

Universidad Internacional del Ecuador

Escuela de Ingeniería Automotriz



Tema:

**Reutilización de las Baterías de Tracción de Níquel-Hidreto
Metálico (NiMH) en la Generación de Energía Alternativa para
un Taller Automotriz.**

Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniera en Mecánica Automotriz

Lenine Mickaela Fernandes Dib

Director:

Ing. Fernando Gómez Berrezueta, MsC.

Guayaquil-Ecuador

Septiembre, 2021

Universidad Internacional del Ecuador Escuela de Ingeniería Automotriz**Certificado****Ing. Fernando Gómez Berrezueta, MsC.****CERTIFICA**

Que el trabajo titulado “Reutilización de las Baterías de Tracción de Níquel-Hidreto Metálico (NiMH) en la Generación de Energía Alternativa para un Taller Automotriz.”, realizado por la estudiante: Lenine Mickaela Fernandes Dib, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple las normas estatutarias establecidas por La Universidad Internacional del Ecuador, en el Reglamento de Estudiantes.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional. El mencionado trabajo consta de un empastado que contiene toda la información de este trabajo. Autoriza a la señora Lenine Mickaela Fernandes Dib, que lo entregue a biblioteca de la Escuela, en su calidad de custodia de recursos y materiales bibliográficos.

Guayaquil, septiembre 2021

Ing. Fernando Gómez Berrezueta, MsC.

Director de Proyecto

Universidad Internacional del Ecuador**Escuela de Ingeniería Automotriz****Certificado y Acuerdo de Confidencialidad**

Yo, Lenine Mickaela Fernandes Dib, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet; según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

Lenine Mickaela Fernandes Dib

Pasaporte: YE348184

Dedicatoria

Dedico ese proyecto a Dios, que me permitió tener vida y salud para alcanzar el mayor anhelo en culminar mi carrera universitaria.

La conclusión de ese proyecto es reflejo de mi dedicación y perseverancia que, diariamente fueron renovadas por el amor de mi madre, mi hija y mi esposo, que me dieron la fortaleza física y mental para concluir mi jornada.

Agradecimiento

Agradezco primeramente a Dios, que me forneció vida, salud física y mental, y un gran deseo de proseguir mis sueños académicos.

A mi madre, que me ayudó con su apoyo emocional e incondicional, tan necesario a lo largo de los años, me enseñó la humildad y la perseverancia.

A mi esposo, que me brindó con la confianza, el apoyo logístico, la comprensión, y el tiempo necesario para la dedicación íntegra a mis estudios, además de aportar con conocimiento técnico y una experiencia de vida me fueron muy útiles para la conclusión de mi carrera.

Agradezco también el apoyo y colaboración a quien ha sido mi orientador durante todo el desarrollo del proyecto, Ing. Fernando Gómez Berrezueta.

A todos ellos, muchas gracias.

Resumen

La tecnología de los vehículos eléctricos e híbridos ha demostrado una solución viable para la problemática relacionada a la quema de combustibles fósiles, y consecuentemente en la reducción de las emisiones de gases contaminantes. Pero, conciliar el avance tecnológico y el medio ambiente ha sido un verdadero reto para la industria, principalmente en lo que se refiere al reciclaje y reutilización de las baterías de alto voltaje. El presente Proyecto de Titulación, promueve la elaboración y aplicación de un método de generación de energía alternativa, considerando todos los aspectos técnicos, mediante un proceso lógico y ordenado. El estudio se funda en la implementación de las baterías de tracción, inútiles para su aplicación automotriz pero que, en su Segunda Vida, tienen alta capacidad energética para un sistema estacionario. El principal objetivo es captar la energía solar por medio de celdas fotovoltaicas, almacenarlas en los módulos de iones de litio y promover una alimentación energética sostenible y amigable con el medio ambiente. El proyecto será aplicado al sistema de aire acondicionado de un taller automotriz de la ciudad de Guayaquil, considerando los aspectos económicos de la energía verde, la reutilización de las baterías de tracción, además de mejorar la huella de carbono en el mundo, resultará en una expresiva reducción financiera en los gastos mensuales de utilización de energía eléctrica del Tecnicentro. A continuación, se revisan los conceptos inherentes al sistema.

Palabras clave: baterías, sostenibilidad, estacionario, energía verde, automotriz.

Abstract

The technology of electric and hybrid vehicles has shown a viable solution to the problems related to the burning of fossil fuels, and consequently in the reduction of polluting gas emissions. But, reconciling technological advancement and the environment has been a real challenge for the industry, mainly in regard to the recycling and reuse of high-voltage batteries. This Degree Project promotes the development and application of an alternative energy generation method, considering all technical aspects, through a logical and orderly process. The study is based on the implementation of traction batteries, useless for automotive applications but which, in their Second Life, have high energy capacity for a stationary system. The main objective is to capture solar energy through photovoltaic cells, store them in lithium-ion modules and promote a sustainable and environmentally friendly energy supply. The project will be applied to the air conditioning system of an automotive workshop in the city of Guayaquil, considering the economic aspects of green energy, the reuse of traction batteries, in addition to improving the carbon footprint in the world, will result in an expressive reduction in the monthly costs of using electricity at the Tecnicentro. Next, the concepts inherent to the system are reviewed.

Keywords: batteries, sustainability, stationary, green energy, automotive.

Índice General

Certificado	ii
Certificado y Acuerdo de Confidencialidad	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento	v
Resumen.....	vi
Abstract.....	vii
Índice General	viii
Índice de Tablas	xiii
Índice de Figuras.....	xiv
Capítulo I.....	1
1. Antecedentes.....	1
1.1. Tema de investigación.....	1
1.2. Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema	1
1.2.1. Planteamiento del Problema.....	1
1.2.2. Formulación del Problema.....	2
1.2.3. Sistematización del Problema.....	2
1.3. Objetivos de la Investigación	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. Justificación y Delimitación de la Investigación	3
1.4.1. Justificación Teórica.....	4
1.4.2. Justificación Metodológica.....	4
1.4.3. Justificación Práctica	4
1.4.4. Delimitación Temporal.....	5
1.4.5. Delimitación Geográfica.....	5

<i>1.4.6. Delimitación del Contenido</i>	5
1.5. Hipótesis	6
1.5.1. Variables de Hipótesis	6
<i>1.5.1.1. Variables Independientes</i>	6
<i>1.5.1.2. Variables Dependientes</i>	6
Capítulo II	7
2. Marco Referencial	7
2.1. Marco Teórico	7
<i>2.1.1. Las Sustancias Contaminantes</i>	7
<i>2.1.2. El Efecto Invernadero</i>	8
<i>2.1.3. La Electromovilidad</i>	9
<i>2.1.4. Relación entre la Movilidad Eléctrica y la Sostenibilidad</i>	10
<i>2.1.5. Segunda Vida</i>	12
<i>2.1.6. Energía Solar Fotovoltaica</i>	14
<i>2.1.7. La Normativa Ecuatoriana</i>	15
2.2. Marco Conceptual	15
<i>2.2.1. Second Life (Segunda Vida)</i>	17
<i>2.2.2. Los Vehículos Eléctricos</i>	17
<i>2.2.3. Sistemas Autónomos (Puros)</i>	18
<i>2.2.4. Energía Solar Fotovoltaica</i>	18
<i>2.2.5. Módulos Fotovoltaicos</i>	19
<i>2.2.6. Sistema de Microgeneración Fotovoltaica μSFV</i>	20
Capítulo III	21
3. Diseño de un Sistema de Climatización Alimentado por Energía Solar Fotovoltaica .21	
3.1. El Recurso Solar	22

3.2. La Radiación Solar	23
3.3. El Sistema Solar Fotovoltaico	24
3.3.1. <i>Las Celdas Fotovoltaicas.....</i>	24
3.3.1.1. <i>La Tecnología Cristalina de Silicio (c-Si).....</i>	24
3.3.1.2. <i>La Tecnología de Capa Fina</i>	26
3.3.1.3. <i>La Tecnología Fotovoltaica de Concentración (CPV)</i>	27
3.3.2. <i>Los Módulos Fotovoltaicos</i>	28
3.3.2.1. <i>Características Constructivas de los Módulos Fotovoltaicos</i>	28
3.3.2.2. <i>Las Curvas Características de los Módulos Fotovoltaicos</i>	29
3.3.2.3. <i>Los Factores que Afectan las Características Eléctricas de los Módulos.....</i>	32
3.3.2.3.1. <i>La Irradiancia Solar</i>	32
3.3.2.3.2. <i>La Temperatura.....</i>	33
3.3.2.3.3. <i>El Sombreado y los Puntos Calientes.....</i>	34
3.3.3. <i>La Eficiencia del Panel Solar</i>	35
Capítulo IV	38
4. Estudio, Análisis y Viabilidad del Proyecto.....	38
4.1. Generalidades.....	38
4.1.1. <i>Los Sistemas Fotovoltaicos Conectados en Red (On-grid).....</i>	38
4.1.2. <i>Los Sistemas Fotovoltaicos Autónomos (Off-grid)</i>	39
4.1.2.1. <i>Instalaciones sin Inversor.....</i>	40
4.1.2.2. <i>Instalaciones con Inversor Conectado a la Salida del Regulador de Carga</i>	41
4.1.2.3. <i>Instalaciones con Inversor Conectado al el Sistema de Acumulación</i>	41
4.1.2.4. <i>Instalaciones Híbridas</i>	42
4.2. Los Componentes de los Sistemas Fotovoltaicos Autónomos	43
4.2.1. El Panel Solar o Módulo Fotovoltaico	43

4.2.1.1. <i>Las Conexiones y Asociaciones de los Módulos Fotovoltaicos</i>	44
4.2.1.2. <i>Componentes Agregados al Módulo</i>	46
4.2.1.3. <i>Las Características Comerciales de los Módulos Fotovoltaicos</i>	47
4.2.1.4. <i>Los Criterios de Selección de los Módulos Fotovoltaicos</i>	51
4.2.1.5. <i>Las Pérdidas Eléctricas de los Módulos Fotovoltaicos</i>	52
4.2.2. <i>El Sistema de Almacenamiento de Energía</i>	57
4.2.2.1. <i>Conceptos y Especificaciones de las Baterías</i>	58
4.2.2.1.1. <i>Conceptos y Definiciones Básicas</i>	58
4.2.2.1.2. <i>Condiciones del Estado de la Batería</i>	59
4.2.2.1.3. <i>Especificaciones Técnicas</i>	60
4.2.2.2. <i>Las Baterías de Hidruro Metálico de Níquel (Ni-MH)</i>	62
4.2.2.2.1. <i>Tecnología Ni-MH</i>	63
4.2.2.2.2. <i>El Proceso de Envejecimiento de las Baterías Ni-MH</i>	65
4.2.2.2.3. <i>Ventajas y Desventajas de las Baterías Ni-MH</i>	66
4.2.3. <i>El Regulador/Controlador de Carga</i>	67
4.2.3.1. <i>Dispositivos de Autoprotección del Regulador</i>	69
4.2.3.2. <i>Regulador de Carga en Serie</i>	69
4.2.3.3. <i>Regulador de Carga en Paralelo/Shunt</i>	70
4.2.3.4. <i>Regulador de Carga Electrónico Tipo PMW</i>	71
4.2.3.5. <i>Regulador de Carga con MPPT</i>	71
4.2.4. <i>Los Inversores de Cargas DC-AC</i>	72
4.2.4.1. <i>Las Características Técnicas de los Inversores DC-AC</i>	72
4.2.4.2. <i>La Clasificación de los Inversores DC-AC</i>	74
4.2.4.2.1. <i>El Inversor de Onda Cuadrada</i>	74
4.2.4.2.2. <i>El Inversor de Onda Modificada</i>	75

<i>4.2.4.2.3. El Inversor PMW de Onda Senoidal Pura</i>	75
<i>4.2.5. Cableados y Conductores Eléctricos</i>	76
<i>4.3. El Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico</i>	77
<i>4.3.1. Características Eléctricas Relevantes</i>	78
<i>4.3.2. La Evaluación del Recurso Solar</i>	78
<i>4.3.3. La Demanda Energética</i>	79
<i>4.3.4. Dimensionamiento del Panel Solar</i>	82
<i>4.3.5. Dimensionamiento del Controlador de Carga</i>	84
<i>4.3.6. Dimensionamiento del Inversor</i>	86
<i>4.3.7. Dimensionamiento del Banco de Baterías</i>	86
<i>4.4. Análisis de Factibilidad</i>	88
<i>4.4.1. La Viabilidad Técnica</i>	88
<i>4.4.2. Análisis Económico-financiera</i>	91
Bibliografía	96

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Comparación entre las Distintas Tecnologías Fotovoltaicas</i>	52
Tabla 2 <i>Características Técnicas de la Central de Aire Acondicionado</i>	78
Tabla 3 <i>Consumo Mensual de la Central de A/C</i>	80
Tabla 4 <i>Coefficiente de Pérdidas por Verificación</i>	80
Tabla 5 <i>Características Eléctrica STC</i>	84
Tabla 6 <i>Potencia Fotovoltaica Consumida en Función de la H.S.P</i>	90
Tabla 7 <i>Simulación de Costos Aproximados Bateria NiMH</i>	92
Tabla 8 <i>Simulación de Costos Aproximados Bateria Li-ion</i>	92
Tabla 9 <i>Simulación de Costos Aproximados de Bateria Solar LiFePO4</i>	93

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Concentración Global del Nivel de CO₂ en abril 2020</i>	8
Figura 2 <i>Proporción General de Materiales Preciosos</i>	11
Figura 3 <i>Proceso de Recuperación de Materiales Preciosos</i>	12
Figura 4 <i>Ciclo de Vida de una Batería en un Automóvil Eléctrico</i>	13
Figura 5 <i>Datos Técnicos de Catálogos de Baterías Recargables</i>	17
Figura 6 <i>Clasificación de Vehículos Eléctricos</i>	18
Figura 7 <i>Asociación en Serie y en Paralelo de Módulos Fotovoltaicos</i>	20
Figura 8 <i>Temperaturas Promedio en Guayaquil</i>	21
Figura 9 <i>Tipos de Radiación que Incide sobre la Superficie Terrestre</i>	23
Figura 10 <i>Celda de Silicio Monocristalino (Mono c-Si)</i>	25
Figura 11 <i>Celda de Silicio Policristalino (Multi c-Si)</i>	26
Figura 12 <i>Celda de Capa Fina</i>	27
Figura 13 <i>Sistemas Fotovoltaicos de Concentración</i>	27
Figura 14 <i>Estructura de un Módulo Fotovoltaico</i>	28
Figura 15 <i>Curva Característica I-V, y Curva de Potencia P-V para un Módulo con Potencia Nominal de 100Wp.</i>	30
Figura 16 <i>Representación del Factor de Forma en la Curva</i>	32
Figura 17 <i>Efecto de la Irradiancia Solar sobre la Curva I-V en un Panel de 36 (c-Si)</i>	33
Figura 18 <i>Efecto de la Variación de la Temperatura sobre la curva I-V en un Panel de 36 Celdas c-Si</i>	33
Figura 19 <i>Comparativo de Eficiencia entre Distintas Tecnologías Fotovoltaicas</i>	37
Figura 20 <i>Instalación Fotovoltaica Básica sin Inversor y con Carga Prioritaria, Respectivamente</i>	41

Figura 21 Instalación Fotovoltaica con Inversor Conectado a la Salida del Regulador de Carga	41
Figura 22 Instalación con Inversor Conector al Sistema de Acumulación	42
Figura 23 Ilustración de una Celda solar (a), un Módulo FV (b), un Panel FV (c), y una Matriz FV (d).....	43
Figura 24 Asociación en Serie, en Paralelo y Mixtas de los Módulos Fotovoltaicos, Respectivamente.....	45
Figura 25 Curva I-V de las Conexiones de los Módulos en Serie, en Paralelo y Mixta.	46
Figura 26 Información Técnica de un Módulo Solar Fotovoltaico	48
Figura 27 Características Eléctricas STC.....	49
Figura 28 Características Eléctricas NOTC	50
Figura 29 Características Térmicas	50
Figura 30 Gráfica de Factores de Perdidas con Ejemplificación.....	57
Figura 31 Comparación entre las Distintas Tecnologías Aplicadas a las Baterías	62
Figura 32 Esquema de Funcionamiento de la Celda NiMH	63
Figura 33 Esquema Eléctrico de un Regulador Conectado en Serie	70
Figura 34 Esquema Eléctrico de un Regulador Conectado en Paralelo (Shunt).....	71
Figura 35 Curva P-V del Módulo Fotovoltaico con Regulador Convencional y con MPPT	72
Figura 36 Tipos de Ondas de los Inversores de Carga.....	74
Figura 37 Circuito Electrónico Básico de un Inversor de Onda Cuadrada.....	75
Figura 38 Gráfico Comparativo de Formas de Ondas	75
Figura 39 Gráfica del Pulso PWM y de la Onda Senoidal Pura	76
Figura 40 Simulación del Ángulo de Inclinación y Azimut.....	89
Figura 41 Simulación de Configuración de Paneles	90

Capítulo I

1. Antecedentes

1.1. Tema de investigación

Reutilización de las Baterías de Tracción de Níquel-Hidreto Metálico (NiMH) en la Generación de Energía Alternativa para un Taller Automotriz.

1.2. Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema

1.2.1. Planteamiento del Problema

En los últimos dos siglos, es notorio el avance de la humanidad en cuestiones como salud, energía y calidad de vida. Se incrementó la expectativa de vida, y en contrapartida se observa un aumento significativo y expresivo de las exigencias de consumo de recursos producidos por el hombre y extraídos de la naturaleza.

El calentamiento global es una problema mundial y tema de diversas conferencias ambientales donde se establecen acuerdos internacionales sobre la limitación del uso de recursos naturales, promoviendo un desarrollo sostenible. En el año de 2015 se estableció el Acuerdo de Paris, aprobado por 195 países, y tiene como principal objetivo limitar el incremento de la temperatura del planeta a niveles inferiores a 2 °C, y reducción de los niveles de emisiones de los gases de efecto invernadero el mundo (Naciones Unidas UNFCC, 2015).

La EPA (Agencia de Protección Ambiental de los EUA), detalla las principales fuentes de emisiones de CO₂ en los EUA, y consecuentemente, una referencia a nivel mundial. El sector de transporte es responsable por la emisión de 28.2% de CO₂ en la atmosfera, seguidos de 26.9% en producción de energía, 22% en Industria, 12,3% a nivel comercial y residencia, y 10.6% en agricultura (EPA - United States Environmental Protection Agency, 2020).

En Ecuador, lamentablemente no existe números actualizados sobre las emisiones de gases contaminantes, pero en el Año 2010 el Ministerio del Ambiente del Ecuador, por medio de su Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, publicó una tendencia de emisiones para el año 2012.

El informe clasifica las fuentes de emisiones de los Gases de Efecto Invernadero, por su sigla GEI, clasifica el sector de Energía como el más contaminante del país, siendo responsable por el 44,49 % del total de emisiones. En ese grupo se encuentra la división de transporte con 43,22 % de la distribución de las emisiones (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2016).

La exposición constante a sustancias contaminantes provoca diversas afecciones, en su mayoría de origen respiratorio, resultando en impactos económicos y sociales de gran magnitud, esencialmente en centros urbanos.

Los vehículos híbridos y eléctricos son una solución para reducir las emisiones de contaminantes en la atmosfera, pero además de sus beneficios generan problemas ambientales tanto en los desechos provenientes de su producción, cuanto, en el descarte de las baterías, ya que luego de un tiempo e intensidad de uso (entre 1500 a 2500 ciclos de carga) pierden la potencia y la capacidad necesarias para la aplicación automotriz, resultando en grave problema para la industria (ADAC, 2019).

1.2.2. Formulación del Problema

¿Sería la reutilización de los módulos de baterías de tracción de Níquel-Hidreto Metálico (NiMH) aplicados como almacenamiento estacionario en conjunto a sistemas fotovoltaicos (FV) una fuente viable para la producción de energía alternativa, además de proveer una reducción significativa en el consumo de energía en un taller automotriz?

1.2.3. Sistematización del Problema

- ¿La aplicación de energía alternativa en un taller automotriz, sería un uso eficiente?

- ¿El sistema estacionario sería lo suficiente para abastecer las necesidades energéticas del taller?
- ¿Los costos de inversión iniciales serían recuperados a corto o largo plazo?
- ¿Cómo se desarrollará el plan de elaboración y aplicación del módulo estacionario de generación de energía?
- ¿Qué tan beneficiosa resultaría la implementación del sistema estacionario desde el punto de vista económico y ambiental?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Reutilizar los módulos de baterías de tracción de Níquel-Hidreto Metálico (NiMH) para aplicarlos como almacenamiento estacionario en conjunto a sistemas fotovoltaicos destinados a la producción de energía alternativa para un taller automotriz en la ciudad de Guayaquil.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Analizar los sistemas de generación de energía fotovoltaicos.
- Estimar los beneficios de la energía alternativa en el sistema de aire acondicionado del taller automotriz, considerando la relación costo/beneficio de la energía verde.
- Proponer un sistema estacionario de generación de energía sostenible y amigable.

1.4. Justificación y Delimitación de la Investigación

A nivel internacional existen diversas acciones que promueven la reutilización de los módulos de baterías, el principal ejemplo es la fábrica de BMW en la ciudad de Leipzig, que mezcla baterías nuevas y en Segunda Vida para generar energía verde. El Grupo BMW aplica 700 baterías i3 interconectadas y proporciona un almacenamiento estacionario, en conjunto con a la energía solar y turbina eólica aplicada a la producción en la planta.

1.4.1. Justificación Teórica

La fundamentación teórica del trabajo se basa en investigación de temas relacionados con las emisiones de contaminantes en la atmosfera, la relación entre las partículas finas $PM_{2.5}$ en el aire y las afecciones humanas, el vínculo entre los niveles de CO_2 y el efecto invernadero, los sistemas fotovoltaicos y la reutilización de las baterías de tracción para la elaboración de una estructura estacionaria para el fornecimiento de energía alternativa en un taller automotriz.

1.4.2. Justificación Metodológica

La elaboración y aplicación de un sistema estacionario para la generación de energía alternativa, considera todos los aspectos técnicos, mediante un proceso lógico y ordenado. El estudio se funda en la implementación de las baterías de tracción en su Segunda Vida como un banco estacionario para el almacenamiento de energía solar, captada por medio de celdas fotovoltaicas, y en la fomentación del uso de energía sostenible y amigable al medio ambiente.

Considerando los aspectos económicos de la energía verde, la reutilización de las baterías de tracción mejora nuestra huella de carbono en el mundo, utilizando baterías que son demasiados desgastadas para su aplicación automotriz, pero que todavía tienen alta capacidad energética para su utilización como sistema estacionario.

1.4.3. Justificación Práctica

El resultado de la investigación me permite estudiar la reutilización de los módulos de las baterías de tracción que, por sus ciclos de carga, resultan inaptas para el sector automotriz, pero altamente eficientes como unidad de almacenamiento energético. Se capta radiación solar por medio de las celdas fotovoltaicas, configurándose como un sistema estacionario de energía alternativa que alimentará las necesidades energéticas del sistema de aire acondicionado de un taller automotriz de la ciudad de Guayaquil. Se promueve la conciencia

de la utilización de energía limpia para las oficinas del taller y consecuentemente se reduce los costos por concepto de energía eléctrica.

1.4.4. Delimitación Temporal

El trabajo se desarrollará entre los meses de septiembre de 2020 y septiembre de 2021. Lapso que permitirá realizar la investigación, así como diseñar la propuesta de implementación del sistema estacionario fotovoltaico.

1.4.5. Delimitación Geográfica

El trabajo se desarrollará en el taller multimarcas Autocentro Supremo ubicado en la dirección Acuarela del Rio Mz. 1125 Sl. 01, en la ciudad de Guayaquil.

1.4.6. Delimitación del Contenido

El primer bloque estará orientado al establecimiento de un marco conceptual, los efectos del CO₂ en la atmosfera, provocados por la contaminación de los combustibles fósiles, así como sus afecciones a la salud humana y al medio ambiente, la aplicación de la Electromovilidad como solución a los problemas ambientales en el mundo, estudiar los efectos nocivos de la fabricación y descarte de las baterías de tracción, analizar su reutilización como sistema estacionario de almacenamiento de energía (solución adoptada por diversos fabricantes de vehículos), investigar tópicos fundamentales sobre la energía solar fotovoltaica, examinar la Normativa Ecuatoriana sobre la aplicación y utilización de la energía solar, y finalmente establecer los cuidados necesarios para manipular las baterías de alta tensión.

El segundo bloque tiene por objetivo destacar los conceptos pertinentes al tema como baterías de tracción, Segunda Vida, vehículos híbridos, sistema estacionario, baterías Ni-MH, entre otros.

El tercer bloque está orientado al estudio del sistema fotovoltaico para la captación de energía solar, su funcionamiento y la construcción de una estructura estacionaria, además de verificar la forma de aplicación los módulos de las baterías para almacenamiento energético.

El cuarto bloque está destinado a analizar los beneficios y resultados obtenidos de la implementación del sistema fotovoltaico y estacionario de la captación y almacenamiento de energía limpia, además se elaborará las hipótesis, conclusiones y recomendaciones de la investigación.

1.5. Hipótesis

La reutilización de los módulos de baterías de tracción de Níquel-Hidreto Metálico (NiMH) como un sistema estacionario de almacenamiento en conjunto a sistemas fotovoltaicos producirá energía alternativa para alimentar el sistema de aire acondicionado de un taller automotriz en la ciudad de Guayaquil.

1.5.1. Variables de Hipótesis

1.5.1.1. Variables Independientes

- Tipos de baterías.
- Procesos de reutilización.
- Números de equipos a utilizar.

1.5.1.2. Variables Dependientes

- Normativa sobre energía solar.
- Clima y radiación solar.

Capítulo II

2. Marco Referencial

Estimase que, en un Taller Mecánico cerca de 10% de las necesidades energéticas son destinadas al sistema de climatización de las oficinas. Es decir, el empresario debe invertir en soluciones energéticas limpias para obtener ahorros energéticos significativos (cerca de 40%) en las planillas básicas mensuales (Dirección General de Industria, Energía y Minas , 2007). Los sistemas solares fotovoltaicos son una excelente estrategia para lograr ese objetivo, pues es una energía simple, de poco mantenimiento, fácil instalación, no contaminante, que aplica el potencial energético de los rayos solares para obtener rentabilidad para la empresa.

2.1. Marco Teórico

2.1.1. *Las Sustancias Contaminantes*

El mundo, y en especial los países de América Latina, enfrentan un grave problema de salud pública provocado por la inhalación crónica y constante de material particulado emitido por la combustión de elementos fósiles utilizados en los vehículos y que son diariamente dispersos en la atmósfera.

El CDC (Centro de Control y Prevención de Enfermedades), detalla en su página oficial los impactos en la salud por la contaminación de partículas finas en el aire, también conocidas como PM_{2.5}. Dichas partículas tienen menos de 2.5 micrómetros de ancho y están presentes en el polvo, la suciedad, el hollín y el humo. Según el CDC “El PM_{2.5} causa enfermedades graves y la muerte porque son suficientemente pequeñas como para ser inhaladas profundamente en los pulmones, también está asociada a afecciones cardíacas, de vasos sanguíneos y respiratorios” (CDC , 2019).

El COMEAP (Comité sobre los Efectos Médicos de los Contaminantes del Aire) de Reino Unido, estipula que 29.000 muertes que ocurren a cada año están vinculadas a la contaminación del aire por partículas finas, y que el riesgo promedio de descenso al año se

incrementa un 6% por cada 10 μg de $\text{PM}_{2.5}$ adicional por metro cúbico de aire (McConway, 2017).

2.1.2. *El Efecto Invernadero*

La concentración de dióxido de carbono (CO_2), principal gas responsable por el efecto invernadero, es un factor determinante en la degradación de la atmosfera terrestre.

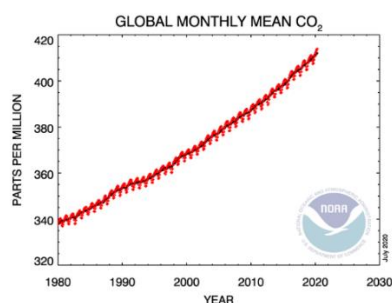
El francés Frederic Parrenin, lideró un estudio que perforó y analizó la composición de las burbujas de aire que fueron atrapadas, a lo largo de los siglos, en las profundas camadas de hielo de Groenlandia y Antártica, posibilitando así un análisis sobre las concentraciones de CO_2 en la atmosfera en la historia de la humanidad (Salgado-Laboriau, 2006).

El estudio determinó que, en los últimos 800 años, la concentración de CO_2 estaba por debajo de 280 partes por millón (ppm), pero luego de la Revolución Industrial, en el siglo XVIII, ese número se intensificó. El World Wide Found (WWF), registra que el crecimiento de las actividades movidas por la quema de combustibles fósiles como el carbono, el gas y el petróleo, incrementaron las emisiones de contaminantes en 34 % (WWF, 2020).

El Global Monitoring Laboratorie, un Órgano Internacional que monitorea el comportamiento del CO_2 , la elevación de la temperatura y el efecto invernadero en el mundo, registró en abril de 2020 una concentración de 413.95 ppm (partículas por millón) de CO_2 en la atmosfera (Global Monitoring Laboratory, 2020).

Figura 1

Concentración Global del Nivel de CO_2 en abril 2020



Fuente: Global Monitoring Laboratory, 2020

2.1.3. La Electromovilidad

La tecnología de los vehículos eléctricos e híbridos ha demostrado una solución viable para la problemática relacionada a la quema de combustibles fósiles, y consecuentemente refleje en la reducción de las emisiones de gases contaminantes.

El sector de transporte fue clasificado por la EPA como la mayor fuente de emisión de gases de efecto invernadero en la atmósfera, responsable por 28% del total de las emisiones en 2018. Esa tendencia se evidencia en Latinoamérica, el Ministerio del Ambiente del Ecuador (2016), presume que el 44,49% del total de emisiones provienen del Sector de Energía, que engloba la división de transporte configurando el 43,22 % del total de las emisiones, resultado del uso desenfrenado de combustibles fósiles como diésel y gasolina.

La segmentación de transporte, comprendida por automóviles, barcos, camiones aviones y trenes, es la porción que más genera emisiones contaminantes en el mundo, por lo tanto, es el sector más tiene a ofertar, e elaborar alternativas y estrategias para la reducción del efecto invernadero.

Inspirado en los fundamentos establecidos por el Acuerdo de Paris, en el año 2015 durante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), se estableció las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC) en que estipula que cada país establezca y comunique sus acciones para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero posteriores al año 2020. Todos los países de América Latina, excepto Guyana Francesa, Cuba, Nicaragua y Honduras no mencionaron el sector de transporte en sus políticas y estrategias de reducción de las emisiones. En contrapartida Ecuador, Costa Rica, Bahamas, Barbados y Uruguay establecieron la Electromovilidad como medida de mitigación (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019).

La Agencia Internacional de Energía Renovable (2017), establece los cuatro lineamientos para el despliegue de los vehículos eléctricos: “(I) la electrificación de los

vehículos, (II) la provisión del equipamiento suficiente para suministrar la carga de los vehículos, (III) la descarbonización de la generación de energía eléctrica y (IV) la integración de los vehículos eléctricos a la red eléctrica” (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019).

Las políticas públicas, regulaciones e incentivos gubernamentales son claves para la implementación de la Electromovilidad en un país, el éxito depende de 5 pilares fundamentales: (I) Estandarización; (II) Circulación y confiabilidad; (III) ampliación de la oferta y facilitación de la adquisición a los usuarios; (IV) generación de entornos promotores de Electromovilidad y (V) establecer los primeros pasos desde el sector eléctrico (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019).

2.1.4. Relación entre la Movilidad Eléctrica y la Sostenibilidad

Los beneficios de la aplicación de la Electromovilidad son altamente contrarrestados por la contaminación generada tanto en la fabricación de las baterías y cuanto, en el descarte, pues se constituye de elementos altamente nocivos y tóxicos al ser humano y al medio ambiente. Conciliar el avance tecnológico y la naturaleza ha sido un verdadero reto para la industria, principalmente en lo que se refiere al reciclaje y reutilización de las baterías de alto voltaje.

El Allgemeiner Deutscher Automobil Club (ADAC), o Club General Automovilístico Alemán, en traducción literal, es una de las asociaciones automovilísticas más importante de Europa, responsable por diversos estudios relacionados a innovaciones tecnológicas para el sector, detalla que la materia prima utilizada en las baterías es altamente valiosa, su proporción depende básicamente del tipo de batería. Para ejemplificar, una batería de 400 kilogramos de peso y una capacidad de 50 kWh, contiene en su composición:

Figura 2
Proporción General de Materiales Preciosos



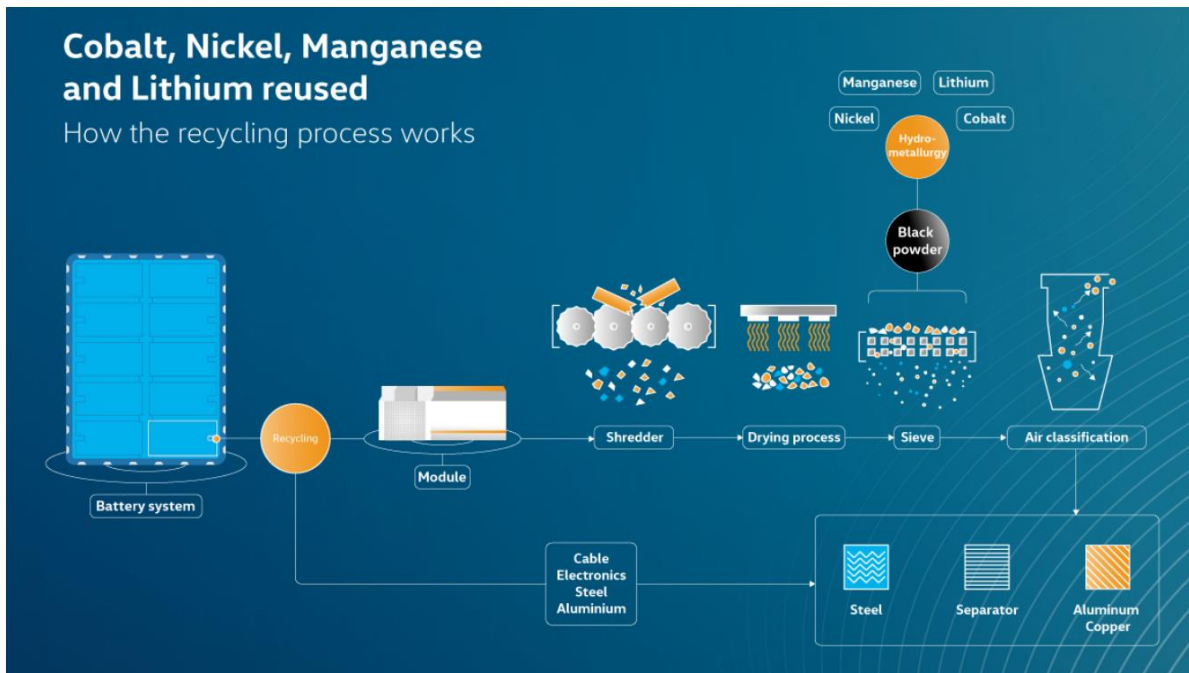
Fuente: ADAC, 2019

Además, en su composición se encuentra el acero inoxidable, el cobre, el aluminio y el plástico en variadas proporciones.

Toyota Motor Corporation (TMC) aplica el sistema de logística inversa, donde los concesionarios Toyota y Lexus reciben una nueva batería híbrida a cambio de una usada. Las baterías colectadas son destinadas a un sector de reciclaje, donde son aprovechados cerca de 50% de su material por medio de una tecnología de fundición de alta temperatura. También está en andamio estudios destinados a la re-fabricación de baterías a partir de baterías usadas (Toyota Motor Corporation, 2016).

El Grupo Volkswagen tiene un proyecto más ambicioso, que consiste en reciclar el 97% de toda materia prima utilizada en la fabricación de nuevas baterías. Su propuesta de responsabilidad ambiental es aplicar la sostenibilidad en todos los procesos de la empresa, que pasan por la producción, las ventas, las operaciones y el reciclaje de materiales.

Volkswagen estableció estrictos criterios de evaluación del estado de las baterías para determinar según su rendimiento, si serán destinadas a una aplicación de Segunda Vida o para el proceso de reciclaje, que consiste en triturar las partes individuales de las baterías, secar y tamizar el material para extraer el conocido “polvo negro”, que contiene los preciosos níquel, manganeso, cobalto y litio, que serán separados individualmente y prontamente destinado a la producción de nuevas baterías (Volkswagen Group, 2020).

Figura 3*Proceso de Recuperación de Materiales Preciosos*

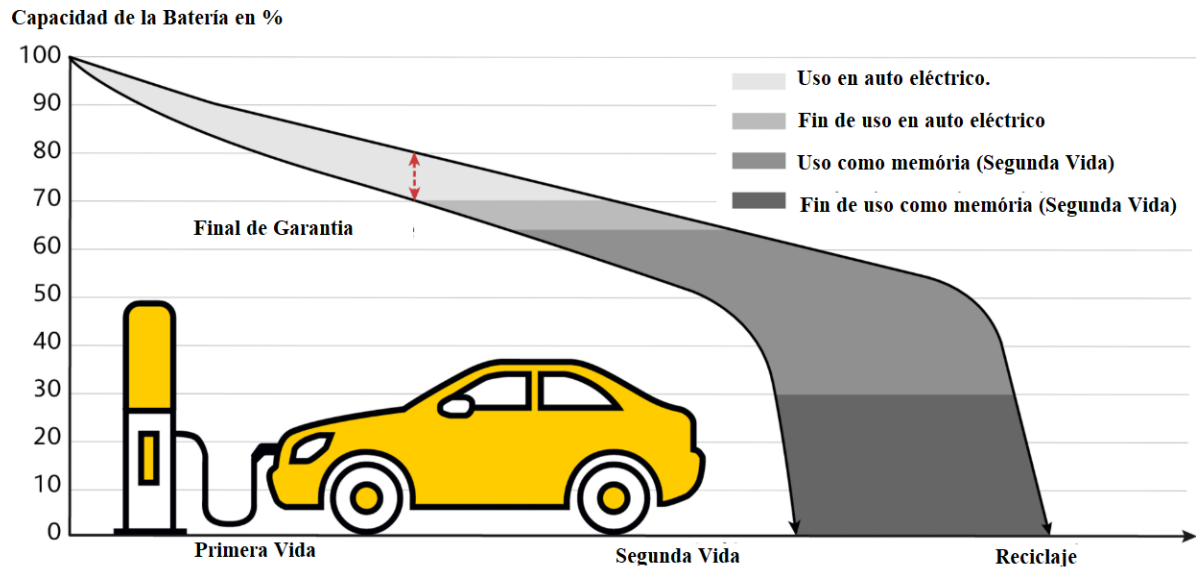
Fuente: Volkswagen Group, 2020

El proceso de obtención y eliminación de materias primas son demasiados costosos, pero el proceso de reciclaje de las baterías abre un nuevo marco para la industria, ya que reflejen en beneficios ambientales, sociales y económicos para las empresas.

2.1.5. Segunda Vida

Toda batería de tracción tiene un tiempo de vida útil, se estima que luego de 1500 a 2500 ciclos de carga, dependiendo del tiempo e intensidad de uso, se pierde su capacidad para la aplicación automotriz, pero todavía detienen el 70 y 80 % de su suficiencia energética, la conocida "Second Life", o Segunda Vida en traducción literal (ADAC, 2019).

Figura 4
Ciclo de Vida de una Batería en un Automóvil Eléctrico



Fuente: ADAC, 2019

La principal ventaja de la operación estacionaria es la durabilidad de la batería, que está alrededor de 10 a 12 años, ya que no sufre con constantes fases de aceleración y recuperación de carga (ADAC, 2019).

El principal ejemplo de aplicación de las baterías de tracción en Segunda Vida es la fábrica de BMW en la ciudad de Leipzig. El Grupo BMW aplica 700 baterías I3 interconectadas y proporciona un almacenamiento estacionario, en conjunto con a la energía solar y turbina eólica aplicada a la producción en la planta, promoviendo la sostenibilidad y el cuidado con el medio ambiente.

Siguiendo la corriente, Toyota Motor Corporation (TMC), implementó las 4 R's (reducir, reutilizar, reciclar y recuperar) como una filosofía para la empresa, estableciendo su compromiso global con el medio ambiente, minimizando los impactos ambientales generados en la producción y comercialización de sus productos (Toyota Motor Corporation, 2016).

TMC, en conjunto con la empresa Chubu Electric Power, diseñó un Sistema de Baterías de Almacenamiento (Storage Battery System), que permite dar una Segunda Vida a las baterías como unidades de reserva de energía estacionaria o de emergencia. En su página

oficial, TMC afirma que “Cuando se combinan en grandes cantidades, las baterías usadas, incluso con niveles de rendimiento reducidos, pueden reutilizarse para ajustes de demanda de suministro de energía, gestión de fluctuaciones de frecuencia y gestión de fluctuaciones de voltaje en sistemas de distribución, todos factores que acompañan la introducción generalizada de energía renovable”. Así, se estima que en el año 2020 ambas empresas tendrán la capacidad de generar aproximadamente 10.000 kW de energía, lo equivalente a 10,000 baterías (Toyota Motor Corporation, 2018).

2.1.6. Energía Solar Fotovoltaica

El tema ambiental ha marcado su importancia a nivel mundial, pues permite un desarrollo sostenible de la vida y de la sociedad humana. La ciudad de Guayaquil, donde se predominan las altas temperaturas y se detiene las condiciones climatológicas perfectas para la captación fotovoltaica de energía, no aprovecha todo su potencial que lamentablemente invierte recursos en la producción de energía hidroeléctrica, que promueve grandes impactos ambientales.

Para di Souza, “la energía solar presenta incontestables ventajas como: Ser una materia prima inagotable; No emite contaminantes durante la generación de electricidad, y pueden ser instalados en todo el mundo.” Di Souza resalta además que durante su funcionamiento no producen ruidos acústicos o electromagnéticos, además de no emitir gases tóxicos o contaminantes ambientales.

Para las tecnologías de conversión de energía solar en electricidad, se necesita una irradiación solar mínima de 3 hasta 4 kW/h(m²/día) (Tavares, P. & Galdino, 2014). Según la Agencia Espacial Civil Ecuatoriana, en la ciudad de Guayaquil, la Estación Climatológica según medición histórica, la mayor parte del año las máximas registradas de radiación solar son superiores a 800 kW/h(m²/día), por lo tanto, registra las condiciones perfectas para la

aplicación de la energía solar en un taller automotriz (Agencia Espacial Civil Ecuatoriana, 2020).

2.1.7. La Normativa Ecuatoriana

La Agencia de Regulación y Control de Electricidad, en la Resolución Nro. ARCONEL-042/18, denominada "Microgeneración fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica", define la normativa ecuatoriana para la aplicación y el uso de energía solar en el territorio ecuatoriano.

De entre otras determinaciones, se regula las condiciones técnicas y comerciales para la instalación de sistemas fotovoltaicos hasta 100kW de capacidad nominal y el tratamiento comercial de la energía producida, consumida y eventuales excedentes de generación entregables al sistema de distribución (ARCONEL, 2018).

2.2. Marco Conceptual

Los vehículos eléctricos son considerados libres de emisiones, sin embargo, los gases contaminantes no son generados de forma directa, es decir, las emisiones son producidas al momento de generar electricidad necesaria para su funcionamiento. (Room, 2006) Destaca las principales ventajas de los híbridos: reducir la emisión de CO₂, y hacer trayectos con vehículos de emisión cero. Pero, además de los beneficios presentados, se presentan algunas inquietantes sobre el tema de descarte de las baterías eléctricas y de los desechos provenientes de su producción.

Según el Balance Nacional de Energía Eléctrica (BNEE) en Ecuador la mayor fuente de energía eléctrica proviene de plantas hidroeléctricas (58,45%), y el incremento de la comercialización de vehículos híbridos y eléctricos, requerirá una mayor demanda energética del sector (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2018).

2.2.1. Baterías de Tracción / Acumuladores Electroquímicos

En los sistemas fotovoltaicos, el uso de baterías como dispositivo de almacenamiento se hace necesario para abarcar a la demanda durante las noches, días lluviosos o nublados o con baja irradiación solar.

Una batería se define como un conjunto de celdas, conectadas en serie o paralelo, que tienen la capacidad de almacenar energía eléctrica en la forma de energía química por medio de un proceso de oxidación y reducción en su interior (Tavares, P. & Galdino, 2014).

La batería de tracción, es la responsable por almacenar y suministrar energía de alto voltaje que será suministrada al vehículo. Está dividida en celdas, constituidas por paquetes de placas positivas y negativas, conectadas en serie, donde se suman las tensiones de cada una para obtener la tensión deseada al final (Ros Marini & Barrera D., 2017).

Actualmente, los acumuladores electroquímicos más utilizados son de Chumbo-ácido (Pb), pero las de Níquel-Cadmio (NiCd), de Níquel-Hidreto Metálico (NiMH, y las de ion de Litio (Li-ion) ofrecen mayor eficiencia, durabilidad, y mayor profundidad de descarga.

BMW Group y Toyota Motor Company que emplea los módulos de las baterías de tracción, que son inviables para la aplicación automotriz y las reutiliza como fuente de almacenamiento estacionario de energía eléctrica captada por celdas fotovoltaicas y/o generadores eólicos.

Figura 5*Datos Técnicos de Catálogos de Baterías Recargables*

Tecnología	Eletrólito	Densidade Energética [Wh/kg]	Densidade Energética [Wh/L]	Eficiência η_{wh} [%]	Vida útil [años]	Vida cíclica [ciclos]	Temperatura de operação		Aplicaciones típicas (ejemplos)
							Carga padrão [°C]	Descarga [°C]	
Chumbo ácido ⁷ (Pb-ácido)	H ₂ SO ₄	20–40	50–120	80–90	3–20	250–500	–10 a +40	–15 a +50	Uso estacionario, tracción, automotiva
Níquel-Cádmio (NiCd)	KOH	30–50	100–150	60–70	3–25	300–700	–20 a +50	–45 a +50	Mesmo tipo de aplicaciones das baterias chumbo-ácido, ferramentas, veículos elétricos
Níquel-hidreto metálico (NiMH)	KOH	40–90	150–320	80–90	2–5	300–600	0 a +45	–20 a +60	<i>Notebooks</i> , celulares, câmeras fotográficas, veículos elétricos e híbridos, brinquedos
Íon de Lítio (Li-ion, Li-polímero)	Polímeros orgânicos	90–150	230–330	90–95	–	500–1000	0 a +40	–20 a +60	<i>Notebooks</i> , celulares, filmadoras, <i>smart cards</i> , veículos elétricos e híbridos

Fuente: Luque & Hegedus, 2011

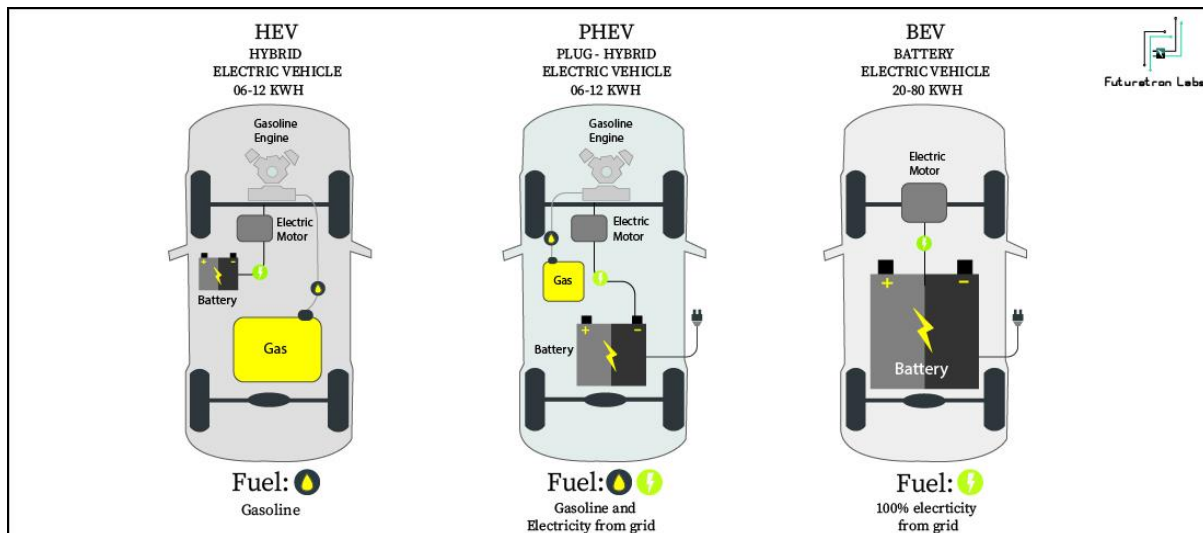
2.2.1. Second Life (Segunda Vida)

Toda batería de tracción tiene un tiempo de vida útil, se estima que luego de 1500 a 2500 ciclos de carga, dependiendo del tiempo e intensidad de uso, se pierde la capacidad para la aplicación automotriz, pero todavía detienen el 70 y 80 % de su suficiencia energética, esa es la conocida “Second Life”, o Segunda Vida en traducción literal (ADAC, 2019).

2.2.2. Los Vehículos Eléctricos

Los vehículo eléctricos, según su tecnología, son divididos en: vehículos eléctricos (BEV), propulsados exclusivamente por motores eléctricos, y almacena la energía generada en las baterías de tracción, los vehículos híbridos (HEV) que dispone de al menos dos tecnologías de propulsión distintas y almacena energía de forma separada, que pueden actuar de forma individual o en combinación, y lo híbridos del tipo plugin (PHEV), que agrega el conector para conexión a la corriente eléctrica para la recarga de la batería (ADAC, 2020).

Figura 6
Clasificación de Vehículos Eléctricos



Fuente: (Seethamma, 2019)

2.2.3. *Sistemas Autónomos (Puros)*

Un sistema fotovoltaico puro está proyectado para producir energía durante las horas de sol y posee un acumulador para almacenarla durante las noches, días nublados o lluviosos. Los acumuladores son diseñados según la autonomía deseada para el sistema y condicionado a las condiciones climáticas del local.

2.2.4. *Energía Solar Fotovoltaica*

La energía solar fotovoltaica es obtenida a partir de la conversión directa de la radiación solar en corriente eléctrica, por medio de un dispositivo semiconductor conocido como celda fotovoltaica o celdas solares.

El efecto fotovoltaico fue descubierto en 1839, por Edmond Becquerel, que identificó el surgimiento de una diferencia de potencial en los terminales de una celda electroquímica provocada por la absorción de la luz (Tavares, P. & Galdino, 2014). Actualmente el material más utilizado para la producción de las celdas es el silicio, segundo material más abundante de la tierra, encontrados en la forma de arena o de cuarzo. Debido a la cantidad de impurezas encontradas en la arena, el cuarzo es el más utilizado para el proceso de purificación, ya que el 99% de su contenido es el Silicio.

El silicio semiconductor, aplicado para la electrónica y energía solar, es purificado por medio de la destilación fraccionada, creando el cristal de silicio con 99.9999% de pureza, justificando los altos costos del producto (di Souza, Os Sistemas de Energía Solar Fotovoltaica).

2.2.5. Módulos Fotovoltaicos

Di Souza destaca que “Una celda fotovoltaica de silicio cristalizado produce una tensión aproximada de 0.46 hasta 0.56 V y una corriente de 30 mA/cm²”, por lo tanto, para alcanzar las potencias comerciales, las celdas son conectadas en serie para construir un módulo con la tensión nominal deseada.

Los módulos tienen características particulares de acuerdo a la tecnología empleada. Cuanto a las características físicas pueden ser cuadrados o rectangulares, livianos, y aptos a soportar ligeras deformaciones, adaptándose a los esfuerzos mecánicos.

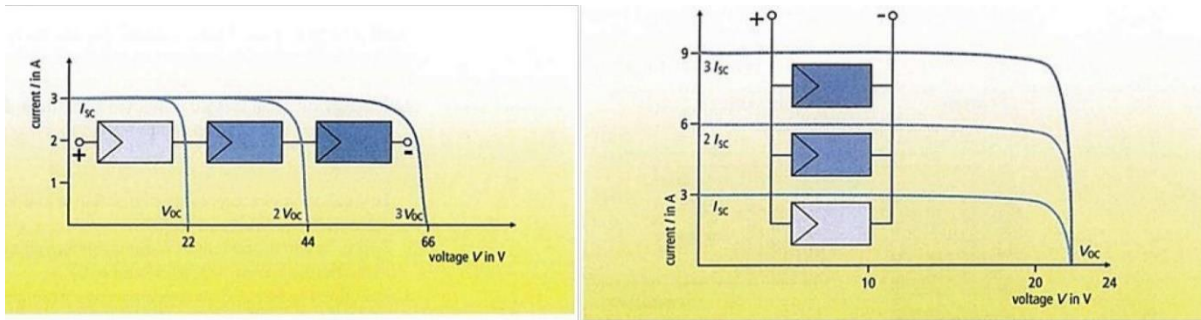
Un panel fotovoltaico se define como un conjunto de módulos fotovoltaicos eléctricamente conectados entre sí, que fornecen determinado potencial, y generalmente son conectados a un dispositivo de condicionamiento de potencia o control (di Souza, Os Sistema de Energia Solar Fotovoltaica).

En la asociación en serie, las tensiones de los módulos son sumadas para obtener una tensión final, y la corriente será la media de corrientes de cada módulo.

En la conexión en paralelo, se obtiene un incremento de la corriente, debido a la suma de las corrientes individuales de cada módulo, ya la tensión será la media de las tensiones generadas (di Souza, Os Sistema de Energia Solar Fotovoltaica).

Figura 7

Asociación en Serie y en Paralelo de Módulos Fotovoltaicos



Fuente: di Souza, Ronilson

2.2.6. Sistema de Microgeneración Fotovoltaica μ SFV

La Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), emitió la resolución Nro. ARCONEL-042/18, que define el μ SFV como un “conjunto de equipos, compuestos generalmente por paneles fotovoltaicos, inversores, reguladores de carga y con o sin baterías acumuladores, que permitan la captación de la energía solar para su conversión en energía eléctrica” y limitando su capacidad nominal instalada en 100 kW (ARCONEL, 2018, pág. 4).

Además, se establece exigencias para autorización, conexión, instalación y operación de los sistemas μ SFV sincronizados a la Red, lo que no se aplica a los consumidores autónomos, objeto de ese estudio (ARCONEL, 2018, pág. 13).

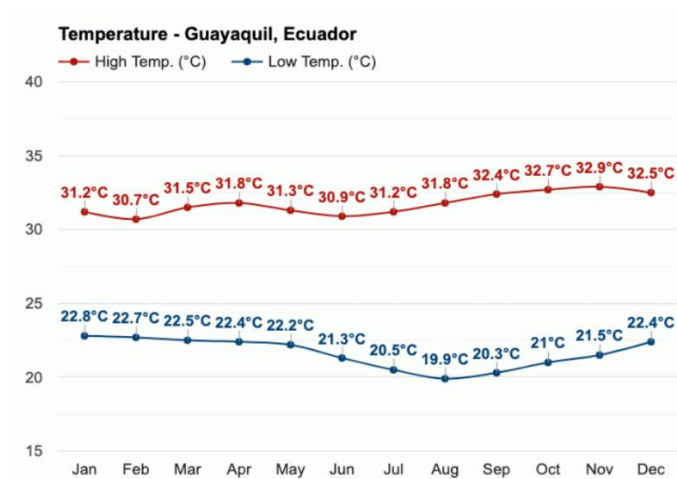
Capítulo III

3. Diseño de un Sistema de Climatización Alimentado por Energía Solar Fotovoltaica

Según el sitio web Weather Atlas, que recopila informaciones climáticas de las diversas instituciones meteorológicas internacionales, y que tiene en Ecuador el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) como fuente de información, la ciudad de Guayaquil, el año de 2020, registró una temperatura promedio mínima de 19.9 °C, y máxima de 32.9 °C, que asociados a los altos porcentajes de humedad del aire (excediendo a los 70%), refleja una sensación térmica superior a los registrados por los termómetros, siendo imposible al empresario crear un ambiente de confort laboral sin el auxilio de un sistema de climatización artificial.

Figura 8

Temperaturas Promedio en Guayaquil



Fuente: Weather Atlas, 2020

Para mantener su competitividad, la empresa debe ofrecer un ambiente agradable a sus colaboradores y principalmente a sus clientes, lo que incide directamente en los costos operacionales pues incrementa sustancialmente los gastos con el consumo de energía eléctrica. En ese contexto, invertir en soluciones energéticas alternativas y renovables, refleja un comprometimiento con la causa ambiental, y proporciona ventajas como: fiabilidad, durabilidad, bajo mantenimiento, y una reducción expresiva en los costos con electricidad

posibilitando al empresario, el redireccionamiento de los recursos financieros para las demás necesidades del taller.

3.1. El Recurso Solar

El sol es la principal fuente de energía natural en el planeta, sea de forma directa por medio de los rayos solares o de forma indirecta, como la energía eólica, donde los vientos son formados por la conversión de la radiación solar en energía cinética, también se observa su influencia en combustibles fósiles que fueron formados por residuos de plantas y animales que a su momento consumieron del recurso solar la carga necesaria para su desarrollo, entre otros (Tavares, P. & Galdino, 2014).

El Informe Especial sobre Fuentes de Energía Renovables y Mitigación del Cambio Climático, publicado en 2011 por el IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), define la energía solar como la “Energía obtenida mediante la captación de la luz o el calor del sol, que se transforma en energía química mediante una fotosíntesis natural o artificial o mediante paneles fotovoltaicos y se convierte directamente en electricidad”, Dicho informe clasifica la energía solar directa en 5 grandes grupos: Solar pasiva, donde se agrega el diseño arquitectónico bioclimático; Solar pasiva, se insiere la calefacción y la refrigeración solar; Solar fotovoltaica, que convierte la energía luminosa en energía eléctrica por medio del desplazamiento de electrones; Por concentración, que utilizan espejos o lentes para captar grandes cantidades de energía solar y las concentran en una superficie reducida para generar altas temperaturas y aplicarlas a turbinas de vapor; finalmente un proceso inspirado en la fotosíntesis, en donde un reactor alimentado por CO₂, agua, metal o óxido metálico, que cuando expuesto a la radiación solar produce hidrogeno, oxígeno y monóxido de carbono (IPCC, 2011).

3.2. La Radiación Solar

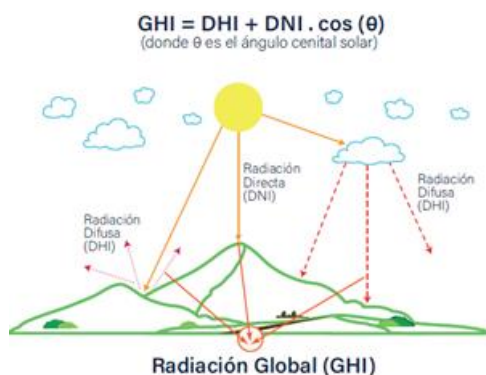
La radiación solar es definida como la energía procedente del sol en la forma de onda electromagnética, con frecuencia y longitud distintos. La frecuencia está asociada de forma directamente proporcional a la energía, cuanto mayor la frecuencia, mayor la energía transmitida, siendo que la longitud es inversamente proporcional a la frecuencia.

La radiación solar que incide sobre la superficie terrestre, es afectada por la posición geográfica, el clima y la hora del día. Fuera de la superficie se considera una constante solar determinada por el valor de $1.368 \pm 0.65 \text{ W/m}^2$, que al atravesar la atmosfera terrestre tiene parte absorbida o redireccionada por la camada de ozono o por material particulado y aerosoles dispuestos en la atmosfera.

El Mapa Solar del Ecuador clasifica como Irradiación Normal Directa (IND), la radiación que atraviesa la atmosfera sin interacción con ella, y como Irradiación Horizontal Difusa (IHD) la radiación redireccionada por efecto de la atmosfera o reflejada por la superficie de la tierra. La Irradiación Global Horizontal (GHI), es la suma de ambos componentes (Scinergy Research in Alternative Energy, 2019).

Figura 9

Tipos de Radiación que Incide sobre la Superficie Terrestre



Fuente: Scinergy Research in Alternative Energy, 2019

Irradiación o Insolación es el término utilizado para designar la radiación solar que incide sobre una superficie en un lugar y un instante particular. Cuando se describe como

potencia, se expresa como Watt por metro cuadrado, representando el promedio diario para cada mes. La radiación es expresada en kWh/m²/día, o Horas Pico Solar (HSP), que es el número de horas por día en que la insolación es igual o superior 1000 W/m².

3.3. El Sistema Solar Fotovoltaico

3.3.1. Las Celdas Fotovoltaicas

Marcelo Grandela, define el efecto fotovoltaico como “un fenómeno físico que permite la conversión directa de la luz en electricidad. Ese fenómeno ocurre cuando la luz, o la radiación electromagnética del sol, incide sobre una celda compuesta de materiales semiconductores con propiedades específicas” (Grandella, V., 2015).

En un sistema solar, la celda fotovoltaica es la encargada de proporcionar bajos niveles de tensión, potencia e intensidad. Está conformada por un material semiconductor, mayormente Silicio, dopado de impurezas específicas para incrementar las propiedades que resultan en un incremento de la conductividad con el aumento de la temperatura.

Una celda fotovoltaica tiene la capacidad de producir, aproximadamente 0.6 V para un valor de irradiación de 1000 W/m², la intensidad está relacionada al área de exposición a la radiación solar. Estimase que para un área de 100 cm², una generación de 3 A (Mascarós, M., 2016).

Vicente Mascarós, clasifica las celdas fotovoltaicas según su tecnología de fabricación, son ellas: Cristalina de silicio, tecnología de capa fina, fotovoltaica de concentración, y células flexibles.

3.3.1.1. La Tecnología Cristalina de Silicio (c-Si)

El Silicio consiste en el material más utilizado a nivel mundial, cerca de 80% de la producción del mercado, principalmente por ser extraído del cuarzo, un material abundante en la tierra. Para la fabricación de las celdas fotovoltaicas se utilizan el silicio monocristalino o el policristalino:

El silicio monocristalino (Mono c-Si) es obtenido por medio de un método conocido como Czochralski, donde se forman cristales provenientes de los bloques de silicio ultra puros que son sometidos a altas temperaturas. De dicho proceso, se obtiene lo que se conoce como lingote de silicio monocristalino, que por su estructura y organización molecular homogénea se observa un aspecto característico brillante y uniforme. Los lingotes cilíndricos son cortados en rebanadas para producir los conocidos wafers de silicio puro, que son sometidos a procesos químicos que agregan impurezas en ambas faces P y N, constituyendo la base para el funcionamiento de la celda fotovoltaica. Sus principales características son una estructura ordenada, con forma cuadrada y esquinas redondeadas, de color azul oscuro o negro, además son rígidas y quebradizas, siendo necesarias su montaje en módulos para adquirir resistencia mecánica. Su rendimiento oscila entre el 15 % y el 18 %, y el con costo de producción es relativamente elevado (Grandella, V., 2015).

Figura 10

Celda de Silicio Monocristalino (Mono c-Si)



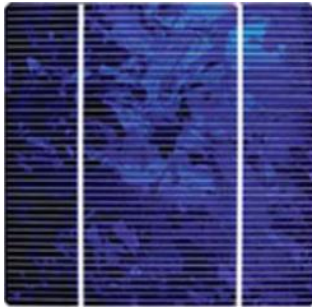
Fuente: Bosch Solar Energy AG, 2012

El silicio policristalino (Multi c-Si), tiene un proceso de fabricación más económico, pues es formado por un aglomerado de pequeños cristales, de tamaños y orientaciones distintas, así como en el proceso anterior, son cortados y rebanados para producir los wafers. Las celdas tienen apariencia heterogénea, resultando en un rendimiento entre 12 % y 14 %, lo que es compensado por el bajo costo de producción. Son celdas totalmente cuadradas y normalmente en color azulado, dependiendo del tratamiento químico sometido. Así como las

celdas monocristalinas, son rígidas y quebradizas, siendo necesarias su montaje en módulos para adquirir resistencia mecánica (Grandella, V., 2015).

Figura 11

Celda de Silicio Policristalino (Multi c-Si)



Fuente: Bosch Solar Energy AG, 2012

3.3.1.2. La Tecnología de Capa Fina

Es una tecnología reciente que consiste en depositar finas capas de materiales fotosensibles (silicio y otros) sobre una base que puede ser rígida o flexible. Es de bajo costo y tiene mejor aprovechamiento de la materia prima, ya que no se pierde material en el proceso de cerraje de los wafers cristalinos (Mascarós, M., 2016).

Según Grandella V, para la fabricación de celdas cristalizadas, se necesita temperaturas hasta 1500 °C. En contrapartida, para las capas finas se necesita un rango entre 200 °C y 500 °C, resultando en un ahorro energético en la fabricación, además son de baja complejidad, facilitando la producción en gran escala.

Los dispositivos de capas finas pueden ser producidos en cualquier dimensión, estando limitados al tamaño de la base, no existiendo distinción entre celda y módulo. Como desventajas, se puede destacar el bajo rendimiento (que varía según en material), la necesidad de una mayor área de módulo para producir la misma energía de los módulos cristalizados y su acentuada degradación.

Dentro de la tecnología de capa fina, se destaca: El silicio amorfo (a-Si), con degradación de la eficiencia en los 12 primeros meses, entre 5% y 8%; Silicio microcristalino, que combina las ventajas del silicio cristalino con las de capa fina, es decir,

producción masiva, reducción de pérdida de material, menor energía para la fabricación, y elevada automatización, y registra una eficiencia estable de 8,5 %; Celdas híbridas, que combinan las celdas cristalinas a las de capa fina, no se degrada y tiene eficiencia de 17,3 %; Teluro de Cadmio (Cd-Te), con eficiencia de 14 % (Grandella, V., 2015).

Figura 12
Celda de Capa Fina



Fuente: Planas, 2020

3.3.1.3. La Tecnología Fotovoltaica de Concentración (CPV)

La tecnología de Concentración CPV (*concentrated photovoltaics*), aplica sistemas ópticos (lentes y/o espejos) para concentrar la radiación solar sobre la celda, permitiendo obtener elevadas corrientes eléctricas en una pequeña área.

Para captar la luz solar, se aplican superficies de espejos curvos, lentes, sistemas de refrigeración, y un rastreador solar que tiene la función de seguir la luz del sol y mantenerse siempre en el ángulo perfecto. Según el material aplicado, la eficiencia de esa tecnología, puede llegar a 46 % (GreenMatch, 2015).

Figura 13
Sistemas Fotovoltaicos de Concentración



Fuente: Solar Tribune, 2011

3.3.2. Los Módulos Fotovoltaicos

Las celdas fotovoltaicas tienen la capacidad de generar, individualmente, una tensión aproximada de 0.6 V, una corriente de 3 A, y una potencia suministra entre 1 W y 2 W. Es decir, para lograr los niveles exigidos para cada aplicación, se asocian las celdas en los conocidos módulos fotovoltaicos (Mascarós, M., 2016).

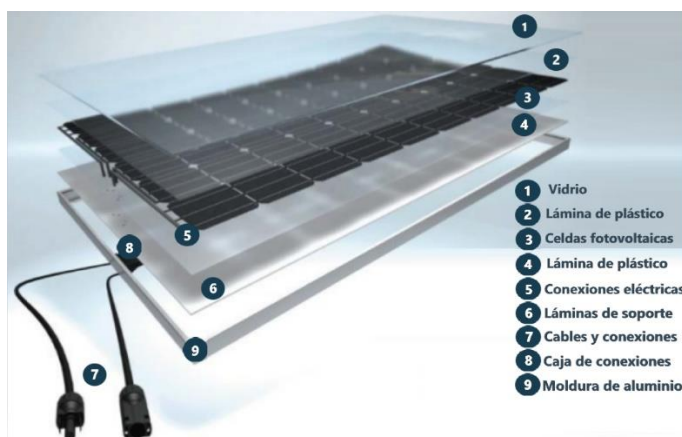
El módulo se define comercialmente, como un conjunto de paquetes de celdas fotovoltaicas, es decir, dispone de celdas conectadas estratégicamente para producir las condiciones energéticas necesarias, y son montados sobre una estructura sólida que las envuelve y las protege contra agentes externos, dotándolas de la rigidez necesaria para soportar el acoplamiento y la fijación de las estructuras de soporte.

3.3.2.1. Características Constructivas de los Módulos Fotovoltaicos

Actualmente los módulos fotovoltaicos son construidos con el mínimo de interacción humana posible, lo que permite la fabricación de los módulos en gran cantidad, reduciendo así los costos, facilitando el mantenimiento y permitiendo obtener un alto padrón de calidad.

Dependiendo del tipo de celda seleccionada, los módulos pueden ser fijos o flexibles, con material y características específicas, pero en general, van a presentar la misma estructura de montaje:

Figura 14
Estructura de un Módulo Fotovoltaico



Fuente: Bosch Solar Energy AG, 2012

Según indica la Figura 14, la cubierta frontal (1), suele ser fabricada en vidrio templado con espesor entre tres y cuatro milímetros. Tiene la función de proteger las celdas fotovoltaicas contra agentes atmosféricos. De entre sus características básicas, se pueden destacar: la excelente capacidad transmisión de radiación solar, la baja reflexión para aprovechar al máximo los radios solares que incide en su superficie, la impermeabilidad, para impedir que el agua ingrese a su interior, y principalmente la baja resistividad térmica para disipar el calor de las celdas, ya que la potencia de las celdas disminuye con el aumento de la temperatura (Mascarós, M., 2016).

El encapsulante (2), que suele ser fabricado con un material transparente, usualmente se aplica el EVA (etilvinilacetato) que agrega solidez a las celdas. Las celdas fotovoltaicas (3), transforman parcialmente la energía solar en eléctrica, y son unidas en serie o en paralelo proporcionando mayor voltaje o corriente, según su configuración. La cubierta posterior (4), fabricada con material plástico, tiene la función de proteger contra agentes externos, además de aportar impermeabilidad al sistema. El marco (9), usualmente elaborado en aluminio anodizado, agrega resistencia mecánica y rigidez al módulo fotovoltaico, permitiendo su fijación. La caja de conexiones (8) está posicionada en la parte posterior del módulo, dispone de dos bornes de salida (positivo y negativo), frecuentemente se agregan un diodo de paso para evitar el efecto de punto caliente. Sus principales características son la estanqueidad y la resistencia a la intemperie. Los cables (7) poseen conectores estandarizados, que permiten una rápida conexión en serie de los módulos (Mascarós, M., 2016).

3.3.2.2. Las Curvas Características de los Módulos Fotovoltaicos

Un módulo fotovoltaico se comporta de forma distinta a las fuentes eléctricas convencionales, su tensión de salida no es constante en los terminales. El valor de la tensión y de la corriente en los terminales de salida, dependerá de la carga conectada al módulo. Es decir, si el aparato demanda demasiada corriente, la tendencia de la tensión de salida es de

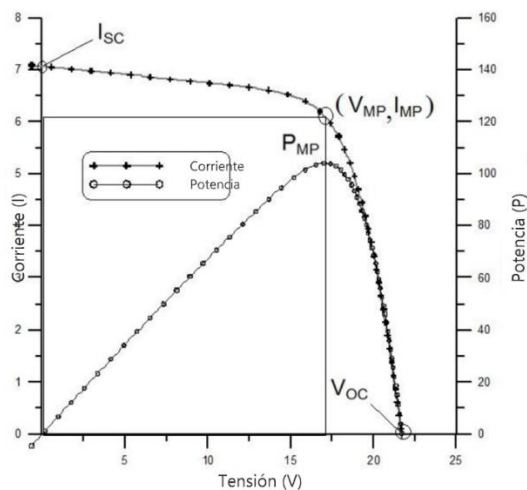
cair. Pero, si la carga demanda poca corriente, la tensión del módulo irá elevarse, tendiendo la tensión al conocido circuito abierto (tensión máxima del módulo) (Grandella, V., 2015).

Para determinar las características de funcionamiento de un módulo fotovoltaico, se realiza un ensayo en laboratorio ante precisos parámetros conocidos como CEM (Condiciones Estándares de Medida), que determina el comportamiento de los módulos bajo condiciones particulares como: Irradiación solar: 1000 W/m^2 ; Incidencia normal; Temperatura de la celda: $25 \text{ }^\circ\text{C}$; y la distribución espectral correspondiente a una masa de aire de valor 1.5 (Mascarós, M., 2016).

En el ensayo CEM, el módulo es sometido a una fuente de tensión variable, registrando el comportamiento de la tensión, la corriente y la potencia, determinando así la curva característica I – V, que relaciona la corriente (I) con la tensión (V), y la curva característica P – V, que relaciona la potencia (P) y la tensión (V).

Figura 15

Curva Característica I-V, y Curva de Potencia P-V para un Módulo con Potencia Nominal de 100Wp.



Fuente: Tavares, P. & Galdino, 2014

Tavares y Galdino explican que para “Cada punto en la curva I-V, o producto corriente-tensión, representa la potencia generada para aquella condición de operación... La curva de potencia en función de la tensión, llamada curva P-V, identifica el punto con el máximo valor de potencia. A ese punto en la curva de potencia corresponde a un punto en la

curva de la corriente, con valores de tensión y corrientes específicos, que son denominados, respectivamente, de tensión y corriente de máxima potencia (V_{MP} , I_{MP}). Ese punto es conocido como el punto máximo de potencia P_{MP} ” (Tavares, P. & Galdino, 2014, pág. 147).

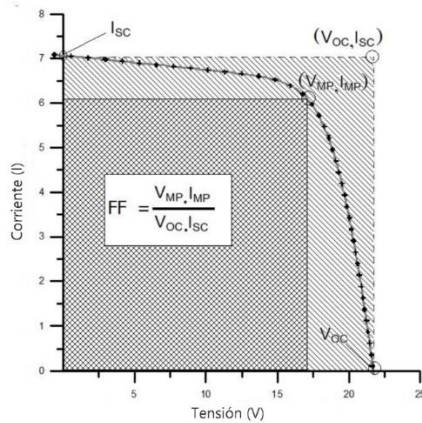
En las curvas características se pueden observar valores importantes como: La V_{OC} (tensión de circuito abierto), que es la máxima tensión que el módulo puede fornecer cuando el circuito está abierto (no existen cargas conectadas), la corriente será cero; La I_{SC} (intensidad en cortocircuito), que es la corriente máxima que el módulo puede fornecer en condiciones ideales, la tensión eléctrica será cero; La P_{MPP} (potencia máxima, también expresa por W_P), que se define como la potencia máxima que un módulo puede entregar en condiciones estándares de medida. Los fabricantes fornecen ese dato con tolerancias, debido a la falta de similitud entre las celdas, provocando prestaciones inferiores a las registradas en laboratorio (Mascarós, M., 2016).

Los fabricantes indican otros datos de elevada importancia al consumidor, como las dimensiones (generalmente en mm), el peso (valor aproximado expresado en kg), el área de la superficie expuesta a la radiación solar (en m^2), el tipo de celda, su material y sus dimensiones, el tipo de asociación eléctrica y el número de celdas, el material utilizado en el marco, la caja de conexiones con características como su grado de protección IP (sistema internacional de codificación utilizado para indicar los grados de protección de un producto contra elementos puntiagudos, intemperie, penetración de cuerpos sólidos y líquidos, etc. Suele venir la sigla IP seguida de dos cifras), los rangos máximo y mínimo de temperatura ambiente (en $^{\circ}C$), la carga máxima del viento (en km/h), la máxima presión (en Pa), y la carga máxima de nieve (en kg/m^2), entre otros (Mascarós, M., 2016).

En la gráfica de la curva se puede evidenciar el Factor de Forma (FF), que expresa cuando su curva característica se aproxima del rectángulo en el diagrama. Es decir, cuanto mayor la calidad de las celdas, más cercana de la forma rectangular será la curva I-V. El área

con líneas simples representa el producto $V_{OC} \times I_{SC}$, lo que será siempre superior a la potencia que el módulo podrá suministrar, el área representada por las líneas cruzadas determina el producto $V_{MP} \times I_{MP}$, es decir, la potencia máxima del módulo P_{MP} . El factor FF es determinado por la relación entre ambas áreas (Tavares, P. & Galdino, 2014).

Figura 16
Representación del Factor de Forma en la Curva



Fuente: Tavares, P. & Galdino, 2014

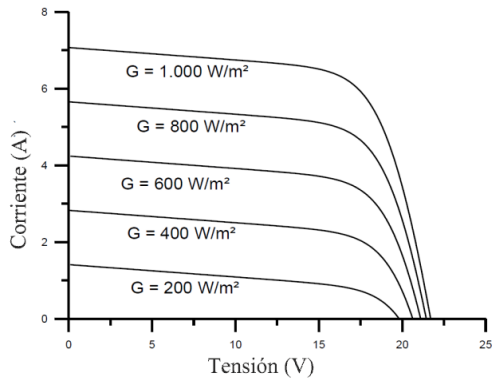
3.3.2.3. Los Factores que Afectan las Características Eléctricas de los Módulos

En el proceso de instalación y elección de un módulo fotovoltaico, se debe observar algunos factores que afectan e influyen su desempeño eléctrico:

3.3.2.3.1. La Irradiancia Solar

La potencia eléctrica suministrada por el módulo fotovoltaico es directamente proporcional a la intensidad que la irradiancia solar incide sobre sus celdas. Es decir, según las pruebas realizadas en laboratorio, con una irradiancia solar de 1000 W/m^2 y con temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$, el módulo tiene la capacidad de ofrecer la corriente máxima indicada por el catálogo del fabricante. Según evidenciado en la Figura 17, la corriente de cortocircuito tiene un incremento lineal ante el efecto de la irradiancia solar (Mascarós, M., 2016).

Figura 17
Efecto de la Irradiancia Solar sobre la Curva I-V en un Panel de 36 (c-Si)



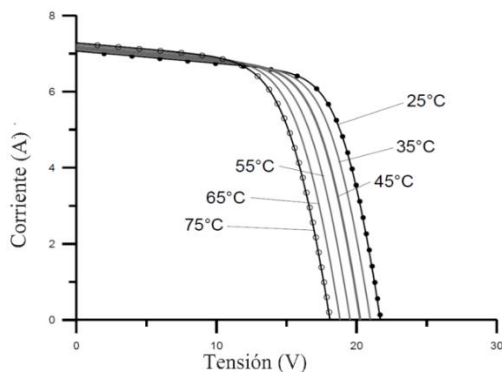
Fuente: Tavares, P. & Galdino, 2014

3.3.2.3.2. La Temperatura

La temperatura ambiente influye directamente a la tensión fornecida por el módulo, y consecuentemente en la potencia suministrada, ya que esta es el producto de la tensión y de la corriente del módulo. Cuanto más baja la temperatura registrada, mayor será la tensión registrada, la corriente es mínimamente afectada por ese fenómeno (Grandella, V., 2015).

De forma similar, la temperatura de trabajo de las celdas afecta el suministro de los módulos, ya que se observa una disminución de la tensión en el circuito abierto y un incremento ligero de intensidad en cortocircuito con el aumento de la temperatura (Mascarós, M., 2016).

Figura 18
Efecto de la Variación de la Temperatura sobre la curva I-V en un Panel de 36 Celdas c-Si



Fuente: Tavares, P. & Galdino, 2014

La temperatura de operación nominal de la celda (NOCT) es establecida por medio de un ensayo para acercarse a las condiciones reales de operación de las celdas en el panel, para obtener las condiciones eléctricas específicas en campo. Así, un módulo en circuito abierto es expuesto a una irradiancia solar de 800 W/m^2 , con temperatura ambiente de $20 \text{ }^\circ\text{C}$, ante la acción de los vientos con velocidad de 1 m/s . Tavares afirma que “la NOCT esta relacionada a las propiedades térmicas y ópticas de los materiales empleados en la fabricación de los módulos...suponiendo módulos de mismos coeficientes de temperatura, aquel que tenga menor NOCT tendrá el mejor desempeño en campo, ya que tendrá menos pérdidas relacionadas a la temperatura” (Tavares, P. & Galdino, pág. 152).

3.3.2.3.3. El Sombreado y los Puntos Calientes

En un panel fotovoltaicos, las celdas están conectadas en serie, es decir, son codependientes entre sí para producir energía eléctrica, por lo tanto, el efecto de sombreado afecta los sistemas fotovoltaicos. El sombreado puede ser provocado por cualquier obstáculo, como edificaciones, un pájaro posado, árboles, suciedad, o elementos del propio generador fotovoltaico, resultando en una falla en la producción de energía, que se limitará la corriente del todo el conjunto en serie (Grandella, V., 2015).

Marcelo Grandella, define que “El efecto del sombreado ocurre cuando una o más celdas reciben poca o ninguna luz, impidiendo el pasaje de la corriente eléctrica de otras celdas. El mismo efecto ocurre en los módulos conectados en serie. Si uno de los módulos recibe poca o ninguna luz, la corriente eléctrica de todo el conjunto es reducida y consecuentemente el sistema produce menos energía” (Grandella, V., 2015, pág. 89).

Además de afectar la producción de la corriente eléctrica, el efecto del sombreado puede producir el sobrecalentamiento del material semiconductor, produciendo los conocidos puntos calientes (hots-spots), comprometiendo el módulo permanentemente.

3.3.3. La Eficiencia del Panel Solar

La eficiencia de un panel solar es determinada por la cantidad de irradiación (luz) absorbida por la superficie del panel y que puede ser convertida en corriente eléctrica. En los últimos años, la tecnología fotovoltaica ha acentuado los niveles de eficiencia, resultando en un incremento de la potencia nominal de los paneles disponibles en el mercado.

El IPCC define las fuentes energéticas como una relación entre la producción de energía útil y la cantidad de energía consumida. Se considera como un componente de intensidad energética, expresada en kWh (IPCC, 2011).

Para estimar el porcentaje de eficiencia de un panel fotovoltaico, se considera un conjunto de factores importantes, como: la eficiencia de la celda fotovoltaica (PV), el diseño y material de la celda, la configuración y el tamaño del panel. El cálculo es realizado por medio del Factor de Forma (FF), ya mencionado anteriormente, que es la máxima eficiencia al suministrar energía eléctrica (Clean Energy Reviews, 2021).

El ensayo que determina la eficiencia de un panel es realizado en laboratorio bajo condiciones estándares (STC) como: temperatura de la celda a 25 °C, la irradiancia solar en 1000 W/m² y masa de aire 1,5. Se calcula por medio de la Ecuación 1, que detalla la eficiencia del panel solar. (Clean Energy Reviews, 2021):

$$\eta (\%) = \frac{P_{max}}{(Área \cdot 1000 \text{ W/m}^2)} \cdot 100 \quad (1)$$

Donde:

η (%): Eficiencia del panel

P_{max} : Potencia máxima

Algunos factores como nivel de irradiancia, temperatura, tipo y asociación de las celdas, y el color de la lámina protectora afectan la eficiencia. Los colores negros, pese más estetico, absorben más calor, aumentando la temperatura de la celdas y por consecuencia la resistencia, reduciendo así la eficiencia (Clean Energy Reviews, 2021).

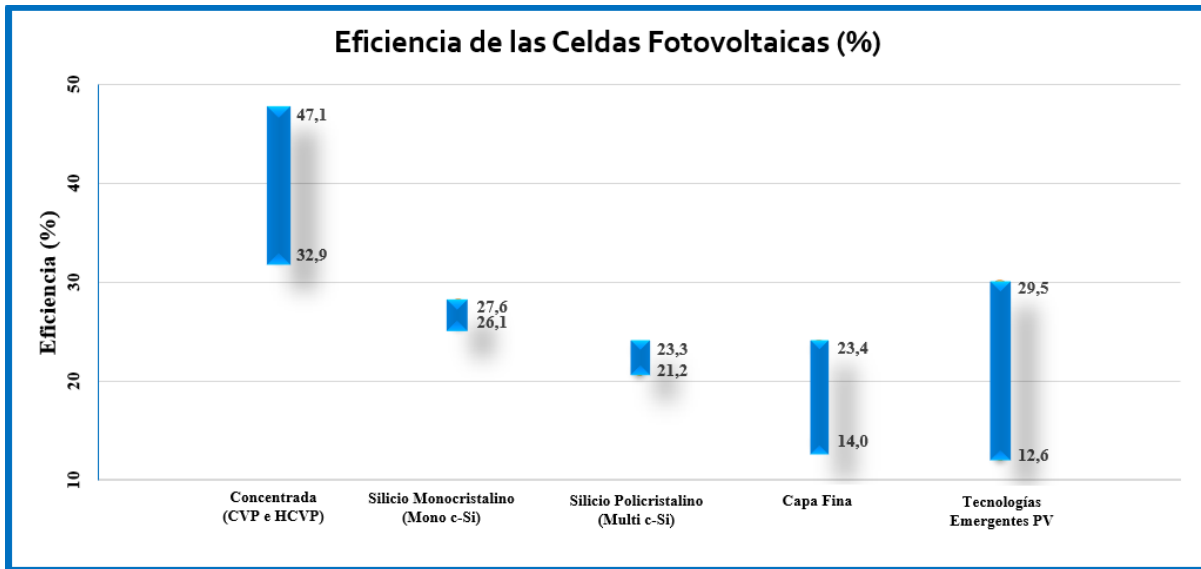
La eficiencia es un factor determinante al momento de elegir un panel solar, pero también se debe observar la calidad de fabricación que relaciona el rendimiento, la confiabilidad, el aporte del fabricante, las condiciones de garantía, el investimento y el retorno de la inversión.

Algunos factores externos tienen influencia directa en la eficiencia del panel como la ubicación (latitud), la época del año, el polvo y la suciedad, además constituye como factor de impacto significativo la irradiancia, el sombreado, la orientación del panel, y la temperatura ambiente (Clean Energy Reviews, 2021).

El National Renewable Energy Laboratory (NREL), es un laboratorio americano que enfoca soluciones a los desafíos energéticos actuales. Cuenta con diversas publicaciones y programas de investigación, figurando como una referencia global. En el año 2020, elaboró un compilado de eficiencias energéticas de distintas tecnologías haciendo un recorrido desde el año 1976.

En la Figura 19, se aprecia un comparativo de eficiencias de los diferentes materiales aplicados en la producción de las celdas fotovoltaicas. Los Concentrados (CVP e HCVP), registran el mejor rendimiento, las Tecnologías Emergentes incluyen la energía fotovoltaica orgánica (OPV), las celdas solares perovskita (PSC), y las celdas solares sensibilizadas por colorantes (DSSC), constituyendo estrategias de diseño ecológico para reducir costos, mejorar la disponibilidad, eliminar componentes tóxicos y materiales preciosos, aplicando recursos renovables y amigables al medio ambiente (Mariotti, Bonomo, & Barolo, 2020).

Figura 19
Comparativo de Eficiencia entre Distintas Tecnologías Fotovoltaicas



Fuente: (NREL, s.f.)

Capítulo IV

4. Estudio, Análisis y Viabilidad del Proyecto

4.1. Generalidades

Se presenta los detalles inherentes al estudio, características y aplicación de los componentes existentes en un sistema fotovoltaico autónomo con baterías estacionarias destinadas al almacenamiento de la energía producida. Además, se calcula la viabilidad del proyecto, el levantamiento de la demanda de energía, el dimensionamiento de las baterías y de los módulos fotovoltaicos. Para mayor aprovechamiento de los equipos de tecnología solar, previa a la instalación, se considera datos como: el área, tipo y estructura del techo, el sombreado y la presencia de obstáculos, la definición del local para acomodar los equipos, el ángulo de los módulos solares, la incidencia solar, entre otros datos pertinentes, visando siempre la máxima eficiencia y el ahorro en la planilla eléctrica.

4.1.1. Los Sistemas Fotovoltaicos Conectados en Red (On-grid)

Un sistema fotovoltaico On-grid, trabaja en sincronismo con la compañía de distribución pública de electricidad. Consiste básicamente en, establecer un sistema fotovoltaico que genera electricidad para el autoconsumo, reduciendo o eliminando las demandas energéticas externas, aportando eventuales excedentes a la red estatal de electricidad. Algunos países incentivan esa tecnología, transformando los excedentes en créditos a la planilla eléctrica, así el consumidor pasa a asumir el cargo de productor de energía (Grandella, V., 2015).

Cada país establece su propia normativa e incentivos para instalaciones conectadas a red. En Ecuador, ARCONEL es el responsable por establecer dichas medidas. Así que, en el año 2018, emitió la Resolución denominada “Microgeneración fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica”, donde visa la utilización racional de los recursos energéticos, prioriza las energías renovables, estipula los requisitos y

establece las exigencias, regula y controla las instalaciones de los sistemas fotovoltaicos sincronizados con la red, aplicando dichas medidas para empresas distribuidoras y a usuarios regulados, productores de hasta 100 kW en medio y/o bajo voltaje, en energía autoconsumida, con aportación de excedentes a la red de distribución (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2018).

La instalación On-grid puede abastecerse de la energía producida por la red, sea por la insuficiencia de radiación solar o por una demanda extra de energía de los equipos de carga. La instalación puede ser asistida, donde el sistema es dotado de conmutadores, para evitar que ambas estructuras funcionen simultáneamente, o ambas pueden estar interconectadas, sea por inyección cero (que se regula la potencia del inversor para no producir excedentes), o por inyección de excedentes (que inyecta el remanente de energía a la red) (Mascarós, M., 2016).

El sistema de sincronización de las instalaciones fotovoltaicas con la red de distribución pública de electricidad, no se aplica al presente estudio.

4.1.2. Los Sistemas Fotovoltaicos Autónomos (Off-grid)

Los sistemas fotovoltaicos aislados tienen por finalidad generar energía eléctrica para satisfacer la demanda de las cargas no conectadas a la red. Usualmente, dentro de sus aplicaciones, se puede destacar la electrificación rural, el alumbrado público, la señalización vial, telecomunicaciones, actividades de ocio, entre otros (Mascarós, M., 2016).

Estructuralmente, esa instalación carece de un acumulador o batería para almacenar la energía generada, principalmente para satisfacer las necesidades cuando la demanda es superior a la potencia producida, o se evidencia una radiación solar ineficiente. Además, consta de una unidad responsable por el control y dimensionamiento de potencia compuesta por un inversor y un controlador de carga (Tavares, P. & Galdino, 2014).

Habitualmente, las instalaciones aisladas pueden ser clasificadas en: Instalaciones sin inversor; Instalaciones con inversor conectado en la salida del regulador de carga;

Instalaciones con inversor conectado directamente en el sistema de acumulación, y las instalaciones solares fotovoltaicas híbridas, que no hace parte del estudio (Mascarós, M., 2016).

Los sistemas fotovoltaicos autónomos son configuraciones caracterizadas por la simplicidad de su diseño. La Delft Universit of Technology establece que, para desarrollar un sistema Off-grid, es necesario cumplir las siguientes etapas: Determinar la carga total y su tiempo de operación, considerar las pérdidas del sistema, calcular la irradiación solar pico (HSP), estimar la demanda del panel solar, establecer la posición ideal de instalación del panel, calcular el tamaño, la cantidad de baterías necesarias para el almacenamiento de energía y su capacidad de carga (Delft University of Technology, 2014).

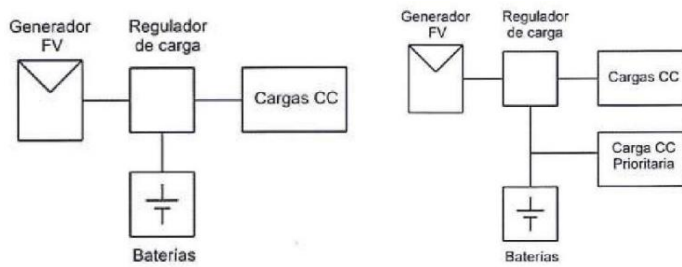
4.1.2.1. Instalaciones sin Inversor

Constituye un sistema que alimenta solamente consumidores de corriente continua, como electrodomésticos portátiles o lámparas, dispensando el uso del inversor. Se compone básicamente del módulo fotovoltaico, el controlador de carga, la batería o banco de baterías, y las cargas (Grandella, V., 2015).

Algunas configuraciones exigen la elección de un consumo o una carga eléctrica prioritaria, que será conectada directamente a la batería. Es decir, cuando ocurren sobrecargas de la batería, para evitar que la carga prioritaria se quede sin alimentación de energía, se desconecta automáticamente las cargas secundarias, preservando así, la función del consumible. Cuando eso ocurre, se recomienda cargar inmediatamente la batería para evitar una descarga profunda o total de la batería (Mascarós, M., 2016).

Figura 20

Instalación Fotovoltaica Básica sin Inversor y con Carga Prioritaria, Respectivamente



Fuente: Mascarós, M., 2016

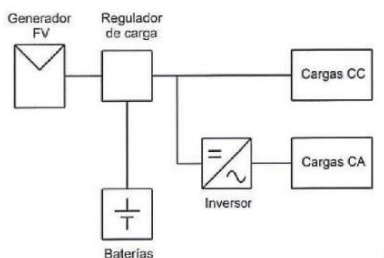
4.1.2.2. Instalaciones con Inversor Conectado a la Salida del Regulador de Carga

Son instalaciones destinadas para cargas alimentadas con corrientes alternas, la instalación del inversor permite la conversión de la corriente continua en alterna.

El sistema está compuesto del módulo fotovoltaico, el controlador de carga, la batería o banco, el inversor CC-CA, y los consumidores. Para la efectividad de la protección contra sobredescargas de las baterías, se debe considerar el inversor como una carga adicional. El regulador debe ser capaz de soportar la demanda del inversor, los sobresalientes de arranque, la corriente alimentada por las cargas y los consumos de corriente continua (Mascarós, M., 2016).

Figura 21

Instalación Fotovoltaica con Inversor Conectado a la Salida del Regulador de Carga



Fuente: Mascarós, M., 2016

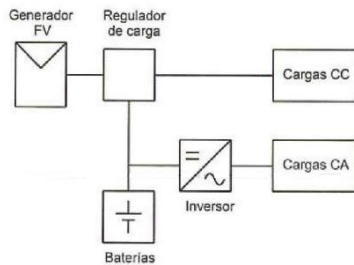
4.1.2.3. Instalaciones con Inversor Conectado al el Sistema de Acumulación

Al conectar el inversor directamente a la batería, la energía demandada por él es proporcionada directamente por la batería, sin sobrecargar el regulador de carga. Ese sistema no presenta eficacia en la protección contra las sobredescargas, puesto que el regulador sigue

extrayendo corriente de la batería, pese la desconexión de los consumos de cargas continuas. El inversor suele venir dotado de una protección de auto desconexión cuando la tensión atinge el valor mínimo establecido, no ajustable y pre establecido por la empresa de fabricación (Mascarós, M., 2016).

Figura 22

Instalación con Inversor Conector al Sistema de Acumulación



Fuente: Mascarós, M., 2016

4.1.2.4. Instalaciones Híbridas

Los sistemas híbridos se componen de la mezcla entre la energía solar fotovoltaica y otra fuente energética que puede renovable o no. La aplicación de distintos generadores de electricidad permite la optimización de los recursos energéticos, formando un sistema coordinado, de bajo costo, que opera ante el mínimo de interrupciones y garantiza la efectividad en la alimentación de cargas específicas. Entre las desventajas, se puede destacar la complejidad técnica y los exigentes mantenimientos necesarios a la estructura (Tavares, P. & Galdino, 2014).

El sistema de generación adicional es accionado, usualmente, cuando las baterías se encuentran en un estado crítico de descarga, y se interrumpe automáticamente, cuando esta vuelve a su nivel estable de capacidad (Delft University of Technology, 2014).

Tavares estima que la proporción de aplicación de ambas fuentes depende de factores como: “la inversión inicial, el costo de mantenimiento, la facilidad para obtener el combustible, la polución ambiental y sonora, el área de ocupación del sistema fotovoltaico, las curvas de cargas, la demanda energética, etc.” (Tavares, P. & Galdino, 2014).

4.2. Los Componentes de los Sistemas Fotovoltaicos Autónomos

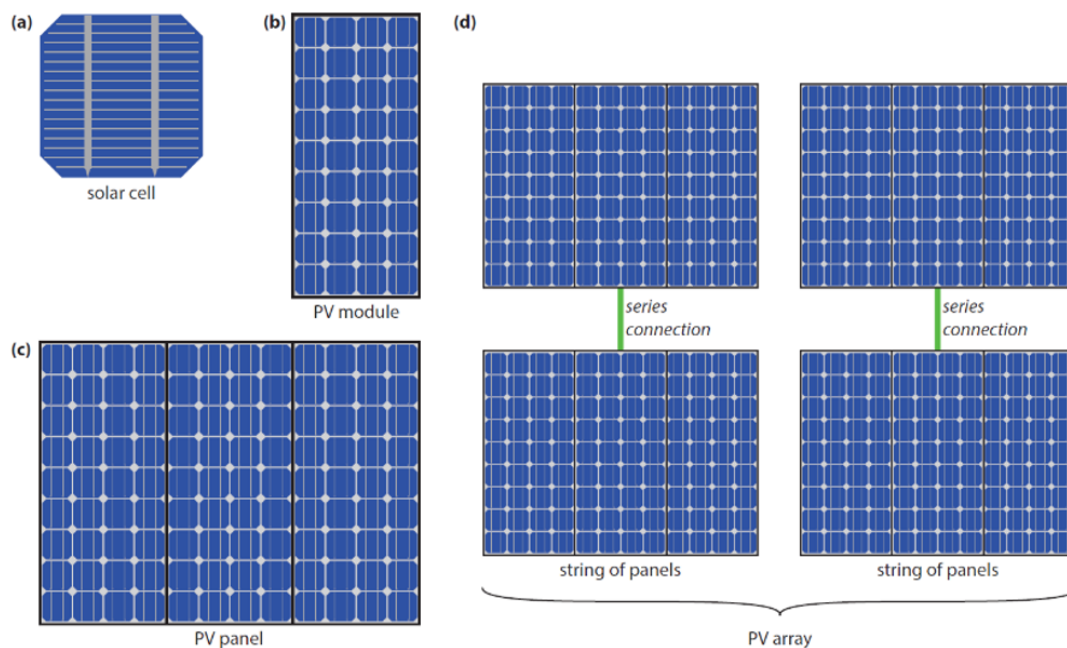
Un sistema fotovoltaico aislado de la red está compuesto, básicamente, del panel solar o módulo fotovoltaico, que capta y genera la energía en forma de tensión y corrientes continuas, un convertidor de energía para aplicaciones de cargas alternas, una batería o bancos de baterías para el almacenamiento de la energía generada, y un controlador de carga para regular la carga de la batería y prolongar su vida útil, protegiendo contra descargas excesivas, sobrecargas y, en algunos casos, maximizar la producción energética (Tavares, P. & Galdino, 2014).

4.2.1. El Panel Solar o Módulo Fotovoltaico

Según ilustrado en la Figura 23, un módulo fotovoltaico es constituido por celdas fotovoltaicas interconectadas, un panel solar está compuesto de diversos módulos conectados entre sí, en serie o en paralelo, y la matriz fotovoltaica (o subcampos) que constituye de diversos paneles conectados en serie para satisfacer mayores demandas de energía (Delft University of Technology, 2014).

Figura 23

Ilustración de una Celda solar (a), un Módulo FV (b), un Panel FV (c), y una Matriz FV (d)



Fuente: Delft University of Technology, 2014

Se estima que la vida útil de un sistema fotovoltaico esta alrededor de 25 años, considerando mantenimientos constantes a sus componentes. Durante ese período, el módulo FV esta sometido a condiciones externas de deterioración, como: cambios de temperatura entre estaciones, y entre la noche y el día; fatigas mecánicas como el viento y el granizo; estrese por eventos atmosféricos como la arena y el polvo; humedad atmosférica y proveniente de la lluvia, orvallo; y la irradiancia directa o indirecta del sol (Delft University of Technology, 2014).

4.2.1.1. Las Conexiones y Asociaciones de los Módulos Fotovoltaicos

Un sistema fotovoltaico permite conexiones en serie, en paralelo o mixtas entre los módulos para obtener voltajes y corrientes deseadas y modificar la potencia según las necesidades de las cargas.

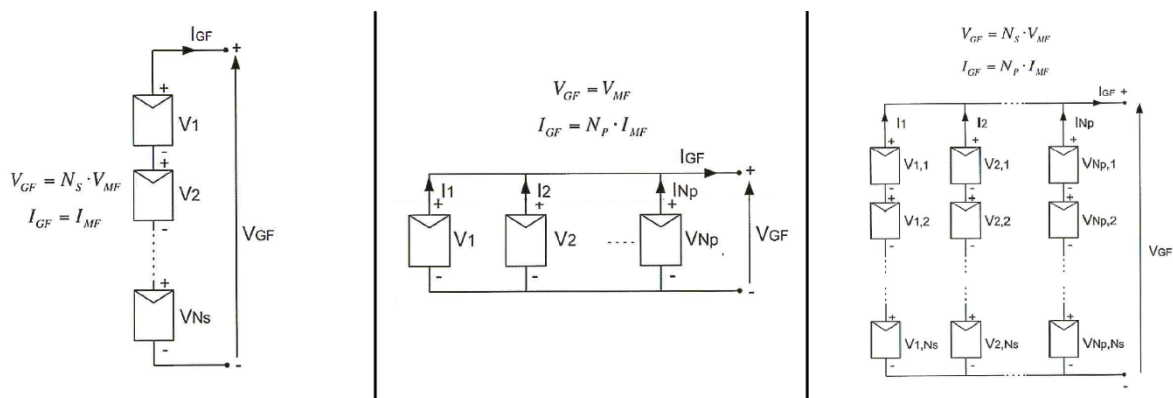
Los módulos conectados en serie (del terminal positivo de un módulo al terminal negativo de otro, y así por delante), permiten aumentar las tensiones y la potencia eléctrica, no afectando la intensidad. Técnicamente, a un módulo conectado en serie se denomina rama, string, o cadena. Vicente Mascaros considera que, “la tensión eléctrica del generador fotovoltaico (V_{GF}) es igual al producto de la tensión de un módulo (V_{MF}) por el número de módulos conectados en serie (N_S). Mientras que la intensidad del generador fotovoltaico (I_{GF}) es igual a la intensidad suministrada por un módulo (I_{MF})” (Mascarós, M., pág. 74).

Las conexiones en paralelo son hechas conectando los terminales positivo y negativo entre sí, permitiendo incrementar el valor de la intensidad y de la potencia eléctrica fornecidas por los módulos, sin modificar el valor de la tensión. De igual manera, Vicente Mascaros define que la intensidad eléctrica del generador fotovoltaico (I_{GF}) es igual al producto de la intensidad de un módulo (I_{MF}) por el número de módulos conectados en paralelo (N_P). Mientras que la tensión del generador fotovoltaico (V_{GF}) es igual a la tensión suministrada por un módulo (I_{MF})” (Mascarós, M., pág. 90).

Las asociaciones mixtas permiten incrementar el valor de la intensidad, de la tensión y de la potencia eléctrica. Se considera la siguiente expresión: “la tensión eléctrica del generador fotovoltaico (V_{GF}) es igual al producto de la tensión de un módulo (V_{MF}) por el número de módulos conectados en serie (N_S). Mientras que la intensidad del generador fotovoltaico (I_{GF}) es igual a la intensidad de un módulo (I_{MF}) por el número de ramas conectadas en paralelo (N_P)”(Mascarós, M., 2016).

Figura 24

Asociación en Serie, en Paralelo y Mixtas de los Módulos Fotovoltaicos, Respectivamente.



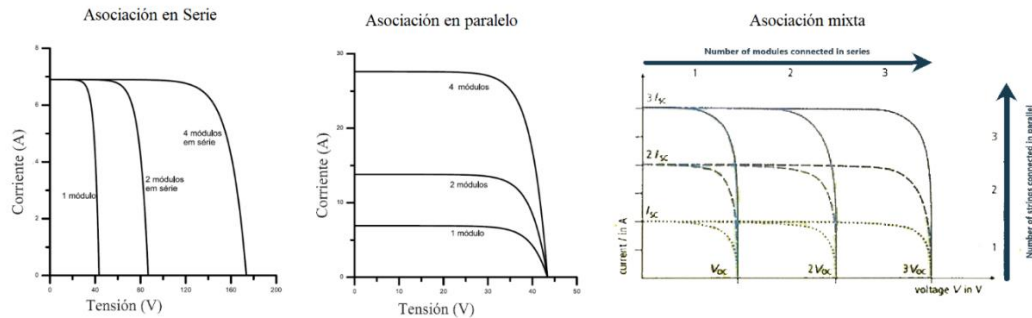
Fuente: Mascarós, M., 2016

Para todas las asociaciones presentadas, los módulos deben ser idénticos y estar sometidos a las mismas condiciones de temperatura y de radiación. Así “la potencia del generador fotovoltaico en condiciones ideales es igual al producto del número total de módulos fotovoltaicos ($N_T = N_S \cdot N_P$) por la potencia de un módulo (P_{MF}), evidenciándose por la expresión $P_{GF} = N_T \cdot P_{MF}$ (Mascarós, M., 2016).

En la Figura 25, se aprecia el comportamiento de la Curva I-V y sus variaciones según el tipo de asociación elegida para el módulo, sea esa en serie, en paralelo o mixta, respectivamente.

Figura 25

Curva I-V de las Conexiones de los Módulos en Serie, en Paralelo y Mixta.



Fuente: Tavares, P. & Galdino, 2014

4.2.1.2. Componentes Agregados al Módulo

En un módulo que opera en condiciones normales, la corriente eléctrica generada por una celda es consumida por la carga, pero si una celda está sombreada, pasará a generar una carga inversamente polarizada, actuando como carga e invirtiendo la electricidad en calor. Para solucionar la problemática, los fabricantes desarrollaron los diodos de protección (di Souza, Os Sistema de Energia Solar Fotovoltaica).

El diodo de derivación o By-Pass, como es comercialmente conocido, es conectado de forma inversamente polarizada en relación a un conjunto de celdas, limitando la tensión y la potencia disipada. Por cuestiones económicas, son conectados por grupos de 18 a 20 celdas (di Souza, Os Sistema de Energia Solar Fotovoltaica).

El diodo de bloqueo es recomendado y aplicado en las filas de los módulos en serie, para evitar que el efecto sombreado afecte todo el conjunto de módulos conectados. Tiene la función de impedir que la corriente fluya de un conjunto en serie de mayor tensión para el de menor, también evita la descarga nocturna de las baterías, ya que los módulos tienden a producir corrientes reversas en las noches (Tavares, P. & Galdino, 2014).

Los módulos están constantemente susceptibles a sucesos meteorológicos como las sobretensiones provocadas por la acción de los rayos. Por seguridad del sistema, se instalan

los SPD (protectores contra sobretensiones), también conocidos como limitadores o descargadores de tensiones transitorias (Mascarós, M., 2016).

Los dispositivos de seccionamiento y maniobra permiten la desconexión de componentes para la inspección y mantenimiento del sistema, sin la necesidad de la interrupción completa del generador fotovoltaico, evitando pérdidas y perjuicios. Son artefactos conocidos como interruptores-seccionadores.

Mascaros define el componente seccionador como “un dispositivo capaz de establecer, soportar e interrumpir la corriente en un circuito... evitando la formación de arcos eléctricos”, y el interruptor-seccionador como “un dispositivo de conexión que permite abrir y cerrar circuitos bajo tensión, en carga... no permitiendo las operaciones de maniobra en condiciones de cortocircuito” (Mascarós, M., 2016, pág. 76).

4.2.1.3. Las Características Comerciales de los Módulos Fotovoltaicos

El módulo fotovoltaico es un agente generador que capta la energía solar y la convierte en energía eléctrica. Los fabricantes indican en las hojas técnicas o en el catálogo de datos, informaciones técnicas pertinentes que servirán de base para la elección del producto que mejor se adapte a las necesidades del consumidor.

En la hoja de datos, se puede apreciar características mecánicas, eléctricas, la familia del módulo, el material, la serie, entre otras relevantes.

Villalva describe las informaciones generales pertinentes que son registrada en la hoja técnica del módulo, detalladas en la figura (Grandella, V., 2015):

Figura 26*Información Técnica de un Módulo Solar Fotovoltaico***Bosch Solar Module c-Si M 48 EU30111**

Product features	
Power classes	180 Wp, 185 Wp, 190 Wp, 195 Wp, 200 Wp
Electrical data	-0/+4.99 Wp
Design	Glass-film laminate ► Anodized aluminum frame ► Connection box (IP 65) with 3 bypass diodes ► Weather-resistant rear film (white)
Cells	48 monocrystalline solar cells in 156 mm x 156 mm format

Dimensions	Length [x]	Width [y]	Height [z]	Weight
c-Si M 48 EU30111	1343.0	988.0	40.0	16
x, y, z in mm, ±2 mm; weight in kg ±0.5				

Fuente: Bosch Solar Energy AG, 2012

- Clase de potencia, en paneles fotovoltaicos es expresando en Wp (watt-pico), es decir, indica la potencia máxima del panel ante condiciones ideales y específicas simuladas en laboratorio. Generalmente, los fabricantes indican clases de potencia similares, pese tratarse del mismo producto.
- Sigla del modelo, eventualmente indica el tipo de material utilizado para el módulo y el número de celda. En el ejemplo, c-Si M48, indica que es de silicio monocristalino en un módulo dispuesto de 48 celdas. Es importante resaltar que el fabricante dispone de submodelos 180 Wp, 185 Wp, 190 Wp, 195 Wp, 200 Wp.
- Estructura, dependiendo del fabricante, se puede apreciar informaciones como el tipo de estructura, el tipo de conector, las dimensiones de las celdas y del módulo solar, el peso, la resistencia mecánica, entre otros.
- Características eléctricas STC (Figura 27), son marcadores obtenidos por medio de testes rígidos realizados en laboratorio, sobre condiciones específicas, reguladas por organismos internacionales de certificación, es decir, la irradiancia solar en 1000 W/m² e temperatura de 25 °C.

Figura 27
Características Eléctricas STC

Designation	P _{mp} [Wp]	V _{mp} [V]	I _{mp} [A]	V _{oc} [V]	I _{sc} [A]	Reverse-current load capacity I _r [A]
M200	200	24.20	8.35	30.20	8.65	17
M195	195	23.80	8.30	29.80	8.60	17
M190	190	23.40	8.25	29.40	8.55	17
M185	185	23.00	8.20	29.00	8.50	17

Reduction in module efficiency with decrease in irradiation level from 1000 W/m² to 200 W/m² (at 25 °C):
 -0.33 % (absolute); measuring tolerance P_{mp} ±3 %

Fuente: Bosch Solar Energy AG, 2011

Marcelo Grandella, define cada una de las características eléctricas presentes en la tabla STC (Grandella, V., 2015, pág. 83):

- La designación indica los submodelos con sus potencias de salida.
- La potencia de pico o máxima potencia (P_{MP}), se refiere a la potencia máxima del módulo ante las condiciones específicas. Se multiplica la corriente de máxima potencia (I_{MP}) por la tensión de máxima potencia (V_{MP}).
- Tensión máxima de potencia (V_{MP}), es definido por el valor de la tensión en los terminales de salida cuando el módulo atinge su máxima potencia.
- Corriente de máxima potencia (I_{MP}), es el valor máximo de corriente en los terminales de salida cuando el módulo alcanza su máxima potencia.
- Tensión de circuito abierto (V_{OC}), indica el valor del voltaje en los terminales del módulo cuando este se encuentra desconectado. Ese valor es de extrema importancia, pues para calcular el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, se debe considerar las tensiones máximas de los inversores, baterías, controladores de carga, y etc.
- Corriente de cortocircuito (I_{SC}), se define como el valor de corriente máxima que el módulo puede fornecer cuando sus terminales se encuentran en cortocircuito. Lo que es útil para el dimensionamiento del sistema y en las especificaciones de los equipos y accesorios conectados al módulo.

- La resistencia a la corriente reversa, se refiere a la capacidad del módulo en resistir a la corriente en polaridad inversa.
- Las características eléctricas en NOTC (Normal Operation Cell Temperature), son los datos eléctricos medidos ante la temperatura normal de operación de la celda. Se limitan a condiciones reales de funcionamiento, es decir, se establece internacionalmente la temperatura de la celda a 48,4 °C y radiación solar en 800 W/m².

Figura 28
Características Eléctricas NOTC

Designation	Pmpp [W]	Vmpp [V]	Voc [V]	Isc [A]
M200	144	22.13	27.49	6.92
M195	140	22.04	27.31	6.88
M190	137	21.86	27.12	6.84
M185	133	21.49	26.94	6.80

NOCT: Normal Operation Cell Temperature 48.4 °C; Irradiation level 800 W/m², AM 1.5, temperature 20 °C, wind speed 1 m/s, electrical open circuit operation

Fuente: Bosch Solar Energy AG, 2012

- Características térmicas, indica el comportamiento del módulo mediante variaciones de temperaturas.

Figura 29
Características Térmicas

Temperature coefficient	TK [%/K]
Pmpp	-0.46
Uoc	-0.32
Isc	0.032

Fuente: Bosch Solar Energy AG, 2012

- El rango de temperatura de operación del módulo viene expresa en la hoja técnica de datos, generalmente varían entre - 40 °C y 85 °C.
- El coeficiente de temperatura de potencia (Pmpp), indica la reducción de la potencia (expresa en porcentaje) por cada grado de incremento de temperatura del panel.

- El coeficiente de temperatura de tensión (V_{OC}), expresa la disminución de la tensión en la salida del módulo (en porcentaje) por cada grado aumento de la temperatura.
- El coeficiente de temperatura de corriente (I_{SC}), muestra el incremento de la corriente (en porcentaje) por cada grado de temperatura elevado.

4.2.1.4. Los Criterios de Selección de los Módulos Fotovoltaicos

En los últimos años, la tecnología ha evolucionado en lo que se refiere a paneles solares, donde se evidencia un crecimiento de la eficiencia y la durabilidad, facilitando el proceso de fabricación en larga escala, reduciendo principalmente los costos, tornándose cada vez más factible su adquisición y aplicación en los hogares y empresas.

Actualmente existen diversos fabricantes y modelos de paneles solares. Vicente Mascaros instruye y recomienda observar algunos criterios de crucial importancia, como: “el rendimiento y la eficiencia, la tolerancia de potencia máxima, el punto de trabajo del módulo fotovoltaico, el presupuesto, la garantía de potencia, de los defectos de fabricación, las características ambientales, y disponer de un asesoramiento técnico y responsable” (Mascarós, M., pág. 72).

La energía solar es una fuente de energética confiable, duradera, rentable y eficiente. La industria ha desarrollado diversas técnicas a lo largo de los años, siendo los paneles de silicio monocristalino y los de silicio policristalino los de primera generación, pese la baja eficiencia, son los más aplicados comercialmente. Los de segunda generación son caracterizados por aplicaciones en centrales fotovoltaicas, edificios o sistemas menores, presentan baja eficiencia energética, pero son más fáciles de producir y económicamente más viables. Los paneles de tercera generación aplican una variedad de tecnología como la utilización de películas delgadas, materiales orgánicos, y sustancias inorgánicas como el telururo de cadmio (CdTe), pero se destacan principalmente por su alta eficiencia. En la

Tabla 1, se puede evidencia una comparación entre la eficiencia, las ventajas y las desventajas de las principales tecnologías disponibles en el mercado:

Tabla 1

Comparación entre las Distintas Tecnologías Fotovoltaicas

Tecnología del Panel Solar	Eficiencia	Ventajas	Desventajas
Silicio Monocristalino (Mono c-Si)	20%	Alta eficiencia Optimizado para uso commercial Alta durabilidad	Alto costo
Silicio Policristalino (Multi c-Si)	15%	Bajo costo	Sensible a altas temperaturas Menor vida útil Menor eficiencia de espacio
Filme fino: Silicio amorfo (a-Si)	7-10%	Costo relativamente bajo Facilidad de producción Flexibilidad	Garantía y vida útil corta
Fotovoltaica de concentración (CVP)	41%	Excelente Rendimiento Excelente eficiencia	Exige seguidor solar Exige sistema de enfriamiento

Fuente: GreenMatch, 2021

4.2.1.5. Las Pérdidas Eléctricas de los Módulos Fotovoltaicos

Un dispositivo fotovoltaico es considerado una máquina termodinámica, y, por lo tanto, parte de la energía recibida en forma de calor es disipada antes mismo de convertirse en electricidad (Delft University of Technology, 2014).

Los fabricantes deben considerar los mecanismos de transferencia de calor por conducción, radiación y conversión para elaborar un diseño más eficiente. Las variables más relevantes a estimar están relacionadas a las propiedades de los materiales, la irradiancia, las condiciones meteorológicas e el coeficiente de cambio térmico (Simioni, 2017).

Los sistemas fotovoltaicos están sujetos a diversos factores de perdidas eléctricas a lo largo de su vida útil, siendo que se puede amenizar su impacto con un buen sistema regular de mantenimiento, cumplimiento de las especificaciones técnicas de los fabricantes y del proyecto (Tronco, S., Florian, & Baptistini, P., 2017).

Dentro de los factores críticos para la eficiencia del sistema de energía solar fotovoltaica, se puede destacar las pérdidas por:

- Tolerancia nominal de los módulos fotovoltaicos, es el margen de variación de la potencia nominal garantizada por el fabricante. Generalmente, el rango alteración está estipulado entre -5 % y +5 %, siendo que algunos ofrecen tolerancia negativa nula (0%) (Mascarós, M., 2016).
- Degradación de potencia en el tiempo, los efectos relacionados a la degradación del tiempo, ocurren debido a algunos factores externos y progresivos:
 - El efecto brownning, se calcula que reduce cerca de 50% de la eficiencia. El fenómeno es resultado del oscurecimiento del material encapsulante EVA (mayormente utilizado) por los rayos UV, reduciendo la conductividad óptica del material (Tronco, S., Florian, & Baptistini, P., 2017).
 - El efecto yellowing, ocurre por la afección de los rayos UV, previo al efecto brownning y afecta a módulos guardados por largo tiempo sin contacto con la radiación. Felizmente, es un factor reversible, ya que se recupera luego de algunos días de exposición solar (Tronco, S., Florian, & Baptistini, P., 2017).
 - La delaminación, se presenta cuando las capas del EVA empiezan a despegarse creando una interfaz óptica adicional, incrementando la reflectividad y reduciendo la absorción de la energía solar (Tronco, S., Florian, & Baptistini, P., 2017).
 - La infiltración, ocurre eventualmente por defectos de fabricación, cuando el módulo no es efectivamente vedado, permitiendo el ingreso de agua y humedad al sistema, comprometiendo las conexiones eléctricas, inviabilizando el módulo (Tronco, S., Florian, & Baptistini, P., 2017).
 - La humedad resulta en pérdidas significativas, tanto en la eficiencia, cuanto en la durabilidad de los módulos. Se evidencia que provoca fugas de corrientes eléctricas, facilita el acúmulo de contaminantes, compromete los componentes

y conductores metálicos por el efecto de la corrosión y de la degradación, y principalmente, corrompe el material encapsulante.

- La fractura o fisura de componentes pueden ocurrir por defectos de fabricación, instalación inadecuada, mala actuación del operador, estrese térmico (dilatación/contracción), o eventos atmosféricos. Pese la presencia de fisuras o roturas permiten el funcionamiento de los módulos, su desempeño se puede ver afectado expresivamente o anular su producción de energía. Además, ese tipo de falla puede generar cortocircuitos, electrochoques, y infiltración de humedad (Simioni, 2017).
- La degradación de materiales como los componentes de conexión, la estructura, y los semiconductores, está relacionada al comprometimiento de las sueldas y los materiales aplicados en el conexionado de las celdas, la fatiga y la dilatación térmica de los componentes, las fallas en el control de la temperatura de operación, la deterioración de los semiconductores, el incremento de la resistividad eléctrica, etc. (Simioni, 2017).
- Por mismatch, ocurre por la asociación de módulos fotovoltaicos con características ligeramente distintas o incompatibles, sometiendo el PV a un estrese significativo a lo largo de su vida útil, reduciendo su durabilidad y eficiencia. Es una de las principales causas de pérdidas eléctricas en el sistema fotovoltaicos (Phinikarides, Kindyni, Makrides, & Georghiou, 2014).
- Por el aumento de la temperatura de trabajo, es conocido que la potencia del módulo fotovoltaico se ve afectada por el incremento de la temperatura de operación de un PV. Para evitar cualquier inconveniente, se recomienda la instalación en un ambiente ventilado, disponer de un sistema de disipación de calor por convección natural (evitando el uso de partes móviles, ya que ameritan un consumo de energía y

necesitan mantenimiento), además de, providenciar un sellado del circuito electrónico para locales con alto porcentaje de humedad del aire (Tavares, P. & Galdino, 2014).

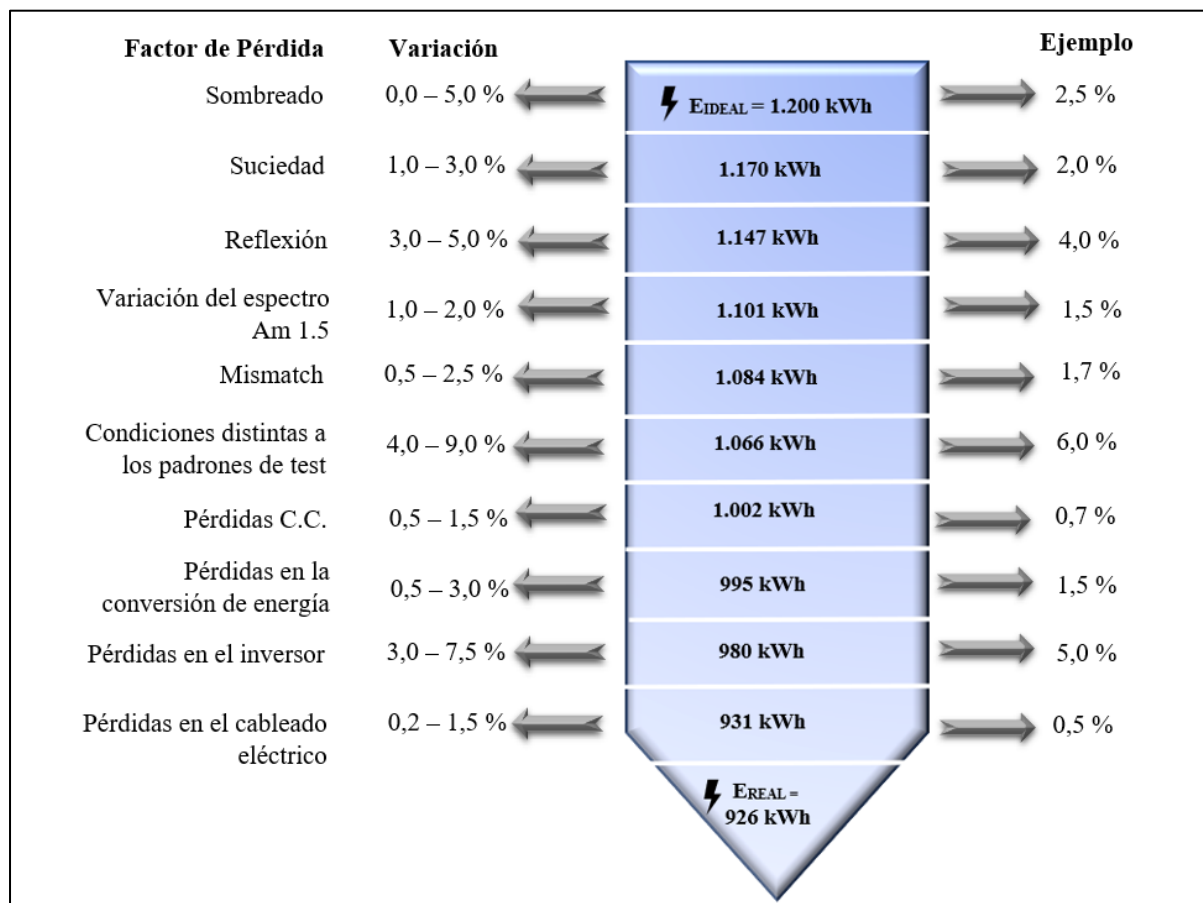
- Por sombreado total o parcial, ocurre cuando una o más celdas reciben una menor radiación solar en relación a otras asociadas en serie. Así, resume la generación de la corriente, la potencia y la operación del módulo fotovoltaico a los valores reflejados por la celda sombreada. El sombreado es un factor crítico en la eficiencia del sistema, y puede ser previsible como árboles, construcciones del entorno, postes de alumbrado, la arquitectura, o entre módulos, o imprevisibles como caída de objetos, hojas, deposiciones de pájaros, suciedad, etc. (N. de Araújo, Rank, Iuata, & Bueno, A. , 2016).
- Por el acúmulo de suciedad que incurre en la disminución de la potencia del generador, provocados por el depósito de polvo y suciedad en la superficie. Una acumulación uniforme resultará en la reducción de la tensión y de la corriente entregada, ya la suciedad localizada producirá puntos calientes, comprometiendo el módulo FV. Se resalta que las zonas industriales, de gran tráfico de automóviles y clima seco están más sujetas a esas afecciones. Se recomienda instalar la estructura con una inclinación mínima de 10° para facilitar la autolimpieza (N. de Araújo, Rank, Iuata, & Bueno, A. , 2016).
- Por el espectro solar, ya que cada tecnología fotovoltaica tiene definido su rango específico en la línea del espectro, lo que permite la máxima absorción del fotón. Así, variaciones espectrales inciden directamente en la reducción de absorción de fotones y consecuentemente en la conversión de la energía (Simioni, 2017).
- La irradiación incide en la absorción de los fotones, traduciéndose en una relación lineal directamente proporcional, es decir, con el incremento de la radiación, se eleva el número de fotones absorbidos, resultando en una mayor producción de corriente,

elevando la potencia producida. Pero, como consecuencia, la mayor excitación de electrones genera un aumento significativo de la temperatura operacional, disminuyendo la eficiencia de la conversión (Simioni, 2017).

- Los conectores y el cableado pueden presentar fallas que inciden en supercalentamiento o interrupciones en el funcionamiento del módulo. Para evitar dichas pérdidas, se recomienda componentes resistentes a la acción atmosférica, a los esfuerzos mecánicos, lejos de la acumulación de agua y de la acción de los vientos, además de calcular precisamente el dimensionamiento del cableado, evitando distancias y sueldas, protegiendo el sistema de las pérdidas óhmicas (Tronco, S., Florian, & Baptistini, P., 2017).

En la Figura 30, se puede apreciar la gráfica adaptada de un estudio realizado en 2013, por la Sociedad Alemana de Energía Solar, cuantificando los factores de pérdidas incidentes sobre los módulos fotovoltaicos. Se puede apreciar, por medio del ejemplo hipotético, un comparativo de un generador con potencial energético nominal de 1.200 kWh, registrando gradualmente el efecto de las pérdidas eléctricas, estimando una caída de 22,83% del total de la capacidad energética (German Solar Energy Society, 2013).

Figura 30
Gráfica de Factores de Pérdidas con Ejemplificación



Fuente: German Solar Energy Society, 2013

4.2.2. El Sistema de Almacenamiento de Energía

En los sistemas fotovoltaicos autónomos, la generación de energía está limitada a las innúmeras fluctuaciones de la irradiancia solar que ocurren diariamente y los distintos valores registrados según las estaciones del año. Por lo tanto, para que el fornecimiento energético de suministro a la carga no sea afectado, se debe instalar un acumulador que fornecerá la energía necesaria cuando el abastecimiento del generador sea insuficiente.

Actualmente, existen diversas tecnologías aplicadas al almacenamiento energético de los sistemas Off-grid, pero lo más comúnmente utilizado para la alimentación de una red de pequeño y medio porte son las baterías.

Mascarós, M. (2016), destaca que las funciones de las baterías en un sistema fotovoltaico autónomo son: Almacenar energía cuando la provisión del generador es

insuficiente para abastecer la demanda de la carga, entregar la intensidad de arranque necesarios para aplicaciones de alta demanda como motores eléctricos, y fijar e estabilizar la tensión nominal de trabajo de la instalación.

Las baterías son clasificadas según su material de fabricación, pueden ser de: plomo-ácido, mayormente utilizada en instalaciones fotovoltaicas como baterías estacionarias, pues permite trabajar en regímenes lentos de carga y descarga; de electrolito inmovilizado (AGM – Absorbent Glass Mat), son más adecuadas para suministrar altas potencias de arranque; las de Níquel-cadmio (Ni-Cd), caracterizada por bajo mantenimiento, larga vida útil y alto costo de inversión; las de iones de litio (Li-ion) con mayores niveles de potencia y energía por unidad de masa, las Ni-MH, que son más costosas, proveen mayor durabilidad, y bajo mantenimiento, entre otras tecnologías (Mascarós, M., 2016).

4.2.2.1. Conceptos y Especificaciones de las Baterías

Grandella, V., (2015), destaca que las baterías pueden ser agrupadas para formar los conocidos bancos de baterías, sea por conexiones en serie para obtener mayores tensiones; asociaciones en paralelo para permitir el acúmulo de una mayor cantidad de energía o incrementar la corriente, manteniendo la tensión; o asociaciones mixtas para posibilitar el incremento simultáneo de la tensión, de la capacidad de corriente y del almacenamiento de carga en los bancos.

Pese las diversas tecnologías presentes en la fabricación de las baterías, se puede detallar y definir las características que son similares entre sí. Se aplican variadas terminologías para describir, clasificar y comparar las distintas baterías disponibles en el mercado.

4.2.2.1.1. Conceptos y Definiciones Básicas

Las baterías son componentes capaces de transformar la energía química en eléctrica. En la literatura, se puede constatar, las siguientes definiciones:

- Celdas, módulos y paquetes: Las baterías de los vehículos híbridos y eléctricos son compuestos por paquetes de alto voltaje con módulos y celdas conectados en serie, para el incremento de la tensión, en paralelo para mayores intensidades, o por medio de conexiones mixtas, ampliando la capacidad y la intensidad máxima del sistema (Ros Marin & Barrera, D., 2017).
- Primarias y secundarias: Las primarias, son determinadas por la irreversibilidad de su proceso de conversión, es decir, no se puede recargar. Las secundarias (recargables), se caracterizan por la reversibilidad de su proceso de conversión, es decir, los electrodos tienen la capacidad de regenerar, y por lo tanto se puede recargar. Son aplicadas a los vehículos eléctricos y híbridos (Delft University of Technology, 2014).
- Tasa C, indica la corriente de descarga de una batería en relación a su capacidad máxima, es decir, señala la corriente que se descargará de la batería en el intervalo de 1 hora (Nickel Institute, s.f.).

4.2.2.1.2. Condiciones del Estado de la Batería

La condición de la batería es determinada las siguientes variables:

- Estado de carga (SOC – State of Charge), es el porcentaje de la batería disponible para descarga (Delft University of Technology, 2014);
- Profundidad de descarga (DOD – Depth of Discharge), es el porcentaje de la batería que fue descargada, partiendo del acumulador totalmente cargado (Delft University of Technology, 2014);
- Autodescarga, se define como el proceso de pérdida de energía o autodescarga del acumulador cuando este no está conectado, es decir, el circuito está abierto (Diaz, T. & Carmona, G., 2018).

4.2.2.1.3. Especificaciones Técnicas

Son los datos estipulados por el fabricante con las especificaciones técnicas utilizadas para reseñar las celdas, los módulos y los paquetes.

- Tensión nominal (V), es la tensión que la batería debe operar. La tensión de salida depende del estado de carga y de la temperatura de la batería (Mascarós, M., 2016);
- Tensión de corte, o tensión de vacío, es el voltaje mínimo permitido a la batería (Nickel Institute, s.f.);
- Capacidad nominal (C), se mide en amperios hora (A.h) y se refiere a la máxima cantidad de energía que se puede extraer de una batería a la tensión nominal. Esta referida en el catálogo o manual técnico fornecido por el fabricante (Nickel Institute, s.f.);
- Capacidad de energía (Wh), se define como la cantidad de vatios-hora disponibles, desde la carga total, hasta el voltaje de corte. Es directamente proporcional a la cantidad de material aplicado al electrodo de la batería y depende del estado de la carga. Es decir, el voltaje de la celda esta sometida a la parte química, y la intensidad eléctrica a la cantidad de materiales activos aplicados (Mascarós, M., 2016);
- Eficiencia de carga, es la relación entre la energía aplicada para recarga la batería y la energía almacenada. Si la eficiencia es baja, se recomienda la instalación de paneles adicionales (Diaz, T. & Carmona, G., 2018);
- Ciclo de vida (vida útil), se define como el número de ciclos de carga y descarga que soporta una batería. Se resalta que el ciclo esta especificado por el fabricante, pero no se debe considerar como un número absoluto, ya que vida útil de la batería se afectado por la velocidad y profundidad de los ciclos,

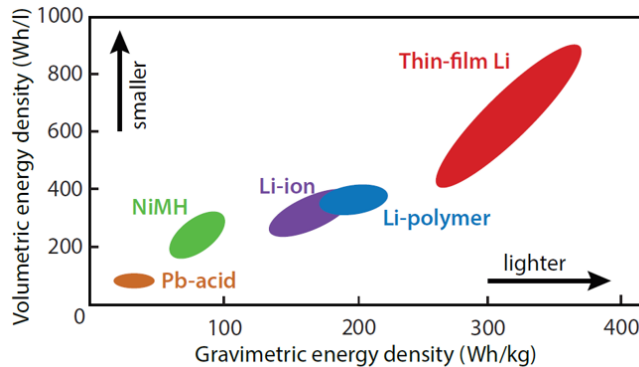
la humedad y las variaciones de temperatura, que deben ser constantemente monitoreadas por los controladores de carga (Delft University of Technology, 2014);

- Efectos de la temperatura, además de la influencia en el ciclo de vida, la temperatura afecta la capacidad de la batería en su ciclo regular, pues destacase que a menor temperatura, menor capacidad, ya que su actividad química se torna más eficiente con temperaturas más elevadas. El envejecimiento de la batería esta relacionado con la sulfatación (cuando ocurre insuficiente recarga luego de la descarga, perdiendo poco a poco, su capacidad de descarga), la corrosión (incrementando la resistencia), la sequedad (caracterizada por la pérdida de electrolíticos, permitiendo la gasificación, pérdida de agua y eventual explosión), (Delft University of Technology, 2014);
- Energía específica (Wh/kg), determina el peso que la batería debe disponer para lograr una autonomía eléctrica específica. Las distintas tecnologías aplicadas en la fabricación de las baterías, admiten dos tipos de densidad: la densidad de energía gravimétrica que indica la cantidad de energía almacenada por masa de batería (Wh/kg), y la densidad energética volumétrica, que implica en la cantidad de energía almacenada por volumen de batería (Wh/l), en otros términos, cuanto mayor la densidad gravimétrica, más liviana será la batería, y cuanto mayor la densidad volumétrica, menor será la batería. En la Figura 31, se puede apreciar una comparación entre distintas tecnologías aplicadas en la fabricación de baterías. Las baterías de plomo-ácido (Pb ácido), son las poseen menor densidad volumétrica y densimétrica, las de iones de litios poseen las características ideales para dispositivo de almacenamiento, las

demás tecnologías están en constante innovación y representan un alto costo de fabricación (Delft University of Technology, 2014).

Figura 31

Comparación entre las Distintas Tecnologías Aplicadas a las Baterías



Fuente: Delft University of Technology, 2014

4.2.2.2. Las Baterías de Hidruro Metálico de Níquel (Ni-MH)

La Corporación Toyota fue la pionera en aplicar baterías recargables a base de níquel, como tecnología de apoyo a los Toyota Prius en los años 90, figurando como precursora de los vehículos eléctricos actuales, posteriormente cediendo espacio para el litio, que aportaba densidad de potencia superior, permitiendo la conducción a largas distancias (Nickel Magazine, 2017).

Actualmente, algunos fabricantes prefieren baterías Ni-MH por su posicionamiento maduro en el mercado, por su confiabilidad, su durabilidad y principalmente el menor costo de fabricación.

El níquel es un elemento metálico de origen natural, se califica como el quinto elemento más abundante del planeta, siendo encontrado en la corteza terrestre y en el núcleo de la tierra. Dentro de sus características físico-químicas se pueden destacar: el alto punto de fusión (1.453 °C), la resistencia a la corrosión y a la oxidación, su ductilidad, su factibilidad de aplicación con distintas aleaciones, su magnetismo a temperatura ambiente, permite depósitos de electrones, tienen propiedades catalíticas, y principalmente, es reciclable,

proporcionando su aplicación en energías renovables como la eólica, la solar, y etc. (Niquel Institute, s.f.).

4.2.2.2.1. Tecnología Ni-MH

La revista Nickel, vol. 32 (2017) define la batería eléctrica como: “...un dispositivo que consta de celdas electroquímicas de dos electrodos: un ánodo, un cátodo y el electrolito.” Las baterías de Níquel-Hidreto Metálico aplican como cátodo el hidróxido de óxido de níquel (NiOOH), como ánodo aleaciones absorbentes de hidrógeno (MH) y para el electrolítico utiliza el hidróxido de potasio (KOH). El níquel es esencial para cátodo de las baterías secundarias, incluyendo las de iones de litio.

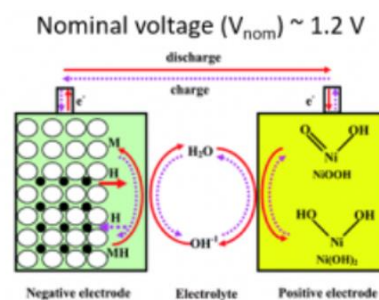
La tecnología NiMH se funda en “la liberación y absorción de hidrógeno (OH-) por un ánodo de óxido de níquel y un cátodo de hidruro metálico” (Cherry, 2015).

En la Figura 32, se puede apreciar el esquema de funcionamiento de una celda de la batería recargable NiMH. En estado cargado, el electrodo positivo de la batería tiene como material activo el oxo-hidróxido de níquel (NiOOH), y el material activo del electrodo negativo es el metal hidreto (MH). Cuando descargado, el material activo del electrodo positivo es el hidróxido de níquel (Ni(OH)₂), y del electrodo negativo, el metal agregado (M). “El MH almacena hidrógeno reversiblemente, absorbiendo y disolviendo ese reagente cuando la batería es cargada o descargada, respectivamente” (Ambrosio & Ticianelli).

Figura 32

Esquema de Funcionamiento de la Celda NiMH

- Anode (negative)
 - Charged – Metal-hydride (MH)
 - Discharged – Metal (M)
- Cathode (positive)
 - Charged – Nickel oxyhydroxide (NiOOH)
 - Discharged – Nickel hydroxide (Ni(OH)₂)
- Separator – Polyolefin nonwovens
- Electrolyte – Potassium hydroxide (30%)



Fuente: Nanthakumar, 2018

El electrolítico consiste en una solución acuosa de hidróxido de potasio (KOH), mezclado con aditivos en pequeñas cantidades para facilitar la performance de los electrodos. Se aplica una mínima cantidad de electrolítico en la celda sellada, siendo que la mayor parte es absorbida por el separador (Ambrosio & Ticianelli).

El separador asume las funciones de retener y balancear el electrolítico y evitar que los reagentes de ambos electros, entren en contacto entre sí, evitando así la autodescarga. Usualmente, es formado por un tejido de fibras de poliamida o polipropileno (Ambrosio & Ticianelli).

Estructuralmente, las baterías modernas agregan al electrolítico la función de conducir iones, y participar de la principal reacción electroquímica, de forma que las propiedades electrolíticas varían en función del SOC (estado de la carga). Las divergencias entre la concentración del ácido y la distribución de corriente interactúan entre sí, donde el consumo local (durante la descarga) o la producción (durante la carga) generan ácido sulfúrico en los poros, originando el conocido efecto de transporte de masa (Garche, Karden, Moseley, & Rand, 2017).

Las baterías NiHM esta detiene, aproximadamente, un porcentaje de 74,7 % de níquel en su composición, de los cuales 60,5 % esta dispuesto en el electrodo negativo, y el 23,5% en el electrodo positivo. La proporción de aleaciones metálicas y tierras raras, es de 16,1 % y 8,16 %, respectivamente. Se resalta que el alto tenor de níquel y cobalto, configura a la batería excelentes calidades de reciclaje y reutilización (Mahmud, Huda, Farjana, & Lang, 2019).

Debido su densidad gravimétrica y volumétrica, las baterías de NiMH son más anchas y pesadas, siendo su peso distribuido en la siguiente proporción: Metales de níquel, 55 %; Óxidos de níquel en el cátodo, 10 %; Aditivos de cobalto en el cátodo y ánodo, 5 %; Tierras raras, 15 %; Separadores, electrolíticos y ligantes, 10 % (ACEA, 2015, pág. 19).

Su aplicación en los sistemas fotovoltaicos fuera de la red, esta relacionada a los mínimos requerimientos electrónicos de control y a su resistencia a condiciones ambientales extremas, lo que confiere alta confiabilidad, larga vida y retorno económico a largo plazo (Moseley, T. & Garche, 2014).

4.2.2.2.2. El Proceso de Envejecimiento de las Baterías Ni-MH

Luego de determinados ciclos de carga, la batería empieza a perder su reversibilidad. El fenómeno ocurre cuando, constantemente, la celda es parcialmente descargada, y posteriormente es sometida a cargas superficiales generando el conocido efecto memoria, es decir, la recarga de la batería se limita a la capacidad consumida anteriormente (Moseley, T. & Garche, 2014).

Estudios indican que el envejecimiento de la batería NiMH es acelerado por las altas temperaturas, sobrecargas y descargas excesivas, altos índices de cargas y descargas profundas. Cherry, Jeff (2015), resalta que “ El daño al electrodo positivo es resultado de las tensiones mecánicas inducidas por los cambios volumétricos que ocurren durante la carga, provocando una pérdida de conectividad entre las partículas, la sobrecarga amplifica este efecto. El electrodo negativo se degrada debido a la corrosión durante el ciclo. El aumento de la impedancia ocurre debido a la pérdida de electrolitos por la formación de gases o por la corrosión del electrodo negativo, contribuyendo para el desvanecimiento de la potencia del NiMH. Este efecto también se acelera en condiciones de sobrecarga.”

En instalaciones fotovoltaicas fuera de la red, y considerando las temperaturas operacionales entre $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$, las baterías Ni-MH proporcionan una durabilidad entre 10 y 15 años de trabajo estacionario (ACEA, 2015).

Garche, Karden, Moseley, & Rand (2017, pág. 40), listan las cuatro causas que producen el envejecimiento de la batería de NiMH:

- La metalización del separador por galvanización, resultando autodescarga y cortocircuitos;
- Las cargas fluctuantes;
- El envejecimiento reversible, o el efecto memoria;
- La corrosión del electrodo de hidreto, provocado por la descomposición del agua, secando los separadores.

Moseley, T. & Garche, (2014), resaltan que el efecto memoria es un efecto óhmico reversible, ya que se puede recuperar la celda con una descarga total de bajo potencial procedida de una recarga total.

4.2.2.2.3. Ventajas y Desventajas de las Baterías Ni-MH

Por su electrolito de base acuosa y su moderado contenido de energía, las baterías Ni-MH son consideradas relativamente seguras, pero no se excluye la posibilidad de generación de gases en condiciones de sobrecarga. Se recomienda la aplicación de un sistema de control electrónico de la batería para mantener dichos parámetros controlados (ACEA, 2015).

El bajo voltaje (1,2 V) fornecido por la celda, se configura como una desventaja, ya que para lograr altas tensiones se necesita diversas celdas conectadas en serie, típicamente acoplados en módulos con 12 celdas cada (ACEA, 2015).

Además, se puede descartar como desventaja: el alto costo de adquisición, la velocidad de autodescarga, y la constancia del el efecto memoria (erradicado de las tecnologías más modernas), (Garche, Karden, Moseley, & Rand, 2017).

La empresa BASF SE, detalla los beneficios de utilizar baterías con tecnología NiMH en aplicaciones estacionarias de almacenamiento (BASF SE, 2021):

- Seguridad y confiabilidad ya comprobadas a nivel mundial, por su comportamiento en vehículos híbridos;

- Excepcional tiempo de ciclo de vida, mismo ante descargas profundas, lo que hace ideal para energías renovables;
- Cargas rápidas ante altas corrientes;
- Amplio rango de temperatura de funcionamiento (- 30 °C hasta + 70 °C), lo que confiere larga vida útil en instalaciones al aire libre;
- Costo reducido del ciclo de vida.

4.2.3. El Regulador/Controlador de Carga

La vida útil de la batería está condicionada al hecho de que su carga, y descarga se encuentren dentro de los parámetros estipulados por el fabricante. El panel fotovoltaico está sometido, dinámicamente, a las condiciones de temperatura, ambientales, irradiancia y al factor de sombreado, por lo tanto, no se recomienda una conexión directa a la batería, haciendo necesario la implementación de un dispositivo que mantenga los parámetros eléctricos dentro de las recomendaciones técnicas.

Se observa que, durante el verano y en momento de sol pico, el PV genera un nivel de energía que excede la demanda de la carga, así cuando la batería está totalmente cargada, el controlador de carga desacopla el PV para evitar una sobrecarga a la batería. La sobrecarga provoca calentamiento excesivo, pérdida de capacidad y formación de gases (Delft University of Technology, 2014).

De igual forma, en días de invierno que se evidencia una baja irradiancia, la demanda de la carga será superior a la capacidad generada por el panel, provocando descargas profundas y comprometiendo su ciclo de vida. Así, para evitar dichas descargas, el controlador desconectará el consumidor del sistema (Delft University of Technology, 2014).

Los reguladores de carga limitan la cantidad de corriente que fluye de y para la batería. Si el sistema no dispone de diodos de bloqueo, el dispositivo tiene la capacidad de

cargar el PV cuando este opera a mínimas tensiones. Básicamente, el controlador detiene las siguientes funciones (di Souza, Os Sistema de Energia Solar Fotovoltaica):

- Controlar la carga y descarga del banco de baterías;
- Proteger contra sobrecargas indebidas;
- Proteger contra descargas profundas;
- Informar el nivel de carga de las baterías;
- Controlar la temperatura del banco de baterías (más modernos);
- Evitar fugas de corriente hacia el PV, por medio del diodo de bloqueo, en períodos de oscuridad.

Para seleccionar el controlador de carga adecuado al sistema, se debe considerar algunas variables como: la tecnología de batería aplicada, y determinar la tensión y la corriente del sistema. Cuanto mayor la corriente operacional del sistema, mayor será el costo de inversión y menor la disponibilidad en el mercado. Características desnecesarias agregan complejidad, inflan los costos y disminuyen la confiabilidad (Tavares, P. & Galdino, 2014).

Dentro de los datos técnicos, proporcionadas por el fabricante, se puede apreciar las características eléctricas del regulador, como: tensión nominal, tensión máxima en el circuito abierto del PV, intensidad máxima de generación y consumo, sobrecarga en la línea de generación y consumo, la profundidad máxima de descarga y el consumo típico, que se define como la cantidad de energía que el regulador consume para su funcionamiento. Dentro de las características físicas, se puede observar las dimensiones, el peso y el grado de protección IP, además de detallar las características ambientales como rango de temperatura de trabajo, altura sobre el nivel del mar, entre otras (Mascarós, M., 2016).

4.2.3.1. Dispositivos de Autoprotección del Regulador

Los reguladores de carga suelen incorporar componentes de autoprotección frente a situaciones adversas. Mascarós, M., (2016), los detalló y los definió en el siguiente listado de protecciones agregadas:

- Contra cortocircuitos en la salida del consumo, un circuito electrónico incorporado lo desconecta, automáticamente, ante la presencia de un cortocircuito;
- Contra sobretensiones, protege el PV, las baterías y la carga, ante eventuales tensiones inducidas por descargas durante las tormentas eléctricas;
- Contra sobrecargas, usualmente aplicados para sobrecargas de poca duración. Además, se inserta un elemento magnetotérmico en la salida del consumo para evitar sobrecargas de larga duración;
- Contra inversión de polaridad, agrega protección a las líneas del generador fotovoltaico, de los consumos y de las baterías.
- Protección térmica, cuando ocurre un incremento excesivo de su temperatura interna.

4.2.3.2. Regulador de Carga en Serie

El Regulador está dotado de dos llaves electrónicas, que pueden ser un relé electromecánico o un transistor electrónico en las versiones más modernas, lo que agrega mayor confiabilidad y durabilidad al sistema.

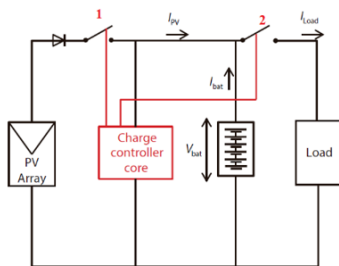
En esa configuración, un circuito de control, monitorea la tensión de la batería y abre o cierra una llave según su estado de carga. Es decir, condiciones normales de operación de la batería, la Llave 1 permanece cerrada, permitiendo el paso de la corriente del módulo hacia las baterías, distribuyendo la alimentación entre esta y el consumidor. Cuando la tensión máxima es alcanzada, la Llave 1 se abre, interrumpiendo la conexión entre el PV y la batería,

evitando una sobrecarga, pero esta sigue alimentando el consumidor. Cuando el controlador detecta bajos niveles de tensión, vuelve a cerrar la Llave 1 para que la batería vuelva a ser cargada (Grandella, V., 2015).

La Llave 2 tiene la función de bloquear el fornecimiento de energía al consumidor cuando la batería se encuentra en estado crítico de descarga. De esa forma, se preserva la integridad de la batería, dejando indisponible el sistema fotovoltaico hasta que la carga parcial o total de la batería sea restablecida. Cuando eso ocurre, la Llave 2 vuelve a cerrarse, para dar paso a la alimentación del consumidor (Grandella, V., 2015).

Figura 33

Esquema Eléctrico de un Regulador Conectado en Serie



Fuente: Delft University of Technology, 2014

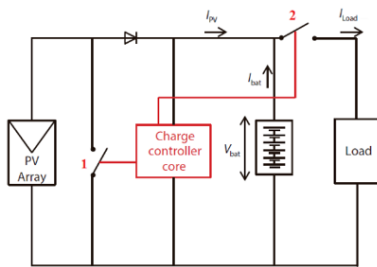
4.2.3.3. Regulador de Carga en Paralelo/Shunt

En la configuración en paralelo, la Llave 1 es posicionada paralelamente al módulo fotovoltaico. Cuando cerrada, la Llave 1 desvía la corriente eléctrica del módulo e interrumpe el fornecimiento de la corriente para todo el sistema (batería y consumidores), deteniendo el cargamento de la batería, cuando esta atinge su nivel máximo (Grandella, V., 2015).

Pese interrupción del fornecimiento de corriente al sistema con la Llave 1 cerrada, ante la presencia de radiación solar, la corriente seguirá por el módulo en cortocircuito. Lo que no es perjudicial en sí, ya que el fabricante estipula y limita la máxima corriente en cortocircuito en los módulos. La Llave 2 tienen la misma función del detallado en el regulador conectado en serie (Grandella, V., 2015).

Figura 34

Esquema Eléctrico de un Regulador Conectado en Paralelo (Shunt)



Fuente: Delft University of Technology, 2014

4.2.3.4. Regulador de Carga Electrónico Tipo PWM

Los controladores de carga con modulación de largura de pulso PWM (Pulse Width Modulation), son equipos desarrollados, que, en lugar de aplicar relés, integran circuitos electrónicos y transistores para controlar la apertura y el cierre de las llaves controlando es estado de carga y descarga de las baterías, maximizando su vida útil, confiriendo protección contra sobrecargas o descargas profundas (Grandella, V., 2015).

4.2.3.5. Regulador de Carga con MPPT

La configuración de seguimiento del punto de máxima potencia MPPT (Maximum Power Point Tracking) de los reguladores, son los más sofisticados y onerosos disponible en el mercado.

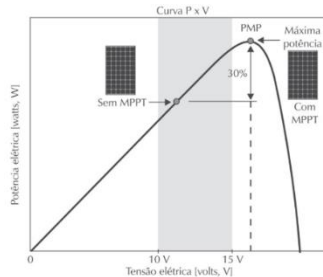
Agregan, simultáneamente, el sistema PWM para el control de las llaves, y el recurso MPPT, que induce al panel fotovoltaico a trabajar constantemente a su punto de máxima potencia, independiente de las condiciones de radiación solar y temperatura operacional del módulo. La aplicación del controlador MPPT incrementa aproximadamente un 30 % la producción de energía fotovoltaica (Grandella, V., 2015).

En la Figura 35, se puede apreciar el comportamiento de la curva P-V, donde en un panel fotovoltaico con regulador convencional la tensión del módulo es imprevisible y

variante (entre 10 V y 15 V), ya en el sistema de regulador con MPPT, el módulo trabaja constantemente a su punto de máxima potencia (Grandella, V., 2015).

Figura 35

Curva P-V del Módulo Fotovoltaico con Regulador Convencional y con MPPT



Fuente: Grandella, 2015

4.2.4. Los Inversores de Cargas DC-AC

El inversor electrónico de carga es una tecnología asociada a los sistemas fotovoltaicos, ya que extrae la potencia máxima del PV y lo direcciona a la carga. Básicamente, su función es de convertir la corriente y tensión continua generada por los módulos y almacenadas en las baterías, en corriente y tensión alternadas, exigido por la mayoría de los equipos consumidores (Delft University of Technology, 2014).

Los sistemas fotovoltaicos autónomos pueden aplicar inversores monofásicos, para módulos residenciales de baja potencia, conectándose en una sola fase de la red, o pueden agregar inversores trifásicos, para potencias superiores, conectándose en todas las fases de la red (Delft University of Technology, 2014).

4.2.4.1. Las Características Técnicas de los Inversores DC-AC

Marcelo Grandella (2015), destaca que los inversores destinados a las redes fotovoltaicas autónomas, deben presentar las siguientes características y especificaciones técnicas (Grandella, V., 2015):

- Potencia nominal, es la potencia que puede ofrecer el inversor en operación normal de trabajo. Debe estar de acuerdo a las potencias de los equipos eléctricos conectados a él.

- Potencia máxima, indica la máxima potencia que el inversor puede ofrecer en cortos espacios de tiempo. Esa característica es ideal para dar partida en equipos que disponen de motores eléctricos.
- Tensión de entrada DC, indica la tensión nominal de entrada del inversor, son valores estipulados por la industria. Son los mismos estipulados a los controladores de carga y a las baterías.
- Tensión de salida AC, es la tensión que el inversor fornece a la salida de sus terminales. Puede ser un valor fijo o ajustable de 110 V o 220 V.
- Frecuencia de salida, es la frecuencia aplicada a la salida del inversor. En Ecuador la tensión alternada está en la frecuencia de 60 Hz.
- Regulación de tensión, es la variación en porcentaje de la tensión de salida del inversor cuando un consumidor está conectado a su salida de tensión alternada. La regulación de tensión puede variar entre 0 % y 10 %.
- Eficiencia, se define como la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada del inversor. Cuanto más cerca del 100 %, mejor será la eficiencia.
- Formato de la onda de salida, indica el tipo de tensión alternada producida por el inversor. La recomendación es aplicar un inversor de onda senoidal pura, que es lo que más se asemeja a tensión de la red eléctrica.
- Distorsión armónica, mide la pureza de la tensión alternada generada por el inversor. La distorsión ideal es de 0 %, indicando que es una onda senoidal pura. Los inversores de onda cuadrada, presentan distorsiones elevadas, siendo perjudiciales a algunos equipos eléctricos.
- Protección ante cortocircuito, los inversores disponen de fusibles o una protección electrónica, que cuando es puesto en corto, el inversor limita su corriente de salida, protegiendo el sistema.

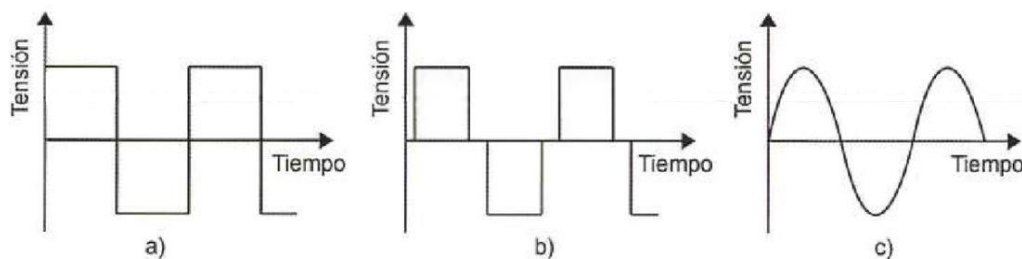
- Protección ante reversión de polaridad, evita la quema del aparato ante el cambio inadvertido de polaridad.

4.2.4.2. La Clasificación de los Inversores DC-AC

Según la forma de onda de la tensión proporcionada a la salida del inversor, se puede clasificar los inversores en: onda cuadrada, onda cuadrada modificada, PWM de onda senoidal pura. Se recomienda la utilización del inversor PWM onda senoidal pura, ya que replica a la perfección la tensión alternada de la red eléctrica, las otras clases de inversores producen interferencias electromagnéticas no adecuados a la alimentación de equipos y aparatos sensibles. En la Figura 36, se aprecian el formato de la onda cuadrada (a), la onda cuadrada o senoidal modificada (b), y la onda senoidal pura PMV (c). (Grandella, V., 2015)

Figura 36

Tipos de Ondas de los Inversores de Carga

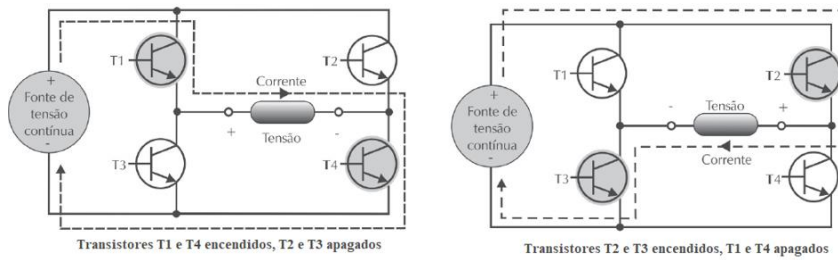


Fuente: Mascarós, M., 2016

4.2.4.2.1. El Inversor de Onda Cuadrada

La Figura 37, detalla el principio básico de funcionamiento de un inversor de onda cuadrada, que consta de cuatro transistores T1, T2, T3 y T4 que actúan como llaves electrónicas de paso, permitiendo o bloqueando el paso de la corriente. Los transistores T1 e T4, y T2 y T3, son conectados diagonalmente, de forma que cuando se enciende T1 e T4, la tensión de salida a la terminal del inversor es positiva (+), luego cuando se enciende T2 e T3, se obtiene tensión invertida a los terminales de salida.

Figura 37
Circuito Electrónico Básico de un Inversor de Onda Cuadrada



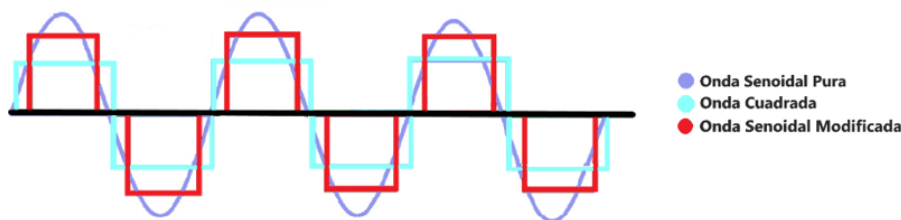
Fuente: Grandella, 2015

Al accionar alternadamente los transistores diagonales con frecuencia fija, se obtiene una onda cuadrada de tensión alternada. Obviamente, los inversores comerciales son más complejos que el circuito básico representado, pues agregan diversos componentes como inductores, capacitores, microprocesadores digitales, además de los transistores.

4.2.4.2.2. El Inversor de Onda Modificada

Se configura como aparatos que pueden producir tensiones de salida con forma de onda semicuadrada, que presentan menor distorsión armónica que las totalmente cuadradas. Son equipos de bajo costo destinados a la alimentación de electrodomésticos, o aparatos electrónicos no sensibles a la distorsión de la tensión.

Figura 38
Gráfico Comparativo de Formas de Ondas



Fuente: Propia

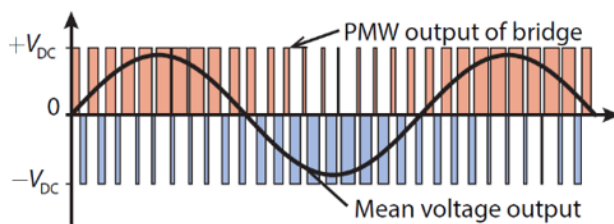
4.2.4.2.3. El Inversor PWM de Onda Senoidal Pura

Son inversores que tienen la capacidad de reproducir ondas senoidales casi perfectas, con el mínimo de distorsión armónica, lo que les confiere alta confiabilidad y excelente calidad de energía.

Ese inversor trabaja por el principio de pulsos PMW (Pulse Width Modulation), que reproduce una secuencia de pequeñas ondas cuadradas de alta frecuencia, además se agrega un filtro eléctrico de frecuencia elevada, a la salida del inversor, permitiendo la generación de una onda senoidal pura y con baja distorsión armónica.

En la Figura 39, se puede observar el pulso PMW de una onda senoidal de larga frecuencia, y la señal senoidal pura luego de agregar el filtro electrónico.

Figura 39
Gráfica del Pulso PMW y de la Onda Senoidal Pura



Fuente: Delft University of Technology, 2014

4.2.5. Cableados y Conductores Eléctricos

La red de conexiones eléctricas del sistema fotovoltaico, consta de algunos componentes, detallados a seguir:

La caja de conexiones acopla los terminales de las conexiones eléctricas y aloja el diodo bypass. Son originalmente selladas y resinadas, impidiendo el acceso del usuario.

El cableado eléctrico debe ser específico para sistemas fotovoltaicos, ya que están sometidos a condiciones externas como: la intemperie, la radiación excesiva y las altas temperaturas, que prematuramente, provocan el deterioro y la resequedad del cableado (Mascarós, M., 2016).

El fabricante establece las características eléctricas, indicando la tensión nominal, la tensión de trabajo y la corriente de trabajo; Las características térmicas y mecánicas, determinando el rango de temperatura ambiente, su vida útil, su resistencia al abrasión, su flexibilidad ante bajas temperaturas, y su alta resistencia al fuego (son cables de alta

seguridad que no propagan la llama, el incendio, emiten mínimas sustancias tóxicas, baja opacidad de humos y no emiten sustancias corrosivas); Sobre las intemperies, se destaca la resistencia ante la radiación UV, el ozono, la hidrólisis, los ácidos, el aceite, la absorción de agua, el polvo, etc. (Grandella, V., 2015).

Los conectores son fornecidos por el fabricante, juntamente con los módulos FV, para conexiones en serie. Para las disposiciones en paralelo, las conexiones son establecidas por medio de conectores auxiliares o cajas de string. Los conectores más utilizados por la industria son los tipos MC3, y preferiblemente el MC4, que confiere mayor seguridad por su sistema de trabamiento, impidiendo interrupciones banales de conexión (Grandella, V., 2015).

4.3. El Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico

El dimensionamiento de un sistema fotovoltaico considera algunos factores importantes como: la cantidad y orientación de los módulos, la disponibilidad del área y del recurso solar, el consumo de la carga, entre otros datos pertinentes, para entonces calcular y adecuar el generador fotovoltaico a suplir las necesidades de la demanda.

Tavares, P. & Galdino (2014), enumera las etapas del proceso de un proyecto solar:

1. Proceder con el levantamiento del recurso solar disponible en el local de la instalación;
2. Definir la localización y configuración del sistema;
3. Calcular la demanda y el consumo de energía eléctrica;
4. Dimensionar el generador fotovoltaico;
5. Dimensionar los equipos de condicionamiento de potencia;
6. Calcular y dimensionar el sistema de almacenamiento de potencia.

4.3.1. Características Eléctricas Relevantes

Previo al cálculo de la demanda eléctrica de la central de aire acondicionado York, (que será conectado al sistema fotovoltaico), es necesario conocer algunas características técnicas importantes del equipo, detallados en la Tabla 2, y obtenidos de la placa técnica del equipo.

Tabla 2
Características Técnicas de la Central de Aire Acondicionado

CENTRAL ELÉCTRICA			TENSIÓN FASE	FRECUENCIA	CAPACIDAD NOMINAL DE REFRIGERACIÓN			POTENCIA ELÉCTRICA CONSUMIDA	
MARCA	SERIE	MODELO	V	PH	Hz	BTU/h	W	kWh	W
YORK	EAHM031208	H1RA048S06D	220	1	60	48.000	14.064	14,06	4.900

Para mejor comprensión y cálculo del dimensionamiento del panel, se aclara el significado de las denominaciones existentes en la placa técnica de la Central Eléctrica de Aire Acondicionado: RLA (Rated Load Amps) del compresor, indica la corriente de carga nominal para el motor/compresor; LRA (Locked Rotor Amperage) define la corriente que fluye al motor cuando este está parado o no gira; MCA (Minimum Circuit Ampacity), describe la corriente máxima que un equipo puede transportar continuamente, es ideal para calcular el tamaño del conductor y la clasificación del interruptor para la unidad; las siglas MAX. CKT. BKR. (Maximum, Circuit, Breaker), se aplica al límite de corriente en el cual el disyuntor o interruptor debe estar provisto para inmediata desconexión en caso de sobrecargas o cortocircuito; y por fin, la sigla FLA (Full Load Amperes) detalla el consumo, en amperaje, del motor del ventilador (CNEL EP Ecuador, 2020).

4.3.2. La Evaluación del Recurso Solar

Un generador fotovoltaico depende directamente de la irradiancia solar para producir energía, por lo tanto, está sometido a la naturaleza intermitente de la radiación con variaciones diarias por distintos cambios climáticos. La grandeza conocida como Horas Pico Solar (HSP),

expresa el valor de energía solar acumulado en un día, indicando el número de horas, al día, en que la insolación fue igual o superior 1000 W/m².

Tavares P. y Galdino, afirman en el '*Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*', que la irradiación mínima exigida para un sistema fotovoltaico radica entre 3 y 4 kWh/m²/día. Los países tropicales configuran las condiciones ideales para el desarrollo y aplicación de tecnologías fotovoltaicas (Tavares, P. & Galdino, 2014, pág. 81).

El en año 2019, fue emitida en el Mapa Solar del Ecuador, los valores promedio mensuales y anuales de la irradiación global. La ciudad de Guayaquil, registró en ese año, una GHI anual de 4.03 kWh/m²/día, pero para el cálculo de la demanda, será considerado el mes con la peor radiación del año, es decir, noviembre con 3.03 kWh/m²/día.

Tabla 3

Hora Solar Pico Guayaquil

HSP	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
DIARIO	4,13	4,32	4,71	4,77	4,52	3,80	3,90	3,97	4,10	3,03	3,03	4,10	4,03
MENSUAL	128,03	129,60	146,01	143,10	140,12	114,00	120,90	123,07	123,00	93,93	90,90	127,10	1479,76

4.3.3. La Demanda Energética

El cálculo de la demanda energética es el paso primordial para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico, para eso se necesita disponer de la potencia de los equipos eléctricos que serán conectados y su tiempo de funcionamiento diario. La Ecuación 2 es aplicada para obtener la energía consumida en watts-hora (E_C), que consiste en multiplicar la potencia del aparato (W) por el tiempo de uso en horas (h), resultando en un consumo diario de 49.000 W/día. (Tabla 2)

$$E_C = P \cdot T \quad (2)$$

Donde:

E_C : Energía consumida diaria (Wh)

P: Potencia consumida

T: horas de uso diario

Tabla 3
Consumo Mensual de la Central de A/C

Equipo	Potencia consumida (W)	Días de uso por mes	Tiempo diario de uso (h)	Consumo diario (Wh)	Consumo mensual (kWh)
Central Eléctrica A/C	4.900	26	10	49000	1274

Previo al cálculo de la demanda, es necesario determinar el rendimiento global del sistema fotovoltaico (R_G), lo que es computado por medio de la Ecuación 3, que considera algunas constantes predeterminadas, para estimar las posibles pérdidas energéticas que ocurren en el sistema fotovoltaico. Los coeficientes de pérdidas son fijados en la Tabla 4.

Tabla 4
Coefficiente de Pérdidas por Verificación

Kb Pérdidas en el proceso de acumulación	Pd DOD máximo admisible
0,05 Baterías nuevas, sin descargas intensas	0,9 Batería descargada hasta el 90%
0,1 Baterías viejas, descargas intensas, temperaturas bajas	0,8 Batería descargada hasta el 80%
	0,7 Batería descargada hasta el 70%
Ka Autodescarga de la batería	0,6 Batería descargada hasta el 60%
0,002 Baterías de baja autodescarga, sin mantenimiento	0,5 Batería descargada hasta el 50%
0,005 Baterías estacionarias de energía solar	0,4 Batería descargada hasta el 40%
0,012 Baterías de alta autodescarga	0,3 Batería descargada hasta el 30%
Kv Otras pérdidas no consideradas	Kc Pérdidas por el rendimiento del inversor
0,15 No se considera las pérdidas en cableado y equipos	0 No hay inversor en la instalación
0,05 Existe un estudio detallado de pérdidas en equipos	0,05 Rendimiento inversor 95%
	0,1 Rendimiento inversor 90%
N Número de días de autonomía	0,15 Rendimiento inversor 85%
3 Vivienda fines de semana	0,2 Rendimiento inversor < 85%
5 Vivienda habitual	
15 Instalaciones especiales con servicio prioritario	
20 Instalaciones especiales alta fiabilidad	

Fuente: (Inel Engineering Education, 2020)

$$R_G = (1 - K_b - K_c - K_v) \cdot (1 - K_a \cdot N_{aut}/P_d) \quad (3)$$

Donde:

R_G : Rendimiento global

K_b : Pérdidas en el proceso de acumulación

K_c : Pérdidas por el rendimiento del inversor

K_v : Otras pérdidas no consideradas

K_a : Autodescarga de la batería

N_{aut} : Días de autonomía

P_d : Profundidad de descarga de la batería (DOD)

Para el cálculo del rendimiento global, según las características, se consideró los siguientes valores:

- K_b (0.05), pese los acumuladores están en la segunda vida, todavía detienen el 80 % de su capacidad.
- K_c (0.05), los inversores nuevos permiten un rendimiento superior a 95 %.
- K_v (0.15), ya que no existe un estudio previo de las pérdidas relacionadas a las instalaciones y cableados.
- K_a (0.002), ya que son módulos de libre mantenimiento y capacidad superior a las demás tecnologías.
- N_{aut} (1), se optó por 1 día de autonomía del sistema.
- P_d (80 %), el POD considerado fue de 80 %.
- R_G , el rendimiento obtenido fue de 0.748, lo que será aplicado al cálculo de la demanda energética

Aplicando los datos obtenidos a la Ecuación 4, se estipula que el valor de la demanda energética diaria de la central de aire acondicionado es: 65.508 W/día, factor determinante para la ponderación de los paneles solares.

$$D_E = \frac{E_C}{R_G} \quad (4)$$

Donde:

D_E : Demanda energética

E_C : Emergía consumida

R_G : Rendimiento global

4.3.4 Dimensionamiento del Panel Solar

El cálculo de la producción energética de un sistema fotovoltaico, depende de la demanda requerida, las características técnicas de los paneles, entre otros. Pesantez, Rios, V., & Gonzalez, R. (2021), resaltan que “El número de paneles a instalar es directamente proporcional a la energía eléctrica requerida durante un día e inversamente proporcional a la potencia pico del panel fotovoltaico, la radiación promedio diaria del lugar, en el peor día del año y la eficiencia de la instalación solar fotovoltaica aislada”. Por lo tanto, para determinar la potencia del sistema fotovoltaico requerido, se aplica la Ecuación 5:

$$P_{SV} = \frac{D_E}{HSP} \quad (5)$$

Donde:

P_{SV} : Potencia del sistema fotovoltaico

D_E : Demanda energía diaria (Wh)

HSP : Hora solar pico (h), del peor mes del año.

Por medio de la información previamente establecida, y considerando la HSP 3.03 kWh/m²/día, del mes de octubre, el peor del año, se registra que los paneles fotovoltaicos deben fornecer diariamente una potencia mínima de 21.620 Wp.

Una vez determinado la potencia del SV, la cantidad de paneles es determinada en función de la potencia STC fornecida por cada uno, para eso se aplica la Ecuación 6 (Inel Engineering Education, 2020):

$$C_{pSV} = \frac{P_{SV}}{P_{maxPV}} \quad (6)$$

Donde:

C_{pSV} : Cantidad de paneles del sistema fotovoltaico

P_{SV} : Potencia del sistema fotovoltaico

$P_{\max PV}$: Potencia máxima del panel fotovoltaico (STD)

Se procedió a simular la cantidad de paneles con tres potencias distinta: 300 W, 400 W, y 550 W, obteniendo el total de: 66 paneles, 54 paneles y 40 paneles, respectivamente. Por lo tanto, se evidenció que la 550 W es la potencia ideal para cada panel, resultando en un total de 40 paneles para la cadena fotovoltaica.

Para la configuración ideal de los paneles, se debe determinar la cantidad que será conectada en serie y en paralelo. Véase la Ecuación 7 para paneles en serie y la Ecuación 8 para paneles en paralelo. (Inel Engineering Education, 2020):

$$C_{pS} = \frac{V_{nSV}}{V_{mpPV}} \quad (7)$$

Donde:

C_{pS} : Cantidad de paneles en serie

V_{nSV} : Tensión nominal del sistema fotovoltaico

V_{mpPV} : Tensión de máxima potencia del panel fotovoltaico

$$C_{pP} = \frac{P_{SV}}{P_{PV} \cdot C_{pS}} \quad (8)$$

C_{pP} : Cantidad de paneles en paralelo

P_{SV} : Potencia del sistema fotovoltaico

P_{PV} : Potencia del panel fotovoltaico

Considerando que el panel elegido para el SV fue LR5-72HPH 550W, de la marca Hi-MO, con tecnología monocristalina, con eficiencia de 21,5 %, deberán ser dispuestos en una cadena de 2 paneles en serie y 20 paneles en paralelo. La información técnica STC pertinente para la realización de los cálculos, están reproducidos en la Tabla 5:

Tabla 5
Características Eléctrica STC

Características Eléctricas		Valores STC
Potencia Máxima	Pmax/W	550
Voltaje en Circuito Abierto	Voc/V	49,8
Corriente en Cortocircuito	Isc/A	13,98
Voltaje a Máxima Potencia	Vmp/V	41,95
Corriente a Máxima Potencia	Imp/A	13,12
Eficiencia del Módulo	%	21,5

Fuente: Longi, LR5-72HPH 550W

4.3.5. Dimensionamiento del Controlador de Carga

Para proceder con el dimensionamiento del controlador, se debe considerar los siguientes aspectos relatados por (di Souza):

- Tensión nominal del sistema fotovoltaico (V_{mpSV}), la tensión nominal debe ser igual a la tensión del banco de baterías.
- Corriente en cortocircuito del sistema fotovoltaico (I_{scSV}), es la corriente de entrada máxima que debe soportar regulador de carga.

Tavares, P. & Galdino (2014), determina que para establecer la corriente máxima del controlador, se debe “considerar la corriente del corto circuito del panel fotovoltaico, agregada del factor mínimo de seguridad de 20 %, asumiendo que el panel reciba una irradiancia hasta 1.250 W/m^2 .”

Para obtener el consumo máximo de corriente se aplica la Ecuación 9, para establecer la corriente del controlador, la Ecuación 10, la tensión máxima del sistema, la Ecuación 11 y por ende, la máxima potencia del sistema fotovoltaico con la Ecuación 12 (Inel Engineering Education, 2020):

$$I_{maxSV} = I_{scPV} \cdot C_{PVp} \quad (9)$$

Donde:

I_{maxSV} : Corriente máxima del sistema fotovoltaico

I_{scPV} : Corriente en corto circuito del panel fotovoltaico

C_{PVp} : Cantidad de paneles en paralelo

$$I_c = I_{maxSV} \cdot fs \quad (10)$$

Donde:

I_c : Corriente máxima del controlador

I_{maxSV} : Corriente máxima del sistema fotovoltaico

fs : Factor de seguridad (20 %)

$$V_{mpSV} = V_{mpPV} \cdot C_{PVs} \quad (11)$$

Donde:

V_{mpSV} : Tensión de máxima potencia del sistema fotovoltaico

V_{mpPV} : Tensión de máxima potencia del panel fotovoltaico

C_{PVs} : Cantidad de paneles en serie

$$P_{SV} = P_{PV} \cdot C_{PV} \quad (12)$$

Donde:

P_{SV} : Potencia máxima del SV

P_{PV} : Potencia del PV

C_P : Cantidad de paneles

Una vez calculado dichos valores, la elección del regulador debe satisfacer las siguientes afirmaciones:

- La tensión: $V_{maxMPPT} > V_{mpSV}$
- La potencia: $W_{MPPT} > W_{SV}$
- La intensidad: $I_c > I_{scSV}$

Al proceder con los cálculos del dimensionamiento del regulador de carga, con factor de seguridad de 20 %, y en comparación con la ficha técnica del equipo MPPT Epever Tracer 10415N, con eficiencia de 98,7%, se obtiene:

- La tensión: $150 \text{ V } (V_{\text{maxMPPT}}) > 84 \text{ V } (V_{\text{mpSV}})$ ✓
- La potencia: $7.500 \text{ W } (W_{\text{MPPT}}) > 22.000 \text{ W } (W_{\text{SV}})$ ✗
- La intensidad: $100 \text{ A } (I_c) > 336 \text{ A } (I_{\text{scSV}})$ ✗

Luego del análisis, se determinó la necesidad de adquirir 4 controladores de carga instalados en paralelo, así se puede lograr la protección adecuada a la cadena fotovoltaica.

4.3.6. Dimensionamiento del Inversor

Para el dimensionamiento del inversor, se debe considerar que el inversor tiene una eficiencia máxima de trabajo entre el 50 % y el 70 % de su capacidad máxima, pero la tecnología actual permiten a los de onda senoidal pura, una eficiencia superior a 90 % (di Souza, Os Sistemas de Energía Solar Fotovoltaica).

Para la elección del inversor, se debe considerar las sumas de los consumidores en corriente alternada y multiplicarlos por un factor de protección de 20 %, lo que es expresado por medio de la Ecuación 13.

$$I_{nv} > \sum W_{AC} \cdot f.s \quad (13)$$

Donde:

W_{AC} : Potencia consumida de la carga AC

$f.s$: Factor de seguridad

Al proceder con los cálculos ($I_{nv} > 5880 \text{ W}$), se optó por la adquisición un inversor marca JNGE de 6000 W, 48 V de entrada, de onda senoidal pura y eficiencia de 95 %.

4.3.7. Dimensionamiento del Banco de Baterías

En los sistemas fotovoltaicos autónomos el banco de baterías configura un factor determinante, ya que fornecen autonomía de carga para días nublados, con baja radiación y aplicaciones nocturnas. Para evitar fallas en la alimentación de cargas, se debe anticipar a esos períodos estableciendo una capacidad de reserva, en que el sistema no dependerá de la energía generada por los módulos.

La capacidad nominal de las baterías, fue estimada en 1436.6 Ah, los valores fueron obtenidos por medio de la Ecuación 14:

$$C_{nBB} = \frac{D_E}{\eta_{inv} \cdot V_{nBB}} \quad (14)$$

Donde:

C_{nBB} : Capacidad nominal del banco de baterías (A.h)

D_E : Demanda diaria (W.h)

η_{inv} : Eficiencia del inversor

V_{nBB} : Tensión nominal del banco de baterías (V)

Según información técnica, cada módulo de la batería NiMH del vehículo Toyota Prius 2ª generación (2004), dispone de 6.5 A de capacidad nominal y tensión nominal de 7.2 V (Toyota Motor Corporation, 2004).

En posesión de dicha información, se puede determinar por medio de la Ecuación 15, la cantidad de baterías que debe disponer el banco, siendo que la cantidad de baterías en serie es determinada por la Ecuación 16, y el número de baterías configuradas en paralelo por la Ecuación 17, proponiendo así, suplir las demandas del sistema fotovoltaico.

$$C_{Bp} = \frac{C_{nBB} \cdot N_{aut}}{DOD \cdot I_{nB}} \quad (15)$$

Donde:

C_{Bp} : Cantidad de baterías en paralelo

C_{nBB} : Capacidad nominal del banco de baterías (A.h)

N_{aut} : Días de autonomía

DOD: Profundidad de descarga (0.8)

I_{nB} : Corriente nominal de la batería

$$C_{Bs} = \frac{V_{SV}}{V_{nB}} \quad (16)$$

Donde:

C_{Bs} : Cantidad de baterías en serie

V_{SV} : Tensión del sistema fotovoltaico

V_{nB} : Tensión nominal de la batería

$$C_{tB} = C_{Bp} \cdot C_{Bs} \quad (17)$$

Donde:

C_{tB} : Cantidad total de baterías

C_{Bs} : Cantidad de baterías en serie

C_{Bp} : Cantidad de baterías en paralelo

Por medio de la información, se determinó que, para autonomía de 1 día, el sistema fotovoltaico necesitaría de un total de 1939 módulos de baterías, siendo 277 conectadas en paralelo y 7 baterías conectadas en serie.

4.4. Análisis de Factibilidad

El análisis de factibilidad se centra en el estudio de la viabilidad técnica, como limitaciones de espacio y tecnología, ya el análisis económico-financiero esta direccionado a los costos de inversión, expectativa de retorno y durabilidad del sistema.

4.4.1. La Viabilidad Técnica

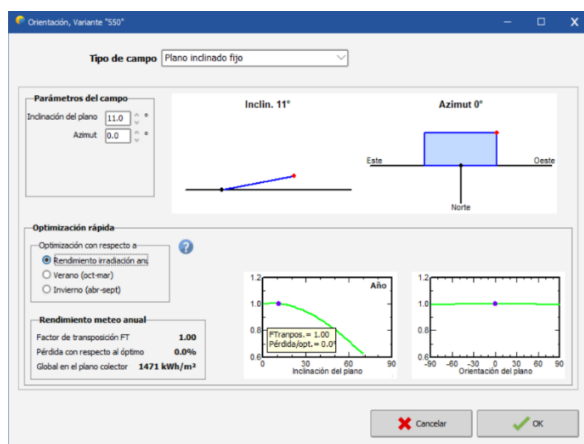
El taller automotriz está ubicado en la ciudad de Guayaquil, latitud -2.137° y longitud -79.885° , coordenadas que son fundamentales para la ubicación e inclinación de los paneles.

Para maximizar la generación eléctrica de los sistemas fotovoltaicos, los paneles deben ser instalados observando los ángulos de inclinación y azimutales para una operación adecuada y eficiente.

El Azimut, es el ángulo de orientación de la superficie de los módulos que deben ser orientados hacia la línea de Ecuador. Como el taller está ubicado en una ciudad ecuatoriana, el ángulo azimutal será de 0° (Tavares, P. & Galdino, 2014).

El ángulo de inclinación fornecer la mayor captación de energía solar posible, variando según la latitud del local, además facilita las labores de limpieza y mantenimiento. El software PVsyst, por medio de una simulación, indica que el ángulo óptimo de un plano inclinado fijo para evitar el máximo de pérdidas energéticas, es de 11° .

Figura 40
Simulación del Ángulo de Inclinación y Azimut

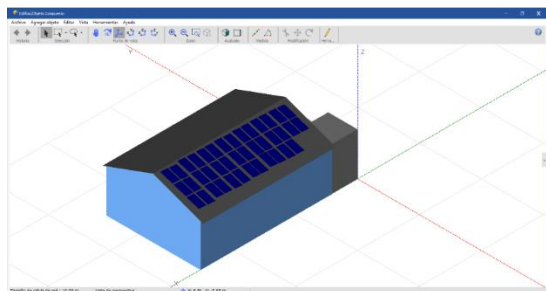


Fuente: PVsyst 7.2

La superficie para instalación de los paneles fotovoltaicos, tiene área de 323.75 m^2 , siendo que el techo tiene una inclinación de ambos lados de 20° , según las especificaciones técnicas del fabricante, los paneles presentan las siguientes dimensiones: longitud 2256 mm, anchura 1133 mm y espesor de 35 mm.

Según lo calculado anteriormente, el sistema dispone de 40 paneles monocristalino de 550 W, siendo 20 paneles conectados en paralelo y 2 paneles conectados en serie. En la Figura 41, se observa una simulación de la configuración de los paneles.

Figura 41
Simulación de Configuración de Paneles



Fuente: PVsyst 7.2

El potencial fotovoltaico es calculado mediante el menor valor de HSP en el año (3.03 kWh/m²), permitiendo anticiparse a factores meteorológicos sin afectarse a la producción energética. El calculo de la potencia fotovoltaica consumida se procede por medio de la relación entra demanda energética diaria 65.508 W dividida por la HSP registrada en el mes. Véase la Tabla 6:

Tabla 6
Potencia Fotovoltaica Consumida en Función de la H.S.P

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Hora Solar Pico	4,13	4,32	4,71	4,77	4,52	3,8	3,9	3,97	4,10	3,03	3,03	4,10	4,03
Pot. Consumida Wp	15862	15164	13908	13733	14493	17239	16797	16501	15978	21620	21620	15978	16248

Se resalta que la energía generada y no consumida, es direccionada al banco de baterías para suministrar autonomía en aplicaciones nocturnas o en condiciones climáticas desfavorables.

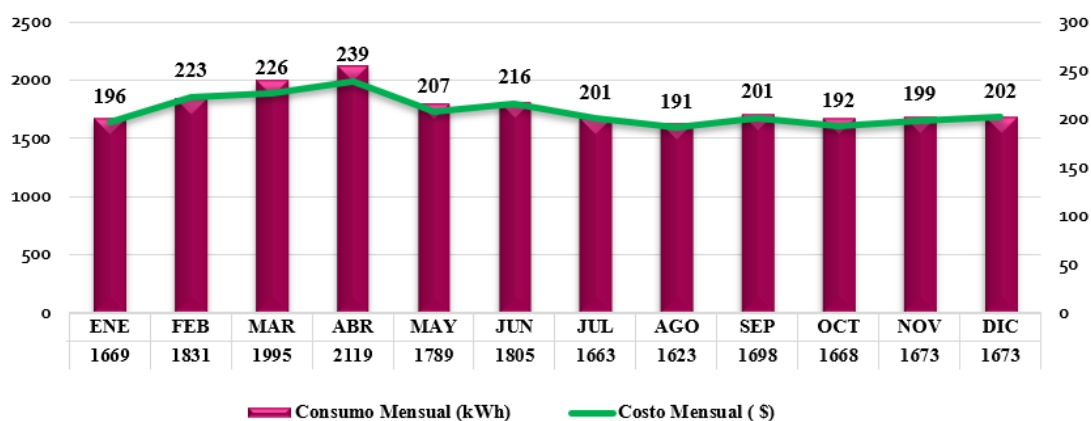
Dentro del sistema, se identifica la necesidad de instalación de 1 inversor marca JNGE de 6000 W, 48 V de entrada, de onda senoidal pura y eficiencia de 95 %, 4 controladores de carga MPPT Epever Tracer 10415N, con eficiencia de 98,7%, 40 paneles fotovoltaicos monocristalinos, Longi LR5-72HPH 550W (no disponible en Ecuador). Lamentablemente, para almacenar y suplir la demanda energética con autonomía de 1 día, serían necesarios 1939 módulos de baterías NiMH del vehículo Toyota Prius 2^a generación (2004), con 6.5 A de capacidad nominal y tensión nominal de 7.2 V.

4.4.2. Análisis Económico-financiera

Por la atipicidad del año 2020, con cierres de comercios por largos períodos de tiempo, fue considerado el año 2019 como referencia, donde se identificó un consumo mensual promedio de 1767 kWh, y el gasto promedio mensual de \$ 208.00, resumiendo un gasto anual por concepto electricidad de aproximadamente \$ 2.500,00 (Véase, Gráfica 1).

Gráfica 1

Relación Entre el Consumo (kWh) y el Gasto Mensual con Electricidad



Conociendo que la demanda energética mensual es de 1.274 kWh/mes (Tabla 2), fue posible estimar (por medio de la Ecuación 18), que el porcentaje de facturación correspondientes al consumo de la central de aire acondicionado es de 72 %, aproximadamente \$ 150.00 del valor total de facturación.

$$E_{C(\%)} = \frac{\text{Potencia calculada}}{\text{Potencia promedio}} \cdot 100 \quad (18)$$

Fuente: Chicaguala, A., 2017

A pesar de la tecnología fotovoltaica ser vital para el medio ambiente, su tecnología avanza lentamente y los costos de inversión resultan inalcanzable para la mayoría de la población y empresarios, principalmente por la expresividad de sus valores.

En la Tabla 7, se evidencia una simulación de costos estimados de inversión de los componentes básicos del sistema fotovoltaico Off-grid para el taller automotriz. Debido al bajo amperaje que disponen los módulos del Toyota Prius, sería necesaria una cantidad significativa e

imposible de módulos para que el banco de baterías fornezca la autonomía mínima posible, es decir, de 1 día.

Tabla 7

Simulación de Costos Aproximados Batería NiMH

Equipo	Características	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Panel Solar Monocristalino	LR5-72HPH 550W (en Watt)	22000	\$ 0,30	\$ 6.600,00
Controlador de Carga MPPT	Epever 48 V, 100 A, 7500 W	4	\$ 426,9	\$ 1.707,60
Regulador MPPT	JNGE 48V 6000 W	1	\$ 640,74	\$ 640,74
Modulos de Baterías	NiMH 6.5 A, 7.2 V	1939	\$ 30,00	\$ 58.170,00
				\$ 67.118,34

La simulación también fue realizada con los módulos de la batería de tracción de un Nissan Leaf, que detiene una tensión nominal de 3.65 V y capacidad nominal de 55 A, fabricada en Li-ion. El resultado se observa en la Tabla 8:

Tabla 8

Simulación de Costos Aproximados Batería Li-ion

Equipo	Características	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Panel Solar Monocristalino	LR5-72HPH 550W (en Watt)	22000	\$ 0,30	\$ 6.600,00
Controlador de Carga MPPT	Epever 48 V, 100 A, 7500 W	4	\$ 426,9	\$ 1.707,60
Regulador MPPT	JNGE 48V 6000 W	1	\$ 640,74	\$ 640,74
Modulos de Baterías	Nissan Leaf 3,7 V 55 A	429	\$ 55,00	\$ 23.595,00
				\$ 32.543,34

De igual forma, fue realizada una simulación con una batería solar de tecnología LiFePO4 (litio-ferroso), con capacidad nominal de 100 A y tensión de 3.2 V. Dicha tecnología está siendo aplicada tanto en el campo fotovoltaico, cuanto en los vehículos eléctricos. Su vida útil esta alrededor de 2000 y 3000 ciclos, resistente a altas temperaturas, más estable que el litio estándar (no explota o auto inflama), no se afecta por el efecto memoria, autonomía perfecta hasta el final de sus días, es sostenible, ya que no se aplica el cobalto en su composición (Rodriguez, 2019).

Tabla 9
Simulación de Costos Aproximados de Batería Solar LiFePO4

Equipo	Características	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Panel Solar Monocristalino	LR5-72HPH 550W (en Watt)	22000	\$ 0,30	\$ 6.600,00
Controlador de Carga MPPT	Epever 48 V, 100 A, 7500 W	4	\$ 426,90	\$ 1.707,60
Regulador MPPT	JNGE 48V 6000 W	1	\$ 640,74	\$ 640,74
Modulos de Baterías	LiFePO4 100 A, 3.2 V	270	\$ 45,50	\$ 12.285,00
				\$ 21.233,34

Se resalta que los valores simulados no contemplan los rubros destinados a la infraestructura, los servicios de instalación, mano de obra, equipos de protección y costos de mantenimiento, debido a la total inviabilidad del proyecto.

Conclusiones

El uso de la energía fotovoltaica, en su aspecto renovable que caracteriza el sol como fuente inagotable de potencia energética, permiten la reducción del consumo de energías convencionales, promueven la disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero, y contaminantes, reduce la huella de carbono y refleja un considerable ahorro económico.

Los cálculos adaptados al dimensionamiento del sistema fotovoltaico, permitieron constatar la imposibilidad técnica y financiera de la aplicación del proyecto Off-grid para el equipo de aire acondicionado. La intensa demanda energética asociada al bajo potencial nominal de las baterías de Ni-MH, imposibilitan la aplicación del proyecto en el taller automotriz, pues conlleva a una necesidad ilógica de baterías para alimentar el sistema con autonomía mínima de 1 día, necesitando una inversión superior a \$ 68.000,00, cuantía considerada insólita e irracional.

En contrapartida, para el sistema On-grid, la inversión sería de \$ 12.959.67, incluyendo paneles, inversor 8000 W, sistema de monitoreo, estructura metálica y mano de obra, lo equivalente al 20 % del valor de la simulación de gastos aplicando las baterías Ni-MH, estimando un ahorro aproximado de 50 % en gastos de consumo con la CNEL.

Por lo tanto, la utilización de baterías NiMH de vehículos eléctricos, en su segunda vida, es una solución viable para la aplicación de equipos de bajo consumo dispuestos en el taller automotriz. Se puede detallar que, para alimentar el consumo de 1 TV Smart 40" (8h/día), 1 nevera básica (24 h/día) y 1 equipo microondas (0.5 h/día), con autonomía de 2 días, serían necesarios un banco de 48 módulos de baterías NiMH, ya para equipos automotrices, se puede calcular que para alimentar 1 banco de limpieza de inyectores (300 W por 3h/día), 1 aspiradora de polvo y líquidos (2400 W por 2 h/día) y lavadora Lavor Pro 3300 W por 3 h/día), considerando una autonomía de 1 día, sería necesarias la aplicación de 62 baterías para el sistema de almacenamiento.

Recomendaciones

Para la central de aire acondicionado del taller automotriz, se recomienda la aplicación de un sistema fotovoltaico interconectado con la empresa de energía eléctrica CNEL, también conocido como On-grid, donde la generación energética excedente es direccionada por medio de un medidor de energía bidireccional que indica los valores aportados a la red eléctrica, los cuales, regresan a la siguiente planilla en forma de créditos.

La inviabilidad del proyecto, conduce a la necesidad de elaborar alternativas para la reducción de costos por concepto de energía eléctrica y mejorar la huella de carbono en el mundo.

Se recomienda un estudio de aplicación de las baterías de Li-ion, de vehículo eléctricos como Nissan Leaf (55 A), Renault ZOE (65 A), y BMW I3 (94 A) que detienen alta capacidad nominal, reduciendo la cantidad de baterías en el banco. Actualmente, en Europa, las baterías de Nissan Leaf son aplicadas como baterías estacionarias para la generación de energía fotovoltaica, pero lamentablemente, mismo que en su segunda vida, los costos de adquisición e importación son demasiado elevados.

Se invita a la elaboración de un proyecto con auxilio gubernamental, para la aplicación del sistema Off-grid para alimentar pequeñas viviendas rurales, donde no existe el alcance de energía eléctrica, aplicando las baterías de NiMH o Li-ion, encontradas en el mercado ecuatoriano.

Bibliografía

- ACEA. (2015). *A Review of Battery Technologies for Automotive Applications*. ACEA DRIVING MOBILITY FOR EUROPE.
- ADAC. (2019, 12 13). *Elektroauto-Akkus: So Funktioniert das Recycling*. Retrieved from ADAC - Club Aleman de Automovilismo: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/info/elektroauto-akku-recycling/>
- ADAC. (2020, 3 19). *Glossar e-Mobilität*. Retrieved from ADAC - Allgemeiner Deutscher Automobil: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/info/glossar-elektromobilitaet/>
- ADAC-Allgemeiner Deutscher Automobil-Club . (2019, 05 29). *Elektroautos: Pro und Contra*. Retrieved from ADAC - Club Aleman de Automovilismo: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/info/elektroauto-akku-recycling/>
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2018, 04). *Balance Nacional de Energía Eléctrica*. Retrieved from <https://www.regulacioneléctrica.gob.ec/balance-nacional/>
- Agencia Espacial Civil Ecuatoriana. (2020, 08 26). *Estación Climatológica Guayaquil*. Retrieved from Reporte del Clima en Guayaquil: <http://gye.exa.ec/>
- Ambrosio, R., & Ticianelli, E. (2001). *Baterías de Níquel-Hidreto Metálico, Uma Alternativa para as Baterías de Níquel-Cádmio*. São Paulo: Universidade de São Paulo.
- ARCONEL. (2018, 10 22). Resolución Nro ARCONEL-042/18. 4. Ecuador.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2019). *Electromovilidad, Panorama Actual en America Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- BASF SE. (2021, 03). *Industrial / Stationary Battery*. Retrieved from BASF Catalysts: <https://catalysts.basf.com/products-and-industries/battery-materials/nickel-metal-hydride/stationary-battery>

- Bosch Solar Energy AG. (2012). *Solar Energy by Bosch*. 07.
- CDC . (2019, 05 15). *Outdoor Air - Health Impacts of Fine Particles in Air*. Retrieved from <https://ephtracking.cdc.gov/showAirHIA.action>
- Cherry, J. (2015). *Battery Durability in Electrified Vehicle Applications: A Review of Degradation Mechanisms and Durability Testing*. Michigan: FEV North America.
- Chicaguala, A., M. (2017). *Análisis Técnico Económico del Proyecto Fotovoltaico para Autoconsumo de un Datacenter*. Chile: Departamento de Industrias Santiago.
- Clean Energy Reviews. (2021, 03 10). *Clean Energy Reviews*. Retrieved from Most Efficient Solar Panels 2021: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/most-efficient-solar-panels>
- CNEL EP Ecuador. (2020). *Manual para la Instalacion de la Acometida y Sistema de Medición a los Consumidores de CNEL EP*. CNEL EP Ecuador. Retrieved from IAEEI Magazine.
- Delft University of Technology. (2014). *Solar Energy, Fundamentals, Technology, and Systems*. Delft: Delft University of Technology.
- di Souza, R. (n.d.). *Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica*. Ribeirao Preto/SP: BlueSol Educacional.
- Diaz, T., C., & Carmona, G., R. (2018). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. McGrawHill.
- Dirección General de Industria, Energía y Minas . (2007). *Guía de Ahorro Energético En Talleres de Automóviles*. Madrid: Comunidad de Madrid.
- EPA - United States Environmental Protection Agency. (2019). *Global Greenhouse Gas Emissions Data*. Retrieved from EPA - United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>

- EPA - United States Environmental Protection Agency. (2020, 04). *Sources of Greenhouse Gas Emissions*. Retrieved from Greenhouse Gas Emissions:
<https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>
- FGV Energía. (2017). *Vehículos Electricos*. Sao Paulo: Accenture.
- Garche, J., Karden, E., Moseley, P., & Rand, D. (2017). *Lead-Acid Batteries for Future Automobiles*. Amsterdam: Elsevier Science.
- German Solar Energy Society. (2013). *Planning and Installing Photovoltaic Systems*.
Comisión Europea.
- Global Monitoring Laboratory. (2020, 07). *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide*. Retrieved from <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>
- Global Monitoring Laboratory. (2019). *CarbonTracker CT2019*. Retrieved from Earth System Research Laboratories: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/carbontracker/>
- Grandella, V., M. (2015). *Energia Solar Fotovoltaica, Conceitos e Aplicações a Sistemas Isolados e Conectados a Rede*. Sao Paulo: Saraiva.
- GreenMatch. (2021, 03 24). *GreenMatch*. Retrieved from 7 Different Types of Solar Panels Explained: <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/09/types-of-solar-panels>
- Inel Engineering Education. (2020, 07). *Inel*. Retrieved from Webinar Dimensionamiento de Sistemas Fotovoltaicos Aislados: <https://inelinc.com/ver-curso/dimensionamiento-de-sistemas-fotovoltaicos-aislados-vrkh8/2982>
- IPCC. (2011). *Fuentes de Energias Renovables y Mitigación del Cambio Climático*.
Whashington, D.C.: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático - IPCC.
- Luque, A., & Hegedus, S. (2011). *Handbook of photovoltaic science and engineering*. United Kington: John Wiley y Sons.

- Mahmud, M., Huda, N., Farjana, S., & Lang, C. (2019). *Comparative Life Cycle Environmental Impact Analysis of Lithium-Ion (LiIo) and Nickel-Metal Hydride (NiMH) Batteries*. Australia: Macquarie University.
- Mariotti, N., Bonomo, M., & Barolo, C. (2020, 01 08). *Tecnologías fotovoltaicas emergentes y diseño ecológico: críticas y posibles mejoras, fiabilidad y aspectos ecológicos de los módulos fotovoltaicos*. Retrieved from <https://www.intechopen.com/books/reliability-and-ecological-aspects-of-photovoltaic-modules/emerging-photovoltaic-technologies-and-eco-design-criticisms-and-potential-improvements>
- Mascarós, M., V. (2016). *Gestión del Montaje de Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. España: Paraninfo.
- McConway, K. (2017). *Annual Report of the Chief Medical Officer 2017 - Health Impacts of All Pollution – What do We Know?* Inglaterra: The Open Univesity.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2016). *Primer Informe Bienal de Actualización del Ecuador*. Nueva York: Resumen Ejecutivo.
- Moseley, T., P., & Garche, J. (2014). *Electrochemical Energy Storage for Renewable Sources and Grid Balancing*. Elsevier Science.
- N. de Araújo, A., Rank, Iuata, N., & Bueno, A. , T. (2016). *Análise dos Fatores de Perdas nos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica em Curitiba*. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Naciones Unidas UNFCCC. (2015). Aprobación del Acuerdo de Paris., (p. 2 Art. 2 a)). Retrieved from https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_spanish_.pdf

- Nanthakumar, V. (2018, 12 21). *La Investigación Sueca Multiplica la Vida Útil de las Baterías Recargables* . Retrieved from Nanthavictor:
<https://nanthavictor.com/2018/12/21/swedish-research-multiplies-the-life-of-rechargeable-nimh-batteries/>
- Nickel Institute. (n.d.). *A guide to understanding battery specifications*. Retrieved from
<https://nickelinstitute.org/about-nickel/nickel-in-batteries/a-guide-to-understanding-battery-specifications/>
- Nickel Magazine. (2017, Mayo). Battery technology: past, present and future use of nickel. *Nickel Maganine*, 32(01), 05.
- Niquel Institute. (n.d.). *About nickel*. Retrieved from Niquel Institute:
<https://nickelinstitute.org/about-nickel/>
- NREL. (n.d.). *Best Research-Cell Efficiency Chart*. Retrieved from NREL Transforming Energy: <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>
- Pesantez, J., Rios, V., A., & Gonzalez, R., J. (2021). Integración de Sistemas Solares Fotovoltaicos en el Sector Camaronero Intensivo y Extensivo del Ecuador: Caso de Estudio en la Provincia de El Oro. *Revista Politécnica*, Vol. 47, No. 2.
- Phinikarides, A., Kindyni, N., Makrides, G., & Georghiou, G. (2014, 07 19). Review of Photovoltaic Degradation Rate Methodologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 143-152.
- Planas, O. (2020, 03 28). *Energia Solar*. Retrieved from Tipos de Paneles Fotovoltaicos:
<https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/tipos-de-paneles-fotovoltaicos>
- PVsys 7.2. (n.d.). Diseño y Simulaición de Proyecto.

- Rodriguez, A. (2019, 06 07). *NextCity Labs*. Retrieved from Ventajas del litio ferroso (LiFePO₄) frente al litio-ion tradicional: <http://www.nextcitylabs.com/Y92/cuales-son-las-ventajas-del-litio-ferroso-frente-al-litio-ion-tradicional>
- Room, J. (2006). The car and fuel of the future. . *Energy Policy*, 2609-2614.
- Ros Marin, J., & Barrera, D., O. (2017). *Vehículos Eléctricos y Híbridos*. España: Paraninfo.
- Salgado-Laboriau, M. (2006). *Cráterios y técnicas para o Quaternario*. Sao Paulo: Edgard Blucher.
- Scinergy Research in Alternative Energy. (2019). Mapa Solar del Ecuador 2019. 14.
- Seethamma, M. (2019, 08 26). *Futuretron Labs*. Retrieved from <https://futuretronlabs.in/blog/index.php/2019/08/26/types-of-ev-electric-vehicle-phev-hev-bev/>
- Simioni, T. (2017). *O Impacto da Temperatura para o Aproveitamento do Potencial Solar Fotovoltaico do Brasil*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Solar Tribune. (2011, 10 12). *Solar Tribune, News, Analysis, Education*. Retrieved from Concentrated Photovoltaics: <https://solartribune.com/cpv/>
- Tavares, P., J., & Galdino, M. (2014). *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Rio de Janeiro: CEPEL-CRESESB.
- Toyota Motor Corporation. (2004). *Guía de respuesta ante emergencias: Prius 2004* . Toyota Motor Corporation.
- Toyota Motor Corporation. (2016). *Toyota España*. Retrieved from La segunda vida de las baterías híbridas de larga duración: <https://www.toyota.es/world-of-toyota/articles-news-events/2016/toyota-busca-soluciones-reutilizar-baterías#>
- Toyota Motor Corporation. (2018, 31 01). *Chubu Electric Power and Toyota to Commence Electrified Vehicle Battery Reuse and Recycling Verification Project*. Retrieved from Toyota Global: <https://global.toyota/en/newsroom/corporate/20929916.html>

- Tronco, S., P., Florian, F., & Baptistini, P., F. (2017). *Estudo de Perdas em Sistemas Fotovoltaicos*. Araraquara: Universidade de Araraquara.
- U.S. Energy Information Administration. (2020, 03 20). *Electricity Explained - Electricity in the United States*. Retrieved from EIA - Independent Statistics y Analsis:
<https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/electricity-in-the-us.php>
- Volkswagen Group. (2020, 08). *Lithium to lithium, manganese to manganese*. Retrieved from Volkswagen Aktiengesellschaft:
<https://www.volkswagenag.com/en/news/stories/2019/02/lithium-to-lithium-manganese-to-manganese.html#>
- Vonbun, C. (2015). *Impactos ambientales y económicos de los vehiculos electricos e hibridos Plug-IN: Una revisión de la literatura*. Brasília: IPEA.
- Weather Atlas. (2020). *Weather Atlas* . Retrieved from Previsión Meteorológica y Clima Mensual Guayaquil, Ecuador: <https://www.weather-atlas.com/es/ecuador/guayaquil-clima#temperature>
- Working Group III Technical Support Unit. (2014). *Climate Change 2014 - Mitigation of Climate Change*. New York: Cambridge University Press.
- WWF. (2020). *Alterações Climáticas: Causas*. Retrieved from https://www.natureza-portugal.org/o_nosso_planeta/alteracoes_climaticas/causas/