



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD

**“IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CARGA PARA
VEHÍCULOS ELÉCTRICOS CONSIDERANDO
GENERACIÓN DISTRIBUIDA”**

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRICIDAD

AUTOR:

Alex Geovanny Arequipa Tumbaco

TUTOR:

Ing. Secundino Marrero Ramírez M.Sc.

LATACUNGA, AGOSTO DE 2025

Latacunga, Agosto de 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Alex Geovanny Arequipa Tumbaco declaro ser autor (a) del proyecto de titulación **“IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS CONSIDERANDO GENERACIÓN DISTRIBUIDA”**, siendo el Ing. Secundino Marrero Ramírez M.Sc. tutor del presente trabajo de titulación; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo de titulación, son de mi exclusiva responsabilidad.



Alex Geovanny Arequipa Tumbaco

CC: 0503508913

Latacunga, Agosto de 2025

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: **“IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS CONSIDERANDO GENERACIÓN DISTRIBUIDA”**, propuesto por el o la estudiante Alex Geovanny Arequipa Tumbaco de la Carrera de Ingeniería en Electricidad, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.



Ing Secundino Marrero Ramirez M.Sc.
C.C 1757107907
TUTOR

Latacunga, Agosto de 2025

AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título **“IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS CONSIDERANDO GENERACIÓN DISTRIBUIDA”**, propuesto por el estudiante **ALEX GEOVANNY AREQUIPA TUMBACO** de la Carrera de Electricidad, me permito indicar que el estudiante ha concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad proyecto de investigación en virtud de lo cual el o la postulante puede presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

Atentamente,



.....
Lector 1 (Presidente)

Ing. Ortiz Gonzales Yadyra Monserrath

C.C. 1722464110



.....
Lector 2

Ing. Jiménez Jiménez Diego Leonardo

C.C. 0503493702



.....
Lector 3

Ing. Rueda Flores Walter Paúl

C.C. 0503689895

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi por brindarme la oportunidad de formarme como profesional, por los conocimientos impartidos y por las herramientas que han contribuido a mi crecimiento académico e integral.

A mis docentes expresó mi profunda gratitud por su invaluable guía, paciencia y dedicación durante mi proceso de formación. Sus enseñanzas han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo, a mi Tutor Ing. Secundino Marrero Ramírez M.Sc por su tiempo y dedicación en este proyecto.

A mis padres Azucena y Luis, hermanos, Tíos y a mi familia Tumbaco, por su apoyo incondicional, motivación y comprensión durante todos estos años de estudio. Sin su aliento, este logro no habría sido posible.

A mis amigos y compañeros de carrera, especialmente al club LNÑÑ, por su colaboración, momentos compartidos y por ser parte fundamental de esta etapa de mi vida.

Finalmente, a todas aquellas personas que, de una u otra forma, aportaron con sus consejos, críticas constructivas o ayuda para la realización de este proyecto.

A todos, gracias por ser parte de este gran logro.

Alex G. Arequipa T.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis queridos padres,

A mi madre Azucena, por ser mi refugio, por sus consejos y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Cada logro mío lleva el nombre de tu amor incansable.

A mi padre Luis, por tu ejemplo de fortaleza, por enseñarme que el esfuerzo tiene recompensa y por apoyarme en cada paso de este camino.

Este trabajo es el resultado de sus sacrificios, su fe inquebrantable y ese amor que convierte los sueños en realidad.

Alex G. Arequipa T.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS CONSIDERANDO GENERACIÓN DISTRIBUIDA”

Autor: Arequipa Tumbaco Alex Geovanny

RESUMEN

En la actualidad, ha crecido la incorporación de la movilidad eléctrica con la finalidad de reducir la contaminación y el ruido en zonas urbanas, se requiere el estudio de sistemas de carga para vehículos eléctricos, por lo tanto, el objetivo de la investigación fue determinar la factibilidad de la movilidad eléctrica del transporte público en la ciudad de Latacunga con el uso de la generación fotovoltaica inyectada a la red en la cooperativa de transporte urbano Sultana de Cotopaxi. La metodología implementada tuvo tres etapas, estados de tecnología, datos de la red y evaluación técnica económica de la red pública; para la investigación se recolectaron datos del transporte público y datos de la red de distribución en los puntos de parada, en los cálculos se tomó en cuenta la potencia requerida para determinar los componentes del sistema fotovoltaico y del sistema de carga de autobuses eléctricos. Finalmente, se diseñó el sistema fotovoltaico con 408 paneles solares que generan 293.76 kWp, entregando una potencia de 0.199 MW a las 12 pm. La empresa requiere una potencia de consumo de 1.186 MWh/día y la producción del sistema se estima en 1.33 MWh/día, lo que cubre la demanda de las cargas. A su vez la generación excedente será inyectada a la red cuando el sistema no esté en funcionamiento. La estación de carga se abastecerá de la red de distribución en las noches por el menor precio de la energía eléctrica, aprovechando de esta manera lo que establece las Normas de Regulación ARCONEL, Resolución Nro. Arconel-003/2024, de interconexión de clase 1 para generación menor a 1 MW que permite la inyección a la red, el VAN al 5% de interés con un valor que resultó negativo. Sin embargo la relevancia de este proyecto es de índole ambiental y social con una rentabilidad de una TIR de 9.9%, la cual cumple con la tasa mínima de retorno.

Palabras claves: Sistemas, Fotovoltaico, Generación, Transporte, Inyección.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: “IMPLEMENTATION OF A CHARGING SYSTEM FOR ELECTRIC VEHICLES CONSIDERING DISTRIBUTED GENERATION”

Author: Arequipa Tumbaco Alex Geovanny

ABSTRACT

Currently, the incorporation of electric mobility has grown with the aim of reducing pollution and noise in urban areas and requires the study of charging systems for electric vehicles. Therefore, the objective of the research was to determine the feasibility of electric mobility for public transport in the city of Latacunga using photovoltaic generation fed into the grid at the Sultana de Cotopaxi urban transport cooperative. The methodology implemented had three stages: technology status, grid data, and techno-economic evaluation of the public grid. For the research, data on public transport and the distribution grid at bus stops was collected. The calculations took into account the power required to determine the components of the photovoltaic system and the electric bus charging system. Finally, the photovoltaic system was designed with 408 solar panels generating 293.76 kWp, delivering a power of 0.199 MW at 12 p.m. The company requires a consumption power of 1.186 MWh/day, and the system's production is estimated at 1.33 MWh/day, which doubles the demand for charging. In turn, the surplus generation will be fed into the grid when the system is not in operation. The charging station will be supplied by the distribution network at night when electricity prices are lower, thus taking advantage of the provisions of ARCONEL Regulatory Standards, Resolution No. Arconel-003/2024, Class 1 interconnection for generation of less than 1 MW that allows injection into the grid, the NPV at 5% interest with a value that turned out to be negative. However, the relevance of this project is environmental and social in nature with an IRR profitability of 9.9%, which meets the minimum rate of return.

Keywords: Systems, Photovoltaic, Generation, Transportation, Injection.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE INGENIERIA Y APLICADAS
INGENIERIA EN ELECTRICIDAD


Nombre del estudiante: Alex Geovanny Arequipa Tumbaco

AVAL DE TRADUCCIÓN- Profesional Externo

Yo, Toaquiza Lema Bryan Stalin con cédula de identidad número: 0504085150 Licenciada/o; Magíster en: Licenciado en pedagogía del idioma Inglés con número de registro de la SENESCYT: 10005-2023-2638896; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma Inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: **“IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CARGA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS CONSIDERANDO GENERACIÓN DISTRIBUIDA”** de: **Alex Geovanny Arequipa Tumbaco** de la carrera de **Ingeniería en Electricidad** perteneciente a la Facultad de: Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

En virtud de lo expuesto y para constancia de lo mismo se registra la firma respectiva.

Latacunga, agosto, 2024



Toaquiza Lema Bryan Stalin
Nombre completo del docente, Mg.
CI: 0504085150

ÍNDICE GENERAL

1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN	1
2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	3
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	3
2.3.1 Objeto de investigación	3
2.3.2 Campo de acción	3
2.4 BENEFICIARIOS	3
2.4.1 Beneficiarios directos	3
2.4.2 Beneficiarios indirectos	3
2.5 JUSTIFICACIÓN.....	4
2.6 OBJETIVOS.....	4
2.6.1 Objetivo General.....	4
2.6.2 Objetivos Específicos	4
2.7 SISTEMA DE TAREAS	5
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	7
3.1 ANTECEDENTES	7
3.2 Transporte publico	8
3.2.1 Transporte público en la ciudad de Latacunga	8
3.2.1.1 Transporte urbano.....	8
3.2.2 Electromovilidad	10
3.3 Vehículos eléctricos.....	11
3.3.1 Motor Eléctrico.....	11
3.3.2 Las baterías	11
3.3.3 Tipos de baterías.....	12
3.3.4 Centros de carga	13
3.3.5 Controlador Electrónico de Potencia (Inversor + Convertidor CC/CC)	14
3.3.6 Frenado Regenerativo.....	14
3.3.7 Chasis y Carrocería.....	14

3.3.8	Tipos de vehículos eléctricos.....	15
3.3.8.1	Eléctricos en motor y su batería	15
3.3.8.2	Vehículos eléctricos híbridos enchufables	15
3.3.8.3	Vehículos Híbridos	15
3.4	El Sol como fuente de energía.....	16
3.4.1	Radiación solar	16
3.4.1.1	Irradiación.....	16
3.4.1.2	Irradiancia.....	17
3.4.2	Hora Solar Pico (HSP).....	17
3.4.3	Orientación o Ángulo de acimut.....	17
3.4.4	Inclinación o ángulo de elevación	17
3.5	Energía Fotovoltaica.....	18
3.4.5	Principio de funcionamiento.....	18
3.4.6	Componentes clave de un sistema fotovoltaico.....	18
3.4.7	Tipos de radiación solar aprovechada	18
3.4.8	Parámetros críticos de diseño	19
3.4.9	Factores que afectan el rendimiento	19
3.4.10	Aplicaciones principales.....	19
3.5	Sistema fotovoltaico conectado a red (On-Grid).....	20
3.5.1	Paneles fotovoltaicos	20
3.5.2	Inversor.....	21
3.5.3	Contador Bidireccional (Doble sentido).....	21
3.5.4	Sistema de Monitorización	21
3.6	Normas de regulación ARCONEL RESOLUCIÓN NRO. ARCONEL-003/2024..	21
3.6.1	Requisitos por categoría	22
3.6.2	Análisis preliminares	22
3.6.3	Consideraciones para definir el esquema y voltaje de conexión.....	22
3.6.4	Control y protección	22
4.	METODOS Y PROCEDIMIENTOS.....	23
4.1	Modalidad de investigación.....	23
4.1.1	Tipo de investigación	23
4.2	Precedimientos de tareas	24

4.3	Estados de tecnología	25
4.3.1	Limites.....	25
4.3.2	Lugar.....	25
4.3.3	Demanda eléctrica	26
4.3.3.1	Cargador	28
4.4	Datos de la red	29
4.4.1	Simulación.....	29
4.4.2	Dimensionamiento fotovoltaico	31
4.4.2.1	Cálculo del Consumo Energético (kWh/día).....	31
4.4.2.2	Potencia del Generador Fotovoltaiico (kWp).....	31
4.4.2.3	Número de Paneles	31
4.4.2.4	Inversores	33
4.4.2.5	Conexión a la Red	33
4.4.2.6	Protecciones Contra sobretensiones	33
4.4.2.7	Calibre del conductor.....	34
4.4.2.8	Selección del transformador	35
4.4.2.8.1	Por fase	36
4.4.2.8.2	Por estructura.....	36
4.4.2.8.3	Por Método de enfriamiento.....	36
4.4.2.9	Calculo dimensionamiento	37
4.4.3	Inhesión a la red.....	37
4.5	Evaluación técnica económica de la red pública	39
5	Análisis de resultados.....	39
5.1	Tecnologías adecuadas	39
5.2	Estado de redes	41
5.3	Evaluación de cargadores	44
5.3.1	Simulación con Carga.....	44
5.3.2	Simulación sistema con fotovoltaico.....	45
5.3.3	Simulación a la red	50

5.4	Factibilidad de la red	51
5.4.1	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	51
6	Conclusiones y recomendaciones.....	56
6.1	conclusiones	56
6.2	Recomendaciones	57
7	REFERENCIAS.....	58
8	ANEXOS.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Los principales actores de la cadena de valor de las baterías [18].....	12
Figura 2. Sistema fotovoltaico conectado a red (On-Grid), a) consumo Interno, b) inyección a la red [29].....	20
Figura 3. Diagrama de procediendo Tares.....	24
Figura 4. Dimensiones de los paneles solares [34].....	32
Figura 5. Diagrama de circuito del inversor HUAWEI [36].	33
Figura 6. Tipos de transformadores	37
Figura 7.Circuito de Transporte línea LTSL03 [12].....	40
Figura 8. Ubicación del poste y Líneas de distribución cercanas.....	42
Figura 9. Trayectoria de la línea de transmisión hasta el poste seleccionado.	42
Figura 10.Simulación del sistema sin carga	44
Figura 11. Simbología del sistema	46
Figura 12. Propuesta del sistema Fotovoltaico	48
Figura 13. Diagrama del sistema fotovoltaico.....	49
Figura 14. Calculo solar	49
Figura 15. Alimentación a la red del sistema fotovoltaico.....	50
Figura 16. Simulación total del sistema en un día.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistema de tareas en relación a los objetivos.....	5
Tabla 2. Rutas que provee la Cooperativa [12].	9
Tabla 3 Distancia de Recorrido	10
Tabla 4 Sistema fotovoltaico principales componentes.	18
Tabla 5 Factores de rendimiento	19
Tabla 6. Categoría de centrales de Generación [5].....	22
Tabla 7. Características de autobuses	26
Tabla 8. Baterías BYD.....	27
Tabla 9. Datos Técnicos del BYD K9G	28
Tabla 10. Estados de carga	29
Tabla 11. Paneles solares eficientes.	32
Tabla 12 Resistencia Máxima [35].....	34
Tabla 13 Cables Fotovoltaicos - Mínimo de Hebras [35].	35
Tabla 14. Lugar definido	40
Tabla 15. Unidades seleccionadas.	41
Tabla 16. Numero de Poste.....	41
Tabla 17. Alimentador La Calera - La Brigada.....	43
Tabla 18. Numero de paneles solares.	47
Tabla 19. Características con ajuste de Paneles solares	47
Tabla 20 Costo Sistema Fotovoltaico	51
Tabla 21. Costos del Sistema de Carga Eléctrico.	52
Tabla 22. Costo de instalación para inyección a la red Pública.	53
Tabla 23. Costo Estimado del Proyecto.	53
Tabla 24 Calculo de rentabilidad WACC.....	54
Tabla 25. Costo operativo a 40690 KM	55

Tabla 26. Flujo de caja	56
-------------------------------	----

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación(1).....	31
Ecuación(2).....	31
Ecuación(3).....	31
Ecuación(4).....	33
Ecuación(5).....	34
Ecuación(6).....	35

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

Implementación de Sistema de Carga para Vehículos Eléctricos considerando Generación Distribuida

Modalidad de Titulación:

Proyecto de Investigación.

Carrera:

Carrera de Ingeniería en Electricidad.

Trabajo de titulación vinculado al proyecto:

Desarrollo de sistemas inteligentes aplicados a la ingeniería eléctrica.

Equipo de trabajo:

Arequipa Tumbaco Alex Geovanny

Estudiante

Ing. M.Sc. Mareiro Ramírez Secundino

Tutor

Área de conocimiento:

07 Ingeniería, Industrias y Construcción	071 Ingeniería y Profesionales Afines	0713 Electricidad y Energía.
--	---------------------------------------	------------------------------

Línea de investigación:

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sublíneas de investigación de la Carrera:

Diseño construcción y explotación eficiente de sistemas eléctricos con energía convencional y alternativa.

2. INTRODUCCIÓN

En las grandes ciudades, es muy evidente la alta concentración de vehículos y buses que circulan por las calles, los cuales generan contaminación ambiental debido a los gases emitidos por la combustión interna de sus motores. Estas emisiones contribuyen significativamente al cambio climático. En este contexto, los vehículos eléctricos se presentan como una alternativa fundamental en la lucha contra este fenómeno, ya que funcionan mediante un motor eléctrico

no contaminante. Además, son más eficientes energéticamente y reducen el consumo de combustibles fósiles. El dióxido de azufre con una permanencia de 2-4 días en el aire, aunque es invisible al ojo humano, genera en altas dosis un penetrante aroma que deriva en afectaciones para el ser humano. [1].

Con el avance de la tecnología se busca constantemente mejorar la movilidad sostenible mediante buses y autos eléctricos, estos funcionan con baterías recargables que convierten la energía química en energía eléctrica mejorando la calidad de vida de las personas, En 2010, solo había unos 17.000 coches eléctricos en las carreteras del mundo [2]. En 2019, esa cifra se elevó a 7,2 millones, de los cuales el 47% los producía China. Nueve países tenían más de 100.000 coches eléctricos en circulación.

Estas baterías, aunque son amigables con el medio ambiente tienen mucho que mejorar en cuanto a su tiempo de carga, la vida útil y el reciclaje de materiales. “Fernández Los materiales utilizados en los electrodos definen directamente el voltaje característico de la batería. Un aspecto fundamental en su operación es garantizar que cada celda opere dentro de sus parámetros de voltaje nominales, evitando tanto la sobre descarga como la sobrecarga [3], aunque su eficiencia energética es notablemente superior, esta característica permite menos gasto de electricidad por kilómetro recorrido.

Para este estudio este estudio lo realizaremos en una compañía de transporte público, que es el que mayor demanda tiene en zonas urbanas, en países desarrollados se han implementado estrictos estándares de emisión para vehículos [4] por la contaminación que estos producen, por ende, veremos los beneficios que se producen la cambiar de unidades de transporte a vehículos eléctricos tanto en confort como en ahorro de gastos de mantenimiento.

En el Ecuador el gobierno actualmente a optado por medidas en las cuales se dispuesto a que todas las empresas deben tener su autogeneración, por ende, para este estudio se a optado por tener una autogeneración en la cual los excedentes serán inyectados a la red pública, para esto tendremos que seguir los lineamientos establecidos por las normativas vigentes “del Ministerio de Energía y Minas y los reglamentos de conexión de CONELEC/ARCERNNR [5]”.

Tomando en cuenta todos aspectos anteriormente mencionados puede establecer que el presente proyecto de investigación representará un avance significativo en la consolidación de un entorno más amigable con el medio ambiente, y promover fuentes de energía renovables.

2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Los vehículos eléctricos son una gran solución para reducir las emisiones de CO₂ de las grandes y pequeñas ciudades, sin embargo, su adopción masiva puede generar grandes retos como falta de centros de carga, autonomía, presupuestos y aceptación social. Para poder pasar estos obstáculos se requiere de una inversión social y publica para infraestructura, políticas adecuadas, estudios de centros de carga de funcionamiento optimizando cual es el mejor tanto de la red pública como también con energías renovables como la energía fotovoltaica.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo se puede implementar un sistema de carga eficiente garantizando confiabilidad, sostenibilidad y viabilidad económica para vehículos eléctricos, con el uso de la generación fotovoltaica y la red eléctrica?

2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1 Objeto de investigación

Sistemas fotovoltaicos y la red eléctrica.

2.3.2 Campo de acción

Para este se tomará en cuenta algunas asignaturas: 3306 Ingeniería y Tecnologías Eléctricas, 2106.01 Energía Solar y 3322.05 Fuentes no Convencionales de Energía.

2.4 BENEFICIARIOS

2.4.1 Beneficiarios directos

Como beneficiarios directos son la empresa de transporte público que podrá disponer de estudios de unidades eléctricas y el impacto que están pueden producir en condiciones reales de servicio, esta información es muy importantes ya que ayudara a medir el impacto positivo y facilitara la toma de decisiones para expandir la movilidad sostenible de la ciudad.

2.4.2 Beneficiarios indirectos

Los beneficiarios indirectos serán la ciudadanía que podrá optar por un transporte con menos vibraciones y viajes más silenciosos con mayores comodidades con tecnología de punta de que mejorará la experiencia de miles de usuarios.

Por otra parte, los beneficiarios indirectos también será toda la sociedad en general, pues estas unidades eléctricas ayudaran a reducir el impacto ambiental, la disminución de la huella de carbono es muy importante para cumplir los objetivos propuestos, creando un entorno limpio y sano para las futuras generaciones.

2.5 JUSTIFICACIÓN

La implementación de un sistema de carga para vehículos de transporte público eléctricos es una gran necesidad de la cual analizaremos la mejor opción en cuanto a la energía que se va a utilizar para estos sistemas, alineándose con los desafíos actuales del cambio climático y la transición energética. Este proyecto no solo busca cubrir las necesidades energéticas mediante energía solar, si no también promover el uso de energía amigable con el medio ambiente.

2.6 OBJETIVOS

2.6.1 Objetivo General

Determinar la factibilidad de la movilidad eléctrica del transporte público en la ciudad de Latacunga con el uso de la generación fotovoltaica inyectada a la red para cargadores de vehículos en la cooperativa de transporte urbano Sultana de Cotopaxi.

2.6.2 Objetivos Específicos

- Establecer estados de las tecnologías más adecuadas para el manejo de movilidad en el transporte público con vehículos eléctricos.
- Analizar el estado de las redes en los puntos de carga posible y establecer potencias de demanda.
- Evaluar la incorporación de los cargadores eléctricos y su inyección a la red.
- Determinar la factibilidad técnica económica de la red pública para incorporar la movilidad eléctrica en el transporte público.

2.7 SISTEMA DE TAREAS

Tabla 1. Sistema de tareas en relación a los objetivos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES (TAREAS)	RESULTADOS ESPERADOS	TÉCNICAS, MEDIOS E INSTRUMENTOS
Analizar tecnologías adecuadas para el manejo de movilidad en el transporte público con vehículos eléctricos.	-Búsqueda de datos sobre transporte eléctrico. Investigación de cargadores eléctricos. Investigación sobre Baterías.	-Obtención de datos, especificaciones técnicas, datos de funcionamiento.	-Acceso a trabajos investigativos digitales, bases de datos académicas.
Analizar estado de las redes en los puntos de carga posible y establecer potencias de demanda.	-Búsqueda de datos técnicos de los posibles puntos de conexión mediante la empresa eléctrica ELEPCO S.A. -Buscar puntos de conexión. -Cálculos de potencia máxima.	-Datos técnicos reales. Demanda de diseño. Puntos de conexión.	-Software DIgSILENT
Evaluar la incorporación de los cargadores eléctricos.	-Tipos de convertidores y datos técnicos. -Desarrollar simulaciones de acuerdo con los datos obtenidos para realización con datos reales. -Identificar la demanda máxima que se requiere analizar.	-Modelado del proceso de simulación en el software DIgSILENT -Registro de Datos.	-Mediante el Software DIgSILENT tendremos datos reales sobre cómo debe ser el funcionamiento de los centros de carga.
Determinar la factibilidad técnica de la	-Análisis de resultados de la ejecución de la	-Resultados óptimos y claros.	-Mediante el uso del Software DIgSILENT

red pública para incorporar la movilidad eléctrica en el transporte público.	simulación. -Presentación del Proyecto de Investigación.		podremos observar el funcionamiento y comportamiento de los centros de carga.
--	---	--	---

Responsable: *El investigador*

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 ANTECEDENTES

Los primeros vehículos eléctricos fueron creados, El primer coche eléctrico apareció en 1881, moviéndose gracias a 21 baterías que suministraban energía a su motor [6], pero este no podía competir con vehículos a vapor de esa época, aunque demostró características en mejor funcionamiento, tenía varias fallas la principal fue que sus baterías no eran recargables.

Con el inicio de la revolución industrial, el nacimiento del ferrocarril, la industrialización de las maquinas por ende el crecimiento de las fábricas, tras los primeros avances con máquinas de vapor, la llegada del automóvil en el siglo siguiente marcó el inicio de la era del petróleo como combustible predominante [7], comenzando su desarrollo en cuanto a modelos para confort o para trabajo siendo muy indispensables para ayuda del ser humano, en agricultura o para transporte.

A finales del siglo XIX, en la competencia de quien construía el mejor motor, más rápido y más eficaz, los vehículos eléctricos no podían competir con vehículos de combustión interna, al ser más barato la gasolina por el precio del petróleo, pero su contaminación fue creciendo con el pasar del tiempo a inicios del siglo XXI, nace la importancia de estos vehículos por la grave contaminación y el cambio climático. Un auto eléctrico es más económico al momento de analizar varias características como serian sus repuestos, el precio de gasolina o diésel por kilómetro recorrido que podría ser de 5 o 6 veces su presupuesto.

Aunque los vehículos a combustión se encuentren estacionados bien en el tráfico o en su lugar de destino, este sigue prendido lo que hace que el vehículo siga emitiendo dióxido de carbono, La generación de la electricidad por medio de plantas termoeléctricas las cuales utilizan combustibles fósiles [8], son también un problema de contaminación por la quema de combustibles fósiles.

Los vehículos eléctricos son silenciosos y solo dependen de las baterías, esto ha llevado a que el hombre busque nuevos componentes para baterías para que estas sean más duraderas y eco amigables con el medio ambiente. Las baterías de ión-litio presentan ventajas significativas frente a tecnologías anteriores como las de níquel-cadmio, posee mayor densidad de energía con mayor vida útil soportando mayores ciclos de carga [3].

En países como China se tiene previsto que para el 2030 se tendrán vehículos eléctricos e híbridos, dejando atrás vehículos que dependan totalmente de combustibles fósiles, siendo el

pionero en desarrollar nuevas tecnologías que ayuden a independizarse, en varias ciudades del mundo se ha optado el uso de un transporte más limpio cambiando a unidades eléctricas como una solución, en Ecuador en la provincia de Loja ha sido una de las ciudades en donde se ha optado taxis eléctricos, Entre las competencias institucionales de la Municipalidad se encuentra la obligatoriedad de generar condiciones adecuadas que permitan a la población alcanzar una mayor esperanza y calidad de vida [9].

Actualmente la deficiencia energética ha llevado a empresas y viviendas a optar por generación distribuida, tanto en el sector residencial como en las instituciones públicas se ha identificado la urgencia de optimizar los sistemas de gestión energética, requiriéndose protocolos más eficientes para el consumo sustentable de recursos [10], los excedentes de la generación distribuida en muchos países son inyectados a red pública siguiendo normas y estándares de cada país.

3.2 TRANSPORTE PUBLICO

“El Estado garantizará que la prestación del servicio de transporte público se ajuste a los principios de seguridad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, continuidad y calidad, con tarifas socialmente justas [11], Dado que el estado garantiza estas condiciones en el artículo 3, podemos decir que el beneficio es a la sociedad en general.

3.2.1 Transporte público en la ciudad de Latacunga

La ciudad de Latacunga cuenta con 3 modalidades de transporte como son:

- Transporte Interprovincial
- Transporte Urbano
- Taxis

3.2.1.1 Transporte urbano

La ciudad de Latacunga cuenta con dos Cooperativas principales como son la Cooperativa Citibus y la Cooperativa De Transporte Urbano Sultana de Cotopaxi, ellas brindan servicio de transporte durante el día, en diferentes horarios y sectores de la ciudad la cual podemos ver en la Tabla 2.

Cooperativa De Transporte Urbano Sultana de Cotopaxi es una empresa del sector con oficinas en la ciudad de Latacunga, provincia de COTOPAXI [12].

Tabla 2. Rutas que provee la Cooperativa [12].

Código	Frecuencia	Horario
LTSL01	SALTO - SALACHE	05:50:00 - 19:00:00
LTSL02	BELLAVISTA - NIAGARA	05:50:00 - 19:00:00
LTSL03	PATUTAN - LA LAGUNA	05:50:00 - 19:00:00
LTSL04	EL SALTO - YUGSILOMA - POALO	05:50:00 - 19:00:00
LTSL05	SAN JUAN - EL CALVARIO	05:50:00 - 19:00:00
LTSL06	PUSUCHISI - EL SALTO	05:50:00 - 19:00:00
LTSL07	TILIPULO - LOCOA	05:50:00 - 19:00:00
LTSL08	SANTAN - NUEVA VIDA	05:50:00 - 19:00:00
LTSL09	EL SALTO - CEYPSA	05:50:00 - 19:00:00
LTSL10	CHUGCHILAN - EL SALTO	05:50:00 - 19:00:00
LTSL11	MAYORISTA - EL SALTO	05:50:00 - 19:00:00
LTSL12	PICHUL - EL SALTO	05:50:00 - 19:00:00

En la tabla de la cooperativa de transporte urbano de Cotopaxi se aprecia el código vinculado a la ruta junto con el horario establecido para el servicio.

En la tabla 3 se observa las distancias que recorre la Cooperativa De Transporte Urbano Sultana de Cotopaxi en la ciudad de Latacunga.

Tabla 3 Distancia de Recorrido

Nombre de líneas	Descripción	Distancia de recorrido total (Km)
LTSL01	SALTO - SALACHE	12,7
LTSL02	BELLAVISTA - NIAGARA	22
LTSL03	PATUTAN - LA LAGUNA	21
LTSL04	EL SALTO - YUGSILOMA	44
LTSL05	SAN JUAN - EL CALVARIO	24
LTSL06	PUSUCHISI - EL SALTO	15
LTSL07	TILIPULO - LOCOA	26
LTSL08	SANTAN - NUEVA VIDA	22
LTSL09	EL SALTO - CEYPSA	22
LTSL10	CHUGCHILAN - EL SALTO	26
LTSL11	MAYORISTA - EL SALTO	18,9
LTSL12	PICHUL - EL SALTO	7,7

Esta información de la Tabla 3 fue obtenida de la Cooperativa De Transporte Urbano Sultana De Cotopaxi.

3.2.2 Electromovilidad

En el transporte público los vehículos eléctricos han obtenido un gran mercado, en compañía de taxis, autobuses y camiones. Las ventas de autobuses eléctricos, que abarcan todos los autobuses de tamaño mediano y grande, están muy por delante de las de otros segmentos de vehículos pesados (HDV) (incluidos los camiones medianos y pesados) [13].

Con las nuevas tecnologías existen diferentes modelos de autobuses con mayor distancia, carga rápida, mayor y menor peso, Los autobuses urbanos, en particular, tienen un gran potencial de electrificación gracias a sus patrones de conducción relativamente fijos y a sus menores distancias diarias de viaje[13].

3.3 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Son vehículos que tienen como fuente principal un motor eléctrico, que no emiten gases contaminantes, son silenciosos y amigables con el medio ambiente, Los componentes están fabricados con diferentes materiales, que tienen diferentes rangos óptimos de temperatura de funcionamiento y límites de temperatura de seguridad [14].

3.3.1 Motor Eléctrico

Los motores eléctricos operan bajo el principio de transformación energética, donde la electricidad recibida se transmuta en fuerza mecánica aplicable [15]. Se los puede dividir en varias categorías.

Por tipo de alimentación:

- Motores de corriente continua (CC/DC)
- Motores de corriente alterna (CA/AC)

Subclasificación de motores CA:

- Motores síncronos (rotación sincronizada con campo magnético)
- Motores asíncronos (conocidos también como de inducción)

El uso eficiente de estos motores implica operarlos solo cuando es necesario, ajustándose a las condiciones de producción[15].

Función: Transforma la energía electroquímica almacenada en las baterías, sus celdas de potencia, lo convierten en movimiento rotacional o lineal, accionando los componentes mecánicos del vehículo (par y rotación) para mover las ruedas. También actúa como generador durante la frenada regenerativa.

Importancia: Proporciona la propulsión. Es más eficiente, silencioso y requiere menos mantenimiento que un motor térmico.

Tipos comunes: Síncrono de imanes permanentes (PMSM), Asíncrono o de inducción (ACIM).

Son creadas manualmente o por una serie de combinación automática, las máquinas bobinan el cobre y preparan el estator y el motor para su ensamblaje[16].

3.3.2 Las baterías

Se han desarrollado con el paso del tiempo teniendo baterías de litio que son usadas en varios aparatos eléctricos, en donde empresas como Tesla, Nissan y otras han liderado este campo,

uno de los elementos más importantes un vehículo eléctrico sigue siendo su sistema de almacenamiento energético, representando aproximadamente el 40% del valor total. Sin embargo, la evolución de tecnológica ha permitido una reducción del valor de las baterías al 50% en su presupuesto durante el último quinquenio. Esta tendencia refleja un patrón característico en tecnologías emergentes, donde los precios disminuyen aceleradamente al alcanzar madurez industrial y economías de escala, fenómeno previamente observado en dispositivos como teléfonos móviles y ordenadores portátiles, cuyo acceso se masificó tras periodos similares de desarrollo [17], en la figura 1 se puede observar la división de baterías.

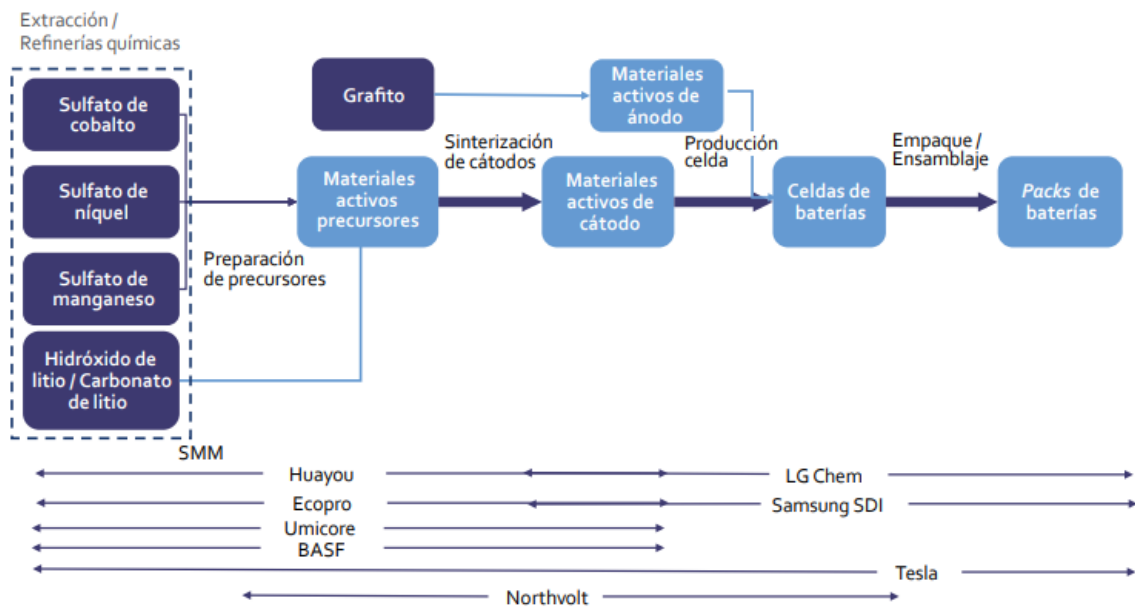


Figura 1. Los principales actores de la cadena de valor de las baterías [18].

En la figura 1 se observa una división de los principales componentes de una batería que con una serie de combinaciones químicas podemos obtener materiales activos de cátodo, con la combinación de grafito convertidos en material activo ánodo producen celdas de baterías y al empacarlas se puede obtener un pack de batería.

3.3.3 Tipos de baterías

En la actualidad existen diferentes tipos de baterías que las podemos clasificar por sus componentes.

a) Plomo-acido

Estas baterías son más usadas, en vehículos tanto eléctricos como vehículos de combustión interna son ligeras y muy seguras ocupan el mayor espacio vehicular.

Ánodo: Plomo metálico (Pb)

Cátodo: Dióxido de plomo (PbO₂)

Electrolito: Solución acuosa de H₂SO₄ (ácido sulfúrico) al 37% v/v [19].

b) Nique-Cadmio

Las baterías alcalinas recargables destacan por sus características electroquímicas superiores [20]:

- i. Rendimiento energético:
 - Alta densidad de potencia (>1kW/kg)
 - Eficiencia coulombica $\geq 99\%$
- ii. Durabilidad:
 - Vida útil extendida: 2,000-5,000 ciclos completos
 - Tasa de degradación <0.1% por ciclo
- iii. Robustez operativa:
 - Rango térmico amplio (-30°C a +50°C)
 - Estructura mecánica resistente a vibraciones
- iv. Seguridad intrínseca:
 - Electrolito no volátil
 - Configuración sellada antiderrames

3.3.4 Centros de carga

Estos centros de carga pueden ser diferentes tipos como su configuración clásica que son potencia constante, impedancia y corriente. También pueden variar por el tipo de energía que estos pueden llegar a consumir.

- Modelo de corriente constante

Este modelo es muy utilizado para medir su estabilidad [21].

- Modelo de Potencia Constante

Para este modelo la potencia activa y la potencia reactiva varían bastante,

Limitaciones: No se considera la autorregulación de corriente ante caídas de tensión. [22].

- Modelo de Impedancia Constante

Tiene una relación constante entre la tensión y la corriente, la potencia tiende a variar cuadráticamente en base a la tensión, son muy utilizadas para estudio de cargas y para predecir cortocircuitos [22].

3.3.5 Controlador Electrónico de Potencia (Inversor + Convertidor CC/CC)

Es un elemento muy importante de los vehículos eléctricos ya que nos permiten integrar o realimentar las tensiones de salida. El control implementado por los CC. de aplicaciones específicas es análogo y esto impide la implementación de controladores específicos [23]

3.3.6 Frenado Regenerativo

El sistema de frenos de un vehículo es muy importante para su conducción ya que nos permite bajar la velocidad o detener el vehículo, estos automóviles inteligentes juntan lo mejor de dos mundos: un motor tradicional y otro eléctrico, alternándolos según las necesidades del trayecto para ahorrar energía y contaminar menos. [24], son muy importantes que ya que permite cargar la batería mientras bajamos una pendiente, pues estos frenos regenerativos funcionan, regenerando la batería mientras bajamos pendientes aumentando la distancia que estos pueden llegar.

En condiciones de desplazamiento, el fenómeno de inercia permite implementar un mecanismo de frenado regenerativo, donde [24], aunque la energía que se recupera en el freno regenerativo no es muy significativa se puede observar que nos ayuda con un considerable aumento de energía en las baterías, siendo un sistema más confiable y muy eficaz.

3.3.7 Chasis y Carrocería

Es una parte muy importante de los vehículos pues estos a menor peso pueden llegar a tener un mayor rendimiento en velocidad y confort, pero en vehículos eléctricos e híbridos nos ayuda a tener un sistema más eficaz pues al no depender de combustibles fósiles estos dependen de las baterías que al tener menos esfuerzo el motor este rendirá mejor lo que prolonga la duración de las baterías.

3.3.8 Tipos de vehículos eléctricos

Existe una gran clasificación de vehículos, para este estudio se hará un enfoque de la clasificación respecto a su batería.

3.3.8.1 Eléctricos en motor y su batería

Estos vehículos son 100% eléctricos, al ser un motor eléctrico su impulso es muy silencioso, el tiempo de carga depende de la batería y el tipo de cargador. tiempo de carga depende a su batería y el tipo de cargador [25].

3.3.8.2 Vehículos eléctricos híbridos enchufables

Los vehículos híbridos son enchufables que representan una solución de una movilidad muy avanzada que integra dos sistemas de propulsión complementarios. Incorporan un motor eléctrico alimentado por un paquete de baterías de iones de litio de media-alta capacidad, el cual puede recargarse mediante la conexión a la red, en estaciones eléctricas domésticas o de carga pública. Esta configuración permite recorridos 100% eléctricos con cero emisiones locales, tamaño entre 40-80 km según modelos. [25].

También estos vehículos integran una segunda parte que son un motor a combustión que permite al vehículo continuar con su movilidad actuando como generador eléctrico cuando las baterías alcanzan su nivel mínimo de carga, manteniendo así la movilidad del vehículo.

3.3.8.3 Vehículos Híbridos

Los vehículos híbridos representan una gran solución tecnológica avanzada que integra dos sistemas de propulsión sinérgicos: como es el motor eléctrico alimentado por baterías recargables como sistema principal y un motor de Combustión interna (generalmente de gasolina) como sistema complementario. Esto nos permite que ambos motores puedan funcionar de manera independiente o simultánea, entregando potencia a la transmisión para mover las ruedas de forma coordinada. [25].

Un sistema de gestión inteligente controla automáticamente la transición entre ambos modos de operación, optimizando el rendimiento energético y reduciendo el consumo de combustible hasta en un 40% comparado. Con vehículos convencionales.

En la actualidad varios países están en desarrollo de políticas que incentiven a la compra de estos vehículos, como el dar subsidios y dar infraestructura para que puedan cargar, obtener un mejor sistema de ingresos y de reducción ambiental.

3.4 EL SOL COMO FUENTE DE ENERGÍA

Es una fuente energía inagotable y constante que nos permite generar energía limpia mediante la radiación solar, son muy ultimadas en las generaciones de energía fotovoltaica que mediante paneles solares producen electricidad limpia, en la generación térmica se lo utiliza para calentar agua y utilizar para la calefacción que es una solución al impacto ambiental que producen la quema de combustibles fósiles, también se utiliza como energía pasiva.

Por otra parte, una gran desventaja de la radiación solar es la variación según la ubicación geográfica o por condiciones climáticas como son la lluvia, climas nublosos, al inicio las instalaciones para poder recibir esta energía son muy costosas, su presupuesto de instalación inicial es muy elevado dado que para poder mantener un suministro constante se requiere de varios equipos, sin embargo, con el pasar del tiempo estos presupuestos han ido disminuyendo [26].

3.4.1 Radiación solar

Es un conjunto de ondas electromagnéticas emitidas por el Sol [26], estas se encuentran constantemente liberando energía mediante fisión nuclear, y envía energía a los planetas cercanos como radiación solar, la mayoría se queda en la atmosfera o rebota en la superficie, la unidad de media es la irradiancia siendo su unidad W/m^2 .

La distancia entre la Tierra y el Sol puede variar a lo largo del año por la forma de la tierra siendo en enero el mes más cercano mientras que en julio es el mes más lejano [26], la radiación solar está definida como una densidad del flujo radiante solar y de manera directa está muy relacionada con varias fuentes de energía renovable. Las células solares presentan una respuesta espectral óptima en el rango de luz visible (400-700 nm) debido a dos factores clave: Distribución espectral solar: el 43% de la energía. Solo el 4-6% es radiación UV (200-400 nm), con mayor absorción atmosférica. Propiedades de los materiales semiconductores: Silicio cristalino (tecnología dominante): Máxima sensibilidad a 600-900 nm (incluye visible e infrarrojo cercano). [27].

3.4.1.1 Irradiación

Se la define como la potencia de radiación por unidad de área que llega a la Tierra, tras sufrir una atenuación, es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el Sol y nuestro planeta (Ley del Inverso del Cuadrado). Este flujo energético es interceptado por la Tierra [26].

3.4.1.2 Irradiancia

La irradiancia solar revela una importante relación entre el promedio mensual de la radiación diaria y los llamados "días promedio". Estos días especiales se caracterizan porque su declinación solar coincide exactamente con el valor medio mensual de esta variable astronómica [26].

Sus aplicaciones para el diseño de sistemas fotovoltaicos y estudios climatológicos. Al utilizar estos días representativos, los ingenieros pueden simplificar significativamente sus cálculos, obteniendo estimaciones confiables sin necesidad de procesar grandes volúmenes de datos diarios.

Podemos tener diferente tipo de irradiancia:

- Directa: Se puede obtener la Radiación directamente del sol.
- Indirecta: La cual podemos obtener la radiación por medio de la dispersión atmosférica.
- Reflejada: La cual se obtiene mediante el reflejo del suelo de la atmosfera.

3.4.2 Hora Solar Pico (HSP)

Se define como el número de horas diarias de radiación solar, esta medida está condicionada por diversos factores geográficos y astronómicos, posición geográfica a la latitud condiciona la trayectoria solar aparente y la longitud afecta a la hora solar verdadera local, con una irradiancia solar ideal, esta depende de varios factores como son el lugar geográfico.

3.4.3 Orientación o Ángulo de acimut

Es la desviación angular respecto al sur geográfico o norte geográfico[27]. Se lo puede medir en grados ($^{\circ}$),

- Valores positivos: Hacia el oeste.
- Valores negativos: Hacia el este.

3.4.4 Inclinación o ángulo de elevación

Nos permite identificar como será la radiación en el transcurso del día, el ángulo va a variar en el transcurso del día [26].

3.5 ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Su funcionamiento es muy simple, el panel o un captador solar absorbe el calor de la radiación solar. Las células fotovoltaicas permiten que los semiconductores, como el silicio puedan convertir la luz solar [27] en energía eléctrica. En estos captadores y paneles solares se observa su curva de rendimiento como característica principal [26].

3.4.5 Principio de funcionamiento

- **Efecto fotovoltaico:** Conversión directa de luz solar (fotones) en electricidad (electrones) mediante semiconductores (silicio).
- **Generación de corriente continua (CC):** La electricidad producida requiere un inversor para convertirla en corriente alterna (CA) para usos domésticos/industriales.

3.4.6 Componentes clave de un sistema fotovoltaico

En la tabla 4 se puede observar los principales componentes que se debe tener para un sistema equilibrado y funcional.

Tabla 4 Sistema fotovoltaico principales componentes.

Componente	Función principal
Paneles solares	Captan radiación solar y generan electricidad (CC).
Inversor	Convierte CC en CA y sincroniza con la red eléctrica.
Estructuras de montaje	Optimizan ángulo e inclinación (β) para máxima captación.
Baterías	Almacena energía para uso nocturno o días nublados.
Sistema de monitoreo	Supervisa rendimiento y detecta fallos.

En la tabla 4 podemos observar los elementos principales de un sistema fotovoltaico.

3.4.7 Tipos de radiación solar aprovechada

Tenemos las principales que son las más las más aprovechadas [26].

- **Directa:** Rayos solares sin obstáculos (máximo rendimiento).
- **Difusa:** Luz dispersada por nubes/atmósfera (funciona en días nublados).

- **Reflejada (Albedo):** Aprovechable con paneles **bifaciales**.

3.4.8 Parámetros críticos de diseño

Para este parámetro debemos tener en cuenta el ángulo que se va a variar en el transcurso del día [26].

- **Inclinación (β):** Ángulo óptimo según latitud.
- **Orientación (Ψ):** En hemisferio norte, ideal hacia el Sur ($\Psi=0^\circ$).
- **Horas Sol Pico (HSP):** Indicador de potencial energético en (kWh/m²).

3.4.9 Factores que afectan el rendimiento

Estos factores son muy importantes de considerar dado que conducen a pérdidas en la producción de energía eléctrica [28], para ello veremos los principales en la tabla 5.

Tabla 5 Factores de rendimiento

Factor	Impacto
Sombreado	Reduce producción drásticamente.
Temperatura	Paneles pierden ~0.5% de eficiencia por cada °C > 25°C.
Suciedad	Polvo o nieve pueden reducir hasta un 25% la generación.
Degradación	Paneles pierden ~0.5-1% de eficiencia anual.

En la Tabla 5 se observa el sombreado, la temperatura, la suciedad y degradación como principales factores de rendimiento.

3.4.10 Aplicaciones principales

- **Autoconsumo residencial/industrial:** Reducción de factura eléctrica.
- **Instalaciones aisladas:** Electrificación rural (bombeo de agua, telecomunicaciones).
- **Granjas solares:** Generación masiva para venta a red.
- **Movilidad sostenible:** Carga de vehículos eléctricos.

3.5 SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED (ON-GRID)

El inversor acoplado a la red (GTI) es un dispositivo electrónico de conversión de potencia que es diseñado para la sincronización de la energía generada por sistemas renovables como son los paneles fotovoltaicos o aerogeneradores con la red eléctrica convencional. Su función principal es transformar la corriente continua (DC) proveniente de estos sistemas en corriente alterna (AC) con las mismas características de voltaje, frecuencia y fase que la red. Pública, permitiendo la inyección directa del excedente energético [29].

Una de las características más importantes es su capacidad de conectarse y sincronizarse automáticamente con la red[29], así también como sincronizar su frecuencia a 60 Hz que es la que predomina en Ecuador, cuando el dispositivo detecta fallas activas sus protecciones automáticamente.

En la figura 2 se observa el funcionamiento de un medidor bidireccional.

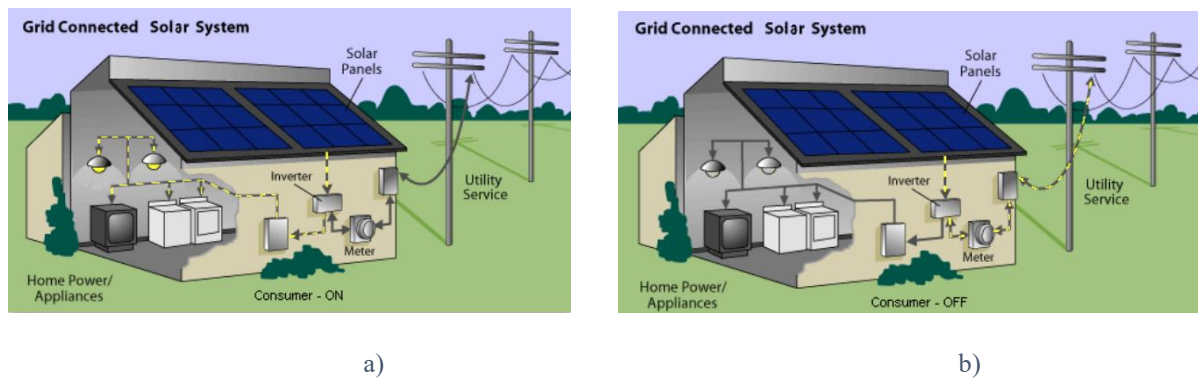


Figura 2. Sistema fotovoltaico conectado a red (On-Grid), a) consumo Interno, b) inyección a la red [29]

En la figura 1 a) se observa el consumo de energía fotovoltaica, en la figura b) se observa que no hay consumo de energía esta inyecta suministro de energía renovable a la red pública.

El inversor cuando este acoplado al sistema fotovoltaico en el día este consume electricidad de los paneles, mientras cuando está en la noche cambia su posición y consume electricidad de la red pública reduciendo el consumo de las planillas eléctricas. El sistema automáticamente obtiene toda la energía requerida en el día y en la noche, garantizando así un suministro ininterrumpido de electricidad [29].

3.5.1 Paneles fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos son células fotovoltaicas hechas de cristales de silicio que son conectadas en circuitos en Para optimizar el rendimiento de los paneles solares, se emplean dos tipos de conexiones fundamentales:

Conexión en serie: Incrementa el voltaje del sistema manteniendo constante la corriente, ideal para adaptarse a los requisitos de entrada de los inversores.

Conexión en paralelo: Aumente la corriente disponible mientras conserva el voltaje, adecuado para sistemas que requieren mayor capacidad de generación, esto se debe a que los materiales llegan a perder sus características en el transcurso del tiempo y por lo tanto pierden su máximo rendimiento, respecto a su durabilidad, los paneles fotovoltaicos modernos están diseñados para mantener un rendimiento óptimo durante 25 a 30 años, con una degradación anual típica del 0,5% al 0,8% en su eficiencia. [29].

3.5.2 Inversor

Debido a que la energía que es producida por los paneles solares es de corriente continua debemos transformarlo a corriente alterna de (110-220) voltios con una frecuencia de 50 o 60 HZ, estos inversores cuentan con una salida monofásica o trifásica [29].

3.5.3 Contador Bidireccional (Doble sentido)

Su principal función del medidor bidireccional es cuantificar la energía que se inyecta en la red y mide su consumo en ausencia de radiación solar [29], es ubicado entre el inversor del sistema fotovoltaico y la red de distribución pública.

3.5.4 Sistema de Monitorización

Un sistema de monitorización fotovoltaicas es muy importante, ya que mejora el rendimiento de la planta de diversas maneras [30].

- **Función:** Supervisar en tiempo real:
 - Producción energética (kWh).
 - Estado del inversor.
 - Fallos o reducción de rendimiento.

3.6 NORMAS DE REGULACIÓN ARCONEL RESOLUCIÓN NRO. ARCONEL-003/2024

“La Agencia de regulación y control de electricidad ARCONEL [5]” es la entidad encargada de regular y asegurar un servicio eléctrico sostenible que proteja los intereses de los

ecuatorianos, estableciendo los requisitos que deben cumplir las Centrales de Generación [5], para que puedan participar en el sector eléctrico del país.

3.6.1 Requisitos por categoría

En la Tabla 6 se puede observar las centrales de generación por categorías en función de la Potencia Nominal y el voltaje referencial [5].

Tabla 6. Categoría de centrales de Generación [5].

Categoría	Potencia Nominal (MW)	Voltaje referencial de conexión (kV)
A	$0.1 \leq P_n < 1$	$V_n < 69$
B	$1 \leq P_n < 15$	$V_n \leq 69$
C	$15 \leq P_n < 50$	$V_n \leq 138$
D	$P_n \geq 50$	$V_n \geq 138$

Adicionalmente en la Tabla 6, se observa las diferentes categorías que se dividen las centrales de generación, como su voltaje referencial en kV.

3.6.2 Análisis preliminares

“Análisis e identificación de los potenciales nodos de la Red de Transporte de Electricidad, existentes o planificados, en los cuales podría conectarse la futura Central de Generación” [5].

3.6.3 Consideraciones para definir el esquema y voltaje de conexión

“El esquema de conexión de la futura Central de Generación será establecido por el Operador de Red en el Certificado de Factibilidad de Conexión Definitivo, de tal forma que permita transmitir a través de la Red de Transporte de Electricidad toda la energía que genere la Central de Generación, respetando los siguientes criterios de diseño y de operación de la red [5]”.

3.6.4 Control y protección

“Una Central de Generación deberá ser capaz de permanecer conectada a la red y seguir operando dentro de los rangos de Frecuencia y períodos de tiempo mínimos [5]”.

- Control de frecuencia
- Control de voltaje

- Corriente rápida de falla

4. METODOS Y PROCEDIMIENTOS

Para la elaboración de esta investigación utilizaremos diferentes métodos de investigación los cuales nos ayudaran a comprender de mejor manera los datos que obtendremos y que con ellos podremos cumplir los objetivos propuestos. En la sección 4.2 podremos observar una lista de tareas que nos ayudaran a desarrollar esta investigación. En la sección 4.3 se detalla estados de tecnología para una investigación de Datos del transporte público. En la sección 4.4 se desarrolla una investigación de Datos de la red. En la sección 4.5 se desarrolla la evaluación técnica económica de la red pública.

4.1 MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN

Con el propósito de conocer a fondo esta investigación se realizara con una serie de pasos partiendo desde el tipo de investigación, que será la documental para adquirir conocimientos de tesis, artículos de personas que han hecho estudios similares, de movilidad eléctrica en el transporte público y sistemas de generación fotovoltaica con inyección a la red pública, el método de investigación cuantitativa nos permitirá realizar un análisis del consumo facturado que se puede producir y ahorrar al ser un sistema hibrido.

4.1.1 Tipo de investigación

Para la elaboración de esta investigación utilizaremos las investigaciones: Documental y descriptiva. Para ello necesitaremos de materiales como tesis, artículos, revistas científicas sobre movilidad eléctrica, inyección a la red de transmisión, generación fotovoltaica. Que nos permitirá describir características muy importantes como el rendimiento de los paneles solares a diferentes horas, en horarios picos o caracterizar perdidas de energía en el sistema.

Este proyecto de investigación no fue experimental, fue estructurado para validar datos y cumplir los objetivos analizando las causas reales muy importantes para poder ayudarnos a descomponer, analizar un tema tan complejo como es la movilidad eléctrica y la generación fotovoltaica mediante datos cuantitativos para validar resultados, se empleó para tabular y representar gráficamente los resultados.

4.2 PROCEDIMIENTOS DE TAREAS

Para la ejecución del proyecto de investigación se tomará en cuenta, se la siguiente metodología detalla con la siguiente figura 4.

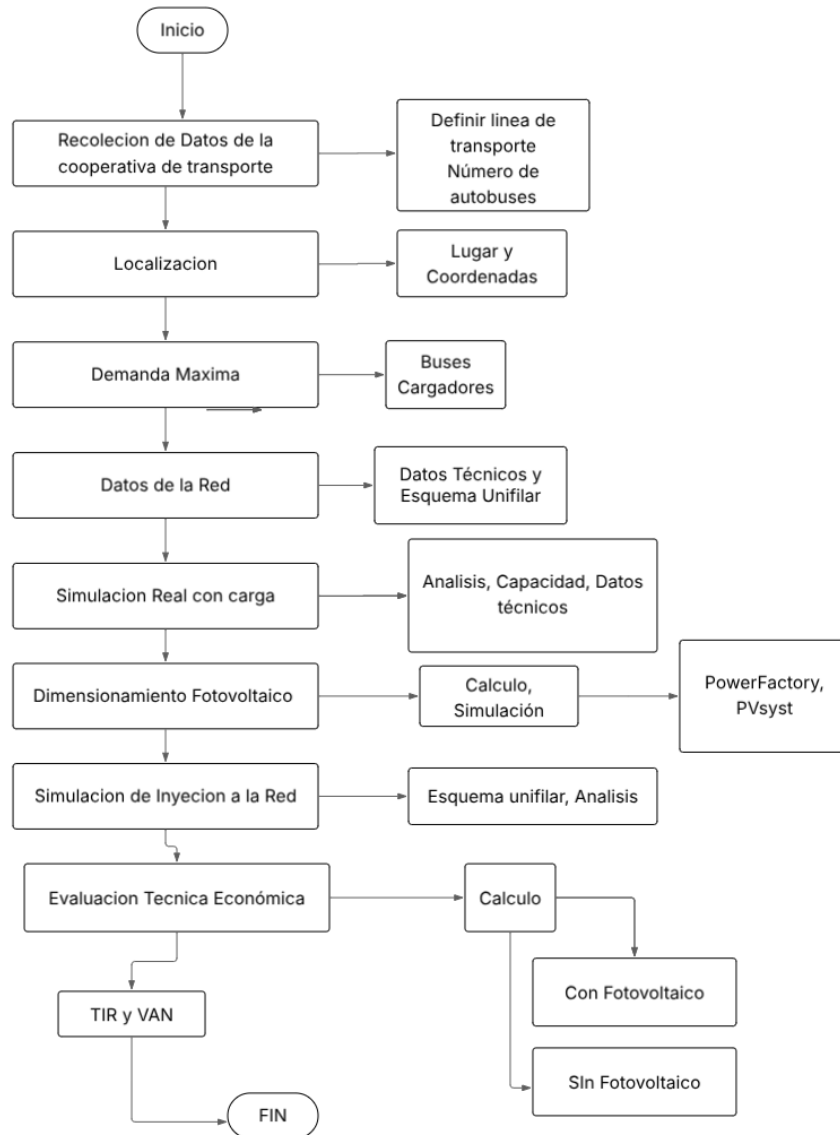


Figura 3. Diagrama de procediendo Tares

En la figura 4 se puede observar la metodología de investigación que será detalla a continuación, para mejor entendimiento este capítulo se redactará en las siguientes etapas:

- Estados de tecnología
- Estados de redes
- Evaluación de cargadores

- Factibilidad de la red

4.3 ESTADOS DE TECNOLOGÍA

Para este capítulo se toma en cuenta los datos de la Cooperativa de Transporte Urbano Sultana Del Cotopaxi en el cual detalla el movimiento durante el día que se observa en la tabla 2. Para ello se estima el tiempo de viaje y el tiempo de llegada a la parada de 16 autobús.

4.3.1 Limites

Para la definición de limites se tomará en cuenta el transporte urbano que tiene su circuito o su dirección el cual esta abalado por la (CTE) institución pública encargada del control del tránsito y transporte terrestre en la red vial estatal y en otras áreas que le sean delegadas, que es un departamento legal del estado.

Para este capítulo se tomará en cuenta el recorrido de la línea de transporte tabla 2 que podemos observar la distancia recorrida total, la flota de buses cuenta con 16 unidades cada unida recorre cada 8 a 10 min un total de 21 km total del circuito, el cual consta con una para da en el barrio Patután de la cuidada de Latacunga para ello se necesitará de una demanda eléctrica.

Para ello se tomará en cuenta las características eléctricas del lugar, el tiempo de espera el espacio y como está formado la característica eléctrica del poste, la característica técnica será obtenida por parte de la empresa eléctrica.

4.3.2 Lugar

El lugar es la cooperativa que tiene para iniciar su recorrido el cual pueden descansar de 30 min a 1 hora mientras continúan su recorrido.

Este lugar se encuentra cerca del sub centro de salud Patután. El cuál es su lugar de Salida, para esto se hizo un estudio en cual se puede obtener tiempos de carga, pero son menores a los que ellos necesitan su recorrido abarca la ciudad y sus calles principales.

La ubicación es accesible y tiene su ubicación en el centro de salud haciéndola rentable, se optó por esta línea de recorrido urbano por su trayectoria que abarca las principales ubicaciones importantes de la ciudad como son universidades, hospitales, colegios y centro de estudio todas ellas son fuentes indispensables de desarrollo de la ciudad.

4.3.3 Demanda eléctrica

Para la demanda eléctrica se tomará en cuenta la capacidad eléctrica de los buses para ello se tiene las características técnicas principales como son su autonomía eléctrica se observa en la tabla 7.

Tabla 7. Características de autobuses

Modelo/Marca	Ciudad/Operador	Capacidad	Características	Año de Implementación
BYD K9	Quito (Metrobús-Q)	80 pasajeros	300 km de autonomía, carga rápida (2-3 hrs).	2022 (pruebas piloto)
Yutong E12	Guayaquil (Metro vía)	90 pasajeros	Batería de 422 kWh, aire acondicionado.	2023 (fase de pruebas)
Higer Azure 9	Cuenca (TransTran)	70 pasajeros	250 km de autonomía, piso bajo.	2024 (proyecto anunciado)
Zhongtong LCK6128EV	Loja (Unidad Operadora)	65 pasajeros	Tecnología de carga nocturna.	2023 (flota inicial)
Volvo 7900 Electric	Quito (Corredor Central)	95 pasajeros	Recarga por pantógrafo, cero emisiones.	2025 (planificado)

En la tabla 7 se observa características de los autobuses seleccionados para ello se escogerá las unidades que se pueden adquirir en el país, para ello se seleccionó la empresa BYD modelo K9D que circula por las ciudades principales del país como es de Guayaquil, este bus cuenta con una gran autonomía que reduce los tiempos de carga y favorece este estudio científico.

Estos autobuses cuentan con una carga de 300 Km para ellos se puede observar el tipo de baterías que poseen de la marca BYD de la tabla 8, partiendo de modelos conocidos en el mercado como es la marca Toshiba y de la misma marca que es BYD.

Tabla 8. Baterías BYD

Tipo de Batería	Modelo/Marca	Capacidad (kWh)	Autonomía (km)	Tiempo de Carga	Vida Útil (ciclos)
Litio-Ferrofosfato (LFP)	BYD Blade Battery	200 - 350	250 - 400	2 - 4 horas	3.000 - 6,000
Níquel-Manganeso-Cobalto (NMC)	CATL CTP	300 - 450	350 - 500	1.5 - 3 horas	2.500 – 4.000
Titanato de Litio (LTO)	Toshiba SCiB	100 - 200	150 - 250	10 - 15 minutos	15 000 – 20 000
Batería de Hidrógeno	Ballard FCmove	Equi. 400+	500+	15 minutos (H2)	5 000+

En la tabla 8 se puede ver los diferentes tipos de baterías que tiene la marca esto es muy importante para elegir un cargador o su voltaje.

Todo esto se debe tener en cuenta al momento de elegir:

- Batería (duración)
- Modelo
- Adquisición
- Motor
- Rendimiento
- Capacidad de carga
- Mantenimiento
- Chasis
- Confort

El bus que elegiremos es el BYD K9G de la tabla 9.

Tabla 9. Datos Técnicos del BYD K9G

Categoría	Especificaciones
Motor	- Tipo: AC síncrono de imanes permanentes
	- Potencia: 150 kW x 2 (201 HP x 2)
	- Torque: 550 Nm x 2
Batería	- Tecnología: Litio-Hierro-Fosfato (LiFePO4)
	- Capacidad: 324 kWh
	- Autonomía: 300 km (ciclo NEDC)
Rendimiento	- Velocidad máxima: 90 km/h
	- Eficiencia: 0.93 km/kWh
	- Tracción: 4x2 trasera
Capacidad	- Pasajeros: 31 sentados + 49 de pie + 1 chofer
	- Área útil para pasajeros de pie: 8 m ²

En la tabla 9 podemos observar las características más importantes de estos vehículos como su motor en potencia y torque, la batería su capacidad y autonomía, la cantidad de buses que requiere la Cooperativa de transporte es de 16 unidades.

4.3.3.1 Cargador

Para ello la principal característica es el voltaje y su Amperaje para ello se realizó su estudio, el cargador cuenta con varios sistemas de carga como son normal, rápido, ultra rápido, para ello será elegido el cargador que sea más amigable con el estado de carga de la tabla 10.

Tabla 10. Estados de carga

Parámetro	Carga a 80 kW	Carga a 150 kW
Tiempo (20% → 80%)	~3.5 horas	~1.3 horas
Tiempo (0% → 100%)	~4.5 horas	~2.2 horas
Corriente (A)	115.2 A	312 A
Tasa de carga (C-rate)	~0.15 C	~0.46 C
Eficiencia energética	~92-95% (pérdidas: 5-8%)	~90-93% (pérdidas: 7-10%)
Impacto en batería	Degradación mínima (ideal para uso diario)	Degradación moderada (uso ocasional)

En la tabla 10 se observa la eficiencia energética del tiempo de carga a distintos horarios se puede identificar que para una carga menor a 80% es mejor una norma, cuando es una carga rápida tiende a dañar las baterías.

4.4 DATOS DE LA RED

Para adquisición de datos será por parte de la empresa eléctrica “ELEPCO S.A.”, que es el distribuidor energético de la ciudad. Para ello la empresa proporcionó datos reales de un día de distribución.

Se pudo observar que la red es rígida, por ende, es aceptable.

Pero se debe inyectar a la red si es aceptable día, en la noche es por red pública las cargas, pero la red es rígida, y que no está a 60% de capacidad, es aceptable, también el sistema por la norma ARCONEL RESOLUCIÓN NRO. ARCONEL-003/2024 [5], nos permite conectar o integrar energía a la red,

La red se tomó en cuenta la ubicación y se dimensiono sus características eléctricas para optar por una red la red de 13.8 kV es la más recomendable, para ello se debe optar por un transformador, los datos entregados por la empresa eléctrica “ELEPCO S.A.” nos permite que se pueda dimensionar.

4.4.1 Simulación

Para la situación se tomará en cuenta varios estados que se verá continuación:

- Estado carga de la Red:

En este estado el sistema se abastece de la energía eléctrica de la red de distribución por ende tiene una cargabilidad constante, según el estiaje se concluye, es mejor la carga eléctrica fotovoltaica en el día por la radiación solar, en épocas de estiaje el autoconsumo se debe tener en cuenta para ellos es muy importante el sistema fotovoltaico, en el cual nos permite ser una estación autónoma.

La simulación en PowerFactory nos permitirá trabajar con una base de datos, para mejorar nuestra investigación, en la cual disponemos de varios casos de estudios como son la NASA o En la cual se puede observar si es aceptable a la red eléctrica por la norma ARCONEL NRO. ARCONEL-003/2024 en la cual nos regimos.

- Generación fotovoltaica

Para la simulación se hizo los cálculos para ser un estado independiente, por estiajes cuando la energía escasee.

Estos datos de TH o flujo de potencia que nos ayuda a que el sistema sea constante, el sistema sea confiable, debe ser calculado y su dimensionamiento o debe caracterizar y debe cumplir con las expectativas.

Para ello debemos tener en cuenta la potencia total y su variación durante el día por ende se recomiendan que las horas que no produce energía suficiente para los cargadores se inyecte a la red, haciéndole un centro de carga confiable.

La energía fotovoltaica es confiable pero su remuneración es muy poco aceptable.

Para las simulaciones se tomará en cuenta que:

- No todos los días producen la misma radiación solar
- La obstrucción de radiación influye en la generación

- Para el estado híbrido

En el estado híbrido se prevé que el funcionamiento va a ser tanto fotovoltaico como a conexión a la red por ende se prevé que los cálculos optaran por la mejor configuración. Para ello se debe tener en cuenta que la radiación solar es diferente en el día y la mejor opción será durante la noche.

4.4.2 Dimensionamiento fotovoltaico

Para el dimensionamiento se tiene en cuenta las siguientes formulas.

4.4.2.1 Cálculo del Consumo Energético (kWh/día)

Para el cálculo de nuestros paneles solares usaremos las siguientes formulas y procedimientos de la ecuación 1:

$$E_{demanda} = \sum(P_{equipo} \times Nu_{unidades} \times Km) \quad (1)$$

En donde:

P equipo: es la potencia en horas (KWh/Km) del recorrido.

Nu unidades: el número de unidades requeridas.

Km : kilómetros recorridos.

4.4.2.2 Potencia del Generador Fotovoltáico (kWp)

se obtendrá de la ecuación 2.

$$PFV = \frac{E_{demanda}}{HSP \times N_{Simultaneidad}} \quad (2)$$

En donde:

N simultaneidad: es la eficiencia depende de la carga (por lo general es del 75% al 85%%).

PFV : Potencia del Generador Fotovoltáico (kWp).

HSP : horas pico solar de una ubicación [27]

4.4.2.3 Número de Paneles

Se obtendrá de la ecuación 3.

$$N_{paneles} = \frac{PFV}{P_{panel}} = \frac{E_{demanda}}{P_{panel} * HSP * N_{Simultaneidad}} \quad (3)$$

PFV : Potencia del Generador Fotovoltáico (kWp).

P panel: es la potencia en (w) del panel seleccionado.

$N_{paneles}$: Número de Paneles calculado en (W) o (kW).

N simultaneidad: eficiencia del sistema al 80%

En la siguiente tabla 11 podemos ver ejemplos de paneles solares que podemos encontrar en Ecuador siendo los más eficientes para nuestro sistema.

Tabla 11. Paneles solares eficientes.

Modelo	Potencia	Eficiencia	Dimensiones	Proveedor en Ecuador
TSM-NEG-21C-20-720 Vertex	720 W	23.3%	2.384 × 1.303 mm	SolarEdge (Quito, envía a Latacunga)
Canadian Solar HiKu7	670 W	21.4%	2.384 × 1.303 mm	TecnoSolar (Ambato)
Jinko Solar Tiger Neo	620 W	22.0%	2.382 × 1.134 mm	Enersol (Cuenca, envía a Latacunga)

En la siguiente tabla 11 se ha optado por obtener datos de paneles solares más eficientes como ejemplos para reducir espacios y costos, se puede observar en la figura 4.

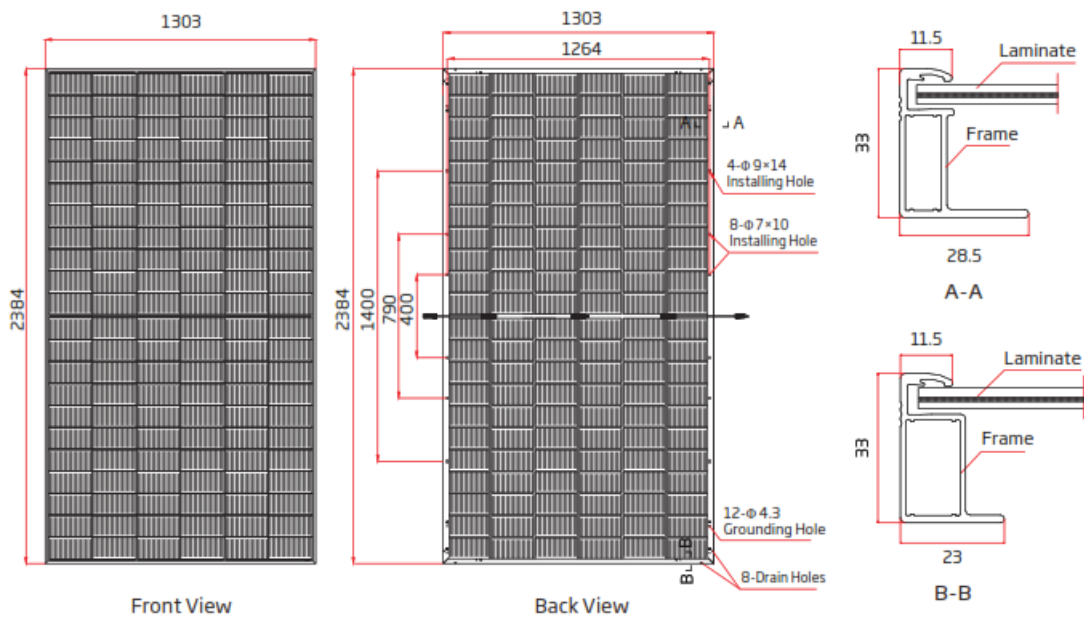


Figura 4. Dimensiones de los paneles solares [34].

En la figura 4 podemos observar las dimensiones de los paneles solares en anchura y longitud, varias empresas manejan tamaños similares para mejor eficiencia y potencia para mantener estándares de calidad internacional [34].

4.4.2.4 Inversores

Según el CNE Art. 690.8. Los elementos deben soportar 125% de la corriente máxima [35]. La selección de las protecciones se las hará en base a los cálculos obtenidos de la fórmula 4.

$$I_{inversor} = \frac{P_{inversor}}{V_{sistema}} \quad (4)$$

$I_{inversor}$: corriente del inversor (A)

$P_{inversor}$: potencia del inversor (W)

$V_{sistema}$: energía del sistema en kWh/día.

Una vez obtenido el cálculo del inversor debemos tener en cuenta como están conformado para ello podremos ver en la figura 5 [36].

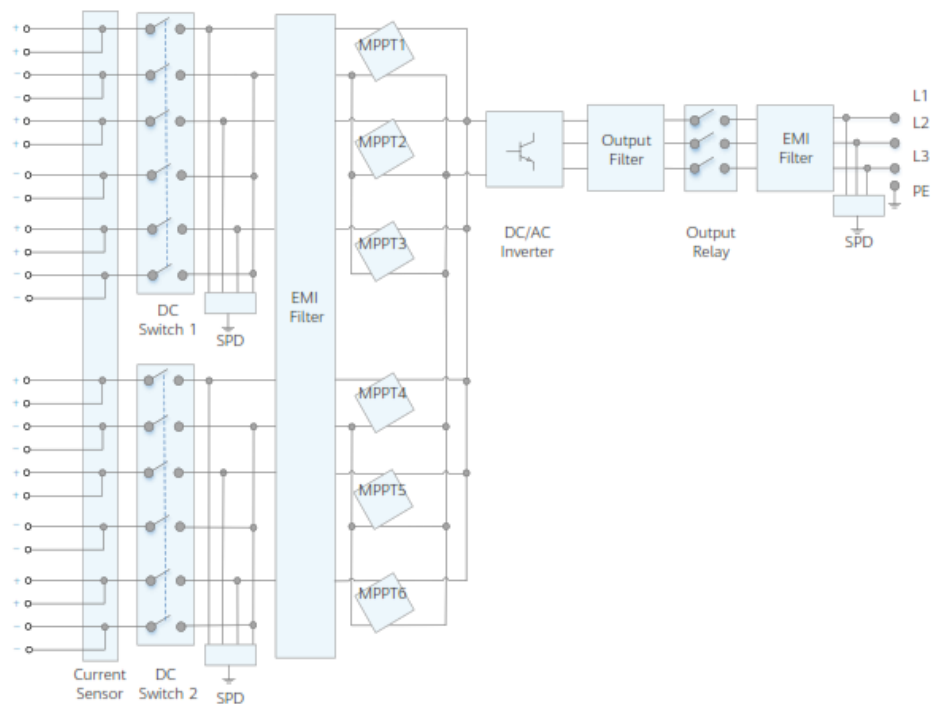


Figura 5. Diagrama de circuito del inversor HUAWEI [36].

En la figura 5 podemos observar sus componentes principales que no ayudaran a la hora de configurar nuestros string. Para eso necesitaremos de la ficha técnica [36].

4.4.2.5 Conexión a la Red

4.4.2.6 Protecciones Contra sobretensiones

- Para circuitos y equipos CC

Todo equipo y circuito que esté conectado en un sistema fotovoltaico debe tener su debida protección [35], para los paneles solares estos deben estar homologados, se debe tener el mayor cuidado ya que algunos llegan a operar a 80 V.

- Para circuitos AC

En Circuitos AC, tenemos el Interruptor Termomagnético (AC) que nos permite Proteger contra sobrecorriente y cortocircuito [35].

El Relé de Anti-Islanding nos permite desconectar el sistema si falla la red.

- Interruptor diferencial

Nos permite proteger nuestro sistema contra corrientes de fuga a tierra.

- Conexión a Tierra

Para tener un buen enmalla miento eléctrico entre más bajo sea mejor, para ello se debe tener en cuenta las normas eléctricas [35], de la tabla 12.

Tabla 12 Resistencia Máxima [35].

Norma	Resistencia Máxima (Ω)	Aplicación
NEC 250.56	$\leq 5 \Omega$	Sistemas < 1 kV (480V).
IEEE 80	$\leq 1 \Omega$	Subestaciones > 1 kV (13.8 kV).

En la tabla 12 podemos observar los estándares técnicos que rigen para los diferentes tipos de voltajes.

4.4.2.7 Calibre del conductor

Para el calibre del conductor se obtendrá de la ecuación 5.

$$A = \frac{I \times L \times 2 \times 0.0172}{V_{perdida}} \quad (5)$$

A: resultado del calibre

I: corriente de cortocircuito

L: longitud del conductor

0.0172: Resistividad del cobre

V perdida: máxima caída de tensión permitida (1% a 3%) del sistema [35].

Para selección del conductor se debe tener en cuenta si va a hacer al aire libre o por canalización ya sea metálicas o por hormigón, se debe tener muy en cuenta la temperatura.

En la siguiente tabla 13 podemos observar (Cables Fotovoltaicos - Mínimo de Hebras)

Tabla 13 Cables Fotovoltaicos - Mínimo de Hebras [35].

Cable fotovoltaico AWG	Hebras mínimas
18	17
16-10	19
8-4	49
2	130
1 AWG-1000 MCM	259

En la tabla 13 se observa el mínimo de hebras que se debe tener por número de conductor según la Norma NEC 690.31 [35], esto es muy importante ya que al ser flexible nos permite mejor manipulación del conductor.

4.4.2.8 Selección del transformador

Se obtendrá de la ecuación 6.

$$Trafo = kVA = \frac{kW}{Fp} \times 1.2 \quad (6)$$

En donde:

Fp : Factor de potencia

kW : potencia del inversor en (kW)

$Trafo$: cálculo de la potencia del transformador en kVA.

A la hora de seleccionar un transformador debemos tener muy en cuenta sus características técnicas como son:

- Potencia nominal (kVA)

- Tensión (V)
- Corriente (A)
- Frecuencia (Hz)
- Eficiencia (%)
- Impedancia (%)

En el mercado tenemos diferentes tipos de transformadores que nos ayudan a obtener el mejor transformador que necesitemos para un sistema eléctrico esto puede variar en costo, características compuestas de construcción, por el tipo de aislamiento o material conductor.

4.4.2.8.1 Por fase

Estos podemos dividir en dos clases como son:

- Transformadores monofásicos utilizados común mente para sistemas monofásicos.
- Transformadores trifásicos utilizados común mente en plantas industriales o centros de alta demanda energética [37].

4.4.2.8.2 Por estructura

- Transformadores sumergidos en aceite:

Están compuestos por aceite mineral o aceite vegetal como medio refrigerante y aislante [37], se los instala en las partes externas, necesitan de un mantenimiento constante por la degradación que sufre el aceite.

- Transformadores en seco:

Estos transformadores se los suele instalar en interiores, su medio de aislamiento suelen ser gases como el SF₆ o por ventiladores son muy amigables con el medio ambiente [37].

4.4.2.8.3 Por Método de enfriamiento

Autoenfriamiento:

Estos transformadores se caracterizan por enfriarse automáticamente, por medio de disipadores de calor son utilizados en cargas menores [37]

Refrigeración por aire forzado:

Estos transformadores son utilizados en cargas altas por su medio de disipación al usar ventiladores mejorando su refrigeración [37], en la figura 7 podemos observar diferentes tipos de transformadores que se observan en la figura 6.



Figura 6. Tipos de transformadores

En la figura 6 se observa los transformadores, que hemos visto durante este capítulo [37].

4.4.2.9 Cálculo dimensionamiento

Para el cálculo se tomará en cuenta el sistema de generación como las unidades que van a conformar el centro de carga.

Para esto debemos tener en cuenta las normas eléctricas y también tener cálculos exactos por la corriente de los cables, pérdidas por asterixis, son las más comunes.

Para ello se debe tener muy en cuenta que los cálculos hechos son solo aproximaciones, un día no exacto a otro día.

4.4.3 Inhesión a la red

Para este caso será la reducción de la demanda nos ayudará a reducir la energía enviada a la red eléctrica.

Para la realización de esta red se tiene los siguientes datos.

Para el análisis de conexión del sistema fotovoltaico a la red eléctrica, se consideraron los siguientes aspectos técnicos fundamentales. El esquema unifilar detallado incluyó todos los componentes principales como es la figura 13 desde los paneles solares cuenta con protecciones. Pasando por las protecciones eléctricas correspondientes y el punto de acoplamiento común. Este diagrama sirvió como base para las simulaciones técnicas requeridas de la figura 13.

Se puede optar por generación y demandas de distribución.

Según la “NORMA DE REGULACIÓN ARCONEL RESOLUCIÓN NRO. ARCONEL-003/2024”, el sistema fotovoltaico es apto para el caso 1 para generación menor a 1 MW, para ello el sistema es estable.

Lo cual nos permite establecer que los usuarios con sistemas de generación renovable (ej. paneles solares) pueden inyectar sus excedentes a la red, bajo condiciones técnicas y contractuales.

- Campo fotovoltaico con protecciones DC integradas (fusibles y desconectores)

Inversor de interconexión a red con capacidad de 1 MW

Protecciones AC (interruptores termomagnéticos, diferenciales y limitadores de sobretensión clase II)

Punto de Acoplamiento Común (PAC) con medidor bidireccional clase 0.5

- Metodología de Evaluación

El análisis consideró escenarios operativos principales:

Caso 1 - Generación menor a 1 MW:

Corresponde al modo básico de operación

El sistema demostró estabilidad en parámetros clave:

Variación de tensión dentro de <2.5% en el PAC

Factor de potencia mantenido sobre 0.98

Tiempos de respuesta adecuados (<100ms)

Técnicas de Simulación Aplicadas:

- Análisis de flujos de potencia para verificar capacidad de conducción
- Evaluación de cortocircuitos considerando contribución fotovoltaica.

Para la simulación a la red podemos ver los cálculos realizados.

Para el análisis de rendimiento de sistemas solares, se emplean datos TMY (Typical Meteorological Year) que proporcionan información horaria representativa de las condiciones climáticas en una ubicación específica. Estos conjuntos de datos incluyen variables clave como irradiación global (GHI), irradiación directa (DNI), temperatura ambiente, velocidad del viento

y humedad relativa. Facilitando su integración en herramientas de simulación como PVsyst o SAM.

4.5 EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA DE LA RED PÚBLICA

Para este caso de estudio, se debe tener en cuenta la resolución de todas las tablas con los datos obtenidos, cabe decir que este sistema dispone de un sistema híbrido en el cual nos permite tener una aportación a la red que disminuye la facturación total, mediante un medidor bidireccional.

Se tomará en cuenta el WACC que es un sistema de Costo Promedio Ponderado de Capital es un medio, de ver cuán confiable es el sistema.

Para el cálculo del TIR y VAN se tomará en cuenta el costo de los autobuses eléctricos como son o es el BYD K9G que es una opción viable de la ciudad de Guayaquil y Cuenca.

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para la realización de este capítulo podemos seleccionar las actividades anteriores del capítulo 4.2 Procedimiento de tareas:

- Estados de tecnología
- Estados de redes
- Evaluación de cargadores
- Factibilidad de la red

Para ello se explicará de la siguiente manera.

5.1 TECNOLOGÍAS ADECUADAS

Para este estado es muy importante, tener en cuenta las ubicaciones y tecnología.

Como se mencionó en capítulos anteriores capítulo anterior será:

La ruta Patután - la Laguna, pasa por las principales calles de la ciudad, además de tener una mayor demanda del servicio. Tomando en cuenta las especificaciones del recorrido mostradas en la tabla 2. LTSLO3 se trazó la trayectoria, misma que tiene una distancia de 21 km, como se aprecia en la figura 7.

Los buses completan 6 vueltas en su recorrido total siendo 126 km recorridos en el día, para el cálculo se tomará en cuenta 130 km para cubrir tráfico, además la flota cuenta con 16 unidades.

Los buses escogidos son de la marca BYD, que son los que predominan en el Ecuador con las nuevas tecnologías se puede optar por modelos que solucionen, la deficiencia energética, de la figura 7 se observa el recorrido.

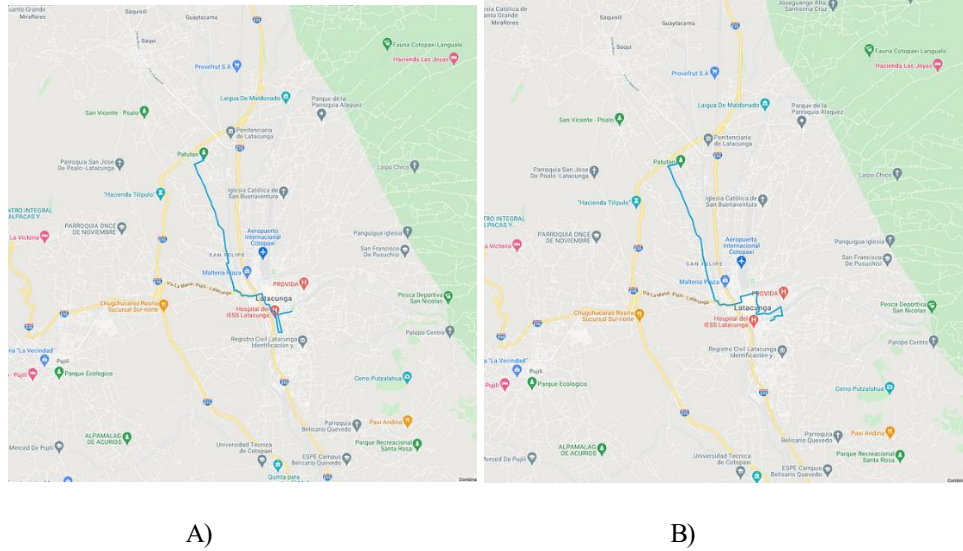


Figura 7. Circuito de Transporte línea LTSL03 [12]

En la figura 7 se observa el recorrido total del sistema, en la figura a) es de bajada y la figura b) es de retorno donde no cuenta con una parada y no hay un lugar de descanso de las unidades, por ello el estudio sería costoso, por ende, en el punto “a” de inicio por las características de la red y su dimensionamiento se observa en tabla 14.

Tabla 14. Lugar definido

Coordenadas	Área m ²	Área de construcción m ²	Perímetro m ²
Latitud: -0.8781	3241.86	180.67	242.87
Longitud: -78.6432			

La ubicación de la tabla 14 es muy importante para poder dimensionar estados de red y distribución en el cual podemos optar por el Geoportal del municipio y entender espacios reales. Con la ubicación, se puede identificar los postes que se encuentran cerca de los puntos analizados y con ello identificar la red más óptima, para ello se usó, el Geoportal de la “Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi (ELEPCO S.A.)”, podemos observar en la tabla 15 el autobús eléctrico escogido con su cargador.

Tabla 15. Unidades seleccionadas.

	Marca	Potencia
Autobuses	BYD	324 kw/h
Cargador	BYD	80 kW

En la tabla 15 se pudo optar por la empresa BYD que es de nacionalidad China en la cual se encuentra en las provincias de Guayaquil y Cuenca.

5.2 ESTADO DE REDES

Para el estudio de redes se tiene lo siguiente de la tabla 16

Se observa el número de poste, el subtipo o material del poste, a quien pertenece y las estructuras instaladas.

Se determina que el poste cuenta con líneas de 240 V y 13.8 kV.

Tabla 16. Numero de Poste

Número de poste	Subtipo	Propiedad	Estructura en poste
164801	Poste de hormigón	ELEPCO S.A.	2(1PR3); 3CRT; 1ED

Con la tabla 16 podemos obtener el voltaje que circula y también por los datos obtenidos por la empresa eléctrica nos permite decir el voltaje de media tensión que circula es de 13.8 kV que se ve en la figura 8, también circula una red de 240 V.

Se tiene la línea de transmisión, los postes cercanos con su configuración, y obtuvimos la siguiente Tabla 17.

Para determinar el alimentador se lo identifique como el alimentador La Calera – La Brigada en el cual se identificó los siguientes datos:

- Número de usuarios
- Número de transformadores
- Potencia
- Longitud
- Corriente

Tabla 17. Alimentador La Calera - La Brigada

		Potencia cliente (kVA)					
Número de clientes	Número de transformadores	Total	A	B	C		
5925	468	2202	785	839	578		
Potencia instalada (kVA)							
Total	A	B	C	Potencia normal (kW)	Longitud (km)	Límite de Corriente (A)	
17857	6294	6004	5558	2306	109.029	300	

En la tabla 17 podemos observar los datos obtenidos por la empresa eléctrica como son la potencia normal, la longitud, límite de corriente, número de usuario y transformadores que nos permitirán diseñar en el esDIgSILENT con datos correctos y con ello tener datos coherentes, en la figura 9 podemos observar el recorrido que hace el alimentador, San Rafael que parte desde el lado oeste de la ciudad de Latacunga.

5.3 EVALUACIÓN DE CARGADORES

Para garantizar una evaluación exhaustiva de los cargadores en estudio, se requerirá lo siguiente.

5.3.1 Simulación con Carga

La simulación se realizó considerando exclusivamente la carga del sistema, permitiendo analizar el comportamiento de la red ante la integración del sistema de carga eléctrica. Como se observa en la Figura 10, el sistema es robustez, operativa para una carga de la estación de 2 cargadores de 80 kW dando un total de 160kW.

Se evaluó las curvas de voltaje y frecuencia, y se observa que todas las líneas mantienen un comportamiento estable, sin fluctuaciones críticas ni señales de sobrecarga. Esta condición óptima permite concluir que el sistema puede permanecer conectado a la red eléctrica sin riesgos operativos, aprovechando la infraestructura existente para reducir costos asociados a generación de respaldo o almacenamiento energético.

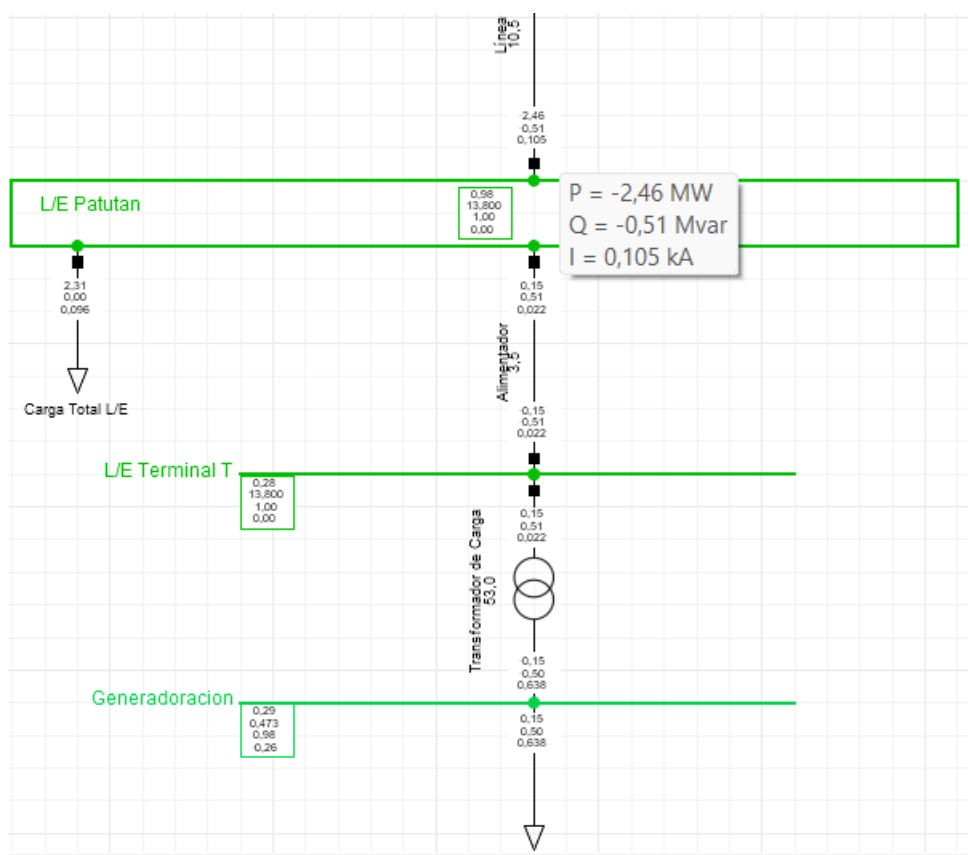


Figura 10. Simulación del sistema sin carga

En la figura 10 se observa que el sistema no tiene ningún impedimento para abastecerse de la red eléctrica, también que el sistema es estable, la red abastece una carga de 5 MW actualmente con los datos proporcionados por la empresa eléctrica (ELEPCO S.A.) el sistema solo llega con la carga proporcionada del sistema de carga de autobuses eléctricos a 2.46 MW, lo que el sistema es estable para ingresar a la red.

Esta condición es óptima y permite concluir que el sistema puede permanecer conectado a la red eléctrica sin riesgos operativos, aprovechando la infraestructura existente.

- Observación:

El sistema eléctrico no presenta impedimentos para abastecerse de la red.

La red opera en condiciones estables, suministrando actualmente 5 MW.

5.3.2 Simulación sistema con fotovoltaico

Se evaluó la operación total de carga para el sistema por la ecuación: 1.

- Batería al 100% es de 324 kWh.
- Autonomía es de 300 km.
- Unidades al día: 8.

Resultado: Potencia requerida de **1123.2 kWh/día**.

Cálculo de paneles:

Se evaluó con la ecuación 3

- Potencia requerida 1123.2 kWh/día
- Panel solar 720 W
- HSP 4.75
- Eficiencia al 80%

Numero de paneles es 410

Paneles en serie Voltaje pico del inversor de 100 W que es 1000 V dividido para Voltaje en cortocircuito del panel de 720 W que es 49.4 por 1.12 es igual a 18.07, será el número de paneles máximo por string para ello se optó por 17 paneles por string máximo por confiabilidad.

Numero de string, para el número de string se analizó el número de paneles 410 dividido para paneles máximos por string, siendo el valor de 24.1 sobrando dos paneles dando como resultado óptimo 408 paneles solares.

Voltaje máximo por paneles en Voc 49.4 por paneles por string es de 839.8 V que se mantiene en el rango de 200V a 1000V del inversor.

- Resumen

Numero de paneles solares 408 de 720W, 3 Inversores de 100 W, 8 String por Inversor y 14 paneles solares por string, potencia requerida de 1123.2 kWh/día.

Para la presentación del diagrama unificado del sistema, se ha establecido una simbología estandarizada que permite identificar claramente cada componente eléctrico. Este esquema se incorpora en la Figura 11.
















SIMBOLOGÍA		
 PANEL FOTOVOLTAICO	 LIMITADOR DE SOBREVOLTAJES	 CONDUCTOR A TIERRA
 INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO	 PUESTA A TIERRA	 PROTECCIONES CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS
 INVERSOR CC/CA	 CONDUCTOR FASE	 CARGA DEL SISTEMA
 CONDUCTOR NEUTRO	 CONTADOR DE ENERGÍA	
 FUSIBLE	 CONTADOR DE ENERGÍA BIDIMENSIONAL	
 TRANSFORMADOR	 INTERRUPTOR DIFERENCIAL	

Figura 11. Simbología del sistema

Se observa el diagrama unifilar del sistema, la siguiente simbología que se encuentra en la figura 11, como es la ubicación del panel solar, el interruptor termomagnético, el inversor CC/CA, los conductores de fase, neutro y a tierra. Para la parte de protección tenemos la protección contra descargas atmosféricas, limitador de sobrevoltajes, fusibles y el interruptor diferencial. Para el contador de energía tenemos, el contador y el contador bidimensional, a continuación, en la figura 12 se observa cómo esta dimensionado.

- Sistema

Para la elaboración del diagrama unifilar del sistema eléctrico se ha empleado una simbología estandarizada que incluye todos los componentes principales y sus protecciones asociadas. Como se muestra en la figura 12, la representación gráfica comprende desde los paneles solares

como fuente de generación hasta los dispositivos de medición, pasando por los elementos de conversión y protección.

El inversor CC/CA de 100 W aparece como equipo fundamental para la transformación de energía, mientras que las protecciones incluyen interruptores termomagnéticos, diferenciales, fusibles y limitadores de sobrevoltaje, además de los sistemas contra descargas atmosféricas. Los conductores se representan diferenciando claramente las líneas de fase, neutro y tierra.

Para la medición se contemplan tanto contadores de energía convencionales como bidireccionales, estos últimos esenciales para sistemas con inyección a red. La figura 12 complementa esta información mostrando el dimensionamiento detallado de cada componente, donde se especifican capacidades, calibres y disposición física, asegurando que el diseño cumpla con los requerimientos técnicos y normativos aplicables al sistema fotovoltaico interconectado, en la tabla 18 se puede observar el número de paneles solares.

Tabla 18. Numero de paneles solares.

Energía MWh	P panel (W)	HSP	factor de potencia	N panel Solar	Ajuste del panel solar
1.186	0.72	4.75	0.8	410.52	De 408 a 412

En la tabla 18 se observa el número de paneles que se obtuvo mediante la ecuación 3, mediante los cálculos realizados se va a volver a evaluar el sistema para 408 paneles solares para ello se obtuvo mediante la ecuación 3, cambiando el número de paneles dando como resultado 293.76 kWp (potencia pico), la energía producida con un factor de eficiencia al 0.85 mediante la ecuación 2 se tiene 1.186 MWh/día, se puede observar en la tabla 19.

Tabla 19. Características con ajuste de Paneles solares

Numero de paneles	kWp	Potencia diaria MWh/día	Transformador kVA
408	293.76	1.186	400

Se observa en la tabla 19 los ajustes del sistema para 408 paneles solares, el transformador aplicando la ecuación 6 es de 400 kVA.

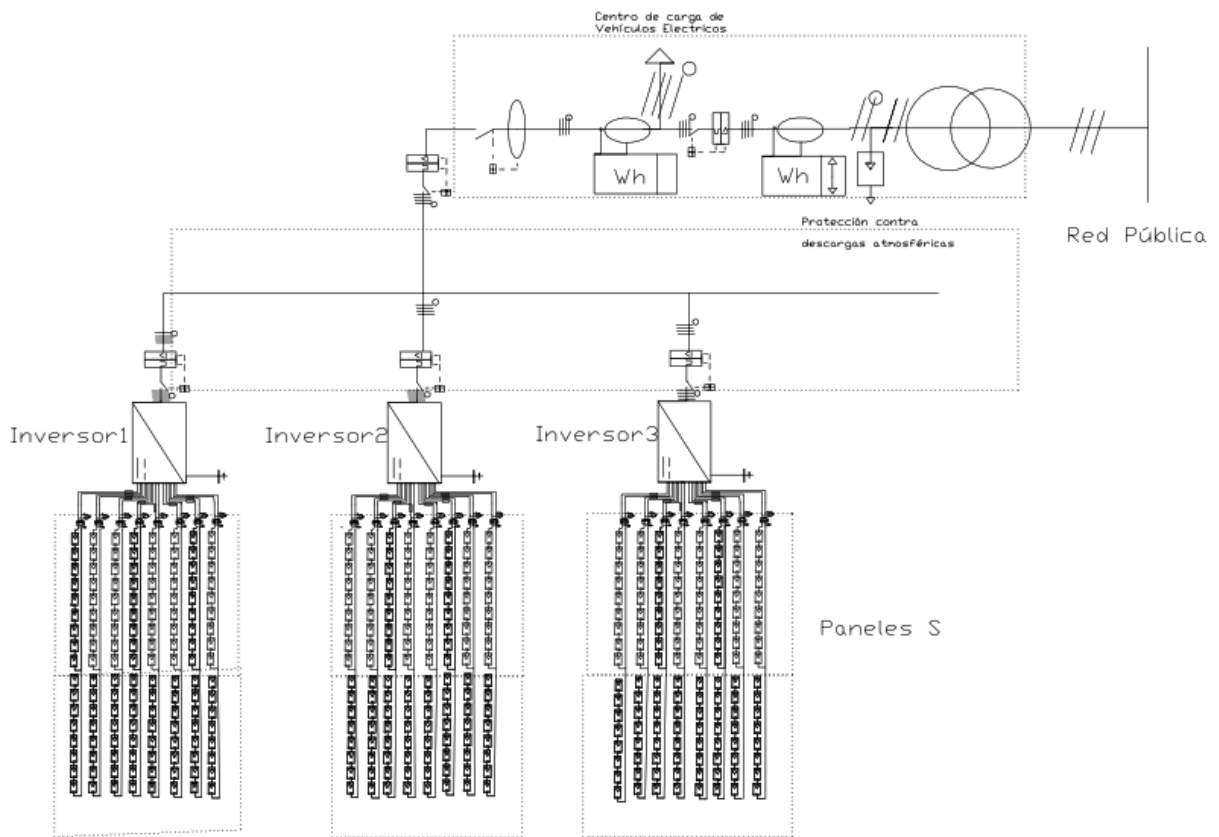


Figura 12. Propuesta del sistema Fotovoltaico

En la figura 12 podemos observar cómo será la distribución que se tiene diseñada para el sistema fotovoltaico, los string con sus respectivos paneles solares, los inversores, la protección en cada equipo, la puesta a tierra, la carga podemos notar que se encuentra conectado con un medidor bidireccional, con nuestra puesta a la central de carga de autobuses eléctricos, todo esto se lo tiene propuesto con el número de cables que pasaran por cada elemento.

La infraestructura esta combinada con eficiencia energética, capacidad de expansión y sostenibilidad, siendo una compatible con futuras integraciones de energías renovables. La propuesta que se tiene estimada y calculada es la siguiente de la figura 13, el transformador escogido es de 400 kVA, aplicando la ecuación 6.

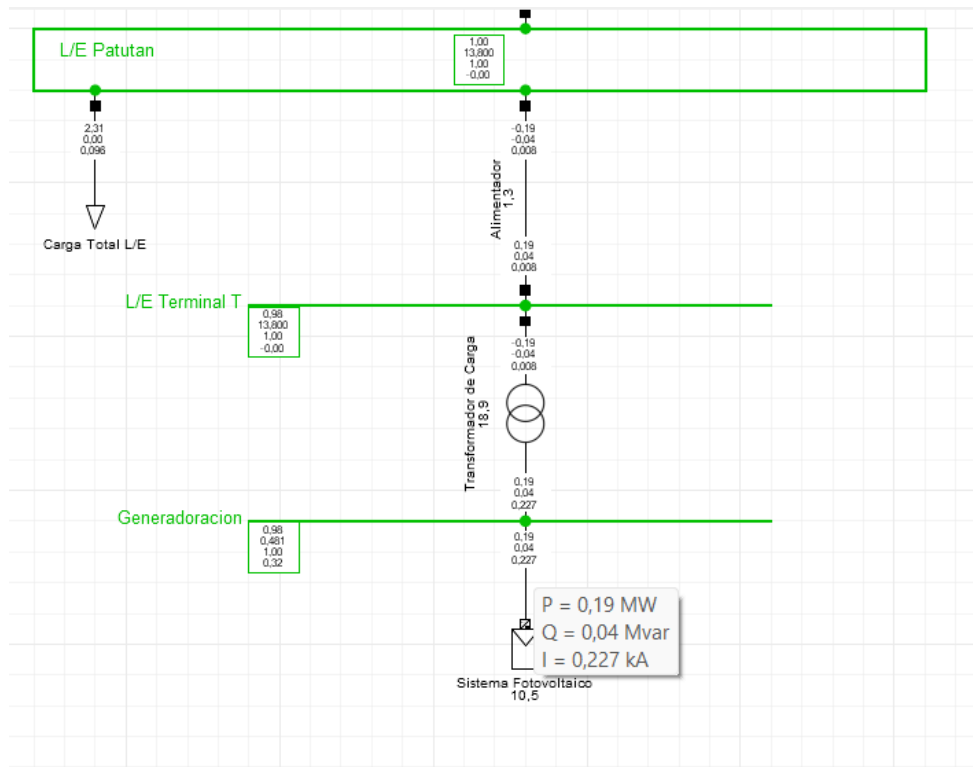


Figura 13. Diagrama del sistema fotovoltaico.

En la figura 13 se puede observar el funcionamiento del sistema fotovoltaico el cual esta simulado para las 11am, produciendo 0.19 MW en ese horario, en la figura 14 se observa la producción diaria de energía.

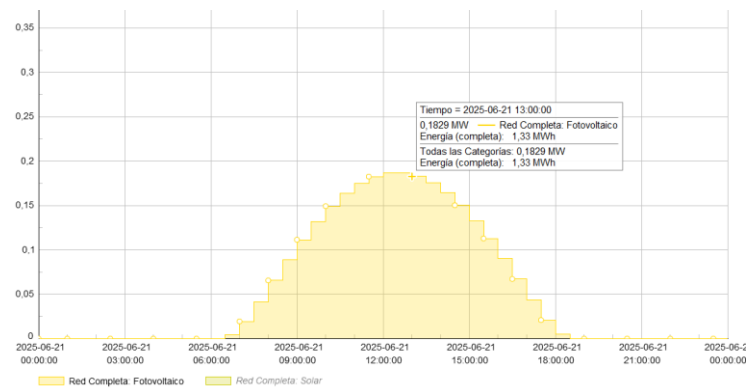


Figura 14. Calculo solar

Se puede observar que la figura 14 cuenta con la radiación solar durante el día en el cual se establece desde las 6:30 am a 6:30 pm.

5.3.3 Simulación a la red

En la figura 15 se observa el ingreso de la energía fotovoltaica a la red eléctrica.

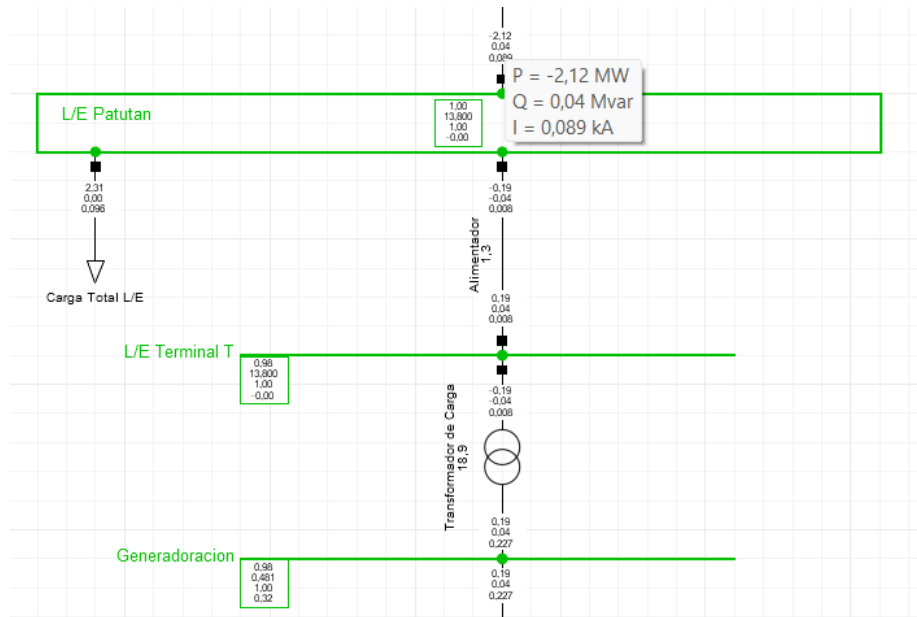


Figura 15. Alimentación a la red del sistema fotovoltaico.

En la figura 15 se puede observar que el sistema fotovoltaico alimenta a la red pública por ende baja la potencia de la red a 2.12 MW, por datos obtenidos de la empresa eléctrico provincial se tiene que la línea de distribución cuenta con una potencia nominal de 2.3 MW lo que indica que el sistema si suministra de energía a la red.

La generación durante el día es de 1.33 MWh, con una producción de 0.1866 MW, el programa también nos permite simular un día específico, como también la producción total de energía en la Red que se observa en la figura 16.

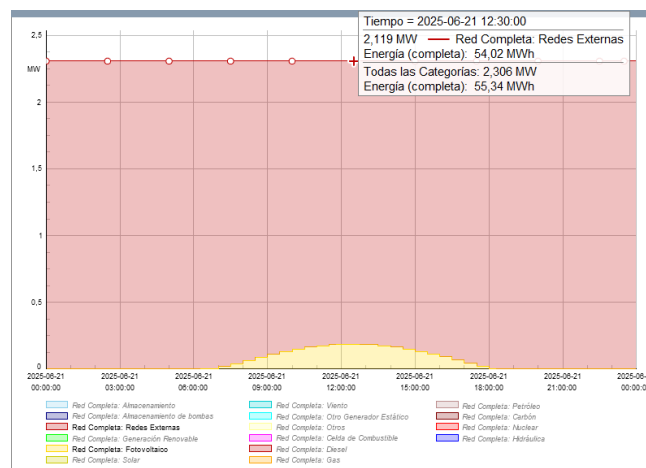


Figura 16. Simulación total del sistema en un día.

En la figura 16 podemos observar las distintas fuentes de generación, el software permite realizar varias simulaciones de energías renovables y no renovables, para este estudio tenemos dos fuentes de energía como son la red externa o red pública y la planta fotovoltaica, que de igual manera durante el día va variando su producción de energía

5.4 FACTIBILIDAD DE LA RED

El proyecto tiene una duración de 20 años, en el cual entre las siguientes características.

5.4.1 ANÁLISIS ECONÓMICO

- El presupuesto del sistema fotovoltaico lo tenemos en la tabla 20.

Tabla 20 Costo Sistema Fovovoltaico

Componente	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)	Notas
Paneles solares 720W	480	350	168000	Trina solar
Inversores 100 kW	3	8000	24000	Huawei/SMA
Estructuras de montaje	1	64000	64000	Acero galvanizado
Cables DC (10 AWG)	1	2250	2250	PV1-F
Cables AC (3/0 AWG)	1	1160	1160	THHN
Breakers y protecciones	1	15000	15000	ABB/Siemens
Puesta a tierra	1	8000	8000	Cobre 2/0 AWG
Instalación (mano de obra)	1	4270	4270	Incluye diseño
Subtotal FV		\$	286680	286.680 k

En la tabla 20 podemos ver lo que son los costos de instalación del sistema fotovoltaico, sus principales componentes y características.

Inversión inicial alta: Costos de equipos (paneles, inversores, medidor bidireccional).

Instalación certificada (ingeniería, permisos ARCONEL/ARCERNNR).

Limitaciones de la Resolución ARCONEL-003/2024:

Periodo de recuperación largo: Si tu consumo es bajo, la compensación no justifica la inversión.

- Sistema de Carga Eléctrica

Para este sistema su funcionamiento vario.

Para nuestro sistema de carga podemos observar los siguientes precios en la tabla 21.

Tabla 21. Costos del Sistema de Carga Eléctrico.

Componente	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)	Notas
Autobus BYD K9G FLYER	16	400000	6400000	BYD
Cargadores BYD/Siemens 80 kW	2	40000	80000	Pantógrafo
Transformador 400 kVA	1	35000	35000	13.8 kV/440V
Cables 250 MCM (480V)	1	1200	1200	THHN
Breakers 400A	2	1500	3000	Siemens
Instalación eléctrica	1	20000	20000	Incluye obras civiles
Subtotal Carga		\$	6539200	6.5392 M

En la tabla 21 están los costos del sistema de carga eléctrico en el cual ya está incluido los buses eléctricos que son más del 70% del costo total de instalación.

- Conexión a la red pública

Para el costo de inyección de la instalación a la red pública tenemos los siguientes valores en la tabla 22.

Tabla 22. Costo de instalación para inyección a la red Pública.

Componente	Costo (USD)	Notas
Permisos ARCONEL	5000	Trámites regulatorios
Medidor bidireccional	3000	Para inyección a red
Cableado ACSR (13.8 kV)	8000	100 m
Subtotal Conexión	16000	\$ 16 k

En la tabla 22 se observa el costo de la instalación del equipo, y trámites para suministrar energía a la red pública.

- Costo estimado

En la siguiente tabla 23 podemos observar el costo estimado del proyecto total.

Tabla 23. Costo Estimado del Proyecto.

Sistema	Costo (USD)	Costo (USD)
Fotovoltaico	286680	0.2866 M
Carga de buses	6539200	6.5392 M
Conexión a red	16000	0.016 M
Total	6841880	6.8418 M

En la tabla 23 se observa un presupuesto de \$ 6.8418 M de dólares el cual está dividido en sistema fotovoltaico, sistema de carga a autobuses y conexión a la red que son los permisos necesarios.

- WACC

En la tabla 24 podemos ver el cálculo WACC para ver la rentabilidad.

Tabla 24 Calculo de rentabilidad WACC.

Concepto	Valor	Fórmula/Explicación
1. Valor total del proyecto (V)	6 841 880	Suma de todos los componentes
Sistema fotovoltaico	286.68	Dato inicial
Carga de buses	6 539 200	Dato inicial
Conexión a red	16	Dato inicial
2. Supuestos Financieros		
Porcentaje deuda (D/V)	70%	Supuesto típico
Porcentaje capital propio (E/V)	30%	Supuesto típico
Costo de deuda (rD)	8%	Supuesto típico
Costo de capital propio (rE)	12%	Supuesto típico
Tasa de impuesto (Tc)	22%	Impuesto a la renta en Ecuador
3. Cálculo de montos		
Monto deuda (D)	$70\% * V = 4\,789\,316$	$=0.7*6\,841\,880$
Monto capital propio (E)	$30\% * V = 2\,052\,564$	$=0.3*6\,841\,880$
4. Cálculo de WACC		Fórmula
Parte de capital	$E/V * rE = 3.6\%$	$0.3*0.12$
Parte de deuda	$D/V * rD * (1 - Tc) = 4.368\%$	$0.7*0.08*(1-0.22)$
Resultado final – WACC	7.97%	3.6% + 4.368%

El cálculo de la tabla 24 WACC se lo realizo con un supuesto financiero en el cual para que este proyecto sea rentable debe tener las siguientes características, que el Porcentaje deuda (D/V) sea del min 70%, Porcentaje capital propio (E/V) 30% min, el resto se mantenga en esos estados.

- Para el TIR y VAN

Generación 1.33 MWh

Energía Anual 485.45MWh/año

Demanda por ecuación 1 = 1123.2kWh/día (1.123 MWh/día) =409.9 MWh/año.

Ingreso por pasajeros 40 dólares de lunes a viernes y sábado 60 dólares.

- Total, Ingresos por Pasajeros de 16 unidades: \$ 225.520 K dólares/año

Pago de mantenimiento \$ 2000 USD/año

Seguridad \$ 7200 USD/año

Y los datos de la tabla 21.

Costo Operario a 60000 km se puede observar en la tabla 25.

Tabla 25. Costo operario a 40690 KM

Consumo L/km	Anual \$	Wh/km	\$/kWh	Anual \$
0.20	9490	1.08	0.12	5273.42

Se observa en la tabla 25 Ahorro anual eléctrico: \$9490 (diésel) - \$5273.42 (eléctrico) = \$4216.58 por bus/año, el total de 16 autobuses es de \$ 67.4653 k dólares año.

Mantenimiento anual es de la mitad de un bus eléctrico al ser el bus eléctrico mas simple

- Bus Diésel: \$15000 - \$20000/año (filtros, aceite, frenos, reparaciones).
- Bus Eléctrico: \$7000 - \$10000/año (sistema más simple).
- Ahorro anual: \$8000 - \$10000 por bus.

Flujo de carga se puede observar en la tabla 26.

Tabla 26. Flujo de caja

Año	Inversión Inicial	Ahorro Energético	Ingresos Pasajeros	Valor Residual	Flujo Neto
0	-6841880	-	-	-	-6841880
1-19	-	413280	225520	-	638800
20	-	413280	225520	684188	1322988

En la tabla 26 se observa el flujo de carga en el cual la inversión inicial es de \$ -6.8418 M, el ahorro energético, ingreso de pasajeros, valor residual y el flujo

VAN (5%) = \$2.52 millones.

- Muy rentable a esa tasa.

TIR = 9.9%

- Tasa mínima aceptable de retorno es 10%.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

La transición hacia el transporte eléctrico a nivel global refleja un compromiso con la sostenibilidad y la reducción de emisiones contaminantes. Los buses eléctricos, junto con sus sistemas de carga, han evolucionado para ofrecer autonomías extendidas y tecnologías de carga eficientes, como carga rápida y sistemas con pantógrafo. Sin embargo, su implementación requiere adaptaciones de infraestructura y planificación urbana. Esta migración no solo disminuye la contaminación ambiental, sino que también impulsa innovaciones tecnológicas y nuevas energías renovables, marcando un paso crucial hacia sistemas de movilidad más limpios y eficientes. Su éxito dependerá de políticas integradas, inversión en tecnología y la optimización de redes de carga.

Se estableció la línea de distribución de energía La Calera – La Brigada, donde existe una disponibilidad de potencia de 5 MW y actualmente la potencia nominal ocupada es de 2.3 MW, mediante la simulación se observa, que cuando los cargadores de los buses se conectan a la red, la carga del sistema aumenta hasta 2.46 MW, lo que demuestra que la red puede soportar la carga y es estable.

Al evaluar la capacidad de la inyección del sistema fotovoltaico a partir de la demanda diaria, se pudo establecer que existe una entrega en función de los niveles de radiación, que puede oscilar en función del día, con un valor que va desde 68 kW a las 8 am a 0.199 MW a las 12 pm para una potencia de consumo es de 1.186 MWh/día, la producción del sistema se estima en 1.33 MWh/día y el excedente se inyecta a la red con los beneficios que aporta la Normas de Regulación ARCONEL Resolución NRO. ARCONEL-003/2024, para caso 1 en sistemas de generación menores a 1 MW.

Al evaluar el VAN al 5% de interés con un valor de - \$ 2.52 millones, se ha precia una rentabilidad del proyecto con una TIR de 9.9%, la cual cumple con la tasa mínima de retorno, esto significa que el proyecto no es viable desde el punto de vista económico, a pesar de requerir un apoyo en la inversión inicial por parte del estado debido al valor del VAN. En la justificación del proyecto se debe considerar no solo aspectos económicos, sino su impacto en la reducción de la contaminación ambiental urbana y en el ámbito social, dando respuesta así al Plan Nacional de Calidad del Aire 2022, en Ecuador, que busca mejorar la gestión ambiental del aire para proteger la salud humana y el ambiente, contribuyendo al mejoramiento de la calidad de vida de la población.

6.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar alianzas con sectores como son el público y privado, aprovechar programas de subsidios nacionales e internacionales para garantizar la operatividad de la flota, un alto TIR a largo plazo con lleva riesgos altos que proyectos a corto plazo, aunque el proyecto es viable se debe tener en cuenta los costos iniciales para minimizar gastos.

La implementación de buses eléctricos en el transporte público requiere un enfoque estratégico y gradual debido a su elevada inversión inicial. Se recomienda un proyecto piloto que incluya un número limitado de unidades, lo que permitirá evaluar su rendimiento real, y evitar gastos innecesarios.

7 REFERENCIAS

- [1] “Dióxido de azufre (SO₂) | Publicaciones | Induanalisis, Laboratorio, monitoreo, consultoría y equipo. Bucaramanga - Col.” Consultado: el 5 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/_dioxido_de_azufre_so2_22
- [2] “Perspectivas mundiales de vehículos eléctricos para 2020: análisis - AIE”. Consultado: el 5 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>
- [3] C. Morente Fernández y J. P. Guerra, “ANÁLISIS Y MODELADO DEL COMPORTAMIENTO DE BATERÍAS PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS”.
- [4] V. A. Schulze-Boysen y V. A. Schulze-Boysen, “La electrificación del transporte público: retos y oportunidades para Costa Rica”, *Cuadernos de Investigación UNED*, vol. 11, núm. 1, pp. 48–52, 2019, Consultado: el 30 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-42662019000100048&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- [5] Agencia de Regulación y Control de Electricidad, “Regulacion-ARCONEL-001-21Codigo-de-Conexion”, p. Resolución ARCONEL-003/2024, 2024.
- [6] F. I. Enrique Maldonado-Páez, I. I. Superior Tecnológico Francisco de Orellana Diego Javier Gadvay-Ushiña, I. Superior Tecnológico Francisco de Orellana Ángel Guillermo Masaquiza-Yanzapanta III, y J. I. Carlos Jima-Matailo, “Instituto Superior Tecnológico Guayaquil”, vol. 5, pp. 689–705, 2020, doi: 10.23857/pc.v5i8.1618.
- [7] Higgs J., “Vista de John Higgs. Historia alternativa del siglo XX. Más extraño de lo que cabe imaginar. Madrid, Taurus, 2015, 353 páginas”. Consultado: el 29 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://e-revistas.uc3m.es/index.php/HISPNOV/article/view/3518/2154>
- [8] D. G. Chele Sancan, “Vehículos híbridos, una solución interina para bajar los niveles de contaminación del medio ambiente causados por las emisiones provenientes de los motores de combustión interna”, *INNOVA Research Journal*, vol. 2, núm. 12, pp. 1–10, dic. 2017, doi: 10.33890/innova.v2.n12.2017.527.
- [9] A. Taxi, E. Jaramillo, W. E. Revista Espacios, W. E. J. Sangurima, y W. E. Jaramillo, “Taxis eléctricos en la ciudad de Loja-Ecuador Electric taxis in the city of Loja-Ecuador

- Contenido”. [En línea]. Disponible en:
<https://www.researchgate.net/publication/333891109>
- [10] L. C. G. Hdez, M. S. Serna, E. S. Rodríguez, A. G. Narvaez, P. C. Ríos, y G. R. Morales, “Registrador de energía fotovoltaica inyectada a la red eléctrica mediante LabView”, *Pistas Educativas*, vol. 36, núm. 112, abr. 2018, Consultado: el 30 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en:
<https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/view/421>
- [11] “LEY ORGÁNICA DE TRANSPORTE TERRESTRE TRÁNSITO Y SEGURIDAD VIAL”, en *Asamblea Nacional del Ecuador.*, Quito, feb. 2021, p. Suplemento del Registro Oficial No. 190. [En línea]. Disponible en: www.lexis.com.ec
- [12] We Connect Corp, “SULTANA | We Connect”. Consultado: el 8 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.weconnect.com.ec/sultana>
- [13] AIE (2024), “Trends in heavy electric vehicles – Global EV Outlook 2024 – Analysis - IEA”. Consultado: el 7 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024/trends-in-heavy-electric-vehicles>
- [14] X. Wang *et al.*, “A critical review on thermal management technologies for motors in electric cars”, *Appl Therm Eng*, vol. 201, p. 117758, ene. 2022, doi: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2021.117758.
- [15] “‘El uso de motores altamente eficientes en la industria reduciría el consumo global de electricidad en un 10%’ | News center | ABB”. Consultado: el 30 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://new.abb.com/news/es/detail/82715/el-uso-de-motores-altamente-eficientes-en-la-industria-reduciria-el-consumo-global-de-electricidad-en-un-10>
- [16] SAE International, “Desarrollo de motores eléctricos Rotax y Can-Am”. Consultado: el 7 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.sae.org/news/2025/06/rotax-in-house-ev-development>
- [17] “Vista de Autos eléctricos para el medio ambiente”. Consultado: el 6 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en:
<https://revistas.itsup.edu.ec/index.php/sinapsis/article/view/299/2058>

- [18] B. Jones, F. Acuña, y V. Rodríguez, “Cadena de valor del litio: análisis de la cadena global de valor de las baterías de iones de litio para vehículos eléctricos”. [En línea]. Disponible en: www.cepal.org/apps
- [19] C. De Ingeniería *et al.*, “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE MATRIZ CUENCA ‘SELECCIÓN DEL MOTOR ELÉCTRICO, CONTROLADOR Y BATERÍA PARA EL VEHÍCULO FORMULA SAE DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA’ Autores”, 2016.
- [20] Industronic, “Baterías de Plomo Ácido | BPA-12V210Ah | Grupo Industronic”. Consultado: el 30 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://grupoindustronic.com/producto/baterias-ups-de-plomo-acido-210/>
- [21] J. S. Lascano *et al.*, “Estimación de la Demanda de una Estación de Carga para Vehículos Eléctricos Mediante la Aplicación de Métodos Probabilísticos”, *Revista Técnica energía*, vol. 20, núm. 1, pp. 52–64, jul. 2023, doi: 10.37116/REVISTAENERGIA.V20.N1.2023.569.
- [22] J. Lascano, L. Chiza, R. Saraguro, C. Quinatoa, y J. Tapia, “Estimación de la Demanda de una Estación de Carga para Vehículos Eléctricos Mediante la Aplicación de Métodos Probabilísticos”, *Revista Técnica “energía”*, vol. 20, núm. 1, pp. 52–64, jul. 2023, doi: 10.37116/REVISTAENERGIA.V20.N1.2023.569.
- [23] P. Amoedo, M. Romero, S. Junco, A. V. Sieber, y D. Alba, “Convertidor electrónico multipropósito para la enseñanza de la electrónica de potencia”.
- [24] C. V. M. M. W. Méndez Cuello Andy, “Vista de Diseño del Sistema de Freno Regenerativo de Automóviles Híbridos”. Consultado: el 7 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/451/pdf
- [25] M. D. Rojas Lozano, “Estrategias para la disminución del impacto ambiental de los vehículos eléctricos fabricados con materiales convencionales”, el 28 de octubre de 2017, *Fundación Universidad de América*. Consultado: el 6 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11839/7040>
- [26] W. A. Hidalgo Osorio, P. J. Vásquez Carrera, G. G. Carrillo Velarde, y F. G. Vásquez Carrera, “Energías Renovables”, *Energías Renovables*, 2021, doi: 10.33262/CDE.7.

- [27] Sunpal, “Más allá de la luz visible: La utilización del espectro solar revoluciona la eficiencia energética”. Consultado: el 7 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.sunpalsolar.com/es/mas-alla-de-la-luz-visible-la-utilizacion-del-espectro-solar-revoluciona-la-eficiencia-energetica/>
- [28] Seven Sensor, “Factores que afectan el rendimiento de las plantas fotovoltaicas | Seven Sensor”. Consultado: el 7 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.sevensensor.com/es/factores-que-afectan-el-rendimiento-de-las-plantas-fotovoltaicas>
- [29] M. Patricio, L. Barragán, J. Eduardo, y M. Velásquez, “ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN INVERSOR DE CONEXIÓN A LA RED (GRID-TIE INVERTER) PARA PANELES FOTOVOLTAICOS PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y CONTROL”, Quito, jun. 2015.
- [30] S. R. Madeti y S. N. Singh, “Monitoring system for photovoltaic plants: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 67, pp. 1180–1207, ene. 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.09.088.

8 ANEXOS

Anexo 1. Respuesta de datos por parte de la empresa eléctrica (ELEPCO S.A.)

25/7/25, 10:47

Carbonio

Carbonio

Judy.quevedo@elepcosa.com.ec

Información técnica alimentador 1 SE San Rafael

From: Elizabeth Quevedo <judy.quevedo@elepcosa.com.ec >


vie., jul. 25, 2025 10:38 AM

Subject: Información técnica alimentador 1 SE San Rafael

To: alex arequipa8913 <alex.arequipa8913@utc.edu.ec > , secundino marrero <secundino.marrero@utc.edu.ec >

Cc: Ivan Mena <ivan.mena@elepcosa.com.ec >

Attachments:

 ANEXO 1 DATOS DE SAN RAFAEL 1.ABIX

 ANEXO 1.PDF

Estimados,

En atención a lo solicitado mediante oficio N° UTC-IELE-2025-007, remito la información.

- Longitud de línea: Anexo 1
- Potencia demanda 24 horas: Anexo 2
- Potencia instalada: Anexo 1
- Capacidad de la línea: Anexo 1
- Voltaje línea-línea: 13.800 V
- Corriente nominal: 280 A
- Factor de potencia: 0,96
- Número de transformadores instalados: Anexo 1
- Cantidad de clientes conectados: Anexo 1

Quedo atenta a sus comentarios e inquietudes.

Saludos cordiales,

Elizabeth Quevedo I.
PLANEAMIENTO OPERATIVO - CCL
DIRECCIÓN DE DISTRIBUCIÓN

Márquez de Maenza y Quijano y Ordoñez
032 994440 ext. 3501
Código postal: 050104/ Latacunga-Ecuador
www.elepcosa.com.ec

 **Empresa Eléctrica
Provincial Cotopaxi S.A.**

mail.elepcosa.com.ec

Anexo 2. Características del PowerFactory 2024

a) Modelado Avanzado de Plantas FV

Generadores solares (PV Systems):

- Para modelado de inversores FV (tipo PQ, droop control, o grid-forming).
- Para curvas de eficiencia con normas IEC 61853-1 [38].

Plantas a gran escala:

- Simulación de parques solares: múltiples strings y con configuraciones de racking [38].
- Modelos de sombreado para simulación de escenarios en donde este ambiente nublado, parcial (partial shading) y degradación de paneles por tiempo [38].

b) Cálculo de flujo de Carga y Estabilidad en Redes con sistemas Fotovoltaicos.

- Análisis de flujo de la potencia (Load Flow)
- Impacto de la generación Fotovoltaico en el perfil de voltaje y pérdidas en diferentes escenarios[38].

c) Estabilidad transitoria:

- Simulación de fault ride-through (FRT) según normativas (IEC 62116, NEC)[38].
- Análisis de islanding y respuesta a huecos de tensión (voltage dips).

d) Integración con Almacenamiento (BESS) y Gestión de Energía

- Para un modelado híbrido con almacenamiento (Li-ion, flujo redox).
- Para estrategias de peak shaving y ramping control.
- Para optimización económica con herramientas para despacho óptimo considerando tarifas eléctricas y curvas de generación FV.

e) Análisis de Calidad de Energía (Power Quality)

- Para armónicos con evaluación de distorsión armónica (THD) por inversores FV [38].
- Para Flicker y variaciones de voltaje con simulación de impactos en redes débiles con alta penetración FV[38].

f) Compatibilidad con Normativas Internacionales

- Para conexión a red con cumplimiento de normas IEEE 1547-2018, IEC 61727, y códigos locales (como la RTE INEN 1106 en Ecuador) [38].

g) Las nuevas Novedades en PowerFactory 2024

- Nueva y mejor Interfaz gráfica mejorada, con visualización en 3D de plantas solares, con automatización con Python.

Anexo 3. Panel 720W

1) Data de PVsyst panel de 720 W.

Potencia nom. Wp Tol. -/+ %
 (en STC)
Tecnología

Especificaciones del fabricante o otras medidas

Condiciones de referencia GRef W/m² TRef °C ?
 Corriente de cortocircuito Isc A Circuito abierto Voc V
 Punto de Máxima Pot. Imp A Vm V
 Coeficiente de temperatura muIsc mA/°C Núm células en serie x
 o muIsc %/°C

Herramienta de resultado del modelo interno

Condiciones de operación GOper W/m² TOper °C ?
 Punto de Máxima Pot. Pm W ?
 Corriente Imp A Coef. temper. %/°C
 Corriente de cortocircuito Isc A Voltaje Vm V
 Eficiencia / Área células % Circuito abierto Voc V
 / Área módulo %

2) Data Vertex N paneles



N-type i-TOPCon Bifacial Dual Glass Monocrystalline Module

ELECTRICAL DATA (STC & NOCT & BNPI)																		
Testing Condition	STC			NOCT			BNPI			STC			NOCT			BNPI		
Peak Power Watts- $P_{MAX}(Wp)^*$	700	534	776	705	540	781	710	543	787	715	547	792	720	551	798	725	555	801
Power Selection (W)**	0 ~ +5																	
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	40.5	38.0	40.5	40.7	38.3	40.7	40.9	38.5	40.9	41.1	38.7	41.1	41.3	38.8	41.3	41.5	39.0	41.5
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	17.29	14.04	19.15	17.33	14.08	19.19	17.36	14.12	19.23	17.40	14.14	19.28	17.44	14.19	19.32	17.47	14.23	19.36
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	48.6	46.1	48.6	48.8	46.3	48.8	49.0	46.5	49.0	49.2	46.7	49.2	49.4	46.9	49.4	49.6	47.1	49.6
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	18.32	14.76	20.30	18.36	14.80	20.34	18.40	14.83	20.39	18.44	14.86	20.43	18.49	14.90	20.49	18.54	14.94	20.54
Module Efficiency η_m (%)	22.5			22.7			22.9			23.0			23.2			23.3		

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass 1.5. NOCT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s. BNPI: Irradiance: front 1000W/m², rear 135W/m², Temperature 25°C, Air Mass 1.5
 *Measuring tolerance: ±3%. **Power selection up to: +3%.

Electrical characteristics with different power bin (reference to 5% & 10% backside power gain)												
Backside Power Gain	5%		10%		5%		10%		5%		10%	
Peak Power Watts- $P_{MAX}(Wp)$	735	770	740	776	746	781	751	787	756	792	761	798
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	40.5	40.5	40.7	40.7	40.9	40.9	41.1	41.1	41.3	41.3	41.5	41.5
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	18.15	19.02	18.20	19.06	18.23	19.10	18.27	19.14	18.31	19.18	18.34	19.22
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	48.6	48.6	48.8	48.8	49.0	49.0	49.2	49.2	49.4	49.4	49.6	49.6
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	19.24	20.15	19.28	20.20	19.32	20.24	19.36	20.28	19.41	20.34	19.47	20.39

Power Bifaciality: 80±5%.

Anexo 4. Data del inversor SUN2000-100KTL-M0-480Vac de la marca HUAWEI

Efficiency	
Max. Efficiency	98.9%
European Efficiency	98.7%
Input	
Max. Input Voltage	1,100 V
Max. Current per MPPT	22 A
Max. Short Circuit Current per MPPT	30 A
Start Voltage	200 V
MPPT Operating Voltage Range	200 V ~ 1,000 V
Rated Input Voltage	720 V
Number of Inputs	12
Number of MPP Trackers	6
Output	
Rated AC Active Power	60,000 W
Max. AC Apparent Power	66,000 VA
Max. AC Active Power (cosφ=1)	66,000 W
Rated Output Voltage	480 V, 3W + PE
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz
Rated Output Current	72.2 A
Max. Output Current	79.4 A
Adjustable Power Factor Range	0.8 LG ... 0.8 LD
Max. Total Harmonic Distortion	<3%

Anexo 5 Protecciones del sistema

A continuación, se puede observar las protecciones que se tomara en cuenta para el proyecto de investigación.

Etapa	Componente	Protección	Especificación Técnica
Generación CC	Strings (720W × 1029)	Fusibles gPV/Class T	20A DC, 1000V (1.25 × I _{sc})
	Combiner Boxes	Disyuntor CC + SPD Tipo 2	250A DC, 1000V / 20kA
Inversores	Salida CA (480V)	Disyuntor termomagnético	125-160A (por inversor 60-75kW)
		SPD Tipo 2	40kA, 480V AC
Cargadores	Alimentación (80 kW c/u)	Disyuntor motorizado	150A, 480V AC (protección contra arcos)
AC Principal	Cuadro General (480V)	Disyuntor principal	1200A, 480V AC (termomagnético)
		Prot. diferencial (RCD)	300mA-1A (selectivo)
		SPD Tipo 1+2	50kA, 480V AC (protección entrada MT)

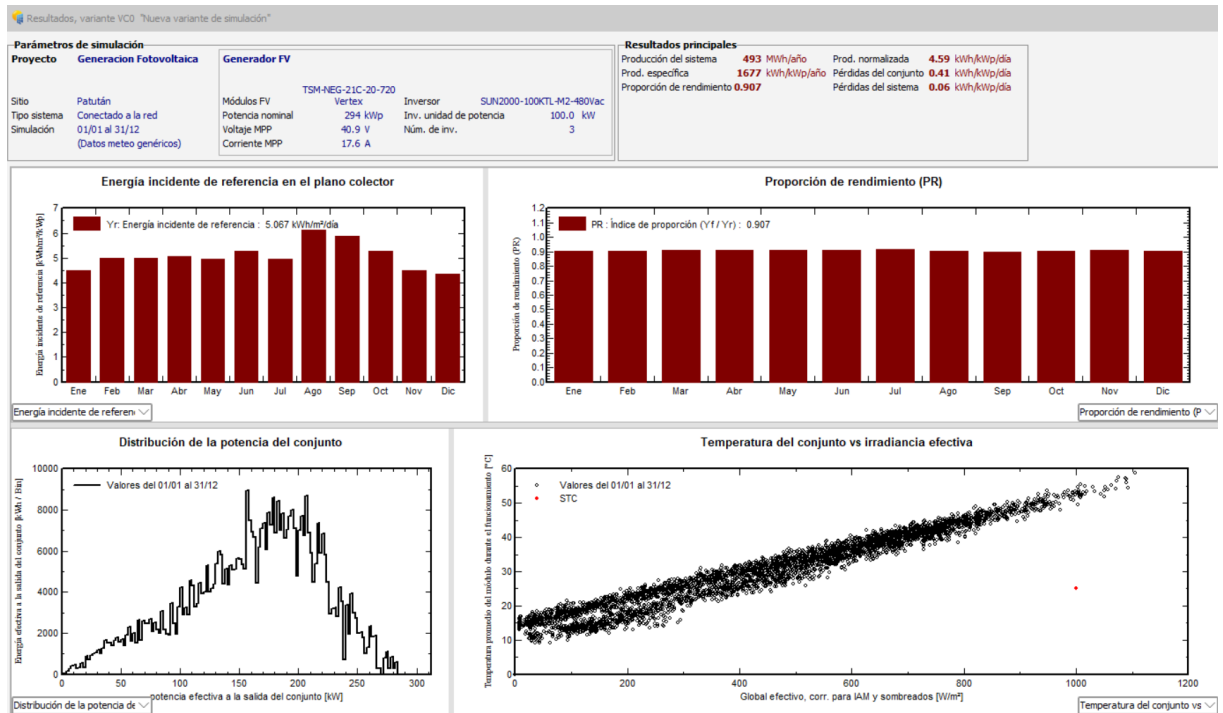
Transformador	Primario (480V)	Relé térmico + Protección diferencial	Ajuste 125% Inom (ej. 1000A)
	Secundario (13.8 kV)	Interruptor MT	SF6 o vacío, 630A, 20kA
		Relé de sobrecorriente (ANSI 50/51)	Ajuste 150% Inom

Anexo 6

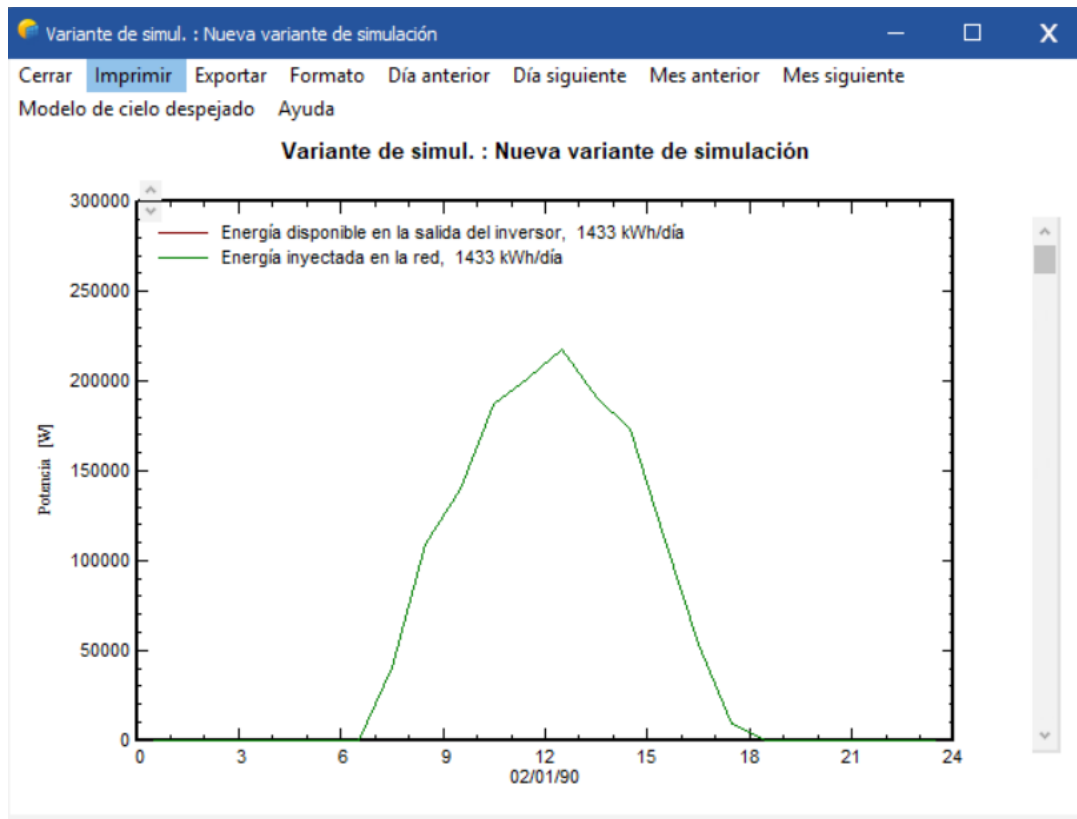
Tiempos de carga de cargadores de 80 KW y 150 KW

Parámetro	Carga a 80 kW	Carga a 150 kW
Tiempo (20% → 80%)	~3.5 horas	~1.3 horas
Tiempo (0% → 100%)	~4.5 horas	~2.2 horas
Corriente (A)	115.2 A	312 A
Tasa de carga (C-rate)	~0.15 C	~0.46 C
Eficiencia energética	~92-95% (pérdidas: 5-8%)	~90-93% (pérdidas: 7-10%)
Impacto en batería	Degradación mínima (ideal para uso diario)	Degradación moderada (uso ocasional)

Anexo 7. Simulación del sistema en PVsyst

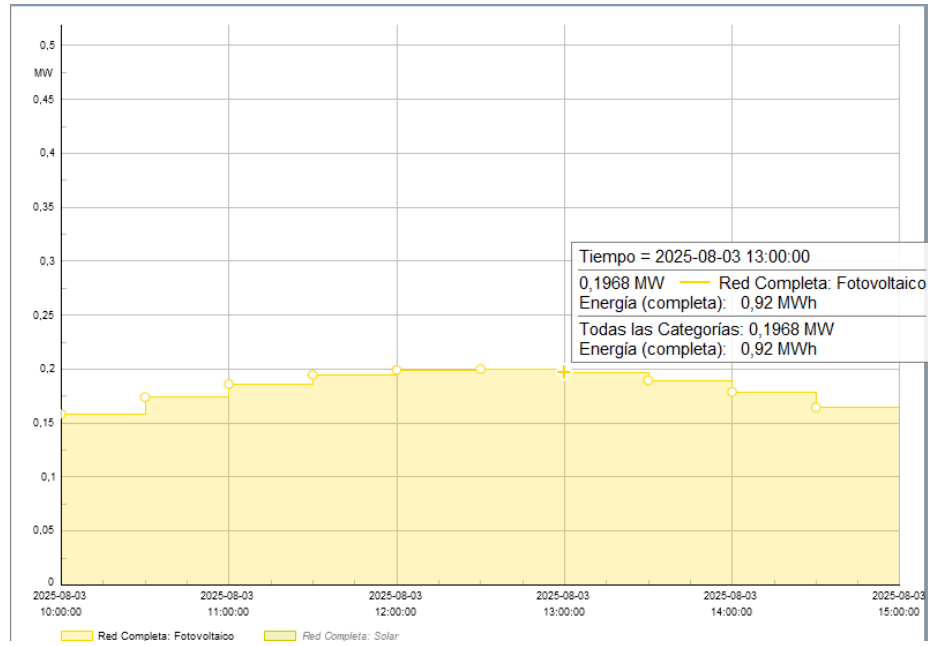


Anexo 8. Simulación de un día de generación.

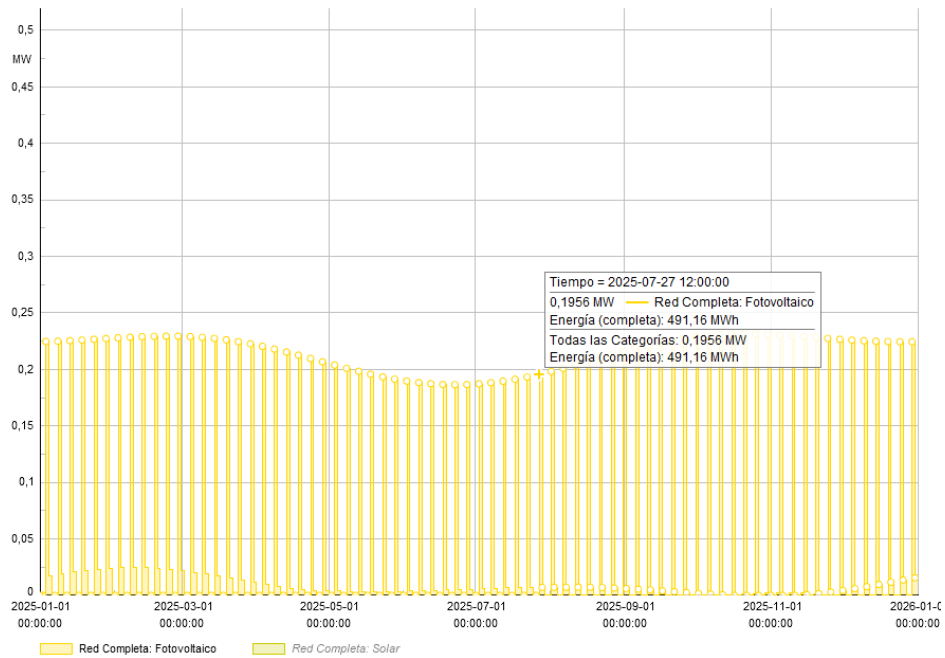


Anexo 9. Simulación en horas definidas.

1) Simulación de generación de 10am a 3pm, (1.33-0.92) = 0.41MWh



2) Simulación esDIGSILENT PowerFactory en un año de funcionamiento.



3) Energía útil 492.630 MWh de un año PVsyst.

