



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNOLÓGICA Y ECONÓMICA
DE LA INTEGRACIÓN DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA Y
VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SEGÚN UN ESCENARIO
RESIDENCIAL PROMEDIO Y SITUACIÓN ENERGÉTICA DEL
ECUADOR

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTOR:

BRAULIO PAUL BALSECA DAHUA

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNOLÓGICA Y ECONÓMICA
DE LA INTEGRACIÓN DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA Y
VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SEGÚN UN ESCENARIO
RESIDENCIAL PROMEDIO Y SITUACIÓN ENERGÉTICA DEL
ECUADOR”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTOR: BRAULIO PAUL BALSECA DAHUA

DIRECTOR: ING. JORGE HERNÁNDEZ, PhD

Riobamba – Ecuador

2023

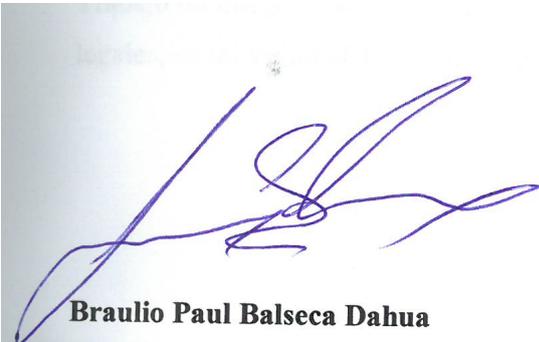
©2023, Braulio Paul Balseca Dahua

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Braulio Paul Balseca Dahua declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

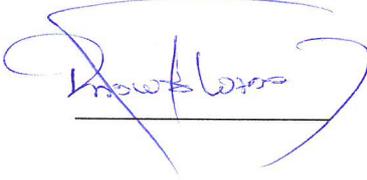
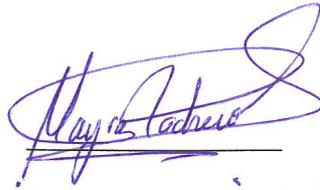
Riobamba, 31 de octubre de 2023



Braulio Paul Balseca Dahua
1727285759

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, “**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNOLÓGICA Y ECONÓMICA DE LA INTEGRACIÓN DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA Y VEHÍCULOS ELÉCTRICOS SEGÚN UN ESCENARIO RESIDENCIAL PROMEDIO Y SITUACIÓN ENERGÉTICA DEL ECUADOR**”, realizado por el señor: **BRAULIO PAUL BALSECA DAHUA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Pablo Eduardo Lozada Yáñez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-10-31
Ing. Jorge Luis Hernández Ambato PhD DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-10-31
Ing. Mayra Alejandra Pacheco Cunduri ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-10-31

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mi familia por siempre guiar mis pasos y ayudarme en cada momento de vida al estar conmigo en cada logro o problema que se me ha presentado; En especial a mi padre y madre quienes son el pilar de mi vida y sin ellos y el inmenso amor que me tienen nada sería posible al igual que a Sheyla B. quien con sus palabras de motivación diarias me han ayudado a enfocarme en culminar esta meta, a mi novia Nayelli Y. quien ha estado presente en este proceso de desarrollo, en memoria de Katherine, mi profesor Freddy y mis abuelitos, Telmo y Mónica.

Braulio

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme ser parte de esta gran institución como la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo la cual me ha permitido formarme en conocimiento valores y amistades que son únicos en la vida, de igual forma quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres, hermanos, amigos muy cercanos como, Johnny, Alexis, Ximenita y especialmente a Kerly Vaca por ser parte esencial de mi vida y por su apoyo inquebrantable durante todo el proceso de completar esta tesis. Su aliento motivación y guía han sido invaluable y me han ayudado a alcanzar este hito. Gracias por creer en mí, animarme y estar ahí para mí en cada paso del camino y gracias a mí por creer en mí.

Braulio

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN.....	xix
SUMMARY / ABSTRACT.....	xx
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Sistematización del problema.....	3
1.3 Justificación teórica	3
1.4 Justificación aplicativa	6
1.5 Objetivos	8
1.6 Metodología	8
CAPÍTULO II	
2. MARCO TEÓRICO	10
2.1 Normativas de construcción en Ecuador	10
2.2 Características y tipos de viviendas promedio en Ecuador	11
2.3 Factor socioeconómico en Ecuador	14
2.4 Vehículos eléctricos EV	16
2.5 EV homologados en Ecuador	18
2.6 Tarifas de consumo energético en Ecuador para EV.....	21
2.7 Sistema de carga vehicular	26
2.7.1 Sistemas bidireccionales	27
2.8 Demanda eléctrica nacional	29
2.8.1 Proyección de la demanda eléctrica nacional	30
2.9 Participación y evolución de la demanda por grupo de consumo.....	31
2.10 Mapa solar de Ecuador.....	32
2.11 Sistema de conversión fotovoltaica DC/AC	34
2.11.1 Algoritmo MPPT.....	34
2.12 Paneles fotovoltaicos	35
2.13 Sistema de conversión energético DC-AC.....	37

2.14	Optimización por enjambre de partículas para dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos	38
2.15	Función objetivo.....	40
2.16	Método de Brown y Gibson.....	41
CAPÍTULO III		
3.	MARCO METODOLÓGICO.....	42
3.1	Requerimientos para la integración de generación fotovoltaica y EV's	42
3.2	Concepción de la arquitectura general del sistema.....	43
3.3	Área de edificación por provincia en el Ecuador	44
3.4	Capacidad de adquisición de un sistema EV en función del nivel socioeconómico 46	
3.5	Perfiles de consumo energético promedio.....	49
3.6	Perfiles de generación fotovoltaico	52
3.6.1	Base de datos solar para las provincias seleccionadas	55
3.7	Perfiles de conducción	58
3.7.1	Vehículos análogos de combustión en la condición de rendimiento de los 520 km y precio tipo SUV	59
3.8	Parámetros de la función objetivo	65
3.8.1	Modelo matemático del sistema fotovoltaico	65
3.8.2	Tipificación de los paneles fotovoltaicos a emplear.....	66
3.9	Simulación del dimensionamiento para la optimización por enjambre de partículas para determinar el número de paneles requerido en el sistema PV	68
CAPÍTULO IV		
4.	RESULTADOS.....	70
4.1	Consideraciones generales.....	70
4.2	Factibilidad tecnológica.....	70
4.3	Evaluación económica del sistema fotovoltaico	72
4.4	Evaluación económica de la compra del EV Skywell ET5	75
4.5	Factibilidad de escenario dual propuesto	81
4.5.1	Escenario #1 – Guayas.....	82
4.5.2	Escenario #2 – Carchi	88
4.5.3	Escenario #3 – Sucumbíos	93
4.5.4	Escenario #4 – Puerto Baquerizo Moreno	98
4.6	Evaluación total del escenario dual	103
	Conclusiones.....	106
	Recomendaciones	108

BIBLIOGRAFÍA.....	109
5. Trabajos citados	109
ANEXOS.....	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Promedio de construcción por regiones.....	13
Tabla 2-2: Características de construcción promedio en Ecuador.....	14
Tabla 3-2: Vehículos homologados en Ecuador, autonomía y precio.....	20
Tabla 4-2: Pliego tarifario para el servicio de carga eléctrica.	23
Tabla 5-2: Tabla de costos para servicio de carga por EV homologados en el país.....	24
Tabla 6-2: Desviación de demanda energética de generación año 2018.....	30
Tabla 1-3: Área de edificación de provincias seleccionadas.....	46
Tabla 2-3: Modelos de EV´s más vendidos a abril de 2023.....	46
Tabla 3-3: Características de consideración para un EV.....	47
Tabla 4-3: Partición de gastos para el nivel A.....	48
Tabla 5-3: Partición de gastos para el nivel B.....	48
Tabla 6-3: Perfil de consumo energético promedio.....	51
Tabla 7-3: Perfil de irradiación para el periodo 2017 – 2021.....	56
Tabla 8-3: Especificaciones generales de energía, EV Skywell ET5.....	58
Tabla 9-3: Equipo motopropulsor, EV Skywell ET5.....	59
Tabla 10-3: Sistemas emisores de corriente alterna.....	59
Tabla 11-3: Especificaciones técnicas Chevrolet Captiva Turbo.....	60
Tabla 12-3: Indicador KVR para vehículos particulares.....	61
Tabla 13-3: Comparativa de kilometraje de alcance por cada vehículo en función de sus costos.	65
Tabla 14-3: Características del panel 1, EM550-PH a emplear.....	66
Tabla 15-3: Características del panel 2, JAM72S30-550/MR a emplear.....	67
Tabla 1-4: Detalle de elementos requeridos en el escenario Dual, con su comercializadora y existencia.....	71
Tabla 2-4: Obtención de los valores recíproco y relativo a partir de los factores objetivos en función de los costos.....	73
Tabla 3-4: Obtención del peso a partir de los factores subjetivos en función de los costos....	73

Tabla 4-4: Obtención de las calificaciones por cada costo para cada tecnología.....	74
Tabla 5-4: Obtención de los valores subjetivos a cada modelo.....	74
Tabla 6-4: Obtención de los valores recíproco y relativo a partir de los factores objetivos en función de los costos.....	79
Tabla 7-4: Obtención del peso a partir de los factores subjetivos en función de los costos....	79
Tabla 8-4: Obtención de las calificaciones por cada costo para cada tecnología.....	80
Tabla 9-4: Obtención de los valores subjetivos a cada modelo.....	80
Tabla 10-4: Perfiles de consumo y conducción, demanda requerida por día.....	81
Tabla 11-4: Parámetros del algoritmo y del escenario en simulink, escenario #1.....	82
Tabla 12-4: Resultados del escenario #1, prueba #1 en configuración de la tabla 11-4.....	84
Tabla 13-4: Resultados del escenario #1, prueba #2 en configuración de la tabla 11-4.....	85
Tabla 14-4: Resultados del escenario #1, prueba #3 en configuración de la tabla 11-4.....	86
Tabla 15-4: Resultados del escenario #1, prueba #4 en configuración de la tabla 11-4.....	86
Tabla 16-4: Resultados del escenario #1, prueba #5 en configuración de la tabla 11-4.....	87
Tabla 17-4: Parámetros del algoritmo y del escenario en simulink, escenario #2.....	88
Tabla 18-4: Resultados del escenario #2, prueba #1 en configuración de la tabla 17-4.....	89
Tabla 19-4: Resultados del escenario #2, prueba #2 en configuración de la tabla 17-4.....	90
Tabla 20-4: Resultados del escenario #2, prueba #3 en configuración de la tabla 17-4.....	90
Tabla 21-4: Resultados del escenario #2, prueba #4 en configuración de la tabla 17-4.....	91
Tabla 22-4: Resultados del escenario #2, prueba #5 en configuración de la tabla 17-4.....	92
Tabla 23-4: Parámetros del algoritmo y del escenario en simulink, escenario #3.....	93
Tabla 24-4: Resultados del escenario #3, prueba #1 en configuración de la tabla 23-4.....	94
Tabla 25-4: Resultados del escenario #3, prueba #2 en configuración de la tabla 23-4.....	94
Tabla 26-4: Resultados del escenario #3, prueba #3 en configuración de la tabla 23-4.....	95
Tabla 27-4: Resultados del escenario #3, prueba #4 en configuración de la tabla 23-4.....	96
Tabla 28-4: Resultados del escenario #3, prueba #5 en configuración de la tabla 23-4.....	97
Tabla 29-4: Parámetros del algoritmo y del escenario en simulink, escenario #4.....	98
Tabla 30-4: Resultados del escenario #4, prueba #1 en configuración de la tabla 29-4.....	99
Tabla 31-4: Resultados del escenario #4, prueba #2 en configuración de la tabla 29-4.....	99

Tabla 32-4: Resultados del escenario #4, prueba #3 en configuración de la tabla 29-4.....	100
Tabla 33-4: Resultados del escenario #4, prueba #4 en configuración de la tabla 29-4.....	101
Tabla 34-4: Resultados del escenario #4, prueba #5 en configuración de la tabla 29-4.....	102
Tabla 35-4: Resultados del ahorro de las 5 pruebas de los 4 escenarios planteados.	104

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1: Ventas históricas de vehículos enero 2020 - mayo 2022.	6
Ilustración 2-1: Representación mediante simulación de tres escenarios con la capacidad de integrar un EV a la red eléctrica a través de tecnología que implementen convertidores bidireccionales. A) soportado por generación alternativa, B) conexión única a la red eléctrica y C) ambiente dual tanto con generación alternativa como de la red eléctrica.	7
Ilustración 1-2: Promedio del área de construcción por viviendas y provincias en m ²	12
Ilustración 2-2: Participación según el uso de las edificaciones a construir.	12
Ilustración 3-2: Porcentaje de edificaciones a construir según el material de construcción por etapas de la obra.	13
Ilustración 4-2: Ficha técnica de la muestra a evaluar.	14
Ilustración 5-2: Nivel socioeconómico agregado.	15
Ilustración 6-2: Elementos que conforman un EV.	17
Ilustración 8-2: Flujo de energía de un EV.	18
Ilustración 9-2: Ventas de autos eléctricos en el Ecuador.	19
Ilustración 10-2: Proyección polinomial de grado 3 con tendencia a ventas en 2023.	20
Ilustración 11-2: Sistema de carga para un EV.	26
Ilustración 12-2: Sistema bidireccional, carga vehicular a partir de la red e inyección de carga a la red a partir de la batería de un EV.	27
Ilustración 13-2: Esquema del funcionamiento del sistema de carga bidireccional V2H.	28
Ilustración 14-2: Esquema del funcionamiento del sistema de carga bidireccional V2G.	28
Ilustración 15-2: Evolución de la demanda nacional de energía eléctrica.	29
Ilustración 16-2: Modelo de proyección de la demanda eléctrica.	31
Ilustración 17-2: Comparación en la participación de la demanda de energía de los grupos de consumo años 2008 y 2018.	31
Ilustración 18-2: Energía facturada por grupo de consumo 2008 –2018.	32
Ilustración 19-2: Mapa solar del Ecuador - Atlas de Insolación.	33
Ilustración 20-2: Proceso de conversión DC/AC a partir de celdas fotovoltaicas.	34

Ilustración 21-2: Algoritmo de P&O básico.	35
Ilustración 22-2: Constitución de un panel solar.	36
Ilustración 23-2: Diagrama de bloques de un convertidor DC-AC.	37
Ilustración 1-3: Arquitectura general del sistema a estudiar.	44
Ilustración 2-3: Área de edificación promedio en el territorio ecuatoriano en m ²	45
Ilustración 3-3: Evolución histórica y proyección de usuarios del sector residencial.	50
Ilustración 4-3: Evolución histórica y proyección del consumo del sector residencial.	50
Ilustración 5-3: Evolución histórica y proyección del consumo promedio por usuario residencial.	51
Ilustración 6-3: Mapa del potencial eléctrico fotovoltaico de Ecuador.	52
Ilustración 7-3: Promedio de largo plazo del PEF, periodo 1999-2018, región Costa.	53
Ilustración 8-3: Promedio de largo plazo del PEF, periodo 1999-2018, región Sierra.	53
Ilustración 9-3: Promedio de largo plazo del PEF, periodo 1999-2018, región Oriente.	54
Ilustración 10-3: Promedio de largo plazo del PEF, periodo 1999-2018, región Insular.	54
Ilustración 11-3: Cantidad total de radiación en W/m ² por mes - base solar de la NASA, región costa, provincia del Guayas.	55
Ilustración 12-3: Código PSO para la obtención del número de paneles a requerir.	68
Ilustración 13-3: Algoritmo PSO para obtener el número de paneles PV en serie y paralelo.	69
Ilustración 1-4: Escenario de simulación, con un array de 5x5 de PV, modelo Tenste EM550-PH, conectado a la Red eléctrica y carga a la batería del EV Skywell ET5.	71
Ilustración 2-4: Algoritmo PSO, restricción 114m ² como área máxima, escenario #1, prueba #1.	82
Ilustración 3-4: Curva de potencia del comportamiento del array PV en configuración 5x4.	83
Ilustración 4-4: Configuración del array PV en configuración 5x4 y parámetros del Panel EM550-PH.	83
Ilustración 5-4: Escenario de simulación dual, generación PV y alimentación de la red eléctrica, con salida en común a un bus DC/AC para carga de un EV.	84
Ilustración 6-4: Gráfica resultante del sistema PV, donde se visualiza la irradiación, temperatura del panel, potencia máxima, voltaje pico de salida y ciclo de trabajo del regulador de carga.	84

Ilustración 7-4: Algoritmo PSO en configuración del escenario #1, con 5 pruebas resultantes de configuración del array PV.	88
Ilustración 8-4: Algoritmo PSO en configuración del escenario #2, con 5 pruebas resultantes de configuración del array PV.	93
Ilustración 9-4: Algoritmo PSO en configuración del escenario #3, con 5 pruebas resultantes de configuración del array PV.	98
Ilustración 10-4: Algoritmo PSO en configuración del escenario #4, con 5 pruebas resultantes de configuración del array PV.	103
Ilustración 11-4: Algoritmo para el cálculo de P utilizando una tabla de distribución de chi-cuadrado.....	104

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A:** Áreas de edificación por provincia
- Anexo B:** Código Matlab PAR total – Guayas
- Anexo C:** Código Matlab PAR total – Carchi
- Anexo D:** Código Matlab PAR total – Sucumbíos
- Anexo E:** Código Matlab PAR total – Puerto Baquerizo Moreno
- Anexo F:** Cantidad total de radiación en w/m² por mes - base solar de la nasa, provincia del Guayas
- Anexo G:** Cantidad total de radiación en w/m² por mes - base solar de la nasa, provincia del Carchi
- Anexo H:** Cantidad total de radiación en w/m² por mes - base solar de la nasa, provincia del Sucumbíos
- Anexo I:** Cantidad total de radiación en w/m² por mes - base solar de la nasa, provincia del Puerto Baquerizo Moreno
- Anexo J:** Ficha técnica vehículos a combustión Chevrolet captiva y D-Max
- Anexo K:** Ficha técnica del panel fotovoltaico marca ja solar-jam72s30-550/MR y TENSTE modelo EM550-PH
- Anexo L:** Base algoritmo PSO
- Anexo M:** Algoritmo PSO de validación con el ejemplo de la sección 13-4 del libro de engineering optimization de Singiresu S. Rao
- Anexo N:** Algoritmo para determinar P y comprobar si existe una diferencia significativa

ABREVIATURAS

EV	electrical vehicle
BEV	vehículos eléctricos a batería
V2H	vehicle to home
V2G	vehicle to grid
SRI	servicio de Rentas Interna
DC	direct current
AC	alternating current
FV	fotovoltaico
MPPT	algoritmo de seguimiento del punto de máxima potencia
PEF	potencial eléctrico fotovoltaico
KVR	kilometro vehículo recorrido
HEV	vehículos eléctricos híbrido
MW	megavatio
MWh	megavatio hora
GWh	gigavatio hora
PIB	precio Interno Bruto
PSO	optimización por enjambre de partículas
SUV	vehículo utilitario deportivo
C_C	costo capital
C_m	costo de mantenimiento
C_E	costo de energía excedente
C_{SE}	costo de suministro eléctrico
Fun_{obj}	función objetivo
LPSP	probabilidad de pérdida de suministro eléctrico
$L_{(t)}$	carga del sistema
$E_{S(t)}$	energía de generación solar

E_G	energía generada
A	área total de los paneles
G	radiación
η	eficiencia de conversión de los paneles
E_C	energía consumida
D_{HOME}	demanda de energía eléctrica
D_{EV}	demanda de vehículo eléctrico
E_B	energía balanceada
E_G	energía generada
E_C	energía consumida
$Fact_{subj}$	factor subjetivo
$Fact_{obj}$	factor objetivo
MPL	medida de preferencia de localización

RESUMEN

El presente trabajo de titulación, tuvo como objetivo el estudio de la factibilidad tecnológica y económica de la integración de generación fotovoltaica y vehículos eléctricos según un escenario residencial promedio y situación energética del Ecuador. A través de la revisión bibliográfica referente a la normativa existente en el país, se pudieron tomar los parámetros necesarios que fundamentan todo el proceso a seguir para la inyección del flujo eléctrico a la red. A partir de un sistema fotovoltaico instalado en el tumbado de una vivienda promedio de 110 m² en el país. Con la finalidad de obtener un costo beneficio en un plazo no mayor a 5 años. Esta ganancia es la diferencia existente entre la energía demandada y la suministrada. Al emplear convertidores bidireccionales, se logra que la carga de la vivienda, también pueda ser suministrada desde las baterías del vehículo, guiado por el bus DC para su alimentación. Se realizó un análisis de costos, tanto el sistema de generación FV como la adquisición de un EV. Se emplea el EV Skywell ET5 como vehículo ideal para la comparativa entre vehículos de combustión como el Chevrolet Captiva (gasolina) y la D-Max Premier (diésel). El promedio diario recorrido de un vehículo es de 36, 66 km, dato base para los cálculos promedios. Estos datos sirven como parámetros para determinar la función objetivo, la cual es empleada como la parte medular del algoritmo de optimización de partículas, desarrollado en el lenguaje C++ empleando el IDE de Python, en base a los perfiles de generación, consumo y conducción, que muestran que es factible tecnológica y económicamente en un 2% a los sistemas tradicionales en una escala de miles de dólares, lo que representa una diferencia significativa empleando el método de chi-cuadrado, así se evidencia un ahorro significativo del 38.48% en la planilla eléctrica.

Palabras clave: <GENERACIÓN FOTOVOLTAICA>, <CONVERTIDORES BIDIRECCIONALES>, <VEHÍCULO ELÉCTRICO>, <FLUJO ELÉCTRICO>, <COSTO BENEFICIO>, <PERFIL DE GENERACIÓN>, <PERFIL DE CONSUMO>, <PERFILES DE CONDUCCIÓN>.



[Handwritten signature]
1759-DBRA-UPT-2023

ABSTRACT

This present graduate research aimed to study the technological and economic feasibility of integrating photovoltaic generation (PV) and electric vehicles (EV) according to an average residential scenario and energy situation in Ecuador. The necessary parameters were identified through a literature review of the existing regulations in the country, providing the foundation for the entire process of injecting electrical flow into the network. Based on a photovoltaic system installed on the roof of an average 110 m² residence in the country. In order to obtain a cost-benefit in a period of no more than five years. This profit is the difference between the energy demanded and the energy supplied. By using bidirectional converters, it is achieved that the power load of the home can also be supplied from the vehicle batteries, guided by the DC bus for its power. The EV Skywell ET5 is used as the ideal vehicle for comparison with combustion engine vehicles such as the Chevrolet Captiva (gasoline) and the D-Max Premier (diesel). The EV Skywell ET5 is the ideal vehicle for comparing combustion vehicles such as the Chevrolet Captiva (gasoline) and the D-Max Premier (diesel). A vehicle's average daily distance travels 36.66 km, which serves as the baseline data for the average calculations. These data serve as parameters to determine the objective function, which is used as the core part of the particle optimization algorithm, developed in the C++ language using the Python IDE, based on the generation, consumption, and driving profiles, which demonstrates that it is technologically and economically feasible by 2% compared to traditional systems on a scale of thousands of dollars, which represents a significant difference using the chi-squared method, demonstrating a substantial 38.48% savings on the electric bill.

Keywords: <PHOTOVOLTAIC GENERATION>, <BIDIRECTIONAL CONVERTERS>, <ELECTRIC VEHICLE>, <ELECTRIC FLOW>, <COST-BENEFIT>, <GENERATION PROFILE>. <CONSUMPTION PROFILE>, <DRIVING PROFILES>.



Lenin Iván Lara Olivo
0602546103

INTRODUCCIÓN

Las tendencias en el mundo actual se encaminan al cambio energético para adaptarse al nuevo estilo de vida que demanda el planeta. Esto lleva a una transición energética, donde los recursos no renovables ya presentan una fecha de culminación debido a su agotamiento a nivel mundial entorno al año 2050. A pesar de ello, de acuerdo al **Decreto Ejecutivo No. 95, art 3, 2021** en Ecuador se enfatiza en el incremento de producción de hidrocarburos, sin embargo, también se debe considerar que a partir de la Estrategia Nacional de Electromovilidad para Ecuador y la Ley Orgánica de Eficiencia Energética del 2019, Ecuador pretende introducir las tecnologías de movilidad eléctrica de forma masiva en el país hasta el año 2040 de acuerdo a (ARCONEL, 2019). Por tal razón la demanda en el sector automotriz busca acoplarse al mercado de los vehículos eléctricos (EV), sin mencionar la necesidad de aumentar la generación energética que satisfaga esta futura demanda. En 2020, el stock mundial de coches eléctricos alcanzó la marca de los 10 millones, lo que supone un aumento del 43% respecto a 2019, lo que representa una cuota de stock del 1%. Los vehículos eléctricos a batería (BEV) representaron dos tercios de las nuevas matriculaciones de coche eléctricos y dos tercios del stock en 2020.

En la actualidad, las tendencias mundiales se encaminan hacia un cambio energético que permita adaptarse al nuevo estilo de vida que demanda el planeta. Esta transición energética se hace necesaria debido a que los recursos no renovables presentan una fecha de culminación en todo el mundo, entorno al año 2050. A pesar de ello, en Ecuador se enfatiza en el incremento de la producción de hidrocarburos según el Decreto Ejecutivo No. 95, art 3, 2021. Sin embargo, se debe considerar que a partir de la Estrategia Nacional de Electromovilidad para Ecuador y la Ley Orgánica de Eficiencia Energética del 2019, el país pretende introducir las tecnologías de movilidad eléctrica de forma masiva hasta el año 2040.

Por tanto, el sector automotriz busca adaptarse al mercado de los vehículos eléctricos (EV), además de aumentar la generación energética para satisfacer esta futura demanda. En el año 2020, el stock mundial de coches eléctricos alcanzó la marca de los 10 millones, lo que supone un aumento del 43% respecto al año anterior. China es el país con la mayor flota, con 4.5 millones de coches eléctricos, mientras que Europa tuvo el mayor incremento anual hasta alcanzar los 3.2 millones según (IEA, 2021).

En América Latina, destacan ciudades como Bogotá (Colombia) y Ciudad de México (México) por su mayor avance en materia de electrificación del transporte público. Sin embargo, existe una falta de heterogeneidad en la gama y categoría de vehículos eléctricos disponibles en la región,

según (ONU, 2021) y (PNUMA, 2019). En Ecuador, la venta de vehículos eléctricos es muy baja, con un margen por debajo de los 400 vehículos eléctricos por año según (VARUS, 2021).

En este contexto, la presente investigación se enfoca en el desarrollo de tecnologías de carga vehicular para vehículos eléctricos en Ecuador, teniendo en cuenta el pliego tarifario establecido en la resolución ministerial del 2022 referenciado en (ARCERNNR, 2022). Se espera que este trabajo contribuya al desarrollo y promoción de la movilidad eléctrica en el país, en línea con la Estrategia Nacional de Electromovilidad y la Ley Orgánica de Eficiencia Energética.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se analiza el planteamiento del problema, la justificación teórica y aplicativa, los objetivos y la metodología utilizada en el presente trabajo.

1.1 Planteamiento del problema

¿Cómo es posible realizar un estudio de factibilidad sobre la integración de generación fotovoltaica y tecnología vehicular eléctrica considerando perfiles de un consumo eléctrico residencial promedio y la situación energética del Ecuador?

1.2 Sistematización del problema

- ¿Cuáles son los estudios llevados a cabo en Ecuador sobre la integración de vehículos eléctricos y sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica nacional, así como de las tecnologías de carga vehicular y conversión energética bidireccional según la realidad eléctrica y energética del país?
- ¿Cuáles deberán ser los escenarios de análisis para el estudio de la integración de vehículos eléctricos con sistemas de generación fotovoltaicos según la realidad energética y económica de Ecuador y un perfil de consumo residencial promedio?
- ¿Cómo modelar y diseñar las soluciones energéticas y tecnológicas que se deben considerar para la integración de vehículos eléctricos y sistemas fotovoltaicos hacia la red eléctrica nacional según los escenarios de estudio planteados?
- ¿Cómo se pueden integrar las soluciones energéticas y tecnológicas planteadas para la integración de vehículos eléctricos con sistemas de generación fotovoltaicos en la red eléctrica nacional mediante herramientas de modelación y simulación?
- ¿Cuáles son los parámetros que se deben considerar para evaluar la factibilidad económica y energética sobre la integración de vehículos eléctricos con generación fotovoltaica y uso de la red eléctrica nacional según los escenarios de estudio planteados?

1.3 Justificación teórica

Teniendo en cuenta el reporte anual de la CNBC (cadena de noticias empresariales y financieras número uno del planeta), el despliegue de energía solar y eólica en Estados Unidos está en camino de alcanzar nuevos récords en 2022 a medida que crece el impulso de la transición energética, según un nuevo informe de SP Global Market Intelligence. Se espera que el año que viene se pongan en marcha 44 gigavatios de energía solar, la previsión es casi el doble de los 23 gigavatios de nueva capacidad estimados para 2021. A modo de comparación, Estados Unidos tiene una

capacidad total de generación de unos 1.200 gigavatios, según la Public Power Association y la principal demandante es la energía fotovoltaica. Varios factores están impulsando el auge de la generación de energía solar, como la ampliación de los requisitos estatales en materia de renovables y la esperada ampliación de los créditos fiscales para el sector. El presidente Joe Biden ha convertido el clima en uno de los objetivos de su administración y ha pedido que el sector energético esté libre de carbono en 2035. Esto forma parte de su objetivo más amplio de llevar al país a las emisiones netas cero para 2050 como muestra (Stevens, 2021).

Con los datos proyectados a la presente fecha de forma internacional se aprecia un interés creciente por la tendencia al uso de las energías fotovoltaicas, a nivel local existe de igual manera reportes estadísticos con proyecciones a emplear este tipo de generación energética, según (La-Hora, 2021), Ecuador tiene una alta radiación solar y un gran potencial fotovoltaico, actualmente, el mercado de generación de electricidad por esa vía todavía es pequeño. En el estado ecuatoriano alrededor de \$50 millones han sido destinados a la ejecución de proyectos fotovoltaicos de baja capacidad por parte de entidades del sector privado. Estos proyectos están ubicados en 8 provincias: Guayas, Manabí, Pichincha, Cotopaxi, Loja, Imbabura, El Oro y Galápagos.

Dicha suma experimentará un aumento de cuatro veces su valor en el año 2023, coincidiendo con la puesta en marcha de dos iniciativas adicionales. Uno de estos proyectos, denominado Conolophus, contempla la implementación de una infraestructura interconectada compuesta por sistemas de generación fotovoltaica y acumuladores de energía en las Islas Galápagos. La inversión para esa iniciativa es de \$63 millones, por otro lado, está Aromo fotovoltaico, con una capacidad de 200 MW en Manabí (\$144 millones). Todos estos datos se encuentran existentes en el sector privado y se considera que menos del 3 % a nivel nacional acceden a emplear la energía fotovoltaica, haciendo que el mercado actual no sea un obstáculo y de cabida a generar un mercado macro (C., Francisco and F., Luis and Espinoza, Juan and R., Manuel, 2015).

De igual forma, el mismo artículo (LaHora, 2021) afirma que los costos de la electricidad renovable se han reducido drásticamente en la última década debido a la mejora de las tecnologías, las economías de escala, unas cadenas de suministro más competitivas y la creciente experiencia de los desarrolladores de proyectos. Según datos de 17.000 proyectos recopilados por la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) para la energía solar fotovoltaica (FV), los costos han registrado un descenso del 82 % desde 2010.

De acuerdo con el Ministerio de Energía, los costos de la electricidad procedente de energía solar FV a escala de servicio público se sitúan en \$0, 068 USD por kilovatio-hora (kWh), esto es

respaldado a su vez por el atlas solar del Ecuador, afirmando que la energía solar que se recibe en la superficie de la tierra se ha calculado equivalente a 178 000 TW-año. En 1990 se calculaba que esta cantidad era 15 000 veces mayor que el consumo global. No obstante, cerca del 30 % de esta energía es reflejada en el espacio, 50 % es absorbida, convertida en calor y reenviada a la superficie terrestre; de este 50 %, 49 000 TW-año son reenviados como energía calorífica bajo la forma de radiación electromagnética y 40 000 TW-año como energía calórica propiamente dicha. Los 20 % restantes permiten la formación de los vientos (350 TW), alimentan de energía los ciclos hidrológicos (35 000 TW) y tan solo una muy pequeña parte de la energía solar es utilizada por la fotosíntesis, gracias a la cual la biodiversidad planetaria existe (100 TW) como muestra (CONELEC, 2018).

Como se sabe el uso extensivo de combustibles fósiles ha provocado el agotamiento de este valioso recurso a un ritmo alarmante, por lo que la demanda de energía es cada vez mayor. La optimización de los sistemas energéticos es de crucial importancia para un uso racional de los recursos naturales y económicos y para minimizar sus efectos adversos sobre el medio ambiente, la optimización de estos sistemas puede considerarse en tres niveles: síntesis (configuración), diseño (características de los componentes) y funcionamiento (ARC, 2021).

Combinar la energía con conceptos orientados a economía, sin lugar a duda es vital para prever una creciente demanda energética que se dará a un futuro cercano, sabiendo que el poder acceder a un EV (electrical Vehicle) y tenerlo en el patio de nuestras casas, será un común denominador. Para ello ya se debe evaluar y optimizar el diseño y el rendimiento de los sistemas energéticos para la carga vehicular en los EV. Por lo tanto, es necesario un sistema que resuelva estos dos problemas, siendo la infraestructura de casa a vehículo y viceversa una tentativa solución a estos problemas.

En los sistemas vehículo-casa (V2H), los vehículos eléctricos interactúan con la batería de la casa como sistemas de almacenamiento de energía distribuidos que ofrecen muchos beneficios potenciales como interfaz de energía entre un vehículo y la red, el convertidor bidireccional juega un papel crucial en su interacción, esto deriva un modelo de la topología, que analiza su comportamiento y desarrolla el método de diseño del convertidor (Bose, B., Suryawanshi, R., y Shah, J., 2018).

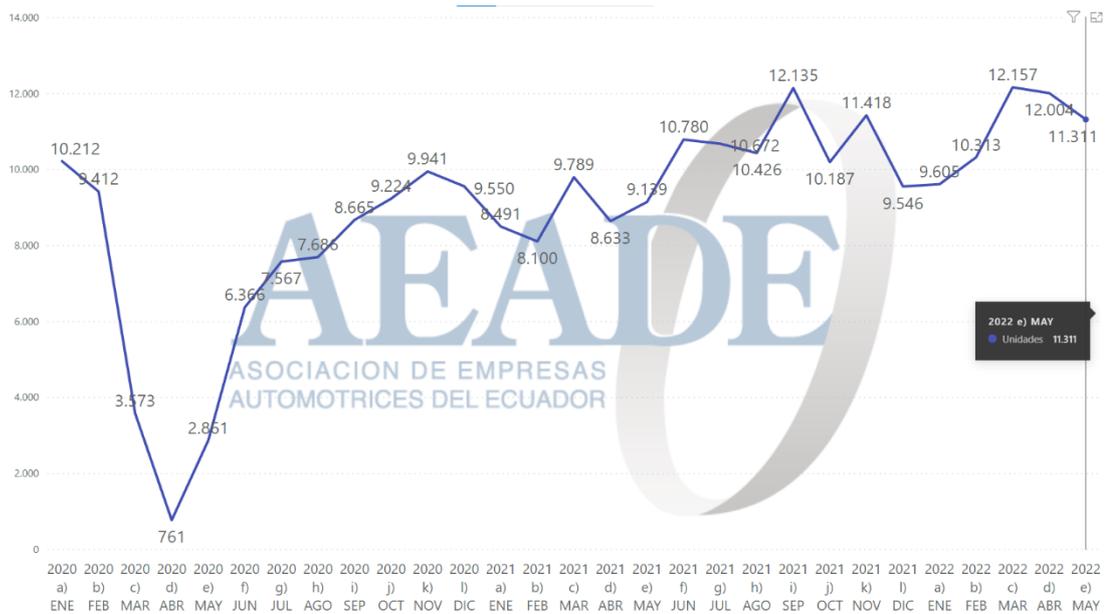


Ilustración 1-1: Ventas históricas de vehículos enero 2020 - mayo 2022.

Fuente: (AEADE – Asociación de Empresas Automotrices de Ecuador)

Tomando en consideración la ilustración 1 las proyecciones de ventas en Ecuador de acuerdo a la AEADE, en el país existe una tendencia adquisitiva de compra de vehículos, lo que supone una amplia matriz vehicular sujeta a cambios, puesto que las demandas y las tendencias según (Stevens, 2021) y (C., Francisco and F., Luis and Espinoza, Juan and R., Manuel, 2015), muestran un comportamiento de conciencia ecológica lo que supone una gran certeza de poder cambiar un vehículo de combustión interna a vehículos eléctricos, haciendo que sea vital el tratar de implementar tecnologías que den solución a una demanda energética en las próximas cinco décadas.

1.4 Justificación aplicativa

Se parte de la modelación de tres ambientes de consumo energético con la capacidad de alimentar una red eléctrica residencial que direcciona la energía a un convertidor bidireccional para la carga de las baterías de un EV. Este objetivo se perseguirá ya sea por medio de la red eléctrica convencional, o por un sistema de captación fotovoltaica, o mediante la integración de ambas fuentes de energía, es decir tanto red eléctrica como generación fotovoltaica, tal como se muestra en la ilustración 2-1.

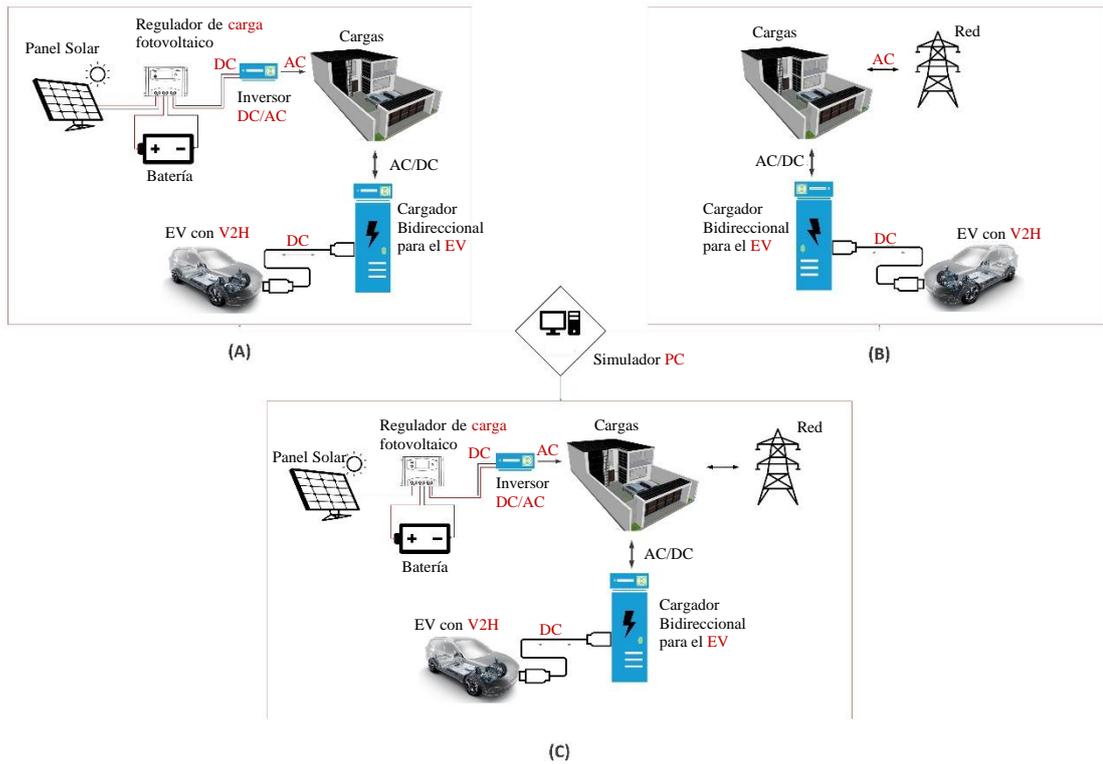


Ilustración 2-1: Representación mediante simulación de tres escenarios con la capacidad de integrar un EV a la red eléctrica a través de tecnología que implementen convertidores bidireccionales. A) soportado por generación alternativa, B) conexión única a la red eléctrica y C) ambiente dual tanto con generación alternativa como de la red eléctrica.

Fuente: (Balseca, 2023)

En este sentido se pretende mostrar mediante simulación un ambiente dual bajo condiciones de consumo energético residencial promedio que emulan el comportamiento de la integración de vehículos eléctricos en la red eléctrica a través de las diferentes tecnologías de electrónica de potencia y sistemas de generación y almacenamiento de energía eléctrica. El estudio se llevará a cabo mediante herramientas de modelación y simulación, considerando escenarios y realidades del sistema energético nacional (Ecuador), así como los costos económicos que involucrarán la implementación de dichas tecnologías y el ahorro energético que éstas procurarán hacia el consumo eléctrico residencial. El fin último de la propuesta de trabajo de integración curricular es estudiar la factibilidad tecnológica y energética según la realidad actual del Ecuador y varios escenarios hipotéticos hacia la siguiente década, así como el impacto económico que tendría sobre un hogar con consumo eléctrico residencial promedio.

1.5 Objetivos

Objetivo General

Estudiar la factibilidad tecnológica y económica de la integración de generación fotovoltaica y vehículos eléctricos según un escenario residencial promedio y situación energética del Ecuador.

Objetivos Específicos

- Revisar material bibliográfico que permita conocer la base conceptual de las tecnologías que incorporen convertidores bidireccionales y los estudios reportados sobre la integración de vehículos eléctricos y sistemas de generación fotovoltaica en la red eléctrica nacional en base a la normativa energética que rige en Ecuador.
- Establecer los requerimientos y condiciones de operación para el diseño de los escenarios de soluciones energéticas para la integración de vehículos eléctricos y sistemas de generación fotovoltaica en una red eléctrica residencial de consumo promedio en Ecuador.
- Diseñar y modelar los sistemas electrónicos y de control de las tecnologías que incorporen sistemas de conversión bidireccional que permita estudiar la integración de vehículos eléctricos y sistemas fotovoltaicos en una red eléctrica residencial según los escenarios planteados.
- Analizar mediante simulación la integración de las soluciones energéticas y tecnológicas modeladas y diseñadas para estudiar la integración de vehículos eléctricos y sistemas fotovoltaicos en una red eléctrica residencial según los escenarios planteados.
- Evaluar la factibilidad económica y energética para la integración de un vehículo eléctrico y sistema de generación fotovoltaica en una red eléctrica residencial y el impacto en la economía de un hogar de consumo energético promedio.

1.6 Metodología

Se presenta los métodos y técnicas que se planean utilizar para el desarrollo del presente trabajo de integración curricular.

Métodos Teóricos

Revisión documental: conocer información mediante la indagación de documentos, publicaciones, libros, revistas, etc. relacionadas con estudiar la factibilidad tecnológica y económica de la integración de generación fotovoltaica y vehículos eléctricos según un escenario residencial promedio y situación energética del Ecuador.

Sistematización: aplicar la información bibliográfica y experimental para establecer los requerimientos de diseño que debe contener el estudio de factibilidad tecnológica y económica propuesto.

Análisis y síntesis: evaluar los resultados de los modelos a realizar y llegar a conclusiones y recomendaciones.

Métodos empíricos

Experimentación: realizar las simulaciones y comprobación de los diversos bloques que conforman el estudio de factibilidad tecnológica y económica.

Evaluación: análisis de los entornos de factibilidad tecnológicos propuestos para la investigación.

Validación: corroboración de los ambientes simulados de los sistemas diseñados.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se hace una revisión bibliográfica de las temáticas referentes a las normativas de construcción en el país, características y tipos de viviendas promedios, factor socioeconómicos, EV homologados en el país, tarifas de consumo energético para carga eléctrica, sistemas de carga vehicular, demanda eléctrica nacional, posterior a ello un muestreo del mapa solar de Ecuador, técnicas de transformación energética, un breve revisión de los paneles fotovoltaicos y culminando con los sistemas de conversión energético DC-AC y la optimización por enjambre de partículas.

2.1 Normativas de construcción en Ecuador

Estas hacen referencia a un conjunto de leyes, regulaciones y estándares técnicos que establecen los requisitos mínimos para la construcción de edificaciones y estructuras en el país. Estas normativas están diseñadas para garantizar la seguridad y la calidad de las construcciones, y abarcan diversos aspectos técnicos relacionados con el diseño, construcción, mantenimiento y demolición de edificios y estructuras. Los principales aspectos que regulan estas normativas de construcción son:

- a) Requisitos técnicos para el diseño y construcción de edificaciones y estructuras, como se muestra en (CPE INEN, 1984), estas normativas establecen los requisitos y disposiciones que deben seguir las construcciones en relación a su ubicación y planos, para obtener la aprobación de la autoridad municipal. Todo solicitante debe presentar un informe de línea de fábrica y planos arquitectónicos y estructurales, junto con cualquier otro documento requerido por la autoridad municipal. Las instituciones públicas también deben cumplir con estos requisitos. Los planos deben ser copias ordinarias en papel heliográfico y firmados por el propietario y el arquitecto/ingeniero/profesional calificado, indicando sus nombres, direcciones, calificaciones y números de registro como señala en los incisos 3.4.2 y 3.4.3.
- b) Normas para la planificación y ejecución de obras de construcción (MIDUVI, 2019) establece las normas técnicas, de seguridad y calidad que deben seguirse en todo proyecto de construcción según la Constitución de la República en los artículos 30, 261, 375, todas las personas tienen derecho a un hábitat seguro y saludable, así como a una vivienda adecuada y digna, independientemente de su situación social y económica. Además, el Estado tiene competencias exclusivas sobre políticas de educación, salud, seguridad social, vivienda, y ejerce la rectoría para la planificación, regulación, control, financiamiento y elaboración de políticas de hábitat y vivienda. Estas normativas están

establecidas en el "Manual de Procedimientos para la Regulación de Procesos Constructivos".

De acuerdo al código ecuatoriano de la construcción, en la ordenanza municipal básica de construcciones (CPE INEN, 1984), menciona en la terminología referente a las alteraciones materiales que:

“Cualquier modificación en cualquier edificio existente por medio de aumento de dimensiones o cualquier otro cambio en la cubierta, conjunto de puertas y ventanas, sistema sanitario y de drenaje en cualquier forma. La abertura de una ventana o puerta de comunicación interna no se considera como alteración material. Del mismo modo, las modificaciones en relación a trazado de jardines, enlucido, pintura, reparación de cubiertas o revestimientos no deben considerarse como alteraciones materiales. Estas incluyen más bien los siguientes trabajos: d) Conversión de un edificio usado o concebido para un propósito determinado como: tienda, bodega, fabrica, etc.” (CPE INEN, 1984) (p. 1).

De igual forma, en la sección 2.1 literal 35 (CPE INEN, 1984), menciona en la terminología referente al edificio residencial que:

“Un edificio usado, construido o adaptado para usarse total o principalmente para habitación humana. Puede incluir garajes, establos y otras construcciones complementarias.” (CPE INEN, 1984) (p. 1).

Cuando se habla de construcciones complementarias en zonas residenciales, se hace referencia a la capacidad que tienen estas edificaciones para cumplir con un propósito específico y satisfacer total o parcialmente las necesidades de los residentes. Esta capacidad puede ser aprovechada ventajosamente sin alterar las normas de construcción establecidas en el territorio ecuatoriano, para añadir infraestructura como instalaciones, recursos y sistemas físicos necesarios para el funcionamiento de sistemas de generación energética alternativa, como se plantea como objetivo en este trabajo.

2.2 Características y tipos de viviendas promedio en Ecuador

De acuerdo con el Boletín Técnico N°01-2019-ENED en la Encuesta de Edificaciones, 2018 (INEC, 2019) se sabe que el 65,2% de las edificaciones a construir a nivel nacional se aprueban para áreas inferiores a los 200m², en la ilustración 1-2 se muestra los valores de construcción

promedio por cada provincia en el territorio ecuatoriano, se percibe que la ciudad de Loja tiene la mayor área de construcción con 174m².

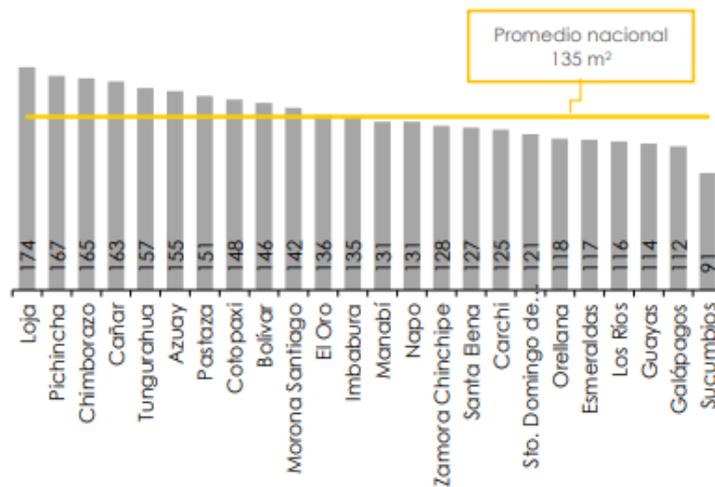


Ilustración 1-2: Promedio del área de construcción por viviendas y provincias en m².

Fuente: (INEC, 2019)

Como se muestra en la ilustración 1-2, el promedio de construcción por vivienda es de 135 m², en todo el territorio ecuatoriano. El presente dato permite delimitar la zona de construcción, teniendo un máximo de 174m² y un mínimo de 91m², los cuales serán empleados para la optimización por el método de enjambre que es explicada en la sección final. Este dato va a la par con la participación según el uso de las edificaciones a construir como se muestra en la ilustración 2-2.

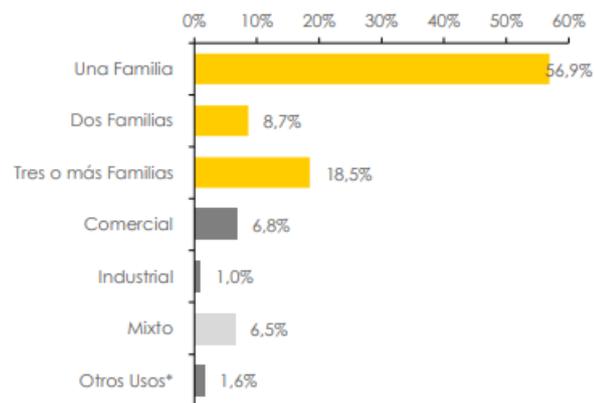


Ilustración 2-2: Participación según el uso de las edificaciones a construir.

Fuente: (INEC, 2019)

Tomando en cuenta los valores de la ilustración 1-2, se puede obtener los valores máximos, mínimos y promedios por región como se visualiza en la tabla 1-2.

Tabla 1-2: Promedio de construcción por regiones.

COSTA		SIERRA		ORIENTE		REG. INSULAR	
Provincia	Área m ²	Provincia	Área m ²	Provincia	Área m ²	Provincia	Área m ²
El Oro	136	Loja	174	Pastaza	151	Galápagos	112
Manabí	131	Pichincha	167	Morona Santiago	142		
Santa Elena	127	Chimborazo	165	Napo	131		
Santo Domingo	121	Cañar	163	Zamora Chinchipe	128		
Esmeraldas	117	Tungurahua	157	Orellana	118		
Los Ríos	116	Azuay	155	Sucumbíos	91		
Guayas	114	Cotopaxi	148				
		Bolívar	146				
		Imbabura	135				
		Carchi	125				
MAX	136	MAX	174	MAX	151	MAX	112
MIN	114	MIN	125	MIN	91	MIN	112
PROM	123,56	PROM	152,83	PROM	125,375	PROM	112

Fuente: (INEC, 2011)

De acuerdo con la ilustración 2-2, la mayoría de las construcciones son para una sola familia de acuerdo con (INEC, 2019), con un 56,9% de las construcciones en el territorio nacional, cabe mencionar que este dato es indistinto de los edificios administrativos, complejos recreacionales entre otros. La presente cifra se encuentra ligada al factor socioeconómico que se muestra en la siguiente sección.

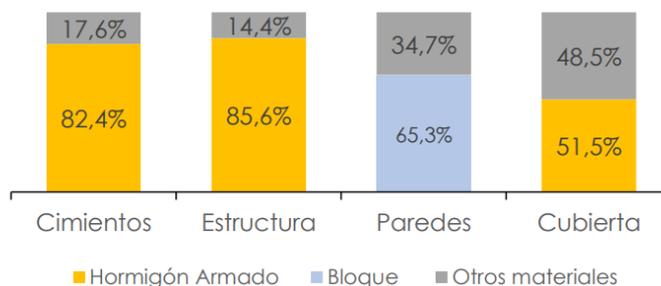


Ilustración 3-2: Porcentaje de edificaciones a construir según el material de construcción por etapas de la obra.

Fuente: (INEC, 2019)

De acuerdo a la ilustración 3-2 se aprecia que el 82,4% de las construcciones emplean cimentación lo que hace referencia al uso de hormigón, el 85,6% de las estructuras son realizadas con hormigón armado al igual que el 51,5% de las cubiertas, como dato final el bloque posee mayor participación en las paredes con un 65,3%.

2.3 Factor socioeconómico en Ecuador

De acuerdo al INEC en la Encuesta de Estratificación del Nivel Socioeconómico, que tiene como objetivo homologar las herramientas de estratificación y segmentación del mercado de consumo de manera adecuada. El estudio se llevó a cabo en 9,744 hogares del área urbana de Quito, Guayaquil, Cuenca, Machala y Ambato. Los resultados de la encuesta indican que los hogares de Ecuador se clasifican en cinco estratos como se aprecia en la ilustración 4-2. La clasificación se basa en un sistema de puntuación para varias variables, incluyendo las características de la vivienda, la educación, las características económicas, los bienes, las TIC's y los hábitos de consumo como se muestra en la ilustración 5-2. Es importante destacar que esta estratificación no está relacionada con los indicadores de pobreza o desigualdad, ya que se trata de dos mecanismos, objetivos y metodologías diferentes para clasificar a los hogares de acuerdo con (INEC, 2011).

La unidad de análisis es el hogar, la unidad de muestreo es la vivienda de acuerdo a la Encuesta de Estratificación del Nivel Socioeconómico (INEC, 2011) como se muestra en la ilustración 4-2, se tiene un total de 9744 muestras repartidas dentro de las 5 ciudades más predominantes del país, la encuesta califica sobre los 1000 puntos, evaluando las dimensiones en la vivienda, la educación, la economía, los bienes, la tecnología y los hábitos de consumo, que son factores socioeconómicos que permiten dar una perspectiva de los niveles de vida en el país.



Ilustración 4-2: Ficha técnica de la muestra a evaluar.

Fuente: (INEC, 2011)

Los estratos de nivel socioeconómico se presentan en la tabla 2-2.

Tabla 2-2: Características de construcción promedio en Ecuador.

Grupos Económicos	Puntaje
A	De 845 a 1000 pts.
B	De 696 a 845 pts.
C+	De 535 a 696 pts.

C-	De 316 a 535 pts.
D	De 0 a 316 pts.

Fuente: (INEC, 2011)

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2011), los resultados de la encuesta socioeconómica promedio en el país se visualizan en la ilustración 5-2. Los porcentajes mostrados en la Tabla 2-2, muestran los grupos económicos existentes en el país, estos están clasificados por el nivel de puntaje alcanzado, basado en diferentes aspectos que ayudan a determinar los estratos socioeconómicos existentes.

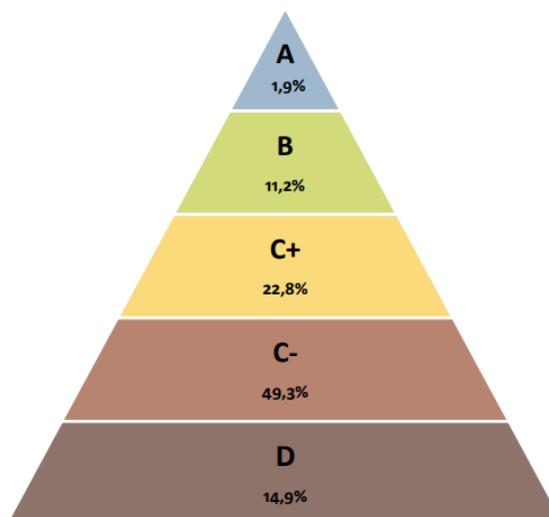


Ilustración 5-2: Nivel socioeconómico agregado.

Fuente: (INEC, 2011)

Para la caracterización por estratos, se definirán en factores puntuales que sirven al presente estudio:

- **Nivel A:** La población en cuestión es una minoría altamente privilegiada, donde más del 80% de los hogares cuentan con hasta dos vehículos de uso exclusivo, mientras que el jefe de hogar tiene un nivel de educación superior y un porcentaje significativo de la población posee estudios de postgrado. Los jefes de hogar se desempeñan en cargos como profesionales científicos, intelectuales, miembros del poder ejecutivo, legislativo, personal directivo de la administración pública y de empresas, lo que se traduce en una perspectiva de ingresos mayor a \$3000 de acuerdo a (INEC, 2011).
- **Nivel B:** Este estrato, que representa el 11,2% de la población, se ubica en el segundo nivel socioeconómico. En promedio, cada hogar en este estrato posee un vehículo de uso exclusivo para el hogar. El jefe de hogar en este estrato tiene un nivel de instrucción superior y el 26% de ellos se desempeñan como profesionales científicos, intelectuales,

técnicos y profesionales del nivel medio. En cuanto a la perspectiva de ingresos, se ubica en un rango superior a los 1500\$ y menor a los 3000\$ de acuerdo a (INEC, 2011).

- **Nivel C+:** El tercer estrato representa el 22,8% de la población y se caracteriza por una presencia considerable de vehículos de propiedad privada. Los jefes de hogar poseen un nivel de instrucción de secundaria completa y suelen trabajar en áreas como servicios, comercio, instalación de máquinas y montaje. La perspectiva de ingresos en este estrato se encuentra en el rango que va desde el salario básico hasta los 1500\$ de acuerdo a (INEC, 2011).
- **Nivel C-:** Este estrato comprende el 49,3% de la población y se caracteriza por tener jefes de hogar con nivel de instrucción de primaria completa. Dichos jefes de hogar tienden a desempeñar trabajos en el sector de servicios y comercio, así como también como operadores de máquinas y montadores. Es importante mencionar que algunos jefes de hogar se encuentran inactivos en este estrato. El ingreso promedio de este estrato está centrado en el rango del salario básico unificado o menor de acuerdo a (INEC, 2011).
- **Nivel D:** Este estrato representa el 14,9% de la población y se caracteriza por tener jefes de hogar con nivel de instrucción de primaria completa. Los trabajos que desempeñan son principalmente de carácter no calificado, como trabajadores de los servicios, comerciantes, operadores de instalación de máquinas y montadores, aunque también hay algunos jefes de hogar que se encuentran inactivos de acuerdo a (INEC, 2011).

A partir de los datos específicos obtenidos del INEC, se identifican los estratos A, B y C+ como posibles compradores de un vehículo eléctrico (EV) según el estudio socioeconómico al que pertenecen, lo que representa el 35.9% de la población. Sin embargo, se debe determinar qué tipo de EV se ajusta mejor a los ingresos de cada consumidor, para así poder brindarles una opción adecuada.

Según los resultados de la encuesta mencionada en (María Matute, Gabriela Jarrín, 2016), se encontró que la cantidad promedio de personas por hogar durante el periodo de noviembre de 2013 a octubre de 2014 fue de 4 individuos, (estudio más actual).

2.4 Vehículos eléctricos EV

De acuerdo con la conferencia de propulsión y potencia de vehículos IEEE 2020, se puede apreciar un concepto de EV como vehículos que utilizan electricidad como su principal fuente de energía para moverse en lugar de combustible fósil. Existen varios tipos de vehículos eléctricos, incluidos los vehículos eléctricos de batería (VEB), los vehículos eléctricos híbridos (HEV) y los vehículos eléctricos de celda de combustible (FCEV), la atención se centra en los vehículos de tipo VEB, esto según (João P. Trovão, 2020).

Los VEB son vehículos eléctricos que funcionan completamente con baterías eléctricas recargables. La energía eléctrica se almacena en las baterías y se utiliza para alimentar un motor eléctrico que mueve el vehículo. Las baterías se recargan conectando el vehículo a una fuente de alimentación eléctrica, como una toma de corriente como indica la ilustración 6-2.

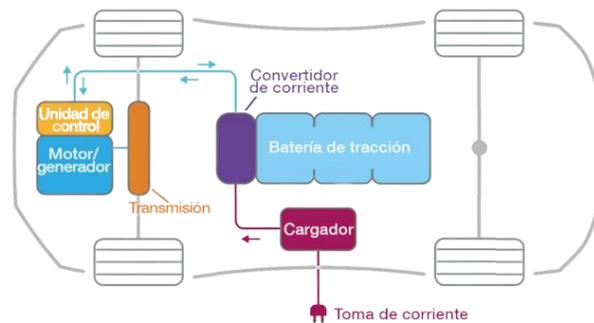


Ilustración 6-2: Elementos que conforman un EV.

Fuente: (DANIEL MURIAS, 2020)

La estructura de un vehículo eléctrico puede variar dependiendo del tipo de vehículo. Sin embargo, todos los vehículos eléctricos tienen un motor eléctrico y una batería, en la ilustración 7-2 se aprecia la estructura de un motor eléctrico. Los vehículos eléctricos también pueden tener un inversor, que convierte la energía eléctrica almacenada en la batería en la corriente que se utiliza para alimentar el motor eléctrico. Los vehículos eléctricos también pueden tener un cargador, que se utiliza para cargar la batería desde una fuente de alimentación externa.

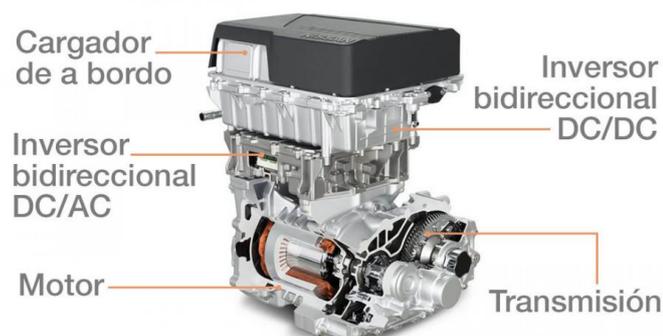


Ilustración 7-2: Estructura básica de un motor eléctrico.

Fuente: (DANIEL MURIAS, 2020)

Las características de los vehículos eléctricos incluyen su eficiencia energética, su baja emisión de gases de efecto invernadero y su funcionamiento silencioso. Los vehículos eléctricos también pueden tener un rango de conducción limitado en comparación con los vehículos de combustión interna y pueden requerir tiempo adicional para recargarse. Sin embargo, la tecnología de las

baterías está mejorando constantemente, lo que aumenta el rango de conducción y reduce el tiempo de carga. (João P. Trovão, 2020)

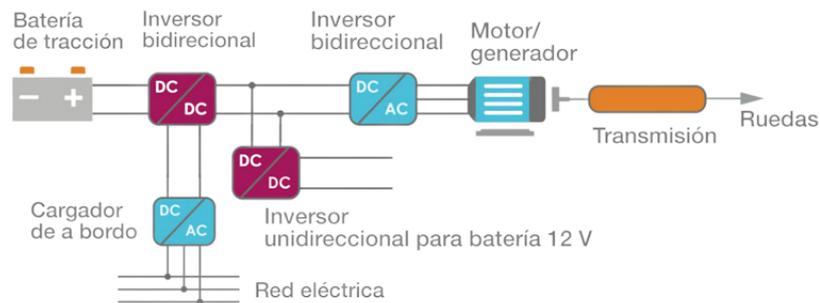


Ilustración 8-2: Flujo de energía de un EV.

Fuente: (DANIEL MURIAS, 2020)

La batería de un vehículo eléctrico se recarga mediante un cargador de a bordo conectado a la red eléctrica y a un convertidor bidireccional como se aprecia en la ilustración 8-2. Cuando se requiere energía para mover el vehículo, la batería envía corriente eléctrica después de pasar por un convertidor DC-DC y una unidad de control del motor, la cual se encarga de convertir la corriente directa en corriente alterna. Esta energía es transferida al motor del vehículo, el cual transforma la energía eléctrica en energía mecánica que se utiliza para mover las ruedas a través de la transmisión según (DANIEL MURIAS, 2020).

Para lograr una carga óptima de la batería de un vehículo eléctrico, se sugiere mantener el nivel de carga en un rango comprendido entre el 20% y el 80%. Es recomendable evitar cargar la batería hasta su capacidad máxima (100%). En el caso de periodos de estacionamiento que superen las 12 horas, se aconseja aparcar el vehículo con un nivel de carga mínimo del 30% y un máximo del 80% de acuerdo a (ElectricForAll, 2023).

2.5 EV homologados en Ecuador

Según información proporcionada por el SRI, se han suministrado 1562 vehículos con tracción eléctrica hasta febrero de 2023. Durante el periodo de 2016 a 2020, las ventas promedio anuales de estos vehículos se mantuvieron en 130 unidades. No obstante, desde el 2021, la tendencia cambió con un aumento en las ventas anuales a 280 vehículos. En 2022, la cifra se duplicó casi, con 438 vehículos eléctricos entregados según (VARUS, 2023), esto muestra notablemente una tendencia exponencial creciente como se puede visualizar en la ilustración 9-2. De acuerdo a las estadísticas correspondientes a los dos primeros meses del año 2023, se puede confirmar que el mercado de vehículos eléctricos en Ecuador está experimentando un importante auge. En dicho

periodo, se registró un despacho total de 208 unidades, lo que equivale al 47% de las ventas totales del año anterior de acuerdo a (VARUS, 2023).

El SRI al momento registra ventas con marcas líderes en lo que va del año, estas son:

- Nissan: 52 unidades vendidas
- Mercedes: 11 unidades vendidas
- Dongfeng: 7 unidades vendidas
- Skywell: 11 unidades vendidas
- Audi: 23 unidades vendidas
- BYD: 7 unidades vendidas



Ilustración 9-2: Ventas de autos eléctricos en el Ecuador.

Fuente: (VARUS, 2023)

La ilustración 9-2 muestra una progresión exponencial tomando los índices de ventas de los vehículos eléctricos a partir de 2017 al recorte en marzo de 2023. De acuerdo a los puntos marcados se puede establecer una función de crecimiento que se muestra en la ecuación 1-2.

$$f(x) = p1 * x^3 + p2 * x^2 + p3 * x + p4$$

Ecuación 1-2: Modelo polinomial de grado 3

Empleando la función propia de Matlab Curve Fitting se pueden hacer proyecciones con los coeficientes con límites de confianza del 95%, estos datos son tomados de la ilustración 9-2.

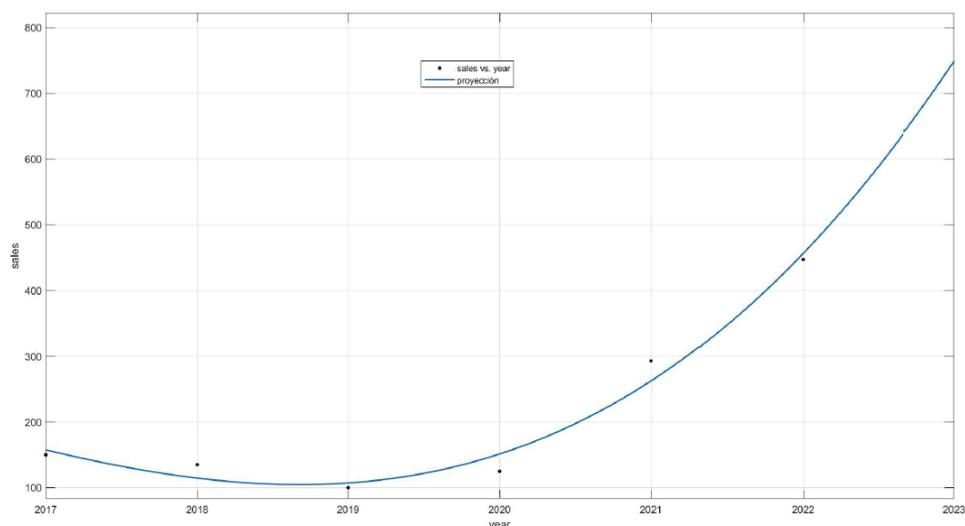


Ilustración 10-2: Proyección polinomial de grado 3 con tendencia a ventas en 2023.

Fuente: (Balseca, 2023)

El modelo de predicción de acuerdo a la ecuación 1-2, muestra una clara tendencia de crecimiento, lo que prevé una venta de EV superior a las 700 unidades para el presente año como muestra la ilustración 10-2. Al momento los vehículos eléctricos homologados en el país, son los siguientes de acuerdo a (VARUS, 2023), cabe recordar que el listado se mantiene en actualización periódicamente, estos son:

Tabla 3-2: Vehículos homologados en Ecuador, autonomía y precio.

Modelo	Autonomía	Precio
Hyundai-Kona	564 km	\$46.600
Audi-E-Tron RS GT	552 km	\$149.990
Maxus-EUNIQ 6	532 km	\$47.900
Kia-EV6	528 km	\$65.900
Skywell-ET5	520 km	\$42.000
Mercedes Benz-EQA	500 km	\$69.900
Mercedes Benz-EQB	500 km	\$74.900
Dongfeng-Voyah	500 km	\$66.990
Audi-E-tron	402 km	\$76.990
BYD-E5 400	400 km	\$34.000
BYD-S2	400 km	\$31.990
BYD-E3 GL 400	400 km	\$28.990
Dongfeng-E70	400 km	\$29.500
ZEDRIV-GX5	338 km	\$29.990

ZEDRIV-GC1	338 km	\$22.990
MG-ZS EV	335 km	\$35.990
BYD-E2	305 km	\$25.990
Hanteng-X5 EV	300 km	\$38.990
Nissan-LEAF	270 km	\$39.990
Mini Cooper-SE	215 km	\$49.990
Kia-soul EV	200 km	\$30.990
Xinxiang H6	165 km	IND
Zotye Domy E30	160 km	\$11.990
Jiayuan City Spirit	120 km	\$8.500
Dayang Chok	100 km	\$6.900
Dayang Chok G2	100 km	\$8.999
Dayang Chok Cross	100 km	\$11.990
Renault Twizy	100 km	\$13.990
Zhidou D1	100 km	\$9.490

Fuente: (VARUS, 2023)

De acuerdo a la tabla 3-2, se detalla la autonomía de los EV homologados en el país, lo que permite determinar el mínimo y máximo valor de autonomía existente, siendo este un requerimiento primordial para el presente trabajo. La autonomía mínima es de 100 km, ofertados por Zhidou D1, Renault Twizy y Dayang Chok, por otra parte, la máxima autonomía es de 564 km por parte de la marca Hyundai con su vehículo Kona.

2.6 Tarifas de consumo energético en Ecuador para EV

Considerando la resolución ministerial emitida en el año 2022, tal como se hace referencia en (ARCERNNR, 2022), se presenta una lista de precios y categorías de carga para vehículos eléctricos (EV). La clasificación de los precios y tipos de carga depende de la capacidad de las baterías, lo cual resulta relevante para el desarrollo de este trabajo. El pliego tarifario se sujeta a las disposiciones establecidas en la normativa de la constitución de la República de Ecuador en referencia a los artículos 14, 15, 66 (numeral 25), 266, 261 (numeral 11), 313, 314, 413, 414 e igual forma en la (LOSPPEE, 2018) en sus artículos 14, 15 (numeral 5), 17, 43 (apartado 1 y 2), 57 y 74 (numerales 1 al 7). De acuerdo con el sitio oficial de la Agencia de Regulación y control de energía y Recursos Naturales No Renovables, (ARCERNNR, 2022) menciona:

“El Directorio de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR), mediante resolución ARCERNNR-009/2022 del 14 de abril, determinó que la tarifa nacional promedio del servicio

eléctrico se mantenga en 9,2 centavos de dólar por cada Kilovatio-hora (¢USD/kWh).” (p. 1).

Es importante resaltar que el Directorio ha aprobado el Pliego Tarifario para el Servicio de Carga de Energía destinado a vehículos eléctricos mediante la resolución ARCERNNR-011/2022, en consonancia con la política gubernamental establecida en el Decreto Ejecutivo N° 238, que busca impulsar un modelo de desarrollo del sector eléctrico que involucre a empresas públicas, de capital mixto y privado. A través de esta planificación, los proveedores del servicio de carga eléctrica tendrán claridad sobre los precios máximos que podrán cobrar al usuario final de acuerdo con (ARCERNNR, 2022).

“el artículo 413 de la Constitución de la República del Ecuador prescribe: “El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua”.” (p. 2).

Esto es justificado por la Ley Orgánica de Eficiencia Energética detallado en (ARCERNNR, 2022):

“el artículo innumerado de la Ley ibidem, incluido mediante la disposición reformativa segunda establecida en la Ley Orgánica de Eficiencia Energética – LOEE, dispone: “ Comercialización de electricidad para carga de vehículos.- El servicio de carga de vehículos eléctricos podrá ser ofrecido por personas naturales o jurídicas habilitadas mediante la firma de un Contrato de Comercialización de Energía Eléctrica para Carga de Vehículos suscrito con las Empresas Eléctricas de Distribución, que estará sujeto a las condiciones jurídicas y técnicas establecidas por la ARCONEL mediante Regulación pertinente. El costo de carga será fijado por el proveedor del servicio, limitado a un valor máximo establecido por la ARCONEL en los estudios tarifarios.”;” (p. 2).

De acuerdo a los artículos antes citados, se sabe que el costo de la tarifa nacional del servicio eléctrico es de 9,2 centavos de dólar por cada kilovatio/hora, este tipo de tarifa se aplica al consumo nominal de la planilla eléctrica residencial. Para los costos de carga vehicular de acuerdo al (ARCERNNR, 2022) se aplican 3 tipos de tarifas, que van de acuerdo al horario de consumo como se muestra en la tabla 4-2, estas son:

Tabla 4-2: Pliego tarifario para el servicio de carga eléctrica.

COSTO POR CARGA			
Servicio de carga rápida	Costo	Domiciliaria	Costo
Semi Rápida 22kw	0,1715 ctvs	10 pm a 8 am	0,05 ctvs
Rápida >22kw	0,1994 ctvs	8 am a 6 pm	0,08 ctvs
Ultra Rápida 50kw	0,2851 ctvs	6 pm a 10 pm	0,10 ctvs

Fuente: (ARCERNR, 2022)

Tabla 5-2: Tabla de costos para servicio de carga por EV homologados en el país.

	AUTONOMÍA (KM)	POTENCIA (KW)	CAPACIDAD DE BATERIA (KWh)	TIEMPO DE CARGA 0 -100%		COSTO POR CARGA								
				DOMICILIARIA			SERVICIO DE CARGA RÁPIDA							
				220 V	380 V	10 PM- 8AM (0,05 ctvs)	8 AM- 6PM (0,08 ctvs)	6PM- 10PM (0,10 ctvs)	SEMI RÁPIDA 22KW (0.1715 ctvs)		RÁPIDA >22KW (0.1994 ctvs)		ULTRA RÁPIDA 50KW (0.2851 ctvs)	
						TIEMPO DE CARGA	PRECIO	TIEMPO DE CARGA	PRECIO	TIEMPO DE CARGA	PRECIO			
HYUNDAI - KONA	564	150	64	9h	0.7h	\$3.20	\$5.12	\$6.40	2h 55 min	\$10.98	2h 08 min	\$12.76	1h 17 min	\$18.25
AUDI – E – TRON RS GT	552	440	93	11h	0.5h	\$4.65	\$7.44	\$9.30	4h 15 min	\$15.95	3h 06 min	\$18.54	1h 52 min	\$26.51
KIA – EV6	528	239	77.4	10h	0.5h	\$3.87	\$6.19	\$7.74	3h 30 min	\$13.27	2h 35 min	\$15.43	1h 33 min	\$22.07
SKYWELL ET5	520	150	71.98	11h	0.5h	\$3.60	\$5.76	\$7.20	3h 16 min	\$12.34	2h 24 min	\$14.35	1h 26 min	\$20.52
AUDI – E -TRON	441	300	71	11h	0.5h	\$3.55	\$5.68	\$7.10	3h 13 min	\$12.18	2h 22 min	\$14.16	1h 25 min	\$20.24
BYD E5	400	160	62	7h	1.5h	\$3.10	\$4.96	\$6.20	2h 49 min	\$10.63	2h 04 min	\$12.36	1h 14 min	\$17.68
BYD S2	400	70	42	6h	1h	\$2.10	\$3.36	\$4.20	1h 55 min	\$7.20	1h 24 min	\$8.37	50 min	\$11.97
BYD E3 GL 400	400	70	47.3	6.5h	0.7h	\$2.37	\$3.78	\$4.73	2h 09 min	\$8.11	1h 35 min	\$9.43	57 min	\$13.49
DONGFENG E70	400	112	50.8	6.5h	0.8h	\$2.54	\$4.06	\$5.08	2h 19 min	\$8.71	1h 41 min	\$10.13	1h	\$14.48
ZEDRIV GX5	338	90	46.4	6h	1h	\$2.32	\$3.71	\$4.64	2h 07 min	\$7.96	1h 33 min	\$9.25	56 min	\$13.23
ZEDRIV GC1	338	55	36.2	5.5h	1h	\$1.81	\$2.90	\$3.62	1h 39 min	\$6.21	1h 13 min	\$7.22	43 min	\$10.32

MG ZS EV	335	110	44	6.5h	1h	\$2.20	\$3.52	\$4.40	2h	\$7.55	1h 28 min	\$8.77	53 min	\$12.54
BYD E2	305	70	35.2	7h	1h	\$1.76	\$2.82	\$3.52	1h 36 min	\$6.04	1h 10 min	\$7.02	42 min	\$10.04
HANTENG X5 EV	300	95	42	14h	0.8h	\$2.10	\$3.36	\$4.20	1h 55 min	\$7.20	1h 24 min	\$8.37	50 min	\$11.97
NISSAN LEAF	270	110	40	8h	1h	\$2.00	\$3.20	\$4.00	1h 49 min	\$6.86	1h 20 min	\$7.98	48 min	\$11.40
KIA SOUL EV	200	81.4	27	5h	0.75h	\$1.35	\$2.16	\$2.70	1h 14 min	\$4.63	54 min	\$5.38	32 min	\$7.70
ZOTYE DOMY E30	160	13.5	16	8h	-	\$0.80	\$1.28	\$1.60	44 min	\$2.74	32 min	\$3.19	19 min	\$4.56
JIAYUAN CITY SPIRIT	120	7.5	10	-	-	\$0.50	\$0.80	\$1.00	27 min	\$1.72	20 min	\$1.99	12 min	\$2.85
RENAULT TWIZY	100	13	6.1	3.5h	-	\$0.31	\$0.49	\$0.61	17 min	\$1.05	12 min	\$1.22	07 min	\$1.74
ZHIDOU D1	100	18	11.5	6h	-	\$0.58	\$0.92	\$1.15	31 min	\$1.97	23 min	\$2.29	14 min	#3.28

Fuente: (Balseca, 2023)

La tabla 5-2, detalla el listado de los vehículos homologados en el país, se muestra la autonomía, potencia, la capacidad de carga, el tiempo de carga de acuerdo al voltaje suministrado y el costo de carga, cada uno de estos datos permiten analizar el mercado actual y las tecnologías a emplear de acuerdo a la demanda máxima y mínima que este requiera.

Tiempo de carga máxima domiciliaria: 11h costo: (\$9,30)

Tiempo de carga mínima domiciliaria: 3,5h costo: (\$0,61)

Tiempo de carga máxima ultra rápida: 1h 52min costo: (\$26,51)

Tiempo de carga mínima ultra rápida: 07min costo: (\$1,74)

2.7 Sistema de carga vehicular

En la infraestructura de los vehículos eléctricos, los sistemas de carga son elementos esenciales que permiten la recarga de las baterías de los automóviles. Actualmente, se identifican tres tipos principales de sistemas de carga: el primero es la carga lenta o nivel 1, que se realiza mediante el uso de un cable de carga convencional y permite una velocidad de carga de 2 a 5 kilómetros por hora; el segundo es la carga rápida o nivel 2, que requiere de un equipo de carga especializado y permite una velocidad de carga de entre 40 y 50 kilómetros por hora; y el tercero es la carga ultra rápida o nivel 3, que es el sistema más avanzado utilizado en estaciones de carga de alta potencia en carreteras y autopistas. Es importante destacar que cada tipo de carga tiene sus propias características y ventajas, por lo que es necesario evaluar las necesidades de cada vehículo eléctrico y elegir el sistema de carga que mejor se adapte a ellas según (Bose, 2018).

El mercado de sistemas de carga vehicular está en constante evolución, con una amplia variedad de proveedores y fabricantes de equipos. Los precios de estos sistemas varían en función de su tipo y capacidad, encontrándose opciones de carga en un rango de \$500 a \$2,000 USD. Durante el proceso de carga de un vehículo eléctrico, la electricidad de corriente alterna (CA) proveniente de la red se convierte en corriente continua (CC) para que pueda ser utilizada por la batería del vehículo. Este proceso de conversión lo realiza un convertidor que se encuentra ubicado en el coche o en el cargador. Cabe destacar que se trata de una carga unidireccional, en la que la energía fluye en un solo sentido, desde la red hacia el vehículo según (Bose, 2018), tal como se muestra en la ilustración 11-2.

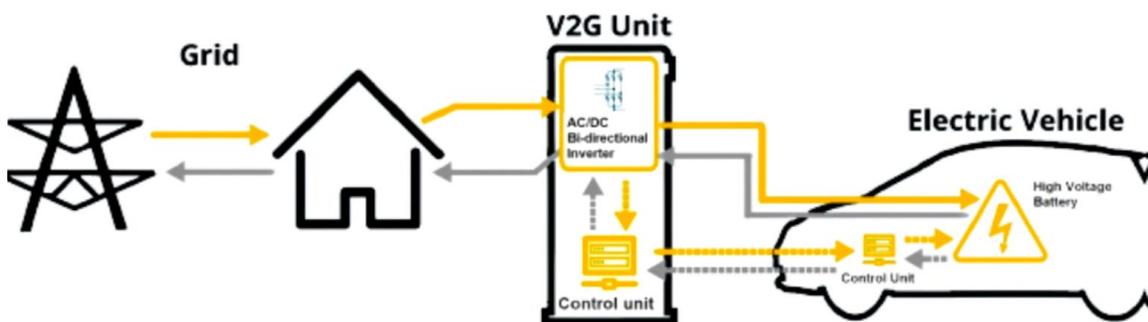


Ilustración 11-2: Sistema de carga para un EV.

Fuente: (Bose, 2018)

La carga bidireccional del vehículo eléctrico es esencialmente una carga que se produce en dos sentidos (ida y vuelta). La energía fluye desde la red hasta el coche o puede enviarse de vuelta a la red o alimentar otros dispositivos. Al igual que un banco de energía portátil utilizado para cargar tus dispositivos electrónicos personales. La carga bidireccional es el término que abarca

varios casos de uso diferentes, siendo los más comunes y a tratarse en el presente trabajo: V2G y V2H.

Al igual que ocurre con las baterías de los dispositivos móviles, cada vez que un EV consume energía, se produce una pequeña degradación en su batería. El uso del vehículo como almacén de energía, además de la conducción diaria, aumenta el número de ciclos, es decir, de una carga y una descarga completa. En teoría, esto podría acelerar la degradación de la batería. Sin embargo, existen pruebas que sugieren que la descarga bidireccional es menos exigente para la batería que la conducción. La intensidad de la energía y la volatilidad de la conducción generan más calor, uno de los principales impulsores de la degradación, en lugar de una carga constante más baja del uso bidireccional. Por tanto, no todos los ciclos son iguales según (Bose, B., Suryawanshi, R., y Shah, J., 2018).

2.7.1 *Sistemas bidireccionales*

Estos sistemas permiten que la energía fluya desde el punto de carga hacia la batería del vehículo eléctrico y viceversa. La energía eléctrica normalmente no se almacena, pero con la carga bidireccional se puede almacenar en la batería del vehículo para su posterior uso en hogares, negocios u oficinas. Para lograr esto, la energía de corriente alterna de la red se convierte en tensión de corriente continua y se almacena en la batería del vehículo durante el proceso de carga.

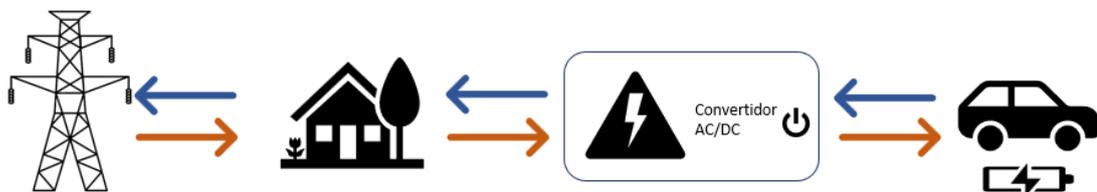


Ilustración 12-2: Sistema bidireccional, carga vehicular a partir de la red e inyección de carga a la red a partir de la batería de un EV.

Fuente: (Balseca, 2023)

Posteriormente, se puede acceder a la energía de la batería para cargar dispositivos o devolverla a la red eléctrica como muestra la ilustración 12-2. La carga bidireccional requiere un conversor que transforme la corriente continua en corriente alterna, pero esto no representa un problema ya que es fácil encontrar un vehículo eléctrico que tenga esta capacidad como detalla (energyGO, 2023), existen diferentes tipos de carga bidireccional, en el presente escrito se describe dos tipos importantes, estos son:

2.7.1.1 Sistema V2H

Permiten que los vehículos eléctricos suministren energía eléctrica a los hogares o a la red eléctrica, convirtiendo la corriente continua de la batería del vehículo en corriente alterna de la red eléctrica y viceversa a través de un inversor bidireccional. Según (Florian Straub, 2023), estos sistemas pueden proporcionar un valioso respaldo de energía, reducir la demanda de energía de la red eléctrica, permitir la integración de energía renovable y ofrecer beneficios económicos a los propietarios de vehículos eléctricos. En resumen, los sistemas V2H son una tecnología prometedora para mejorar la estabilidad y flexibilidad de la red eléctrica y ofrecer beneficios económicos a los usuarios de vehículos eléctricos.

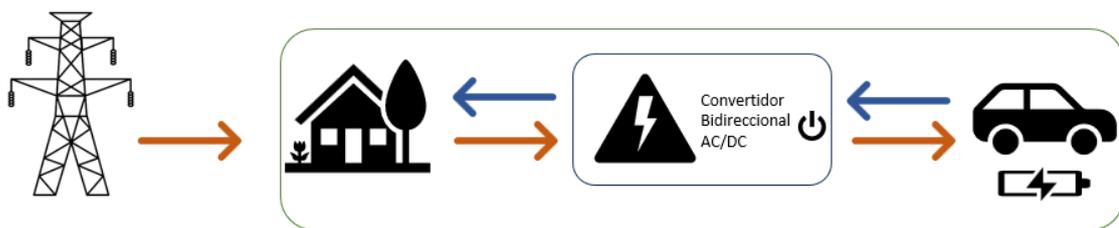


Ilustración 13-2: Esquema del funcionamiento del sistema de carga bidireccional V2H.

Fuente: (Balseca, 2023)

El sistema V2H permite direccionar la carga de la red a las baterías del vehículo y está a la vez pueda direccionar la carga desde las baterías del vehículo a la red interna de la casa como muestra la ilustración 13-2.

2.7.1.2 Sistema V2G

Son una tecnología que permite que los vehículos eléctricos se conecten a la red eléctrica y suministren energía a la misma como se muestra en la ilustración 14-2. Utilizan un inversor bidireccional para convertir la corriente continua de la batería del vehículo en corriente alterna de la red eléctrica. El inversor bidireccional ajusta la cantidad de energía que se carga o descarga de la batería del vehículo para satisfacer la demanda de energía de la red eléctrica.

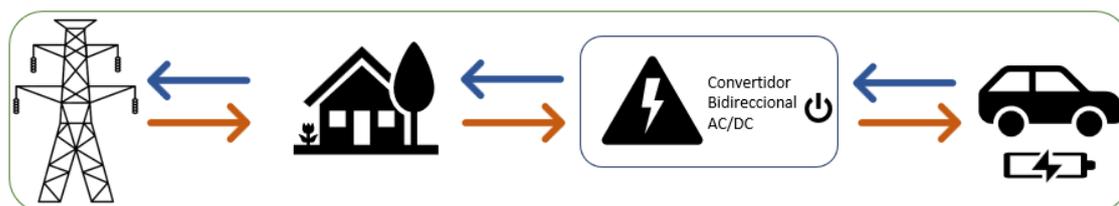


Ilustración 14-2: Esquema del funcionamiento del sistema de carga bidireccional V2G.

Fuente: (Balseca, 2023)

Los sistemas V2G ofrecen beneficios económicos a los propietarios de vehículos eléctricos y también benefician a la red eléctrica al reducir la necesidad de construir nuevas plantas generadoras de energía y mejorar la eficiencia energética. En resumen, los sistemas V2G permiten una mayor integración de los vehículos eléctricos en la red eléctrica y ofrecen beneficios para ambas partes según (Florian Straub, 2023).

2.8 Demanda eléctrica nacional

La inversión realizada por el Estado ha dado lugar a una matriz eléctrica con una alta proporción de generación hidroeléctrica y una reducida generación termoeléctrica en el país. Además, esta inversión ha permitido el fortalecimiento de las redes de transmisión, subtransmisión y distribución, para adaptarlas a las actuales y futuras condiciones de oferta y demanda de electricidad. Por lo tanto, en este contexto, es necesario llevar a cabo un estudio para proyectar la demanda eléctrica como afirma (MERRNR, 2018). El artículo 314 de la constitución de la República del Ecuador indica.

“El Estado es responsable de la provisión del servicio público de energía eléctrica y garantiza que su provisión responda a los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad;” (p. 3).

Durante varios años, el mercado eléctrico ecuatoriano ha mostrado una tendencia decreciente en términos de demanda de energía y potencia. Sin embargo, entre los años 2015 y 2017, las dificultades económicas del país se convirtieron en el principal factor de incertidumbre para la proyección de la demanda. Para ajustar las proyecciones él (MERRNR, 2018) ha realizado estudios de demanda que han permitido monitorear la evolución del comportamiento de las variables.

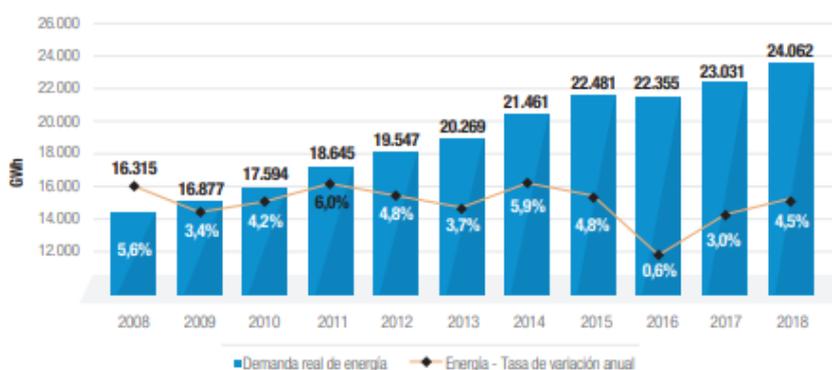


Ilustración 15-2: Evolución de la demanda nacional de energía eléctrica.

Fuente: (MERRNR, 2018)

La ilustración 15-2 muestra la evolución de la demanda de energía a nivel de bornes de generación en el S.N.I. entre los años 2008 y 2018, con una tasa media anual de crecimiento del 3,96%, esto se aprecia en la ilustración 10-2. En el estudio actual, se utiliza un modelo de proyección de demanda que considera diversos escenarios o posibles situaciones futuras. Para desarrollar los modelos econométricos, se aplica una formulación lineal logarítmica que se expresa de la siguiente manera en la ecuación 2-2:

$$\ln Y_t = \ln \alpha + \beta_1 \ln X_{1t} + \beta_2 \ln X_{2t} + \varepsilon_t$$

Ecuación 2-2: Modelo de proyección de tipo lineal logarítmica.

La ecuación 2-2 está definida de la siguiente forma:

- Y_t : Variable a explicar
- X_t : Variables explicativas
- ε_t : Error relativo
- α : Ordenada al origen, representa las elasticidades de Y_t con respecto a X_t
- β : Coeficiente de regresión

Tabla 6-2: Desviación de demanda energética de generación año 2018.

Variable	Proyección	Demanda Real	Desviación %
Potencia máxima coincidente (MW)	3.912	3.905	0.18
Energía (GWh)	24.440	24.062	1.55

Fuente: (MERRNR, 2018)

La tabla 6-2 muestra los valores de la potencia máxima coincidente y la energía del S.N.I. para el año 2018, tanto para la proyección como para la demanda real. Al comparar estos valores se observa una variación del 0,18% en el caso de la potencia máxima coincidente y del 1,55% en la energía.

2.8.1 Proyección de la demanda eléctrica nacional

En el presente estudio se analizaron las características dinámicas del consumo de energía de los usuarios, identificando las variables que influyen en su comportamiento. Para ello, se tomaron en cuenta variables exógenas como el Producto Interno Bruto (PIB) como una variable macroeconómica, la población y la cantidad de viviendas con servicio eléctrico como variables demográficas esto se aprecia en la ecuación 2-2.

El modelo de proyección de demanda se basa en un escenario base que combina las proyecciones de consumo de diferentes grupos. A partir de este escenario base, se realizan hipótesis que consideran sensibilidades en las variables explicativas, como el PIB y la población, y cambios en tecnologías que afectan la demanda de manera exógena. Para generar los escenarios de crecimiento menor y crecimiento mayor, se varió la tasa de crecimiento anual del PIB en +/- 1%. Debido a la baja variabilidad de la población en los últimos tres periodos intercensales, solo se consideró la variabilidad del PIB en el futuro. La ilustración 16-2 muestra gráficamente el modelo de proyección utilizado en el presente Plan.

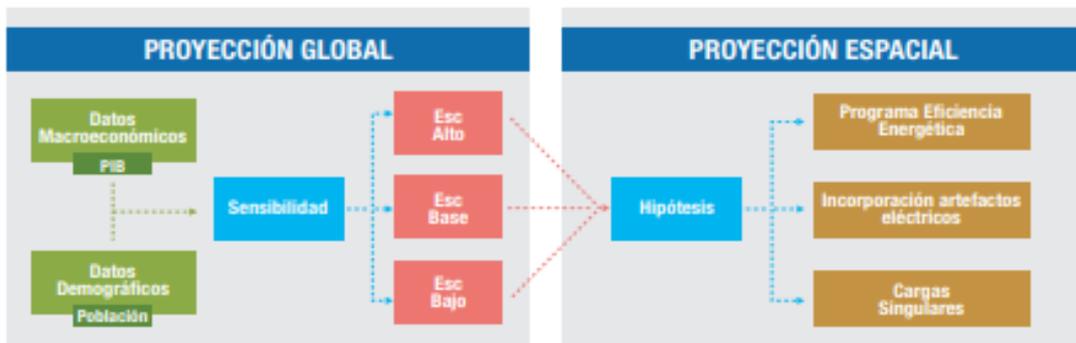


Ilustración 16-2: Modelo de proyección de la demanda eléctrica.

Fuente: (MERRNR, 2018)

2.9 Participación y evolución de la demanda por grupo de consumo

De acuerdo a (MERRNR, 2018), en los periodos de 2008 a 2018 existe un cambio notable en la demanda energética nacional, se muestra un decrecimiento porcentual en 2 puntos, lo que hace alusión a que la producción energética en el país, se encuentra en la capacidad suficiente de suministrar la demanda requerida.

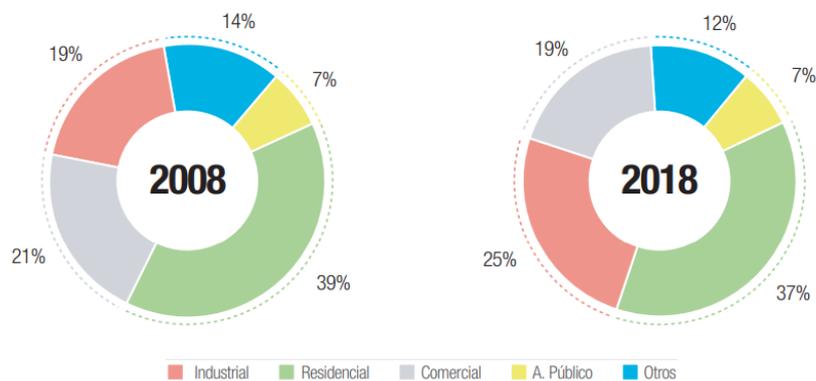


Ilustración 17-2: Comparación en la participación de la demanda de energía de los grupos de consumo años 2008 y 2018.

Fuente: (MERRNR, 2018)

Durante el período comprendido entre 2008 y 2018, se observó que la demanda de energía eléctrica fue mayoritariamente provista por los usuarios residenciales, quienes aportaron un 37% en 2018. En segundo lugar, se encuentran los usuarios industriales, con una aportación del 25%, seguidos por los comerciales con el 19%. En cuanto a la variación promedio del consumo energético, se registró que para el sector residencial fue del 5,99%, para el sector industrial del 10,56% y para el sector comercial del 5,49% durante el mismo período según muestra (MERRNR, 2018), esto se muestra en la ilustración 17-2.

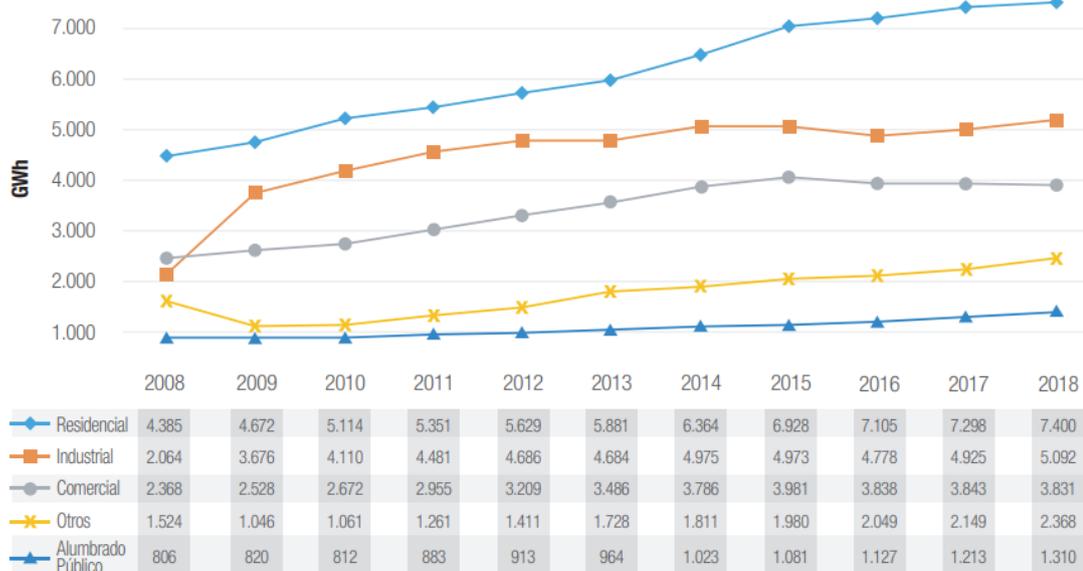


Ilustración 18-2: Energía facturada por grupo de consumo 2008 –2018.

Fuente: (MERRNR, 2018)

La ilustración 18-2 corrobora la comparación en la participación de la demanda de energía de los grupos de consumo en los años 2008 y 2018, se aprecia una tendencia creciente del consumo energético en el sector residencial, al recorte de 2018 existe un consumo de 7,400 GW/h en comparación a 2008 con un consumo de 4,385 GW/h, la diferencia de estos datos dan una muestra clara de la demanda creciente para los próximos años y si a este se le agrega un nuevo consumo como es el de la carga vehicular residencial.

2.10 Mapa solar de Ecuador

Es un recurso valioso que permite identificar el potencial de generación de energía solar en diferentes áreas del país, al mostrar la cantidad de radiación solar que recibe cada zona. Según un estudio llevado a cabo por el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), el mapa solar del Ecuador indica que la región de la Costa es la zona con mayor potencial de generación de energía solar, seguida de la región de la Sierra. Asimismo, el estudio resalta la

importancia de utilizar esta herramienta para identificar las áreas con mayor potencial y fomentar el desarrollo de proyectos de energías renovables en el país.

Las investigaciones realizadas sobre el mapa solar de Ecuador indican que el país posee una amplia capacidad para la producción de energía solar como se aprecia en la ilustración 19-2, sin embargo, se requiere la realización de esfuerzos para superar las dificultades y optimizar el uso de esta fuente renovable en el territorio nacional según (INER, 2018).

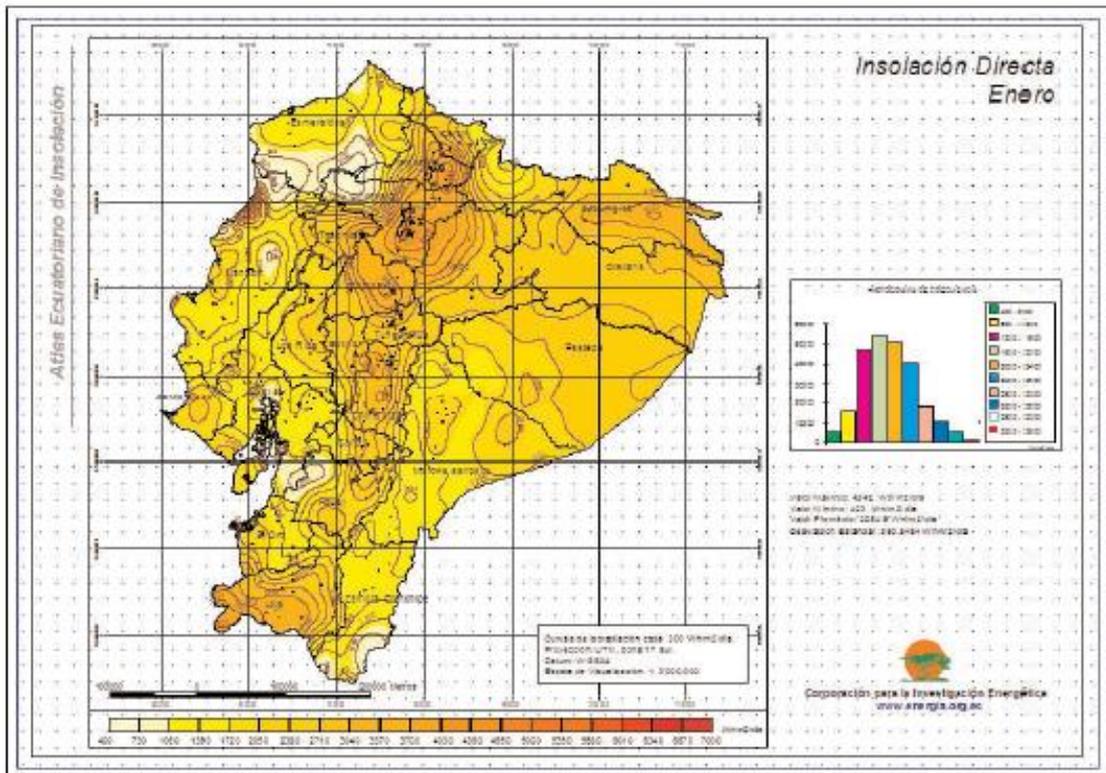


Ilustración 19-2: Mapa solar del Ecuador - Atlas de Insolación.

Fuente: (CONELEC, 2018)

Se ha demostrado a través de los estudios sobre el mapa solar del Ecuador que el país cuenta con un gran potencial para la generación de energía solar, particularmente en las zonas de la Costa y la Sierra. Un informe del Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables titulado "Atlas Solar del Ecuador" indica que la capacidad de generación de energía solar en el país podría alcanzar los 32,000 megavatios, lo que representa más del doble de la capacidad actualmente instalada como se detalla en (CONELEC, 2018).

2.11 Sistema de conversión fotovoltaica DC/AC

El proceso de conversión DC/AC a partir de la producción energética fotovoltaica se base en la transformación de la energía solar en energía eléctrica (corriente continua / DC), una vez obtenido el proceso de conversión este pasa a un regulador de carga para gestionar el flujo de energía del módulo fotovoltaico a la batería y evitar que se produzca una sobrecarga o descarga excesiva en la misma. Según (Antonio Luque, Steven Hegedus, 2010), el regulador de carga también es responsable de prevenir la descarga inversa de la batería hacia el módulo durante las horas de oscuridad.

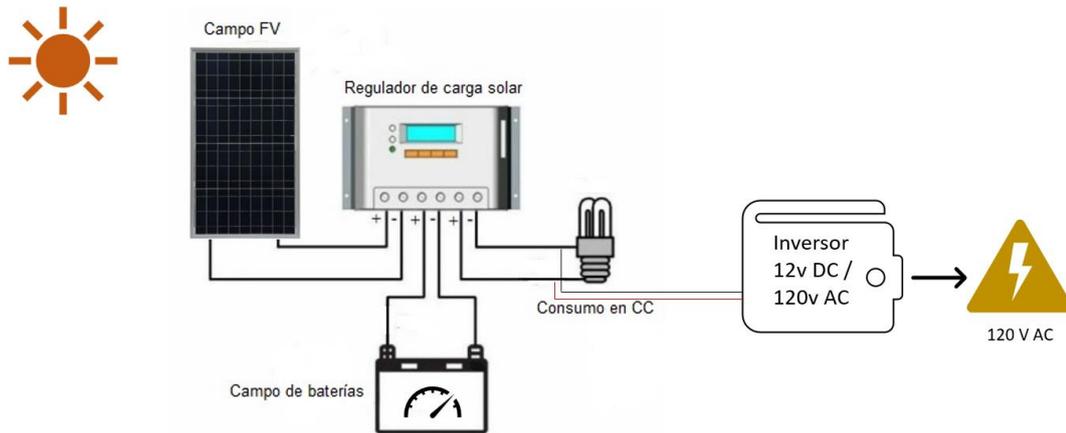


Ilustración 20-2: Proceso de conversión DC/AC a partir de celdas fotovoltaicas.

Fuente: (Balseca, 2023)

El esquema de la ilustración 20-2 muestra el proceso a partir de la obtención energética solar y el proceso que este sufre para que se pueda obtener una corriente eléctrica alterna de 120V, al notar la ilustración 20-2, es vital caer en cuenta el dimensionamiento de la batería para el almacenamiento energético, puesto que este es uno de los elementos primordiales para tener una carga eléctrica estable, en los próximos capítulos se detalla de forma precisa los cálculos necesarios para dimensionar la cantidad de baterías y las conexiones que esta requiera, al igual que las conexiones en los paneles fotovoltaicos.

2.11.1 Algoritmo MPPT

Se utiliza en inversores fotovoltaicos (FV) para ajustar de forma continua la impedancia del panel solar, asegurando que el sistema FV opere en o cerca del punto de potencia pico, incluso bajo condiciones variables como la irradiancia solar, temperatura y carga.

Los ingenieros que desarrollan inversores solares implementan algoritmos MPPT con el fin de maximizar la producción de energía en sistemas FV. Estos algoritmos controlan la tensión para garantizar que el sistema opere en el punto de máxima potencia, también conocido como tensión

pico, de la curva de potencia. Los algoritmos MPPT son comúnmente utilizados en el diseño de controladores para sistemas FV. Estos algoritmos consideran factores como la variabilidad de la irradiancia solar y la temperatura, asegurando que el sistema FV genere la máxima potencia en todo momento según (MathWorks, 2023).

2.11.1.1 Algoritmo de MPPT de perturbación y observación P&O

Este algoritmo realiza perturbaciones en la tensión de operación con el objetivo de asegurar la máxima potencia. Aunque existen variantes más avanzadas y optimizadas de este algoritmo, a continuación, se presenta un algoritmo básico de P&O (Perturb and Observe) de MPPT, como se aprecia en la ilustración 21-2, según (MathWorks, 2023).

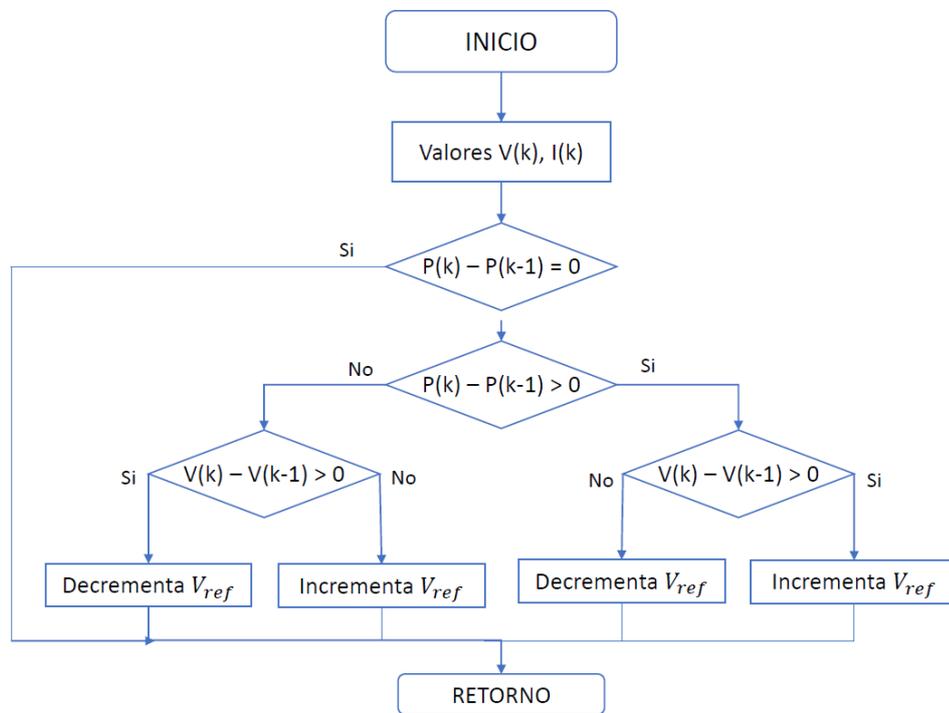


Ilustración 21-2: Algoritmo de P&O básico.

Fuente: (Balseca, 2023)

2.12 Paneles fotovoltaicos

Un panel solar, también conocido como módulo fotovoltaico, es un conjunto de células solares interconectadas que están encapsuladas y montadas sobre una estructura de soporte o marco. Está diseñado para proporcionar una tensión continua en su salida de conexión que se adapte a las necesidades del sistema fotovoltaico como, por ejemplo, valores de tensión específicos de 6V, 12V, 24V, entre otros, que definirán la tensión a la que trabajará dicho sistema según (Diaz, T.; Carmona, G., 2015).

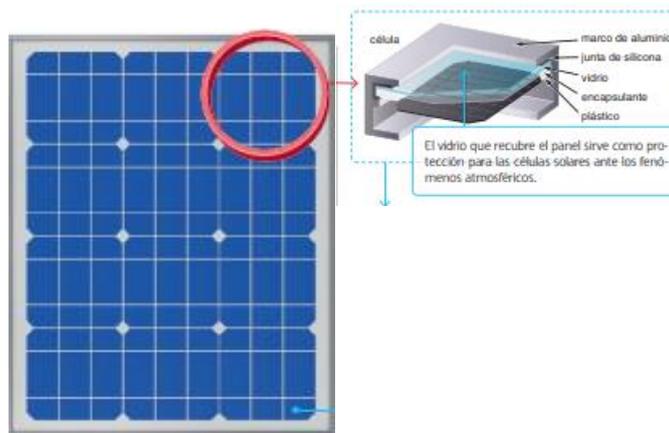


Ilustración 22-2: Constitución de un panel solar.

Fuente: (Díaz, T.; Carmona, G., 2015)

Los elementos que se emplean para la formar un panel fotovoltaico como muestra la ilustración 22-2 son:

- **Soporte:** Proporciona rigidez estructural adecuada con vistas a la instalación del módulo.
- **Cables de conexión:** Se encuentran en una caja en la parte posterior del panel.
- **Marco del panel:** Permite la instalación sobre un determinado soporte.
- **Encapsulado:** Protege al módulo de la intemperie, la abrasión, la humedad y los rayos uv, protege las células y las conexiones ante posibles vibraciones.
- **Conexión:** Las células solares que conforman el panel van conectadas entre si en serie, para un nivel adecuado de tensión e intensidad.

Los tipos de paneles solares se destacan por sus principales características tales como:

- a) **Monocrystalino:** Conocidos por su alta eficiencia energética y larga vida útil. Están compuestos por una sola célula de silicio, lo que les da una apariencia uniforme y consistente en color negro o azul oscuro. Con una tasa de conversión de energía solar a eléctrica del 15% al 20%, estos paneles pueden producir más energía en espacios más pequeños en comparación con otros tipos de paneles solares. Además, son altamente resistentes a las condiciones climáticas adversas, como el viento y la lluvia, y su vida útil puede superar los 25 años con el mantenimiento adecuado.
- b) **Policristalinos:** Se caracterizan por estar compuestos por células solares que contienen múltiples cristales de silicio, lo que les da una apariencia moteada de color azul. Tienen una tasa de conversión de energía solar a eléctrica del 13% al 16%, lo que es ligeramente menor que la de los paneles monocristalinos, pero todavía es considerada alta. Son menos eficientes debido a su proceso de fabricación, pero son más económicos. Son resistentes a las condiciones climáticas adversas y pueden durar hasta 25 años o más con el

mantenimiento adecuado. Estos paneles son una buena opción para instalaciones donde se necesita un rendimiento decente a un costo menor.

- c) **Amorfo:** son fabricados con materiales semiconductores como el silicio, el telururo de cadmio o el seleniuro de cobre, y tienen una apariencia uniforme en color oscuro. A diferencia de otros paneles, estos son flexibles y se adaptan fácilmente a superficies curvas. Aunque su tasa de conversión de energía solar a eléctrica es menor que la de los paneles monocristalinos y policristalinos, se consideran más económicos y eficientes en condiciones de poca luz. Sin embargo, son menos resistentes a condiciones climáticas adversas, por lo que deben ser colocados en lugares protegidos. Su vida útil es de alrededor de 20 años con el mantenimiento adecuado.

2.13 Sistema de conversión energético DC-AC

En los últimos años, se han propuesto y desarrollado sistemas alternativos para la generación de energía eléctrica, por el agotamiento, dependencia y constante incremento en el costo de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) (Arango & Arroyave, 2016) (Valles, Acosta & Pérez, 2014). El uso de estos combustibles, por ejemplo, en termoelectricas, provoca un impacto negativo sobre el medio ambiente debido a los gases como el dióxido de azufre (SO₂) y el dióxido de carbono (CO₂) originados en las combustiones (Oswald 2017& Aguilera, 2016).

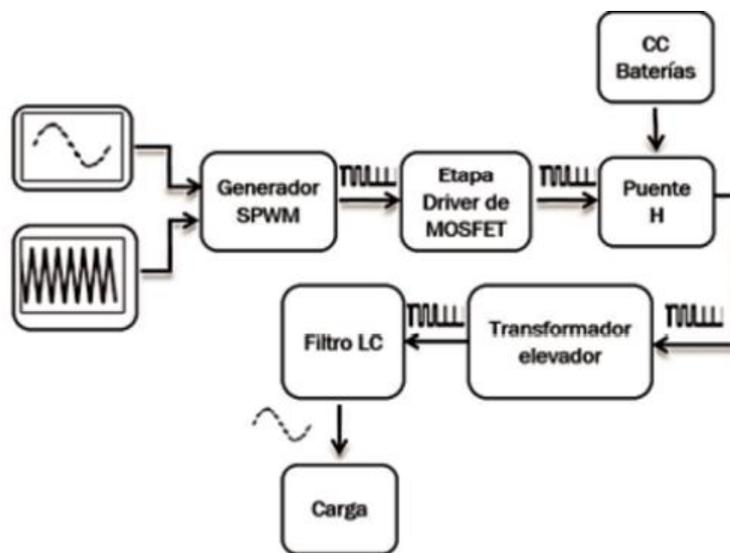


Ilustración 23-2: Diagrama de bloques de un convertidor DC-AC.

Fuente: (Jairo Gutiérrez, Luz Flórez, Daniel Serrano, 2019)

Al hablar de eficiencia en sistemas energéticos alternativos es inevitable no pensar en el módulo principal, el “Convertidor DC-AC” como muestra la ilustración 23-2. Estos son dispositivos que permiten transformar la energía de corriente directa (DC) captada, por ejemplo, de paneles solares

o la entregada por circuitos rectificadores de aerogeneradores en corriente alterna (AC) (Conde, 2013), que es la forma de energía útil para ser transportada y utilizada en la alimentación de la mayoría de equipos eléctricos y electrónicos tanto en el hogar como en la industria. Un dispositivo que se encarga de convertir un voltaje de entrada DC a un voltaje simétrico de salida AC, con la magnitud y frecuencias deseadas, es llamado inversor. Estos inversores también son conocidos como convertidores DC-AC. Según (Aguilar, Vázquez & Gordillo, 2017), en la ilustración 23-2 se puede observar el diagrama de bloques de un inversor modulado diseñado por (Jairo Gutiérrez, Luz Flórez, Daniel Serrano, 2019).

El precio de los convertidores, en el mercado actual, depende de factores como la eficiencia los algoritmos y materiales usados en su fabricación y de la calidad de la energía procesada, por lo general los más económicos no entregan el tipo de señal adecuada para el buen funcionamiento de electrodomésticos y equipos industriales, sino un tipo de señal con mucha distorsión armónica que deteriora la vida útil de estos.

Los convertidores más económicos son los de onda cuadrada y onda modificada, sin embargo, en términos de eficiencia lo cual se traduce en realizar la conversión de energía DC – AC con nulas o mínimas pérdidas, la respuesta de estos inversores es bastante baja debido a la alta distorsión armónica que los caracteriza. Es necesario mencionar que los armónicos distorsionan la forma de onda de salida, elevan la temperatura de los dispositivos semiconductores y generan pérdidas de potencia en la conmutación (Petropol & Petropol, 2016). Las altas frecuencias de los armónicos en señales distorsionadas producen interferencias electromagnéticas que afectan negativamente el funcionamiento de los sistemas de telecomunicaciones, en transformadores calientan el bobinado, aumentan la impedancia de fuente y producen pérdidas debidas a las corrientes de Foucault. La circulación de corrientes armónicas por los devanados de motores provoca calentamientos en los mismos y daños en el aislamiento térmico de sus arrollamientos (Magallán, De Angelo & García, 2009).

2.14 Optimización por enjambre de partículas para dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos

De acuerdo con (Koziel y Yang, 2011), PSO es una técnica de búsqueda aleatoria inspirada en los principios de iteración social, es decir, en el comportamiento de los enjambres o grupos de individuos como: las aves en la naturaleza o banco de peces que se mueven juntos. PSO se relaciona con la iteración social de forma que, las partículas del cúmulo recorren su entorno siguiendo a los miembros más rápidos del enjambre, de esta forma se orientan y desplazan hacia las mejores zonas de su entorno.

En base a (Du y Swamy, 2016), en un problema de optimización de n variables, se define un enjambre de partículas NP, a cada partícula se le asigna una posición aleatoria en el espacio n -dimensional. Cada partícula posee su propia posición x_i y velocidad v_i (trayectoria), y se mueve en el espacio de búsqueda actualizando su trayectoria. Las partículas de una población modifican sus trayectorias basándose en las mejores posiciones visitadas por la misma partícula o partículas vecinas. Cada partícula tiene su valor de aptitud que es evaluado por la función aptitud, éstas son enviadas a través del espacio de solución para así seguir a las partículas óptimas actuales. Cumpliendo así una iteración. Las partículas óptimas actuales son los dos mejores valores, es decir, mejor partícula p_{best} , denotada x_i^* , $i = 1, \dots, N_p$, es la mejor partícula alcanzada hasta el momento; y el mejor global g_{best} , denotado por x^g , que es el mejor valor de la población obtenido hasta ese momento. El mejor valor de la población en una iteración es un valor local, denotado por $lbest$. En la iteración $t + 1$, el enjambre se actualiza mediante:

$$\begin{aligned} v_i(t + 1) &= v_i(t) + cr_1[x_i^* - x_i(t)] + cr_2[x^g(t) - x_i(t)] \\ x_i(t + 1) &= x_i(t) + v_i(t + 1), \quad i = 1, \dots, N_p \end{aligned}$$

Ecuación 3-2: Actualización del enjambre por iteración $t+1$.

Donde, la aceleración constate $c > 0$, y r_1 y r_2 son números aleatorios uniformes dentro de $[0, 1]$. Este proceso detalla el algoritmo PSO básico y puede llevar a la explosión del enjambre y divergencia, debido a la falta de control de la magnitud de las velocidades, no obstante, esto se resuelve estableciendo un umbral v_{max} en el valor absoluto de la velocidad v_i .

En (Du y Swamy, 2016) se menciona que, PSO es popular dada su sencillez de implementación y su capacidad de convergencia rápida hacia una solución razonablemente aceptable, conforme a esto, PSO en relación con los EAs y ACO requiere operadores matemáticos básicos, menos contabilidad computacional, así también, menos líneas de código, por lo que es poco costoso en términos de memoria y velocidad. Con lo predicho, PSO puede localizar la región óptima más rápido que los EAs o el ACO, no obstante, cuando las partículas están en dicha región, su progreso es lento debido al tamaño de paso de su velocidad. Casi todas las variantes de PSO intentan resolver el problema del óptimo local o de estancamiento, es así como, el peso linealmente decreciente de PSO equilibra de manera eficiente las capacidades de búsqueda global y local del enjambre, esto es, con la introducción de un peso de inercia linealmente decreciente en la velocidad de la partícula del enjambre, teniendo:

$$v_i(t + 1) = \alpha v_i(t) + c_1 r_1 [x_i^*(t) - x_i(t)] + c_2 r_2 [x^g(t) - x_i(t)]$$

Ecuación 4-2: Peso de inercia linealmente decreciente del enjambre por iteración.

Dónde: α es el peso de inercia, c_1 y c_2 son constantes positivas que representan el parámetro conductivo y social, respectivamente. Generalmente, $c_1 = 2.0$ y $c_2 = 2.0$, y α decrementa desde α_{max} a α_{min} , teniendo:

$$\alpha(t) = \alpha_{max} - (\alpha_{max} - \alpha_{min}) \frac{1}{T}$$

Ecuación 5-2: Formula de decremento de α_{max} a α_{min} .

Dónde: T es el máximo número de iteraciones. Se puede elegir a $\alpha_{max} = 1$, y $\alpha_{min} = 0.1$.

Las partículas del cúmulo interactúan entre sí actualizando sus velocidades, en relación a su mejor marca individual y la mejor marca global, con el objetivo de encontrar la mejor solución entre todas las mejores soluciones actuales. Frecuentemente en el algoritmo PSO usa como criterio de parada el completar un determinado número de iteraciones o hasta que la función objetivo alcance un valor determinado mejor (Chong y Zak, 2013).

2.15 Función objetivo

Es una métrica utilizada para optimizar un sistema o proceso en un problema de investigación o diseño. En el caso del presente trabajo, se está modelando un sistema fotovoltaico que ingresa a la red de corriente continua (DC) y alimenta un cargador de vehículo eléctrico, la función objetivo podría ser definida de la siguiente manera, (Rahmat Khezri, 2021):

Maximizar la eficiencia del sistema: Esto implica minimizar las pérdidas de energía durante la conversión y transmisión, así como optimizar la carga de la batería del vehículo eléctrico. Considerando los siguientes aspectos, se puede desarrollar la función objetivo de la siguiente forma:

- **Eficiencia de conversión:** Maximizar la eficiencia de conversión de energía solar a energía eléctrica en el sistema fotovoltaico. Esto implica optimizar los componentes del sistema, como los paneles solares, inversores y controladores de carga, para obtener la mayor cantidad de energía eléctrica de la radiación solar incidente.
- **Eficiencia de carga:** Maximizar la eficiencia de carga de la batería del vehículo eléctrico. Esto implica optimizar el proceso de carga para minimizar las pérdidas y maximizar la transferencia de energía a la batería del vehículo eléctrico.
- **Eficiencia de transmisión:** Minimizar las pérdidas de energía durante la transmisión de la energía desde el sistema fotovoltaico hasta el cargador de vehículo eléctrico. Esto puede incluir la optimización de la configuración del cableado y la selección de equipos de transmisión eficientes.

- **Costo:** Se debe considerar también el costo del sistema fotovoltaico y del cargador de vehículo eléctrico, se debe incorporar este factor en la función objetivo para encontrar un equilibrio entre la eficiencia y el costo del sistema.

2.16 Método de Brown y Gibson

Es un procedimiento cuantitativo utilizado para determinar la ubicación ideal de plantas industriales. Este algoritmo integra tanto aspectos objetivos como subjetivos para evaluar diferentes opciones y determinar qué lugar ofrece las condiciones más favorables para la instalación de una planta. Los factores considerados en el estudio de localización de plantas incluyen servicios esenciales, mano de obra disponible, disponibilidad de materias primas y suministros, demanda del mercado, accesibilidad, entre otros.

La implementación de este modelo implica seguir una secuencia de cálculo que incluye la definición de actividades y alcance del proyecto de localización de planta, la evaluación de alternativas y la selección de la ubicación óptima. El método de Brown y Gibson pondera de manera positiva la toma de decisiones y combina tanto factores objetivos como subjetivos para elegir la mejor opción de acuerdo con (Bryan Salazar López, 2019).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se plantea los requerimientos que debe cumplir la integración de generación fotovoltaica y vehículos eléctricos de acuerdo a escenarios residenciales promedio de acuerdo a la situación energética del Ecuador, delimitando el área de construcción y el nivel socioeconómico de acuerdo a la capacidad de adquisición que requiere un sistema EV, al igual que el análisis de costos para la carga vehicular en los diferentes escenarios planteados y sus respectivas simulaciones, considerando la carga obtenida desde la parte fotovoltaica a partir de la optimización por enjambre de abejas y desde la red.

3.1 Requerimientos para la integración de generación fotovoltaica y EV's

En base al estudio realizado en el marco teórico, se definen los requerimientos necesarios para la integración de generación fotovoltaica y vehículos eléctricos de acuerdo a los diferentes escenarios residenciales promedio de acuerdo a la situación energética del país, empleando sistemas bidireccionales, los cuales son:

1. Datos y especificaciones del escenario energético dual en Ecuador
 - Emplear los datos estadísticos actuales sobre la situación energética en Ecuador y la capacidad de generación y matriz energética.
 - Se va a emplear las políticas vigentes relacionadas a favor de las energías renovables y movilidad eléctrica.
 - Se debe analizar los perfiles de consumo de energía residencial y patrones de movilidad en el contexto ecuatoriano.
 - Se va a trabajar con las tarifas de electricidad y los incentivos o subsidios existentes para la generación fotovoltaica y de la red eléctrica nacional para los EV's.
2. Evaluación del potencial solar
 - Se va a emplear los estudios detallados del recurso solar proporcionados por la base solar de la NASA y SOLARGIS, para las siguientes áreas, máximas de 174m², promedio de 135m² y mínimo de 91m².
3. Estudio de viabilidad técnica
 - Evaluar mediante el algoritmo de optimización de panel de abejas la capacidad del recurso fotovoltaico máximos y mínimos, teniendo en cuenta las superficies promedias por cada región, costa - 123m², sierra - 152m², oriente - 125m² e insular 112m².
4. Diseño del sistema dual

- Simular el tamaño óptimo del sistema fotovoltaico en las viviendas promedio de cada región del Ecuador, considerando el consumo de energía residencial y carga adicional asociada con la capacidad de carga del EV Skywell ET5
- Simular un escenario dual conectado del sistema fotovoltaico y de la red eléctrica nacional considerando el consumo de energía residencial y carga adicional asociada con la capacidad de carga del EV Skywell ET5

5. Análisis de viabilidad económica

- Se debe calcular los costos de inversión para la instalación de sistemas fotovoltaicos en las viviendas promedio por región, incluyendo el costo de los paneles solares, los inversores, el cableado, el convertidor bidireccional para la carga vehicular y mano de obra pertinente.
- Se va a estimar los ahorros potenciales en la factura del servicio eléctrico considerando la generación solar y la reducción de la dependencia de la red eléctrica.
- Se debe evaluar los posibles ingresos adicionales derivados de la venta de energía excedente a la red eléctrica de acuerdo al memorando No. ARCONEL-ARCONEL-2018-223-M.
- Se debe realizar un análisis financiero para determinar el periodo de retorno de la inversión y evaluar la rentabilidad del sistema propuesto.

6. Topología de carga para vehículos eléctricos

- Se va a trabajar con los costos pertinentes a la carga lenta, dado en el horario de 10pm a 8am en 220 V.
- La carga de la batería del EV se lo va a considerar del 30% al 80%, con la finalidad de aproximarse a la realidad de un perfil de conducción.

3.2 Concepción de la arquitectura general del sistema

En la ilustración 1-3 se puede apreciar la arquitectura global del sistema que aborda el diseño y simulación de la arquitectura de un sistema que estudia la factibilidad tecnológica y económica de la integración de vehículos eléctricos y generación fotovoltaica según un escenario residencial promedio y situación energética del país. Teniendo como objetivo el poder establecer un ambiente de simulación que permita ser optimizado y muestre un estudio de costo beneficio en comparación a los sistemas tradicionales de combustión.

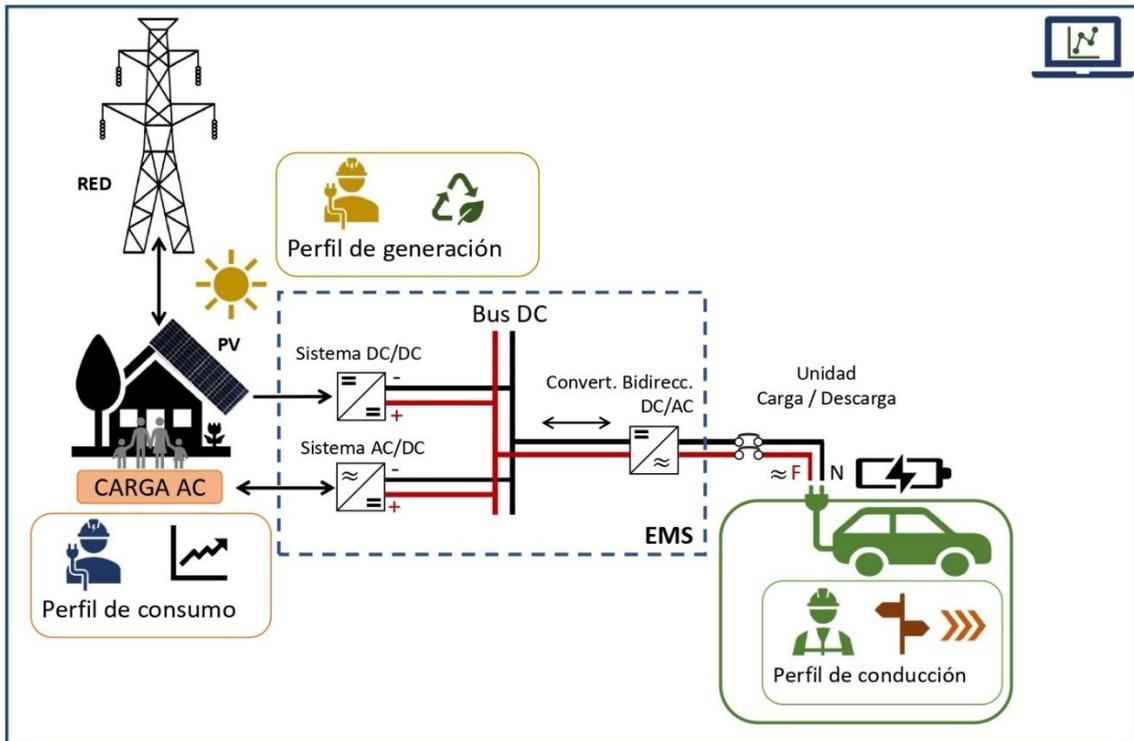


Ilustración 1-3: Arquitectura general del sistema a estudiar.

Fuente: (Balseca, 2023)

La ilustración 1-3 describe un escenario dual, donde está presente el tendido eléctrico que es la fuente principal de alimentación para los perfiles de consumo en una vivienda promedio, esta a su vez se encuentra acoplada con un sistema de generación fotovoltaico, que es fuente primaria de alimentación que va al sistema de gestión energética para su posterior proceso de carga vehicular. Los perfiles de consumo están ligados estrechamente al consumo interno de la vivienda como a la demanda de corriente requerida para cargar las baterías del vehículo. Por otra parte, los perfiles de conducción son fuente de información base para determinar un correcto y aproximado perfil de consumo energético, pues este va a depender netamente de su uso diario. Para los perfiles de generación se toman los datos proporcionados por la base de datos de nasa, y estos varían de acuerdo a las tres localidades representativas por provincias ligadas directamente al mapa de irradiación del potencial eléctrico fotovoltaico de SOLARGIS.

3.3 Área de edificación por provincia en el Ecuador

En base a la tabla 1-2 (promedios de construcción por regiones) y la ilustración 3-2 (promedio del área de construcción por vivienda y provincias en m²), se determinan los siguientes datos a considerar para los cálculos pertinentes.

La ilustración 2-3 muestra la región insular, donde se detalla los valores de áreas de construcción en la región, el área mínima a trabajar es de 112 m² que corresponde a su capital principal Puerto Baquerizo Moreno.

Por lo tanto:

Tabla 1-3: Área de edificación de provincias seleccionadas.

Provincias seleccionadas	Área de edificación
Guayas	114 m ²
Carchi	125 m ²
Sucumbíos	91 m ²
Prto. Baquerizo Moreno	112 m ²

Fuente: (Balseca, 2023)

La tabla 1-3 muestra las provincias seleccionadas para el presente estudio, donde se considera la menor área de edificación por provincia, con la finalidad de cubrir todo el territorio ecuatoriano y este sea aplicable en toda ciudad de acuerdo a la región en la que se encuentre.

3.4 Capacidad de adquisición de un sistema EV en función del nivel socioeconómico

Tomando en cuenta la tabla 3-2 de vehículos homologados en Ecuador, se detalla un listado de precios, donde el valor más alto de un EV es de 149.990\$ y el valor más bajo es de 6.900\$, este tipo de valores no determinan un criterio de compra, por lo que se emplea una tabla de demanda de EV más cotizados en el país de acuerdo (VARUS, 2023) los modelos más vendidos a abril de 2023 son:

Tabla 2-3: Modelos de EV's más vendidos a abril de 2023.

Modelo	Precio	Número de Ventas x/u
Audi – Etron 50 Quatt	\$76.990	24
Skywell – ET5	\$42.990	22
Mercedes Benz – EQA	\$69.990	16
BYD – E5	\$29.500	16

Fuente: (Balseca, 2023)

La tabla 2-3 muestra los 4 modelos de vehículos más vendidos en el país, no obstante, en base a esta información se puede trabajar exclusivamente con un tipo de modelo, el cual se puede seleccionar en base a los siguientes enunciados:

Tabla 3-3: Características de consideración para un EV.

Modelo	Autonomía		Ventas x/u		Costo Promedio		Cap. De Batería	
Audi Etron 50 Quatt	402km		24	x	\$76.990		71 kWh	
Skywell – ET5	520km	x	22		\$42.000	x	71.98 kWh	x
Mercedes Benz – EQA	500km		16		\$69.990		66.5 kWh	
BYD – E5	400km		16		\$34.000		62 kWh	

Fuente: (Balseca, 2023)

Tomando en cuenta los aspectos a considerar, presentada en la tabla 3-3, de los vehículos con la mayor demanda en el mercado ecuatoriano, se elige al vehículo con las características ideales, siendo este el modelo Skywell – ET5, el cual consta con la mayor autonomía (520 km), 2do lugar en ventas en el mercado nacional, con un costo promedio en la gama de EV (\$42.000) y la mayor capacidad de batería (7.98 kWh).

Al tener el modelo ideal de EV a considerar para las simulaciones, este debe ser ligado al estrato socioeconómico, como se mencionó en la sección 2.3, donde se muestran 5 niveles socioeconómicos (ilustración 7-2), teniendo el valor promedio de un EV que ronda los \$42.000 mostrado en la tabla 3-3, se puede hacer un análisis de acuerdo al nivel de ingreso y las tasas de prestación actual en el mercado, haciendo uso del simulador de créditos de la Coop. Riobamba.

- Costo Total: \$42'000
- Núm. Cuotas: 60 meses – 5 años
- Interés: 14.56%

$$A = \text{Costo Total} \left(\frac{\text{interes anual} * (1 + \text{interes anual})^{\text{años}}}{(1 + \text{interes anual})^{\text{años}} - 1} \right) \quad (1)$$

$$A = 42000 \left(\frac{0.1456 * (1 + 0.1456)^5}{(1 + 0.1456)^5 - 1} \right)$$

$$A = \$12'398.98$$

$$\text{Mes} = \frac{\$12'398.98}{12} = \$1033.25 \quad (2)$$

Partiendo de los valores mostrados en la ecuación (2), que parte de la fórmula de la anualidad (1) se tiene un valor mensual a cubrir de \$1033.25, el presente dato, permite determinar cómo valor referencia los niveles socioeconómicos que pueden ser aptos para la adquisición de este tipo de

vehículos y sistemas de generación fotovoltaico. En base a la distribución de gastos en un hogar promedio se tiene:

- Alimentación
- Vestimenta
- Servicios básicos
- Salud
- Pagos
- Ahorro

Teniendo en cuenta un presupuesto que represente con precisión los gastos, se debería considerar el ahorro como una categoría de gasto adicional. Sin embargo, ¿qué cantidad se debería destinar a esta categoría? A primera vista, puede resultar difícil renunciar a una cantidad mensual, incluso si conlleva beneficios en el futuro. La regla 50-20-30, tabla 4-3 puede servir como una útil referencia. Consiste en dividir los ingresos mensuales en los siguientes porcentajes: 50% para gastos obligatorios y necesarios, 30% para gastos discrecionales y 20% para el ahorro, según (BBVA, 2023).

Nivel A (salario > \$3000)

Tabla 4-3: Partición de gastos para el nivel A.

Descripción	Porcentaje	Valor
Gastos obligatorios y necesarios	50%	\$1500
Gastos discrecionales	30%	\$900
Ahorro	20%	\$600

Fuente: (Balseca, 2023)

La letra mensual al pago del vehículo corresponde a \$1033.25, lo que debería estar dentro de los gastos discrecionales y el ahorro, ya que son gastos prescindibles, por lo tanto:

$$Solvencia_A = (\text{gastos discrecionales} + \text{ahorro}) - \text{pago mensual} \quad (3)$$

$$Solvencia_A = (\$900 + \$600) - \$1033.25$$

$$Solvencia_A = \$466.75$$

Nivel B (salario > \$1500 & < \$3000 – media: \$2250)

Tabla 5-3: Partición de gastos para el nivel B

Descripción	Porcentaje	Valor
-------------	------------	-------

Gastos obligatorios y necesarios	50%	\$1125
Gastos discrecionales	30%	\$675
Ahorro	20%	\$450

Fuente: (Balseca, 2023)

La letra mensual al pago del vehículo corresponde a \$1033.25, lo que debería estar dentro de los gastos discrecionales y el ahorro, ya que son gastos prescindibles, por lo tanto:

$$Solvencia_B = (\text{gastos discrecionales} + \text{ahorro}) - \text{pago mensual}$$

$$Solvencia_B = (\$675 + \$450) - \$1033.25$$

$$Solvencia_B = \$91.75$$

Para la solvencia calculada en el nivel B, este es factible cuando el ingreso mensual es \geq \$2250, con los siguientes datos se puede determinar la población que tienen la capacidad de adquisición de un EV (Skywell ET5), mostrados en las tablas 4-3 y 5-3 respectivamente:

- Nivel A 100% - 1.9% de la muestra (9744): 185 viviendas
- Nivel B 50% - 11.2% de la muestra (9744): 546 viviendas

3.5 Perfiles de consumo energético promedio

Partiendo por la normativa vigente dada en el Art. 314 de la Constitución de la República del Ecuador indica: “El Estado es responsable de la provisión del servicio público de energía eléctrica y garantiza que su provisión responda a los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad”. Y la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica – LOSPEE – en su artículo 12, numeral 3, indica como atribución y deber de la Entidad Rectora la elaboración de un Plan Maestro de Electricidad – PME, el mismo que es empleado para determinar perfiles de consumo en las principales ciudades seleccionadas en la sección 3.3, que son, Guayas, Carchi, Sucumbíos y San Cristóbal.

En la sección 2.8 se abarcó la demanda eléctrica nacional, con un modelo de proyección de usuarios del sector residencial para los periodos de 2019 a 2027, de acuerdo a la ecuación 2-2.

$$\ln Y_t = \ln \alpha + \beta_1 \ln X_{1t} + \beta_2 \ln X_{2t} + \varepsilon_t \quad (4)$$

Tomando los datos proyectados por (ARCONEL, 2020) en el sector residencial, se tiene:

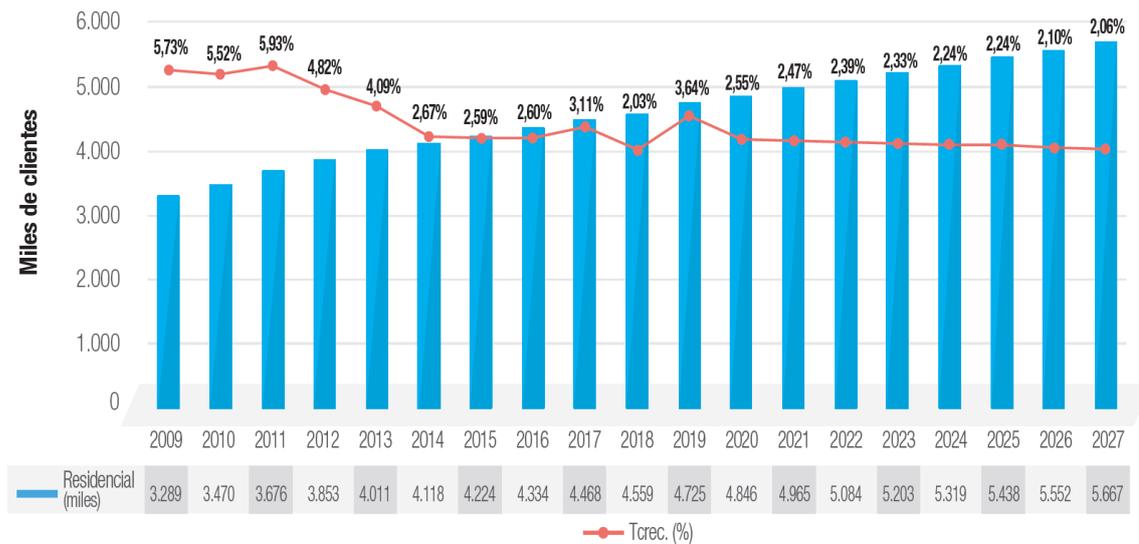


Ilustración 3-3: Evolución histórica y proyección de usuarios del sector residencial.

Fuente: (ARCONEL, 2020)

Según la ilustración 3-3, se presenta un análisis histórico y proyección de usuarios del sector residencial desde 2009 hasta 2018. Se pronostica que habrá un crecimiento promedio anual del 2,45% durante el periodo 2009-2027, alcanzando aproximadamente 5,66 millones de usuarios en 2027. Asimismo, se destaca que al finalizar el año 2018, la cobertura alcanzó un valor del 97,05% de la proyección tendencial de usuarios residenciales y su consumo.

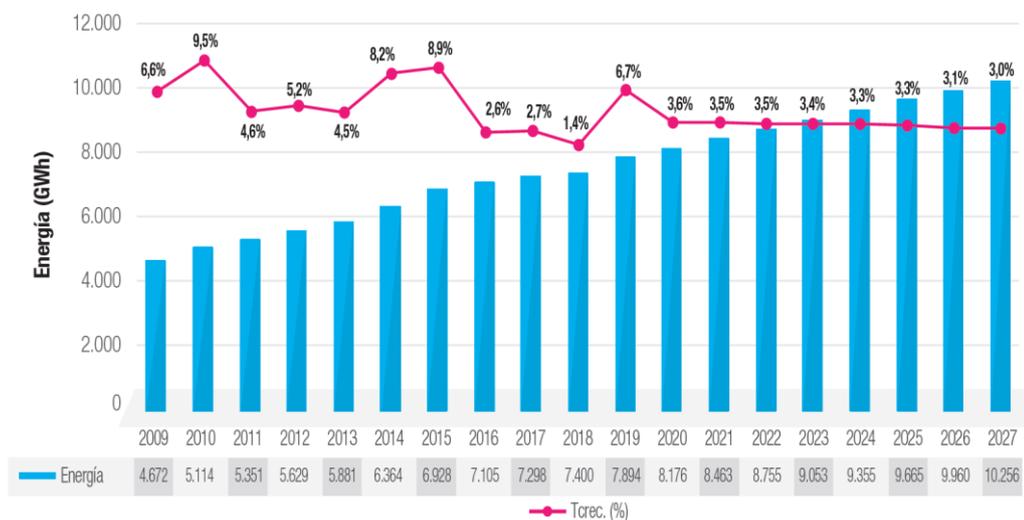


Ilustración 4-3: Evolución histórica y proyección del consumo del sector residencial.

Fuente: (ARCONEL, 2020)

En cuanto al aumento del consumo de energía en el sector residencial como se aprecia en la ilustración 4-3, se anticipa que habrá un crecimiento promedio del 3,7% durante el periodo

comprendido entre 2019 y 2027. La proyección indica que el consumo energético total alcanzará los 10.256 GWh para el año 2027.



Ilustración 5-3: Evolución histórica y proyección del consumo promedio por usuario residencial.

Fuente: (ARCONEL, 2020)

La proyección de usuarios residenciales y su consumo se basa principalmente en el crecimiento vegetativo de la población y los beneficiarios del programa de electrificación rural. Se estima que el consumo promedio por usuario residencial llegue a 1,81 MWh/año para el año 2027 como muestra la ilustración 5-3. Teniendo claro las siguientes proyecciones mostradas en la ilustración 4-3 e ilustración 5-3, se tiene los siguientes datos para 2023 (año actual) a 2027 (año proyectado).

Tabla 6-3: Perfil de consumo energético promedio.

Año	Promedio de consumo por usuario al año	Promedio de consumo por usuario al mes	Promedio de consumo por familia (4m) al mes
2023	1.74 MWh/año	145 KWh/mes	580 KWh/mes
2024	1.76 MWh/año	146.66 KWh/mes	586.64 KWh/mes
2025	1.78 MWh/año	148.33 KWh/mes	593.32 KWh/mes
2026	1.79 MWh/año	149.16 KWh/mes	596.64 KWh/mes
2027	1.81 MWh/año	150.83 KWh/mes	603.32 KWh/mes

Fuente: (Balseca, 2023)

3.6 Perfiles de generación fotovoltaico

Tomando como fuente el mapa y datos del recurso fotovoltaico por SOLARGIS correspondientes a Ecuador de manera simultánea con el Global Solar Atlas, el cual es publicado por el Grupo del Banco Mundial y financiado por ESMAP se tiene.

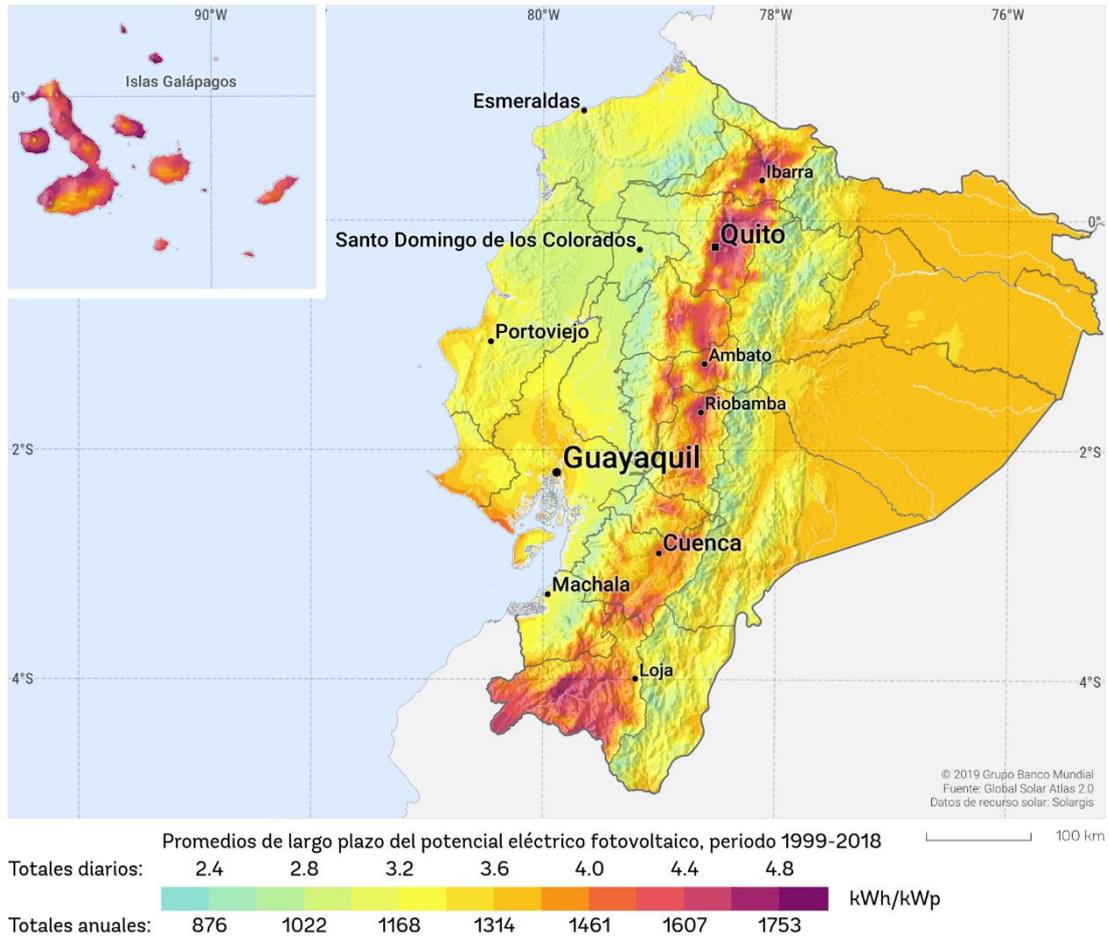


Ilustración 6-3: Mapa del potencial eléctrico fotovoltaico de Ecuador.

Fuente: (SOLARGIS, 2019)

A partir de la ilustración 6-3, donde se representa en escala de colores los promedios de largo plazo del potencial eléctrico fotovoltaico en el periodo 1999 – 2018, se puede obtener una base de datos para determinar las ciudades representativas a trabajar en el presente estudio.

Región Costa:

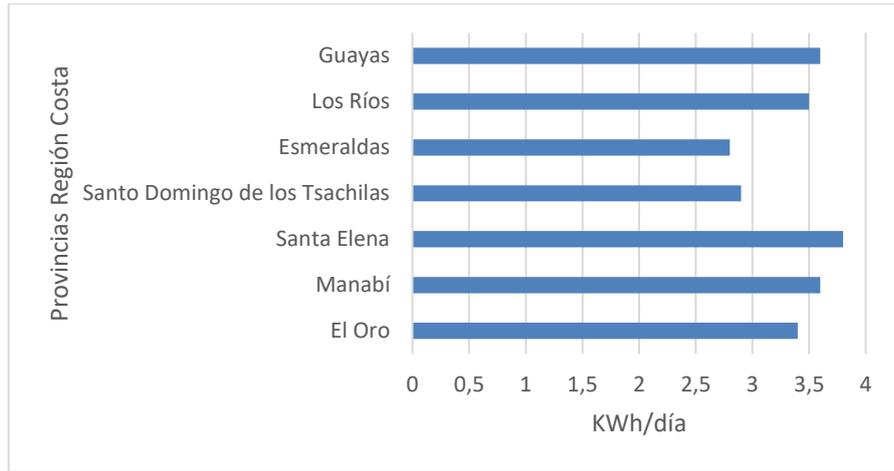


Ilustración 7-3: Promedio de largo plazo del PEF, periodo 1999-2018, región Costa.

Fuente: (Balseca, 2023)

En base a la ilustración 7-3, se obtienen los siguientes valores: $PEF_{min} = 2.8 \text{ KWh/día}$, $PEF_{max} = 3.8 \text{ KWh/día}$, con un promedio para la región Costa de $PEF_{prom} = 3.36 \text{ KWh/día}$, en base a la sección 3.3 donde se determinó la menor cantidad de área de construcción por región, la provincia del Guayas posee $PEF = 3.6 \text{ KWh/día}$, valor a ser tomado para los respectivos cálculos.

Región Sierra:

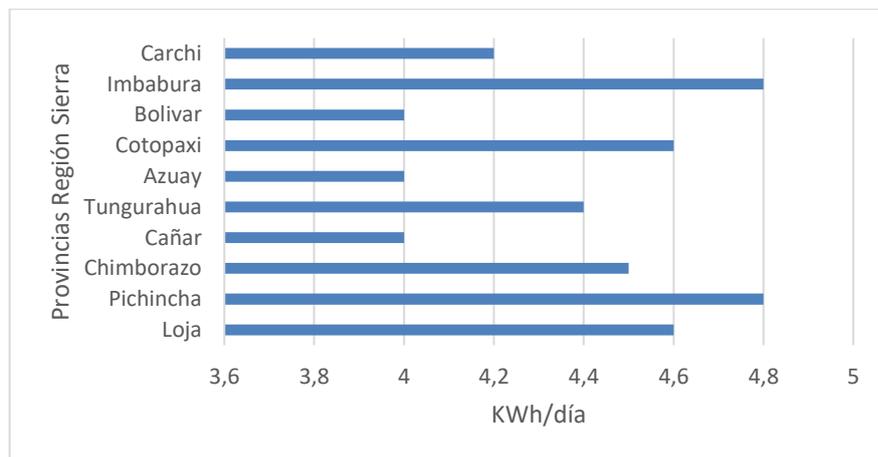


Ilustración 8-3: Promedio de largo plazo del PEF, periodo 1999-2018, región Sierra.

Fuente: (Balseca, 2023)

En base a la ilustración 8-3, se obtienen los siguientes valores: $PEF_{min} = 4 \text{ KWh/día}$, $PEF_{max} = 4.8 \text{ KWh/día}$, con un promedio para la región Sierra de $PEF_{prom} = 4.39 \text{ KWh/día}$,

en base a la sección 3.3 donde se determinó la menor cantidad de área de construcción por región, la provincia del Carchi posee $PEF = 4.2 \text{ KWh/día}$, valor a ser tomado para los respectivos cálculos.

Región Oriente:

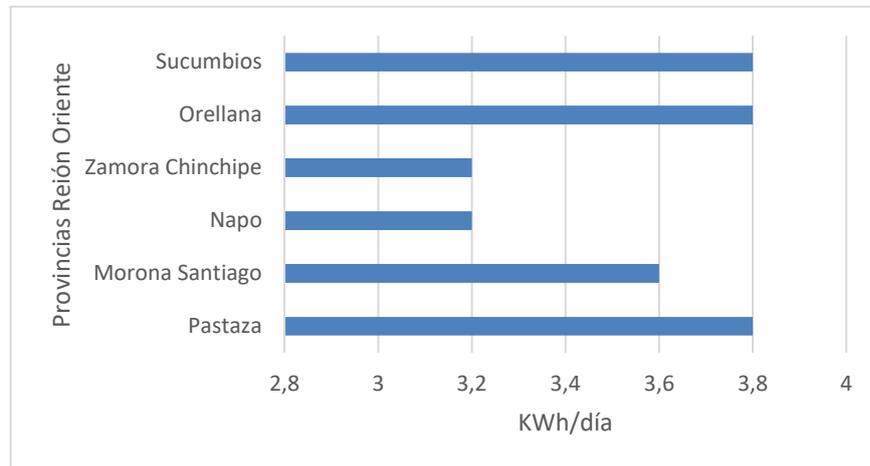


Ilustración 9-3: Promedio de largo plazo del PEF, periodo 1999-2018, región Oriente.

Fuente: (Balseca, 2023)

En base a la ilustración 9-3, se obtienen los siguientes valores: $PEF_{min} = 3.2 \text{ KWh/día}$, $PEF_{max} = 3.8 \text{ KWh/día}$, con un promedio para la región Oriente de $PEF_{prom} = 3.55 \text{ KWh/día}$, en base a la sección 3.3 donde se determinó la menor cantidad de área de construcción por región, la provincia de Sucumbíos posee $PEF = 3.8 \text{ KWh/día}$, valor a ser tomado para los respectivos cálculos.

Región Insular:

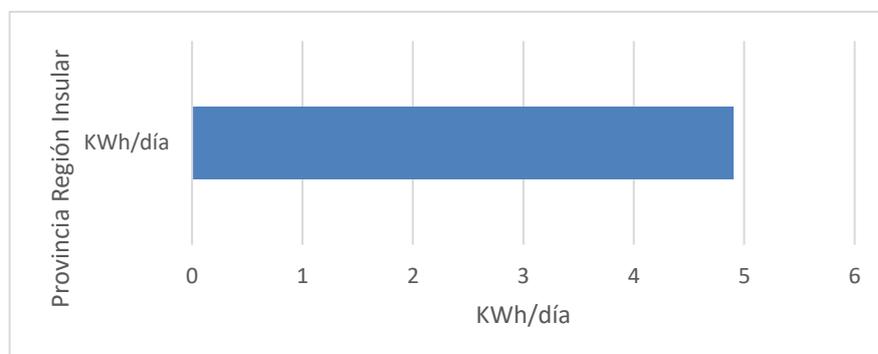


Ilustración 10-3: Promedio de largo plazo del PEF, periodo 1999-2018, región Insular.

Fuente: (Balseca, 2023)

En base a la ilustración 10-3, se obtienen el siguiente valor, con un promedio para la región Insular de $PEF_{prom} = 4.9 \text{ KWh/día}$.

3.6.1 Base de datos solar para las provincias seleccionadas

Región Costa: Guayas

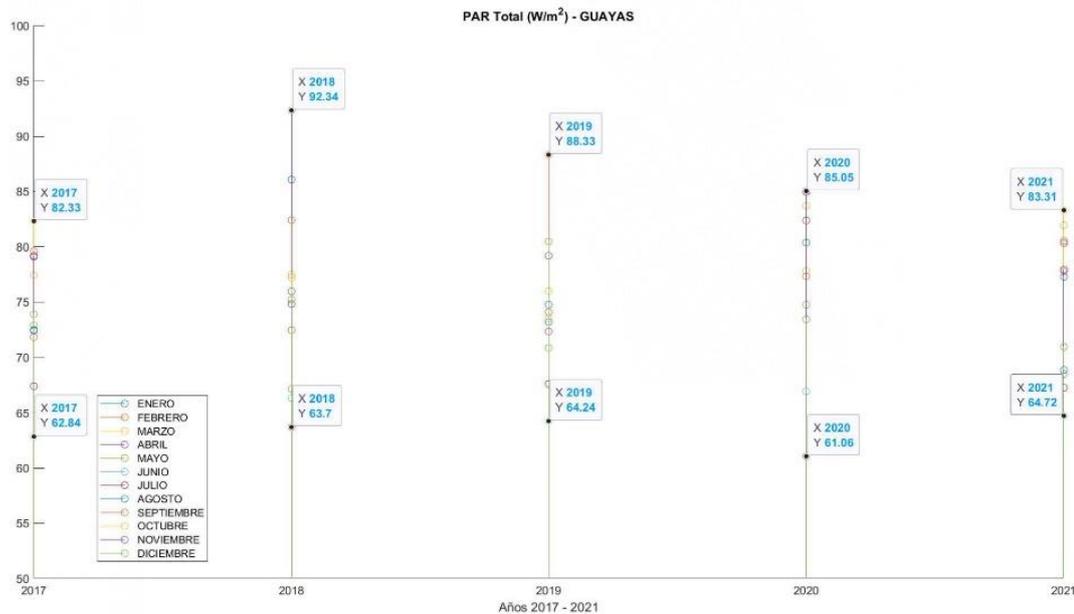


Ilustración 11-3: Cantidad total de radiación en W/m² por mes - base solar de la NASA, región costa, provincia del Guayas.

Fuente: (Balseca, 2023)

La ilustración 11-3, muestra los datos registrados en un periodo de 2017 a 2021 para la provincia del Guayas, donde el PAR total para el año 2017, tiene como máximos 82.33 W/m² y mínimos 62.84 W/m², para el año 2018 sus máximos son de 92.34 W/m² y como mínimos se tiene 63.7 W/m², para el año 2019 sus máximos son de 88.33 W/m² y como mínimos se tiene 64.24 W/m², para el año 2020 sus máximos son de 85.05 W/m² y como mínimos se tiene 61.06 W/m² y para el año 2021 sus máximos son de 83.31 W/m² y como mínimos se tiene 64.72 W/m².

Región Sierra: Carchi

Los datos registrados en un periodo de 2017 a 2021 para la provincia del Carchi, donde el PAR total para el año 2017, tiene como máximos 78.85 W/m² y mínimos 67.82 W/m², para el año 2018 sus máximos son de 86.14 W/m² y como mínimos se tiene 68.17 W/m², para el año 2019 sus máximos son de 85.62 W/m² y como mínimos se tiene 67.52 W/m², para el año 2020 sus máximos

son de 84.7 W/m² y como mínimos se tiene 66.41 W/m² y para el año 2021 sus máximos son de 78.73 W/m² y como mínimos se tiene 62.71 W/m².

Región Oriente: Sucumbíos

Los datos registrados en un periodo de 2017 a 2021 para la provincia de Sucumbíos, donde el PAR total para el año 2017, tiene como máximos 97.85 W/m² y mínimos 77.19 W/m², para el año 2018 sus máximos son de 97.26 W/m² y como mínimos se tiene 68.77 W/m², para el año 2019 sus máximos son de 100.21 W/m² y como mínimos se tiene 68.39 W/m², para el año 2020 sus máximos son de 99.23 W/m² y como mínimos se tiene 72.64 W/m² y para el año 2021 sus máximos son de 96.8 W/m² y como mínimos se tiene 71.71 W/m².

Región Insular: Puerto Baquerizo Moreno

Los datos registrados en un periodo de 2017 a 2021 para la provincia de Sucumbíos, donde el PAR total para el año 2017, tiene como máximos 136.13 W/m² y mínimos 93.97 W/m², para el año 2018 sus máximos son de 138.47 W/m² y como mínimos se tiene 93.55 W/m², para el año 2019 sus máximos son de 137.74 W/m² y como mínimos se tiene 102.48 W/m², para el año 2020 sus máximos son de 137.41 W/m² y como mínimos se tiene 96.09 W/m² y para el año 2021 sus máximos son de 132.97 W/m² y como mínimos se tiene 96.57 W/m².

Por lo tanto, el PAR total en W/m² es:

Tabla 7-3: Perfil de irradiación para el periodo 2017 – 2021.

Años \ Provincias		Guayas [W/m ²]	Carchi [W/m ²]	Sucumbíos [W/m ²]	Prto. Baquerizo Moreno [W/m ²]
2017	Enero	72.49	74.8	85.3	118.27
	Febrero	79.61	78.85	87.17	136.13
	Marzo	82.33	73.87	81.24	133.79
	Abril	79.1	76.64	80.63	124.81
	Mayo	72.9	74.15	80.88	114.63
	Junio	62.84	72.62	79.8	108.7
	Julio	67.4	74.61	77.19	93.97
	Agosto	72.42	77.05	93.88	103.48
	Septiembre	71.84	76.67	89.34	103.77
	Octubre	77.44	72.6	87.35	102.48
	Noviembre	79.2	75.5	83.89	104.22

	Diciembre	73.91	67.82	97.85	111.64
2018	Enero	86.06	74.66	80.78	123.49
	Febrero	72.47	73.07	97.26	124.53
	Marzo	77.21	71.48	79.52	138.47
	Abril	92.34	77.41	80.42	130.41
	Mayo	67.15	71.58	73.26	117.51
	Junio	66.34	69.52	68.77	93.55
	Julio	63.7	72.48	72.33	99.27
	Agosto	75.98	80.03	87.33	100.72
	Septiembre	82.42	79.97	97.06	100.12
	Octubre	77.49	86.14	88.21	120.8
	Noviembre	74.83	68.17	86.7	115.55
	Diciembre	75.22	72.44	82.4	106.05
2019	Enero	73.2	73.48	75.17	114.82
	Febrero	74.11	69.96	74.98	129.95
	Marzo	76.0	74.53	68.39	137.74
	Abril	79.2	76.38	81.2	125.7
	Mayo	70.86	72.06	78.96	116.46
	Junio	64.24	71.78	69.29	108.31
	Julio	67.6	73.39	77.12	102.48
	Agosto	74.78	78.68	77.52	103.9
	Septiembre	88.33	85.62	100.21	107.34
	Octubre	73.49	75.98	93.16	105.47
	Noviembre	72.34	69.89	83.86	106.99
	Diciembre	80.49	67.52	78.27	110.44
2020	Enero	80.38	76.91	95.52	113.23
	Febrero	77.34	79.55	85.27	129.34
	Marzo	77.82	71.35	79.18	137.41
	Abril	84.96	76.7	79.01	121.08
	Mayo	74.76	72.23	72.64	117.7
	Junio	66.93	69.86	77.98	97.6
	Julio	61.06	71.34	78.52	96.78
	Agosto	82.4	73.52	79.8	99.47
	Septiembre	82.38	76.34	96.35	96.09
	Octubre	83.71	77.48	99.23	107.14

	Noviembre	85.05	84.7	88.59	106.4
	Diciembre	73.45	66.41	85.63	105.37
2021	Enero	77.29	70.85	90.55	122.35
	Febrero	77.77	75.34	81.03	118.32
	Marzo	83.31	75.59	80.38	132.97
	Abril	80.34	74.25	75.68	120.25
	Mayo	68.48	72.36	74.98	112.19
	Junio	64.72	69.25	76.6	104.09
	Julio	67.25	73.43	71.71	96.57
	Agosto	68.86	74.36	82.39	98.3
	Septiembre	80.54	78.73	93.46	108.2
	Octubre	81.95	77.91	96.8	103.19
	Noviembre	77.95	73.64	90.68	102.77
	Diciembre	70.95	62.71	89.23	105.46

Fuente: (Balseca, 2023)

La tabla 7-3 muestra los datos recolectados por la base solar de la NASA, donde se tiene el nivel de irradiación promedio en W/m², para las provincias de Guayas, Carchi, Sucumbíos y Prto. Baquerizo Moreno, con una incidencia directa para el territorio ecuatoriano. A simple vista se puede apreciar un nivel alto, los datos mostrados en la tabla 7-3, son los valores promedios por mes.

3.7 Perfiles de conducción

Tomando en cuenta los datos de la sección 3.4, el vehículo ideal a trabajar de acuerdo a sus parámetros ideales dentro de los vehículos 100% eléctrico, el Skywell ET5 posee las siguientes características:

Tabla 8-3: Especificaciones generales de energía, EV Skywell ET5.

Característica	Dato
Tipo	SUV
Tipo de Energía	100% Eléctrico
Tipo de estructura	Compacto reforzado
Tipo de caja de cambios	Engranaje de reducción simple
Gestión térmica del vehículo	Sistema Ultra-inteligente de control de temperatura de la batería
Sistema de recuperación de energía	Freno Regenerativo KERS

Tiempo de carga rápido de la batería	0.5h(380v) 30%-80%
Tiempo de carga lento de la batería [h]	1h(220v)
Tiempo de aceleración de 0-100 km/h [s]	5.6
Autonomía en Km	520
Potencia estimada en HP	310 HP

Fuente: (Balseca, 2023)

Tabla 9-3: Equipo motopropulsor, EV Skywell ET5.

Característica	Dato
Potencia del cargador [KW]	6.6 KW
Potencia máxima del motor [KW]	150
Capacidad de Baterías [KW/h]	71.98
Par máximo [N.m]	350
Consumo de energía [KWh / 100 Km]	NEDC 13.84

Fuente: (Balseca, 2023)

Tabla 10-3: Sistemas emisores de corriente alterna.

Característica	Dato
Fuente de alimentación de 220v en el vehículo	No 886
Fuente de alimentación de 12v en el vehículo	Si
Fuente de alimentación externa de 220v	Si
Carga inalámbrica del teléfono móvil	Si
Garantía de la batería	8 años

Fuente: (Balseca, 2023)

Por parte de las tablas 8-3, 9-3 y 10-3 se tienen las características del EV Skywell ET5, los datos detallados permiten hacer las respectivas comparaciones con los vehículos de combustión interna de características similares, para tener un perfil de conducción adecuado.

3.7.1 Vehículos análogos de combustión en la condición de rendimiento de los 520 km y precio tipo SUV

De acuerdo con la información proporcionada por la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (Adeade), los Sport Utility Vehicle (SUV) son la categoría de automóviles más demandada en el mercado ecuatoriano, con alrededor de 35.200 unidades vendidas hasta agosto de 2022. Entre estos vehículos, los modelos de bajo costo ocupan una posición predominante, y los fabricantes asiáticos han logrado aumentar su participación en este segmento de mercado, esto

según (Tamayo, 2022) el vehículo con la mayor demanda en el mercado es el Chevrolet Captiva con motor a gasolina y como vehículo con motor a diésel se tiene al Chevrolet D-Max Premier.

Tabla 11-3: Especificaciones técnicas Chevrolet Captiva Turbo.

Característica	Dato
Tipo	SUV
Potencia HP - RPM	147 – 5500
Torque NM – RPM	230 – 2000/3000
Motor	1.5 Turbo DOCH 4 CYL 16V
Tipo de combustible	Gasolina
Transmisión	Manual 6 velocidades
Velocidad máxima	182km/h
Aceleración 0-100km/h	10.6s
Consumo NEDC Extraurbano	6.6 l/100km
Consumo NEDC Urbano	8.9 l/100km
Consumo NEDC Medio	7.4 l/100km
Capacidad de combustible	65 l

Fuente: (Balseca, 2023)

La tabla 11-3 muestra las principales características del Chevrolet Captiva, estos datos permiten hacer la comparativa con el EV Skywell ET5, lo que permite determinar una tasa de costos relativos para cada uno de los vehículos, lo que detalla el perfil de conducción de acuerdo al NEDC (New European Driving Cycle) Urbano, en proporción a la capacidad máxima de combustible del Chevrolet Captiva y la cantidad máxima de carga en las baterías para el EV Skywell ET5.

Chevrolet Captiva – Consumo NEDC Urbano

Teniendo en claro que el consumo NEDC urbano del Chevrolet Captiva es de 8.9 litros por cada 100 km y su capacidad máxima de almacenamiento es de 65 litros, se puede hacer una regla de tres para determinar el kilometraje máximo que el vehículo alcanza.

$$\begin{array}{l} 8.9 \text{ l} : 100\text{km} \\ 65 \text{ l} : x \end{array}$$

Por lo tanto:

$$\begin{aligned} x &= \frac{65 \text{ l} * 100\text{km}}{8.9 \text{ l}} \\ x &= 730.33\text{km} \end{aligned}$$

Ahora se sabe por su ficha técnica que el vehículo Chevrolet Captiva, su tipo de combustible es la gasolina, tomando la resolución del decreto ejecutivo 462, establece el precio congelado de la gasolina Extra y Ecopaís en USD 2.40 por galón, por lo tanto:

$$\begin{array}{l} 1 l : 0.264172 gal \\ 65 l : x \end{array}$$

Entonces se tiene:

$$x = \frac{65 l * 0.264172 gal}{1 l}$$

$$x = 17.17 gal$$

Sabiendo que el precio establecido para la gasolina extra es de \$2.40 por galón, se tiene que:

$$Precio_{tanque\ lleno} = 2.40 * 17.17$$

$$Precio_{tanque\ lleno} = \$41.21$$

Por lo tanto, se tiene que con \$41.21 se puede recorrer 730.33 km relativos, ahora trazando un consumo promedio de acuerdo con (Daniel Sarango, 2016) en su trabajo de titulación, en la determinación de kilómetro vehículo recorrido (KVR) para la ciudad de Cuenca se tiene un promedio de recorrido de 36.66 km.

Tabla 12-3: Indicador KVR para vehículos particulares.

Tipo de Modelo	Media	Media General
Automóvil	36.04 km	36.66 km
Camioneta	37.37 km	
Jeep	36.58 km	

Fuente: (Daniel Sarango, 2016)

La tabla 12-3 tomada de Daniel Sarango, es el único trabajo existente en la recopilación de información que muestra a detalle el kilometraje recorrido en la zona urbana, puesto que esta es una variable que puede cambiar de forma indeterminada ya que existen diversos factores tales como, ubicación regional, altimetría de la ciudad, distancias referenciales entre un sitio de trabajo hacia un domicilio o predecir la misma ruta de conducción, etc., se trabaja con el valor estándar de los 36.66 km diarios de recorrido promedio.

Ahora se tiene que:

$$Proxima_{recarga} = \frac{730.33 km}{36.66 km/día}$$

$$Proxima_{recarga} = 19.92 días \approx 20 días$$

Por lo tanto, cada 20 días se requiere una carga completa de combustible lo que representa al mes una recarga y media del tanque de combustible al 100% sin sobrepasar el porcentaje de la media general de recorrido, dando un costo de \$61.82 al mes, considerando 30 días.

Teniendo en claro que el consumo NEDC urbano del Chevrolet D-Max Premier es de 30 km por galón y su capacidad máxima de almacenamiento es de 76 litros lo que equivale a 20.0771 gal, se puede hacer una regla de tres para determinar el kilometraje máximo que el vehículo alcanza.

$$\begin{array}{l} 1 \text{ gal} \quad : \quad 42 \text{ km} \\ 20.0771 \text{ gal} \quad : \quad x \end{array}$$

Por lo tanto:

$$x = \frac{20.0771 \text{ gal} * 42 \text{ km}}{1 \text{ gal}}$$

$$x = 843.24 \text{ km}$$

Sabiendo que el precio establecido del diésel es de \$1.75 por galón, se tiene que:

$$Precio_{\text{tanque lleno}} = 1.75 * 20.0771$$

$$Precio_{\text{tanque lleno}} = \$35.13$$

Por lo tanto

$$Proxima_{\text{recarga diésel}} = \frac{843.24 \text{ km}}{36.66 \text{ km/día}}$$

$$Proxima_{\text{recarga diésel}} = 23.004 \text{ días} \approx 23 \text{ días}$$

Por lo tanto, cada 16 días se requiere una carga completa de combustible lo que representa al mes una poco más de una recarga del tanque de combustible al 100% sin sobrepasar el porcentaje de la media general de recorrido, dando un costo de \$45.67 al mes, considerando 30 días.

Por otra parte, se tiene el vehículo Skywell ET5 con una autonomía de 520 km relativos, 150 kW de potencia y 71.98 kWh en su batería, estos son los datos proporcionados por la ficha técnica del mismo muestran un tiempo de carga de 11 horas con un voltaje de 220 voltios y 0.5 horas a 380 voltios, esto se traduce en un consumo representado en la planilla eléctrica, que se puede representar de la siguiente forma:

$$Costo_{\text{recarga batería}} = \text{capacidad de batería} * \text{costo } \$/\text{kWh} \quad (5)$$

Teniendo en cuenta que el presente trabajo integra la carga vehicular en la residencia, se tienen ya los costos establecidos por el ARCERNNR, dividido en diferentes horarios, de 10pm a 8am con un costo de \$0.05, de 8am a 6pm con un costo de \$0.08 y 6pm a 10pm con un costo de \$0.10. Ahora teniendo en cuenta que el vehículo debe ser cargado después de un día de trabajo, lo que sugiere en el horario nocturno, se toma el horario de 10pm a 8 am, entonces:

$$\begin{aligned} \text{Costo}_{\text{recarga batería}} &= 71.98 \text{ kWh} * 0.05 \text{ \$/kWh} \\ \text{Costo}_{\text{recarga batería}} &= \$3.60 \end{aligned}$$

Considerando un requerimiento de funcionamiento para la carga del EV, este va a trabajar en el rango del 30% al 80% de la carga de su batería de acuerdo con (ElectricForAll, 2023), por lo que podemos deducir lo siguiente:

$$\begin{aligned} 71.98 \text{ kWh} &: 100\% \\ x &: 80\% \end{aligned}$$

Por lo tanto, al 80% se tiene:

$$\begin{aligned} x &= \frac{80\% * 71.98 \text{ kWh}}{100\%} \\ x &= 57.58 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Y al 30% se tiene:

$$\begin{aligned} 71.98 \text{ kWh} &: 100\% \\ x &: 30\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x &= \frac{30\% * 71.98 \text{ kWh}}{100\%} \\ x &= 21.59 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Es decir que el valor que corresponde entre el 30% y el 80% del funcionamiento de la batería es:

$$\begin{aligned} \text{Capacidad}_{\text{Batería}} &= 57.58 \text{ kWh} - 21.59 \text{ kWh} \\ \text{Capacidad}_{\text{Batería}} &= 35.99 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Lo que equivale a un costo de:

$$\begin{aligned} \text{Costo}_{\text{recarga batería}} &= 35.99 \text{ kWh} * 0.05 \text{ \$/kWh} \\ \text{Costo}_{\text{recarga batería}} &= \$1.80 \end{aligned}$$

Al disminuir el porcentaje de uso de la batería, también se disminuye el kilometraje de recorrido, lo que implica un recorrido estimado de:

$$\begin{array}{l} 520 \text{ km} : 100\% \\ x : 80\% \end{array}$$

$$x = \frac{80\% * 520 \text{ km}}{100\%}$$

$$x = 416 \text{ km al } 80\%$$

$$\begin{array}{l} 520 \text{ km} : 100\% \\ x : 30\% \end{array}$$

$$x = \frac{30\% * 520 \text{ km}}{100\%}$$

$$x = 156 \text{ km al } 30\%$$

Por lo tanto, se tiene:

$$\text{Recorrido}_{\text{Alcanzado}} = 416 \text{ km} - 156 \text{ km}$$

$$\text{Recorrido}_{\text{Alcanzado}} = 260 \text{ km}$$

Ahora teniendo en cuenta la media general de kilometraje diario de 36.66 km de igual forma se puede calcular el costo mensual por el kilometraje recorrido.

$$\text{Proxima}_{\text{recarga}} = \frac{260 \text{ km}}{36.66 \text{ km/día}}$$

$$\text{Proxima}_{\text{recarga}} = 7.09 \text{ días} \approx 7 \text{ días}$$

Por lo tanto, cada 7 días se requiere una carga completa en las baterías, lo que representa al mes más de cuatro recargas del 30 al 80%, sin sobrepasar el porcentaje de la media general de recorrido, dando un costo mensual de:

$$\text{Costo}_{\text{Total Recargas}} = 4.29 \text{ veces} * \$1.80$$

$$\text{Costo}_{\text{Total Recargas}} = \$7.72$$

Entonces el costo total por cada 30 días es \$7.72, con los siguientes valores se puede hacer una comparativa dando como resultado:

Tabla 13-3: Comparativa de kilometraje de alcance por cada vehículo en función de sus costos.

Vehículo	Autonomía [km]	Tiempo de recorrido de 100% - 0%	Costo por recarga	Recargas totales x mes	Costo Total
Chevrolet Captiva	730.33 km	20 días	\$41.21	1.5	\$61.82
D-Max Premier	843.24 km	23 días	\$35.13	1.3	\$45.67
Skywell ET5	260 km	7 días	\$1.80	4.3	\$7.72

Fuente: (Balseca, 2023)

La tabla 13-3 muestra los valores ideales que cada uno de los vehículos tiene al momento de recargar su pila de combustible, sea este gasolina o electricidad, el presente dato permite detallar los parámetros de costo beneficio que se muestran en la sección 4.

3.8 Parámetros de la función objetivo

Al tener en cuenta que se va a trabajar con un cierto número de paneles, del cual se desconoce y este debe estar en un área máxima colocados, se van a emplear un algoritmo de optimización por enjambre de partículas PSO, el cual permite determinar la cantidad apropiada para la demanda energética requerida.

Se tiene en principio que se debe partir de una función objetivo, donde la variable a buscar es la cantidad de paneles, tanto en serie como en paralelo, por lo tanto:

Función objetivo (6)

- $x[0]$ es el número de paneles solares en serie
- $x[1]$ es el número de paneles solares en paralelo

por lo tanto:

$$f(x) = x[0] * x[1] \quad (6)$$

3.8.1 Modelo matemático del sistema fotovoltaico

Esta muestra tres aspectos prioritarios, el primero hace referencia a la Generación de energía solar, el segundo al consumo de energía y el tercero al balance de energía existente entre la energía generada y la energía consumida.

Generación de energía solar (7)

$$E_G = A \cdot G \cdot \eta \quad (7)$$

Donde:

E_G : Energía generada [kWm]

- A: Área total de los paneles [m²]
 G: Radiación solar incidente en la ubicación [W/m²]
 η: Eficiencia de conversión de los paneles

Consumo de energía (8)

$$E_C = D_{HOME} + D_{EV} \quad (8)$$

Donde:

E_C : Energía consumida [kWh/mes]

D_{HOME} : Demanda de energía eléctrica [kWh/mes] (Perfil de consumo)

D_{EV} : Demanda del vehículo eléctrico [kWh/mes] (Perfil de conducción)

Balance de energía (9)

$$E_B = E_G - E_C \quad (9)$$

Donde:

E_B : Energía balanceada [kWh]

E_G : Energía generada [kWh]

E_C : Energía consumida [kWh]

3.8.2 Tipificación de los paneles fotovoltaicos a emplear

La tipificación del panel fotovoltaico implica considerar diferentes características y especificaciones técnicas del panel, para ello se va a emplear dos tipos de paneles comerciales, con características similares, con el objetivo de comparar la mejor tecnología.

Panel marca: Tenste sEM550-PH

Tabla 14-3: Características del panel 1, EM550-PH a emplear.

Característica	Dato
Tipo de panel	Monocristalino
Eficiencia	21.3%
Máxima potencia	550 W
Tensión máxima circuito abierto (Voc)	49.80 V

Corriente cortocircuito (Isc)	13.98 A
Tensión de potencia máxima (Vmp)	41.95 V
Corriente de potencia máxima (Imp)	13.12 A
Tipo	Monocristalino – MBB
Potencia máxima	416 W
Garantía	12 años / 25 años pot. lineal
Marca	Tenste EM550-PH
Dimensión	2279 mm x 1134 mm

Fuente: (Balseca, 2023)

Panel marca: DEEP BLUE 3.0

Tabla 15-3: Características del panel 2, JAM72S30-550/MR a emplear.

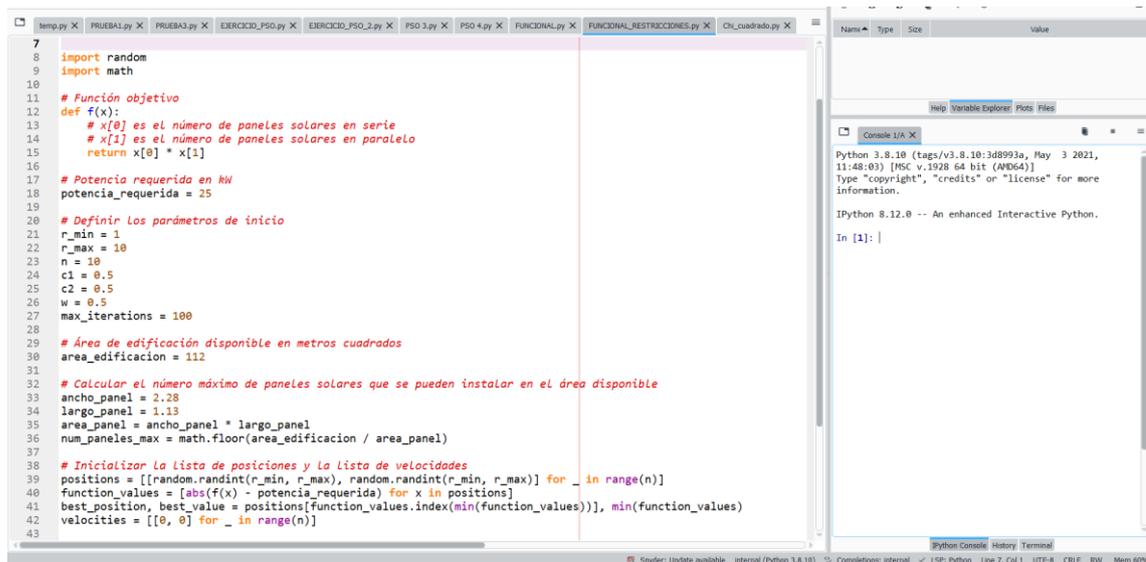
Característica	Dato
Tipo de panel	Monocristalino
Eficiencia	21.3%
Máxima potencia	550 W
Tensión máxima circuito abierto (Voc)	49.90 V
Corriente cortocircuito (Isc)	14 A
Tensión de potencia máxima (Vmp)	41.96 V
Corriente de potencia máxima (Imp)	13.11 A
Tipo	Monocristalino – LCOE
Potencia máxima	416 W
Garantía	12 años / 25 años pot. lineal
Marca	JA SOLAR-JAM72S30-550/MR
Dimensión	2278 mm x 1134 mm

Fuente: (Balseca, 2023)

Las tablas 14-3 y 15-3, poseen dos características similares con dos diferentes marcas comerciales, para el modelo Tenste EM550-PH tiene un costo de \$167.10 y para el modelo JA SOLAR-JAM72S30-550/MR con un costo de \$208.78, estos paneles son distribuidos por la comercializadora AutoSolar. Estos modelos de paneles son elegidos puesto que se acoplan a las necesidades de potencia máxima que se requiere en el presente TIC, puesto que se trata de cubrir la demanda energética requerida de 24.5 kWh/día con el menor número de paneles. Por lo tanto los modelos de paneles M1 y M2, se acoplan a los requerimiento de la investigación.

3.9 Simulación del dimensionamiento para la optimización por enjambre de partículas para determinar el número de paneles requerido en el sistema PV

El algoritmo comienza inicializando una población de partículas, donde cada partícula representa una posible solución al problema. Luego, el algoritmo ajusta iterativamente las posiciones y velocidades de las partículas para encontrar la solución óptima a un problema dado de acuerdo con (Induraj, 2023).



```
7
8 import random
9 import math
10
11 # Función objetivo
12 def f(x):
13     # x[0] es el número de paneles solares en serie
14     # x[1] es el número de paneles solares en paralelo
15     return x[0] * x[1]
16
17 # Potencia requerida en kW
18 potencia_requerida = 25
19
20 # Definir los parámetros de inicio
21 r_min = 1
22 r_max = 10
23 n = 10
24 c1 = 0.5
25 c2 = 0.5
26 w = 0.5
27 max_iteraciones = 100
28
29 # Área de edificación disponible en metros cuadrados
30 area_edificacion = 112
31
32 # Calcular el número máximo de paneles solares que se pueden instalar en el área disponible
33 ancho_panel = 2.28
34 largo_panel = 1.13
35 area_panel = ancho_panel * largo_panel
36 num_paneles_max = math.floor(area_edificacion / area_panel)
37
38 # Inicializar la lista de posiciones y la lista de velocidades
39 positions = [[random.randint(r_min, r_max), random.randint(r_min, r_max)] for _ in range(n)]
40 function_values = [abs(f(x) - potencia_requerida) for x in positions]
41 best_position, best_value = positions[function_values.index(min(function_values))], min(function_values)
42 velocities = [[0, 0] for _ in range(n)]
43
```

Ilustración 12-3: Código PSO para la obtención del número de paneles a requerir.

Fuente: (Balseca, 2023)

El código comienza definiendo una función objetivo como se muestra en la línea 11 de la ilustración 12-3, que requiere un listado de 7 parámetros iniciales, se indica las restricciones, en el presente caso, es el área de edificación (112m²) línea 29, este varía de acuerdo a la región. A continuación, se define el algoritmo PSO, que toma como parámetros de entrada el número de partículas, el número de dimensiones y el número máximo de iteraciones.

El algoritmo inicializa el enjambre creando una lista de partículas, cada una con una posición y velocidad generadas de manera aleatoria. Luego, actualiza el enjambre iterando a través de cada partícula y ajustando su velocidad y posición en función de la mejor posición y los valores de aptitud encontrados hasta ese momento.

Durante el proceso, el algoritmo muestra en cada iteración el mejor valor de aptitud encontrado, ilustración 13-3 y al final devuelve la mejor posición y los mejores valores de aptitud encontrados en general.

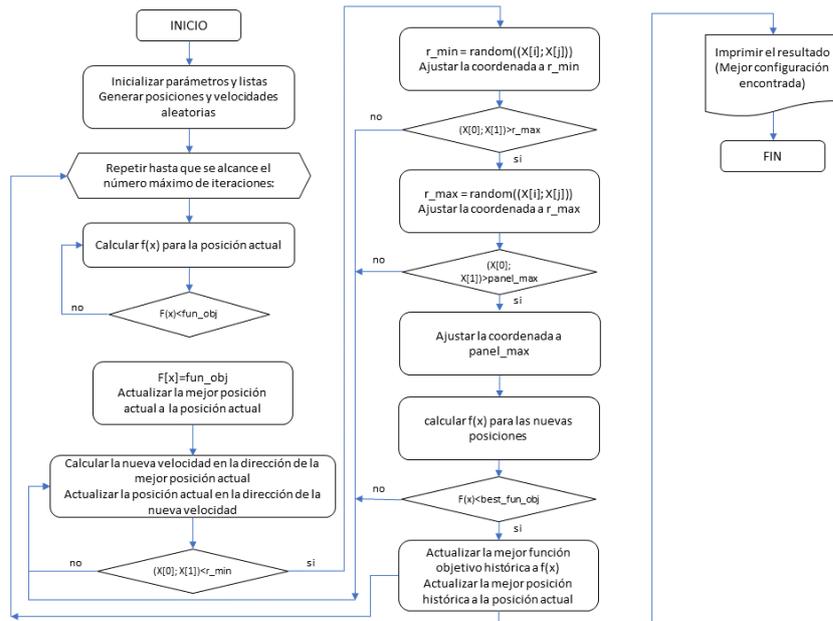


Ilustración 13-3: Algoritmo PSO para obtener el número de paneles PV en serie y paralelo.

Fuente: (Balseca, 2023)

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

En el presente capítulo se presentan las consideraciones generales, la evaluación económica del sistema fotovoltaico, de la compra del EV Skywell ET5, del sistema de carga vehicular, siendo todo esto la suma para tener el total del escenario dual, posterior a ello se trata sobre la validación del algoritmo PSO, la factibilidad del escenario dual propuesto con una serie de pruebas con diferentes escenarios con la finalidad de corroborar la factibilidad tecnológica y económica del sistema propuesto.

4.1 Consideraciones generales

Al hablar de optimización se debe recurrir a métodos que permitan disminuir una cierta cantidad de elementos, en el presente caso se habla de la cantidad de paneles a emplear en un área máxima de edificación, donde deben ser colocadas para suplir una demanda energética requerida. Para el presente caso de estudio es de 24.5 kWh/día, por lo cual el algoritmo PSO va a indicar la cantidad de paneles para suplir esta demanda, el algoritmo PSO es desarrollado en el software Python, empleando el IDE de Spyder.

4.2 Factibilidad tecnológica

Para validar la factibilidad tecnológica, se debe considerar todos los elementos empleados en la construcción del escenario a simular. La ilustración 1-4 está conformada por cuatro partes esenciales:

- Sistema fotovoltaico DC/DC (1)
- Sistema AC/DC de la red (2)
- Sistema de gestión energética (EMS) (3)
- Sistema de carga vehicular (4)

Cada una de estas partes engloban al sistema dual, puesto que es el escenario óptimo para la realización de pruebas. El sistema fotovoltaico DC/DC se conecta al sistema AC/DC por un bus DC/DC que este funciona como ruta que es plenamente administrado por el EMS el cual dirige su salida bidireccional al sistema de carga vehicular.

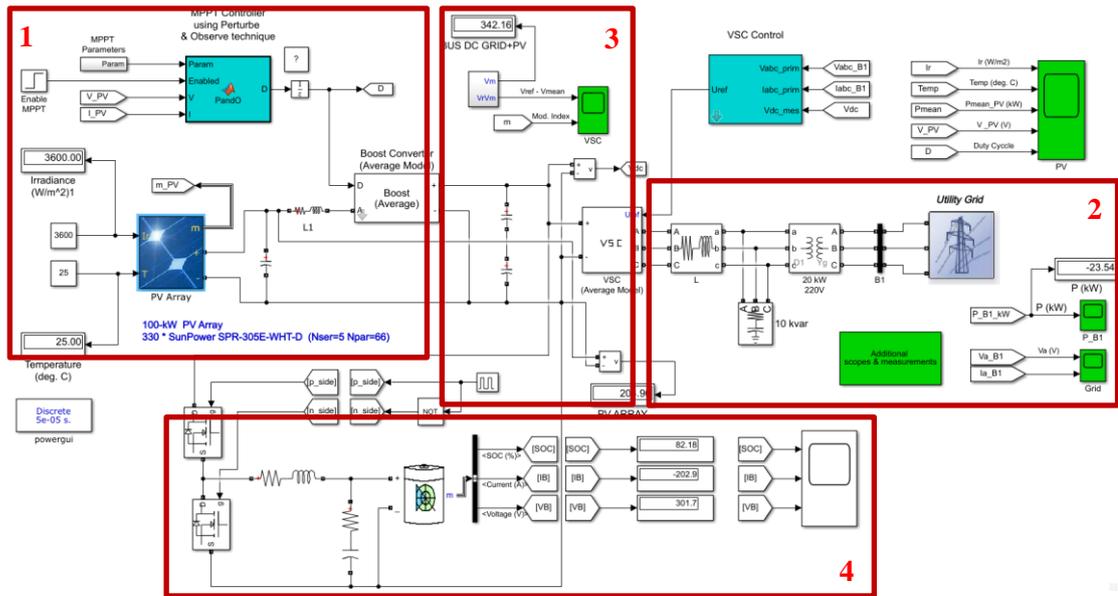


Ilustración 1-4: Escenario de simulación, con un array de 5x5 de PV, modelo Tenste EM550-PH, conectado a la Red eléctrica y carga a la batería del EV Skywell ET5.

Fuente: (Balseca, 2023)

La ilustración 1-4, muestra la configuración del escenario dual a simular, que parte de un arreglo de paneles fotovoltaicos y esta se une con la red a través de un bus DC, donde se hace la sumatoria de las cargas, como se trata de una simulación, ambas cargas se suman (PV + red). Pero al manejarnos en un sistema a implementar, estas deben ser controladas a partir el EMS, quien se encarga de redirigir el flujo de cada uno de estas a la unidad de carga/descarga de la estación de carga del EV y a su vez, se puede realimentar a la red interna de la casa.

En base a la ilustración 1-4 se va a detallar los elementos empleados y la existencia de los mismos en el mercado para su implementación en la tabla 1-4.

Tabla 1-4: Detalle de elementos requeridos en el escenario Dual, con su comercializadora y existencia.

	Detalle	Existencia	Comercializadora
Sistema fotovoltaico DC/DC	PV Tenste EM550-PH	Si	ProViento (Ecuador)
	Cables y conectores	Si	ProViento (Ecuador)
	Regulador de Carga DC/DC	Si	ProViento (Ecuador)
	Elementos de protección	Si	ProViento (Ecuador)
	Estructuras base para paneles	Si	ProViento (Ecuador)
Sistema AC/DC de la red	Cables y conectores	Si	Electro Industrial Vinueza (Ecuador)
	Tablero de control	Si	Electro Industrial Vinueza (Ecuador)

	Breques 110/220 V	Si	Electro Industrial Vinuela (Ecuador)
	Inversor AC/DC	Si	Electro Industrial Vinuela (Ecuador)
	Convertidor bidireccional DC/AC	Si	Supsonik Velatia (España)
Sistema de gestión energética (EMS)	Relés	Si	Electro Industrial Vinuela (Ecuador)
	Convertidor bidireccional DC/AC	Si	Supsonik Velatia (España)
Sistema de carga vehicular	Cargador eléctrico EV Skywell ET5	Si	Grupo Mavesa (Ecuador)
	Cargador bidireccional EV	Si	EFC Solar (Barcelona)

Fuente: (Balseca, 2023)

La tabla 1-4 detalla todos los elementos que congloban el sistema Dual, para validar su factibilidad tecnológica, se verifica la disponibilidad de elementos en el mercado tanto nacional e internacional, lo que no exime de ser implementado. Existen numerosos proveedores y fabricantes que ofrecen estos componentes, lo que facilita su adquisición y utilización en la instalación de estos sistemas. Por lo tanto, es factible tecnológicamente.

4.3 Evaluación económica del sistema fotovoltaico

Para la evaluación del sistema fotovoltaico se van a emplear dos tecnologías con la finalidad de poder establecer la más adecuada para suplir la demanda energética requerida para el consumo de cargas que la residencia requiere, para ello se lo aborda desde el punto económico, para lo cual se va a emplear el método de Brown y Gibson.

Se tiene dos tecnologías:

- **Modelo 1:** Tenste EM550-PH
- **Modelo 2:** JA SOLAR-JAM72S30-550/MR

Los costos se detallan de la siguiente forma:

- **C1:** Instalación por kW
- **C2:** Mantenimiento por kW instalado
- **C3:** Repuestos y Accesorios por kW instalado
- **C4:** Capacitación

En base a los tipos de modelo existente y los costos que estos representan se puede hacer una tabla con los factores objetivos, con el fin de obtener los valores recíprocos y relativos los cuales dan el peso necesario para determinar la fiabilidad de un modelo en base al costo. En el mercado,

el costo de un proyecto solar varía entre USD 750 y USD 1200 por kilovatio (kW) instalado, abarcando todos los aspectos desde los estudios iniciales hasta la adquisición de equipos y la construcción de la planta de acuerdo con (ENERCITY, 2022).

Factores Objetivos

Tabla 2-4: Obtención de los valores recíproco y relativo a partir de los factores objetivos en función de los costos.

TECNOLOGÍA\COSTOS EN DÓLARES	C1 \$	C2 \$	C3 \$	C4 \$	TOTAL \$	VALOR RECIPROCO	VALOR RELATIVO
Modelo 1	750	105	303.82	100	1258.82	0.0007943	0.588168
Modelo 2	1200	194	303.82	100	1797.82	0.0005562	0.411831
						0.0013506	1

Fuente: (Balseca, 2023)

Factores Subjetivos

Tabla 3-4: Obtención del peso a partir de los factores subjetivos en función de los costos.

COSTOS	C1	C2	C3	C4	TOTAL	V. RELATIVO (PESO)
C1	-	1	1	0	2.00	0.285714
C2	0	-	1	0	1.00	0.142857
C3	0	1	-	0	1.00	0.142857
C4	1	1	1	-	3.00	0.428571
					7.00	1

Fuente: (Balseca, 2023)

La tabla 2-4 y 3-4 están construidas en función de costos, cada uno de los costos describen los valores aproximados tanto para instalación, mantenimiento, repuestos y capacitación requerida para la implementación de un sistema FV.

Las calificaciones en función del costo, están descritos a criterio personal en base a las características propias de cada una de las tecnologías existentes, para ello se detalla la escala de calificación con su respectiva asignación, estos valores son asignados de forma cualitativa según lo expresa el método de Brown y Gibson, donde la esca de calificación muestra la unidad como el valor más bajo y el quinto valor como la escala más alta, siendo esta excelente.

Rango de calificaciones en una escala de Likert (1 al 5):

- 1: Malo
- 2: Regular
- 3: Aceptable
- 4: Bueno

- 5: Excelente

Tabla 4-4: Obtención de las calificaciones por cada costo para cada tecnología.

TECNOLOGÍA \ COSTOS	C1		C2		C3		C4	
	VALOR	CALIF	VALOR	CALIF	VALOR	CALIF	VALOR	CALIF
MODELO 1	4	0.57142	5	0.55556	4	0.44444	4	0.44444
MODELO 2	3	0.42857	4	0.44444	5	0.55556	5	0.55556
Σ_{Valor_C1}	7	Σ_{Valor_C2}	9	Σ_{Valor_C3}	9	Σ_{Valor_C4}	9	

Fuente: (Balseca, 2023)

La tabla 4-4 muestra la asignación de cada calificación y su recíproco en función de los costos que cada modelo lo requiere.

Tabla 5-4: Obtención de los valores subjetivos a cada modelo.

FACTORES \ COSTOS	PESO	MODELO 1		MODELO 2	
		CALIFICACIÓN	TOTAL	CALIFICACIÓN	TOTAL
C1	0.2857143	0.571428	0.163265	0.428571	0.122448
C2	0.1428571	0.555555	0.079365	0.444444	0.063492
C3	0.1428571	0.444444	0.063492	0.555555	0.079365
C4	0.4285714	0.444444	0.190476	0.555555	0.238095
		Σ_{Total_M1}	0.496598	Σ_{Total_M2}	0.503401

Fuente: (Balseca, 2023)

La tabla 5-4, muestra los valores subjetivos obtenidos en función de los costos y el peso asignado que se obtuvo en la tabla 2-4, para lo cual se asignará cada valor resultante de la siguiente forma:

- $Fact_{Subj_M1} = 0.496598$
- $Fact_{Subj_M2} = 0.503401$

Por otra parte, la ecuación que corresponde a la combinación de los factores objetivos y subjetivos llamada medida de preferencia de localización, se detalla de la siguiente manera (10).

$$MPL = (Fact_{Obj} * \varphi) + (Fact_{Subj} * (1 - \varphi)) \quad (10)$$

Donde φ es la constante de proporcionalidad entre el factor objetivo y el factor subjetivo, donde el que tiene mayor peso de relación es el factor objetivo, para lo cual se le asigna un valor del 60%, en referencia al factor subjetivo, por lo tanto:

Factor Objetivo

- $Fact_{Obj_M1} = 0.58816871$
- $Fact_{Obj_M2} = 0.41183129$

Y φ es igual a 0.6

Para el modelo 1 se tiene:

$$\begin{aligned}MPL_{M1} &= (Fact_{Obj_M1} * \varphi) + (Fact_{Subj_M1} * (1 - \varphi)) \\MPL_{M1} &= (0.58816871 * 0.6) + (0.49659864 * (1 - 0.6)) \\MPL_{M1} &= 0.55154\end{aligned}$$

Para el modelo 2 se tiene:

$$\begin{aligned}MPL_{M2} &= (Fact_{Obj_M2} * \varphi) + (Fact_{Subj_M2} * (1 - \varphi)) \\MPL_{M2} &= (0.41183129 * \varphi) + (0.50340136 * (1 - \varphi)) \\MPL_{M2} &= 0.44846\end{aligned}$$

Por lo tanto, la **MPL** muestra al modelo 1 como el idóneo a trabajar, con un porcentaje del 55.15%, teniendo una ventaja del 10.3% ante el modelo 2.

4.4 Evaluación económica de la compra del EV Skywell ET5

Para la evaluación de la compra del EV Skywell ET5, este se lo hace en función a costos y su base de comparación es el costo de combustible, para ello se debe tener en cuenta que, en el mercado automotriz, rigen los modelos de combustión con distintos tipos de combustibles, de acuerdo con (ARC, 2021) , se tienen los siguientes tipos de combustibles y sus respectivos precios en el mercado ecuatoriano.

- Extra: \$2.40/gal
- Super: \$3.92/gal
- Eco: \$2.40/gal
- Diesel: \$1.75/gal
- Eco Plus: \$2.99/gal

Por otra parte, para la carga vehicular se sabe que:

- Carga EV 10pm - 6am: \$0.05/kWh

Para ello se lo aborda desde el punto económico, para lo cual se va a emplear el método de Brown y Gibson.

Se tiene seis tipos de combustibles:

- **Tipo 1:** Extra

- **Tipo 2:** Super
- **Tipo 3:** Eco
- **Tipo 4:** Diesel
- **Tipo 5:** Eco Plus
- **Tipo 6:** Carga eléctrica

Para los modelos de vehículos a emplear se tiene:

- **Modelo 1:** Skywell ET5
- **Modelo 2:** Chevrolet Captiva
- **Modelo 3:** Chevrolet D-Max Premier

Los costos se detallan de la siguiente forma:

- **C1:** Mantenimiento por año
- **C2:** Cambio de llantas por año
- **C3:** Recarga de combustible por año
- **C4:** Costo del vehículo por año

En base a los tipos de modelo existente y los costos que estos representan se puede hacer una tabla con los factores objetivos, con el fin de obtener los valores recíprocos y relativos los cuales dan el peso necesario para determinar la fiabilidad de un modelo en base al costo. En el mercado, el costo de un vehículo depende netamente de las características que este posea, en el presente estudio se muestra tres tipos de vehículos, un modelo totalmente eléctrico (Skywell ET5), un vehículo de combustión a gasolina con la mayor demanda en el mercado (Chevrolet Captiva - Gasolina) y un vehículo con motor a Diesel (Chevrolet D-Max Premier).

Factores Objetivos

Al considerar el mantenimiento del vehículo al año se tiene que:

- Mantenimiento a los 5000 km
- Coste medio de revisión \$500

Entonces:

$$Costo_{mant} = C_{medio_mant} / km_{mant}$$

$$Costo_{mant} = \frac{\$500}{5000 \text{ km}}$$

$$Costo_{mant} = \$0.10/km$$

Se sabe que el recorrido promedio diario es de 36.66 km, por lo tanto, al multiplicar por 365 días se tiene un recorrido anual de 13380.9 km, dando un total de:

$$Costo_{mant_anual_comb} = Costo_{mantenimiento} * Recorrido_{anual}$$

$$Costo_{mant_anual_comb} = \$0.10/km * 13380.9 km$$

$$Costo_{mant_anual_comb} = \$1338.09$$

Estos costos de mantenimiento aplican a los vehículos de combustión interna, para el caso del EV Skywell ET5, este representa 1/3 del costo del vehículo a combustión de acuerdo con (Sergio Fernández Munguía, 2022), es decir:

$$Costo_{mant_anual_elect} = \$1338.09/3$$

$$Costo_{mant_anual_elect} = \$446.03$$

Para el costo de recargas de combustible al año se tienen dos escenarios, cuando el combustible del vehículo es gasolina extra y diésel:

Gasolina – Extra (Chevrolet Captiva)

$$Costo_{combustible_extra} = \$Costo_{mensual_tanqueda} * 12$$

$$Costo_{combustible_extra} = \$61.82 * 12$$

$$Costo_{combustible_extra} = \$741.84$$

Diesel (Chevrolet D-Max Premier)

$$Costo_{combustible_diésel} = \$Costo_{mensual_tanqueda} * 12$$

$$Costo_{combustible_diésel} = \$54.67 * 12$$

$$Costo_{combustible_diésel} = \$656.04$$

Recarga eléctrica (Skywell ET5)

$$Costo_{combustible_electr} = \$Costo_{mensual_tanqueda} * 12$$

$$Costo_{combustible_electr} = \$7.72 * 12$$

$$Costo_{combustible_elect} = \$92.64$$

Para el costo del vehículo por año, se considera un periodo de amortización de 5 años, por lo tanto, se tiene en (11):

Gasolina – Extra (Chevrolet Captiva)

- Costo Total: \$25'699.00

- Núm. Cuotas: 60 meses – 5 años
- Interés: 14.56%

$$A_{Captiva} = Costo Total \left(\frac{\text{interes anual} * (1 + \text{interes anual})^{\text{años}}}{(1 + \text{interes anual})^{\text{años}} - 1} \right) \quad (11)$$

$$A_{Captiva} = \$25'699.00 \left(\frac{0.1456 * (1 + 0.1456)^5}{(1 + 0.1456)^5 - 1} \right)$$

$$A_{Captiva} = \$7'586.70$$

Diesel (Chevrolet D-Max Premier)

- Costo Total: \$43'990.00
- Núm. Cuotas: 60 meses – 5 años
- Interés: 14.56%

$$A_{D-Max} = Costo Total \left(\frac{\text{interes anual} * (1 + \text{interes anual})^{\text{años}}}{(1 + \text{interes anual})^{\text{años}} - 1} \right)$$

$$A_{D-Max} = \$43'990.00 \left(\frac{0.1456 * (1 + 0.1456)^5}{(1 + 0.1456)^5 - 1} \right)$$

$$A_{D-Max} = \$12'986.45$$

Recarga eléctrica (Skywell ET5)

- Costo Total: \$40'000.00
- Núm. Cuotas: 60 meses – 5 años
- Interés: 14.56%

$$A_{Skywell} = Costo Total \left(\frac{\text{interes anual} * (1 + \text{interes anual})^{\text{años}}}{(1 + \text{interes anual})^{\text{años}} - 1} \right)$$

$$A_{Skywell} = \$42'000.00 \left(\frac{0.1456 * (1 + 0.1456)^5}{(1 + 0.1456)^5 - 1} \right)$$

$$A_{Skywell} = \$12'398.98$$

Con los siguientes valores calculados se puede obtener la tabla 6-4.

Tabla 6-4: Obtención de los valores recíproco y relativo a partir de los factores objetivos en función de los costos.

TECNOLOGÍA \ COSTOS EN DÓLARES	C1 \$	C2 \$	C3 \$	C4 \$	TOTAL \$	VALOR RECÍPROCO	VALOR RELATIVO
Modelo 1	446.03	262.39	92.64	12398.98	13200.04	7.5757E-05	0.31119424
Modelo 2	1338.09	196.12	741.84	7586.7	9862.75	0.00010139	0.41649402
Modelo 3	1338.09	212.25	548.04	12986.45	12986.45	6.6292E-05	0.27231174
					Σ_{Total}	0.00024344	1

Fuente: (Balseca, 2023)

Factores Subjetivos

Tabla 7-4: Obtención del peso a partir de los factores subjetivos en función de los costos.

COSTOS	C1	C2	C3	C4	TOTAL	V. RELATIVO (PESO)
C1	-	1	0	1	2.00	0.33333
C2	0	-	0	0	0.00	0
C3	1	1	-	1	3.00	0.5
C4	0	1	0	-	1.00	0.16667
					Σ_{Total}	6.00
						1

Fuente: (Balseca, 2023)

La tabla 6-4 y 7-4 están construidas en función de costos, cada uno de los costos describen los valores aproximados tanto para el mantenimiento, el cambio de llantas, recarga de combustible y la compra del vehículo.

Las calificaciones en función del costo, están descritos a criterio personal en base a las características propias de cada una de las tecnologías existentes, para ello se detalla la escala de calificación con su respectiva asignación, estos valores son asignados de forma cualitativa según lo expresa el método de Brown y Gibson, donde la esca de calificación muestra la unidad como el valor más bajo y el quinto valor como la escala más alta, siendo esta excelente.

Rango de calificaciones en una escala de Likert (1 al 5):

- 1: Malo
- 2: Regular
- 3: Aceptable
- 4: Bueno
- 5: Excelente

Tabla 8-4: Obtención de las calificaciones por cada costo para cada tecnología.

TECNOLOGÍA \ COSTOS	C1		C2		C3		C4	
	VALOR	CALIF	VALOR	CALIF	VALOR	CALIF	VALOR	CALIF
MODELO 1	5	0.35714	4	0.30769	5	0.41667	4	0.30769
MODELO 2	5	0.35714	5	0.38462	3	0.25	5	0.38462
Modelo 3	4	0.28571	4	0.30769	4	0.33333	4	0.30769
Σ_{Valor_C1}	14	Σ_{Valor_C2}	13	Σ_{Valor_C3}	12	Σ_{Valor_C4}	13	

Fuente: (Balseca, 2023)

La tabla 8-4 muestra la asignación de cada calificación y su recíproco en función de los costos que cada modelo lo requiere.

Tabla 9-4: Obtención de los valores subjetivos a cada modelo.

COSTOS \ TECNOLOGÍA	PESO	MODELO 1		MODELO 2		MODELO 3	
		CALIF	TOTAL	CALIF	TOTAL	CALIF	TOTAL
C1	0,33333	0,35714	0,11905	0.35714	0.11905	0,28571	0,09524
C2	0	0.30769	0	0.38461	0	0,30769	0
C3	0,5	0,41667	0,20833	0.25	0.125	0,33333	0,16667
C4	0,16667	0,30769	0,05128	0.38462	0.06410	0,30769	0,05128
		Σ_{Total_M1}	0,37866	Σ_{Total_M2}	0.30815	Σ_{Total_M3}	0,31319

Fuente: (Balseca, 2023)

La tabla 9-4, muestra los valores subjetivos obtenidos en función de los costos y el peso asignado que se obtuvo en la tabla 3-4, para lo cual se asignará cada valor resultante de la siguiente forma:

- $Fact_{Subj_M1} = 0,37866$
- $Fact_{Subj_M2} = 0.30815$
- $Fact_{Subj_M3} = 0.31319$

Por otra parte, la ecuación que corresponde a la combinación de los factores objetivos y subjetivos llamada medida de preferencia de localización, se detalla de la siguiente manera.

$$MPL = (Fact_{Obj} * \varphi) + (Fact_{Subj} * (1 - \varphi))$$

Donde φ es la constante de proporcionalidad entre el factor objetivo y el factor subjetivo, donde el que tiene mayor peso de relación es el factor objetivo, para lo cual se le asigna un valor del 40%, en referencia al factor objetivo, puesto que los factores subjetivos tienen mayor peso de decisión, por lo tanto:

Factor Objetivo

- $Fact_{Obj_M1} = 0.31119424$

- $Fact_{Obj_M2} = 0.41649402$
- $Fact_{Obj_M2} = 0.27231174$

Y φ es igual a 0.4

Para el modelo 1 (Skywell ET5) se tiene:

$$MPL_{M1} = (Fact_{Obj_M1} * \varphi) + (Fact_{Subj_M1} * (1 - \varphi))$$

$$MPL_{M1} = (0.31119424 * 0.4) + (0.37866 * (1 - 0.4))$$

$$MPL_{M1} = 0.35167$$

$$MPL_{M1} = 35.167 \%$$

Para el modelo 2 se tiene:

$$MPL_{M2} = (Fact_{Obj_M2} * \varphi) + (Fact_{Subj_M2} * (1 - \varphi))$$

$$MPL_{M2} = (0.41649402 * 0.4) + (0.30815 * (1 - 0.4))$$

$$MPL_{M2} = 0.33148$$

$$MPL_{M2} = 33.148\%$$

Para el modelo 3 se tiene:

$$MPL_{M3} = (Fact_{Obj_M2} * \varphi) + (Fact_{Subj_M2} * (1 - \varphi))$$

$$MPL_{M3} = (0.27231174 * 0.4) + (0.31319 * (1 - 0.4))$$

$$MPL_{M3} = 0.29684$$

$$MPL_{M3} = 29.684\%$$

Por lo tanto, la **MPL** muestra al modelo 1 como el idóneo a trabajar, con un porcentaje del 35.16%, teniendo una ventaja del 2% ante el modelo 2, en relación de costos.

4.5 Factibilidad de escenario dual propuesto

Los datos para todos los escenarios, tomando como referencia los datos de la tabla 1-4, son un común denominador, puesto que se analiza un caso ideal para tener valores comparativos en cada escenario, estos se visualizan en la tabla 10-4, los valores que cambian de acuerdo al escenario de estudio son los perfiles de generación:

Tabla 10-4: Perfiles de consumo y conducción, demanda requerida por día.

Detalle	Valor
Consumo promedio por familia (4m) al día	19.33 kWh/día

Consumo promedio por recargas al día del EV Skywell ET5 en un recorrido promedio de 36.66 km.	5.158 kWh/día
Total, consumo energético al día	24.488 kWh/día ≈ 24.5 kWh/día

Fuente: (Balseca, 2023)

4.5.1 Escenario #1 – Guayas

Para el escenario #1 se tiene el siguiente perfil de generación, considerando el modelo de panel óptimo de acuerdo con la sección 4-3, el modelo ideal es el panel Tenste EM550-PH:

Tabla 11-4: Parámetros del algoritmo y del escenario en simulink, escenario #1.

Detalle	Valor
Irradiancia	83.31 W/m ²
Temperatura promedio (Weatherspark.com – Ecuador/Guayas)	30°C
Área de edificación	114 m ²
Dimensión del panel	2.28m x 1.13m

Fuente: (Balseca, 2023)

Prueba #: 1

```

12 def f(x):
13     # x[0] es el número de paneles solares en serie
14     # x[1] es el número de paneles solares en paralelo
15     return x[0] * x[1]
16
17 # Potencia requerida en kW
18 potencia_requerida = 25
19
20 # Definir los parámetros de inicio
21 r_min = 1
22 r_max = 10
23 n = 10
24 c1 = 0.5
25 c2 = 0.5
26 w = 0.5
27 max_iteraciones = 100
28
29 # Área de edificación disponible en metros cuadrados
30 area_edificacion = 114
31
32 # Calcular el número máximo de paneles solares que se pueden instalar en el área disponible
33 ancho_panel = 2.28
34 largo_panel = 1.13
35 area_panel = ancho_panel * largo_panel
36 num_paneles_max = math.floor(area_edificacion / area_panel)
37
38 # Inicializar la lista de posiciones y la lista de velocidades
39 positions = [[random.randint(r_min, r_max), random.randint(r_min, r_max)] for _ in range(n)]
40 function_values = [abs(f(x) - potencia_requerida) for x in positions]
41 best_position, best_value = positions[function_values.index(min(function_values))], min(function_values)
42 velocities = [[0, 0] for _ in range(n)]
43
44 # Ejecutar el algoritmo PSO con la restricción del área de edificación
45 for i in range(max_iteraciones):
46     best_position, best_value = positions[function_values.index(min(function_values))], min(function_values)
47     velocities = [[v * velocities[i][j] + c1 * random.uniform(0, 1) * (best_position[j] - positions[i][j]) + c2 * random.uniform(0, 1) * (best_position[j] - positions[i][j])] for j in range(2)] for i in range(n)]
48     positions = [[max(r_min, min(r_max, positions[i][j] + velocities[i][j])) for j in range(2)] for i in range(n)]
49 # Agregar la restricción del área de edificación
50 positions = [[min(num_paneles_max, positions[i][j]) for j in range(2)] for i in range(n)]

```

```

ancho_panel float 1 2.28
area_edificacion int 1 114
area_panel float 1 2.5763999999999996
Help Variable Explorer: Photo: Photo

Python 3.8.10 (tags/v3.8.10:3d8993a, May 3 2021, 11:48:03) [MSC v.1928 64 bit (AMD64)]
Type "copyright", "credits" or "license()" for more
Information.

IPython 8.12.0 -- An enhanced Interactive Python.

In [1]: runfile('C:/Users/Usuario/Desktop/TESTIS/SIMULACIÓN/FUNCIONAL_RESTRICCIONES.py', wdir='C:/Users/Usuario/Desktop/TESTIS/SIMULACIÓN')
Mejor configuración:
Número de paneles solares en serie: 5
Número de paneles solares en paralelo: 4

In [2]:

```

Ilustración 2-4: Algoritmo PSO, restricción 114m² como área máxima, escenario #1, prueba #1.

Fuente: (Balseca, 2023)

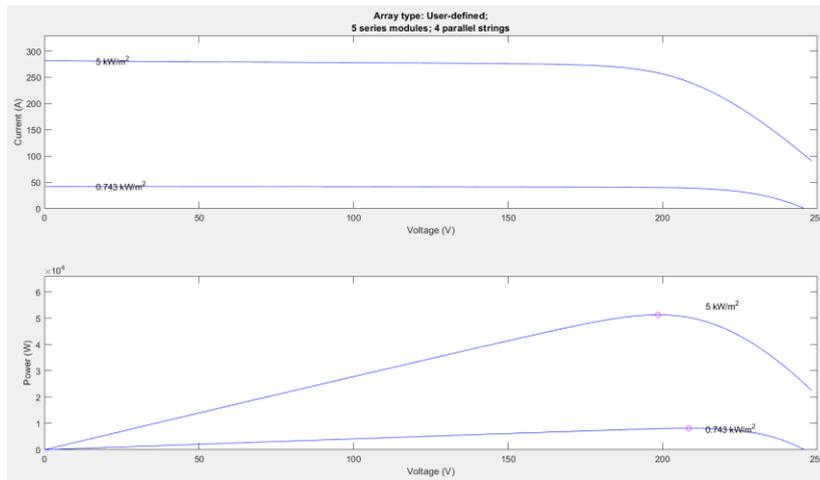


Ilustración 3-4: Curva de potencia del comportamiento del array PV en configuración 5x4.

Fuente: (Balseca, 2023)

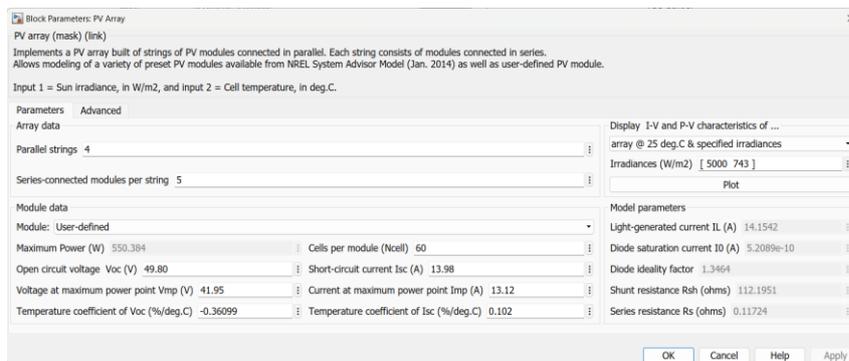


Ilustración 4-4: Configuración del array PV en configuración 5x4 y parámetros del Panel EM550-PH.

Fuente: (Balseca, 2023)

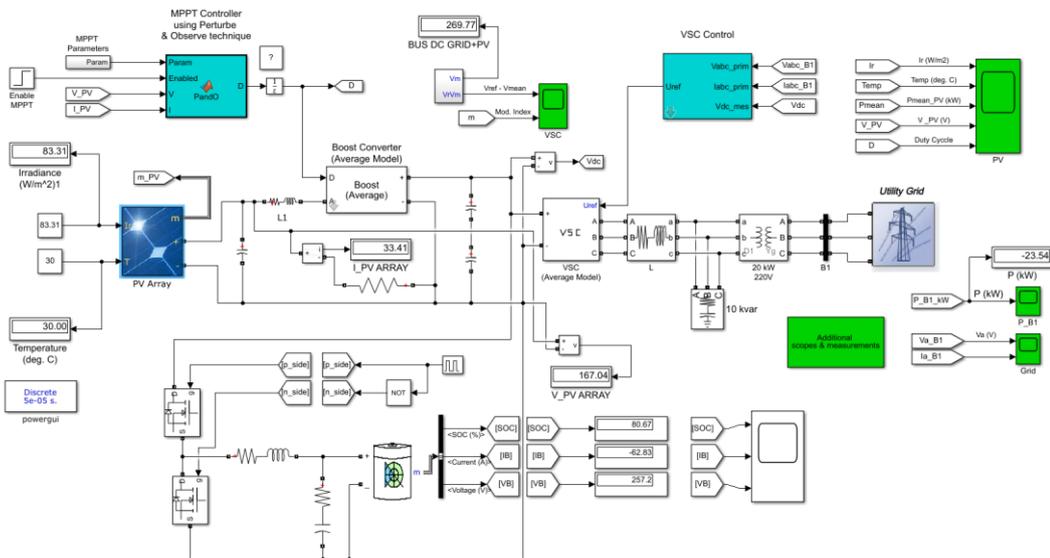


Ilustración 5-4: Escenario de simulación dual, generación PV y alimentación de la red eléctrica, con salida en común a un bus DC/AC para carga de un EV.

Fuente: (Balseca, 2023)

La ilustración 2-4, 3-4, 4-4 y 5-4 muestran los pasos a seguir en cada simulación de acuerdo al escenario pertinente, para el resto de pruebas y escenarios se va a omitir las gráficas y se va a indicar en una tabla los resultados obtenidos.

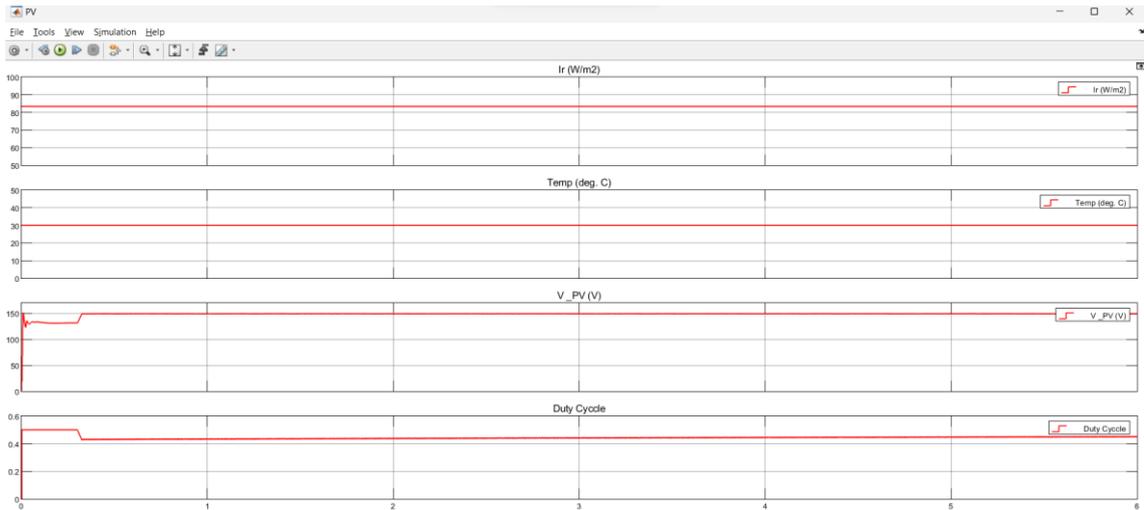


Ilustración 6-4: Gráfica resultante del sistema PV, donde se visualiza la irradiación, temperatura del panel, potencia máxima, voltaje pico de salida y ciclo de trabajo del regulador de carga.

Fuente: (Balseca, 2023)

Los resultados del escenario #1, prueba #1 muestran:

Tabla 12-4: Resultados del escenario #1, prueba #1 en configuración de la tabla 11-4

Descripción		Valores
Configuración del PV	# PV en Serie	5
	# PV en Paralelo	4
Voltaje de salida del sistema PV		167.04 V
Corriente de salida del sistema PV		33.41 A
Potencia de salida del sistema PV		5.58 kW
Área de edificación		114 m ²
Área ocupada por los paneles		23.1876 m ²

Fuente: (Balseca, 2023)

Para el escenario #1, prueba #1 se muestra una potencia de salida en términos de horas de 5.58 kWh ver en la tabla 12-4, que en el transcurso de 4.7 horas picos de generación se tiene 26.23 kWh/día como muestra la ilustración 6-4, sabiendo que se requiere 24.5 kWh/día promedio para

abastecer la demanda, se tiene un excedente a favor de 1.73 kWh/día, sabiendo que el costo de kWh en el país es de \$0.096, en términos de costos se ha ganado \$0.17 a favor. Asumiendo el promedio de hora pico mínimo que es de 12:00pm a 14:00pm, (2h) se tiene 11.16 kWh/día:

$$\begin{aligned}
 24.5 \text{ kWh/día} & : 100\% \\
 11.16 \text{ kWh/día} & : x \\
 \text{Ahorro} & = \frac{11.16 \text{ kWh/día} * 100\%}{24.5 \text{ kWh/día}} \\
 \text{Ahorro} & = 45.55\%
 \end{aligned}$$

Lo que representa un ahorro del 45.55% de la planilla eléctrica.

Prueba #: 2

Los resultados del escenario #1, prueba #2 muestran:

Tabla 13-4: Resultados del escenario #1, prueba #2 en configuración de la tabla 11-4

Descripción		Valores
Configuración del PV	# PV en Serie	6
	# PV en Paralelo	3
Voltaje de salida del sistema PV		166.85 V
Corriente de salida del sistema PV		33.37 A
Potencia de salida del sistema PV		5.57 kW
Área de edificación		114 m ²
Área ocupada por los paneles		23.1876 m ²

Fuente: (Balseca, 2023)

Para el escenario #1, prueba #2 se muestra una potencia de salida en términos de horas de 5.57 kWh ver en la tabla 13-4, que en el transcurso de 4.7 horas picos de generación se tiene 26.18 kWh/día, sabiendo que se requiere 24.5 kWh/día promedio para abastecer la demanda, se tiene un excedente a favor de 1.68 kWh/día, sabiendo que el costo de kWh en el país es de \$0.096, en términos de costos se ha ganado \$0.16 a favor. Asumiendo el promedio de hora pico mínimo que es de 12:00pm a 14:00pm, (2h) se tiene 11.14 kWh/día:

$$\begin{aligned}
 24.5 \text{ kWh/día} & : 100\% \\
 11.14 \text{ kWh/día} & : x \\
 \text{Ahorro} & = \frac{11.14 \text{ kWh/día} * 100\%}{24.5 \text{ kWh/día}} \\
 \text{Ahorro} & = 45.47\%
 \end{aligned}$$

Lo que representa un ahorro del 45.57% de la planilla eléctrica.

Prueba #: 3

Los resultados del escenario #1, prueba #3 muestran:

Tabla 14-4: Resultados del escenario #1, prueba #3 en configuración de la tabla 11-4

Descripción		Valores
Configuración del PV	# PV en Serie	8
	# PV en Paralelo	3
Voltaje de salida del sistema PV		166.85 V
Corriente de salida del sistema PV		33.37 A
Potencia de salida del sistema PV		5.57 kW
Área de edificación		114 m ²
Área ocupada por los paneles		28.3404 m ²

Fuente: (Balseca, 2023)

Para el escenario #1, prueba #3 se muestra una potencia de salida en términos de horas de 5.57 kWh ver en la tabla 14-4, que en el transcurso de 4.7 horas picos de generación se tiene 26.18 kWh/día, sabiendo que se requiere 24.5 kWh/día promedio para abastecer la demanda, se tiene un excedente a favor de 1.68 kWh/día, sabiendo que el costo de kWh en el país es de \$0.096, en términos de costos se ha ganado \$0.16 a favor. Asumiendo el promedio de hora pico mínimo que es de 12:00pm a 14:00pm, (2h) se tiene 14.76 kWh/día:

$$\begin{aligned}
 24.5 \text{ kWh/día} & : 100\% \\
 11.14 \text{ kWh/día} & : x \\
 \text{Ahorro} & = \frac{11.14 \text{ kWh/día} * 100\%}{24.5 \text{ kWh/día}} \\
 \text{Ahorro} & = 45.47\%
 \end{aligned}$$

Lo que representa un ahorro del 45.47% de la planilla eléctrica.

Prueba #: 4

Los resultados del escenario #1, prueba #4 muestran:

Tabla 15-4: Resultados del escenario #1, prueba #4 en configuración de la tabla 11-4

Descripción		Valores
Configuración del PV	# PV en Serie	3
	# PV en Paralelo	6
Voltaje de salida del sistema PV		115.25 V

Corriente de salida del sistema PV	23.05 A
Potencia de salida del sistema PV	2.66 kW
Área de edificación	114 m ²
Área ocupada por los paneles	23.1876 m ²

Fuente: (Balseca, 2023)

Para el escenario #1, prueba #4 se muestra una potencia de salida en términos de horas de 2.66 kWh ver en la tabla 15-4, que en el transcurso de 4.7 horas picos de generación se tiene 12.50 kWh/día, sabiendo que se requiere 24.5 kWh/día promedio para abastecer la demanda, se tiene 12 kWh/día en contra, que en este caso es suministrado por la red eléctrica, para este escenario no se tiene un excedente a favor. Asumiendo el promedio de hora pico mínimo que es de 12:00pm a 14:00pm, (2h) se tiene 5.32 kWh/día:

$$\begin{aligned}
 24.5 \text{ kWh/día} & : 100\% \\
 5.32 \text{ kWh/día} & : x \\
 \text{Ahorro} & = \frac{5.32 \text{ kWh/día} * 100\%}{24.5 \text{ kWh/día}} \\
 \text{Ahorro} & = 21.71\%
 \end{aligned}$$

Lo que representa un ahorro del 21.71% de la planilla eléctrica.

Prueba #: 5

Los resultados del escenario #1, prueba #5 muestran:

Tabla 16-4: Resultados del escenario #1, prueba #5 en configuración de la tabla 11-4

Descripción		Valores
Configuración del PV	# PV en Serie	8
	# PV en Paralelo	3
Voltaje de salida del sistema PV		166.85 V
Corriente de salida del sistema PV		33.37 A
Potencia de salida del sistema PV		5.57 kW
Área de edificación		114 m ²
Área ocupada por los paneles		28.3404 m ²

Fuente: (Balseca, 2023)

Para el escenario #1, prueba #5 se muestra una potencia de salida en términos de horas de 5.57 kWh ver en la tabla 16-4, que en el transcurso de 4.7 horas picos de generación se tiene 26.18 kWh/día, sabiendo que se requiere 24.5 kWh/día promedio para abastecer la demanda, se tiene

un excedente a favor de 1.68 kWh/día, sabiendo que el costo de kWh en el país es de \$0.096, en términos de costos se ha ganado \$0.16 a favor. Asumiendo el promedio de hora pico mínimo que es de 12:00pm a 14:00pm, (2h) se tiene 11.14 kWh/día:

$$\begin{aligned}
 24.5 \text{ kWh/día} & : 100\% \\
 11.14 \text{ kWh/día} & : x \\
 \text{Ahorro} & = \frac{11.14 \text{ kWh/día} * 100\%}{24.5 \text{ kWh/día}} \\
 \text{Ahorro} & = 45.47\%
 \end{aligned}$$

Lo que representa un ahorro del 45.47% de la planilla eléctrica.

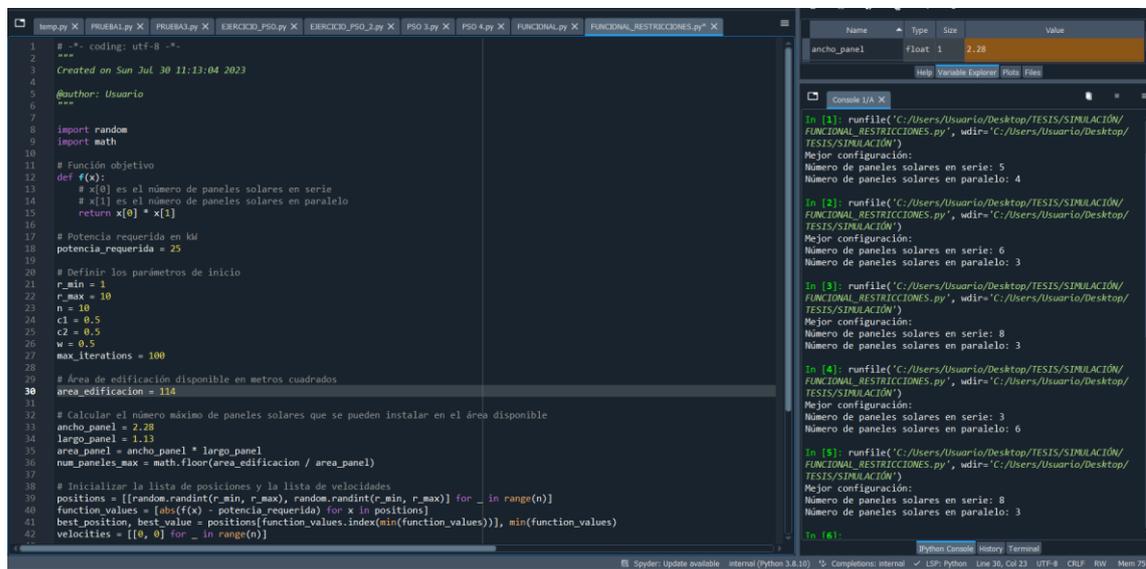


Ilustración 7-4: Algoritmo PSO en configuración del escenario #1, con 5 pruebas resultantes de configuración del array PV.

Fuente: (Balseca, 2023)

En la ilustración 7-4 se evidencia las respuestas de los mejores escenarios que arroja el algoritmo PSO, configurado como restricción con el área de edificación correspondiente a la provincia del Guayas de 114m2 y una potencia requerida de 25 kWh/día.

4.5.2 Escenario #2 – Carchi

Para el escenario #2 se tiene el siguiente perfil de generación, considerando el modelo de panel óptimo de acuerdo con la sección 4-3, el modelo ideal es el panel Tenste EM550-PH:

Tabla 17-4: Parámetros del algoritmo y del escenario en simulink, escenario #2.

Detalle	Valor
---------	-------

Irradiancia	78.73 W/m ²
Temperatura promedio (Weatherspark.com – Ecuador/Carchi)	17.8°C
Área de edificación	125 m ²
Dimensión del panel	2.28m x 1.13m

Fuente: (Balseca, 2023)

Prueba #: 1

Los resultados del escenario #2, prueba #1 muestran:

Tabla 18-4: Resultados del escenario #2, prueba #1 en configuración de la tabla 17-4

Descripción		Valores
Configuración del PV	# PV en Serie	7
	# PV en Paralelo	3
Voltaje de salida del sistema PV		166.81 V
Corriente de salida del sistema PV		33.36 A
Potencia de salida del sistema PV		5.56 kW
Área de edificación		125 m ²
Área ocupada por los paneles		25.764 m ²

Fuente: (Balseca, 2023)

Para el escenario #2, prueba #1 se muestra una potencia de salida en términos de horas de 5.56 kWh ver en la tabla 18-4, que en el transcurso de 4.7 horas picos de generación se tiene 26.13 kWh/día, sabiendo que se requiere 24.5 kWh/día promedio para abastecer la demanda, se tiene un excedente a favor de 1.63 kWh/día, sabiendo que el costo de kWh en el país es de \$0.096, en términos de costos se ha ganado \$0.16 a favor. Asumiendo el promedio de hora pico mínimo que es de 12:00pm a 14:00pm, (2h) se tiene 11.12 kWh/día:

$$\begin{aligned}
 24.5 \text{ kWh/día} & : 100\% \\
 11.12 \text{ kWh/día} & : x \\
 \text{Ahorro} & = \frac{11.12 \text{ kWh/día} * 100\%}{24.5 \text{ kWh/día}} \\
 \text{Ahorro} & = 45.39\%
 \end{aligned}$$

Lo que representa un ahorro del 45.39% de la planilla eléctrica.

Prueba #: 2

Los resultados del escenario #2, prueba #2 muestran:

Tabla 19-4: Resultados del escenario #2, prueba #2 en configuración de la tabla 17-4

Descripción		Valores
Configuración del PV	# PV en Serie	4
	# PV en Paralelo	5
Voltaje de salida del sistema PV		159.36 V
Corriente de salida del sistema PV		31.87 A
Potencia de salida del sistema PV		5.08 kW
Área de edificación		125 m ²
Área ocupada por los paneles		23.1876 m ²

Fuente: (Balseca, 2023)

Para el escenario #2, prueba #2 se muestra una potencia de salida en términos de horas de 5.08 kWh ver en la tabla 19-4, que en el transcurso de 4.7 horas picos de generación se tiene 23.88 kWh/día, sabiendo que se requiere 24.5 kWh/día promedio para abastecer la demanda, no se tiene un excedente a favor. Asumiendo el promedio de hora pico mínimo que es de 12:00pm a 14:00pm, (2h) se tiene 10.16 kWh/día:

$$\begin{aligned} 24.5 \text{ kWh/día} & : 100\% \\ 10.16 \text{ kWh/día} & : x \\ \text{Ahorro} & = \frac{10.16 \text{ kWh/día} * 100\%}{24.5 \text{ kWh/día}} \\ \text{Ahorro} & = 41.47\% \end{aligned}$$

Lo que representa un ahorro del 41.47% de la planilla eléctrica.

Prueba #: 3

Los resultados del escenario #2, prueba #3 muestran:

Tabla 20-4: Resultados del escenario #2, prueba #3 en configuración de la tabla 17-4

Descripción		Valores
Configuración del PV	# PV en Serie	5
	# PV en Paralelo	4
Voltaje de salida del sistema PV		166.99 V
Corriente de salida del sistema PV		33.40 A
Potencia de salida del sistema PV		5.58 kW
Área de edificación		125 m ²

Área ocupada por los paneles	23.1876 m ²
------------------------------	------------------------

Fuente: (Balseca, 2023)

Para el escenario #2, prueba #3 se muestra una potencia de salida en términos de horas de 5.58 kWh ver en la tabla 20-4, que en el transcurso de 4.7 horas picos de generación se tiene 26.23 kWh/día, sabiendo que se requiere 24.5 kWh/día promedio para abastecer la demanda, se tiene un excedente a favor de 1.73 kWh/día, sabiendo que el costo de kWh en el país es de \$0.096, en términos de costos se ha ganado \$0.16 a favor. Asumiendo el promedio de hora pico mínimo que es de 12:00pm a 14:00pm, (2h) se tiene 11.16 kWh/día:

$$\begin{aligned}
 24.5 \text{ kWh/día} & : 100\% \\
 11.16 \text{ kWh/día} & : x \\
 \text{Ahorro} & = \frac{11.16 \text{ kWh/día} * 100\%}{24.5 \text{ kWh/día}} \\
 \text{Ahorro} & = 45.55\%
 \end{aligned}$$

Lo que representa un ahorro del 45.55% de la planilla eléctrica.

Prueba #: 4

Los resultados del escenario #2, prueba #4 muestran:

Tabla 21-4: Resultados del escenario #2, prueba #4 en configuración de la tabla 17-4

Descripción		Valores
Configuración del PV	# PV en Serie	4
	# PV en Paralelo	5
Voltaje de salida del sistema PV		159.36 V
Corriente de salida del sistema PV		31.87 A
Potencia de salida del sistema PV		5.08 kW
Área de edificación		125 m ²
Área ocupada por los paneles		23.1876 m ²

Fuente: (Balseca, 2023)

Para el escenario #2, prueba #4 se muestra una potencia de salida en términos de horas de 5.08 kWh ver en la tabla 21-4, que en el transcurso de 4.7 horas picos de generación se tiene 23.88 kWh/día, sabiendo que se requiere 24.5 kWh/día promedio para abastecer la demanda, no se tiene un excedente a favor. Asumiendo el promedio de hora pico mínimo que es de 12:00pm a 14:00pm, (2h) se tiene 10.16 kWh/día:

$$\begin{aligned}
 24.5 \text{ kWh/día} & : 100\% \\
 10.16 \text{ kWh/día} & : x \\
 \text{Ahorro} & = \frac{10.16 \text{ kWh/día} * 100\%}{24.5 \text{ kWh/día}} \\
 \text{Ahorro} & = 41.47\%
 \end{aligned}$$

Lo que representa un ahorro del 41.47% de la planilla eléctrica.

Prueba #: 5

Los resultados del escenario #3, prueba #5 muestran:

Tabla 22-4: Resultados del escenario #2, prueba #5 en configuración de la tabla 17-4

Descripción		Valores
Configuración del PV	# PV en Serie	8
	# PV en Paralelo	2
Voltaje de salida del sistema PV		166.63 V
Corriente de salida del sistema PV		33.33 A
Potencia de salida del sistema PV		5.55 kW
Área de edificación		125 m ²
Área ocupada por los paneles		25.764 m ²

Fuente: (Balseca, 2023)

Para el escenario #2, prueba #5 se muestra una potencia de salida en términos de horas de 5.55 kWh ver en la tabla 22-4, que en el transcurso de 4.7 horas picos de generación se tiene 26.09 kWh/día, sabiendo que se requiere 24.5 kWh/día promedio para abastecer la demanda, se tiene un excedente a favor de 1.59 kWh/día, sabiendo que el costo de kWh en el país es de \$0.096, en términos de costos se ha ganado \$0.15 a favor. Asumiendo el promedio de hora pico mínimo que es de 12:00pm a 14:00pm, (2h) se tiene 11.10 kWh/día:

$$\begin{aligned}
 24.5 \text{ kWh/día} & : 100\% \\
 11.10 \text{ kWh/día} & : x \\
 \text{Ahorro} & = \frac{11.10 \text{ kWh/día} * 100\%}{24.5 \text{ kWh/día}} \\
 \text{Ahorro} & = 45.31\%
 \end{aligned}$$

Lo que representa un ahorro del 45.31% de la planilla eléctrica.

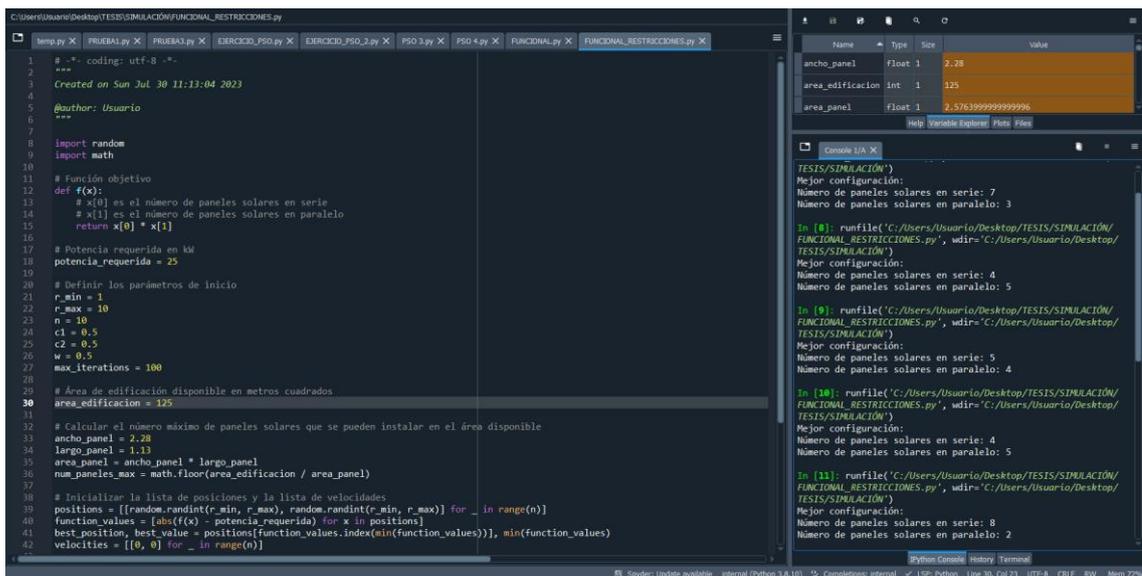


Ilustración 8-4: Algoritmo PSO en configuración del escenario #2, con 5 pruebas resultantes de configuración del array PV.

Fuente: (Balseca, 2023)

En la ilustración 8-4 se evidencia las respuestas de los mejores escenarios que arroja el algoritmo PSO, configurado como restricción con el área de edificación correspondiente a la provincia del Carchi de 125m² y una potencia requerida de 25 kWh/día.

4.5.3 Escenario #3 – Sucumbíos

Para el escenario #3 se tiene el siguiente perfil de generación, considerando el modelo de panel óptimo de acuerdo con la sección 4-3, el modelo ideal es el panel Tenste EM550-PH:

Tabla 23-4: Parámetros del algoritmo y del escenario en simulink, escenario #3.

Detalle	Valor
Irradiancia	96.8 W/m ²
Temperatura promedio (Weatherspark.com – Ecuador/Nueva Loja)	17.2°C
Área de edificación	91 m ²
Dimensión del panel	2.28m x 1.13m

Fuente: (Balseca, 2023)

Prueba #: 1

Los resultados del escenario #3, prueba #1 muestran:

Tabla 24-4: Resultados del escenario #3, prueba #1 en configuración de la tabla 23-4

Descripción		Valores
Configuración del PV	# PV en Serie	4
	# PV en Paralelo	5
Voltaje de salida del sistema PV		161.08 V
Corriente de salida del sistema PV		32.22 A
Potencia de salida del sistema PV		5.19 kW
Área de edificación		91 m ²
Área ocupada por los paneles		23.1876 m ²

Fuente: (Balseca, 2023)

Para el escenario #3, prueba #1 se muestra una potencia de salida en términos de horas de 5.19 kWh ver en la tabla 24-4, que en el transcurso de 4.7 horas picos de generación se tiene 24.39 kWh/día, sabiendo que se requiere 24.5 kWh/día promedio para abastecer la demanda, no se tiene un excedente a favor. Asumiendo el promedio de hora pico mínimo que es de 12:00pm a 14:00pm, (2h) se tiene 10.38 kWh/día:

$$\begin{aligned}
 24.5 \text{ kWh/día} & : 100\% \\
 10.38 \text{ kWh/día} & : x \\
 \text{Ahorro} & = \frac{10.38 \text{ kWh/día} * 100\%}{24.5 \text{ kWh/día}} \\
 \text{Ahorro} & = 42.37\%
 \end{aligned}$$

Lo que representa un ahorro del 42.37% de la planilla eléctrica.

Prueba #: 2

Los resultados del escenario #3, prueba #2 muestran:

Tabla 25-4: Resultados del escenario #3, prueba #2 en configuración de la tabla 23-4

Descripción		Valores
Configuración del PV	# PV en Serie	5
	# PV en Paralelo	4
Voltaje de salida del sistema PV		167.16 V
Corriente de salida del sistema PV		33.43 A

Potencia de salida del sistema PV	5.59 kW
Área de edificación	91 m ²
Área ocupada por los paneles	23.1876 m ²

Fuente: (Balseca, 2023)

Para el escenario #3, prueba #2 se muestra una potencia de salida en términos de horas de 5.59 kWh ver en la tabla 25-4, que en el transcurso de 4.7 horas picos de generación se tiene 26.27 kWh/día, sabiendo que se requiere 24.5 kWh/día promedio para abastecer la demanda, se tiene un excedente a favor de 1.77 kWh/día, sabiendo que el costo de kWh en el país es de \$0.096, en términos de costos se ha ganado \$0.17 a favor. Asumiendo el promedio de hora pico mínimo que es de 12:00pm a 14:00pm, (2h) se tiene 11.18 kWh/día:

$$\begin{aligned}
 24.5 \text{ kWh/día} & : 100\% \\
 11.18 \text{ kWh/día} & : x \\
 \text{Ahorro} & = \frac{11.18 \text{ kWh/día} * 100\%}{24.5 \text{ kWh/día}} \\
 \text{Ahorro} & = 45.63\%
 \end{aligned}$$

Lo que representa un ahorro del 45.63% de la planilla eléctrica.

Prueba #: 3

Los resultados del escenario #3, prueba #3 muestran:

Tabla 26-4: Resultados del escenario #3, prueba #3 en configuración de la tabla 23-4

Descripción		Valores
Configuración del PV	# PV en Serie	5
	# PV en Paralelo	4
Voltaje de salida del sistema PV		167.16 V
Corriente de salida del sistema PV		33.43 A
Potencia de salida del sistema PV		5.59 kW
Área de edificación		91 m ²
Área ocupada por los paneles		23.1876 m ²

Fuente: (Balseca, 2023)

Para el escenario #3, prueba #3 se muestra una potencia de salida en términos de horas de 5.59 kWh ver en la tabla 26-4, que en el transcurso de 4.7 horas picos de generación se tiene 26.27 kWh/día, sabiendo que se requiere 24.5 kWh/día promedio para abastecer la demanda, se tiene

un excedente a favor de 1.77 kWh/día, sabiendo que el costo de kWh en el país es de \$0.096, en términos de costos se ha ganado \$0.17 a favor. Asumiendo el promedio de hora pico mínimo que es de 12:00pm a 14:00pm, (2h) se tiene 11.18 kWh/día:

$$\begin{aligned}
 24.5 \text{ kWh/día} & : 100\% \\
 11.18 \text{ kWh/día} & : x \\
 \text{Ahorro} & = \frac{11.18 \text{ kWh/día} * 100\%}{24.5 \text{ kWh/día}} \\
 \text{Ahorro} & = 45.63\%
 \end{aligned}$$

Lo que representa un ahorro del 45.63% de la planilla eléctrica.

Prueba #: 4

Los resultados del escenario #3, prueba #4 muestran:

Tabla 27-4: Resultados del escenario #3, prueba #4 en configuración de la tabla 23-4

Descripción		Valores
Configuración del PV	# PV en Serie	2
	# PV en Paralelo	9
Voltaje de salida del sistema PV		105.50 V
Corriente de salida del sistema PV		21.10 A
Potencia de salida del sistema PV		2.23 kW
Área de edificación		91 m ²
Área ocupada por los paneles		28.3404 m ²

Fuente: (Balseca, 2023)

Para el escenario #3, prueba #4 se muestra una potencia de salida en términos de horas de 2.23 kWh ver en la tabla 27-4, que en el transcurso de 4.7 horas picos de generación se tiene 10.48 kWh/día, sabiendo que se requiere 24.5 kWh/día promedio para abastecer la demanda, se tiene 14.02 kWh/día en contra, que en este caso es suministrado por la red eléctrica, para este escenario no se tiene un excedente a favor. Asumiendo el promedio de hora pico mínimo que es de 12:00pm a 14:00pm, (2h) se tiene 4.46 kWh/día:

$$\begin{aligned}
 24.5 \text{ kWh/día} & : 100\% \\
 4.46 \text{ kWh/día} & : x \\
 \text{Ahorro} & = \frac{4.46 \text{ kWh/día} * 100\%}{24.5 \text{ kWh/día}} \\
 \text{Ahorro} & = 18.20\%
 \end{aligned}$$

Lo que representa un ahorro del 18.20% de la planilla eléctrica.

Prueba #: 5

Los resultados del escenario #3, prueba #5 muestran:

Tabla 28-4: Resultados del escenario #3, prueba #5 en configuración de la tabla 23-4

Descripción		Valores
Configuración del PV	# PV en Serie	6
	# PV en Paralelo	4
Voltaje de salida del sistema PV		167.16 V
Corriente de salida del sistema PV		33.43 A
Potencia de salida del sistema PV		5.59 kW
Área de edificación		91 m ²
Área ocupada por los paneles		25.764 m ²

Fuente: (Balseca, 2023)

Para el escenario #3, prueba #5 se muestra una potencia de salida en términos de horas de 5.59 kWh ver en la tabla 28-4, que en el transcurso de 4.7 horas picos de generación se tiene 26.26 kWh/día, sabiendo que se requiere 24.5 kWh/día promedio para abastecer la demanda, se tiene un excedente a favor de 1.76 kWh/día, sabiendo que el costo de kWh en el país es de \$0.096, en términos de costos se ha ganado \$0.17 a favor. Asumiendo el promedio de hora pico mínimo que es de 12:00pm a 14:00pm, (2h) se tiene 11.18 kWh/día:

$$\begin{aligned}
 24.5 \text{ kWh/día} & : 100\% \\
 11.18 \text{ kWh/día} & : x \\
 \text{Ahorro} & = \frac{11.18 \text{ kWh/día} * 100\%}{24.5 \text{ kWh/día}} \\
 \text{Ahorro} & = 45.63\%
 \end{aligned}$$

Lo que representa un ahorro del 45.63% de la planilla eléctrica.

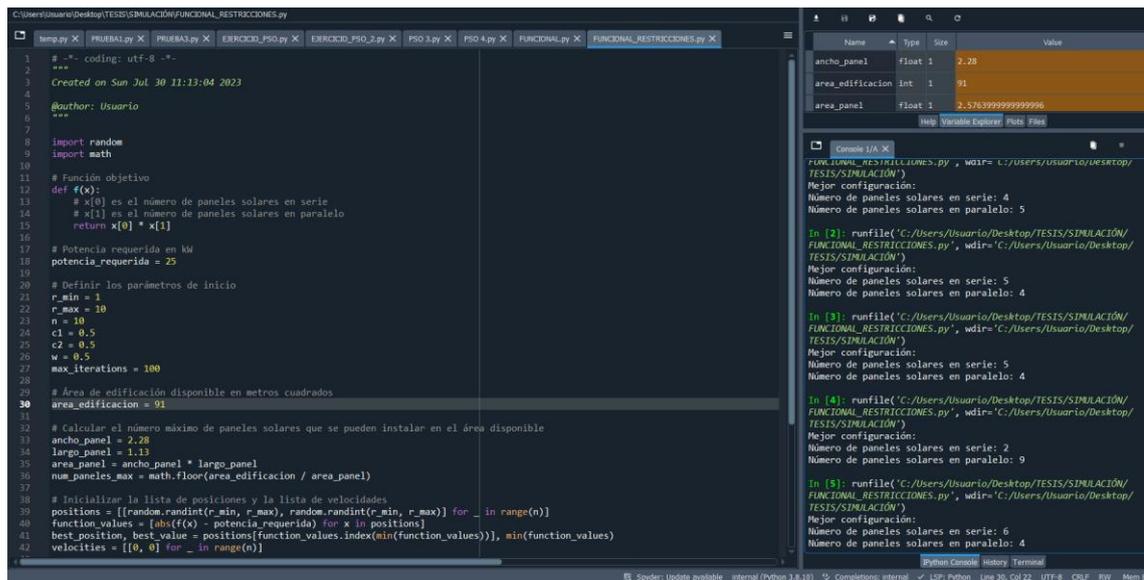


Ilustración 9-4: Algoritmo PSO en configuración del escenario #3, con 5 pruebas resultantes de configuración del array PV.

Fuente: (Balseca, 2023)

En la ilustración 9-4 se evidencia las respuestas de los mejores escenarios que arroja el algoritmo PSO, configurado como restricción con el área de edificación correspondiente a la provincia de Sucumbíos de 91m² y una potencia requerida de 25 kWh/día.

4.5.4 Escenario #4 – Puerto Baquerizo Moreno

Para el escenario #4 se tiene el siguiente perfil de generación, considerando el modelo de panel óptimo de acuerdo con la sección 4-3, el modelo ideal es el panel Tenste EM550-PH:

Tabla 29-4: Parámetros del algoritmo y del escenario en simulink, escenario #4.

Detalle	Valor
Irradiancia	132.97 W/m ²
Temperatura promedio (Weatherspark.com – Ecuador/Galápagos)	28°C
Área de edificación	112 m ²
Dimensión del panel	2.28m x 1.13m

Fuente: (Balseca, 2023)

Prueba #: 1

Los resultados del escenario #4, prueba #1 muestran:

Tabla 30-4: Resultados del escenario #4, prueba #1 en configuración de la tabla 29-4

Descripción		Valores
Configuración del PV	# PV en Serie	3
	# PV en Paralelo	6
Voltaje de salida del sistema PV		115.58 V
Corriente de salida del sistema PV		23.12 A
Potencia de salida del sistema PV		2.67 kW
Área de edificación		112 m ²
Área ocupada por los paneles		23.1876 m ²

Fuente: (Balseca, 2023)

Para el escenario #4, prueba #1 se muestra una potencia de salida en términos de horas de 2.67 kWh ver en la tabla 30-4, que en el transcurso de 4.7 horas picos de generación se tiene 12.56 kWh/día, sabiendo que se requiere 24.5 kWh/día promedio para abastecer la demanda, se tiene 11.94 kWh/día en contra, que en este caso es suministrado por la red eléctrica, para este escenario no se tiene un excedente a favor. Asumiendo el promedio de hora pico mínimo que es de 12:00pm a 14:00pm, (2h) se tiene 5.34 kWh/día:

$$\begin{aligned} 24.5 \text{ kWh/día} & : 100\% \\ 5.34 \text{ kWh/día} & : x \\ \text{Ahorro} & = \frac{5.34 \text{ kWh/día} * 100\%}{24.5 \text{ kWh/día}} \\ \text{Ahorro} & = 21.80\% \end{aligned}$$

Lo que representa un ahorro del 21.80% de la planilla eléctrica.

Prueba #: 2

Los resultados del escenario #4, prueba #2 muestran:

Tabla 31-4: Resultados del escenario #4, prueba #2 en configuración de la tabla 29-4

Descripción		Valores
Configuración del PV	# PV en Serie	2
	# PV en Paralelo	10
Voltaje de salida del sistema PV		102.79 V
Corriente de salida del sistema PV		20.56 A
Potencia de salida del sistema PV		2.11 kW
Área de edificación		112 m ²

Área ocupada por los paneles	30.9168 m ²
------------------------------	------------------------

Fuente: (Balseca, 2023)

Para el escenario #4, prueba #2 se muestra una potencia de salida en términos de horas de 2.11 kWh ver en la tabla 31-4, que en el transcurso de 4.7 horas picos de generación se tiene 9.92 kWh/día, sabiendo que se requiere 24.5 kWh/día promedio para abastecer la demanda, se tiene 14.58 kWh/día en contra, que en este caso es suministrado por la red eléctrica, para este escenario no se tiene un excedente a favor. Asumiendo el promedio de hora pico mínimo que es de 12:00pm a 14:00pm, (2h) se tiene 4.22 kWh/día:

$$\begin{aligned}
 24.5 \text{ kWh/día} & : 100\% \\
 4.22 \text{ kWh/día} & : x \\
 \text{Ahorro} & = \frac{4.22 \text{ kWh/día} * 100\%}{24.5 \text{ kWh/día}} \\
 \text{Ahorro} & = 17.22\%
 \end{aligned}$$

Lo que representa un ahorro del 17.22% de la planilla eléctrica.

Prueba #: 3

Los resultados del escenario #4, prueba #3 muestran:

Tabla 32-4: Resultados del escenario #4, prueba #3 en configuración de la tabla 29-4

Descripción		Valores
Configuración del PV	# PV en Serie	5
	# PV en Paralelo	4
Voltaje de salida del sistema PV		167.50 V
Corriente de salida del sistema PV		33.50 A
Potencia de salida del sistema PV		5.61 kW
Área de edificación		112 m ²
Área ocupada por los paneles		23.1876 m ²

Fuente: (Balseca, 2023)

Para el escenario #4, prueba #3 se muestra una potencia de salida en términos de horas de 5.61 kWh ver en la tabla 32-4, que en el transcurso de 4.7 horas picos de generación se tiene 26.37 kWh/día, sabiendo que se requiere 24.5 kWh/día promedio para abastecer la demanda, se tiene un excedente a favor de 1.86 kWh/día, sabiendo que el costo de kWh en el país es de \$0.096, en términos de costos se ha ganado \$0.18 a favor. Asumiendo el promedio de hora pico mínimo que es de 12:00pm a 14:00pm, (2h) se tiene 11.22 kWh/día:

$$\begin{aligned}
 24.5 \text{ kWh/día} & : 100\% \\
 11.22 \text{ kWh/día} & : x \\
 \text{Ahorro} & = \frac{11.22 \text{ kWh/día} * 100\%}{24.5 \text{ kWh/día}} \\
 \text{Ahorro} & = 45.80\%
 \end{aligned}$$

Lo que representa un ahorro del 45.80% de la planilla eléctrica.

Prueba #: 4

Los resultados del escenario #4, prueba #4 muestran:

Tabla 33-4: Resultados del escenario #4, prueba #4 en configuración de la tabla 29-4

Descripción		Valores
Configuración del PV	# PV en Serie	3
	# PV en Paralelo	7
Voltaje de salida del sistema PV		115.73 V
Corriente de salida del sistema PV		23.15 A
Potencia de salida del sistema PV		2.68 kW
Área de edificación		112 m ²
Área ocupada por los paneles		25.764 m ²

Fuente: (Balseca, 2023)

Para el escenario #4, prueba #4 se muestra una potencia de salida en términos de horas de 2.68 kWh ver en la tabla 33-4, que en el transcurso de 4.7 horas picos de generación se tiene 12.60 kWh/día, sabiendo que se requiere 24.5 kWh/día promedio para abastecer la demanda, se tiene 11.90 kWh/día en contra, que en este caso es suministrado por la red eléctrica, para este escenario no se tiene un excedente a favor. Asumiendo el promedio de hora pico mínimo que es de 12:00pm a 14:00pm, (2h) se tiene 5.36 kWh/día:

$$\begin{aligned}
 24.5 \text{ kWh/día} & : 100\% \\
 5.36 \text{ kWh/día} & : x \\
 \text{Ahorro} & = \frac{5.36 \text{ kWh/día} * 100\%}{24.5 \text{ kWh/día}} \\
 \text{Ahorro} & = 21.88\%
 \end{aligned}$$

Lo que representa un ahorro del 21.88% de la planilla eléctrica.

Prueba #: 5

Los resultados del escenario #4, prueba #5 muestran:

Tabla 34-4: Resultados del escenario #4, prueba #5 en configuración de la tabla 29-4

Descripción		Valores
Configuración del PV	# PV en Serie	4
	# PV en Paralelo	5
Voltaje de salida del sistema PV		154.89 V
Corriente de salida del sistema PV		30.98 A
Potencia de salida del sistema PV		4.80 kW
Área de edificación		112 m ²
Área ocupada por los paneles		23.1876 m ²

Fuente: (Balseca, 2023)

Para el escenario #4, prueba #5 se muestra una potencia de salida en términos de horas de 4.80 kWh ver en la tabla 34-4, que en el transcurso de 4.7 horas picos de generación se tiene 22.56 kWh/día, sabiendo que se requiere 24.5 kWh/día promedio para abastecer la demanda, se tiene 1.94 kWh/día en contra, que en este caso es suministrado por la red eléctrica, para este escenario no se tiene un excedente a favor. Asumiendo el promedio de hora pico mínimo que es de 12:00pm a 14:00pm, (2h) se tiene 9.6 kWh/día:

$$\begin{aligned} 24.5 \text{ kWh/día} & : 100\% \\ 9.6 \text{ kWh/día} & : x \\ \text{Ahorro} & = \frac{9.6 \text{ kWh/día} * 100\%}{24.5 \text{ kWh/día}} \\ \text{Ahorro} & = 39.18\% \end{aligned}$$

Lo que representa un ahorro del 42.45% de la planilla eléctrica.

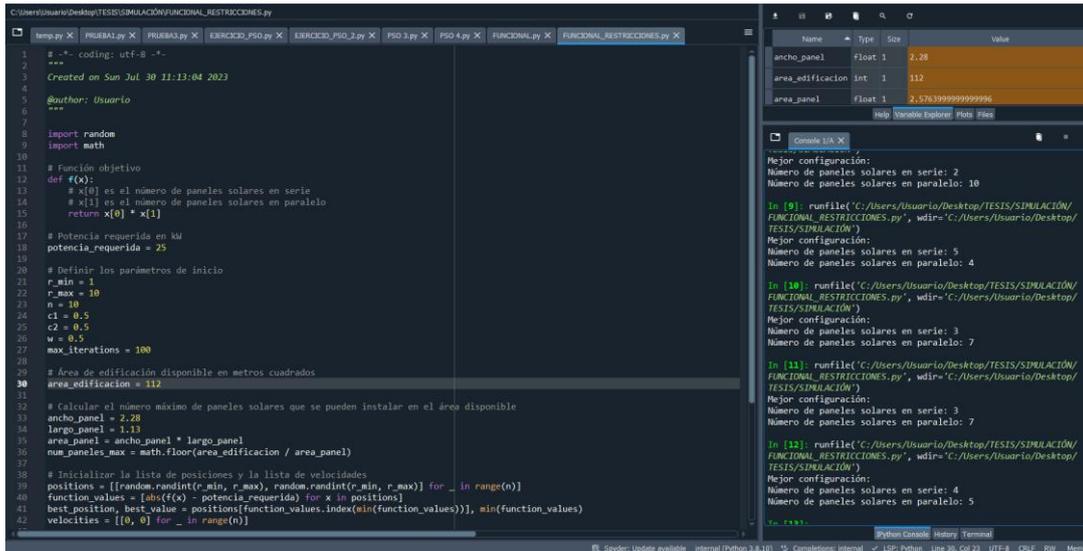


Ilustración 10-4: Algoritmo PSO en configuración del escenario #4, con 5 pruebas resultantes de configuración del array PV.

Fuente: (Balseca, 2023)

En la ilustración 10-4 se evidencia las respuestas de los mejores escenarios que arroja el algoritmo PSO, configurado como restricción con el área de edificación correspondiente a la provincia de Puerto Baquerizo Moreno de 112m² y una potencia requerida de 25 kWh/día.

4.6 Evaluación total del escenario dual

Partiendo del resultado obtenido en la sección 4.4, donde se demostró la existencia de una ventaja del 2% a favor del EV Skywell ET5 en relación con el SUV Chevrolet Captiva, este porcentaje entra en un análisis de diferencias significativas, por lo cual se emplea el método del chi-cuadrado, lo cual lo representaremos como χ :

$$\chi = \frac{(Valor_{Observado} - Valor_{Esperado})^2}{Valor_{Esperado}}$$

Donde el $Valor_{Observado}$ es el costo total del EV Skywell ET5 en un periodo de cinco años (13´200.04/año) y el $Valor_{Esperado}$ es el costo total del SUV Chevrolet Captiva en un periodo de cinco años multiplicado por (1 + 2% = 1.02) para reflejar la diferencia % esperada del 2%. Por lo tanto:

$$Valor_{Esperado} = \$9862.75 * 1.02$$

$$Valor_{Esperado} = \$10049.55$$

Entonces:

$$\chi = \frac{(13200.04 - 10049.55)^2}{10049.55} = 33.79$$

Ahora, para calcular el valor de p, se va a emplear una tabla de distribución del chi-cuadrado con un grado de libertad, ya que solo se está comparando un valor observado con un valor esperado, para lo cual se establece un valor de significancia del 0.05. En la tabla de distribución de chi-cuadrado, se busca el valor más cercano al estadístico, para ello empleamos las herramientas propias de Python que con sus funciones nos retorna objetivamente la comparativa a establecer.

```

1 # -*- coding: utf-8 -*-
2 """
3 Created on Sun Jul 30 21:30:03 2023
4
5 @author: Usuario
6 """
7
8 import scipy.stats as stats
9
10 # Estadístico de chi-cuadrado
11 observed = 33.79
12 expected = 10049.55
13 df = 1
14 chi2 = ((observed - expected)**2 / expected)
15
16 # Valor p
17 p_value = 1 - stats.chi2.cdf(chi2, df)
18
19 # Nivel de significancia
20 alpha = 0.05
21
22 # Interpretación de resultados
23 if p_value < alpha:
24     print(p_value,": Hay una diferencia significativa del 2% a favor del Skywell ET5.")
25 else:
26     print("No se considera una diferencia significativa.")

```

Ilustración 11-4: Algoritmo para el cálculo de P utilizando una tabla de distribución de chi-cuadrado.

Fuente: (Balseca, 2023)

La ilustración 11-4 muestra el algoritmo empleado para determinar si existe una diferencia significativa, para lo cual se emplea la biblioteca scipy.stats para calcular el valor P, empleando la función chi2.sdf() y la tabla de distribución de chi-cuadrado con un grado de libertad, comparando el valor P con el nivel de significancia de 0.05, dando como resultado que existe una diferencia significativa del 2% a favor del Skywell ET5, en la escala de miles (\$) de dólares.

Tabla 35-4: Resultados del ahorro de las 5 pruebas de los 4 escenarios planteados.

Detalle		Valor
Escenario #1	Prueba #1	45.55%
	Prueba #2	45.57%
	Prueba #3	45.47%
	Prueba #4	21.71%
	Prueba #5	45.47%
	Promedio	40.75%
Escenario #2	Prueba #1	45,39
	Prueba #2	41,47

	Prueba #3	45,55
	Prueba #4	41,47
	Prueba #5	45,31
	Promedio	43,838
Escenario #3	Prueba #1	42,37
	Prueba #2	45,63
	Prueba #3	45,63
	Prueba #4	18,2
	Prueba #5	45,63
	Promedio	39,492
Escenario #4	Prueba #1	21,8
	Prueba #2	17,22
	Prueba #3	45,8
	Prueba #4	21,88
	Prueba #5	42,45
	Promedio	29,83

Fuente: (Balseca, 2023)

Analizando los resultados de los escenarios mostrados en la sección 4.5 (4.5.1 al 4.5.4), al correr el algoritmo a la par con los valores arrojados por el PSO para la optimización de PV, existe un común denominador donde se evidencia que el sistema sugerido presenta un ahorro significativo dentro de la planilla eléctrica, lo que lo hace rentable en un 38.48% en promedio, como se muestra en la tabla 35-4. En cada escenario estudiado se realizaron 5 pruebas, cada uno de ellos evidencian valores que cumplen los requerimientos de entrada del sistema, puesto que en cada caso se evidencia una ganancia. Por tal razón se realiza un promedio de cada escenario.

CONCLUSIONES

- La investigación aborda la integración de generación fotovoltaica, el análisis de vehículos eléctricos y la evaluación de la solvencia económica en relación con la adopción de EV en Ecuador. Estos hallazgos proporcionan información valiosa para la implementación de políticas y estrategias relacionadas con la transición hacia una matriz energética más sostenible y la promoción de la movilidad eléctrica en el país.
- Al realizar la arquitectura general del sistema, se percibió la necesidad de recopilar información referente a los perfiles de generación, consumo y de conducción, puesto que son los datos primordiales para calibrar el escenario dual de simulación.
- Para determinar el área a trabajar dentro del territorio ecuatoriano se selecciona una provincia que contenga la menor área de construcción, puesto que este sería la capacidad mínima que se requiere para colocar un sistema de paneles fotovoltaicos. Por tal razón se selecciona en la región costa a la provincia del Guayas con 114 m², en la región sierra se tiene a la provincia del Carchi con 125 m², en la región del oriente se tiene a la provincia de Sucumbíos con 91 m² y en la región insular al Puerto Baquerizo Moreno con 112 m² de construcción según lo indica el INEC.
- Analizando los perfiles de consumo eléctrico existe una creciente demanda en el mercado energético, para el año 2023 el consumo promedio por usuario se estima en 1.74 MWh/año, dando un promedio de consumo mensual para una familia incorporada por 4 miembros de 580 kWh/mes, la proyección muestra para el año 2027 un valor promedio de 603.32 kWh/mes.
- Analizando los perfiles de conducción, se realiza una comparativa entre el EV Skywell ET5, el Chevrolet Captiva SUV y la camioneta D-Max Premier, cada uno de ellos con diferentes tipos de combustible, eléctrico, gasolina y diésel respectivamente. De acuerdo con el análisis realizado en base al kilometraje de recorrido promedio de 36.66 km, se determinó que en función de costos el EV Skywell ET5 tiene una ventaja significativa del 2% de acuerdo a la prueba de chi-cuadrado respecto al SUV Captiva. Cabe mencionar que se calcula en base al costo total del vehículo diferido en un plazo de 5 años y sus respectivos gastos, tales como mantenimiento y costo de combustible.
- Se debe denotar que el costo de recarga vehicular para el SUV EV Skywell ET5 al mes es de \$7.72, lo que representa un costo relativamente bajo a diferencia del Chevrolet Captiva que este requiere un costo de \$61.82 al mes. Cabe mencionar que este se encuentra susceptible al cambio de precio de acuerdo a las reformas de combustibles existentes del momento. Los mantenimientos de un vehículo a combustión son mucho mayores a diferencia de un eléctrico, pero a su vez, la debilidad del EV es el ciclo de vida de su batería.

- El escenario diseñado en Simulink ayudada a corroborar los resultados obtenidos del algoritmo PSO, en el escenario se plantea un ambiente ideal de pruebas con un suministro eléctrico no mayor a los 25 kWh/día. Este ambiente permite corroborar si el sistema fotovoltaico es capaz de cubrir la demanda energética requerida, por lo cual se evidencia un ahorro significativo del 38.48% en el tarifario eléctrico considerando un mínimo de 2 horas pico de generación.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda un mayor análisis dentro del perfil de generación, puesto que los datos más actuales son del año 2018, al momento no existe una actualización de esos valores, pero se los podría trabajar con el repositorio de un centro de investigación.
- Al analizar los perfiles de conducción se mostró una notable ausencia de material bibliográfico que hable del estudio del recorrido promedio vehicular dentro de las diferentes provincias en todo el territorio ecuatoriano, al momento solo existe la cifra de 36.66 km de recorrido promedio en la ciudad de Cuenca.
- Al realizar los cálculos que se muestran en el presente TIC, se debe tomar en cuenta que se trabaja con los precios actuales de combustibles y de tarifario eléctrico, según rigen en las disposiciones de la normativa actual, estos pueden estar sujetos a cambios de acuerdo a las reformas que el gobierno de turno disponga.
- Ahondar más en el campo estadístico del factor socioeconómico, puesto que las muestras de los estudios actuales no representan ni el 5% del territorio ecuatoriano y su último estudio público es de 2011, haciendo que no se pueda evidenciar a ciencia cierta la realidad socioeconómica del país.

BIBLIOGRAFÍA

Adjei, F. C. (2022). Electrically powered micro mobility vehicles in ghana: transition process with a focus on social acceptance. *Procedia CIRP*, 764 - 769. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827122001287>

AIRIS soluciones. (01 de 01 de 2023). *Paneles Solares*. Obtenido de AIRIS soluciones: <https://airis.ec/solar/>

Antonio Luque, Steven Hegedus. (2010). Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. En S. H. Antonio Luque, *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering* (pág. 1132). USA. doi:10.1002/9780470974704

ARC. (11 de Enero de 2021). *PRECIOS DE COMBUSTIBLES*. Obtenido de <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/precios-combustibles/#:~:text=La%20Agencia%20de%20Regulaci%C3%B3n%20y,regulados%20por%20el%20Estado%20ecuatoriano.>

ARCERNNR. (10 de Mayo de 2022). *Las tarifas de energía eléctrica no se incrementarán en el 2022*. Obtenido de [https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/las-tarifas-de-energia-electrica-no-se-incrementaran-en-el-2022/#:~:text=El%20Directorio%20de%20la%20Agencia,\(%C2%A2USD%2FkWh\).](https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/las-tarifas-de-energia-electrica-no-se-incrementaran-en-el-2022/#:~:text=El%20Directorio%20de%20la%20Agencia,(%C2%A2USD%2FkWh).)

ARCERNNR. (2022). Pliego tarifario para los proveedores del servicio de carga de energía a vehículos eléctricos, límites máximos del costo. *Resolución NRO. ARCERNNR-011/2022* (págs. 1 - 14). Quito: ARCERNNR.

ARCONEL. (2019). Proyecto de regulación sobre contrato de suministro para la comercialización de energía a estaciones de carga de vehículos. Quito: Dirección Nacional de Regulación Técnica.

ARCONEL. (2020). *Plan Maestro de Electricidad*. Quito: Ministerio de energía y recursos naturales no renovables.

BBVA. (21 de Febrero de 2023). *Salud Financiera*. Obtenido de Qué gastos deben aparecer siempre en el presupuesto familiar: <https://www.bbva.com/es/salud-financiera/que-gastos-deben-aparecer-siempre-en-el-presupuesto-familiar/>

Bose, B. S. (2018). Simulation based v2h super capacitor charging using bidirectional dc-dc converter. *international conference on smart city and emerging technology (icscet)*, 1-5. doi:doi:10.1109/ICSCET.2018.8537292

Bose, B., Suryawanshi, R., y Shah, J. (2018). Simulation based v2h super capacitor charging using bidirectional dc-dc converter. *international conference on smart city and emerging technology (icscet)*, 1 - 5. doi:10.1109/ICSCET.2018.8537292

Bryan Salazar López. (30 de Agosto de 2019). *Ingeniería Industrial*. Obtenido de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/disenio-y-distribucion-en-planta/metodos-de-localizacion-de-planta/#:~:text=El%20M%C3%A9todo%20Sin%C3%A9rgico%20o%20M%C3%A9todo,%3A%20cr%C3%ADticos%2C%20objetivos%20y%20subjetivos.>

C., Francisco and F., Luis and Espinoza, Juan and R., Manuel. (2015). Energía solar en el Ecuador. *Universidad de Cuenca*, 330-383.

Chukwu, U. C., y Mahajan, S. M. (2017). Modeling of v2g net energy injection into the grid. *En 2017 6th international conference on clean electrical power (iccep)*, 437 - 440. doi:10.1109/ICCEP.2017.8004724

CONELEC. (2018). Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica. En CONELEC, *Corporación para la Investigación Energética CIE* (págs. 1-254). Quito: Corporación para la Investigación Energética CIE.

CPE INEN. (1984). *Código ecuatoriano de la construcción, ordenanza municipal básica de construcciones*. Quito: CPE INEN 5. Obtenido de https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5_5.pdf

DANIEL MURIAS. (05 de Abril de 2020). *motorpasión*. Obtenido de <https://www.motorpasion.com/coches-electricos/anatomia-coche-electrico-su-sencilla-mecanica-al-desnudo>

Daniel Sarango, P. M. (2016). *Determinación del indicador kilómetros - vehículo recorrido (KVR) para la ciudad de Cuenca*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.

Diaz, T.; Carmona, G. (2015). Componentes de una instalación solar fotovoltaica. McGraw-Hill.

ElectricForAll. (01 de Enero de 2023). *ElectricForAll*. Obtenido de <https://www.electricforall.org/es/ev-charging-101/>

ENERCITY. (21 de Septiembre de 2022). *ENER CITY Energía Limpia*. Obtenido de <https://energitysa.com/blog/cuanto-cuesta-instalar-paneles-solares/>

energyGO. (12 de Abril de 2023). *Cómo funciona la carga bidireccional de los coches eléctricos*. Obtenido de EFICIENCIA ENERGÉTICA: <https://blog.energygo.es/como-funciona-la-carga-bidireccional-de-los-coches-electricos/>

ESED. (2021). Metodología. *Estadísticas de Edificaciones (ESED) - 2021*, 40. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2021/10.%202021_ESED_Documento_metodologico.pdf

Farhani, R., Ennawaoui, C., Hajjaji, A., Boughaleb, Y., Rivenq, A., y El Hillali, Y. (2022). Photovoltaic-thermoelectric (PV-TE) hybrid system for thermal energy harvesting in low-power

sensors. *Materials Today: Proceedings.*, 223-228.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.644>

Florian Straub, O. M. (2023). Sector Coupling through Vehicle to Grid: A Case Study for Electric Vehicles and Households in Berlin, Germany. *World Electr. Veh. J.*, 77. doi:<https://doi.org/10.3390/wevj14030077>

Frieske, B. K. (2013). Trends in vehicle concept and key technology development for hybrid and battery electric vehicles. *2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27)*, 1 - 12. doi:10.1109/EVS.2013.6914783

Ge, J., Shen, C., Zhao, K., y Lv, G. (2022). Energy production features of rooftop hybrid photovoltaic–wind system and matching analysis with building energy use. *Energy Conversion and Management*, 115485. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115485>

Hemavathi, S. y. (2022). A study on trends and developments in electric vehicle charging technologies. *Journal of Energy Storage*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105013>

IEA. (2021). Trends and developments in electric vehicle markets. *Global EV Outlook 2021 Accelerating ambitions despite the pandemic*, 101. Obtenido de <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021/trends-and-developments-in-electric-vehicle-markets>

Induraj. (20 de Febrero de 2023). *Implementing Particle swarm optimization in python — part 1*. Obtenido de <https://induraj2020.medium.com/implementing-particle-swarm-optimization-in-python-c59278bc5846>

INEC. (Diciembre de 2011). *Encuesta de Estratificación del Nivel Socioeconómico*. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-estratificacion-del-nivel-socioeconomico/>

INEC. (2019). *Encuesta de edificaciones, 2018*. Quito: INEC. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2018/2018_ENED_BOLETIN.pdf

INER. (12 de Marzo de 2018). *Mapa Solar del Ecuador*. Obtenido de <https://www.iner.gob.ec/mapasolarecuador/>

Jairo Gutiérrez, Luz Flórez, Daniel Serrano. (2019). CONVERTIDOR DC–AC DE ALTA EFICIENCIA BASADO EN EL MODULADOR EG8010 PARA IMPLEMENTAR EN SISTEMAS ENERGÉTICOS ALTERNATIVOS. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia*, 6. Obtenido de <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/129/1292407008/index.html>

João P. Trovão. (2020). Future Vehicles May Arrive Soon. *AUTOMOTIVE ELECTRONICS*, 116-120.

LaHora. (12 de Octubre de 2021). La inversión en energía fotovoltaica se cuadruplicará en Ecuador hasta 2023. *Ecuador tiene una alta radiación solar y un gran potencial fotovoltaico.*, págs. 1-3.

LOSPEE. (2018). Proyecto de ley orgánica del servicio público de energía eléctrica. En L. o. eléctrica, *Ley de Electricidad* (págs. 1 - 35). Quito: Asamblea Nacional.

María Matute, Gabriela Jarrín. (2016). Familia en cifras. *Orientar - UTPL - ILFAM*, 38.

MathWorks. (2023). *MathWorks*. Obtenido de Electrificación: <https://la.mathworks.com/solutions/electrification/mppt-algorithm.html>

MERRNR. (2018). Estudio de la demanda eléctrica. En MERRNR, *Plan maestro de electricidad* (pág. 65). Quito: Ministerio de Energía y Recursos no Renovables .

MIDUVI. (2019). *Manual para la regulación de Procesos Constructivos*. Quito-Ecuador: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/06/Manual-para-la-Regulacion-de-Procesos-Constructivos.pdf>

Ministerio del Trabajo. (2008). *REGLAMENTO DE SEGURIDAD Y SALUD PARA LA CONSTRUCCION Y OBRAS PUBLICAS*. Quito: Ministerio del Trabajo. Obtenido de <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/12/Reglamento-de-Seguridad-y-Salud-para-la-Construcci%C3%B3n-y-Obras-P%C3%ABlicas.pdf>

ONU. (29 de julio de 2021). *Movilidad eléctrica avanza en América Latina y el Caribe en el contexto de la pandemia – nuevo informe del PNUMA*. Obtenido de <https://www.unep.org/node/29789>

PNUMA, P. d. (2019). MOVILIDAD ELÉCTRICA: AVANCES EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE Y OPORTUNIDADES PARA LA COLABORACIÓN REGIONAL 2019. *ONU - AECID*, 1 - 94.

Rahmat Khezri, A. M. (2021). Optimal Planning of Remote Area Electricity Supply Systems: Comprehensive Review, Recent Developments and Future Scopes. *MDPI*, 18. doi:<https://doi.org/10.3390/en14185900>

Rao, S. S. (2009). *Engineering Optimization Theory and Practice*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Sergio Fernández Munguía. (17 de Junio de 2022). *Xataka*. Obtenido de <https://www.xataka.com/vehiculos/realmente-barato-mantenimiento-coche-electrico-hacemos-numeros-1>

SOLARGIS. (01 de Enero de 2019). *Mapas de recursos solares de Ecuador*. Obtenido de Photovoltaic Electricity Potential: <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/ecuador>

Solergy Ecuador. (29 de diciembre de 2020). *Introducción Energía Solar en Ecuador - Solergy Ecuador*. Obtenido de <https://www.linkedin.com/pulse/introducci%C3%B3n-energ%C3%ADa-solar-en-ecuador-solergy-josue-davila/?originalSubdomain=es>

Stevens, P. (10 de Noviembre de 2021). *CNBC*. Obtenido de will be a record year for wind and solar, new report finds: <https://www.cnbc.com/2021/11/10/2022-will-be-a-record-year-for-wind-and-solar-new-report-finds.html>

Tamayo, N. (19 de septiembre de 2022). *CARBURANDO*. Obtenido de <https://www.carburando.ec/actualidad/suv-populares-ecuador-2022.html>

Tan, Y., Wen, M., Liao, J., Wang, C., Liu, Y., y Li, W. (2020). A combinatorial optimization method of time-period and electricity price to promote new energy consumption. *iee 4th conference on energy internet and energy system integration*, 3570 - 3573. doi:10.1109/EI250167.2020.9346801

VARUS. (11 de abril de 2021). *Historial de ventas en Ecuador*. Obtenido de VARUS: <https://varusecuador.com/estadisticas-historial-de-ventas/>

VARUS. (20 de Marzo de 2023). *En Auge venta de autos eléctricos en Ecuador*. Obtenido de <https://varusecuador.com/auge-venta-de-autos-electricos-en-ecuador/>

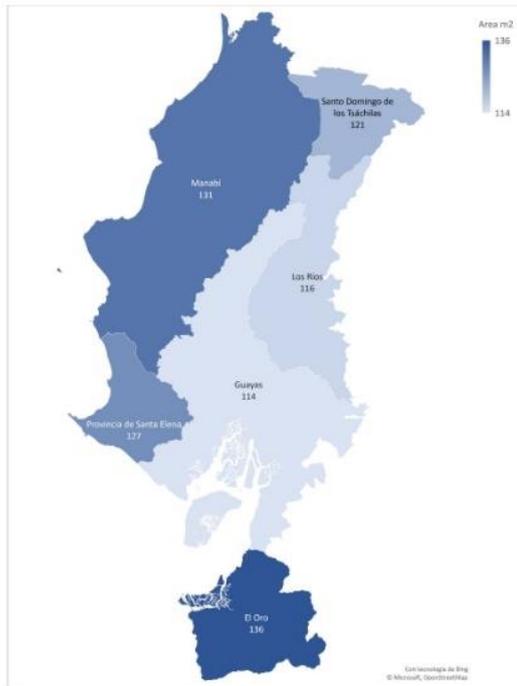
VARUS. (20 de Marzo de 2023). *Vehículos Eléctricos Homologados*. Obtenido de <https://varusecuador.com/vehiculos-electricos-homologados/>

Zhang, W., y Wang, J. (2020). Research on v2g control of smart microgrid. *international conference on computer engineering and intelligent control (icceic)*, 216 - 219. doi:10.1109/ICCEIC51584.2020.00050

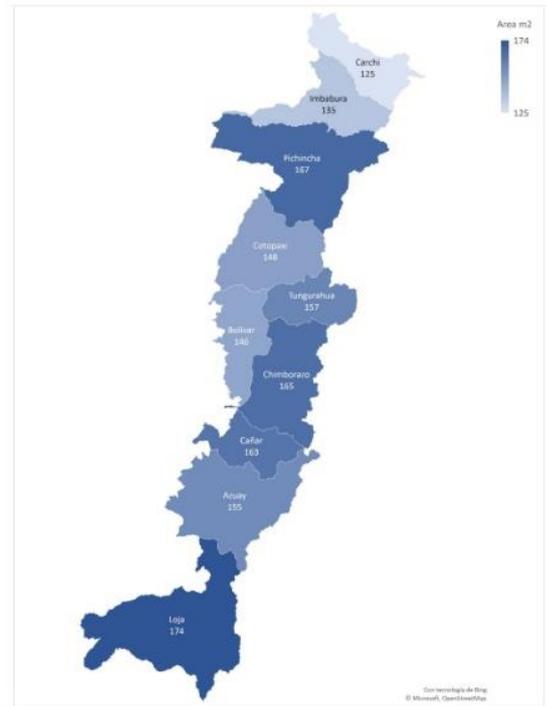
ANEXOS

ANEXO A: ÁREAS DE EDIFICACIÓN POR PROVINCIA

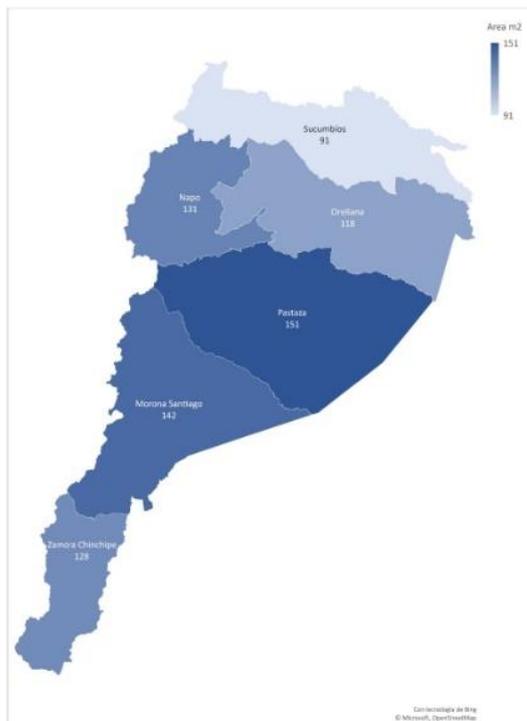
Región Costa



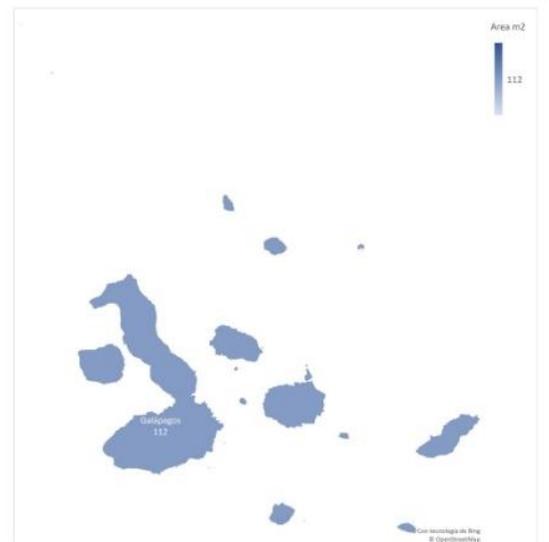
Región Sierra



Región Oriente



Región Insular



ANEXO B: CÓDIGO MATLAB PAR TOTAL – GUAYAS

```
clc
YEAR=[2017
2018
2019
2020
2021
]
ENERO=[72.49
86.08
73.2
80.38
77.29
]
FEBRERO=[79.61
72.47
74.11
77.34
77.77
]
MARZO=[82.33
77.21
76.0
77.82
83.31
]
ABRIL=[79.1
92.34
79.2
84.96
80.34
]
MAYO=[72.9
67.15
70.86
74.76
68.48
]
JUNIO=[62.84
66.34
64.24
66.93
64.72
]
JULIO=[67.4
63.7
67.6
61.06
67.25
]
AGOSTO=[72.42
75.98
74.78
82.4
68.86
]
SEPTIEMBRE=[71.84
82.42
88.33
82.38
80.54
]
OCTUBRE=[77.44
77.49
73.49
83.71
81.95
]
NOVIEMBRE=[79.2
74.83
72.34
85.05
77.95
]
DICIEMBRE=[73.91
```

```

75.22
80.49
73.45
70.95
]
title('PAR Total (W/m^2) - GUAYAS')
xlabel('Años 2017 - 2021')
ylabel('W/m^2')
ylim([50 100])

hold on

stem(YEAR,ENERO)
stem(YEAR,FEBRERO)
stem(YEAR,MARZO)
stem(YEAR,ABRIL)
stem(YEAR,MAYO)
stem(YEAR,JUNIO)
stem(YEAR,JULIO)
stem(YEAR,AGOSTO)
stem(YEAR,SEPTIEMBRE)
stem(YEAR,OCTUBRE)
stem(YEAR,NOVIEMBRE)
stem(YEAR,DICIEMBRE)

legend({'ENERO','FEBRERO','MARZO','ABRIL','MAYO','JUNIO','JULIO','AGOSTO','SEPTIEMBRE','OCTUBRE','NOVIEMBRE','DICIEMBRE'},'Location','southwest')

hold off

```

ANEXO C: CÓDIGO MATLAB PAR TOTAL – GUAYAS

```

clc
YEAR=[2017
2018
2019
2020
2021
]
ENERO=[74.8
74.66
73.48
76.91
70.85
]
FEBRERO=[78.85
73.07
69.96
79.55
75.34
]
MARZO=[73.87
71.48
74.53
71.35
75.59
]
ABRIL=[76.64
77.41
76.38
76.7
74.25
]
MAYO=[74.15
71.58
72.06
72.23
72.36
]
JUNIO=[72.62
69.52
71.78
69.86
69.25
]

```

```

JULIO=[74.61
72.48
73.39
71.34
73.43
]
AGOSTO=[77.05
80.03
78.68
73.52
74.36
]
SEPTIEMBRE=[76.67
79.97
85.62
76.34
78.73
]
OCTUBRE=[72.6
86.14
75.98
77.48
77.91
]
NOVIEMBRE=[75.5
68.17
69.89
84.7
73.64
]
DICIEMBRE=[67.82
72.44
67.52
66.41
62.71
]
title('PAR Total (W/m^2) - CARCHI')
xlabel('Años 2017 - 2021')
ylabel('W/m^2')
ylim([50 100])

hold on

stem(YEAR,ENERO)
stem(YEAR,FEBRERO)
stem(YEAR,MARZO)
stem(YEAR,ABRIL)
stem(YEAR,MAYO)
stem(YEAR,JUNIO)
stem(YEAR,JULIO)
stem(YEAR,AGOSTO)
stem(YEAR,SEPTIEMBRE)
stem(YEAR,OCTUBRE)
stem(YEAR,NOVIEMBRE)
stem(YEAR,DICIEMBRE)

legend({'ENERO','FEBRERO','MARZO','ABRIL','MAYO','JUNIO','JULIO','AGOSTO','SEPTIEMBRE','OCTUBRE','NOVIEMBRE','DICIEMBRE'},'Location','southwest')

hold off

```

ANEXO D: CÓDIGO MATLAB PAR TOTAL – SUCUMBÍOS

```

clc
YEAR=[2017
2018
2019
2020
2021
]
ENERO=[85.3
80.78
75.17
95.52
90.55
]

```

```

FEBRERO=[87.17
97.26
74.98
85.27
81.03
]
MARZO=[81.24
79.52
68.39
79.18
80.38
]
ABRIL=[80.63
80.42
81.2
79.01
75.68
]
MAYO=[80.88
73.26
78.96
72.64
74.98
]
JUNIO=[79.8
68.77
69.29
77.98
76.6
]
JULIO=[77.19
72.33
77.12
78.52
71.71
]
AGOSTO=[93.88
87.33
77.52
79.8
82.39
]
SEPTIEMBRE=[89.34
97.06
100.21
96.35
93.46
]
OCTUBRE=[87.35
88.21
93.16
99.23
96.8
]
NOVIEMBRE=[83.89
86.7
83.86
88.59
90.68
]
DICIEMBRE=[97.85
82.4
78.27
85.63
89.23
]
title('PAR Total (W/m^2) - SUCUMBIOS')
xlabel('Años 2017 - 2021')
ylabel('W/m^2')
ylim([50 100])

hold on

stem(YEAR,ENERO)
stem(YEAR,FEBRERO)
stem(YEAR,MARZO)

```

```

stem(YEAR, ABRIL)
stem(YEAR, MAYO)
stem(YEAR, JUNIO)
stem(YEAR, JULIO)
stem(YEAR, AGOSTO)
stem(YEAR, SEPTIEMBRE)
stem(YEAR, OCTUBRE)
stem(YEAR, NOVIEMBRE)
stem(YEAR, DICIEMBRE)

legend({'ENERO', 'FEBRERO', 'MARZO', 'ABRIL', 'MAYO', 'JUNIO', 'JULIO', 'AGOSTO', 'SEPTIEMBRE', 'OCTUBRE', 'NOVIEMBRE', 'DICIEMBRE'}, 'Location', 'southwest')

hold off

```

ANEXO E: CÓDIGO MATLAB PAR TOTAL – PUERTO BAQUERIZO MORENO

```

clc
YEAR=[2017
2018
2019
2020
2021
]
ENERO=[118.27
123.49
114.82
113.23
122.35
]
FEBRERO=[136.13
124.53
129.95
129.34
118.32
]
MARZO=[133.79
138.47
137.74
137.41
132.97
]
ABRIL=[124.81
130.41
125.7
121.08
120.25
]
MAYO=[114.63
117.51
116.46
117.7
112.19
]
JUNIO=[108.7
93.55
108.31
97.6
104.09
]
JULIO=[93.97
99.27
102.48
96.78
96.57
]
AGOSTO=[103.48
100.72
103.9
99.47
98.3
]
SEPTIEMBRE=[103.77
100.12
107.34

```

```

96.09
108.2
]
OCTUBRE=[102.48
120.8
105.47
107.14
103.19
]
NOVIEMBRE=[104.22
115.55
106.99
106.4
102.77
]
DICIEMBRE=[111.64
106.05
110.44
105.37
105.46
]
title('PAR Total (W/m^2) - PTO. BAQUERIZO MORENO')
xlabel('Años 2017 - 2021')
ylabel('W/m^2')
ylim([50 140])

hold on

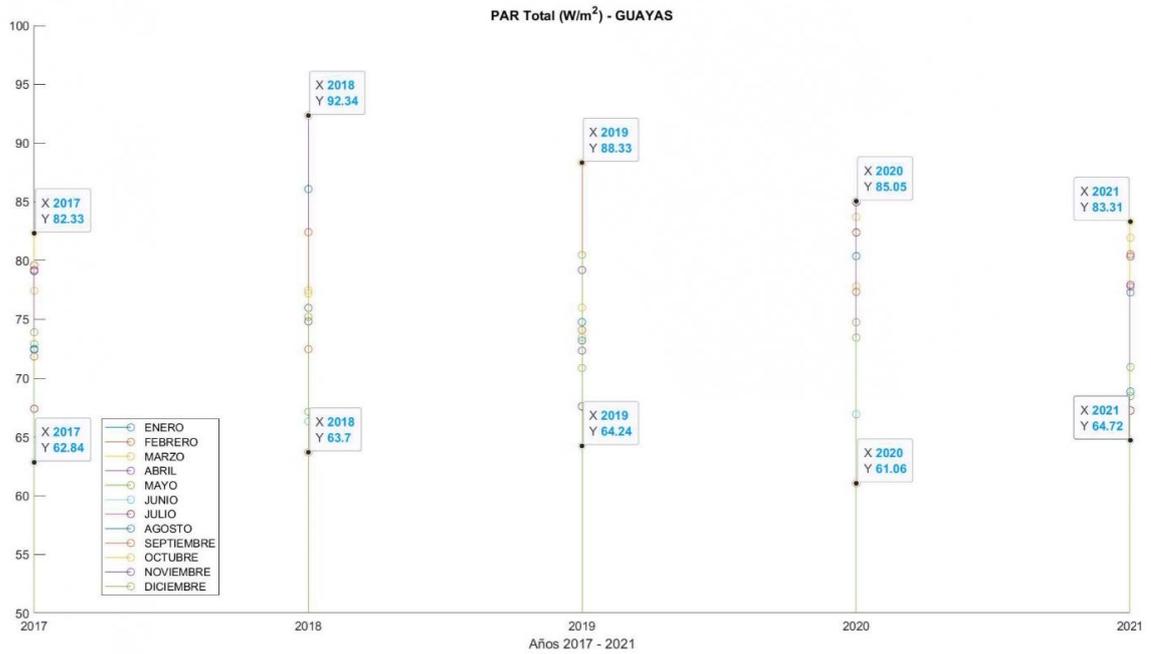
stem(YEAR,ENERO)
stem(YEAR,FEBRERO)
stem(YEAR,MARZO)
stem(YEAR,ABRIL)
stem(YEAR,MAYO)
stem(YEAR,JUNIO)
stem(YEAR,JULIO)
stem(YEAR,AGOSTO)
stem(YEAR,SEPTIEMBRE)
stem(YEAR,OCTUBRE)
stem(YEAR,NOVIEMBRE)
stem(YEAR,DICIEMBRE)

legend({'ENERO','FEBRERO','MARZO','ABRIL','MAYO','JUNIO','JULIO','AGOSTO','SEPTIEMBRE','OCTUBRE','NOVIEMBRE','DICIEMBRE'},'Location','southwest')

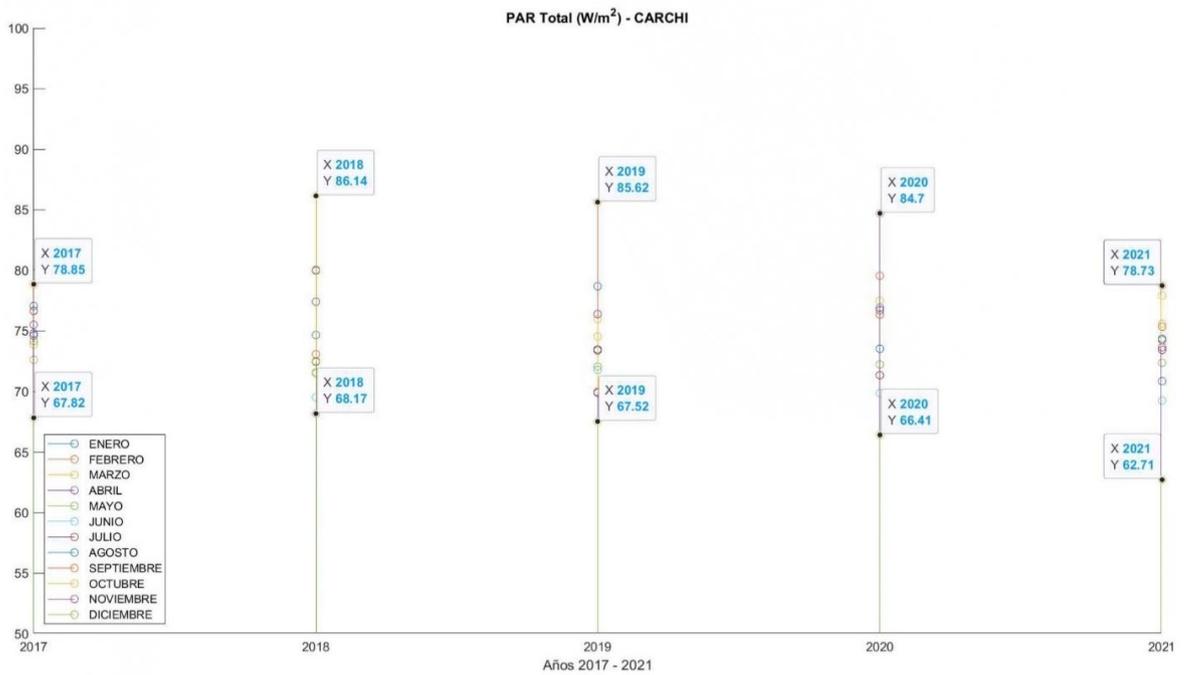
hold off

```

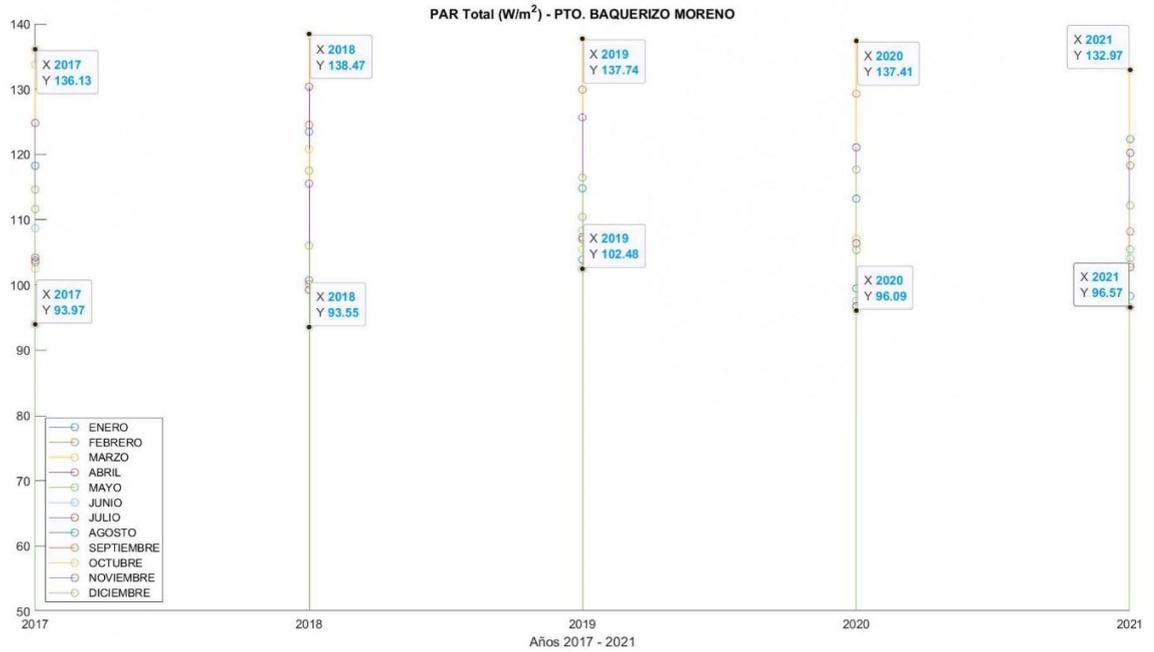
ANEXO F: CANTIDAD TOTAL DE RADIACIÓN EN W/M2 POR MES - BASE SOLAR DE LA NASA, PROVINCIA DEL GUAYAS



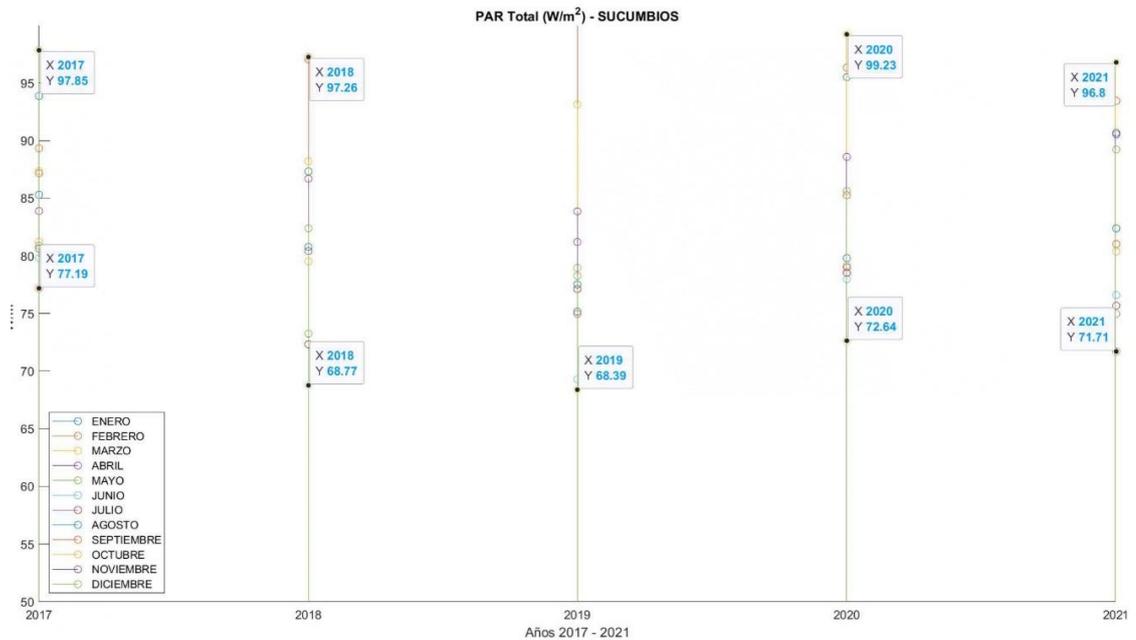
ANEXO G: CANTIDAD TOTAL DE RADIACIÓN EN W/M2 POR MES - BASE SOLAR DE LA NASA, PROVINCIA DEL CARCHI



ANEXO H: CANTIDAD TOTAL DE RADIACIÓN EN W/M2 POR MES - BASE SOLAR DE LA NASA, PRTO. BAQUERIZO MORENO



ANEXO I: CANTIDAD TOTAL DE RADIACIÓN EN W/M2 POR MES - BASE SOLAR DE LA NASA, PROVINCIA DE SUCUMBÍOS



Tensite EM550-PH

- Célula solar partida MBB
- Tecnología PERC
- Mayor potencia de salida
- Diseño ligero
- Rendimiento con poca luz
- Mayor eficiencia de conversión del módulo

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Tolerancia positiva de vientos
- 12 Años de garantía del producto
- 25 Años de garantía de potencia lineal

Características del módulo a temperatura constante de 25°C con irradiación variable.

0,55% Degradación anual durante 25 años

Tensite
info@tensite-energy.com
www.tensite-energy.com

Tensite EM550-PH

Características del módulo en temperatura constante de 25°C con irradiación variable.

Requisito	Valor
Tipo de módulo	550M
Máxima potencia (Wp)	550W
Tensión máxima circuito abierto (Voc)	49,80V
Corriente cortocircuito (Isc)	13,98A
Tensión de potencia máxima (Vmp)	41,95V
Corriente de potencia máxima (Imp)	13,12A
Eficiencia del módulo	21,3%
Fusible máximo por Serie	25A
Número de Diodos	3
Tolerancia positiva de vientos	0-20%
Condiciones de prueba estándar	1000W/m ² , 25°C, AM1.5
Tensión máxima del sistema	1500VDC
Coefficiente de temperatura Isc	+0,049%/°C
Coefficiente de temperatura Voc	-0,208%/°C
Coefficiente de temperatura Pmp	-0,350%/°C
Temperatura de operación nominal de la célula	48±2°C
Temperatura de funcionamiento	-40°C - 85°C
Capacidad de carga para la tapa del módulo (vidrio templado)	3400Pa (IEC 61215) (Nivel)
Capacidad de carga de la parte delantera y trasera del módulo	2400Pa (IEC 61215) (Nivel)
Potencia máxima (Pmax)	435W
Voltaje de circuito abierto (Voc)	46,8V
Corriente de cortocircuito (Isc)	13,11A
Tensión de alimentación máxima (VIm)	99,60V
Corriente de potencia máxima (Imp)	20,52A
Peso	17,3Kg
Cubierta frontal	Vidrio templado bajo en Hierro / 3,2 mm
Lámina posterior (color)	PTI en Blanco
Dimensiones del módulo (L x W x H)	2270x1134x35mm
Célula (material/dimensión/dimensiones)	144x65x0,18 / 60x60mm mono cristalino
Marco (material / color)	Marco de aleación de aluminio anodizado / plata
Caja de conexiones (grado de protección)	IP65
Cables y conexiones	4 mm ² , 1400 mm de longitud, la longitud se puede personalizar
Clase de aplicación	Clase A
Clase de protección climática	Clase II
Clase de seguridad contra incendios	Clase C

V-ES-1

Tensite
info@tensite-energy.com
www.tensite-energy.com

ANEXO L: BASE ALGORITMO PSO

```

36 nuevas_velocidades = []
37 for i in range(len(posiciones)):
38     r1 = random.uniform(0, 1)
39     r2 = random.uniform(0, 1)
40     nueva_velocidad = w * velocidades[i] + c1 * r1 * (mejor_posicion - posiciones[i]) + c2 * r2 * (mejor_posicion - posiciones[i])
41     nuevas_velocidades.append(nueva_velocidad)
42     return nuevas_velocidades
43
44 # Define una función para actualizar el vector de posiciones
45 def actualizar_posiciones(posiciones, velocidades, r_min, r_max):
46     nuevas_posiciones = []
47     for i in range(len(posiciones)):
48         nueva_posicion = posiciones[i] + velocidades[i]
49         nueva_posicion = max(r_min, min(r_max, nueva_posicion))
50         nuevas_posiciones.append(nueva_posicion)
51     return nuevas_posiciones
52
53 # Definir los parámetros de inicio
54 r_min = -2
55 r_max = 2
56 n = 4
57 c1 = 0.5
58 c2 = 0.5
59 w = 0.5
60 max_iteraciones = 100
61
62 # Inicializar el vector de posiciones y el vector de velocidades
63 posiciones = inicializar_posiciones(n, r_min, r_max)
64 valores_funcion = calcular_valores_funcion(posiciones)
65 mejor_posicion, mejor_valor = actualizar_mejor_posicion(posiciones, valores_funcion, posiciones[0], valores_funcion[0])
66 velocidades = inicializar_velocidades(n)
67
68 # Ejecutar el algoritmo PSO
69 for i in range(max_iteraciones):
70     mejor_posicion, mejor_valor = actualizar_mejor_posicion(posiciones, valores_funcion, mejor_posicion, mejor_valor)
71     velocidades = actualizar_velocidades(posiciones, velocidades, mejor_posicion, c1, c2, w)
72     posiciones = actualizar_posiciones(posiciones, velocidades, r_min, r_max)
73     valores_funcion = calcular_valores_funcion(posiciones)
74
75 # Imprimir el resultado
76 print("Mejor posición:", mejor_posicion)
77 print("Mejor valor:", mejor_valor)
    
```

Console Output:

```

Python 3.8.10 (tags/v3.8.10:3d8993a, May 3 2021, 11:48:03) [MSC v.1928 64 bit (AMD64)]
Type "copyright", "credits" or "license()" for more
information.

IPython 8.12.0 -- An enhanced Interactive Python.

In [1]: runFile('C:/Users/Usuario/Desktop/TESTIS/SIMULACION/
SIMULACION/ EJERCICIO_PSO_2.py', wdir='C:/Users/
Usuario/Desktop/TESTIS/SIMULACION')
Mejor posición: 0.9999999978413803
Mejor valor: 12.0

In [2]:
    
```

ANEXO M: ALGORITMO PSO DE VALIDACIÓN CON EL EJEMPLO DE LA SECCIÓN 13-4 DEL LIBRO DE ENGINEERING OPTIMIZATION DE SINGIRESU S. RAO

Spyder

```

1  # -*- coding: utf-8 -*-
2  ...
3  Created on Fri Jul 14 23:16:46 2023
4
5  @author: Brau Balck
6  ...
7
8  import random
9
10 # PARAMETROS DE INICIO
11 def f(x):
12     return -x**2+2*x+11
13
14 r_min = -2
15 r_max = 2
16 N = 4
17
18 x1 = -1.5
19 x2 = 0
20 x3 = 0.5
21 x4 = 1.25
22
23 # DEFINIR VALORES A LAS FUNCIONES
24 print(" ")
25 print("Valores de las funciones: ")
26
27 f_x1 = f(x1)
28 print(f_x1)
29
30 f_x2 = f(x2)
31 print(f_x2)
32
33 f_x3 = f(x3)
34 print(f_x3)
35
36 f_x4 = f(x4)
37 print(f_x4)
38
39 # INICIALIZANDO VELOCIDADES
40
41 v1, v2, v3, v4 = 0, 0, 0, 0
42
43 # DEFINIR EL P_BEST

```

Name	Type	Size	Value
c2	float	1	0.5
C_E	int	1	10
C_EMS	int	1	1000
C_instalacion	int	1	750
C_panel	int	1	260
C_SE	int	1	30
f_x1	float	1	5.75
f_x2	int	1	11

```

SIMULACIÓN/EJERCICIO_PSO.py', wdir='C:/Users/
Usuario/Desktop/TESIS/SIMULACIÓN')

Valores de las funciones:
5.75
11
11.75
11.9375

Valores de las velocidades:
2.62405
1.19275
0.71565
0.0

Valores nuevos:
1.12405
1.19275
1.2156500000000001
1.25

Valores nuevos en funcion:
11.9846115975

```

```

44 # DEFINIR EL P_BEST
45 x_best = [x1, x2, x3, x4]
46
47 # ORDENAR VECTOR - MAXIMIZAR (MAYOR A MENOR)
48 vector_ordenado = sorted(x_best, reverse=True)
49
50 # DEFINIR r1 y r2
51
52 r1 = 0.3294
53 r2 = 0.9542
54
55 # INGRESAR VALORES EN LA FORMULA
56 def v(i):
57     return (i-1)+r1*(x_best[i]-x_best[i])+r2*(vector_ordenado[0]-x_best[i])
58
59 #ENCONTRAR LAS VELOCIDADES
60 print(" ")
61 print("Valores de las velocidades: ")
62 vector_nuevo = []
63 vector_nuevos = []
64 vector_ordenados_2 = []
65 vector_ordenados_2 = []
66
67 for i in range(0, 4):
68     v_j = v(i)
69     print(v_j)
70     vector_nuevo.append(v_j)
71
72 #ENCONTRAR LOS NUEVOS VALORES
73 print(" ")
74 print("Valores nuevos: ")
75
76 for i in range(0, 4):
77     x_j = x_best[i]+vector_nuevo[i]
78     print(x_j)
79     vector_nuevos.append(x_j)
80
81 #FUNCIÓN OBJETIVO CON NUEVOS VALORES
82 print(" ")
83 print("Valores nuevos en funcion: ")
84
85 for i in range(0, 4):

```

Name	Type	Size	Value
c2	float	1	0.5
C_E	int	1	10
C_EMS	int	1	1000
C_instalacion	int	1	750
C_panel	int	1	260
C_SE	int	1	30
f_x1	float	1	5.75
f_x2	int	1	11

```

SIMULACIÓN/EJERCICIO_PSO.py', wdir='C:/Users/
Usuario/Desktop/TESIS/SIMULACIÓN')

Valores de las funciones:
5.75
11
11.75
11.9375

Valores de las velocidades:
2.62405
1.19275
0.71565
0.0

Valores nuevos:
1.12405
1.19275
1.2156500000000001
1.25

Valores nuevos en funcion:
11.9846115975

```

```

78     print(x_j)
79     vector_nuevos.append(x_j)
80
81 #FUNCIÓN OBJETIVO CON NUEVOS VALORES
82 print(" ")
83 print("Valores nuevos en funcion: ")
84
85 for i in range(0, 4):
86     print(f(vector_nuevos[i]))
87
88 #NUEVO VALOR DE G_BEST
89 print(" ")
90 print("Valor g_best nuevo: ")
91
92 vector_ordenados = sorted(vector_nuevos, reverse=True)
93 print(vector_ordenados[3])
94
95
96 #BUCLE PARA Vj2
97 r1 = 0.1482
98 r2 = 0.4867
99
100 def v2(i):
101     return vector_nuevo[i] +r1*(vector_nuevos[i]-vector_nuevos[i])+r2*(vector_ordenados[3]-vector_nuevos[i])
102
103 print(" ")
104 print("Valores de las velocidades (2): ")
105 for i in range(0, 4):
106     print(v2(i))
107     vector_ordenado_2.append(v2(i))
108
109 print(" ")
110 print("Valores nuevos (2): ")
111 for i in range(0, 4):
112     x_j = vector_nuevos[i]+vector_ordenado_2[i]
113     print(x_j)
114     vector_ordenados_2.append(x_j)
115
116 print(" ")
117 print("Valores nuevos (2) en función: ")
118 for i in range(0, 4):
119     print(f(vector_ordenados_2[i]))

```

Name	Type	Size	Value
c2	float	1	0.5
C_E	int	1	10
C_EMS	int	1	1000
C_instalacion	int	1	750
C_panel	int	1	260
C_SE	int	1	30
f_x1	float	1	5.75
f_x2	int	1	11

```

SIMULACIÓN/EJERCICIO_PSO.py', wdir='C:/Users/
Usuario/Desktop/TESIS/SIMULACIÓN')

Valores de las funciones:
5.75
11
11.75
11.9375

Valores de las velocidades:
2.62405
1.19275
0.71565
0.0

Valores nuevos:
1.12405
1.19275
1.2156500000000001
1.25

Valores nuevos en funcion:
11.9846115975

```

ANEXO N: ALGORITMO PARA DETERMINAR P Y COMPROBAR SI EXISTE UNA DIFERENCIA SIGNIFICATIVA

The image shows the Spyder Python IDE interface. The main editor window displays a Python script for a chi-square test. The script defines variables for observed and expected values, calculates the chi-square statistic, and compares it to a critical value based on a significance level (alpha = 0.05). The console output shows the execution of the script, which prints the p-value and a message indicating that there is a significant difference at the 2% level.

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2 """
3 Created on Sun Jul 30 21:30:03 2023
4
5 @author: Usuario
6 """
7
8 import scipy.stats as stats
9
10 # Estadístico de chi-cuadrado
11 observed = 33.78
12 expected = 10049.55
13 df = 1
14 chi2 = ((observed - expected)**2 / expected)
15
16 # Valor p
17 p_value = 1 - stats.chi2.cdf(chi2, df)
18
19 # Nivel de significancia
20 alpha = 0.05
21
22 # Interpretación de resultados
23 if p_value < alpha:
24     print(p_value, ". Hay una diferencia significativa del 2% a favor del Skywell ET5.")
25 else:
26     print("No se considera una diferencia significativa.")
```

Name	Type	Size	Value
alpha	float	1	0.05
chi2	float	1	9982.08361355326
df	int	1	1

```
Python 3.8.10 (tags/v3.8.10:3d8993a, May 3 2021, 11:48:03)
[MSC v.1928 64 bit (AMD64)]
Type "copyright", "credits" or "license()" for more information.

IPython 8.12.0 -- An enhanced Interactive Python.

In [1]: runfile('C:/Users/Usuario/Desktop/TESIS/SIMULACIÓN/
untitled0.py', wdir='C:/Users/Usuario/Desktop/TESIS/
SIMULACIÓN')
Hay una diferencia significativa del 2% a favor del Skywell
ET5.

In [2]: runfile('C:/Users/Usuario/Desktop/TESIS/SIMULACIÓN/
Chi_cuadrado.py', wdir='C:/Users/Usuario/Desktop/TESIS/
SIMULACIÓN')
0.0 : Hay una diferencia significativa del 2% a favor del
Skywell ET5.

In [3]:
```



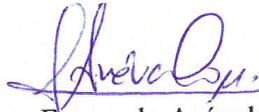
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 06/11/2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR	
Nombres – Apellidos:	Braulio Paul Balseca Dahua
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL	
Facultad:	Informática y Electrónica
Carrera:	Electrónica y Automatización
Título a optar:	Ingeniero en Electrónica y Automatización
f. Analista de Biblioteca responsable:	 Ing. Fernanda Arévalo M.

