\beta)$:	Irradiancia efectiva.
$G_{a0}/G_{a\beta_{opt}}$:	Irradiancia media anual sobre la superficie inclinada.
$ \phi $:	Latitud.
AC:	Corriente alterna.
ARCERNNR:	Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables.
ARCONEL:	Agencia de Regulación y Control de Electricidad.
CONELEC:	Consejo Nacional de Electricidad.
Dd:	Radiación directa kWh/m ² .
Df:	Radiación difusa kWh/m ² .
EFV:	Energía fotovoltaica.
E _{FV} :	Energía nominal producida anualmente (kWh).
ERNC:	Energías Renovables no Convencional.
FS:	Factor de sombras kWh/m ² .
FV:	Fotovoltaico
GD:	Generación Distribuida.
Gd:	Radiación global horizontal kWh/ m ² .
Gg:	Radiancia directa.
HSP:	Hora solar pico.
I_d :	Radiación directa.
INAMHI:	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
IRENA:	Agencia Internacional de Energías Renovables.
K _d :	Índice transparencia atmosférica G_d/G_{0d} .
MPPT:	Rastreador el punto máximo de potencia.
P _{inv} :	Potencia del inversor.
PNOM, G:	Potencia nominal del generador fotovoltaico (1kW/m ²).
PR:	Performan rittio que es de 0,7 o 0,8.
Prad_Da:	Promedio de radiación difusa anual kWh/m ² .

PV:	Potencia fotovoltaica.
PVSystem:	Plataforma Global Solar Atlas.
PWM:	Controlador por modulación de ancho de onda.
ROI:	Retorno de la inversión.
SFA:	Sistemas Fotovoltaicos Aislados (no conectados a la red).
SFCR:	Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red Eléctrica.
SFV:	Sistema Fotovoltaico.
SLL:	Capa de sockets seguros.
V:	Tensión Nominal.
VA:	Potencia nominal.
W:	Potencia activa.
Y_R:	Radiación promedio anual incidente en el plano del generador.

1 Título

Herramienta web para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red en el Ecuador

2 Resumen

La energía solar fotovoltaica ha surgido como una solución crucial en el actual panorama energético, desempeñando un papel fundamental en la transición hacia fuentes de energía más sostenibles y limpias. La obtención directa de la energía solar y su transformación en electricidad reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuye la dependencia de fuentes de energía basadas en combustibles fósiles. Esta importancia estratégica se refleja en la presente investigación, que se enfoca en la creación y desarrollo de una herramienta web diseñada para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red en el Ecuador. Durante el proceso investigativo, se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica, abarcando aspectos técnicos, teóricos, económicos y ambientales relacionados con la implementación de sistemas fotovoltaicos. La investigación se centró específicamente en el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos, incluyendo el análisis de datos de radiación solar, y la evaluación de las regulaciones y normativas ecuatorianas. Se desarrolló una herramienta web con hosting y dominio a través de Nodored, integrada con WordPress. La plataforma permite realizar dimensionamientos en dos enfoques: consumo eléctrico y potencia requerida. La herramienta no solo ofrece información técnica y perspectivas económicas para evaluar la viabilidad del sistema propuesto, sino que también destaca al proporcionar datos sobre la reducción de toneladas de CO₂, resaltando su impacto ambiental positivo. Para validar la herramienta, se contrastaron estadísticamente los resultados con sistemas fotovoltaicos ya instalados, y con datos de herramientas web como Global Solar Atlas y PVGIS. Los resultados indicaron una variación aceptable, respaldando la robustez de la herramienta desarrollada.

Palabras clave: Energía solar, Radiación solar, Sistemas fotovoltaicos, Paneles solares, PVGIS, SOLARGIS.

Abstract

Solar photovoltaics energy has emerged as a crucial solution in the current energy landscape, playing a fundamental role in the transition towards more sustainable and clean energy sources. Directly obtaining solar energy and transforming it into electricity reduces greenhouse gas emissions and reduces dependence on energy sources based on fossil fuels. This strategic importance is reflected in the present research, which focuses on the creation and development of a web tool designed for the sizing of photovoltaic systems connected to the grid in Ecuador. During the research process, an exhaustive bibliographic review was carried out, covering technical, theoretical, economic and environmental aspects related to the implementation of photovoltaic systems. The research focused specifically on the operation of photovoltaic systems, including the analysis of solar radiation data, and the evaluation of Ecuadorian regulations and standards. A web tool was developed with hosting and domain through Nodored, integrated with WordPress. The platform allows sizing in two approaches: electrical consumption and required power. The tool not only offers technical information and economic perspectives to evaluate the viability of the proposed system, but also stands out by providing data on the reduction of tons of CO₂, highlighting its positive environmental impact. In order to validate the tool, the results were statistically contrasted with already installed photovoltaic systems, and with data from web tools such as Global Solar Atlas and PVGIS. The results indicated acceptable variation, supporting the robustness of the developed tool.

Key words: Solar energy, Solar radiation, Photovoltaic systems, Solar panels, PVGIS, SOLARGIS.

3 Introducción

La energía solar fotovoltaica es actualmente la tecnología de generación que ha experimentado un rápido crecimiento en términos de expansión de capacidad y se ha convertido en una de las principales fuentes de generación de energía (Louwen & Van Sark, 2019). En América Latina, el incremento en la necesidad de electricidad ha resaltado la relevancia de la energía solar fotovoltaica como un elemento fundamental para impulsar el desarrollo económico y el bienestar de la sociedad (Keegan, 2021).

Dentro del marco de desarrollo energético nacional, el Ecuador hace varias décadas asumió el compromiso de encaminar los esfuerzos a un sector energético sostenible, que beneficie a la población ecuatoriana. Según Aguirre, (2018), la satisfacción de la demanda energética implica un notable consumo de combustibles fósiles, siendo el diésel (31 %), la gasolina (28 %), la electricidad (13,50 %) y otros, los principales contribuyentes. El sector del transporte destaca como el mayor consumidor de energía (48,80 %), seguido por el sector industrial (14,55 %) y residencial (13,20 %).

Hoy en día, en el Ecuador la energía renovable se ha incrementado considerablemente en estos últimos años, optando así por el uso de sistemas de calidad como es la energía solar fotovoltaica, mediante el cual el costo elevado de la energía nos lleva a reducir el consumo (Maingón, 2022). En el Ecuador la energía eléctrica alcanzó 29.243 GWh, provenientes de fuentes renovables, se espera que la demanda de electricidad en el Ecuador llegue alrededor de 32 Teravatios - hora, con el objetivo de reducir las emisiones y aprovechar las fuentes alternativas de energía solar fotovoltaica (Flores & Vélez, 2022).

En consecuencia, la importancia de la energía solar fotovoltaica hace necesaria la utilización de herramientas que permitan analizar el comportamiento y la producción de los paneles solares, bajo diferentes condiciones.

En este contexto, se planteó el desarrollo de la herramienta Web especializada en el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados directamente a la red en modalidad de autoconsumo. El propósito fundamental es proporcionar un sistema de apoyo para la toma de decisiones, permitiendo evaluar de manera eficiente la viabilidad técnico-económica de implementar sistemas fotovoltaicos en modalidad de autoconsumo en el entorno ecuatoriano.

La ejecución del presente proyecto ha sido rigurosamente planificada en coherencia con el alcance de los objetivos predefinidos en la investigación, los cuales son:

- Investigar y analizar el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica.
- Diseñar e implementar una herramienta web para simular SFV con conexión con la red eléctrica, que permita el análisis técnico y económico de estos sistemas.
- Contrastar estadísticamente los resultados con otros sistemas FV ya instalados, para evaluar el correcto funcionamiento de la herramienta web.

4 Marco teórico

4.1 Energías convencionales y tipos de energías renovables

4.1.1 Introducción

Los distintos tipos de energía dependen del modo de obtención, y se dividen en tres grupos principales: energía eléctrica, térmica o de hidrocarburos.

Para ejemplificar, en las plantas de producción de energía eléctrica, se produce electricidad mediante el uso de equipos eléctricos conocidos como generadores o alternadores. Estos generadores funcionan mediante dispositivos motrices y turbinas, que son activados por diversas fuentes de energía presentes en el entorno natural. La distinción entre diferentes tipos de plantas generadoras radica en las fuentes de energía que aprovechan. Con base en esta característica, es posible categorizar las plantas generadoras de electricidad en los siguientes segmentos (Gómez U, 2016):

- Centrales hidráulicas.
- Centrales térmicas (de carbón, de gas natural, de biomasa, etc.).
- Centrales nucleares.
- Centrales mareomotrices.
- Centrales geotérmicas.
- Centrales eólicas.
- Centrales solares (fotovoltaicas y termoeléctricas).
- Centrales hidrotérmicas.
- Centrales de gradientes salinos.
- Centrales undimotrices.

Estos conjuntos de fuentes de energía pueden ser clasificados en dos grupos principales: energías convencionales y energías renovables. Se refieren como energías convencionales aquellas que emplean fuentes de energía convencionales para generar electricidad. En cambio, la energía renovable se obtiene de fuentes naturales prácticamente inagotables, y desempeña un papel fundamental en la satisfacción de la demanda global de energía, mientras se preserva el medio ambiente. Según Quaschnig, (2016), las fuentes de energía renovable se distinguen por su cualidad de ser inagotables en un marco temporal relevante para los seres vivos. Las fuentes de energía se pueden categorizar en tres grupos principales: energía solar, energía planetaria y energía geotérmica. La distribución global del potencial anual de suministro de estas tres fuentes de energía se divide como se muestra en la **Tabla 1**.

Tabla 1.

Distribución de la potencia anual de tres fuentes de energía renovable.

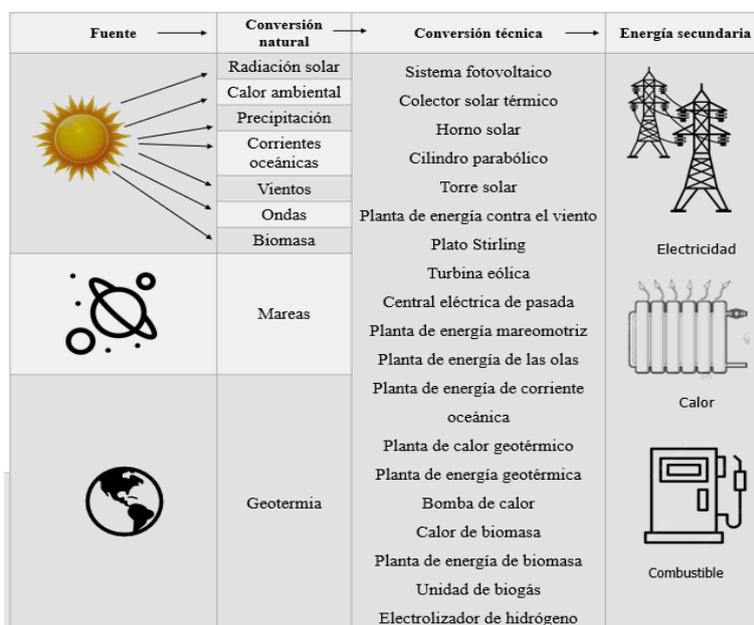
Fuentes de Energía	Potencia anual
Energía Solar	3.900.000.000 [PJ/año] (Peta Joule/año)
Energía Planetaria	94.000 [PJ/año]
Energía Geotérmica	996.000 [PJ/año]

Nota: Tomado de Quaschnig, (2016).

Como se muestra en la **Figura 1**, la categorización de las fuentes y métodos de utilización de la energía renovable.

Figura 1.

Fuentes y formas de uso de las energías renovables.



Nota: Imagen tomada de Quaschnig, (2016).

Por otra parte, se argumenta que las energías renovables poseen el potencial necesario para cubrir la demanda mundial de energía. Esto se respalda con datos que indican que la capacidad de generación de electricidad mediante tecnologías renovables alcanzó los 3,372 gigavatios (GW) a finales de 2022, evidenciando un crecimiento anual del 9,6 %, equivalente a 295 GW (IRENA, 2022), aunque la transición hacia su uso a gran escala implica la necesidad de reconfigurar por completo el sector energético, dado que las centrales existentes, como las centrales cilindro parabólicas, las centrales eléctricas de paso y las torres solares, no cumplen con las expectativas de producción de energía previstas (Quaschnig, 2016).

Por consiguiente, se establecen a continuación algunos conceptos claves, que sirven como referencia para la comprensión del presente proyecto de investigación.

4.1.2 Energía solar

La energía solar es la energía que se obtiene directamente del Sol, mediante el cual se puede aprovechar el fenómeno de la radiación solar, mediante el uso de radiación óptica u otro tipo de equipos, para aplicaciones térmicas o fotovoltaicas. Se considera una solución altamente beneficiosa para cubrir las necesidades energéticas de todos los países debido a su disponibilidad global y su carácter accesible sin coste alguno. Es un método alternativo para la generación de energía renovable y limpia conocida como energía verde (Robalino Peñaloza, 2017).

De igual forma, es importante destacar que el Sol representa la principal fuente de energía renovable, ya que cada año libera a la Tierra una cantidad de energía solar de $3,9 \times 10^{24} \text{ J} = 1,08 \times 10^{18} \text{ kWh}$. que supera significativamente la demanda global de energía primaria, excediendo las reservas disponibles de energía fósil y nuclear. Aprovechando incluso una fracción mínima, como 1/10000, de la energía solar que llega a nuestro planeta, sería factible satisfacer completamente la demanda energética mundial (Quaschnig, 2016).

Por lo tanto, la captación de energía mediante el calor, con el fin de obtener energía térmica, y mediante la luz para obtener energía eléctrica; son los métodos más reconocidos, y se llevan a cabo mediante el uso de módulos o paneles solares, respectivamente. Esta energía está ampliamente disponible, y cuenta con abundantes reservas es relativamente confiable, y no está sujeta a ciertas restricciones geográficas, siendo una fuente de energía renovable ilimitada. Es posible medir la cantidad de radiación solar que alcanza la Tierra, y su medida se expresa en W/m^2 vatios por metro cuadrado (Guerra G, 2021).

En consecuencia, la energía solar se la puede aprovechar de dos maneras, mediante la conversión de la energía solar en calor o mediante la conversión de la radiación solar en electricidad (Rufes Martínez, 2010).

La conversión de la energía solar en calor se conoce como energía solar térmica, la cual consiste en convertir la radiación solar en calor. Es utilizado para generar agua caliente para uso doméstico. Además, este tipo de energía puede emplearse para generar energía mecánica mediante un ciclo termodinámico y mediante el uso de un generador eléctrico. A esto se le conoce como energía solar termoeléctrica.

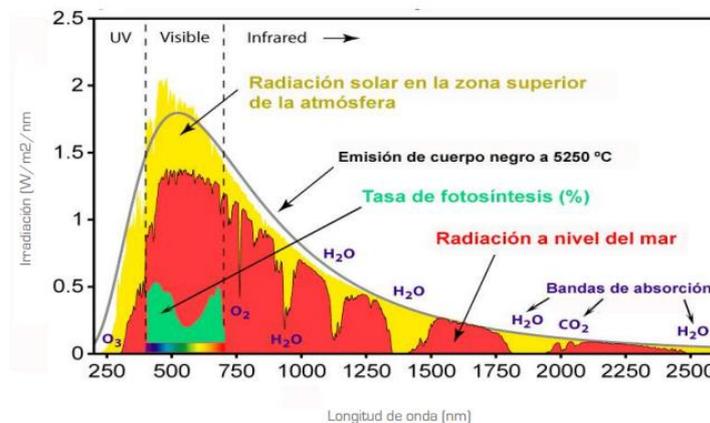
La conversión de la radiación solar en electricidad se conoce como energía solar fotovoltaica, este proceso utiliza una serie de elementos semiconductores presentes en los paneles solares fotovoltaicos, generando electricidad que se utiliza de manera directa, almacenada en baterías o incluso inyectada en la red de distribución eléctrica.

4.1.2.1 La radiación solar.

La radiación solar se define como el conjunto de radiaciones electromagnéticas liberadas por el Sol. La radiación solar se produce a través de procesos de fusión nuclear en el Sol, lo cual resulta en la emisión de radiaciones electromagnéticas que alcanzan la Tierra. La cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre se mide en W/m^2 (vatios por metro cuadrado) y también se conoce como "irradiancia" (Martínez, 2010; Chiroque A et al., 2021). En la **Figura 2**, se puede evidenciar como el espectro de la radiación solar incide en la tierra.

Figura 2.

Espectro de la radiación solar en la tierra.



Nota: En la siguiente imagen se presenta el espectro de la radiación solar incidente en la tierra, donde se especifica las diferentes ondas electromagnéticas que se desplazan a una velocidad en vacío. Imagen tomada de *IDEAM & UPME, (2017)*.

Por ejemplo, en regiones cercanas al ecuador, donde el Sol alcanza su punto más alto en el cenit y en condiciones de una atmósfera despejada, la superficie terrestre puede recibir hasta $1.000 \text{ W}/\text{m}^2$ de radiación solar (Delgado & Orellana, 2015).

Existen 4 factores influyen en la cantidad de radiación solar disponible en una ubicación dada, como la latitud, la nubosidad, la humedad y la claridad atmosférica (Style, 2012).

- Latitud: la ubicación del lugar sea el NORTE o el SUR.
- Nubosidad: la radiación difusa en los días nublados es una décima parte, de lo que llegarías directamente.
- Humedad: la humedad es otro factor que afecta la pérdida de radiación, debido a que absorbe una cantidad.
- Claridad atmosférica: debido al polvo, nubes, smog, la radiación no llega directamente a la superficie.

De acuerdo con Chiriboga & Mondragón, (2011), se emplean dos magnitudes para evaluar la radiación solar las cuales reflejan la potencia y la energía de la radiación recibida por una superficie, estas magnitudes son: irradiancia e irradiación.

- Irradiancia: Se refiere a la cantidad de energía solar que incide sobre una superficie específica por unidad de área y tiempo, medida en W/m^2 W/m^2 (Collaguazo, 2019).
- Irradiación: Representa la energía solar acumulada por unidad de superficie durante un período de tiempo definido, expresada en Wh/m^2 o, en algunos casos, en J/m^2 (Collaguazo, 2019).

4.1.2.2 Tipos de irradiación

La radiación solar, antes de alcanzar la superficie terrestre, atraviesa la atmósfera y se ve afectada por fenómenos como reflexión, absorción y dispersión, los cuales disminuyen la intensidad de la radiación al llegar a su destino (Martínez, 2010). Este proceso se ilustra de manera detallada en **Figura 3**.

Figura 3.

Fenómenos que experimenta la radiación solar.



Nota: En la figura 3 se especifican los tres fenómenos de radiación solar que inciden en la tierra y los cuales se los puede aprovechar mediante varios equipos. Elaboración Propia.

Por otra parte, la radiación solar directa incide directamente sobre la superficie, mientras que la radiación difusa es la que ha sido esparcida y absorbida por la atmósfera antes de alcanzar la superficie terrestre, especialmente en días nublados.

En consecuencia, tanto la radiación directa como la radiación difusa inciden en distintas superficies, lo que da origen a la radiación reflejada, conocida como albedo. La cantidad de reflexión depende de las características y naturaleza de las superficies que reciben la radiación (Martínez, 2010).

Según Chiriboga & Mondragón, (2011), se identifican tres tipos de radiación, que son: radiación directa, radiación difusa y radiación reflejada.

4.1.2.3 Radiación directa.

Se refiere a la radiación solar que se propaga en línea recta desde el Sol e incide en la Tierra. Se caracteriza por arrojar sombras notables y definidas. En un día despejado, la radiación directa constituye aproximadamente del 80 % al 85 %; en días con sombras difusas, representa un 80 % o menos; y en días con sombras, se considera que la radiación directa es prácticamente nula (Mora Garzón, 2011).

4.1.2.4 Radiación difusa

La irradiancia difusa es la porción de la irradiancia global que llega a la superficie terrestre de manera indirecta, después de atravesar la atmósfera y las nubes, lo que resulta en la dispersión de la radiación. En días soleados, la irradiancia difusa equivale aproximadamente al 15 % de la irradiancia global, mientras que, en días nublados, este porcentaje experimenta un aumento notable (Collaguazo, 2019).

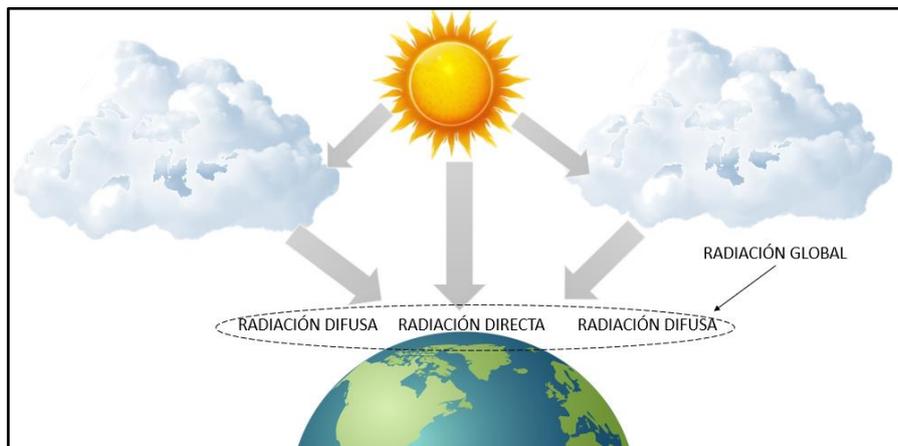
4.1.2.5 Radiación reflejada

La irradiancia difusa es la porción de la irradiancia global que llega a la superficie terrestre de manera indirecta, después de atravesar la atmósfera y las nubes, lo que resulta en la dispersión de la radiación. En días soleados, la irradiancia difusa equivale aproximadamente al 15 % de la irradiancia global, mientras que, en días nublados, este porcentaje experimenta un aumento notable (Collaguazo, 2019).

4.1.2.6 Radiación global.

La radiación global representa la suma total de las radiaciones directa, difusa y reflejada, donde la radiación difusa resulta de las múltiples reflexiones y la radiación directa proviene directamente de la atmósfera, como se muestra en la **Figura 4** (Otacoma & Quinatoa, 2021).

Figura 4.
Tipos de Radiación solar.



Nota: En la figura se puede visualizar que existen tres tipos de radiación solar que inciden en la tierra: radiación difusa, directa y global, la radiación global se la obtiene de la suma de los dos tipos de radiación. Elaboración Propia.

Por otro lado, en Ecuador, la radiación solar global anual alcanza los 4,200 kWh, cifra que se considera significativa en comparación con otros países. El Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) señala que las variaciones de radiación oscilan entre el 30 % y el 40 % en distintas zonas del país, debido a diversas condiciones atmosféricas como la latitud y longitud que prevalecen en todo el territorio ecuatoriano (Velasco & Cabrera, 2009).

4.1.2.7 Estimación de pérdidas.

Existen múltiples factores ocasionan la disminución de la radiación solar, ya que no toda la radiación que alcanza la Tierra se distribuye uniformemente en su superficie debido a varios fenómenos, como la absorción, la reflexión y la dispersión. De igual relevancia, la dispersión generada por partículas de polvo y la contaminación del aire varían en función de la ubicación, siendo más pronunciadas en áreas industriales y ciudades. Además, las condiciones meteorológicas locales, como la presencia de nubes, lluvia o nieve también influyen en la cantidad de radiación aprovechable en una ubicación específica (Pareja, 2010).

Otros factores que inciden en la pérdida de radiación son el grosor de la capa atmosférica, la ubicación geográfica y la estación del año, y los efectos del nitrógeno y el oxígeno en la atmósfera afectan la captación de energía. En este sentido, es importante destacar que el ozono absorbe la mayor parte de la radiación energética (SOLAR, 2014).

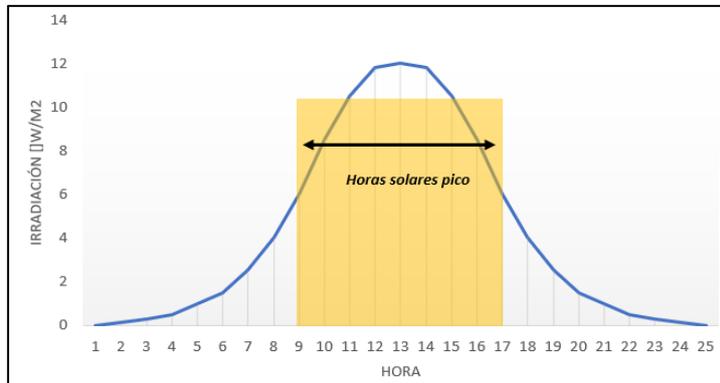
4.1.2.8 Horas solar pico.

Este término se refiere a la cantidad de energía solar recibida en una superficie específica en un momento particular. La hora solar pico representa la energía captada durante una hora con una irradiación promedio de 1.000 W/ m² (Bárcena & Bárcena, 2014).

En la siguiente **Figura 5**, se puede visualizar, de manera más clara el concepto.

Figura 5.

Hora Solar Pico.



Nota: En la figura se puede visualizar, la hora solar más alta que existe en un determinado tiempo, a la cual se la denomina como la hora solar pico. Elaboración Propia.

De igual importancia, en el Ecuador los datos son obtenidos mediante el INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología), las horas solares pico son necesarias para obtener el número de módulos fotovoltaicos.

Para el cálculo la hora solar pico (momento del día en el que la radiación solar alcanza su nivel máximo) en una determinada región se utiliza la siguiente **Ecuación 1** (Miranda Escobar, 2016).

$$HSP = \frac{P_{pr}(kWh/m^2)}{1 (kW/m^2)} \quad (1)$$

Siendo:

HSP: Hora solar pico (4,2 kW/m²)

P_{pr}: Índice solar de la región (kWh/m²)

Irradiancia del panel en condiciones estándar: 1.000 W/m²

4.2 Factores para el cálculo de radiación

4.2.1 Introducción

La radiación, en sus diversas manifestaciones, desempeña un papel significativo en una amplia gama de disciplinas y aplicaciones, desde la radiación solar que incide en la superficie terrestre hasta la radiación ionizante. Es por ello que se explorarán y analizarán los factores cruciales que intervienen en el cálculo de la radiación (Rivas, 2020).

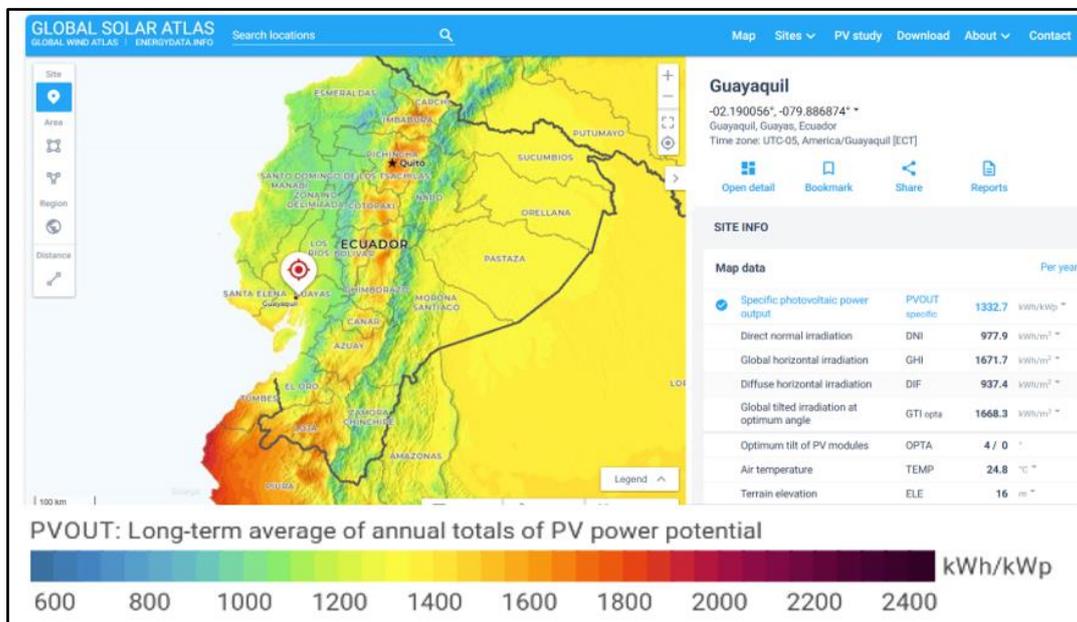
En este apartado, se examinarán los factores claves que deben considerarse al calcular la radiación, ofreciendo una base sólida para abordar este tema fundamental en la investigación. Comprender estos factores es esencial para evaluar y cuantificar adecuadamente la radiación en diferentes escenarios y aplicaciones, y garantizar su uso seguro y eficaz (Rivas, 2020).

4.2.2 Radiación horizontal solar global

La radiación global, como ya se mencionó anteriormente, es la suma de las dos radiaciones, directa (I_d), difusa (D_d). La obtención de la radiación se la puede obtener mediante varias plataformas como PVSys o mediante la plataforma Global Solar Atlas como se muestra en la **Figura 6** (SOLARGIS, 2019).

Figura 6.

Datos de radiación solar de la provincia de Loja.



Nota: En la presente figura se puede visualizar el mapa del Ecuador, en donde se especifica la radiación global directa y difusa que existe en determinadas provincias. Imagen tomada de SOLARGIS, (2019).

Por lo tanto, para el cálculo de la radiación global horizontal, se lo realiza mediante la **Ecuación 2** (CONEIMERA, 2011):

$$G_d = D_d + D_f \times \text{Cos } \theta_z \quad (2)$$

Siendo:

G_d : Radiación global horizontal kWh/ m²

D_d : Radiación directa kWh/ m²

D_f : Radiación difusa kWh/ m²

θ_z : Ángulo cenit

Para poder obtener el valor promedio anual de radiación, se la realiza mediante la **Ecuación 3** (Lamigueiro, 2013):

$$P_{\text{rad}_D_d} = \frac{D_d}{12} (\text{kWh/m}^2) \quad (3)$$

Siendo:

$P_{\text{rad}_D_d}$: Promedio de radiación difusa anual kWh/m².

D_d : Radiación difusa kWh/m².

4.2.3 Radiación horizontal difusa

La radiación difusa horizontal se refiere a la radiación solar que atraviesa inicialmente nubes o niebla (Forget, 2011). Durante una jornada soleada y con condiciones climáticas secas, la componente directa de la radiación solar es la más predominante, pudiendo representar hasta el 90 % del total de radiación recibida (Hernández, 2017).

Por lo tanto, el cálculo de la radiación difusa se basa en la radiación global y en el índice de claridad (Forget, 2011; Prat, 2011). Para el cálculo de la radiación horizontal difusa se la realiza mediante la **Ecuación 4** (CONEIMERA, 2011):

Siendo:

$$D_d = G_d \times [1,39 - 4,027 K_d + 5,531 K_d^2 - 3,108 K_d^3] \quad (4)$$

G_d : Irradiación global en superficie horizontal (dato medido)

K_d : Índice transparencia atmosférica G_d/G_{0d}

A la vez, el valor de radiación difusa, también se la puede obtener directamente, mediante las diferentes aplicaciones o plataformas antes mencionadas.

4.2.4 Factor de sombras

El sombreado es un factor importante en la captación de energía, debido a que es el obstáculo que tiene el generador con el Sol, provocando una disminución de captación de radiación (Martínez Rubio, 2016).

Para el cálculo del factor de sombras de un sistema fotovoltaico se lo realiza con la siguiente **Ecuación 5** (Arenas Flórez & Bastidas Rodríguez, 2022).

$$FS = 1 - \frac{G_d}{G_g} \quad (5)$$

Siendo:

FS: Factor de sombras kWh/m²

G_d: Radiancia global del generador

G_g: Radiancia directa

4.2.5 *Ángulo de inclinación*

El desplazamiento del Sol durante un día es de Este a Oeste, sin embargo, durante el transcurso de un año, su recorrido es de Norte a Sur. Para poder identificar el ángulo óptimo de inclinación del panel depende de la ubicación geográfica específica del lugar, y este valor se puede calcular utilizando la **Ecuación 6** (Hernández, 2017).

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69|\phi| \quad (6)$$

Siendo:

β_{opt} : Ángulo de inclinación óptimo.

$|\phi|$: Latitud.

Dado que los paneles solares planos muestran una baja susceptibilidad al desalineamiento, las pérdidas de energía resultantes de no seleccionar el ángulo calculado a partir de la **Ecuación 7** serán mínimas. Según Lamigueiro, (2013) es necesario desviarse aproximadamente 10° del ángulo ideal para experimentar pérdidas energéticas de alrededor del 1 %.

4.2.6 *Declinación solar*

El eje de rotación terrestre exhibe una inclinación aproximada de 23,45° con relación al plano orbital del planeta. Como consecuencia de esta orientación, mientras la Tierra realiza su órbita alrededor del Sol, se produce un efecto en el cual los rayos solares inciden perpendicularmente en diferentes momentos sobre el hemisferio norte, el ecuador y el hemisferio sur. Este ciclo provoca que, desde la perspectiva terrestre, la posición aparente del Sol en el cielo varíe, con un ángulo de elevación mayor durante el verano y uno más bajo durante el invierno (Plasencia et al., 2007).

Por lo tanto, la inclinación solar se establece mediante la intersección de los rayos solares con el plano ecuatorial terrestre (Khoo et al., 2014). Esta relación está expresada por la siguiente **Ecuación 7**:

$$\delta = 23,45^\circ \operatorname{sen} \left[360 \left(\frac{284 + n}{365} \right) \right] \quad (7)$$

Siendo:

η : Es el día del año.

4.2.7 Ángulo cenital

El ángulo cenital es un factor crucial en aplicaciones relacionadas con la energía solar, la climatología y la navegación, ejerce un impacto significativo en la cantidad de radiación solar que alcanza la superficie terrestre en ubicaciones y momentos específicos. Su representación matemática, expresada como el coseno del ángulo cenital $\cos \theta_z$, se encuentra definida en la **Ecuación 8**, como lo documentan (Petros J & Fylladitakis, (2012). La determinación de este ángulo se basa en una serie de variables interrelacionadas, incluyendo el ángulo de declinación solar (δ), el ángulo de la hora solar y la latitud geográfica (ϕ).

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (8)$$

4.2.7.1 Irradiancia media anual sobre la superficie inclinada.

La irradiancia media anual está relacionada con el ángulo óptimo de inclinación, con la irradiación anual en el plano horizontal, donde β_{opt} está en grados, como se puede evidenciar en la **Ecuación 9** (Lamigueiro, 2013).

$$\frac{G_{a0}}{G_{a\beta_{opt}}} = 1 - 4,46 \times 10^{-4} \times \beta_{opt} - 1,19 \times 10^{-4} \times \beta_{opt}^2 \quad (9)$$

4.2.7.2 Irradiancia efectiva, teniendo en cuenta los efectos angulares y suciedad.

Para poder obtener las regresiones que cuantifican las pérdidas angulares y las pérdidas por suciedad anuales para sistemas estáticos, se propone la siguiente **Ecuación 10** (Lamigueiro, 2013).

$$G_{a,ef}(\alpha\beta) = G_{a,ef}(\beta_{opt}) \left[g_1(\beta - \beta_{opt})^2 + g_2(\beta - \beta_{opt}) + g_3 \right] \quad (10)$$

Donde los ángulos β_{opt} , β y α están en grados.

Asimismo, los coeficientes para resolver la ecuación anterior se presentan a continuación en la **Tabla 2**.

Tabla 2.

Valores de los coeficientes para el caso de un módulo con suciedad media.

	i = 1	i = 2	i = 3
g_{1i}	8×10^{-9}	$3,8 \times 10^{-7}$	$-1,218 \times 10^{-4}$
g_{2i}	$-4,27 \times 10^{-7}$	$8,2 \times 10^{-6}$	$2,892 \times 10^{-4}$
g_{3i}	$-2,5 \times 10^{-5}$	$-1,034 \times 10^{-4}$	0,9314

Nota: Tomado de Lamigueiro, (2013)

4.3 Descripción de un sistema solar fotovoltaico

4.3.1 Introducción

Un sistema solar fotovoltaico es un componente mecánico, eléctrico y electrónico que captan y convierten la energía solar disponible, en energía eléctrica utilizable. Está conformado por varios equipos y herramientas diseñados para realizar cuatro funciones principales como es: transformar directa y eficientemente la energía proveniente del Sol, almacenar completamente en fuentes de alimentación la energía generada tanto en sistemas independientes o aislados de la red; proveer adecuadamente la energía almacenada; y utilizar eficientemente la energía producida (Vasconcelos & Aguirre, 2017).

Así mismo, estos sistemas solares fotovoltaicos están constituidos por varios elementos, denominados células solares o células fotovoltaicas, los cuales están conectados en serie y/o paralelo a paneles, mediante las cuales a través de las celdas fotovoltaicas se transformará directamente la energía solar en energía eléctrica. La luz solar transporta energía en un flujo de fotones, por consiguiente, cuando los fotones inciden con un determinado tipo de material, y en ciertas condiciones estos provocan una corriente eléctrica (Marín, 1983).

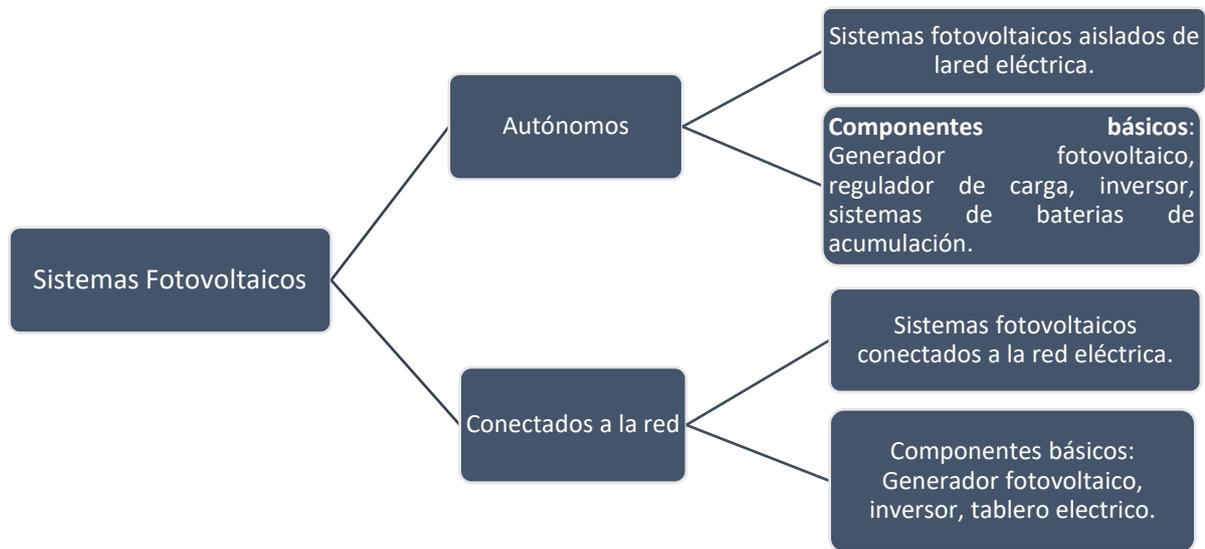
Además, la conversión de la energía solar en electricidad ocurre debido al efecto fotovoltaico, este efecto se presenta en materiales conocidos como semiconductores, los cuales presentan dos bandas de energía, en una de ellas se permite la presencia de electrones y en la otra no hay presencia de los mismos, es decir, la banda se encuentra completamente vacía (Vasconcelos & Aguirre, 2017).

Por otra parte, la característica principal de los sistemas solares fotovoltaicos de otras fuentes renovables es que el sistema fotovoltaico genera electricidad cuando se recibe la luz solar, la energía recibida es directamente proporcional a la irradiancia solar que incide sobre su superficie (Sánchez Guevara & Franco Gil, 2016). Eventualmente, estos sistemas fotovoltaicos son utilizados para abastecer energía eléctrica a viviendas donde la red eléctrica de distribución no llega. Además, son utilizados para edificios residenciales, centros comerciales y para iluminación de espacios (Salto Uzhca, 2018).

De la misma forma, los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse en dos tipos, autónomos (off-grid) y conectados a la red (on-grid), estos tipos de sistemas dependen de las aplicaciones que se utilizarán, como el tipo de carga que será suministrada por los paneles y, el recurso solar que existe en la zona donde será ubicado (Muñoz Vizhñay et al., 2018).

De igual importancia, en la **Figura 7**. Se presenta un esquema de la clasificación y características de los sistemas fotovoltaicos.

Figura 7.
Características de los sistemas fotovoltaicos.



Nota: Elaboración Propia.

4.3.2 Componentes de un sistema solar fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico estará formado por varios elementos fundamentales, que se describen a continuación:

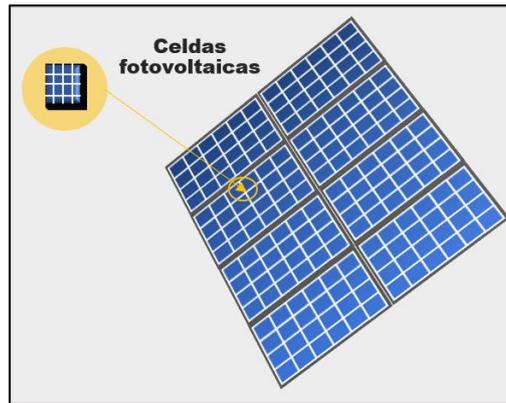
4.3.2.1 Paneles fotovoltaicos

Un panel fotovoltaico está conformado por celdas fotovoltaicas, este componente se encarga de captar la energía solar y transformarla en energía eléctrica. La potencia generada de un sistema fotovoltaico dependerá del tipo de módulos que posea, los módulos son el conjunto de celdas agrupadas, generalmente están recubiertos de silicón y vidrio templado. El valor típico de una celda solar fotovoltaica es del orden de 3 W (M. Abella, 2015).

Además, las células o celdas FV están compuestas de diodos elaborados por un material semiconductor, y la potencia suministrada dependerá del número de celdas que esté conformado un panel solar. Según M. Abella, (2015), “El valor típico para módulos compuestos por 36 células conectadas en serie oscila entre los 50 y 100 W, dependiendo del área de cada una de las células”.

En la **Figura 8**, se puede visualizar que un módulo fotovoltaico está compuesto por varias celdas fotovoltaicas.

Figura 8.
Módulo fotovoltaico.

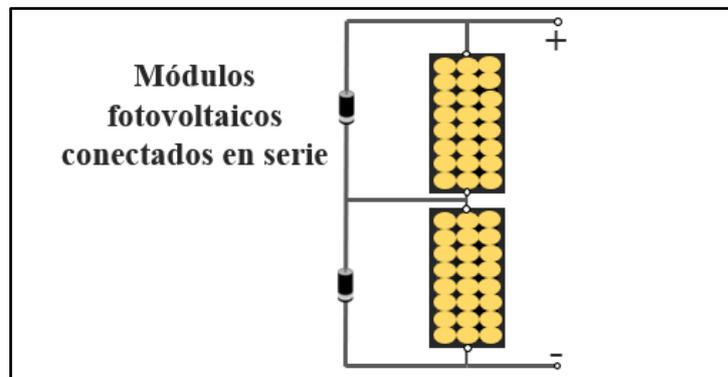


Nota: Elaboración Propia.

4.3.2.1.1 Tipos de conexiones de módulos fotovoltaicos.

Módulos con celdas fotovoltaicas conectados en serie: Las celdas fotovoltaicas no se las suele utilizar individualmente debido a que una sola celda genera un voltaje bajo, por tal razón se conectan varias celdas en serie para obtener una tensión elevada del generador, esta conexión se puede visualizar en la **Figura 9** (Ceriz, 2010).

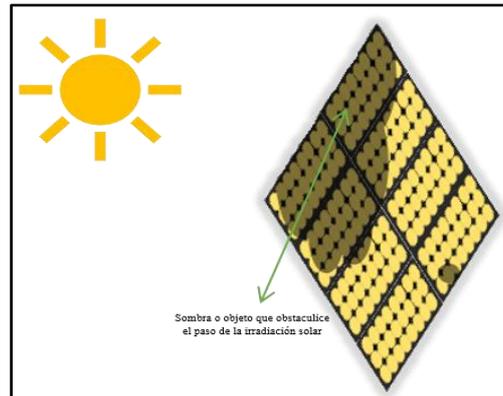
Figura 9.
Módulos fotovoltaicos conectados en serie.



Nota: Elaboración Propia.

Módulos con irradiación solar no homogénea: En este caso, las células fotovoltaicas sufren de algún tipo de obstrucción, ya sea por sombra o algún objeto que obstaculice el paso de la irradiación solar hacia la celda, produciendo una pérdida de energía, como se muestra en la **Figura 10** (Ceriz, 2010).

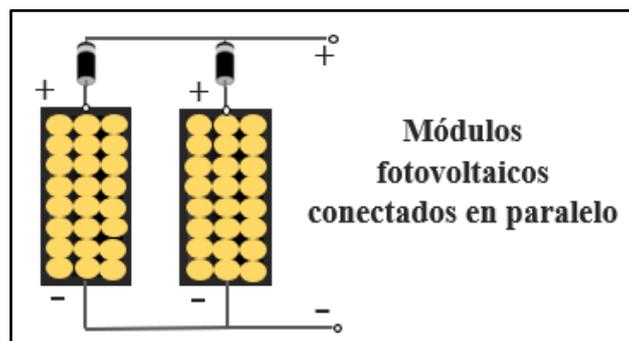
Figura 10.
Módulos con irradiación solar no homogénea.



Nota: En este caso los módulos serán puenteados pasando la corriente a través del diodo de paso y luego hacia los otros módulos. Elaboración Propia.

Módulos con celdas fotovoltaicas conectados en paralelo: Las celdas conectadas en paralelo, son utilizadas para elevar la intensidad del generador debido a que son susceptibles a las sombras que se originan en el módulo. Esto se puede visualizar en la **Figura 11**.

Figura 11.
Módulos fotovoltaicos conectados en paralelo.



Nota: Los módulos están conectados en paralelo utilizando diodos de paso, para ser capaz de soportar la corriente de todo el campo. Elaboración Propia.

4.3.2.1.2 Funcionamiento de las celdas fotovoltaicas.

Al tener contacto con el sol, las células o celdas provocan un flujo de electrones, los cuales producen una diferencia de potencial eléctrico, como se muestra en la **Figura 12**. Cada material trabaja de forma diferente, como en el caso del cobre y otros metales, los electrones se desplazan libremente, permitiendo establecer circuitos por donde fluye la corriente eléctrica, a diferencia de otros materiales la corriente eléctrica no fluye, puesto que los electrones no se pueden desplazar (Marín, 1983).

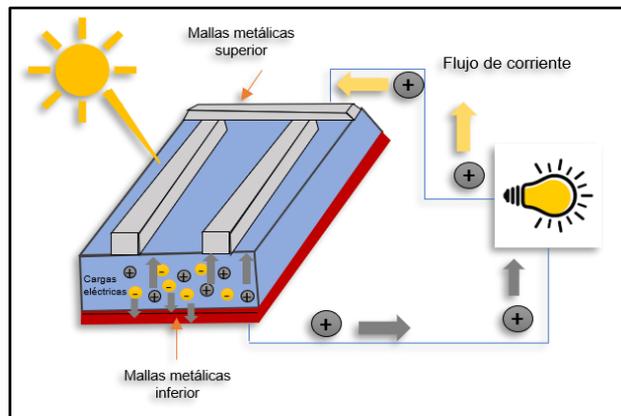
Por otra parte, las celdas fotovoltaicas generan electricidad si cumplen tres condiciones:

- Si se pueden modificar el número de cargas tanto positivas como negativas.

- Si se crean cargas que puedan generar un corriente.
- Establecer la diferencia de potencial eléctrico.

Figura 12.

Oblea de silicio.



Nota: Cuando la luz del Sol se refleja sobre la oblea de silicio, se generan cargas eléctricas positivas y negativas en diferentes direcciones, donde se genera un circuito cerrado creando corriente eléctrica que salen de las células. Elaboración Propia.

4.3.2.2 Tipos de módulos fotovoltaicos.

Los módulos fotovoltaicos están compuestos por varios materiales, los cuales se explican a continuación:

4.3.2.2.1 Módulos Monocristalinos.

Los módulos monocristalinos están fabricados de silicio de alta pureza, el proceso de fabricación del único cristal de silicio o célula se extrae de la arena, y pasa por varias etapas debido a que en la extracción del silicio contiene impurezas, este tipo de material tiene mayor eficiencia en sus celdas, ocupa un área menor, siendo actualmente la más comercial para instalar en sitios donde la cantidad de energía solar es baja (Villao Miranda & Consuegra Mite, 2021); (Jacho Loachamin, 2014). A continuación, se presenta algunas características relevantes.

- Elaborados a partir de células de silicio monocristalino
- El color de su celda es negro.
- Los bordes de las láminas son redondas.
- El costo de fabricación es alto.

4.3.2.2.2 Módulos Policristalinos.

Los módulos policristalinos no están cristalizados completamente, las moléculas de silicio están construidos de un bloque de silicio con múltiples cristales, son obtenidas de un proceso moldeado de silicio, son rebanadas en menor espesor que las monocristalinas, este tipo

de células son una forma de abaratar precios en su fabricación. Este tipo de módulos son menos eficientes y su rendimiento es bajo (Villao Miranda & Consuegra Mite, 2021).

4.3.2.2.3 Módulos Amorfos.

Los módulos amorfos están conformados por una película de silicio de forma de vapor, depositada en la superficie de una lámina de acero, este material no tiene propiedades semiconductoras, cuenta con una eficiencia del 10 %. Este panel ha sido creado utilizando una tecnología innovadora. Un ejemplo de cómo se aplican estos módulos amorfos se evidencia en el caso de las calculadoras solares. (Jacho Loachamin, 2014).

Al contrario, este tipo de módulos requiere como mínimo el doble de espacio que los paneles policristalinos y monocristalinos para poder obtener la misma potencia en vatios (Jacho Loachamin, 2014).

4.3.2.2.4 Características de los módulos fotovoltaicos.

Características eléctricas de los módulos solares fotovoltaicos:

- Potencia pico: Es la potencia que suministra el módulo en condiciones normalizadas.
- Radiación solar: 1.000 W/m².
- Temperatura: 25 °C.
- Corriente nominal: Corriente máxima suministrada por el módulo.
- Voltaje nominal: Voltaje máximo suministrado por el módulo (Villao Miranda & Consuegra Mite, 2021).

4.3.2.2.5 Eficiencia de un módulo fotovoltaico.

La eficiencia de los módulos fotovoltaicos está expresada en porcentaje, y varía dependiendo al material de fabricación y las condiciones externas, el promedio general de eficiencia está entre un 16 % y un 14 %, para módulos monocristalinos y policristalinos. La eficiencia se calcula considerando la proporción entre la potencia generada por el módulo y la potencia de la radiación solar que impacta en su superficie compuesta por células solares. (Reyes Guerrero, 2018).

4.3.2.3 Batería de acumulación.

Los paneles fotovoltaicos generan electricidad en corriente continua, y se almacenan directamente en baterías. Las baterías son acumuladores capaces de almacenar energía en forma

química y transformarla en energía eléctrica, por lo general las baterías están compuestas de un dispositivo electroquímico (Valdiviezo Salas, 2014).

De este modo, las baterías son utilizadas para aplicaciones fotovoltaicas, como un acumulador de energía eléctrica. La batería está conformada por dos placas una positiva y otra negativa, estas placas son conductores metálicos con diferente polarización permitiendo así el flujo de los electrones, además consta de celdas y de una trampa de sedimentación.

Por consiguiente, los parámetros que definen el comportamiento de una batería son:

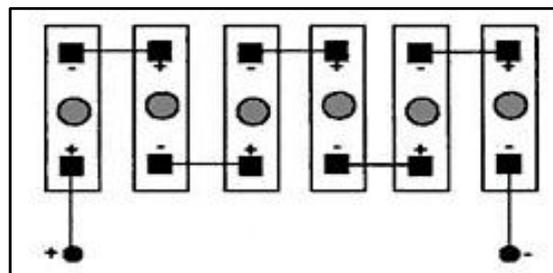
- La capacidad de descarga que posee, teniendo en cuenta que es el producto de intensidad de descarga por hora.
- La profundidad de descarga es la capacidad total que tiene una batería durante un ciclo de carga/descarga, en los sistemas fotovoltaicos es muy común utilizar baterías de descarga profunda, que está entre un 75 % y un 80 %.
- Vida útil en ciclos, está relacionado con la cantidad de cargas y descargas que una batería puede tener, esto depende de la dimensión de las placas, concentración del electrolito y profundidad de descarga.

En resumen, las baterías algunas veces pueden conectarse dependiendo de las necesidades de consumo, obteniendo así una conexión en serie, paralelo y mixta de manera que pueda alcanzar la capacidad de tensión requerida (M. Abella, 2015). Por ejemplo;

Baterías en serie: Se conectará cada terminal positivo con el terminal negativo del siguiente acumulador, de manera que se obtiene un incremento en la tensión, esto se puede visualizar en la **Figura 13**.

Figura 13.

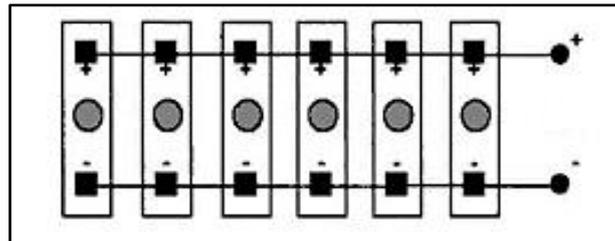
Conexión de Baterías en Serie.



Nota: Imagen tomada de Salto Uzhca, (2018), pp. 13–14.

Acumuladores en paralelo: Como se muestra en la **Figura 14**, los terminales positivos deben conectarse entre sí separados de los negativos, obteniendo así el aumento de la capacidad de tensión.

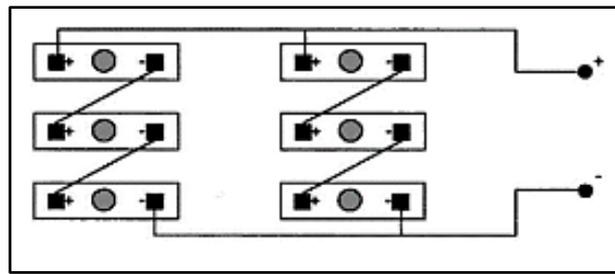
Figura 14.
Conexión de Baterías en Paralelo.



Nota: Imagen tomada de Salto Uzhca, (2018), pp. 13–14.

Baterías mixta: Se asocian varios acumuladores en serie como en paralelo, para obtener un incremento de capacidad de tensión, este tipo de conexión se la puede visualizar en la **Figura 15.**

Figura 15.
Conexión de Baterías Mixta.



Nota: Imagen tomada de Salto Uzhca, (2018), pp. 13–14.

4.3.2.4 Regulador de carga.

El regulador de carga está estrechamente relacionado con los módulos fotovoltaicos y la batería, su función principal es de controlar las sobrecargas y descargas, que generan los sistemas fotovoltaicos, con el fin de proteger a la batería y generar mayor vida útil (Zeman, 2012). Existen dos tipos de reguladores de carga, el PWM (Controlador por modulación de ancho de onda) y el MPPT (Rastreador del punto de máxima potencia) (Salto Uzhca, 2018).

Por ejemplo, los PWM son usados en sistemas fotovoltaicos, cuentan con sensores de temperatura y nivel de carga, permitiendo controlar la energía que provee a dispositivos de corriente continua, el valor nominal de voltaje debe ser igual al de la batería.

Por otra parte, el regulador MPPT se encarga de verificar la potencia generada del arreglo, para entregar al banco de baterías, este controlador opera para voltajes superiores de los sistemas fotovoltaicos, a su vez compara los voltajes inferiores de las baterías.

4.3.2.5 Inversor.

Un inversor es el componente más importante de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, este genera una potencia continua a partir de la radiación solar captada, los sistemas

fotovoltaicos utilizan al inversor para poder suministrar la potencia generada a una red comercial. La tarea fundamental del inversor consiste en transformar la corriente continua en corriente alterna. (López Gutiérrez, 2017).

Además, un inversor está compuesto de un control principal donde se encuentran todos los elementos de control, una tapa de potencia donde se filtran las ondas de corriente CD a CA, un control de red el cual ayuda a sincronizar el sistema y ajusta la tensión y fase, el seguidor del punto de máxima potencia (MPPT) el cual ayuda a acoplar los valores de potencia variable a la entrada del inversor obteniendo así una máxima potencia, la monitorización de datos que son utilizados en microprocesadores para el seguimiento de varios parámetros que pueden ocasionar alguna falla .

Por lo tanto, los parámetros de un inversor son: Tensión nominal (V), potencia nominal (VA), potencia activa (W), capacidad de sobrecarga, factor de potencia, eficiencia o rendimiento, autoconsumo, armónicos, distorsión armónica, rizado de corriente.

4.3.2.5.1 Características de los Inversores Fotovoltaicos

Existen diferentes tipos de inversores que dependen del potencial nominal, este potencial puede variar entre 5 kW o menor, para una conexión a la red monofásica, y para una conexión trifásica se deberá exceder de los 5 kW con un desequilibrio (Cornejo Lalupú, 2013).

Por lo tanto, una conexión trifásica se realiza con una conexión en paralelo de tres inversores monofásicos. Existen dos grupos de inversores:

- Inversores conmutados por la red: este tipo de inversores es utilizado en automatización y en sistemas fotovoltaicos, trabajan con grandes potencias y su construcción es mediante un puente de tiristores, así mismo tiene una gran desventaja produciendo un alto sistema de distorsión.
- Inversores auto conmutados: este inversor genera una corriente en fase con la tensión de la red, ayudando con la compensación reactiva de la potencia, además se regula la tensión de salida. Está conformada por varios semiconductores como mosfet, transistores, tiristores desconectables.

4.3.2.6 Contador de intercambio de energía.

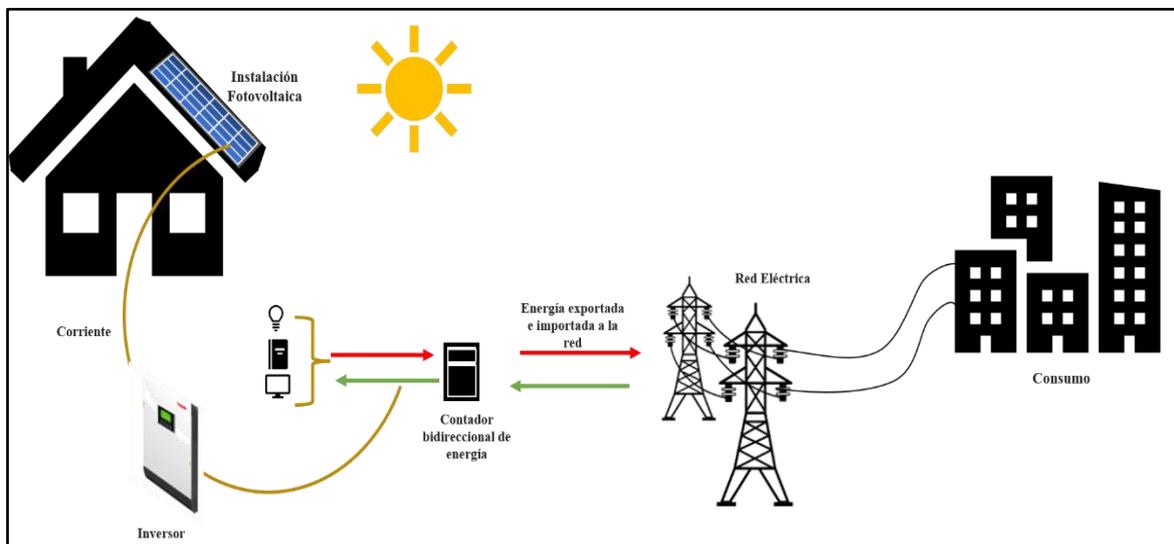
El medidor de intercambio se aplica en el ámbito de sistemas de generación fotovoltaica que están conectados a la red eléctrica. Este dispositivo está compuesto por dos contadores situados entre el inversor y la red de suministro eléctrico. Uno de estos se utiliza para calcular la cantidad de energía que se vierte a la red pública, mientras que el otro registra el consumo

neto de electricidad del inversor en momentos en que no se está generando energía solar. Este tipo de medidor sustituye al medidor tradicional empleado para registrar el consumo eléctrico que existía antes de implementar la conexión con sistemas fotovoltaicos (Sánchez, 2015).

Así mismo, los sistemas de energía solar fotovoltaica producen un excedente de energía en comparación con el consumo típico de un hogar. Esta energía adicional se canaliza hacia la red eléctrica, y este flujo se registra a través del medidor de intercambio. Sin embargo, este proceso cambia de dirección, lo que implica la necesidad de establecer un acuerdo contractual con la compañía eléctrica. En momentos en los que la generación fotovoltaica no está activa, la vivienda obtiene electricidad de la red y el medidor de intercambio opera en sentido convencional (Domínguez, 2014).

Por otra parte, para implementar los medidores de electricidad en entornos industriales y en las infraestructuras eléctricas de las empresas, es imperativo seguir las pautas establecidas en la normativa CEI 870-5-102 (Estándar IEC 870-5-102, 1996). En la **Figura 16**, se puede visualizar la manera en que se conecta un sistema fotovoltaico a la red eléctrica mediante el uso de un medidor bidireccional.

Figura 16.
Sistema fotovoltaico con contador Bidireccional.



Nota: Elaboración Propia.

4.3.2.7 Tablero eléctrico.

El panel eléctrico se usa como ubicación para instalar un conjunto de dispositivos destinados a distribuir la energía, potencia de circuitos, y el control de la instalación, además es usado como medio de protección de sobrecalentamiento de los conductores y equipos eléctricos, previniendo que los equipos se dañen. En el tablero eléctrico la corriente alterna (AC) que sale del inversor llega al tablero, para posteriormente ser utilizada (Brito, 2014).

4.3.3 Clasificación de los sistemas fotovoltaicos por su estructura

Los sistemas solares fotovoltaicos se clasifican en dos categorías:

- SFA: Sistemas Fotovoltaicos Aislados (no conectados a la red).
- SFCR: Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red Eléctrica.

4.3.3.1 Definición de un sistema fotovoltaico aislado.

Hace referencia a sistemas fotovoltaicos que se destacan por incorporar baterías, esto debido a la necesidad de contar con un sistema de almacenamiento que pueda proporcionar energía en momentos del día en los que la luminosidad no es suficiente para cubrir los requerimientos eléctricos. (Vásquez D, 2019).

Un sistema fotovoltaico sin conexión a la red o aislado están conformados por:

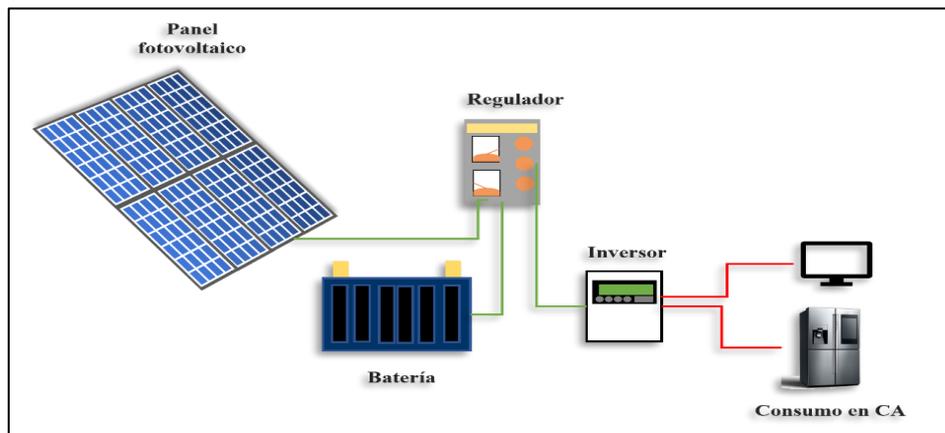
- Módulos fotovoltaicos
- Regulador de carga
- Inversor
- Sistema de acumulación (baterías)

Aunque, los sistemas aislados, no están conectados a la red eléctrica, regularmente están conformados por un sistema de acumulación de energía producida; esta acumulación es fundamental, puesto que el sistema fotovoltaico genera energía solar solo en las horas del día, y la demanda energética máxima del usuario ocurre en las horas de la tarde y noche, solventando así la energía requerida mediante el sistema de acumulación (Martínez, 2010).

De este modo el sistema fotovoltaico aislado almacena la energía generada en baterías de acumulación, la energía almacenada en la batería es alimentada a través del regulador. Básicamente, un regulador se encarga de proteger la batería para que no se sobrecargue por el exceso de energía generado. El excedente de la energía producida por el sistema fotovoltaico es almacenado en un banco de baterías, ya que la potencia requerida por el usuario no suele ser proporcional a la radiación solar. El sistema de acumulación está conformado por varios acumuladores, dimensionados de forma que garanticen la alimentación de energía requerida (Hernández, 2017).

En la siguiente **Figura 17**, se puede evidenciar como está conformado un sistema fotovoltaico aislado.

Figura 17.
Sistema fotovoltaico no conectado a la red.



Nota: La energía producida por los paneles fotovoltaicos se almacena en baterías de acumulación, esta energía pasa a través del regulador el cual se encarga de preservar a la batería de un exceso de carga, y finalmente la energía generada pasa a través del inversor para ser transformada a una corriente alterna. Elaboración Propia.

La configuración de este sistema implica la necesidad de calcular las dimensiones del campo fotovoltaico de manera que pueda suministrar energía a la carga y recargar las baterías durante las horas en que hay luz solar.

4.3.3.2 Definición de un sistema fotovoltaico conectado a la red.

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica (SFCR) han ganado popularidad en los últimos años, especialmente debido a su potencial en áreas urbanas. Estos sistemas, que incorporan un generador fotovoltaico vinculado a la red mediante un inversor, permiten un intercambio eficiente de energía, cuando la producción del sistema fotovoltaico excede el consumo local, se inyecta el excedente en la red eléctrica, y viceversa en momentos de menor generación (Cornejo Lalupú, 2013).

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica, permite a los usuarios generar parte de su propia electricidad y, de esta manera, disminuir su dependencia de la red eléctrica. En esta configuración, se refiere a un sistema de energía solar fotovoltaica en el cual el conjunto de paneles solares opera como una central generadora, proporcionando energía a la red eléctrica. Los sistemas conectados a una red, por lo general, carecen de sistemas de almacenamiento, ya que la energía generada durante las horas de luz solar se transfiere directamente a la red eléctrica (Guerra G, 2021).

4.4 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red Eléctrica

4.4.1 Introducción

Un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica (SFCR) se encarga de producir energía eléctrica en condiciones adecuadas para luego ser inyectada en la red eléctrica.

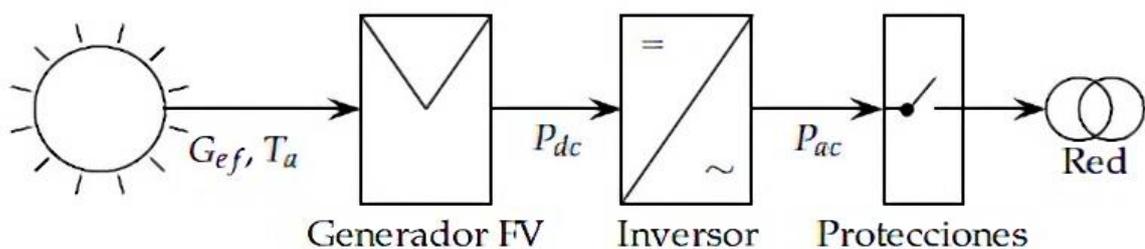
Los componentes principales que forman un sistema fotovoltaico conectado a la red son:

- Módulos FV.
- Inversor para la conexión a red.
- Dispositivo de intercambio con la red eléctrica.
- Contador de energía bidireccional.

En la **Figura 18**, se presenta la estructura de un sistema fotovoltaico conectado a la red.

Figura 18.

Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a la red.



Nota: Un SFCR se compone de un generador fotovoltaico acoplado a un inversor que opera en paralelo con la red eléctrica convencional. Imagen tomada de (Lamigueiro, 2013, p. 61).

4.4.1.1 Definición de un sistema fotovoltaico conectado a red.

Los sistemas conectados a la red son sistemas que están acoplados a la red eléctrica, este tipo de sistema está sujeto a la cantidad de potencia que se inyecte en la red, dependiendo de los módulos que estén conectados (Guevara & Gil, 2016). Además, los módulos fotovoltaicos para un sistema conectado a la red tienen una capacidad promedio entre 100 Wp a 300 Wp nominales. Esta potencia depende de las condiciones de radiación solar y del arreglo de los módulos, en los sistemas conectados a la red, la tensión generada está entre 90 V a 600 V (Loeza et al., 2012).

A diferencia de los sistemas aislados, este sistema prescinde de un banco de baterías, ya que el excedente de energía no utilizado se vierte directamente a la red. aunque actualmente existe una tendencia para incluir baterías como un medio de respaldo. La red eléctrica funciona como un acumulador con capacidad indefinida y el usuario que esté conectado a dicha red

representaría la carga. Los sistemas SFCR son más seguros que un sistema autónomo, puesto que, si ocurre algún inconveniente en el sistema de batería, la alimentación se podrá obtener desde la red (Domínguez, 2014).

Por otra parte, los sistemas interconectados a la red con un banco de baterías no es muy común encontrar, aunque es posible realizar este tipo de sistema, sin embargo, la energía de suministros energéticos que dependía de la red pública se reduciría. El modo de funcionamiento del sistema fotovoltaico con batería, comienza con la carga del banco de baterías almacenando la máxima capacidad de energía, de manera que el excedente de energía generado será entregado a la red eléctrica, obteniendo así un mayor costo beneficio, puesto que la energía almacenada en las baterías podrá ser utilizado en cualquier otra actividad (Guevara & Gil, 2016).

En cambio, en un sistema interconectado a la red sin banco de baterías, constará de un contador bidireccional el cual permite tener el control del consumo y producción de energía eléctrica, el funcionamiento del sistema interconectado se basa en consumir energía eléctrica de la red si el sistema fotovoltaico no suministra suficiente energía al consumidor, mediante el contador se registrará el consumo de energía eléctrica proveído de la red, en cambio, si el sistema fotovoltaico genera más energía, esta será proporcionada a la red pública, de modo que el contador girará en dirección opuesta, obteniendo un descuento al consumo generado (Miranda Escobar, 2016).

No obstante, cabe resaltar que en un sistema fotovoltaico el elemento principal es el inversor, el cual es el encargado de convertir la corriente continua en alterna, dado que la energía que se produce es de forma de corriente continua y debe ser transformada en corriente alterna para acoplarse a la red convencional; así mismo el inversor deberá contar con ciertas características técnicas para que sea adecuado y no provoque alteraciones en la red eléctrica superiores a las admitidas (Martínez, 2010).

Según Vega et al., (2019). La cantidad de energía que se puede generar depende de varios factores, entre los cuales son ambientales (irradiación y temperatura), geográficos (latitud, presencia de sombras, entre otros) y la eficiencia de los elementos eléctricos del sistema, otros factores como la humedad, la temperatura y la velocidad del viento afectan la eficiencia o durabilidad del sistema.

En resumen, en el mecanismo de distribución de la energía fotovoltaica el propietario del sistema recibe una retribución derivada de la energía que se inyecta a la red, el sistema a implementarse no necesariamente tiene que tomar en cuenta un nivel de consumo que debe ser atendido (Lamigueiro, 2013).

4.4.2 Tipos de sistemas fotovoltaicos conectados a la red

4.4.2.1 SFCR instalados sobre el suelo.

La característica principal de los sistemas SFCR, es aprovechar la mayor cantidad de energía solar generada, con el menor uso del suelo a costos más bajos. Esta conexión utiliza los sistemas de seguimiento y sistemas estáticos, los cuales están configurados para obtener mayor absorción de energía solar. En sistemas de seguimiento, se emplea un motor de corriente continua para ajustar el ángulo de inclinación de los paneles solares y lograr una inclinación

perpendicular a los rayos del sol. En contraste, en un sistema estático, los paneles solares se colocan en una posición fija que maximiza la captación de radiación solar. (Buele & Chazi, 2019). Este tipo de sistema se puede visualizar en la **Figura 19**.

Figura 19.

Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red instalado en el suelo con sistema de seguimiento y sistema estático.



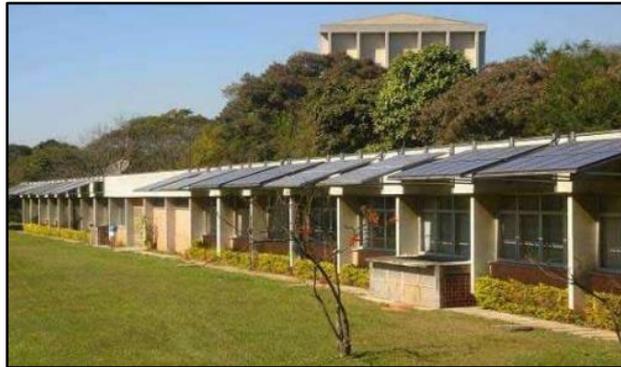
Nota: Imagen tomada de Buele & Chazi (2019).

4.4.2.2 SFCR instalados sobre edificaciones

Los SFCR son instalados en techos planos de edificaciones, como se visualiza en la **Figura 20**, y presenta varios factores que limitan el montaje del sistema con son: la ubicación, la orientación y su inclinación, estos factores afectan el rendimiento del sistema, puesto que el ángulo de inclinación del panel solar depende de la estructura de la edificación, a los cuales tendría que acoplarse. Es importante tener en cuenta el dimensionamiento del sistema fotovoltaico debido a que se define la cantidad de paneles que se utilizarán y a su vez se define la cantidad de carga estructural adicional que puede soportar el edificio (Buele & Chazi, 2019).

Figura 20.

SFCR instalado sobre una edificación.



Nota: Imagen tomada de *Buele & Chazi, (2019).*

La capacidad de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red depende de la potencia deseada, determinada por la cantidad de módulos. Estos módulos se conectan en cadenas y arreglos para formar el sistema. Estos sistemas pueden estar diseñados para su uso en sectores residenciales, comerciales e industriales. Su principal característica es que están conectados a la red eléctrica y pueden intercambiar electricidad con la red, lo que permite a los propietarios generar su propia electricidad y, en algunos casos, vender el exceso a la red.

4.4.3 Despliegue de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red en diferentes sectores y países

El despliegue de sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica se ha convertido en una tendencia global que está transformando la forma en que se genera y consume energía. A medida que la tecnología solar se ha vuelto más asequible y eficiente, cada vez más países están adoptando esta forma de generación de energía limpia y sostenible. Indudablemente, la expansión global de sistemas fotovoltaicos conectados a la red es evidente. A continuación, se presentan algunos países donde estos sistemas están siendo ampliamente aceptados en los ámbitos residencial, comercial e industrial, según el informe de IRENA (Agencia Internacional de Energías Renovables).

Estados Unidos: En los Estados Unidos, la adopción de sistemas fotovoltaicos en el sector residencial ha mostrado un crecimiento constante en los últimos años. Esto ha sido impulsado por incentivos fiscales y programas de compensación de excedentes (net metering) que han fomentado la instalación de paneles solares en viviendas. En el ámbito comercial, empresas y centros comerciales también han abrazado la tecnología fotovoltaica, especialmente en respuesta a los incentivos fiscales y políticas estatales que promueven las energías renovables. Por otro lado, en el ámbito industrial, se ha observado un despliegue significativo

de sistemas fotovoltaicos en grandes instalaciones como almacenes y fábricas. Esto se debe a su interés en reducir costos operativos y minimizar su impacto ambiental al disminuir la huella de carbono (ETRELA, 2019).

Alemania: Por otro lado, en Alemania, se ha destacado como pionero en la adopción de energía solar en el ámbito residencial. El país ha implementado un sólido programa de incentivos y tarifas de alimentación a la red que han promovido la instalación de paneles solares en los tejados de viviendas. Asimismo, en el sector comercial, Alemania ha presenciado un incremento en la adopción de sistemas fotovoltaicos. Las empresas buscan aprovechar tanto los beneficios económicos como los ambientales de la energía solar. En la industria, Alemania ha incorporado sistemas fotovoltaicos en instalaciones de gran envergadura para satisfacer sus necesidades energéticas y cumplir con sus objetivos de sostenibilidad (IRENA, 2021).

China: Se ha observado un notorio aumento en la instalación de sistemas solares en viviendas, con un crecimiento significativo de 121 GW. Del mismo modo, en el sector comercial, se han adoptado sistemas fotovoltaicos con un enfoque en la generación de energía para edificios y empresas. En cuanto al ámbito industrial, China lidera a nivel global el despliegue de sistemas fotovoltaicos en instalaciones industriales, implementándolos en fábricas y parques industriales con el propósito de respaldar la producción y reducir las emisiones de carbono (IRENA, 2021).

Australia: Tiene uno de los niveles más altos de adopción de sistemas solares residenciales en el mundo. Los incentivos gubernamentales y las altas tarifas de alimentación a la red han llevado a una alta penetración de sistemas solares en tejados de hogares. El sector comercial también ha adoptado sistemas conectados a la red en todo el país.

Además, el incremento en la capacidad de generación de energía solar en distintas regiones se puede resumir con las siguientes cifras: En 2020, África tenía una capacidad de 10.789 MW, y para 2021 esta cifra aumentó a 11.387 MW. En el mismo período, Asia experimentó un crecimiento significativo, pasando de 410.144 MW a 485.848 MW. Centroamérica y el Caribe también mostraron un aumento, pasando de 2.791 MW a 3.276 MW. Eurasia experimentó un crecimiento de 8.230 MW a 9.704 MW, mientras que Europa experimentó un incremento de 162.835 MW a 185.877 MW. Oriente Medio aumentó su capacidad de 7.473 MW a 8.411 MW, y Norteamérica pasó de 84.067 MW a 105.878 MW. Oceanía creció de 17.706 MW a 19.442 MW, y Suramérica registró un aumento de 12.753 MW a 19.649 MW durante el mismo período (ETRELA, 2019).

4.4.4 Sistemas fotovoltaicos en el Ecuador

El potencial de energía solar en Ecuador, como se indica en la investigación de Jara Alvear, (2021), abarca aproximadamente el 9,3 % del territorio nacional, lo que equivale a unos 23,819 kilómetros cuadrados. Sin embargo, el área óptima para la implementación de sistemas fotovoltaicos se restringe a unos 805 kilómetros cuadrados, representando el 0,32 % del territorio total. Esto implica un potencial teórico bruto de 35,7 GWp, que se traduciría en una producción anual de alrededor de 61,5 GWh (Jara Alvear, 2021).

Por lo tanto, en el país, se fomenta la adopción de sistemas fotovoltaicos debido a sus múltiples ventajas, especialmente en aquellas regiones donde la utilización de recursos naturales como paneles solares y aerogeneradores es viable. Esta estrategia se alinea con el Plan Maestro de Electrificación para el período 2019-2027, lo que respalda la viabilidad y la sostenibilidad de proyectos de energía renovable en Ecuador (MERNNR, 2020).

Además, para el año 2022, la capacidad nominal total de generación de energía eléctrica en Ecuador alcanzó los 8.864,37 megavatios (MW). De esta capacidad total, aproximadamente el 61,21 % (5.425,72 MW) proviene de centrales que utilizan fuentes de energía renovable, mientras que alrededor del 39,79 % (3.438,65 MW) se origina en centrales que emplean fuentes de energía no renovable (ARCERNNR, 2022a).

En ese mismo año, el país se benefició de diversas fuentes de energía renovable para la producción de electricidad, incluyendo la energía solar fotovoltaica. Esta contribuyó con un total de 27,76 MW, lo que representa un 0,53 % del suministro total de energía generada a través de sistemas fotovoltaicos. Estos sistemas se instalaron en varias provincias, como Cotopaxi, El Oro, Galápagos, Guayas, Imbabura, Loja, Manabí, Morona Santiago, Pastaza y Pichincha (ARCERNNR, 2022a). Algunos de los principales proyectos tenemos:

- La empresa Ecuador Energético S.A ha implementado un proyecto fotovoltaico en Pimán, con una capacidad de generación de 25 MW, situado en la provincia de Imbabura (Almeida, 2015).
- Ecuador Energético S.A. también ha desarrollado un proyecto fotovoltaico en Santa Elena con una capacidad de 25 MW, localizado en la provincia de Santa Elena (Almeida, 2015).
- Generación de Energía solar Solarconnection S.A ha llevado a cabo un proyecto fotovoltaico en Tabacundo, con una capacidad de 20 MW, en la provincia de Pichincha (Almeida, 2015).

- CondorSolar S.A. ha implementado un proyecto fotovoltaico en Tabacundo, con una capacidad de 30 MW, en la provincia de Pichincha.
- Energía Solar S.A. ha puesto en marcha un proyecto fotovoltaico en Los Bajos, con una capacidad de 30 MW, en Montecristi, Manabí (Almeida, 2015).
- Guitarsa S.A. ha desarrollado el proyecto fotovoltaico Vaina, con una capacidad de 20 MW, ubicado en Cerecita, en la provincia del Guayas (Almeida, 2015).

4.4.4.1 Módulos fotovoltaicos utilizados en el Ecuador

Los paneles solares más utilizados en el Ecuador según, proyectos de generación fotovoltaico son de tipo monocristalino y silicio-policristalino, según los estudios realizados, el proyecto fotovoltaico de Galápagos utilizaron 6.006 paneles fotovoltaicos mono-cristalinos que dan una potencia total de 1,52 MW (Deleg & Uguña, 2016), mientras que el proyecto fotovoltaico de la Isla San Cristóbal de Galápagos utilizará paneles tipo “Silicio Poli - Cristalino”, material que permitirá captar de manera óptima la radiación solar, otro proyecto fotovoltaico es de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, donde se instalaron módulos monocristalinos y policristalinos con una potencia instalada de 12,6 kW (Universidad Politécnica Salesiana, 2020).

Además, una gran ventaja de los paneles monocristalinos tiene una mayor tasa de eficiencia que está entre 15 – 20 %, también ofrece una mayor potencia de salida, y requiere una menor cantidad de espacio, en comparación con otros sistemas fotovoltaicos, tiene una larga vida útil y la mayoría de los fabricantes ofrecen una garantía de hasta 25 años, su rendimiento supera al de otros tipos de paneles solares en situaciones de baja luminosidad (Cotacachi C & Sánchez M, 2018).

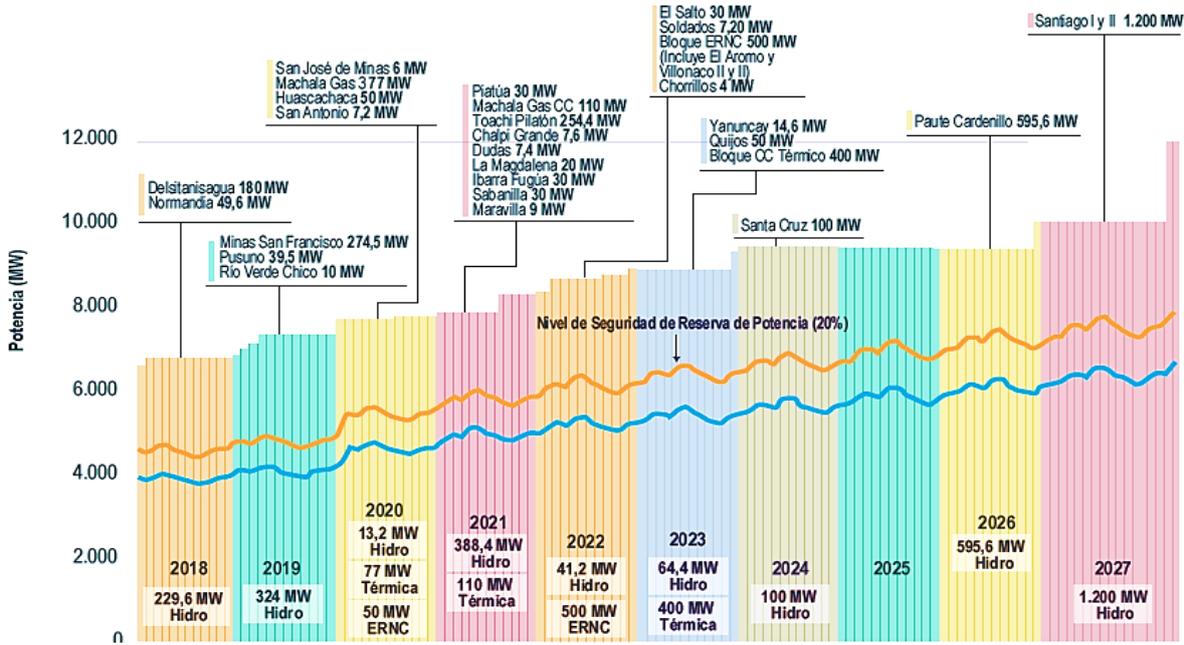
4.4.5 Generación distribuida en el Ecuador

En Ecuador, la generación de electricidad se basa principalmente en grandes plantas de generación, lo que plantea el desafío de que las áreas distantes de estas centrales no reciben un suministro eléctrico de alta calidad y se enfrentan a pérdidas que impactan la eficiencia del sistema. Como alternativa a este enfoque tradicional, ha surgido un modelo llamado Generación Distribuida (GD), la cual se refiere a la producción de electricidad en proximidad o incluso dentro de las instalaciones de los consumidores, posibilitando el suministro de energía a costos más reducidos y con una eficiencia elevada. (Álvarez et al., 2017).

Debido a la abundancia de recursos naturales en Ecuador, la principal fuente de generación de energía es la hidroeléctrica. En la **Figura 21**, se detallan las capacidades de

potencia actualmente generadas y las proyectadas para el futuro por diversas plantas de energía, destacando la incorporación de la Generación Distribuida (GD) en el plan maestro de electrificación para el período 2019-2027 (MERNNR, 2020).

Figura 21.
Infraestructura en Generación para el Plan de Expansión de Generación 2019 -2027.



Nota: Tomado de (MERNNR, 2020).

En la figura anterior, se puede denotar que desde el año 2020, con la implementación de los diferentes proyectos ERNC (Energías Renovables no Convencionales) la producción de energía fue tomando un incremento, contribuyendo así a satisfacer las necesidades de potencia y energía tanto en corto, mediano y largo plazo.

Además, en el Ecuador la energía solar es abundantemente, la utilización de paneles solares para convertir la radiación solar en electricidad es una opción destacada debido a su ubicación en la zona intertropical. Según un estudio realizado por Echegaray et al., (2018), se ha observado un promedio diario de radiación solar de 4,378 kW-h/m² por día. Los niveles más elevados de radiación solar en el país se concentran en la región de los Andes, gracias a su altitud, lo que le permite recibir niveles altos de radiación solar durante todo el año. La región andina sobresale por tener los niveles más altos de radiación solar en el país, atribuible a su elevada altitud, que posibilita la recepción de niveles considerablemente altos de radiación solar a lo largo de todo el año.

La evolución del sector eléctrico en Ecuador ha sido notoria, especialmente desde la iniciación de la propuesta de transformación energética como base de la matriz productiva en

2007. Esto es evidente al observar el significativo aumento en la capacidad de generación de electricidad en el país. Según el Plan Maestro de Electricidad 2019-2027 del ARCONEL, en 2009, la capacidad de generación eléctrica fue de 4.838,70 MW, de los cuales 4.777,08 MW se destinaron al servicio público y 710,62 MW al servicio no público. La proporción de fuentes renovables en ese año fue del 44,8 %, mientras que las fuentes no renovables representaron el 55,2 % del total (Muñoz Vizhñay et al., 201).

Para el año 2018, la capacidad instalada se incrementó notablemente a 8.826,89 MW de potencia nominal, con 8.182,58 MW de potencia efectiva. De este total, 3.555,14 MW correspondieron a energía no renovable y 5.271,74 MW a energía renovable en términos de potencia nominal. En cuanto a la potencia efectiva, 2.950,85 MW provinieron de energía no renovable y 5.231,72 MW de energía renovable. Las fuentes renovables representaron el 59,84 % de la capacidad total, mientras que las fuentes no renovables contribuyeron con el 40,16 % (MERNNR, 2020).

4.4.6 Normativas para la instalación de sistemas fotovoltaicos en el Ecuador

La implementación de sistemas fotovoltaicos en el Ecuador está regida por un conjunto de normativas que buscan regular y promover el uso sostenible de la energía solar. En este contexto, es esencial comprender las normativas existentes para la instalación de sistemas fotovoltaicos, ya que estas no solo establecen los requisitos técnicos y de seguridad, sino que también fomentan el desarrollo de la energía solar como una fuente viable y respetuosa con el medio ambiente.

4.4.6.1 Regulación Nro. ARCONEL 003/18

La Regulación Nro. ARCONEL 003/18, llamada "Microgeneración fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica," fue creada el 22 de octubre del 2018, el cual tiene su enfoque principal en crear las condiciones necesarias para fomentar el desarrollo, implementación y participación en sistemas de microgeneración fotovoltaica (μ SFV), ubicados en techos o edificaciones residenciales y comerciales. Esta regulación busca fomentar la generación de energía solar sostenible y el autoabastecimiento de electricidad por parte de los consumidores finales (ARCONEL, 2018).

Por lo tanto, la regulación 003/18 establece que, para el autoabastecimiento de consumidores, los sistemas fotovoltaicos deben ser de microgeneración fotovoltaica (MSFV) con una capacidad nominal de hasta 100 kW, para las categorías residencial y en general, estos deben estar ubicados en techos, superficies de viviendas o en edificaciones. Además, la

regulación 003/18 es aplica a las empresas distribuidoras y a los usuarios regulados que opten por instalar un sistema de microgeneración fotovoltaica. Este sistema debe operar en sincronismo con la red, con la condición de que la producción se consuma internamente en sus instalaciones y que, en caso de existir, se aporten excedentes a la red de distribución (ARCONEL, 2018).

Dentro del contexto de esta regulación, se identifican y destacan diversas características esenciales que deben ser consideradas con atención por los líderes de proyectos interesados en instalar y operar sistemas fotovoltaicos (SFV). Estas características engloban aspectos técnicos, económicos y medioambientales y son fundamentales para garantizar la viabilidad y eficacia de la implementación de los SFV. Entre las características generales que se contemplan para los proyectos de consumidores que desean instalar y gestionar sistemas fotovoltaicos (SFV), se destacan las siguientes (Maingón, 202):

- El proyecto debe estar enlazado con las redes de distribución eléctrica de bajo o medio voltaje.
- El solicitante debe ser el dueño de la propiedad donde se planea la instalación del sistema μ SFV.
- La finalidad del proyecto μ SFV es disminuir el consumo de electricidad de la red.
- La instalación de un sistema μ SFV requiere contar con la autorización de conexión otorgada por la distribuidora de energía.
- La capacidad nominal no puede exceder los límites estipulados en (ARCERNNR, 2023a)n la Regulación Nro. ARCONEL - 003/18.

4.4.6.2 Regulación Nro. ARCONEL 057/18

La regulación ARCONEL 057/18 es una actualización de la regulación 003/18, donde se estableció reformar el nombre de la regulación a "Generación fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica", establecida en el año 18 de octubre del 2018, con el objetivo de que las condiciones establecidas en la regulación sean aplicables tanto a consumidores residenciales interesados en instalar sistemas fotovoltaicos de hasta 300 kW de capacidad nominal, y para consumidores comerciales o industriales con sistemas de hasta 1.000 kW. Esta modificación se basó con el fin de ampliar el alcance de la regulación para beneficiar a un espectro más amplio de consumidores y promover la adopción de la generación de energía fotovoltaica (ARCERNNR, 2021).

4.4.6.3 Ley Orgánica de Eficiencia Energética 2019

La Ley Orgánica de Eficiencia Energética propuesta por la Asamblea Nacional de Ecuador establecida en el año 2019, tiene como objetivo establecer el marco legal y el funcionamiento del Sistema Nacional de Eficiencia Energética (SNEE). Su enfoque primordial es promover el uso eficiente, racional y sostenible de la energía en todas sus modalidades, con la meta de fortalecer la seguridad energética nacional. Al fomentar la eficiencia energética, se persigue no solo incrementar la productividad energética, sino también potenciar la competitividad de la economía nacional y promover una cultura de sustentabilidad ambiental y eficiencia energética. Esta legislación desempeña un papel clave en la mitigación del cambio climático y en la protección de los derechos de las personas para vivir en un entorno saludable y tomar decisiones informadas. Aprobada por la Asamblea Nacional de Ecuador en marzo de 2019, la ley se encuentra actualmente en plena vigencia (Asamblea Nacional República del Ecuador, 2019).

En este contexto normativo, es crucial resaltar que la legislación no solo establece directrices para la eficiencia energética, sino que también ofrece beneficios tangibles a los usuarios que implementan sistemas de eficiencia energética. Además de estos beneficios, la ley también proporciona ventajas adicionales para los usuarios que instalan sistemas de eficiencia energética (Asamblea Nacional República del Ecuador, 2019):

Reducción de costos: La implementación de medidas de eficiencia energética puede significativamente reducir los costos de energía para los usuarios, generando ahorros económicos a largo plazo.

Mejora de la calidad de vida: La eficiencia energética contribuye a mejorar la calidad de vida al reducir la contaminación del aire y del agua, beneficiando la salud pública y disminuyendo la dependencia de los combustibles fósiles.

Fomento de la innovación: La implementación de medidas de eficiencia energética estimula la innovación y el desarrollo de nuevas tecnologías, con un impacto positivo en la economía y la generación de empleo.

4.4.6.4 Regulación ARCERNNR 001/2021

La Regulación Nro. 001/2021, "Marco normativo de la Generación Distribuida para autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica", creada en el 2021, presenta una actualización con respecto a la Regulación ARCERNNR 003/18. Esta nueva normativa amplía el ámbito del autoconsumo de energía, permitiendo su aplicación a todas las

fuentes renovables de energía con una capacidad máxima de producción de 1 MW. Asimismo, introduce el enfoque de "medición neta," que asegura un equilibrio entre la energía suministrada a la red y la energía excedente. Para los consumidores regulados, la regulación ofrece la opción de inyectar excedentes de energía en la red de distribución, permitiendo su venta o compensación según lo establecido en las regulaciones específicas de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, o la entidad designada para este fin (ARCERNNR, 2021).

En concordancia con el Reglamento de Generación Distribuida, los consumidores regulados, grandes consumidores y auto-generadores que cumplan con los requisitos establecidos pueden implementar sistemas de generación distribuida con fuentes de Energía Renovable No Convencional (ERNC) para satisfacer sus propias necesidades de energía (ARCERNNR, 2022c).

4.4.6.5 Regulación Nro. ARCERNNR-004/23

La regulación 004/23, promulgada en el año 2023, define las pautas para el desarrollo, implementación y participación de consumidores que dispongan de sistemas de microgeneración fotovoltaica con una capacidad nominal instalada de hasta 100 kW. Estos sistemas deben estar ubicados en techos, superficies de viviendas o edificaciones pertenecientes a las categorías residencial y general. Asimismo, la resolución establece la obligación para las empresas, instituciones y organismos que brindan servicios públicos de incorporar sistemas de medición de la satisfacción de los usuarios y consumidores, así como implementar sistemas de atención y reparación (ARCERNNR, 2023a).

Para cumplir con estos objetivos, la regulación subraya la necesidad de implementar regulaciones específicas que incluyan tarifas de incentivo y condiciones preferentes. Este proceso se llevará a cabo en concordancia con lo establecido en el artículo 26 de la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, con el propósito de estimular la puesta en marcha de proyectos de generación y autogeneración. Dichos proyectos son esenciales para cubrir la demanda proyectada de energía eléctrica, según lo especificado en el Plan Maestro Eléctrico. En resumen, la regulación busca fomentar la adopción de sistemas de microgeneración fotovoltaica, mejorar la satisfacción de los usuarios y promover proyectos que contribuyan a satisfacer la creciente demanda de energía eléctrica de manera sostenible (ARCERNNR, 2023a).

4.4.6.6 Regulación Nro. ARCERNNR-008/23

La regulación establece que la Potencia Nominal de un Sistema de Generación Distribuida con Autoconsumo (SGDA) está sujeta a restricciones específicas. En el escenario en el que no se lleva a cabo la inyección de energía eléctrica a la red de distribución, la Potencia Nominal del SGDA se limita tanto por la demanda máxima de potencia registrada por el Consumidor Regulado asociado al sistema como por la capacidad de conexión autorizada por la Distribuidora. Bajo estas circunstancias, el Consumidor Regulado debe implementar los dispositivos de protección y control necesarios para evitar la inyección de energía eléctrica a la red de distribución. Por otro lado, cuando se realiza la inyección de energía eléctrica a la red, la Potencia Nominal del SGDA está restringida a 2 MW, estableciendo parámetros claros para la capacidad de generación en este contexto. Estas limitaciones son cruciales para garantizar el funcionamiento eficiente y seguro de los SGDA, en conformidad con las normativas y condiciones de la red de distribución eléctrica (ARCERNNR, 2023b).

La determinación de la Potencia Nominal de un Sistema de Generación Distribuida con Autoconsumo (SGDA) recae exclusivamente en la responsabilidad de los Consumidores Regulados asociados al mismo. Este proceso implica la realización de un estudio técnico con el objetivo de satisfacer la demanda anual de energía eléctrica de uno o varios Consumidores Regulados, garantizando que la producción anual del SGDA no exceda la demanda de energía anual de dichos consumidores. El dimensionamiento del SGDA debe considerar varios aspectos, entre ellos (ARCERNNR, 2023b):

- a) Para Consumidores Regulados existentes, se permite utilizar los consumos de energía de los últimos 24 meses, la proyección de la demanda de energía a lo largo de la vida útil del SGDA, y, en caso necesario, los requisitos de almacenamiento de energía.
- b) En el caso de nuevos Consumidores Regulados sin historial de consumo de energía, se puede emplear la proyección de la demanda de energía a lo largo de la vida útil del SGDA, y, de ser necesario, los requisitos de almacenamiento de energía. Estas consideraciones aseguran que el dimensionamiento del SGDA sea preciso y se adapte a las necesidades específicas de cada Consumidor Regulado, ya sea existente o nuevo en el sistema.

4.5 Estimación del consumo y costos de energía eléctrica en el Ecuador

4.5.1 Introducción

En este apartado, se lleva a cabo un análisis exhaustivo del consumo eléctrico del cliente, abarcando tanto el consumo diario, mensual y anual. Además, este estudio es de gran relevancia, ya que nos permite determinar con precisión el consumo promedio de kilovatios-hora (kWh) tanto en un período bimestral como anual. Estos datos son fundamentales para realizar los cálculos posteriores relativos a la cantidad de paneles solares y el inversor necesarios en el sistema fotovoltaico.

4.5.1.1 Consumo medio diario.

Con el objetivo de calcular el consumo eléctrico diario de una vivienda, se procede a discriminar cada uno de los consumos de acuerdo al promedio de horas de uso de los dispositivos que conformaran la carga eléctrica. Esto se detalla en la **Tabla 3**.

Tabla 3.

Listado de los equipos electrónicos utilizados para el dimensionamiento de SFV.

Lista de electrodomésticos	Consumo kW/h
Cocina	1,2
Refrigeradora	0,032
Microondas	0,9
Licuadora	0,55
Horno	2,7
Lavadora	0,55
Computadora	0,2
TV 32 pulgadas	0,115
TV 42 pulgadas	0,175
TV 55 pulgadas	0,2
TV 32 pulgadas	0,009
Foco LED	0,004

Nota: En la tabla se observa el listado de los equipos que fueron subidos a la base de datos de la herramienta web. Elaboración Propia.

En la **Tabla 3**, se presenta el consumo que contiene cada electrodoméstico, el cálculo del consumo neto del sistema se realiza sumando los productos de la potencia de cada dispositivo consumidor por su respectivo tiempo medio diario de funcionamiento, por lo anterior el consumo diario se calcula con la siguiente **Ecuación 12** (Oña & Suquillo, 2020):

$$\text{Total}_{\text{horas de consumo}} = \text{Cantidad}_{\text{electrodomésticos}} \times \text{Potencia} \times \text{Horas}_{\text{usc}} \quad (11)$$

$$\text{Consumo}_{\text{diario}} = \text{Total}_{\text{horas de consumo}} \quad (12)$$

4.5.1.2 Consumo medio diario mensual

El término "consumo medio mensual" hace referencia a la cantidad promedio de un recurso o servicio utilizado durante un período de un mes específico. En el ámbito de la energía eléctrica, se utiliza para describir la cantidad promedio de electricidad consumida por un hogar, empresa u otro tipo de usuario en un mes determinado (Inguil & Espinoza, 2014).

El cálculo del consumo medio mensual de energía eléctrica implica típicamente la agregación de los datos de consumo de electricidad registrados durante un mes en particular. Este indicador es de gran relevancia para la planificación y la administración de recursos, especialmente en el contexto de la energía eléctrica y otros servicios públicos. El cálculo del consumo medio mensual se calcula con la **Ecuación 13** (Oña & Suquillo, 2020).

$$\text{Consumo}_{\text{medio mensual}} = \text{Consumo}_{\text{diario}}(\text{KWh/día}) \times 30 \text{ días} \quad (13)$$

4.5.1.3 Consumo total anual

El consumo total anual hace referencia a la cantidad total de un recurso o servicio utilizado durante el período de un año en específico. Este dato se lo puede calcular mediante la **Ecuación 14** (Inguil & Espinoza, 2014).

$$\text{Consumo}_{\text{total anual}} = \text{Consumo}_{\text{medio mensual}} \left(\frac{\text{KWh}}{\text{día}} \right) \times 12 \quad (14)$$

4.5.2 Costo del servicio público de energía eléctrica

El costo del servicio público de energía eléctrica, son los gastos asociados al suministro de electricidad en hogares, empresas y otras locaciones, donde influyen diferentes factores, los cuales pueden diferir dependiendo de la ubicación geográfica y la compañía eléctrica a cargo.

Los costos de facturación en las diferentes categorías son determinados por ARCERNNR, la Agencia de Regulación y Control de Electricidad. Esto lo realizó siguiendo principios fundamentales que incluyen la solidaridad, la equidad, la cobertura de costos y la eficiencia energética. La asignación de estos costos se detalla en los pliegos tarifarios anuales, en los cuales se establecen parámetros relacionados con las diferentes etapas del suministro eléctrico, desde la generación hasta la transmisión, distribución y comercialización de energía (ARCERNNR, 2022c).

Además, se subraya que la elaboración de estos costos se lleva a cabo de acuerdo con los principios mencionados y se especifica en los pliegos tarifarios anuales. Esto garantiza un enfoque equitativo y eficiente en la facturación de electricidad en la categoría residencial.

4.5.2.1 Costos de facturación de energía eléctrica en la categoría Residencial

Los costos relacionados con el suministro de energía eléctrica en la categoría residencial están específicamente dirigidos al uso doméstico en hogares. Esta categoría abarca a los consumidores de bajos ingresos, que pueden llevar a cabo actividades comerciales o artesanales de pequeña escala en sus viviendas. Los parámetros que se toman en consideración para el costo de la energía eléctrica en el ámbito residencial, es el valor del costo de energía dependiendo el rango del consumo en kWh, adicional se le agrega un cargo por comercialización, independiente del consumo de energía (ARCERNNR, 2022b).

4.5.2.2 Costos de facturación de energía eléctrica en la categoría Comercial

El costo de la tarifa comercial se aplica principalmente a empresas que se dedican a actividades comerciales y que dependen de la electricidad en su funcionamiento diario, el aporte que las empresas o negocios tienen que desembolsar por la electricidad que consumen varía en función de la estructura de la tarifa vigente dependiendo el área de ubicación. La tarifa puede cambiar según la cantidad de electricidad que se utiliza y otros factores relevantes como el valor de comercialización que se agrega al final del costo de facturación. Los valores a pagar por la energía son tomados del pliego tarifario 2022, donde establece que para la tarifa Comercial el valor a pagar por precio de energía es de 0,095 USD/kWh y de 1,414 USD por el valor de comercialización, estos valores son tomados para una conexión de medio voltaje (ARCERNNR, 2022b).

4.5.2.3 Costos de facturación de energía eléctrica en la categoría Industrial

Los costos de la tarifa eléctrica en el contexto industrial son específicamente para empresas que utilizan electricidad en la producción o transformación de productos a través de procesos industriales. Los valores tomados están relacionados con la tarifa aplicada a conexiones de medio voltaje, lo que significa que las empresas industriales deberán cancelar el servicio de energía eléctrica, dependiendo del valor estipulado en el pliego tarifario. Los valores a pagar por el precio de energía eléctrica son de 0,083 USD/kWh, y el valor de comercialización es de 1,414 USD (ARCERNNR, 2022b).

4.6 Cálculo para el dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos

4.6.1 Introducción

El proceso de dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico implica la realización de cálculos meticolosos con el fin de determinar la cantidad de energía a suministrar a lo largo de un año y, al mismo tiempo, establecer el tamaño adecuado de los módulos solares necesarios para generar la potencia energética requerida. En el caso de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica, se lleva a cabo un minucioso análisis de los componentes del sistema y su interconexión, con el objetivo de lograr la generación máxima de electricidad posible.

El dimensionamiento de estos sistemas se basa en modelos matemáticos desarrollados a través de estudios teóricos exhaustivos. Para aquellos sistemas fotovoltaicos conectados a la red con respaldo, se implementa el concepto de "net metering", que implica la medición tanto del consumo como de la generación de energía eléctrica. Esto se refleja en el recibo de luz mensual, permitiendo un equilibrio entre la energía consumida y generada (M. A. Abella et al., 2001).

4.6.2 Cálculo de la eficiencia global de la instalación

4.6.2.1 Cálculo del ángulo de inclinación.

El ángulo de inclinación solar debe ser modificado para optimizar la cantidad de energía solar capturada por el panel a lo largo del año. Para poder identificar el ángulo óptimo de inclinación del panel depende de la ubicación geográfica específica del lugar, y este valor se puede calcular utilizando la **Ecuación 7**, obteniendo así los siguientes ángulos de inclinación, detallados en la **Tabla 4**:

Tabla 4.
Cálculo del ángulo de inclinación óptimo.

Ángulo de inclinación óptimo			
Provincias	β	Provincias	β
Esmeraldas	4,356	Zamora	6,575
Manabí	4,218	Carchi	4,218
Santa Elena	5,236	Imbabura	4,022
Sto. Domingo de los Tsáchilas	3,930	Pichincha	3,873
Los Ríos	4,597	Cotopaxi	4,275
Guayas	5,011	Tungurahua	4,551
El Oro	6,103	Bolívar	4,816
Sucumbíos	3,735	Chimborazo	5,068
Napo	4,160	Cañar	5,448
Orellana	4,252	Azuay	5,758

Pastaza	4,873	Loja	6,483
Morona Santiago	5,391	Galápagos	3,781

Nota: Elaboración Propia

Según la información presentada en la **Tabla 4**, se observa que los ángulos de inclinación de los paneles solares en diversas provincias del Ecuador varían desde 3,781 hasta 6,575 grados. Sin embargo, es importante destacar que, al instalar paneles solares, se requiere una inclinación mínima que permita un adecuado drenaje del agua en caso de lluvia o evitar la acumulación excesiva de suciedad en los paneles. Por lo tanto, se considera que el rango de inclinación óptima debería oscilar entre 10 y 15 grados. De acuerdo con este criterio, se ha tomado el valor de 15 grados como el ángulo de inclinación estándar para todas las provincias del Ecuador, como se sugiere en el estudio realizado por (Delgado & Orellana, 2015).

4.6.2.2 Cálculo de la declinación solar.

En el contexto del cálculo de la declinación solar en Ecuador, se opta por seleccionar un día específico para este propósito. En este caso, se eligió el día 183, que corresponde al 2 de julio de 2022. Esta elección del día permite calcular el ángulo de declinación solar mediante el uso de la **Ecuación 8**.

$$\delta = 23,45^\circ \text{ sen} \left[360 \left(\frac{284 + n}{365} \right) \right]$$

$$\delta = 23,45^\circ \text{ sen} \left[360 \left(\frac{284 + 183}{365} \right) \right]$$

$$\delta = 21,95$$

4.6.2.3 Cálculo ángulo cenital.

El cálculo del ángulo cenit se lo realiza con la ecuación 9, obteniendo así los siguientes valores, especificados en la **Tabla 5**.

Tabla 5.

Valores calculados del ángulo cenit de las 24 provincias del Ecuador.

Ángulo Cenit			
Provincias	cos θ_z	Provincias	cos θ_z
Esmeraldas	4,356	Zamora	6,575
Manabí	4,218	Carchi	4,218
Santa Elena	5,236	Imbabura	4,022
Sto. Domingo de los Tsáchilas	3,930	Pichincha	3,873
Los Ríos	4,597	Cotopaxi	4,275
Guayas	5,011	Tungurahua	4,551
El Oro	6,103	Bolívar	4,816
Sucumbíos	3,735	Chimborazo	5,068

Napo	4,160	Cañar	5,448
Orellana	4,252	Azuay	5,758
Pastaza	4,873	Loja	6,483
Morona Santiago	5,391	Galápagos	3,781

Nota: Elaboración Propia

4.6.2.4 Cálculo de la estimación de producción de energía.

Para realizar el cálculo de la estimación de producción de energía por el generador fotovoltaico, se realiza mediante la siguiente **Ecuación 15**, con la cual se puede estimar la energía producida en base diaria, mensual o anual (Lamigueiro, 2013).

$$E_{FV} = P_{NOM,G} \times Y_R \times (1 - FS) \times PR \quad (15)$$

Siendo:

E_{FV} : Energía nominal producida anualmente (kWh)

$P_{NOM,G}$: Potencia nominal del generador fotovoltaico (1 kW/m²)

Y_R : Radiación promedio anual incidente en el plano del generador

FS: Factor de sombras (kWh/m²)

PR: Performan rittio que es de 0,7 o 0,8

Por otra parte, el valor de la potencia nominal, se lo calcula mediante la potencia nominal del módulo fotovoltaico por el número de módulos que se ocupan para la instalación. El valor tomado para las ecuaciones es de 1 kWh/m², el cual es un valor que se toma de un módulo en condiciones adecuadas (Lamigueiro, 2013).

4.6.3 Cálculo de los equipos requeridos

4.6.3.1 Cálculo de número paneles fotovoltaicos.

Para poder dimensionar la cantidad adecuada de módulos fotovoltaicos (FV), es esencial primero determinar el voltaje del sistema. Este cálculo se basará en el consumo diario mensual, como se define en la **Ecuación 14**. Además, será importante considerar la energía generada potencialmente por el panel solar en una provincia específica del Ecuador, tal como se establece en la **Ecuación 15**.

Por lo tanto, para determinar la cantidad necesaria de módulos fotovoltaicos se realiza mediante la relación del consumo medio diario mensual y la energía producida por un módulo fotovoltaico, como se muestra en la **Ecuación 16** (Oña & Suquillo, 2020).

$$N = \frac{\text{Consumo medio diario mensual}/30}{E_{FV}(\text{Energía nominal producida anualmente})/365} \quad (16)$$

4.6.3.2 Cálculo de número inversores.

Para el dimensionamiento del inversor hay que tener en cuenta la demanda de la potencia de carga A.C, de modo que hay que elegir una potencia nominal de un 20 % superior a la demanda de carga. Se considera la suma de la potencia de los equipos que van a funcionar simultáneamente. Este dimensionamiento se lo puede realizar mediante la **Ecuación 17** (Inguil & Espinoza, 2014).

$$P_{inv} \approx 1.2 \times P_{AC} \quad (17)$$

Por otra parte, se debe evitar el sobredimensionamiento del inversor para que trabaje en óptimas condiciones.

4.6.4 Parámetros para medir la rentabilidad de un sistema fotovoltaico.

4.6.4.1 Análisis económico.

El propósito de este estudio se centra en la evaluación del desembolso necesario para la implementación de un sistema fotovoltaico, así como en la determinación de la capacidad de contribuir a la red eléctrica de la empresa. Adicionalmente, se busca establecer el período estimado de recuperación de la inversión en relación con los gastos asociados a la instalación (Ouedraogo et al., 2015).

Por esta razón, se sugiere la adopción del periodo de retorno de la inversión (Payback Period), la cual se emplea en diversos estudios e informes académicos con el propósito de contrastar los gastos asociados a la producción de energía entre distintas tecnologías (Tyagi et al., 2019).

Periodo de retorno de la inversión: El análisis consiste en determinar el periodo desde la inversión inicial en el proyecto fotovoltaico hasta el momento en que los ahorros en el consumo de energía recuperan dicha inversión, esto se lo realiza utilizando la Ecuación 18 (Tyagi et al., 2019). Es crucial incluir un costo estimado de mantenimiento de alrededor de \$3.000, que corresponde al costo promedio de un inversor de red. Este costo debe considerarse ya que la vida útil del inversor es de 15 años, menor que la vida útil total del sistema fotovoltaico, que generalmente varía entre 25 y 30 años

$$\text{Periodo de retorno} = \frac{\text{Costo del sistema fotovoltaico}}{\text{Ahorro total por año}} - 1 + \frac{\text{Costos de inversión}}{\text{Gasto de mantenimiento}} \quad (18)$$

Además, se aplicó el cálculo del Valor actual neto (VAN) y la Tasa interna de retorno (TIR).

El Valor Actual Neto (VAN) se calcula evaluando la rentabilidad del proyecto. Para ello, se determina el valor presente de todos los flujos de efectivo futuros, aplicando una tasa de descuento anual del 8.68%, que es la tasa de interés de referencia vigente según el Banco Central del Ecuador (BCE), esto se lo realiza mediante la **Ecuación 19**.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (19)$$

Siendo:

I_0 : La inversión inicial, que determinará la posibilidad de obtener rendimientos futuros.

F_t : Los flujos de caja futuros, que pueden ser positivos o negativos, en este caso se incluyen los costos de mantenimiento durante la vida útil del sistema.

k : Corresponde a la tasa de descuento esperada en este caso de 8.68%.

Es fundamental recordar que un VAN positivo significa que el proyecto producirá un retorno sobre la inversión inicial.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) busca representar el rendimiento de la inversión realizada según la **Ecuación 20**. Cuanto mayor sea la TIR, más rentable será el proyecto. Se contrasta con la tasa de descuento empleada para determinar la viabilidad del proyecto. Si la TIR supera la tasa de descuento, el proyecto se considera rentable.

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{F_n}{(1+i)^n} = 0 \quad (20)$$

Siendo:

F_n : Flujo de caja en el periodo n.

n : Numero de periodos 25 los cuales representan la vida útil completa del sistema.

i : Valor de la inversión inicial.

Retorno de la inversión (ROI): El factor ROI se vincula directamente con la cantidad de dinero que se puede ahorrar a lo largo de la vida útil del sistema fotovoltaico, esto se lo realiza mediante la **Ecuación 21** (Tyagi et al., 2019).

$$ROI = \frac{\text{Utilidades netas del periodo de vida total del sistema}}{\text{Inversión total}} \quad (21)$$

4.6.4.2 Cálculo del costo de los equipos fotovoltaicos.

El costo de los equipos para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, se lo obtuvo de una cotización realizada a una empresa proveedora que se encuentra ubicada en la ciudad de Quito. Donde se pudo obtener el precio de los equipos, con los cuales se procedió a realizar el cálculo

del costo del sistema fotovoltaico según el número de los equipos necesarios. Este cálculo se lo puede obtener mediante la **Ecuación 24**:

$$\text{Costo de paneles} = \text{Número de paneles} \times 382,47 \quad (22)$$

$$\text{Costo de inversores} = \text{Número de inversores} \times 2.714,89 \quad (23)$$

$$\text{Costo de equipos} = \text{Costo de paneles} + \text{costo de inversores} \quad (24)$$

4.6.4.3 Costos de un sistema fotovoltaico instalado en Ecuador.

Los costos estimados de los sistemas fotovoltaicos se basaron en los datos proporcionados a través de una colaboración de un proveedor local. Esta información reveló que el costo de instalación varía en función del número de paneles solares utilizados. Con este análisis, se determinó que, si el número de paneles se encuentra en el rango de 1 a 3, el valor adicional es del 1,5. En cambio, si la cantidad de paneles supera los 3, el valor agregado se reduce al 1,3. Mediante este análisis se pudo obtener el costo aproximado de instalación del sistema fotovoltaico, el cual se lo puede realizar mediante la siguiente **Ecuación 25**.

$$\text{Costo aproximado de instalación} = \text{Costo de equipos} \times \text{Valor agregado} \quad (25)$$

Para saber el ahorro de CO₂ se aplica la siguiente **Ecuación 26**.

$$\text{Ahorro de } CO_2 = \text{Producción FV} \left(\frac{MWh}{\text{año}} \right) \times 1000 \quad (26)$$

5 Metodología

Se han llevado a cabo numerosos estudios e investigaciones que han explorado artículos científicos, tesis de posgrado y revistas técnicas en diversas regiones del mundo con respecto al campo de la energía fotovoltaica. Este enfoque ha contribuido significativamente a la comprensión de la aplicación de esta tecnología renovable, al evaluar los factores clave para lograr la rentabilidad y obtener ventajas en proyectos relacionados con ella.

Después de un análisis exhaustivo de la información recopilada, se han definido los objetivos de este proyecto. Como resultado, se han escogido diferentes enfoques metodológicos específicos para llevar a cabo la investigación. En primer lugar, se ha optado por utilizar el método de investigación científico para la recolección de datos y seguidamente los métodos: deductivo y analítico. Por otro lado, se ha seleccionado la metodología para la creación de sitios web.

5.1.1 Metodologías Aplicadas

5.1.1.1 Procedimiento de Investigación Científica

Este método se utilizó para la investigación de información bibliográfica relevante y recolección de datos, como los promedios mensuales de radiación de las 24 provincias del Ecuador, las tarifas eléctricas de cada una de las empresas que operan en el Ecuador, valores de potencia de los electrodomésticos y data sheet de los equipos que se utilizaron para el dimensionamiento del proyecto, esta información fue necesaria para determinar y orientar el punto de partida de la investigación, importante para la obtención del marco teórico del proyecto.

Por consiguiente, los datos de radiación se los pudo obtener de la plataforma web Global Solar Atlas, donde a continuación se detalla en la **Tabla 6**.

Tabla 6.

Detalles de los lugares de estudio para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

Provincias	Región	Radiación Global Anual kWh/m ²	Provincias	Región	Radiación Global Anual kWh/m ²
Esmeraldas	Costa	637,29	Zamora	Amazonia	694,23
Manabí	Costa	659,86	Carchi	Sierra	700,40
Santa Elena	Costa	1.160,97	Imbabura	Sierra	893,92
Sto. Domingo de los Tsáchilas	Costa	520,92	Pichincha	Sierra	1.809,52
Los Ríos	Costa	683,28	Cotopaxi	Sierra	1.559,04

Guayas	Costa	898,36	Tungurahua	Sierra	1.143,58
El Oro	Costa	551,58	Bolívar	Sierra	916,76
Sucumbíos	Amazonia	1.016,04	Chimborazo	Sierra	1.289,06
Napo	Amazonia	630,81	Cañar	Sierra	1.120,49
Orellana	Amazonia	1.028,81	Azuay	Sierra	1.114,19
Pastaza	Amazonia	1.039,89	Loja	Sierra	1.387,55
Morona Santiago	Amazonia	677,50	Galápagos	Región Insular	1.396,43

Nota: Elaboración Propia

De igual importancia, los datos de las tarifas eléctricas y las empresas eléctricas que operan en el Ecuador, se las pudo obtener del pliego tarifario del Ecuador del Año 2022, los cuales se los puede contrastar en las **Tablas 6, 7, 8, 9**.

Tabla 7.

Distribución de las empresas eléctricas en el Ecuador.

Distribución de las empresas eléctricas del Ecuador	
Empresas	Provincias
Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP	Esmeraldas Santo Domingo de los Tsáchilas Manabí Guayas Los Ríos Bolívar Santa Elena El Oro Sucumbíos
Empresa Eléctrica Quito	Pichincha
Empresa Eléctrica Regional Centro Sur	Morona Santiago Azuay
Empresa Eléctrica Ambato	Pastaza Tungurahua Napo
Empresa Eléctrica Regional Norte EMELNORTE	Carchi Imbabura
Empresa Eléctrica Regional del Sur	Loja Zamora Chinchipe
Empresa Eléctrica Riobamba	Chimborazo
Empresa Eléctrica Cotopaxi	Cotopaxi
Empresa Eléctrica Azogues	Cañar
Empresa Eléctrica Provincial Galápagos	Galápagos

Nota: Tomado de (ARCERNNR, 2022b)

Tabla 8.*Tarifas eléctricas en el ámbito residencial en el Ecuador.*

Tarifa residencial: Esmeraldas, Santo Domingo de los Tsáchilas, Manabí, Los Ríos, Bolívar, Santa Elena, El Oro, Sucumbíos, Morona Santiago, Azuay, Pastaza, Tungurahua, Napo, Carchi, Imbabura, Loja, Zamora Chinchipe, Chimborazo, Cotopaxi, Cañar, Galápagos, Pichincha.			
	Rango (kW)	Valores (\$)	Comercialización (\$)
1	50	0,091	1,414
51	100	0,093	1,414
101	150	0,095	1,414
151	200	0,097	1,414
201	250	0,099	1,414
251	300	0,101	1,414
301	350	0,103	1,414
351	500	0,105	1,414
501	700	0,1285	1,414
701	1.000	0,1450	1,414
1.001	1.500	0,1709	1,414
1.501	2.500	0,2752	1,414
2.501	3.500	0,4360	1,414
3.501	infinito	0,6812	1,414
Tarifa residencial: Provincia de Pichincha			
	Rango (kW)	Valores (\$)	Comercialización (\$)
1	50	0,076	1,414
51	100	0,081	1,414
101	150	0,083	1,414
151	200	0,097	1,414
201	250	0,099	1,414
251	300	0,101	1,414
301	350	0,103	1,414
351	500	0,105	1,414
501	700	0,1285	1,414
701	1.000	0,145	1,414
1.001	1.500	0,1709	1,414
1.501	2.500	0,2752	1,414
2.501	3.500	0,436	1,414
3.501	infinito	0,6812	1,414
Tarifa residencial: Provincia de Guayas			
	Rango (kW)	Valores (\$)	Comercialización (\$)
1	50	0,078	1,414
51	100	0,081	1,414
101	150	0,083	1,414
151	200	0,097	1,414
201	250	0,099	1,414
251	300	0,101	1,414
301	350	0,103	2,626
351	500	0,105	2,626

501	700	0,1285	4,24
701	1.000	0,1450	4,24
1.001	1.500	0,1709	7,086
1.501	2.500	0,2752	7,086
2.501	3.500	0,4360	7,086
3.501	infinito	0,6812	7,086

Nota: Tomado de (ARCERNNR, 2022b)

Tabla 9.

Tarifas eléctricas en el ámbito comercial en el Ecuador.

Tarifa Comercial: Esmeraldas, Santo Domingo de los Tsáchilas, Manabí, Los Ríos, Bolívar, Santa Elena, El Oro, Sucumbíos, Morona Santiago, Azuay, Pastaza, Tungurahua, Napo, Carchi, Imbabura, Loja, Zamora Chinchipe, Chimborazo, Cotopaxi, Cañar, Galápagos.			
Valor (\$)		Comercialización (\$)	
0,095		1,414	
Tarifa Comercial: Provincia de Guayas			
Valor (\$)		Comercialización (\$)	
0,090		Consumo kWh/mes	Valor
		0 -300	1,414
		301-500	2,626
		501-1.000	4,24
		>1.000	7,086

Nota: Tomado de (ARCERNNR, 2022b)

Tabla 10.

Tarifas eléctricas en el ámbito industrial en el Ecuador.

Tarifa Industrial: Esmeraldas, Santo Domingo de los Tsáchilas, Manabí, Los Ríos, Bolívar, Santa Elena, El Oro, Sucumbíos, Morona Santiago, Azuay, Pastaza, Tungurahua, Napo, Carchi, Imbabura, Loja, Zamora Chinchipe, Chimborazo, Cotopaxi, Cañar, Galápagos, Pichincha.			
Valor (\$)		Comercialización (\$)	
0,083		1,414	
Tarifa Industrial: Provincia de Guayas			
Valor (\$)		Comercialización (\$)	
0,075		Consumo kWh/mes	Valor
		0 -300	1,414
		301-500	2,626
		501-1.000	4,24
		>1.000	7,086
Tarifa Industrial: Provincia de Pichincha			
Valor (\$)		Comercialización (\$)	
0,081		1,414	

Nota: Tomado de (ARCERNNR, 2022b)

De esta manera, se procedió a analizar la información recopilada con el fin de emplearla posteriormente en la elaboración del proyecto.

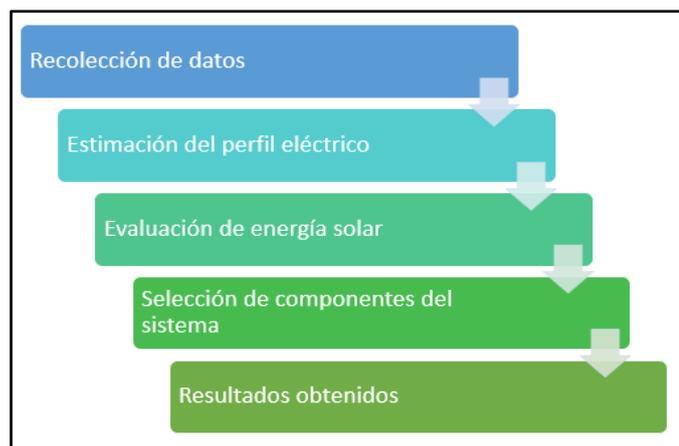
5.1.1.2 Método Lógico Deductivo

La implementación de este método se lo realizó mediante la evaluación técnica de la información bibliográfica recopilada, respaldada por un entendimiento sólido de los aspectos fundamentales de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red. El objetivo principal fue encontrar las fórmulas esenciales para dimensionar sistemas fotovoltaicos y definir los parámetros apropiados para desarrollar la estructura funcional de la herramienta web, para asegurar el correcto funcionamiento de la herramienta.

Posteriormente, se emplearon los procedimientos para el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos. Para esta finalidad, se recurrió al Diagrama de flujo para dimensionar sistemas fotovoltaicos desarrollado por el autor Barzola-Monteses en 2016, el cual se presenta en detalle la **Figura 22**.

Figura 22.

Diagrama de flujo para dimensionar sistemas fotovoltaicos.



Nota: Diagrama de flujo para dimensionar sistema fotovoltaico. Fuente: Tomado de (Barzola-Monteses, 2016).

A continuación, se expondrán los cinco pasos necesarios para calcular la capacidad del dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos, tal como se muestra en la imagen anterior.

a) Recolección de datos

Para proceder al dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos se tuvieron que recolectar los datos de radiación mensual de las 24 provincias del Ecuador, para posteriormente obtener los datos de radiación anual global, los cuales los utilizamos para poder calcular el promedio anual de radiación global horizontal que existe en cada una de las provincias del Ecuador. Esto se lo realizo por medio de la utilización de la siguiente **Ecuación 27**:

$$\text{Radiación}_{\text{GH}} = \frac{\frac{G_{a0}}{G_{a\beta_{\text{opt}}}}}{G_{a,\text{ef}}(\alpha\beta)} \times \text{Promedio de radiación global anual} \quad (27)$$

Siendo

Radiación_{GH}: Radiación horizontal global.

$\frac{G_{a0}}{G_{a\beta_{\text{opt}}}}$: Irradiancia media mensual.

$G_{a,\text{ef}}(\alpha\beta)$: Irradiancia efectiva.

Dándonos como resultado los siguientes valores de radiación, los cuales se detallan en la **Tabla 11**.

Tabla 11.

Datos de radiación de las provincias del Ecuador.

DATOS DE RADIACIÓN				
Provincias	$\frac{G_{a0}}{G_{a\beta_{\text{opt}}}}$	$\frac{G_{a,\text{ef}}(\alpha\beta)}{G_{a,\text{ef}}(\beta_{\text{opt}})}$	Radiación Global kWh/m²	Radiación GH kWh/m²
Esmeraldas	0,9958	0,9207	637,29	1.386,45643
Manabí	0,9960	0,9204	659,86	1.370,53274
Santa Elena	0,9944	0,9226	1.160,97	1.817,08977
Sto. Domingo de los Tsáchilas	0,9964	0,9197	520,92	1.251,50964
Los Ríos	0,9954	0,9212	683,28	1.416,49749
Guayas	0,9948	0,9221	898,36	1.616,51052
El Oro	0,9928	0,9243	551,58	1.251,68423
Sucumbíos	0,9967	0,9192	1.016,04	1.647,94223
Napo	0,9961	0,9202	630,81	1.262,58229
Orellana	0,9960	0,9204	1.028,81	1.649,27107
Pastaza	0,9950	0,9218	1.039,89	1.653,36212
Morona Santiago	0,9941	0,9229	677,50	1.294,658
Zamora	0,9919	0,9252	694,23	1.252,22085
Carchi	0,9960	0,9204	700,40	1.361,59165
Imbabura	0,9963	0,9199	893,92	1.506,27851
Pichincha	0,9965	0,9195	1.809,52	2.360,56154
Cotopaxi	0,9959	0,9205	1.559,04	2.135,51155
Tungurahua	0,9955	0,9211	1.143,58	1.746,93034
Bolívar	0,9951	0,9217	916,76	1.549,69237
Chimborazo	0,9947	0,9223	1.289,06	1.931,57369
Cañar	0,9940	0,9230	1.120,49	1.754,43105
Azuay	0,9935	0,9237	1.114,19	1.752,21592
Loja	0,9921	0,9250	1.387,55	1.974,33436
Galápagos	0,9966	0,9193	1.396,43	2.065,73236

Nota: Elaboración Propia.

b) Estimación del perfil eléctrico

Para poder realizar el proyecto y aplicar la metodología, se debe obtener diferentes datos adicionales como:

- Datos de los equipos electrónicos (electrodomésticos).
- Cálculo de demanda diaria de uso de equipos electrónicos.

Para calcular la capacidad adecuada de un sistema fotovoltaico (SFV), es esencial tener conocimiento del consumo energético de cada dispositivo que será parte del dimensionamiento, y también es necesario estimar el consumo total de energía. Esto se hace tomando en cuenta el número de horas que cada dispositivo estará activo. Para llevar a cabo esta estimación, se debe convertir el consumo a la unidad de medida de kilovatios-hora (kW/h).

Por lo tanto, para determinar el consumo de energía de los electrodomésticos, se debe tener en cuenta que en la mayoría de los dispositivos están rotulados con una etiqueta que se encuentra ubicada en la parte trasera o inferior del aparato, en la que se especifica su consumo en vatios (W). En esta etiqueta proporciona información sobre la cantidad máxima de energía que el dispositivo puede utilizar en una hora. En la siguiente **Figura 23**, se presenta un ejemplo de una etiqueta que muestra la potencia consumida por un equipo electrónico. La potencia mencionada en la etiqueta equivale al valor en vatios-hora del dispositivo.

Figura 23.

Etiqueta de información de consumo de un dispositivo electrónico.



Nota: En la imagen se observa en el cuadro amarillo que el dispositivo electrónico consume 550 W de potencia nominal, que corresponde al valor de vatios-hora del dispositivo. Elaboración Propia.

A través de la información proporcionada en la etiqueta de cada dispositivo proporciona información sobre su potencia nominal en vatios (W), lo que permite crear un perfil de carga esencial para el cálculo preciso de un sistema fotovoltaico. Mediante el cual se realizó un levantamiento de información, identificando el consumo de cada dispositivo y creando la **Tabla 3**, que lista los equipos electrónicos esenciales en el hogar junto con su potencia en kW/h.

Por otra, una vez que se ha determinado los dispositivos que se deben consideraron para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico (SFV), el siguiente paso consiste en calcular el consumo total de la energía diaria. Para llevar a cabo este cálculo, se multiplica la potencia en vatios de cada dispositivo por el tiempo de uso en horas, lo que resulta en el consumo diario específico de cada dispositivo. Este proceso se repite para cada dispositivo y luego se realiza una suma de los consumos individuales para obtener el consumo total diario requerido, esto se lo realiza mediante la siguiente **Ecuación 28**:

$$\text{Consumo diario} \left(\frac{\text{Wh}}{\text{día}} \right) = \text{Potencia del equipo} \left(\frac{\text{W}}{\text{h}} \right) \times \text{Horas_uso (h)} \quad (28)$$

Después de que se haya identificado el perfil de carga, el paso siguiente involucra realizar el cálculo requerido para dimensionar el sistema fotovoltaico.

c) Evaluación de energía solar

A continuación, procederemos al cálculo necesario para determinar la cantidad adecuada de paneles solares e inversores según el consumo diario del perfil. Inicialmente, se calculará el factor de sombras mediante la **Ecuación 6**. Los resultados obtenidos se detallarán en la **Tabla 12**.

Tabla 12.

Datos del sombreado calculado para las 24 provincias del Ecuador.

Datos de Sombreado			
Provincias	Sombreado %	Provincias	Sombreado %
Esmeraldas	0,0042	Zamora	0,0052
Manabí	0,0044	Carchi	0,0048
Santa Elena	0,0059	Imbabura	0,0055
Sto. Domingo de los Tsáchilas	0,0038	Pichincha	0,0071
Los Ríos	0,0045	Cotopaxi	0,0067
Guayas	0,0052	Napo	0,0046
Chimborazo	0,0062	Bolívar	0,0055
Sucumbíos	0,0057	El Oro	0,0041
Tungurahua	0,0061	Cañar	0,0059
Orellana	0,0058	Azuay	0,0059
Pastaza	0,0058	Loja	0,0066
Morona Santiago	0,0049	Galápagos	0,0062

Nota: Elaboración Propia.

Una vez obtenido todos los datos necesarios se procede a calcular la energía fotovoltaica nominal producida por un panel fotovoltaico. En consideración para el dimensionamiento se utilizó un panel de 405 W, con una radiación global horizontal de 1.974,334 Wh de la provincia de Loja.

Cálculo de la energía nominal de un panel fotovoltaico:

$$E_{FV} = 301 \text{ W} \times 1974.334 \times (1 - 0,066) \times 0,80$$

$$E_{FV} = 635,49 \text{ kW}$$

Luego de obtener la energía fotovoltaica nominal anualmente, se procede al cálculo del número de paneles fotovoltaicos.

Cálculo de números de paneles solares.

Para el cálculo del número de paneles solares a utilizar, se necesitan 2 datos: el perfil de carga o consumo diario (CD), energía fotovoltaica nominal anualmente producida por un panel fotovoltaico.

Por consiguiente, se consideró para el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos la potencia de un panel de 405 W con un inversor de 6 kW, un consumo medio mensual de 38 kW y una potencia fotovoltaica nominal de 1,14052 kW/h

Una vez obtenido los datos necesarios para el dimensionamiento, se procede a utilizar la siguiente **Ecuación 29**, para el cálculo de paneles solares (Piñero, 2018):

$$NP = CD / EFV \quad (29)$$

Siendo

NP: Numero de paneles solares

CD: Consumo diario en kW

EFV: Energía nominal del panel

Datos obtenidos del estudio realizado:

Consumo diario CD: 38 kW

EFV anual: 635,49 kW dando 1741,08 W/h

Operación de cálculo de paneles:

$$Np = \frac{1266,7}{1741,08}$$

$$Np = 0,73$$

$$Np = 1$$

El resultado del cálculo del número de paneles solares correspondiente debe ser redondeado, es decir, para cubrir las necesidades energéticas del lugar. Luego de obtener el número de paneles solares a utilizar, corresponde calcular el número de inversores.

Cálculo y selección de inversores

Para el cálculo de los inversores se necesita saber la potencia diaria en kWh, la cual cubre la demanda diaria.

Operación de cálculo de inversores:

$$P_{inv} \approx 1,2 \times P_{AC}$$

$$P_{inv} \approx 1,2 \times 1 \times 405$$

$$P_{inv} \approx 486 \text{ Wh}$$

$$N_{inversores} = \frac{486}{6.000}$$

$$N_{inversores} = 0,081$$

$$N_{inversores} = 1$$

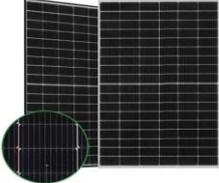
De igual manera, el resultado del cálculo de inversores se debe ser redondeado, para cubrir las necesidades energéticas.

d) Selección de componentes del sistema

Para el desarrollo del dimensionamiento del sistema fotovoltaico se utilizaron los valores de los siguientes componentes que se detallan en la **Tabla 13**.

Tabla 13.

Listado de componentes que se utilizó para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Componentes	Imagen
<p>Panel solar JINKO SOLAR Tiger Pro JKM405M-54HL4</p>	
<p>Inversor Fronius Primo 3.8-1 208-240</p>	

Nota: Imagen tomada de Renovaenergia S.A., (2023).

e) Resultados obtenidos

El resultado del análisis del dimensionamiento de un sistema fotovoltaico indica, que se realizó de forma correcta, debido a que no existió algún dato erróneo, los cuales fueron comparados con otras plataformas de dimensionamiento.

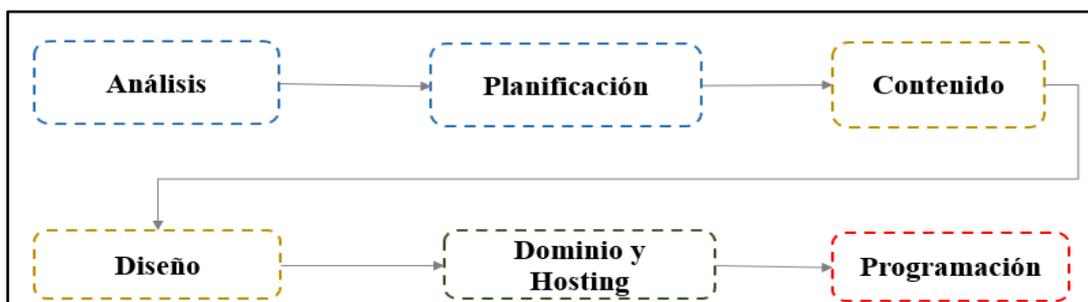
5.1.1.3 Enfoque Analítico para desarrollo web

Este método se aplicó para analizar la información recopilada y con ello desarrollar la herramienta web para el dimensionamiento. Por medio de las diferentes ecuaciones se determinó la fórmula precisa para el dimensionamiento de la energía solar fotovoltaica de un equipo en específico, logrando contrastar un análisis efectivo del diseño desarrollado para el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos.

5.1.1.4 Metodología para la creación de sitios web

Con respecto a la metodología empleada para la realización y posterior ejecución satisfactoria del presente trabajo de titulación, se han considerado la metodología para la creación de sitios web, propuesta por la Ingeniera Gil Álvarez, (2020), que se detalla en la **Figura 24**, que a continuación se muestra:

Figura 24.
Modelo metodológico para sitios web.



Nota: Elaboración Propia.

5.1.1.4.1 Análisis de datos

El propósito de este proyecto es desarrollar una herramienta web que permita el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos en Ecuador, considerando la ubicación del usuario. La idea principal es crear una página web interactiva que brinde a las personas la capacidad de dimensionar sistemas fotovoltaicos de acuerdo con el consumo anual de su vivienda o dependiendo con la cantidad de electrodomésticos que cuente en su hogar. Además, la herramienta ofrecerá un análisis para evaluar la viabilidad económica del sistema. Así mismo, la herramienta será útil tanto para aplicaciones residenciales como comerciales e industriales.

5.1.1.4.2 Planificación

En la presente fase, se detallan algunas de las características más relevantes, del software, para la implementación del diseño de la herramienta web para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos.

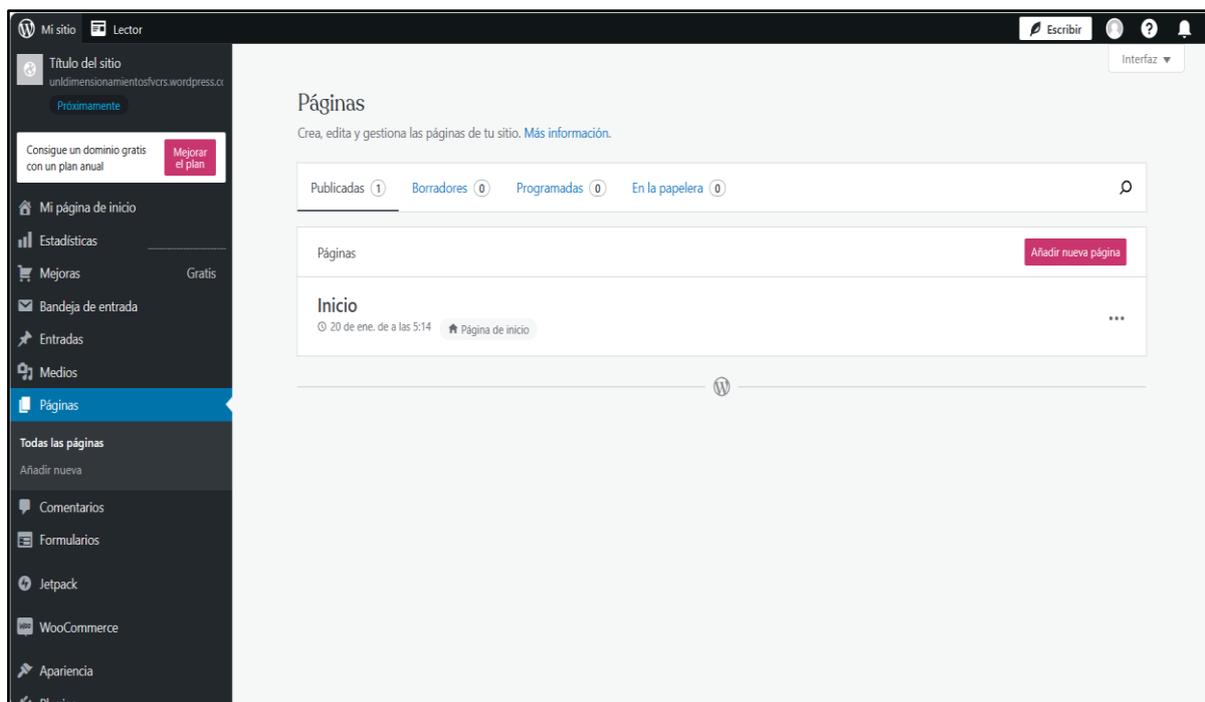
a) Selección de software

Para la ejecución óptima del presente proyecto de titulación, se hizo uso de diferentes herramientas de diseño y programación como para: el desarrollo de aplicaciones web, la configuración, procesamiento y almacenamiento de la base de datos. A continuación, se detalla las diferentes características de cada uno de los softwares utilizados.

Para el desarrollo de la herramienta web se apoyó en el uso de WordPress, un software ampliamente reconocido como una plataforma de gestión de contenido (CMS) que disfruta de una gran popularidad en la creación y gestión de sitios web. Su renombre se basa en su facilidad de uso y su versatilidad, lo que lo convierte en la elección idónea para crear la herramienta destinada al dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos en el proyecto actual. Es importante destacar que WordPress está estrechamente relacionado con el lenguaje de programación PHP, ampliamente conocido por ser un entorno de código abierto utilizado de manera extensa en el desarrollo web. El sitio web se construirá empleando tecnologías tanto del front-end como del back-end. En la **Figura 25** se muestra la interfaz gráfica de la herramienta WordPress.

Figura 25.

Interfaz para la creación de la herramienta web.



Nota: Elaboración Propia.

b) Desarrollo front-end

El front-end en el contexto del desarrollo web se enfoca en la creación y diseño de la parte visible de un sitio web. En términos sencillos, se encarga de aspectos que van desde la

arquitectura del sitio hasta los detalles estilísticos, como la selección de colores, fondos, tamaños de letra, y también se extiende a la implementación de animaciones y efectos visuales. En términos más amplios, el front-end se asocia con la fase inicial de un proceso, en contraste con el back-end, que se relaciona con la etapa final de dicho proceso (Arias & Vela, 2015).

Además, front-end abarca todas las tecnologías orientadas al cliente, es decir, aquellas que operan en el navegador web. En su mayoría, se centra en tres lenguajes principales: HTML, CSS y JavaScript. Front-end se enfoca exclusivamente en dominar estas tres tecnologías, aunque esto no implica que desconozca el funcionamiento del back-end, ya que esta comprensión es fundamental para la manipulación de datos y la creación de una estructura adecuada en HTML y CSS. Facilitando la posterior implementación por parte del back-end en un servidor (Nieto, 2016).

c) Desarrollo back-end

Dentro del marco del desarrollo de aplicaciones, el back-end asume la crucial responsabilidad de procesar la información proveniente del front-end y de gestionar la conexión con la base de datos. Estas operaciones se llevan a cabo en el servidor, fuera de la visión del usuario en su navegador web. Para llevar a cabo estas tareas, se utilizan comúnmente lenguajes de programación como PHP, Java, Ruby, .NET, Python, entre otros, los cuales desempeñan un papel fundamental en la interacción con la base de datos (Valdivia, 2016).

d) Seguridad web

La seguridad en las herramientas web se sustenta en una serie de principios fundamentales que son esenciales para proteger tanto la información como la integridad de las aplicaciones. Estos principios abarcan la autenticación y la autorización de usuarios, asegurando que únicamente las personas autorizadas tengan acceso a funciones y datos específicos. Asimismo, se enfoca en la salvaguardia de datos confidenciales a través del uso de técnicas de cifrado, así como en la validación rigurosa de los datos de entrada para prevenir amenazas, como los ataques de inyección y otros posibles ataques maliciosos (Samaniego & Ponce, 2021).

En la aplicación web, se ha empleado el protocolo SSL (Secure Sockets Layer) de propósito general para garantizar la seguridad en las comunicaciones. Este protocolo se fundamenta en la combinación de técnicas de cifrado simétrico (con una clave compartida) y asimétrico (con claves pública y privada), junto con el uso de certificados digitales y firmas

digitales. El propósito de esta implementación es establecer un canal de comunicación seguro a través de Internet (Ortega & Canino, 2006).

e) **Benchmarking**

La herramienta web que se desarrolló se centra en el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos y en la evaluación económica de estos sistemas en el contexto de Ecuador. Es importante destacar que esta herramienta se distingue por considerar aspectos claves que otras plataformas web no abordan. A diferencia de otras, esta herramienta no solo se limita a dimensionar sistemas en función de los equipos y la ubicación, sino que también realiza un análisis detallado de la viabilidad económica, evaluando los costos y beneficios del sistema.

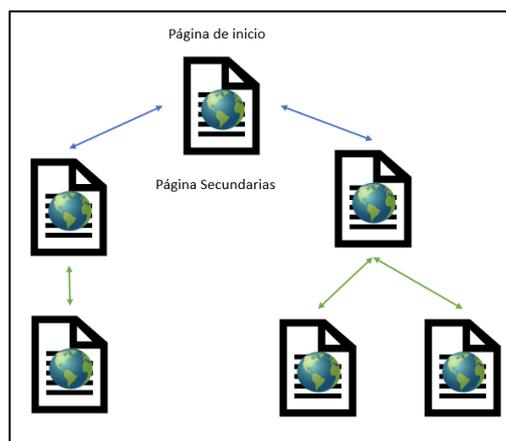
f) **Estructura de Navegación**

En cuanto a la estructura de la herramienta, se optó por una estructura que resulte interactiva y de fácil manejo para los usuarios. Por esta razón, se ha decidido emplear un formato jerárquico.

Por consiguiente, el diseño de la herramienta se fundamentará en una estructura tipo árbol, como se observa en la **Figura 26**, donde la página de inicio se ramifica en diferentes secciones. Desde esta página, se incluirá información descriptiva acerca de la herramienta y facilitará la navegación y la ubicación de la información específica que los usuarios buscan.

Figura 26.

Estructura Jerárquica, para la creación de sitios web.



Nota: Elaboración propia.

5.1.1.4.3 Contenido

El contenido de la herramienta web, se enfocará en el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos, considerando tanto el consumo energético general como las especificaciones de equipos individuales. El proceso de dimensionamiento del sistema fotovoltaico se llevará a cabo

teniendo en cuenta factores como la radiación solar del lugar de instalación y las demandas energéticas específicas del usuario.

5.1.1.4.4 Diseño

El diseño de la herramienta web, se llevó a cabo de manera jerárquica, donde constatan una, la página principal de la herramienta, considerándose como la puerta de entrada y proporciona una visión general de la funcionalidad de la herramienta. Aquí, los usuarios pueden encontrar información sobre el propósito de la herramienta y los servicios que ofrece. Además, nos proporcionando dos secciones donde los usuarios tienen la opción de realizar el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos de acuerdo con sus necesidades específicas. Pueden seleccionar entre el enfoque basado en el consumo energético general o el dimensionamiento según las características de equipos individuales.

a) Con base a su consumo

Se realizó una interfaz intuitiva con formularios y opciones claramente etiquetados. Los usuarios pueden ingresar datos y realizar cálculos de manera sencilla. La sección, con base a su consumo, se basa en variables clave, como la radiación solar en la ubicación de instalación y las demandas energéticas del usuario. Los usuarios pueden ingresar estos datos para obtener resultados precisos. Además, se proporciona información explicativa en forma de texto, gráficos mediante un manual para ayudar a los usuarios a comprender el proceso de dimensionamiento y la importancia de las variables involucradas.

Así, una vez que los usuarios ingresan los datos necesarios, la herramienta genera resultados claros y detallados sobre el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, incluyendo información sobre la cantidad de paneles solares requeridos y datos sobre la energía que producirá el sistema fotovoltaico como también a energía que será subida a la red. Además del dimensionamiento, la herramienta también realiza un análisis económico que evalúa la viabilidad financiera del sistema, permitiendo estimar los costos asociados con la adquisición e instalación de equipos específicos, así como los ahorros potenciales a lo largo del tiempo.

b) Con base a su potencia

El diseño de la sección para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos basado en la potencia de equipos específicos se caracteriza por su enfoque detallado y personalizado. La página presenta una estructura organizada que permite a los usuarios seleccionar el lugar de instalación y el consumo energético para el cual desea dimensionar el sistema fotovoltaico.

La página web integra herramientas de cálculo específicas para cada tipo de equipo. Por ejemplo, los usuarios pueden calcular la capacidad necesaria de paneles solares en función de su consumo energético o en consideración a equipos específicos por el usuario. Una vez que los usuarios ingresan los datos necesarios, la herramienta genera resultados claros y detallados sobre el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, incluyendo información sobre la cantidad de paneles solares.

5.1.1.5 Programación

La programación de la herramienta web se la realizó mediante PHP, ya que se destaca por ser una herramienta de programación de código abierto, lo que significa que es completamente gratuito para su uso, además de poder aprovechar sus beneficios sin la necesidad de incurrir en costos relacionados con licencias o actualizaciones. Su licencia se basa en tres principios clave: la libertad de utilizar PHP, la capacidad de modificar su código fuente y la opción de distribuirlo en su forma original o modificada. Además de ser ampliamente reconocido en el ámbito de desarrollo web, la mayoría de los servicios de alojamiento ofrecen soporte para PHP (Minera, 2008).

5.1.1.6 Dominio y Hosting

El dominio web fue adquirido a través de la empresa Nodored, el 19 de abril de 2023 y tiene una fecha de caducidad establecida para el 19 de abril de 2024. El costo para renovar el dominio es de \$16,00 anuales. Adicionalmente, el servicio de hosting web también fue contratado a Nodored el 17 de abril de 2023, con fecha de caducidad fijada para el 25 de abril de 2025. El costo de renovación del hosting es de \$90,00 por año. Esto se puede verificar en la **Figura 27**.

Figura 27.

Información sobre la adquisición del dominio y hosting de la herramienta web.

Gestionar solecuador.com
Nodored.com / Área del Cliente / Mis Dominios / solecuador.com

Estamos en Vivo
Hoy la Clase 2 Automatizada Únete al Webinar Aquí

Gestionar Dominio

- Resumen
- Ver/Cambiar Nameservers
- Ver/Actualizar datos del Registrante
- Servicios Adicionales
- Bloquear/Desbloquear Dominio
- Mover Dominio a otro titular

FUNCIONES AVANZADAS

- Renovación Automática
- Obtener Código EPP
- Nameservers Privados

¿Es importante renovar un dominio?

¿Es importante re...
SIEMPRE RENOVAR UN DOMINIO?
Renueva Ahora

Estado:
● Activo

Fecha de Compra:
19/04/2023

Fecha de Vencimiento:
19/04/2024

Importe del Primer Pago:
USD\$12.99

Costo de Renovación:
USD\$15.99 Cada 1 Año(s)

Método de Pago:
Transferencia/Deposito Bancario [EC]

SSL

Estado del SSL	SSL válido detectado
Fecha de emisión del SSL	18/10/2023
Nombre del Emisor del SSL	R3
Fecha de expiración del SSL	16/01/2024

Nota: Elaboración Propia.

Ambos servicios, como el dominio y el hosting, están vinculados a un sistema de gestión de contenidos (CMS) basado en WordPress. Este CMS facilita la creación y el mantenimiento del sitio web, permitiendo la visualización e interacción con las variables asociadas al dimensionamiento del sistema fotovoltaico. La programación que se realizó entre el dominio y el hosting será detallada en la sección de resultados.

6 Resultados

En esta sección, se examina de manera detallada el proceso de diseño de la herramienta para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos, centrándose en la arquitectura de software, la lógica de los algoritmos y la usabilidad de la interfaz. Además, se validará la herramienta comparando sus resultados con herramientas web reconocidas, respaldando así la confiabilidad y precisión de los cálculos. La validación se extiende más allá del ámbito virtual, incluyendo la evaluación de la herramienta en implementaciones con sistemas fotovoltaicos reales.

6.1 Diseño

Para el desarrollo de la herramienta web, se debe considerar una variedad de aspectos que abarcan desde la presentación de información hasta la usabilidad y la interactividad. Posteriormente, se proporciona una descripción detallada de la página y su estructura jerárquica en el contexto de esta tesis:

En la página de inicio, se ofrece información pertinente acerca de los sistemas fotovoltaicos instalados en Ecuador. Además, se presenta una concisa descripción del propósito de la herramienta. A modo de apoyo visual, se incluyen dos imágenes ilustrativas que corresponden a las secciones destinadas al dimensionamiento de sistemas.

La sección de dimensionamiento, centrada en la estimación según el consumo y la potencia, contempla diversos datos de entrada por parte del usuario. Estos incluyen el consumo eléctrico actual, la potencia requerida, detalles de ubicación para cálculos solares precisos, así como información específica sobre el consumo relacionado con electrodomésticos.

La fase de cálculo del sistema fotovoltaico abarca diversos elementos fundamentales. Estos incluyen la determinación de la potencia necesaria del equipo, el cálculo de la energía generada por el sistema fotovoltaico a lo largo de un año, la evaluación del excedente de energía que se verterá a la red eléctrica, el cálculo aproximado del costo del sistema y el periodo de tiempo requerido para recuperar la inversión, el cual depende del consumo eléctrico anual. Además, se suministra información detallada sobre la cantidad de paneles solares necesarios, el ángulo de inclinación óptimo, el espacio necesario para la instalación del sistema, así como las toneladas de CO₂ que el sistema fotovoltaico contribuye a reducir.

6.2 Desarrollo y Programación

6.2.1 Procedimiento

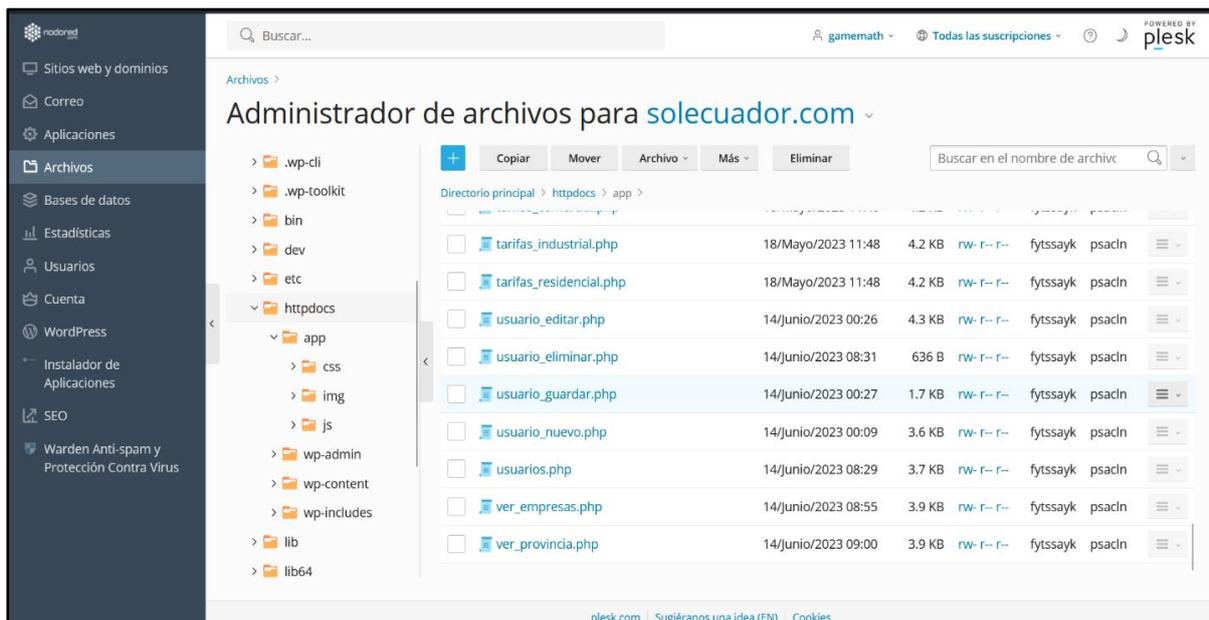
A continuación, se presenta de manera clara y concisa las técnicas y pasos empleados para el desarrollo del proyecto de investigación.

6.2.2 Bases de datos para la información para el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos

Para poder cumplir con el objetivo de “Diseñar e implementar una herramienta web para simular SFV con conexión con la red eléctrica, que permita el análisis técnico y económico de estos sistemas”, inicialmente se creó una base de datos de tipo MySQL como se muestra en la **Figura 28**, para guardar los diferentes datos que se utilizará para el dimensionamiento del sistema.

Figura 28.

Creación de la base de datos para la herramienta web.



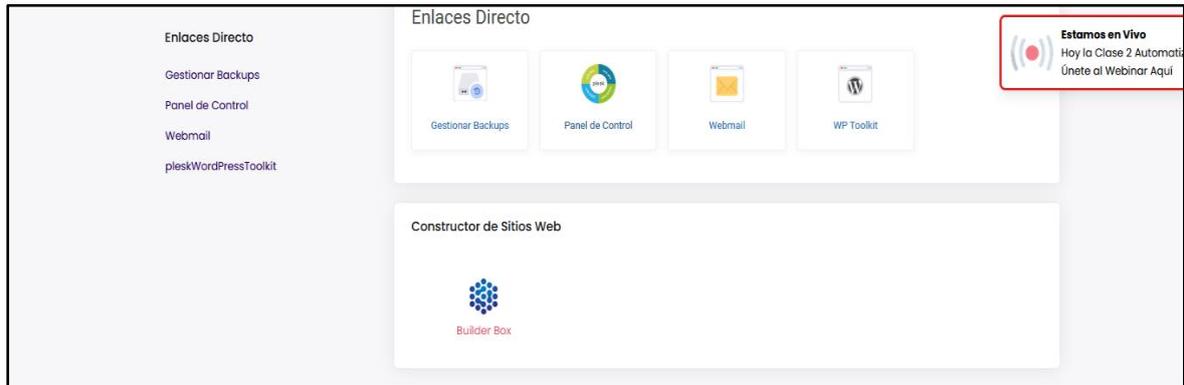
Nota: Elaboración Propia.

Una vez elaboradas las bases de datos con sus respectivas variables se procede a la creación y edición de los archivos de tipo PHP.

6.2.3 Desarrollo del sitio web Solecuador.com

Para llevar a cabo con el objetivo antes mencionado, se empleó el gestor de contenidos WordPress proporcionado por el hosting web incorporado en cPanel, como se puede visualizar en la **Figura 29**.

Figura 29.
Gestor de contenidos WordPress.

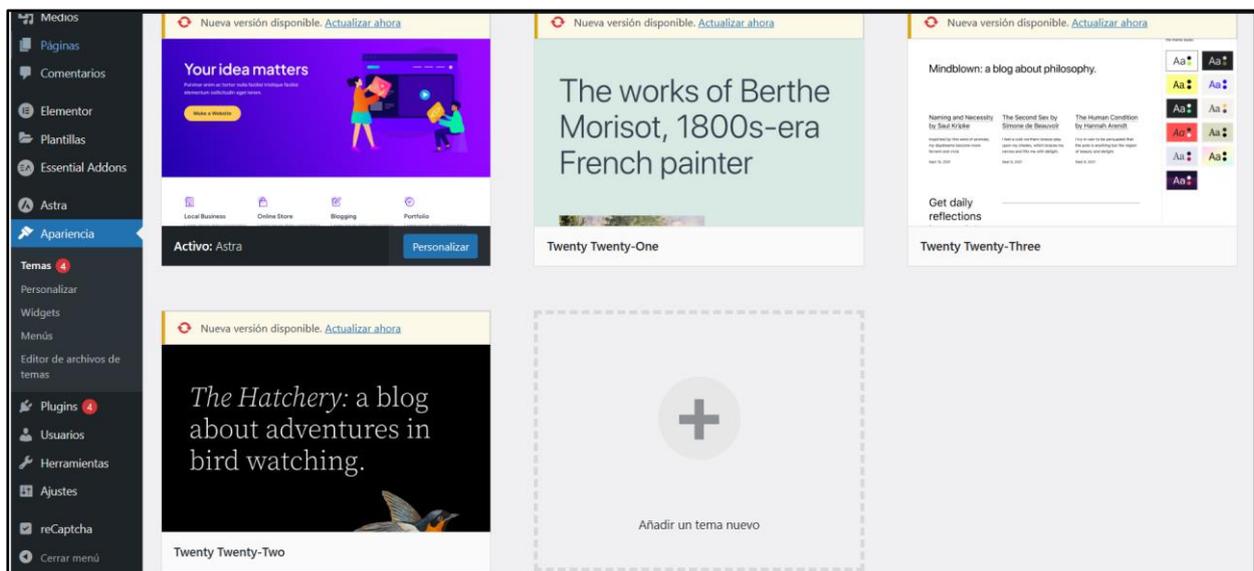


Nota: Elaboración Propia.

Para el desarrollo de la página web con WordPress, se especifican algunos detalles de instalación y se selecciona entre diseñar desde cero o escoger una plantilla ya personalizada, la cual se visualizará en el sitio web. La selección correcta del tema para el sitio web es importante, puesto que es clave para personalizar y dar estilo, a la página web principal.

Por tanto, para el diseño de la herramienta web se escogió el tema a Twenty Twenty-Two Versión: 1.4, como se muestra en la **Figura 30**, debido a que nos presenta un diseño simple e interactivo, para poder estructurar de manera sencilla la apariencia de la página web.

Figura 30.
Selección del tema Twenty Twenty-Two Versión: 1.4.

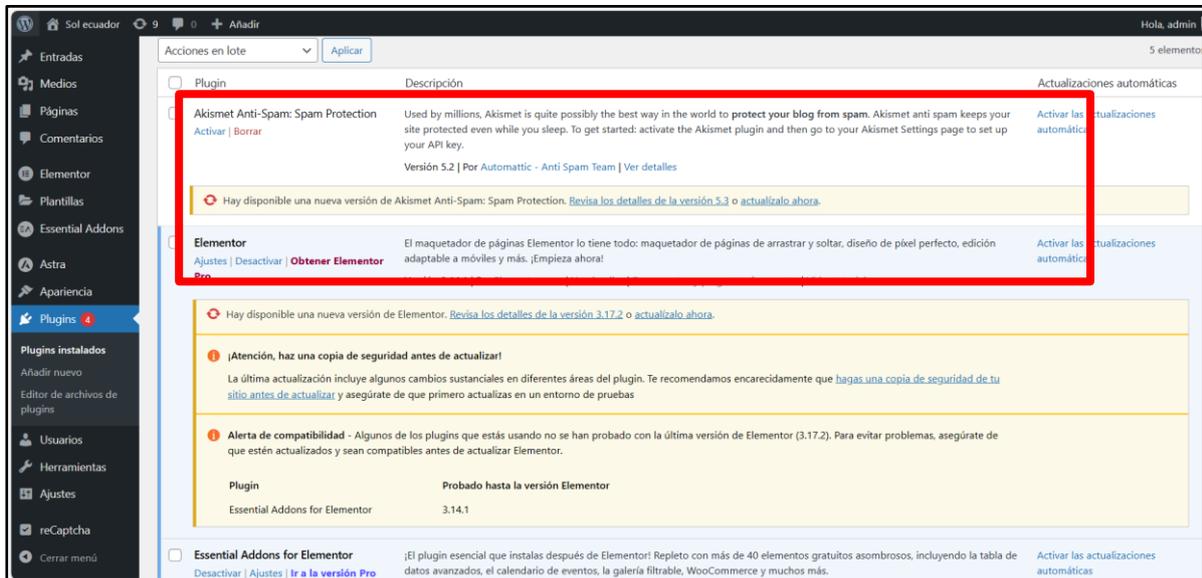


Nota: Elaboración Propia.

Una vez seleccionado el tema, se procede a instalar el plugin Akismet Anti-Spam Versión 5.2, y el plugin Elementor Versión 3.14.1, como se muestra en la **Figura 31**, el Akismet

se lo utilizo para la configuración de la protección del sitio web contra el spam, y el Elementor para la creación y personalización de las páginas web de manera visual y eficiente.

Figura 31.
Plugins Akismet Anti-Spam Versión 5.2, Elementor Versión 3.14.1.



Nota: Elaboración Propia.

Una vez instalado el plugin Elementor, se procedió a editar la página web, ya sea a través del editor visual o un editor de código HTML Y CSS. El inicio de la modificación consta de la estructura, contenido y diseño de la página, como se detalla en la **Figura 32.**

Figura 32.
Editor visual o editor de código HTML y CSS.



Nota: Elaboración Propia.

Al terminar de editar la página principal, se procede a la creación de las páginas secundarias, realizando el diseño dependiendo la estructura y el contenido que cada una de ellas. En la **Figura 33**, se puede visualizar estructura para el simulador 1 en base a su consumo, y en la **Figura 34** se visualiza la estructura del simulador 2 en base a su potencia.

Figura 33.

Diseño de la página secundaria para el cálculo del dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos en base a su consumo.

The screenshot shows a web page titled "Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos en el Ecuador" with the subtitle "Calcula con facilidad tu instalación de tu sistema fotovoltaico". It features a navigation bar with "Inicio" and "Ayuda" buttons. The main heading is "Complete los campos para realizar el cálculo". Below this, there is a form with a dropdown menu for "Seleccione la provincia" and a map of Ecuador. The form includes labels for "La tarifa eléctrica a utilizarse corresponde a" and "La radiación solar anual promedio de la provincia es de:". At the bottom, there is a section titled "Selecciona el tipo de conexión del sistema" with three radio button options: "Residencial" (with a house icon), "Comercial" (with a building icon), and "Industrial" (with a factory icon).

Nota: Elaboración Propia.

Figura 34.

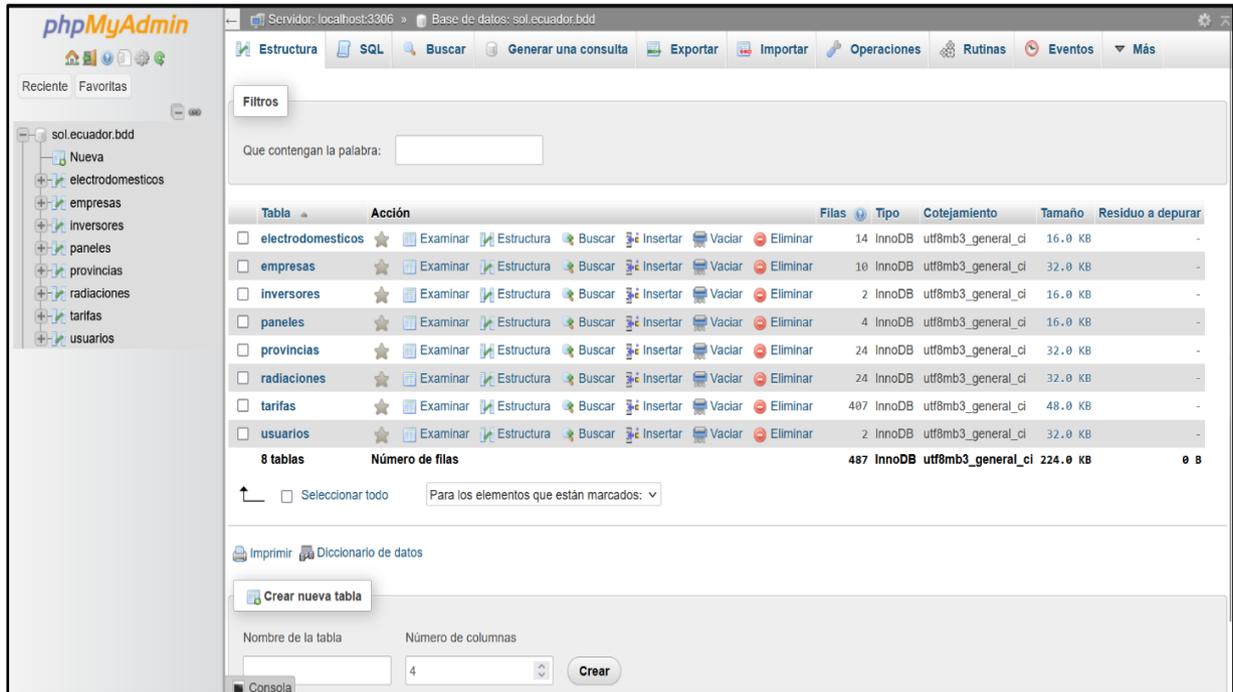
Diseño de la página secundaria para el cálculo del dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos en base a su potencia.

The screenshot shows a web page titled "Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos en el Ecuador" with the subtitle "Calcula con facilidad tu instalación de tu sistema fotovoltaico". It features a navigation bar with "Inicio" and "Ayuda" buttons. The main heading is "Ingrese los datos requeridos". Below this, there is a form with a dropdown menu for "Seleccione la provincia" and a map of Ecuador. The form includes a label for "La radiación solar anual promedio de la provincia es de:" and a text input field for "Ingrese la potencia fotovoltaica que requiere en kWp:" with the value "0". At the bottom, there is a note: "Para los cálculos se utilizará un panel referencia de 405 W" and a blue button labeled "CALCULA TU SISTEMA".

Nota: Elaboración Propia.

Una vez diseñada la página web de inicio y las páginas web correspondientes, se procede a realizar la conexión de WordPress con la base de datos. Como se observa en la **Figura 35**.

Figura 35.
Creación de la base de datos para la herramienta web.



Nota: Elaboración Propia.

6.2.4 Procesamiento y análisis de datos

Existen seis tipos de datos recopilados y almacenados, que deben ser analizados y procesados, para el correcto funcionamiento de la herramienta web.

6.2.4.1 Datos de radiación.

De los datos almacenados del apartado de radiaciones, se toman los valores de las variables específicas Yr y Fs, para el cálculo de generación de energía de un panel. En la **Figura 36**, se visualiza los datos guardados de la radiación solar.

Figura 36.
Datos de radiación de las provincias del Ecuador.

#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado	Comentarios	Extra	Acción
1	id_radiacion	int(11)			No	Ninguna		AUTO_INCREMENT	Cambiar Eliminar Más
2	id_provincia	int(11)			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
3	valor1	float			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
4	valor2	float			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
5	valor3	float			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
6	valor4	float			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
7	valor5	float			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
8	valor6	float			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
9	valor7	float			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
10	valor8	float			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
11	valor9	float			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
12	valor10	float			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
13	valor11	float			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
14	valor12	float			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
15	promedio	float			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
16	difusion	float			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
17	fs	float			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
18	yr	float			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más

Nota: Elaboración Propia.

6.2.4.2 Datos de las empresas eléctricas que existen en el Ecuador.

Los datos almacenados en el apartado empresas, como se visualiza en la **Figura 37**, están vinculados con los datos de las provincias donde opera cada una de ella, además de estar vinculadas con la base de datos de radiación.

Figura 37.
Datos de las empresas eléctricas que existen en el Ecuador.

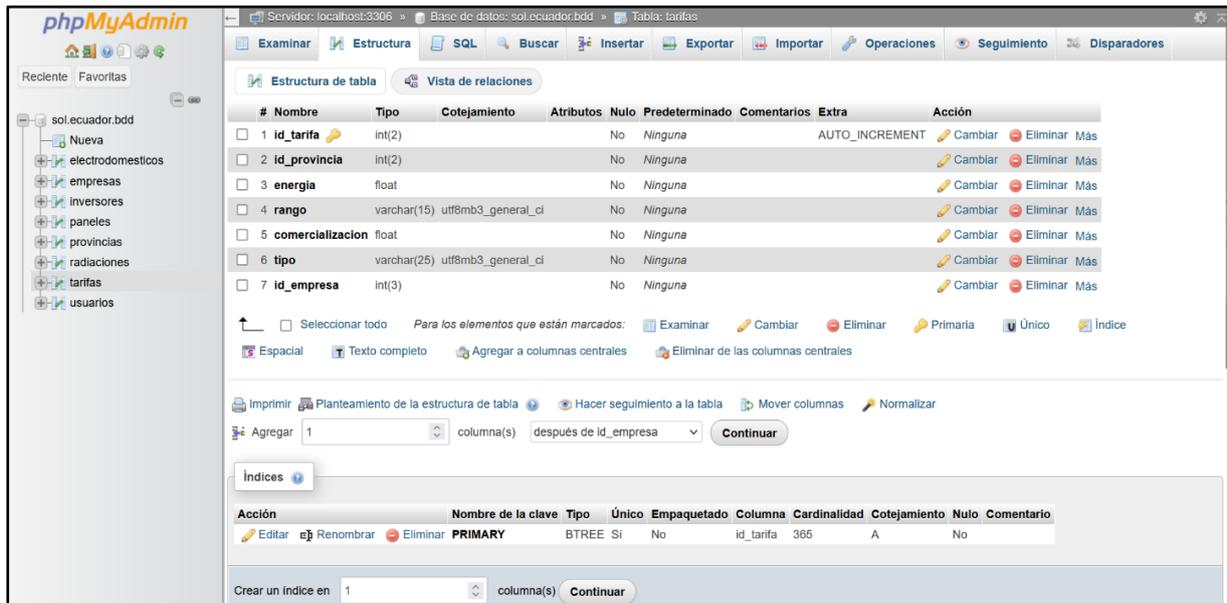
#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado	Comentarios	Extra	Acción
1	id_provincia	int(11)			No	Ninguna		AUTO_INCREMENT	Cambiar Eliminar Más
2	nombre_provincia	varchar(40)	utf8mb3_general_ci		No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
3	region	varchar(20)	utf8mb3_general_ci		No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
4	id_empresa	varchar(30)	utf8mb3_general_ci		No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más

Nota: Elaboración Propia.

6.2.4.3 Datos de las tarifas eléctricas.

Los datos de las tarifas eléctricas que se observan en la **Figura 38**, constan de los valores a pagar por kWh, además de estar clasificados tanto para el consumo residencial, comercial e industrial.

Figura 38.
Datos de la tarifa residencial en la base de datos.



#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado	Comentarios	Extra	Acción
1	id_tarifa	int(2)			No	Ninguna		AUTO_INCREMENT	Cambiar Eliminar Más
2	id_provincia	int(2)			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
3	energia	float			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
4	rango	varchar(15)	utf8mb3_general_ci		No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
5	comercializacion	float			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
6	tipo	varchar(25)	utf8mb3_general_ci		No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
7	id_empresa	int(3)			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más

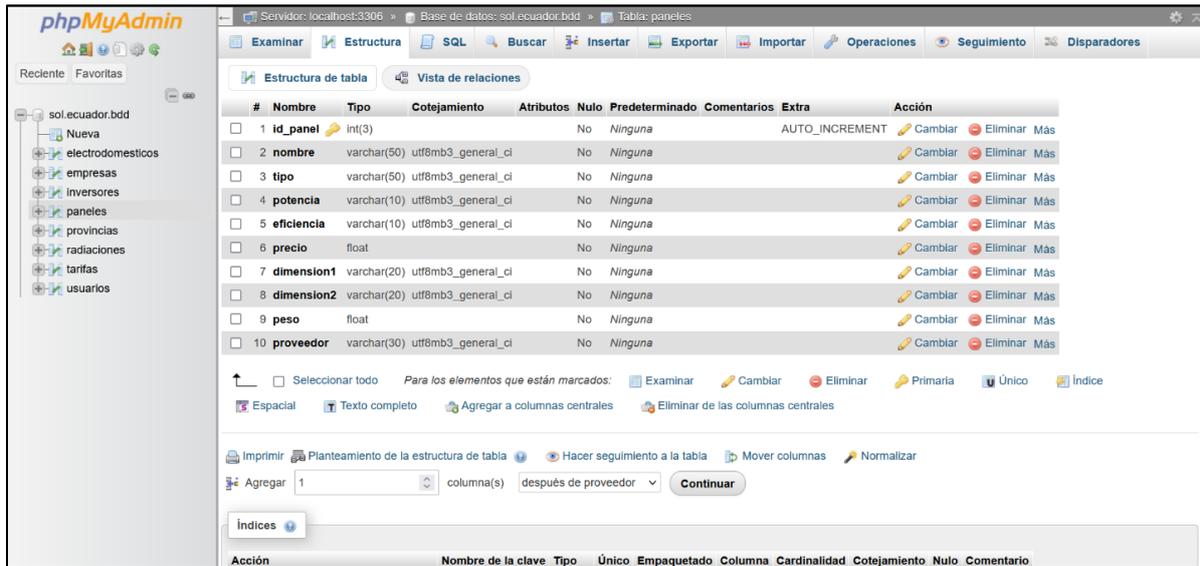
Acción	Nombre de la clave	Tipo	Único	Empaquetado	Columna	Cardinalidad	Cotejamiento	Nulo	Comentario
Editar Renombrar Eliminar	PRIMARY	BTREE	Si	No	id_tarifa	365	A	No	

Nota: Elaboración Propia.

6.2.4.4 Datos del panel fotovoltaico

Los datos guardados de los paneles fotovoltaicos constan de varios parámetros como el tipo de panel, la potencia, eficiencia, precio, sus dimensiones y el proveedor donde se tomó las características del panel. Esto se puede visualizar en la **Figura 39**.

Figura 39.
Creación de la base de datos, para los datos de radiación solar.

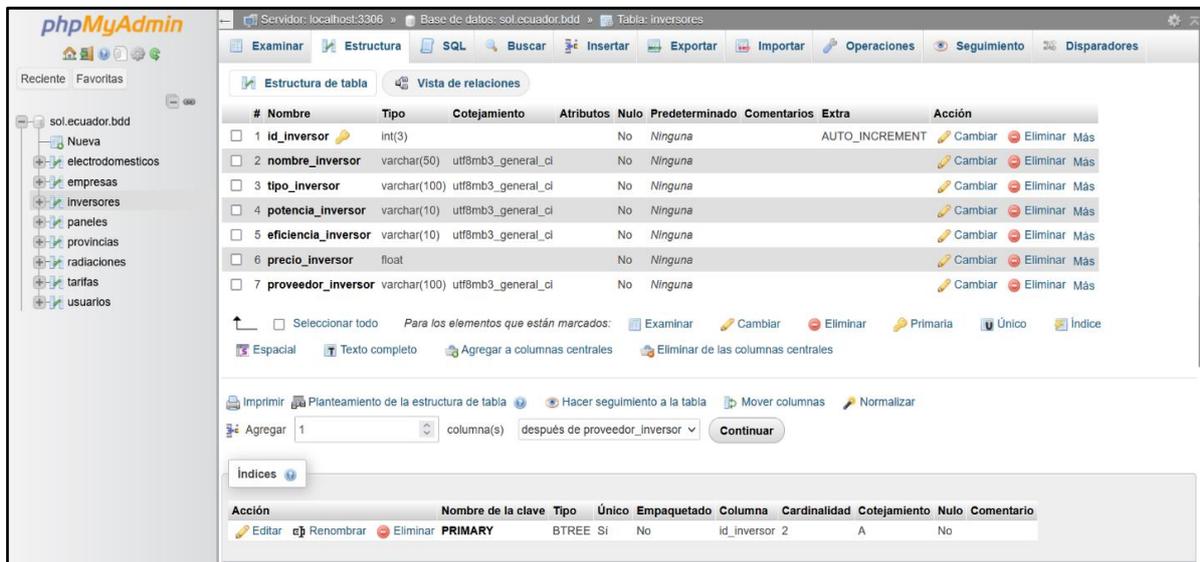


Nota: Elaboración Propia.

6.2.4.5 Datos del inversor

Los datos guardados de los inversores que se muestran en la **Figura 40**, al igual que de los paneles son: del tipo de inversor, la potencia, sus dimensiones y el precio del equipo.

Figura 40.
Creación de la base de datos para el inversor.

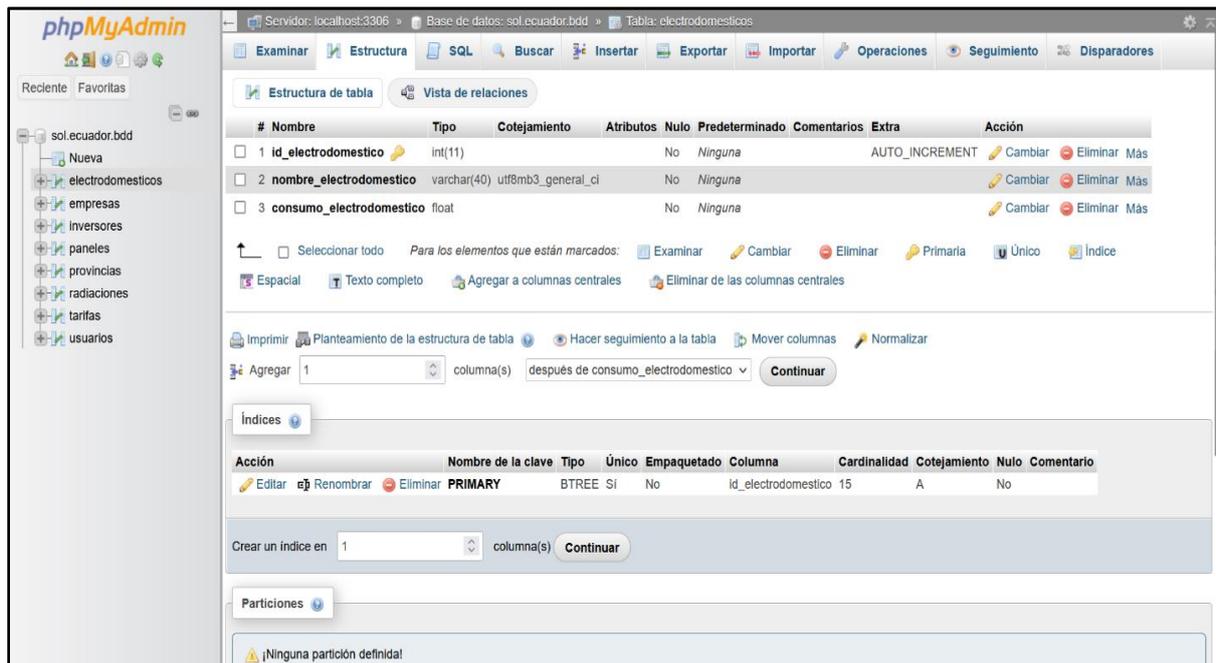


Nota: Elaboración Propia.

6.2.4.6 Datos de los electrodomésticos

Los datos guardados de los electrodomésticos como se muestra en la **Figura 41**, constan de: nombre del electrodoméstico y la potencia que consume cada uno.

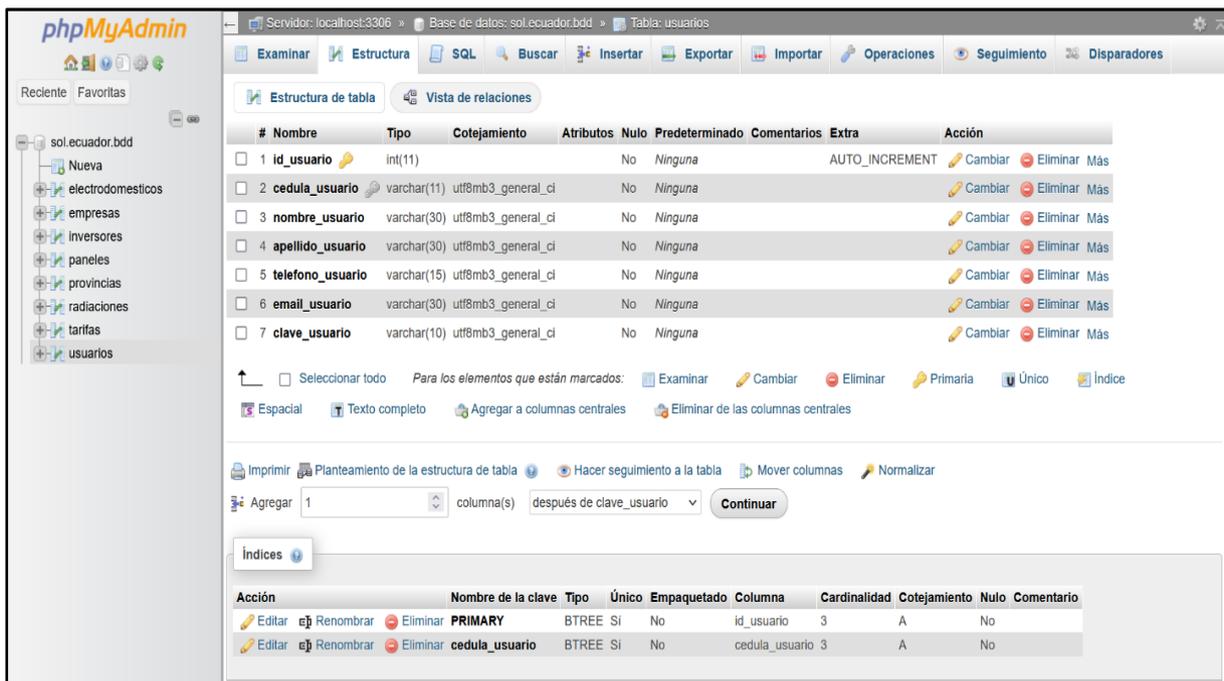
Figura 41.
Creación de la base de datos para los electrodomésticos.



Nota: Elaboración Propia.

Además, existe un campo designado como Usuarios, como se visualiza en la **Figura 41**, el cual se lo agrego para poder dar acceso a los usuarios que deseen modificar los valores guardados en la base de datos, este campo consta de los parámetros del nombre, cédula, teléfono, email y clave.

Figura 42.
Creación de la base de datos para la creación de usuarios.

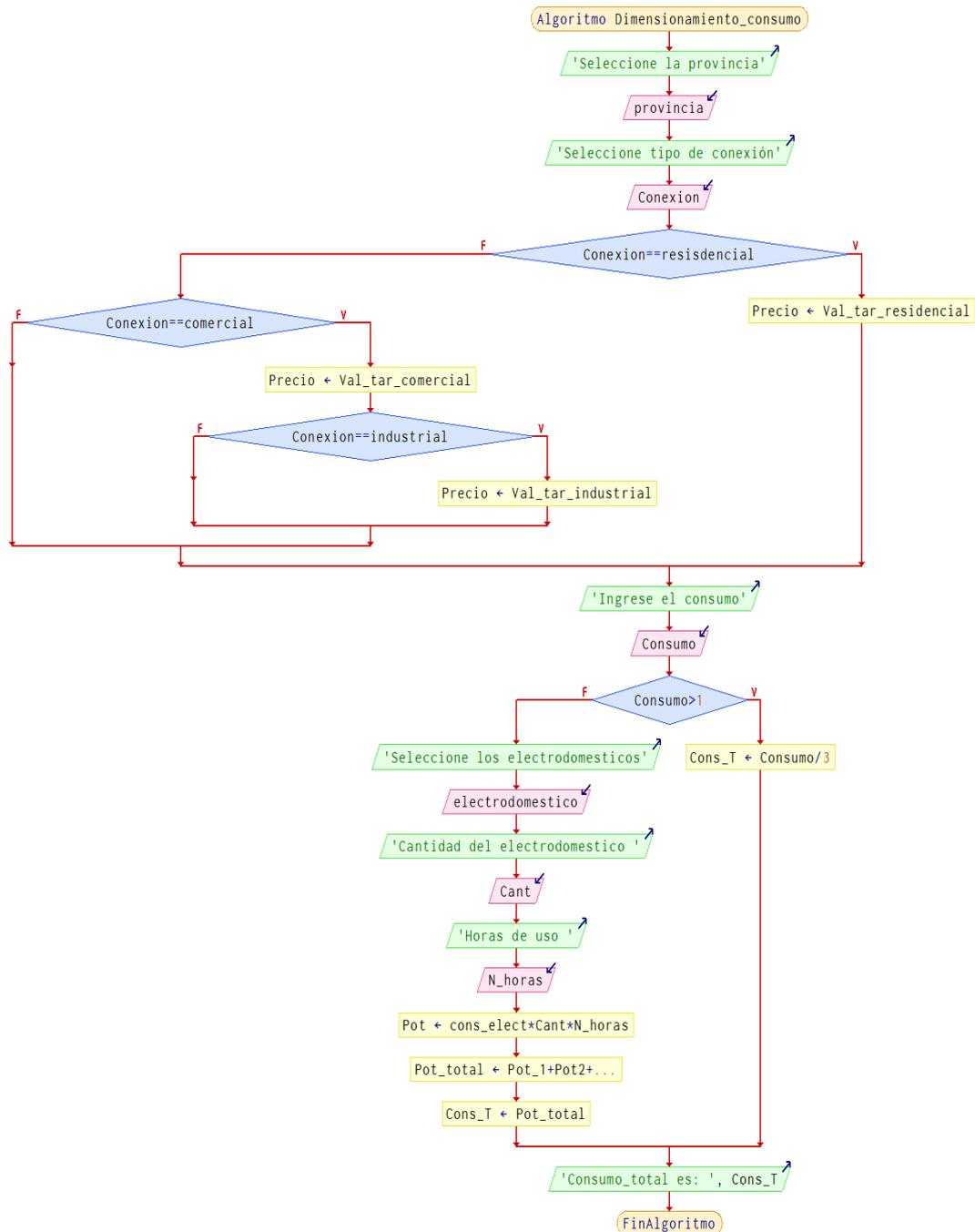


Nota: Elaboración Propia.

6.2.4.7 Programación del primer simulador con respecto al cálculo en base a su consumo.

La página desarrollada para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos se implementó mediante diversos algoritmos, como se ilustra en los diagramas de flujo adjuntos. La elección de las provincias, el tipo de conexión y el valor de consumo se llevó a cabo utilizando el diagrama de flujo representado en la **Figura 43**.

Figura 43.
Diagrama de flujo para el cálculo del dimensionamiento del sistema en base a su consumo.

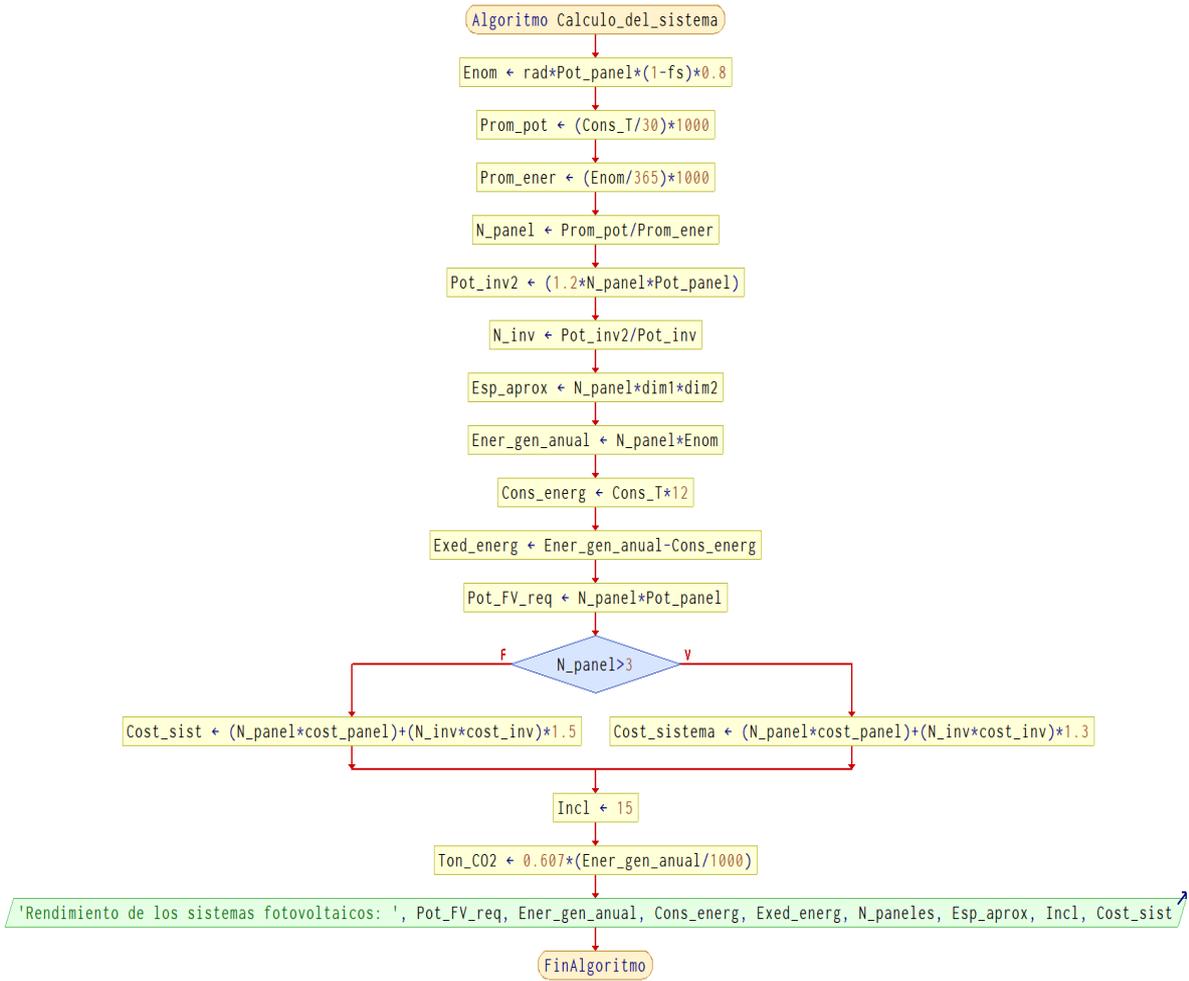


Nota: Elaboración Propia.

En el diagrama de flujo representado en la figura anterior, se detallan los pasos necesarios para llevar a cabo la programación de la página de dimensionamiento según el consumo. En este proceso, se observa que los primeros pasos se centran en la selección del tipo de conexión, permitiendo así la obtención de los valores de tarifa necesarios para los cálculos subsiguientes. Además, se identifica una condición que establece que, en caso de que el valor de consumo no esté disponible, se puede calcular mediante la opción de los electrodomésticos.

En la **Figura 44**, se presenta el diagrama de flujo diseñado para calcular de rendimiento del sistema fotovoltaico. Donde se puede evidenciar, claramente la utilización de variables almacenadas en la base de datos, las cuales desempeñan un papel fundamental en los distintos procesos ejecutados. La programación consiste en cálculo de la potencia fotovoltaica requerida, el costo de los equipos, la energía generada por el sistema, el excedente de energía que se entregara a la red, el número de paneles fotovoltaicos que se deben utilizar y el espacio aproximado que requiere el sistema.

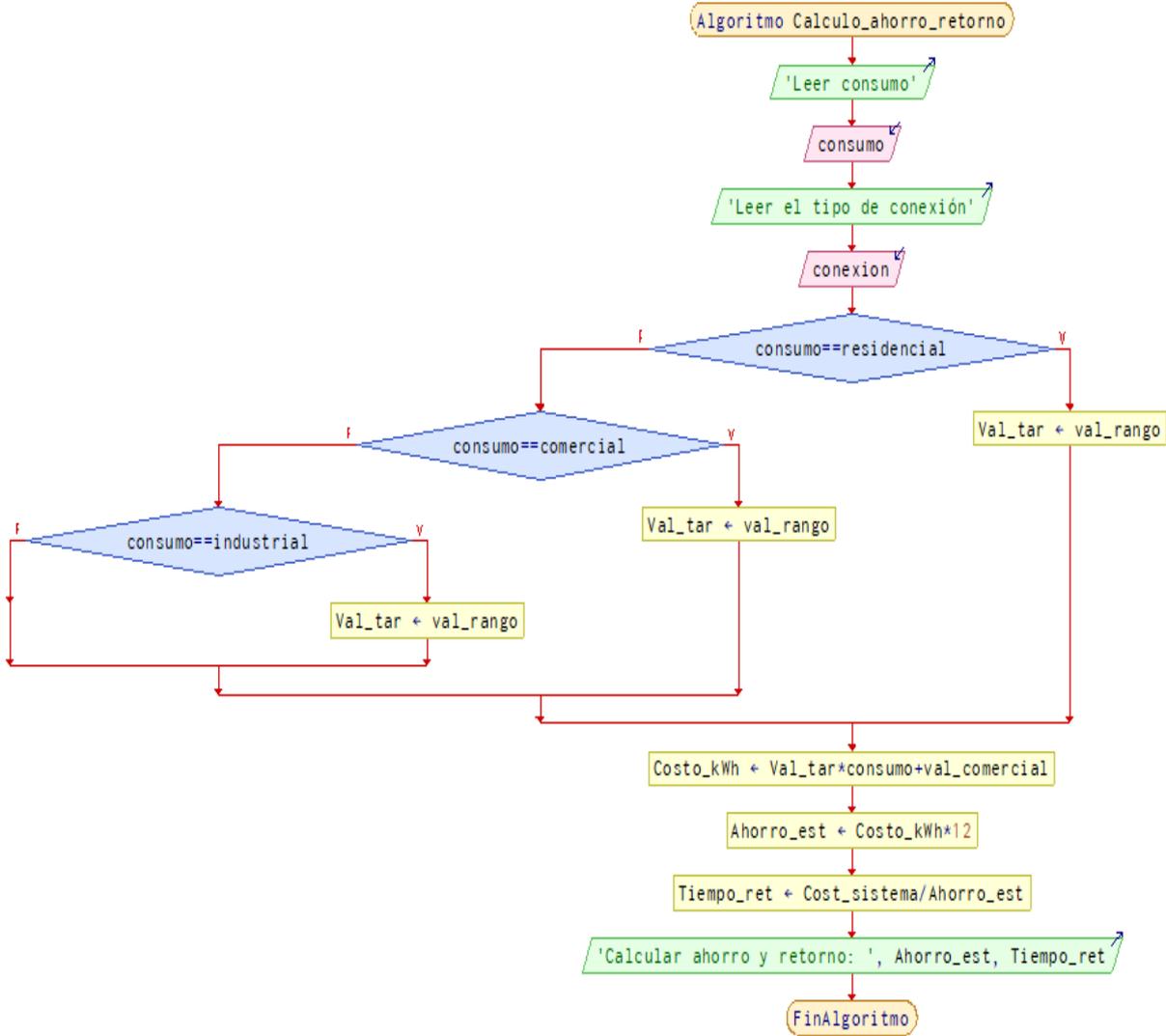
Figura 44.
Diagrama de flujo para el cálculo del rendimiento del sistema.



Nota: Elaboración Propia.

Para el cálculo del ahorro y retorno del sistema se utilizó el diagrama de la **Figura 45**, donde se especifica los valores y las condiciones que el sistema toma para realizar las diferentes operaciones.

Figura 45.
Diagrama de flujo para el cálculo del ahorro y retorno del sistema.

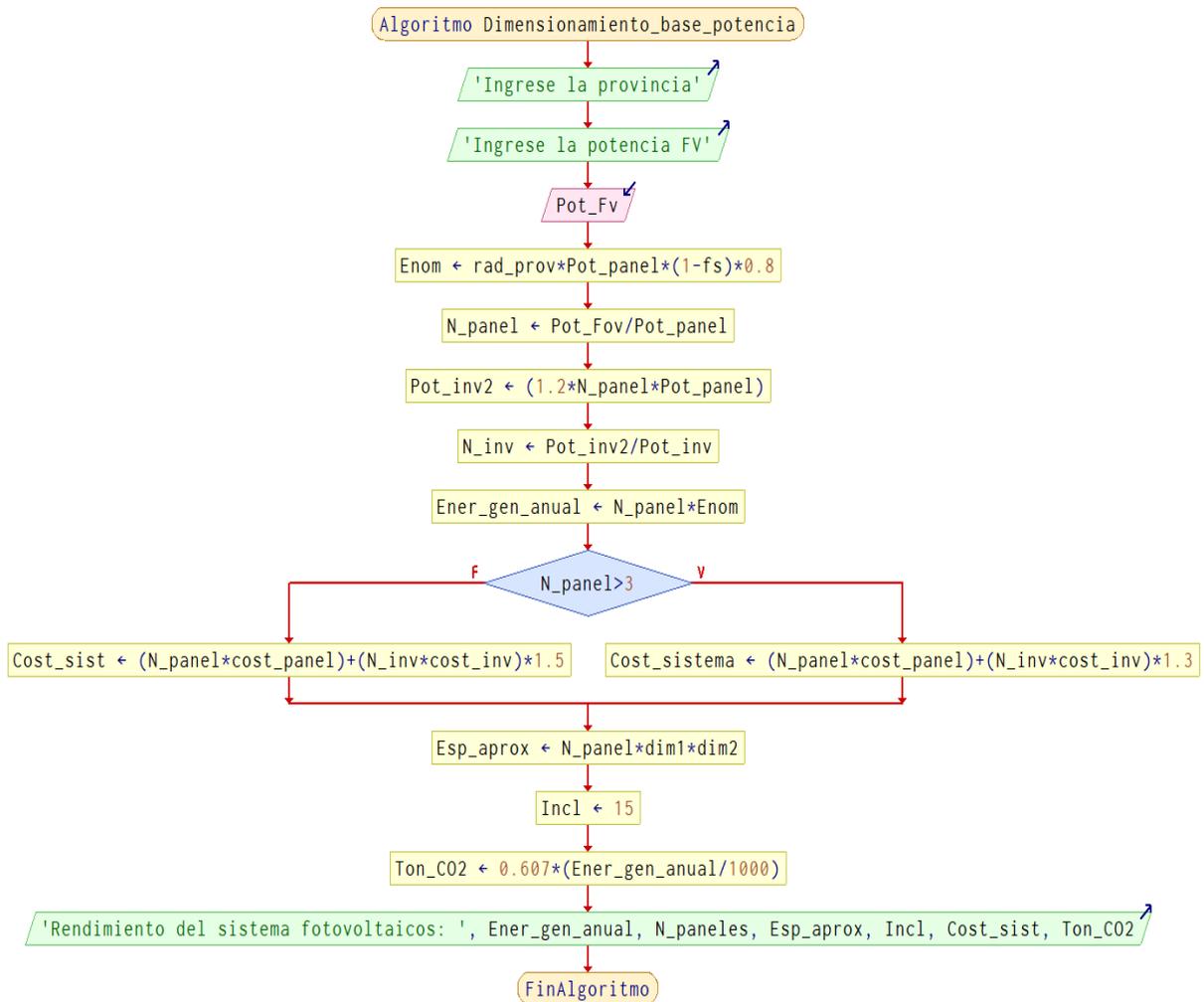


Nota: Elaboración Propia.

6.2.4.8 Programación del segundo simulador con respecto al cálculo en base a su potencia.

Para la programación de la página de dimensionamiento en función de la potencia del sistema, se ha utilizado el siguiente diagrama de flujo de la **Figura 46**. Donde nos especifican las variables utilizadas en el cálculo del dimensionamiento, y destaca que se emplean valores almacenados en la base de datos para realizar estos cálculos.

Figura 46.
 Diagrama de flujo para el cálculo del dimensionamiento del sistema en base a su potencia.



Nota: Elaboración Propia.

6.3 Evaluación del funcionamiento y contraste de resultados

6.3.1.1 Validación de la herramienta web con datos de simuladores web

Los datos para la validación de la herramienta son tomados de diferentes simuladores web, donde se realizó el cálculo para un consumo de 228 kWh, como se muestra en la **Tabla 14**, donde se puede evidenciar el porcentaje de diferencia que existe con cada una de las herramientas.

Tabla 14.

Datos tomados de las diferentes herramientas web, para la validación de la herramienta.

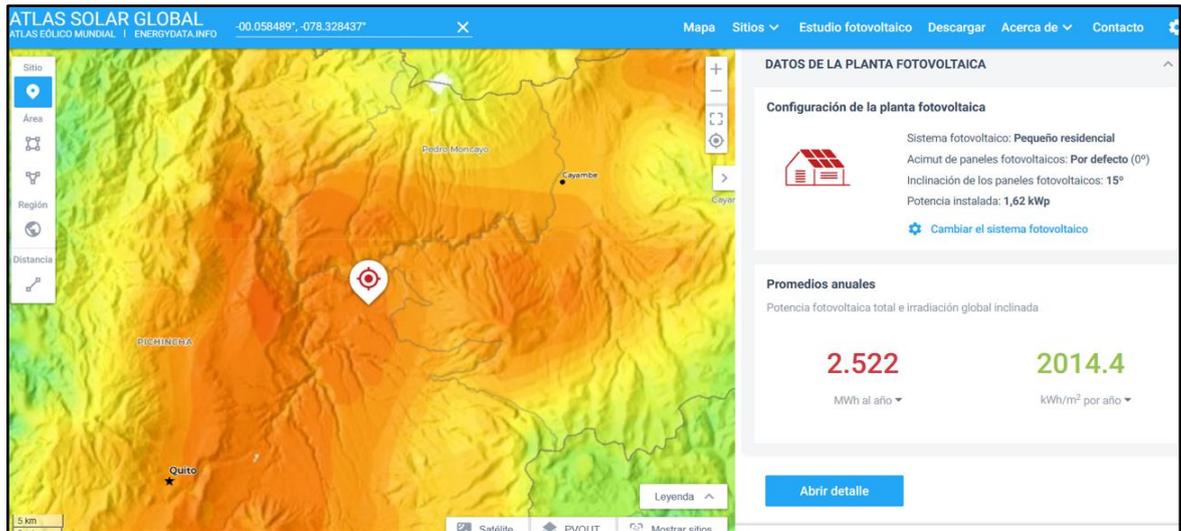
Provincias	Herramientas web		Diferencia entre los sistemas
	Global Solar Atlas kWh/año	Solecuador kWh/año	
Pichincha	2.522	2.850,56	11,52 %
	PVGIS		
Pichincha	2.432,49	2.850,56	14,66 %
	Global Solar Atlas kWh/año		
Guayaquil	3.046	3.126,78	2,58 %
	PVGIS kWh/año		
Guayaquil	3.034,41	3.126,78	2,071 %
	Global Solar Atlas kWh/año		
Pastaza	3.062	3.194,85	4,15 %
	PVGIS kWh/año		
Pastaza	3.037,32	3.194,85	9,93 %

Nota: En la tabla se evidencia una diferencia de entre el 2 % y el 14,66 % en la producción anual de energía solar fotovoltaica entre la herramienta web Solecuador y otras herramientas. Elaboración Propia.

El la **Figura 47** se puede visualizar el primer dato obtenido de la herramienta web Atlas Solar Global

Figura 47.

Datos obtenidos mediante la herramienta Global Solar Atlas para una potencia de 1,62 kWp, en la provincia de pichincha.

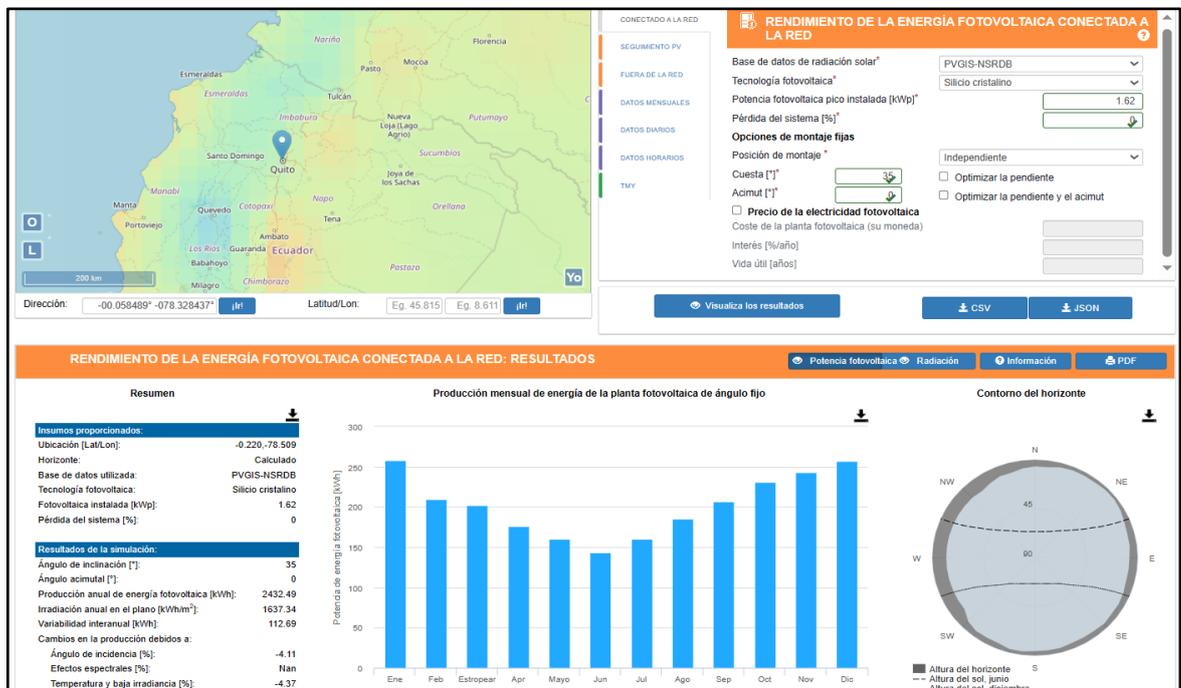


Nota: Imagen tomada de SOLARGIS, (2019).

La **Figura 48**, se detalla el valor obtenido con la herramienta PVGIS, donde nos especifica los valores de radiación y la producción fotovoltaica del sistema.

Figura 48.

Datos obtenidos mediante la herramienta PVGIS con una potencia de 1,62 kWp, en la provincia de pichincha.

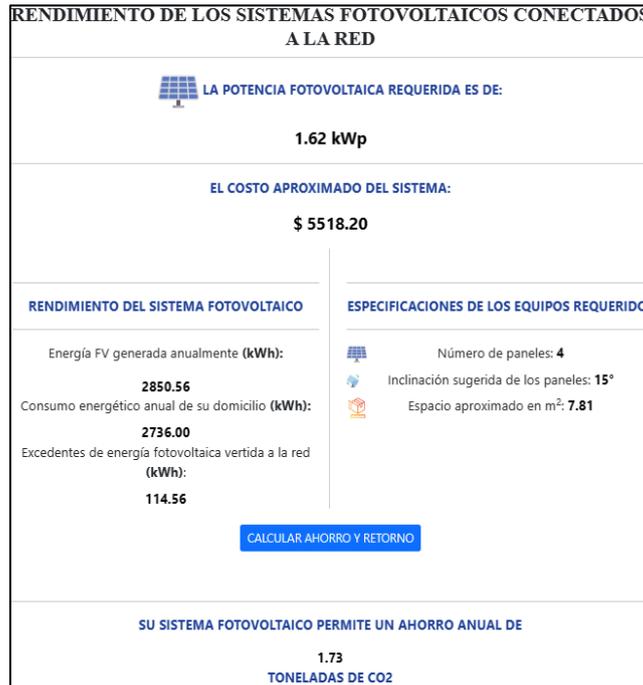


Nota: Imagen tomada de PVGIS, (2016).

En la **Figura 49**, se puede visualizar los resultados generados por la herramienta Web Solecuador, para una potencia de 1,62kWp.

Figura 49.

Datos obtenidos mediante la herramienta web Solecuador para una potencia de 1,62 kWp.



Nota: Elaboración Propia.

En la **Figura 50**, se llevó a cabo un proceso de simulación para un sistema de 2,43 kWp en las dos plataformas web. El objetivo fue validar los resultados obtenidos con los datos proporcionados por la herramienta web Solecuador.

Figura 50.

Datos obtenidos mediante las herramientas PVGIS y Global Atlas Solar para una potencia de 2,43 kWp.



Nota: Imagen tomada de PVGIS, (2016; SOLARGIS, (2019).

En la **Figura 51**, se llevó a cabo el proceso de simulación para un sistema de 2,43 kWp en la herramienta Solecuador.

Figura 51.

Datos obtenidos mediante la herramienta web Solecuador para una potencia de 2,43 kWp.



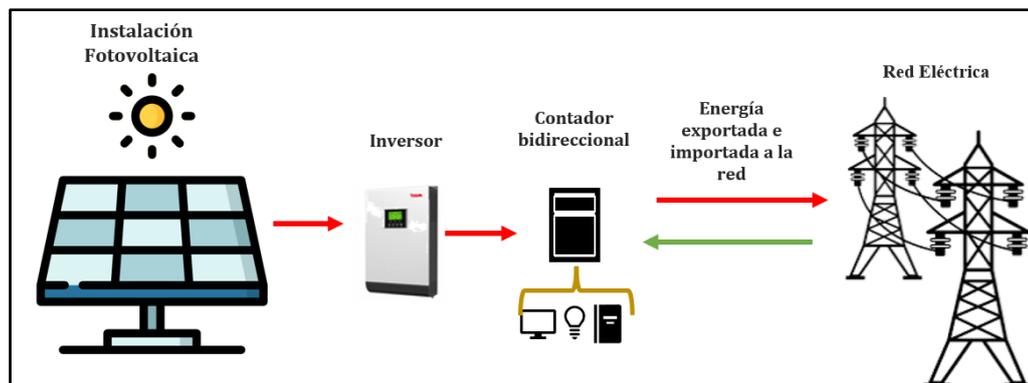
Nota: Elaboración Propia.

6.3.1.2 Validación de la herramienta web con datos reales.

Para validar la herramienta web, se utilizaron datos reales provenientes de tres estaciones operativas actualmente conectadas a la red eléctrica. La Estación 1 está ubicada en la ciudad de Manta, mientras que la estaciones 2 y 3 se encuentran en la ciudad de Quito. Las tres estaciones están en pleno funcionamiento y son monitoreadas mediante el sistema SolarWeb de la empresa "FRONIUS". En la **Figura 52**, se puede evidenciar como es la conexión de los sistemas fotovoltaicos instalados por la empresa FRONIUS.

Figura 52.

Conexión que realiza la empresa FRONIUS, al instalar un sistema fotovoltaico conectado a la red.



Nota: Elaboración Propia

En la **Tabla 15**, se detalla los valores proporcionados de la estación 1, ubicada en la ciudad de Manta, donde especifica que la potencia instalada del sistema fotovoltaico es de 8,25 kWp, además nos proporciona información sobre el consumo de la vivienda, la potencia fotovoltaica generada y el autoconsumo.

Tabla 15.

Datos de un sistema fotovoltaico implementado en la ciudad de Manta.

Estación 1		
Potencia Instalada (kWp)	Producción Fotovoltaica Anual (kWh/año)	Promedio de consumo anual (kWh/año)
8,25	12.549,56	26.258,03

Nota: Elaboración Propia.

En la **Figura 53**, se presentan los valores generados por la herramienta web Solecuador para una potencia de 8,25 kWp. Estos valores se utilizan para llevar a cabo la validación de la herramienta. Sin embargo, los resultados revelan una marcada discrepancia con respecto a la producción del sistema real.

Figura 53.

Datos proporcionados por la herramienta web Solecuador para una potencia de 8,25 kWp.



Nota: Elaboración Propia.

En la **Tabla 16**, se detalla los valores proporcionados de una vivienda ubicada en la ciudad de Quito, donde especifica que la potencia instalada del sistema fotovoltaico es de 5,23 kWp, además nos proporciona información sobre el consumo de la vivienda, la potencia fotovoltaica generada y el autoconsumo.

Tabla 16.

Datos de un sistema fotovoltaico implementado en la ciudad de Quito.

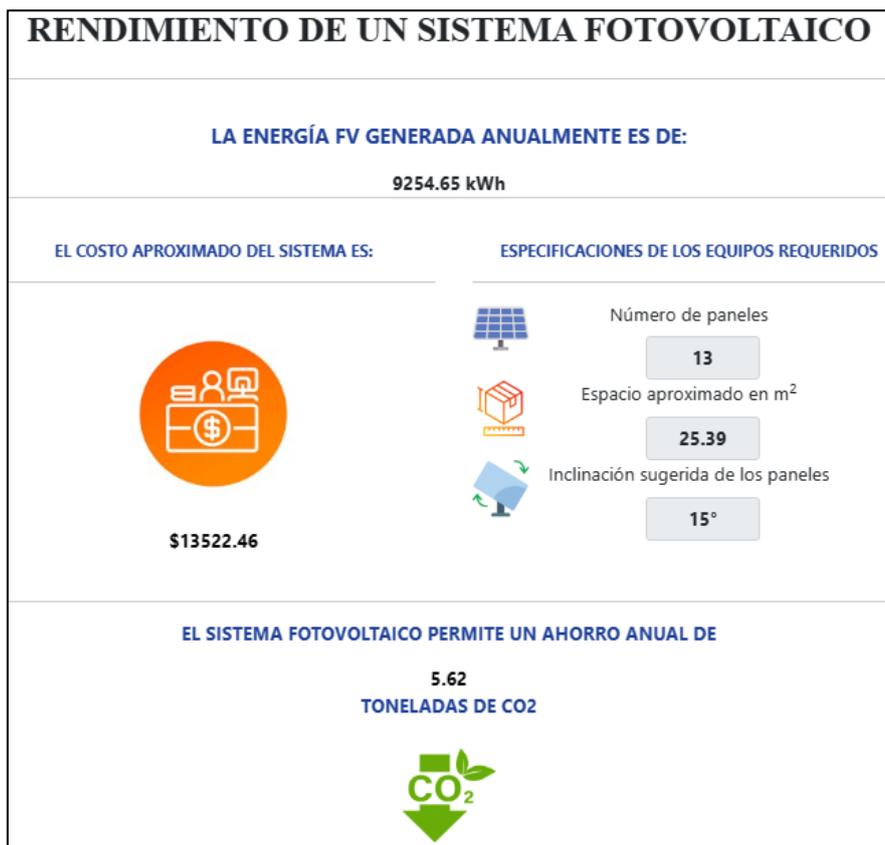
Estación 2		
Potencia Instalada (kWp)	Producción Fotovoltaica Anual (kWh/año)	Promedio de consumo anual (kWh/año)
5.23	7.766,57	22.438,85

Nota: Elaboración Propia.

En la **Figura 54**, se presentan los valores generados por la herramienta web Solecuador para una potencia de 5,23 kWp, los cuales son utilizados para llevar a cabo la validación de la herramienta. Sin embargo, se destaca una discrepancia notable, ya que la producción de energía estimada por la herramienta web "Solecuador" es considerablemente mayor en comparación con los datos reales del sistema.

Figura 54.

Datos proporcionados por la herramienta web Solecuador para una potencia de 5,23 kWp.



Nota: Elaboración Propia

En la **Tabla 17**, se detalla los valores proporcionados de una vivienda ubicada en la ciudad de Quito, donde especifica que la potencia instalada del sistema fotovoltaico es de 11,235 kWp, además nos proporciona información sobre el consumo de la vivienda, la potencia fotovoltaica generada y el autoconsumo.

Tabla 17.

Datos de un sistema fotovoltaico implementado en la ciudad de Quito.

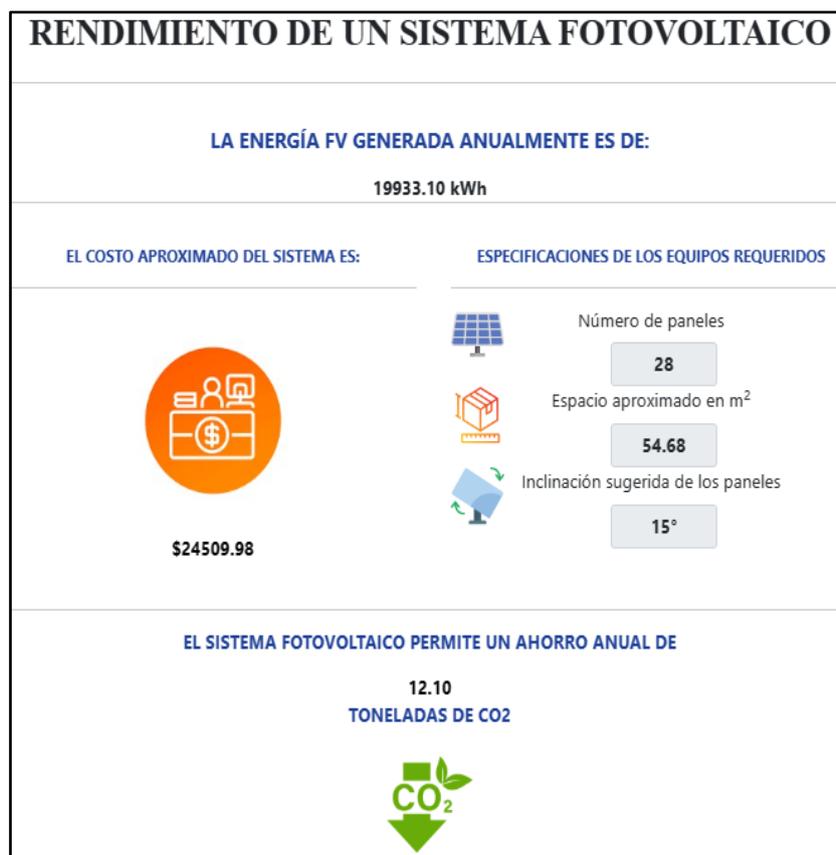
Estación 3		
Potencia Instalada (kWp)	Producción Fotovoltaica Anual (kWh/año)	Promedio de consumo anual (kWh/año)
11,235	15.719,89	18.846,28

Nota: Fuente: Elaboración Propia.

En la **Figura 55**, se presentan los valores generados por la herramienta web Solecuador para una potencia de 11,235 kWp, los cuales son utilizados para llevar a cabo la validación de la herramienta. Sin embargo, se puede evidenciar que los valores generados por la herramienta Web Solecuador es considerablemente mayor en comparación con los datos reales del sistema.

Figura 55.

Datos proporcionados por la herramienta web Solecuador para una potencia de 11,235 kWp.



Nota: Elaboración Propia

En la **Tabla 18**, se observa la comparación entre los datos obtenidos de los sistemas reales y los datos generados por la herramienta. Se destaca una marcada diferencia en los resultados, atribuible al hecho de que los valores de radiación utilizados por la herramienta provienen del periodo comprendido entre 2019 y 2020. Además, la herramienta no solo ofrece información sobre la energía generada, sino que también calcula las toneladas de CO₂ que podrían ser ahorradas mediante la instalación de los sistemas fotovoltaicos.

Tabla 18.

Comparación de los datos obtenidos para la validación de la herramienta web.

Casa	Consumo anual (kW)	Potencia Instalada kWp	Producción FV (kWh/año)	Producción Solecuador (kWh/año)	Diferencia entre los sistemas
Estación 1	26.258,03	8,25	12.549,56	11.696,90	6,79 %
Estación 2	22.438,85	5,23	7.766,57	9.254,65	16,07 %
Estación 3	18.846,28	11,235	15.719,89	19.933,10	21,13 %

Nota: En la tabla presentada, se observa claramente que existe una variación porcentual en la producción de energía fotovoltaica entre las instalaciones reales y la herramienta web Solecuador. Los resultados indican una diferencia que oscila entre el 6 % y el 20 % en los datos reales. Además, se destaca que, en las estaciones 2 y 3, la producción de energía calculada mediante la herramienta Solecuador supera a la registrada en los datos obtenidos en condiciones reales. Elaboración Propia.

7 Discusión

En la fase inicial del proyecto, se llevó a cabo una investigación exhaustiva en la búsqueda de información sobre la radiación solar y el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos. La revisión bibliográfica no se limitó a aspectos teóricos, sino también a técnicos y económicos, vinculados a la implementación de sistemas fotovoltaicos, analizando modelos de evaluación de costos, análisis de retorno de inversión. Además, se profundizó en la revisión de documentos, publicaciones, normativas vigentes en Ecuador que rigen su aplicación, las cuales se detallan en el *apartado 4.4.6* titulado "*Normativas para la instalación de sistemas fotovoltaicos en Ecuador*". El estudio exhaustivo sobre el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos y las normativas vigentes en Ecuador ha revelado una serie de aspectos positivos que pueden ser destacados. En primer lugar, se evidencia un impacto positivo en la independencia energética, ya que la implementación de sistemas fotovoltaicos permite a los usuarios generar su propia energía de manera sostenible, reduciendo la dependencia de fuentes convencionales. Adicionalmente, se subraya el papel fundamental de estos sistemas en la diversificación de la matriz energética del país, contribuyendo así a la creación de un panorama más equilibrado y sostenible. La notable reducción de emisiones de gases perjudiciales, con especial atención en la disminución del dióxido de carbono (CO₂), como resalta la investigación acerca de "Eficiencia de los sistemas fotovoltaicos y sus perturbaciones en el SEP" (Bautista-Sánchez, 2023), emerge como un beneficio ambiental central. Esta indagación profunda proporcionó una base sólida para el desarrollo de la herramienta web de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

Para alcanzar el objetivo de "**Investigar y analizar el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica**", se llevó a cabo una revisión bibliográfica detallada en el *apartado 4.3* titulado "*Descripción de un sistema solar fotovoltaico*", esta sección proporciona detalles acerca de los distintos elementos que componen un sistema fotovoltaico. Además, para el cumplimiento de este objetivo, se examinaron minuciosamente los patrones de radiación directa, difusa y global en diferentes ubicaciones geográficas. La radiación global, al ser la suma de las radiaciones directa y difusa, se destaca como el factor más crucial en el diseño de sistemas fotovoltaicos, ofreciendo una visión integral de la disponibilidad total de energía solar. Se reconoció el impacto significativo de estos patrones en la generación de energía fotovoltaica, lo que condujo a determinar la hora solar pico en Ecuador, estableciéndola en 4,2 kW, indicando que diariamente en promedio Ecuador recibe 4 horas de Sol. Así también, se recopiló información detallada sobre la radiación solar en varias partes del país. Esto se puede evidenciar en el *apartado 5.1.1*, donde se presenta la información obtenida,

son Quito, registrando 2.360,56 kW/m², seguida por Galápagos con 2.065,73 kW/m², Cotopaxi con 2.135,51 kW/m² y Loja con 1.974,33 kW/m², según los datos recabados durante el año 2022. Estos datos ofrecen una visión integral de la distribución de la radiación solar en diversas regiones de Ecuador y sientan las bases para comprender mejor el potencial de generación de energía fotovoltaica en cada ubicación.

Para cumplir con el segundo objetivo de "**Diseñar e implementar una herramienta web para simular sistemas fotovoltaicos con conexión a la red eléctrica y facilitar el análisis técnico y económico de estos sistemas**", se ha ejecutado un proceso de desarrollo exhaustivo. Durante la fase de diseño, se priorizó la creación de una experiencia de usuario inmersiva, con una interfaz meticulosamente diseñada para fomentar la participación activa y una navegación intuitiva. La implementación de la herramienta web se llevó a cabo utilizando WordPress, aprovechando su interfaz gráfica altamente interactiva, y el lenguaje de programación empleado fue PHP. La herramienta web resultante fue concebida para ser intuitiva y de fácil acceso, permitiendo a los usuarios realizar simulaciones detalladas de sistemas fotovoltaicos en diversos contextos geográficos. En cuanto a la implementación técnica, se enfocó en la integración de algoritmos precisos que modelan la generación de energía solar, considerando variables como el consumo eléctrico, la potencia del panel, la potencia del inversor, la potencia de los electrodomésticos, el costo de la energía, la orientación y la radiación solar existente que se encuentra en el *apartado 4.5*. Adicionalmente, la herramienta incorpora fórmulas específicas destinadas al análisis económico, incluyendo la evaluación de costos, el cálculo del retorno de inversión y las tarifas eléctricas. Este enfoque integral permite a los usuarios no solo visualizar el rendimiento técnico de los sistemas fotovoltaicos, sino también evaluar su viabilidad financiera. De esta manera, respalda un análisis completo y fundamentado de la implementación de estos sistemas en entornos conectados a la red eléctrica.

En relación con el tercer objetivo, que implica "**Contrastar estadísticamente los resultados con otros sistemas FV ya instalados**", se llevó a cabo un análisis comparativo detallado, conforme se describe en la sección 6.3 titulada "Evaluación del funcionamiento y contraste de resultados". La ejecución de este objetivo englobó la recopilación de datos de sistemas fotovoltaicos existentes con características similares, proporcionando así un marco de referencia pertinente para la comparación. Adicionalmente, se procedió a contrastar los resultados obtenidos con otras herramientas web reconocidas, como PVGIS (2022) y SOLARGIS (2019), ampliamente utilizadas en investigaciones como "Diseño de una planta solar fotovoltaica y la influencia de los datos climáticos en la producción de energía" (Reyna et

al., 2022), "Estimación de la irradiación solar y los ángulos de inclinación óptimos para superficies orientadas al sur en los Emiratos Árabes Unidos: un estudio de caso utilizando PVGIS y PVWatts" (Abdallah et al., 2022), "Evaluación de la generación de energía fotovoltaica para hogares en Surabaya mediante la simulación SolarGIS-pvPlanner" (Tarigan et al., 2014), y "Evaluación de alternativas de electrificación en países en vías de desarrollo: la herramienta SOLARGIS" (Monteiro et al., n.d.). Este enfoque permitió una evaluación más integral y estadísticamente significativa de los resultados generados por la herramienta desarrollada en comparación con sistemas similares y otras herramientas de referencia en el ámbito de la energía solar.

La aplicación de pruebas para evaluar la coherencia y precisión de los resultados generados reveló que los datos obtenidos han tenido un bajo porcentaje de variación que oscilan entre el 2,5 % y el 14,66 % en comparación con las herramientas web ya antes mencionadas. Además, al contrastar con los datos obtenidos de los sistemas fotovoltaicos reales, se identificó una diferencia significativa que varía desde el 6 % hasta el 21,13 %. Estos resultados indican que, en algunos casos, la producción de energía establecida por la herramienta web es menor en comparación con los datos reales, esta discrepancia en los resultados se puede atribuir a la variabilidad en los datos de radiación utilizados, los cuales fueron extraídos de años anteriores. Al comparar estos datos con información actual, se evidencia un aumento en la radiación solar, con algunos valores considerablemente más elevados en comparación con años previos. Este cambio en las condiciones ambientales puede generar discrepancias los resultados proporcionados por la herramienta web y la producción real de energía en los sistemas fotovoltaicos analizados. La validación de la herramienta web se llevó a cabo mediante la identificación de posibles desviaciones y ajustes necesarios en el modelo de simulación. En este proceso, se reconoció que la actualización de los datos de radiación solar con información proveniente de estaciones monitoreadas podría reducir significativamente el porcentaje de error, mejorando así la precisión de los resultados. Por esta razón, se configuró la herramienta para que estos datos puedan ser actualizados cuando se considere pertinente.

8 Conclusiones

- El dimensionamiento efectivo del sistema fotovoltaico se fundamenta en la consideración de diversos parámetros claves, como la radiación solar en la ubicación específica del sistema, la orientación y la inclinación de los paneles solares, así como, la eficiencia de los componentes. La evaluación integral, que incluye el consumo eléctrico como indicador directo de las necesidades energéticas, resulta crucial para definir el tamaño adecuado del sistema, requiriendo decisiones ponderadas sobre la capacidad del inversor, la potencia de los paneles y la capacidad de almacenamiento. Este enfoque favorece un dimensionamiento eficiente.
- La investigación resalta el potencial de los sistemas fotovoltaicos como fuente de energía sostenible y renovable. La revisión bibliográfica no se limitó únicamente a los aspectos teóricos, técnicos y económicos, sino que también abordó consideraciones ambientales fundamentales como el cálculo de la cantidad de CO₂ que se deja de emitir por el funcionamiento de estos sistemas, permitiendo alcanzar una implementación efectiva y sostenible.
- Las regulaciones que se han puesto en marcha promueven tecnologías limpias, renovables y la eficiencia energética, como se evidencia en la Ley Orgánica de Eficiencia Energética 2019 y regulaciones específicas como: ARCONEL 057/18, ARCERNNR 001/2021, Nro. ARCERNNR-004/23 y Nro. ARCERNNR-008/23. Estas normativas definen requisitos para la generación fotovoltaica, la conexión de sistemas de generación distribuida y almacenamiento de energía, buscando regular de manera efectiva el sector energético y avanzar hacia un sistema más moderno, eficiente y sostenible.
- La conjunción de la base de datos MySQL y la interfaz gráfica phpMyAdmin en el proceso de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos permite un enfoque integral y eficaz para la gestión de datos. Este componente esencial no solo garantiza la efectividad y eficiencia operativa, sino que también simplifica significativamente la interacción con las bases de datos, eliminando la dependencia de comandos de línea y facilitando la accesibilidad.
- Al contrastar los resultados de la herramienta web Solecuador con herramientas conocidas como PVGIS y SOLARGIS se evidenció una mínima variación en el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos. Por otro lado, en comparación a los datos de los sistemas fotovoltaicos en funcionamiento se verificó una mayor diferencia en los

resultados. Esta situación podría explicarse por los incrementos en la radiación solar que se han registrado en los últimos años. Por este motivo, se implementó la opción que permite al administrador de la herramienta actualizar de manera frecuente los datos de radiación solar por provincia.

- La relevancia del factor económico ha sido crucial en el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos, destacando los valores clave como el costo de la energía, el costo del sistema fotovoltaico y los gastos de instalación. La herramienta ha posibilitado un análisis económico integral, considerando los parámetros específicos del entorno ecuatoriano. Esta atención no solo ha optimizado la eficiencia técnica del sistema, sino que también, ha proporcionado una evaluación completa de la rentabilidad y viabilidad económica de la implementación de sistemas fotovoltaicos.
- La investigación destaca la importancia fundamental del componente técnico en la herramienta Web de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos, incorporando elementos clave como la radiación solar, potencia requerida, costo aproximado del sistema fotovoltaico, ahorro en emisiones de CO₂. Esta perspectiva técnica no solo permite mejorar la eficiencia en la captación de energía solar, sino también, actúa como un pilar sólido para la toma de decisiones fundamentadas en la implementación de estos sistemas en el Ecuador.

9 Recomendaciones

- Es crucial realizar actualizaciones regulares de los datos de radiación en la herramienta web Solecuador. La precisión y confiabilidad de esta herramienta web dependen directamente de la vigencia de los datos. Garantizar la revisión y actualización constante contribuirá a mantener la herramienta alineada con las condiciones climáticas cambiantes y proporcionará resultados más precisos a los usuarios.
- Es altamente aconsejable incorporar la herramienta desarrollada con plataformas ya existentes en el campo de la energía solar. Esto sería muy beneficioso, ya que permitiría que nuestra herramienta funcione de manera más fluida junto con sistemas que los usuarios de la industria ya conocen y utilizan.
- Se recomienda explorar la integración de capacidades de pronóstico a corto y largo plazo en la herramienta, proporcionando a los usuarios la capacidad de planificar y anticipar cambios en el rendimiento del sistema.
- Se sugiere encarecidamente que, con el fin de obtener un entendimiento exhaustivo de la herramienta, se realice una revisión minuciosa de la documentación asociada. Este material proporciona una descripción detallada de los cálculos y el funcionamiento del sistema fotovoltaico incorporado en la herramienta. La consulta de esta documentación se considera invaluable, ya que ofrece a los usuarios una visión comprensiva y precisa de todas las funciones disponibles, facilitando así su uso efectivo.
- Sería beneficioso considerar el desarrollo de una segunda versión de la herramienta que incluya la capacidad de dimensionar sistemas fotovoltaicos híbridos, los cuales integren energía solar con otras fuentes renovables, como la energía eólica o el almacenamiento de energía. Este aspecto podría ser abordado como parte de otro proyecto de investigación. Además, se sugiere la posibilidad de incorporar el dato de la degradación anual en la producción de energía de los paneles solares, y también explorar la integración de la herramienta de Google Maps para un análisis más preciso de la superficie disponible real.

10 Bibliografía

- Abella, M. (2015). Sistemas fotovoltaicos. 1–60.
- Abella, M. A., Sinuhé, L. P., Urbano, J., & Escudero, D. (2001). Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos ANEXO I. 1–73.
- Aguirre, J. (2018). Análisis de la matriz energética ecuatoriana y plan de desarrollo energético sostenible para la ciudad de Machala [Universidad Politécnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es>
- Almeida, W. (2015). Generación distribuida y su potencial aplicación en Ecuador. <https://revistaenergia.cenace.gob.ec>
- Álvarez, L., Neves, L., López, J., & Zambrano, S. (2017). Impacto de la generación distribuida en la red de distribución. <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec>
- ARCERNNR. (2021). Regulación Nro. ARCERNNR-001_2021.
- ARCERNNR. (2022a). Atlas del sector eléctrico Ecuatoriano.
- ARCERNNR. (2022b). Pliego Tarifario Servicio Público de Energía Eléctrica_ Año 2022.
- ARCERNNR. (2022c). Resolución ARCERNNR 010/2022.
- ARCERNNR. (2023a). REGULACIÓN NRO. ARCERNNR-004/23.
- ARCERNNR. (2023b). REGULACIÓN Nro. ARCERNNR-008/23. www.controlrecursosyenergia.gob.ec
- ARCONEL. (2018). Resolución NRO ARCONEL 057-18.
- Arenas Flórez, M., & Bastidas Rodríguez, J. D. (2022). Ingeniería y Desarrollo en la Nueva Era (Vol. 1). <https://doi.org/10.5281/zenodo.7381846>
- Arias, D., & Vela, H. (2015). Aplicación de la teoría del color y técnicas responsive Web Design en el desarrollo de aplicaciones Front-End. Universidad Cooperativa De Colombia.
- Asamblea Nacional República del Ecuador. (2019). Ley Orgánica de Eficiencia Energética (Patent Registro Oficial N° 449). www.registroficial.gob.ec
- Bárcena, A., & Bárcena, S. (2014). Aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica dentro de un proyecto de vivienda sustentable. <http://www.ptolomeo.unam>
- Bautista-Sánchez, J. V. (2023). Eficiencia de los sistemas fotovoltaicos y sus perturbaciones en el SEP. *Ibero-American Journal of Engineering & Technology Studies*, 3(1), 446–457. <https://doi.org/10.56183/iberotecs.v3i1.619>
- Brito, A. (2014). Diseño y construcción de un cuarto de secado de pintura electrostática para tableros eléctricos combinando energía renovable y no renovable. Escuela Politécnica Nacional.

- Buele, C., & Chazi, A. (2019). Modelación del sistema fotovoltaico conectado a la red Eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.
- Ceriz, A. (2010). Estudio de la confiabilidad de sistemas fotovoltaicos en el Ecuador y construcción de un generador solar a escala de energía eléctrica a 200W. [Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://201.159.223.180>
- Chiriboga, B., & Mondragón, J. (2011). Simulación Usando Labview de la Radiación Incidente sobre Superficies bajo Diferentes Condiciones Aplicando un Modelo de Irradiancia Solar Basado en Transmitancias. 1–6.
- Chiroque A, J., Nuñez N, C., & Palomino A, P. (2021). Diseño de un sistema fotovoltaico para línea de producción de productos Oftálmicos en la ciudad de Paita. UNIVERSIDAD Nacional de Piura.
- Collaguazo, S. (2019). Estimación de irradiancia solar basada en modelos paneles fotovoltaicos. [Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec>
- CONEIMERA. (2011). Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos. <https://upcommons.upc.edu>
- Cornejo Lalupú, H. (2013). Sistema solar fotovoltaico de conexión a red en el centro materno infantil de la universidad de Piura.
- Cotacachi C, W., & Sánchez M, H. (2018). Implementación de un sistema de generación híbrido eólico - solar en la hacienda Hospitalillo de la empresa NOVOPAN del Ecuador. Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Deleg, M. O., & Uguña, C. J. (2016). Análisis de la curva de demanda de potencia eléctrica de red debido a la incorporación de generación fotovoltaica en el edificio Cornelio Mercahn de la Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec>
- Delgado, G., & Orellana, M. (2015). Estimación de la radiación solar global diaria en el cantón Cuenca mediante la aplicación del modelo Bristow & Campbell. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.
- Domínguez, D. (2014). Autoconsumo en los sistemas fotovoltaicos. Universidad Carlos III de Madrid.
- Echegaray, R. C., Masabanda, M., Rodríguez, F., Toulkeridis, T., & Mato, F. (2018). Solar Energy Potential in Ecuador. International Conference on EDemocracy and EGovernment, ICEDEG 2018, 5, 1–6.
- Estándar IEC 870-5-102. (1996). Equipos y sistemas de telecontrol - Parte 5: Protocolos de transmisión - Sección 102: Norma complementaria para la transmisión de totales integrados en sistemas de energía eléctrica.

- ETRELA. (2019). Informe sobre energía solar. www.wearefactor.com
- Flores, J., & Vélez, A. (2022). Estrategias Para la Mejora Energética en Comunidades Rurales del Cantón Chone de la Provincia de Manabí, Ecuador. 8(1), 1–39. <https://doi.org/10.23857/dc.v8i1.2477>
- Forget, A. (2011). Manual técnico AF - solar FV VF 110617.
- Gil Álvarez, D. M. (2020). INGENIERÍA DE MÉTODOS PARA DESARROLLAR APLICACIONES WEB. Universidad de Carabobo .
- Gómez U, C. (2016). Cálculo y diseño de una instalación de baja temperatura para A.C.S y de la estructura soporte de captadores. <http://hdl.handle.net/10016/24319>
- Guerra G, R. (2021). Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo para la embarcación de descarga de anchoveta Chata DC-3. Universidad de Piura.
- Guevara, S., & Gil, J. (2016). Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico interconectado a red con soporte de almacenamiento en la Universidad Tecnológica de Pereira. [Universidad Tecnológica de Pereira Facultad de Tecnologías]. <https://repositorio.utp.edu.com>
- Hernández, R. (2017). Análisis de factibilidad para la instalación de un sistema de energía limpia mediante celdas fotovoltaicas para la alimentación eléctrica del edificio 4 en el ITSLV. CIATEQ.
- IDEAM, & UPME. (2017). Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia.
- Inguil, Á., & Espinoza, H. (2014). “Análisis, modelado y validación de un sistema fotovoltaico para el alumbrado vial de la avenida de las Américas.” Universidad Politécnica Salesiana “Sede Cuenca.”
- IRENA. (2021). Estadísticas de capacidad renovable 2021. www.irena.org
- Jacho Loachamin, W. G. (2014). Análisis y modelamiento del impacto de la radiación difusa en la generación eléctrica usando paneles solares fotovoltaicos policristalinos [Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito]. <https://dspace.ups.edu.ec>
- Jara Alvear, J. (2021). Potencial solar fotovoltaico del Ecuador. <https://www.centrosur.gob.ec>
- Keegan, D. P. (2021). Viabilidad económica de la implementación de energía fotovoltaica residencial en la isla San Cristóbal, Galápagos [Universidad San Francisco de Quito]. <http://bit.ly/COPETheses>.
- Khoo, Y. S., Nobre, A., Malhotra, R., Yang, D., Ruther, R., Reindl, T., & Aberle, A. G. (2014). Optimal orientation and tilt angle for maximizing in-plane solar irradiation for PV applications in Singapore. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 4(2), 647–653. <https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2013.2292743>

- Lamigueiro, O. P. (2013). Energía Solar Fotovoltaica. <https://www.researchgate.net>
- Loeza, F. A., Ramiro, C. R., & Tenorio, J. C. (2012). Metodología de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) para uso en luminarias del edificio 3 de la ESIME Zacatenco
Metodología de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) para uso en luminarias del edificio 3 de la ESIME Zacatenco.
- López Gutiérrez, G. (2017). Sistema eléctrico inteligente aplicado a sistemas fotovoltaicos. <http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm>.
- Louwen, A., & Van Sark, W. (2019). Photovoltaic solar energy. In *Technological Learning in the Transition to a Low-Carbon Energy System: Conceptual Issues, Empirical Findings, and Use*, in *Energy Modeling* (pp. 65–86). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818762-3.00005-4>
- Maingón, L. (2022). Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano.
- Marín, C. E. (1983). La energía solar fotovoltaica en España.
- Martínez, D. (2010). Instalación de paneles fotovoltaicos en BOSAL S.A. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza.
- Martínez Rubio, A. (2016). Energía solar fotovoltaica integrada en la edificación: modelizado y análisis del efecto del sombreado en la captación de irradiación [Universidad de la Rioja]. <https://dialnet.unirioja.es>
- MERNNR. (2020). Plan de ministerio de energía y recursos naturales no renovables. <https://www.rekursyenergia.gob.ec>
- Minera, F. (2008). Curso de programación PHP (Gradi S.A.).
- 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. <https://repositorio.uchile.cl>
- Mora Garzón, F. (2011). Estudio de factibilidad para la incorporación de un sistema solar fotovoltaico en el edificio RTV Ecuador. <https://bibdigital.epn.edu.ec>
- Muñoz Vizhñay, J. P., Rojas Moncayo, M. V., & Barreto Calle, C. R. (2018). Incentivo a la generación distribuida en el Ecuador. *Ingenius*, 19, 60–68. <https://doi.org/10.17163/ings.n19.2018.06>
- Nieto, J. (2016). “Desarrollo de una aplicación web, con Front-end y Back-end, para compraventa de segunda mano.” Universidad Politécnica de Valencia.
- Oña, E. C., & Suquillo, I. (2020). Simulación de un sistema de generación fotovoltaico aislado para zonas rurales del Ecuador. <https://bibdigital.epn.edu.ec>

- Ortega, S., & Canino, L. (2006). Protocolo de seguridad SSL. Protocolo de Seguridad SSL, 4–5.
- Otacoma, D., & Quinatoa, J. (2021). Estudio de un sistema solar fotovoltaico residencial conectado a la red para el sector de Saquisilí con la normativa del ARCONEL 003/18. Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Ouedraogo, B. I., Kouame, S., Azoumah, Y., & Yamegueu, D. (2015). Incentives for rural off grid electrification in Burkina Faso using LCOE. *Renewable Energy*, 78, 573–582. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.01.044>
- Pareja, M. (2010). Radiación solar y su aprovechamiento energético (Marcombo).
- Petros J, A., & Fylladitakis, E. (2012). Performance evaluation of small scale grid connected photovoltaic systems in Europe. 485.
- Plasencia, E., Matos, L., Posadas, A., & Cabrera, C. (2007). Estimación horaria de la irradiancia solar total extraterrestre. 10, 72–77.
- Prat Viñas, L. (2011). Dimensionado de sistemas fotovoltaicos. 1–123. <https://upcommons.upc.edu>
- PVGIS. (2016). European Commission. PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM.
- Quaschnig, V. (2016). *Understanding Renewable Energy Systems* (2nd ed.). Taylor & Francis.
- Renovaenergía S.A. (2023). Paneles solares fotovoltaicos y energía renovable. <https://www.renova-energia.com>
- Reyes Guerrero, N. J. (2018). Diseño de un sistema regenerativo de carga de baterías con paneles solares para un vehículo eléctrico KIA SOUL [Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]. <https://dspace.ups.edu.ec>
- Rivas, J. D. (2020). Implementación de un Sistema de Bombeo de Agua, Alimentado con Energía Solar en la Universidad de Córdoba - Colombia. 15, 1–16.
- Robalino Peñaloza, D. A. (2017). Diseño y simulación de un sistema fotovoltaico para la obtención de una certificación en la categoría de energía y atmósfera para la empresa SOLINFRA de la ciudad de Quito. Universidad Técnica Ambato.
- Rufes Martínez, P. (2010). *Energía Solar Térmica: Técnicas para su Aprovechamiento* (MARCOMBO, Vol. 4). <https://books.google.es>
- Salto Uzhca, Á. (2018). Análisis de factibilidad para el uso de la energía fotovoltaica aislada en sistemas de iluminación en la Comunidad Puntahacienda de Quingeo.
- Samaniego, E., & Ponce, J. (2021). *Fundamentos de seguridad informática* (Compás).

- Sánchez Guevara, S., & Franco Gil, J. (2016). Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico interconectado a red con soporte de almacenamiento en la Universidad Tecnológica de Pereira. <https://repositorio.utp.edu.com>
- Sánchez, L. (2015). Propuesta de una instalación solar fotovoltaica conectada a red para iluminación vial.
- SOLAR, P. (2014). O que é Energia Solar. 15.
- SOLARGIS. (2019). GLOBAL SOLAR ATLAS. The World Bank Group. <https://globalsolaratlas.info>
- Style, O. (2012). Energía Solar Autónoma: Planificación, dimensionado e instalación de un sistema fotovoltaico autónomo. (ITACA, Vol. 1).
- Tyagi, H., Agarwal, A. K., Chakraborty, P. R., & Powar, S. (2019). Introduction to Advances in Solar Energy Research (pp. 3–11). https://doi.org/10.1007/978-981-13-3302-6_1
- Universidad Politécnica Salesiana. (2020, May 7). Sede Cuenca se beneficia de la planta de energía solar fotovoltaica. <https://www.ups.edu.ec>
- Valdivia, J. (2016). Modelo de procesos para el desarrollo del front-end de aplicaciones web.
- Valdiviezo Salas, P. D. (2014). Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe>
- Vasconcelos, P., & Aguirre, M. O. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 74, pp. 590–601). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.081>
- Vasquez D, A. (2019). Dimensionamiento de un sistema eléctrico fotovoltaico aislado con PVSYST 6.7 en el centro poblado boca Chinganaza en Condorcanqui-Amazonas.
- Vega, K., Piedra, J., & Richmond-, G. (2019). Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos mediante una interfaz gráfica. *Revista Tecnología En Marcha*, 32, 1–13. <https://doi.org/10.18845/tm.v32i3.4480>
- Velasco, G. F., & Cabrera, E. (2009). Generación solar fotovoltaica dentro del esquema de generación distribuida para la provincia de Imbabura. 1–7.
- Villao Miranda, O. J., & Consuegra Mite, E. R. (2021). Dimensionamiento óptimo de un sistema fotovoltaico a través de herramientas computacionales en zonas aisladas. [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec>
- Zeman, M. (2012). Photovoltaic systems. <https://ocw.tudelft.nl>

11 Anexos

Anexo 1: Hoja de características del inversor Fronius Primo 3.8-1 208-240 Lite 4,210,064,801.

DATOS TÉCNICOS

DATOS DE ENTRADA	PRIMO 3.8-1	PRIMO 5.0-1	PRIMO 6.0-1	PRIMO 7.6-1	PRIMO 8.2-1
Potencia FV recomendada [kW]	3.0 - 6.0 kW	4.0 - 7.5 kW	4.8 - 9.3 kW	6.1 - 11.7 kW	6.6 - 12.7 kW
Corriente máxima de entrada utilizable (MPPT 1 / MPPT 2)	18 A / 18 A				
CD total máxima	36 A				
Aregle máximo de corriente de corto circuito (1.25 Inom) (MPPT 1/MPPT 2)	22.5 A / 22.5 A				
Rango de voltaje operacional	80 V* - 600 V				
Voltaje de entrada máximo	600 V				
Voltaje nominal de entrada	400 V			420 V	
Tamaño admisible de conductor de CD	AAWG 14 - AWG 6				
Rango de voltaje MPF	200 - 480 V	240 - 480 V		250 - 480 V	270 - 480 V
Número de MPPT	2				

* Conectando con el número de serie 26170960; tensión: 150 V

DATOS DE SALIDA	PRIMO 3.8-1	PRIMO 5.0-1	PRIMO 6.0-1	PRIMO 7.6-1	PRIMO 8.2-1
Potencia máxima de salida	208 3000 W	5000 W	6000 W	7600 W	7900 W
240 3000 W					8200 W
Corriente continua máxima de salida	208 18.3 A	24.0 A	28.8 A	36.5 A	38.0 A
240 15.8 A		20.8 A	25.0 A	31.7 A	34.2 A
Capacidad de interruptor de CA	208 25 A	30 A	40 A	50 A	50 A
240 20 A		30 A	35 A	40 A	45 A
Eficiencia máxima	96.7 %				
Eficiencia CCC	95.0 %	95.5 %		96.0 %	96.5 %
Tamaño admisible de conductor de CA	AWG 14 - AWG 6				
Generación a red (U _{ref})	208 / 240				
Frecuencia [f]	60 Hz				
Distorsión armónica total	< 5.0 %				
Factor de potencia (cos φ _{ref}) postdecaído	1 (ajustable en menú oculto 0.85 - 1 ind, cap)				

DATOS DE ENTRADA	PRIMO 10.0-1	PRIMO 11.4-1	PRIMO 12.5-1	PRIMO 15.0-1
Potencia FV recomendada [kW]	8.0 - 12.0 kW	9.1 - 13.7 kW	10.0 - 15.0 kW	12.0 - 18.0 kW
Corriente máxima de entrada utilizable (MPPT 1 / MPPT 2)	33.0 A / 18.0 A			
CD total máxima	51 A			
Aregle máximo de corriente de corto circuito (1.25 Inom) (MPPT 1/MPPT 2)	41.3 A / 22.5 A			
Rango de voltaje operacional	80 V - 600 V			
Voltaje de entrada máximo	600 V			
Voltaje nominal de entrada	415 V	420 V	425 V	440 V
Tamaño admisible de conductor de CD	AWG 14 - AWG 2 cobre doblado / trenzado / trenzado fino (AWG 10 cobre o AWG 8 aluminio para dispositivos protectores de sobrecorriente de hasta 60 A, de 61 a 100 A mínimo AWG 8 para cobre o AWG 6 aluminio debe ser usado), AWG 4 - AWG 2 cobre o aluminio con conductor de entrada opcional			
Rango de voltaje MPF	220 - 480 V	240 - 480 V	260 - 480 V	320 - 480 V
Número de MPPT	2			

DATOS DE SALIDA	PRIMO 10.0-1	PRIMO 11.4-1	PRIMO 12.5-1	PRIMO 15.0-1
Potencia máxima de salida	208 9995 W	11400 W	12500 W	13750 W
240 9995 W				15000 W
Corriente continua máxima de salida	208 48.1 A	47.5 A	60.1 A	66.1 A
240 41.6 A		54.8 A	52.1 A	62.5 A
Capacidad de interruptor de CA	208 70 A		70 A	80 A
240 60 A			35 A	40 A
Eficiencia máxima	96.7 %			
Eficiencia CCC	96.0 %			
Tamaño admisible de conductor de CA	AWG 10 - AWG 2 cobre doblado / trenzado / trenzado fino (AWG 10 cobre o AWG 8 aluminio para dispositivos protectores de sobrecorriente de hasta 60 A, de 61 a 100 A mínimo AWG 8 para cobre o AWG 6 aluminio debe ser usado), AWG 6 - AWG 2 cobre (doblado / trenzado) Cableado multi conducto es posible con AWG 12			
Generación a red (U _{ref})	208 / 240			
Frecuencia [f]	60 Hz			
Distorsión armónica total	< 2.5 %			
Factor de potencia (cos φ _{ref}) postdecaído	1 (ajustable en menú oculto 0.85 - 1 ind, cap)			

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

SOMOS TRES DIVISIONES CON UNA MISMA PASIÓN: SUPERAR LÍMITES.

/ No importa si se trata de tecnología de soldadura, energía fotovoltaica o tecnología de carga de baterías, nuestra exigencia está claramente definida: ser líder en innovación. Con nuestros más de 3,000 empleados en todo el mundo superamos los límites y nuestras más de 1,000 patentes concebidas son la mejor prueba. Otros se desarrollan paso a paso. Nosotros siempre damos saltos de gigante. Siempre ha sido así. El uso responsable de nuestros recursos constituye la base de nuestra actitud empresarial.

Para obtener información más detallada sobre todos los productos de Fronius y nuestros distribuidores y representantes en todo el mundo, visite www.fronius.com

Fronius México S.A. de C.V.
Fronius Monterrey
 Carretera Monterrey Saltillo 3279E
 66367 Santa Catarina, N.L.
 México
 Teléfono +52 81 8882 8200
ventas.mexico@fronius.com
www.fronius.mx

Fronius Puebla
 Calle 4 Fte. 2904, Col. Amor
 72140 Puebla, Puebla
 México
 Teléfono +52 222 268 7664
ventas.mexico@fronius.com

Fronius International GmbH
 Froniusplatz 1
 4600 Wels
 Austria
 Teléfono +43 7242 241-0
 Fax +43 7242 241-3940
sales@fronius.com
www.fronius.com

Frontis es un signo registrado de la empresa. Se prohíbe su reproducción. Se prohíbe su uso sin el consentimiento escrito de Fronius. © 2015 Fronius. Todos los derechos reservados.

104

Anexo 2: Hoja de características del panel Solar JINKO SOLAR Tiger Pro JKM405M-54HL4-V.

Engineering Drawings

Front Side Back

Length: 42mm

Width: 42mm

Height: 4mm

Base Pitch: 42mm

Electrical Performance & Temperature Dependence

Current-Voltage & Power-Voltage Curves (NOCT)

Voltage (V)

Temperature Dependence of I_{sc} , V_{oc} , P_{max}

Cell Temperature (°C)

Packaging Configuration

(Two panels = One stack.)

Stacks/pallets: 72pcs/stack, 702pcs/40HQ Container

Mechanical Characteristics

Cell Type	P type Mono-crystalline
No. of cells	108 (2x54)
Dimensions	1722*1134*30mm (67.80*44.65*1.18 inch)
Weight	22.0 kg (48.30 lbs)
Front Glass	3.2mm Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminum Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	UV 1x4.0mm (+), 4.0mm, (-) 2.0mm or Customized length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM395M-54HL4		JKM405M-54HL4		JKM415M-54HL4		JKM425M-54HL4		JKM435M-54HL4		JKM445M-54HL4	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (P _{max})	315Wp	294Wp	400Wp	298Wp	405Wp	301Wp	410Wp	305Wp	415Wp	309Wp	415Wp	309Wp
Maximum Power Voltage (V _{mp})	30.52V	28.26V	30.42V	28.42V	30.52V	28.56V	30.62V	28.72V	30.79V	28.88V	30.79V	28.88V
Maximum Power Current (I _{mp})	13.03A	10.40A	13.15A	10.47A	13.27A	10.55A	13.39A	10.62A	13.48A	10.69A	13.48A	10.69A
Open-circuit Voltage (V _{oc})	54.90V	54.63V	54.76V	54.90V	57.06V	54.98V	57.34V	55.05V	57.31V	55.21V	57.31V	55.21V
Short-circuit Current (I _{sc})	13.71A	11.07A	13.76A	11.13A	13.85A	11.19A	13.92A	11.24A	14.01A	11.32A	14.01A	11.32A
Module Efficiency STC (%)	20.2%		20.4%		20.7%		21.0%		21.2%		21.2%	
Operating temperature(°C)	-40°C~+85°C											
Maximum system voltage	1000V/1500VDC (IEC)											
Maximum series fuse rating	25A											
Power tolerance	0~+3%											
Temperature coefficient of P _{max}	-0.33%/°C											
Temperature coefficient of V _{oc}	-0.28%/°C											
Temperature coefficient of I _{sc}	0.048%/°C											
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45°C											

STC: Irradiance 1000W/m² Cell Temperature 25°C

NOCT: Irradiance 800W/m² Ambient Temperature 20°C

AM=1.5 Wind Speed 1m/s

©2020 Jinko Solar Co., Ltd. All rights reserved.
 Specifications included in this datasheet are subject to change without notice. JKM395-415M-54HL4-(V)-F2.1-EN



https://drive.google.com/drive/folders/1wS8X7iFnuE1qObqlpuOeCVKkEZPt9Egl?usp=drive_link

Anexo 4: Certificado de traducción del resumen.

Yo, SAULA ALEXANDRA ORDOÑEZ ÁVILA, profesional del IDIOMA INGLÉS, a petición verbal del interesado.

CERTIFICO:

Que la traducción del resumen de la tesis titulada como “**HERRAMIENTA WEB PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED EN EL ECUADOR**” presentada por la SRTA. ANDREA STEFANIA ENRIQUEZ CARAGUAY, con número de cédula No.1104115314, esta correctamente realizada.

Es todo en cuanto puedo certificar, pudiendo hacer uso del presente documento para los fines pertinentes

Loja, 14 de febrero de 2024.

Atentamente;



Lic. Saula Alexandra Ordóñez Á.

Número de Registro: 1031-2021-2371529