

## UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO

## CARRERA DE ELECTRICIDAD

DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE MÁXIMA POTENCIA DE PANELES SOLARES MEDIANTE ALGORITMO MPPT PERTURBAR Y OBSERVAR PARA MAXIMIZAR EL FACTOR DE FORMA EN ELECTROLINERA FOTOVOLTAICA APLICADA AL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.

Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico

AUTOR: JORGE WLADIMIR VACA ORDOÑEZ

TUTOR: ROGELIO ALFREDO ORIZONDO MARTÍNEZ

Quito -Ecuador

# CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jorge Wladimir Vaca Ordoñez con documento de identificación N° 1721004586 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 18 de noviembre del año 2024

Atentamente,

Jorge Wladimir Vaca Ordoñez

## CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Jorge Wladimir Vaca Ordoñez con documento de identificación No.1721004586, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: "Determinación del Punto de Máxima Potencia de Paneles Solares mediante Algoritmo MPPT Perturbar y Observar para Maximizar el Factor de Forma en Electrolinera Fotovoltaica Aplicada al Abastecimiento Energético de Vehículos Eléctricos", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 18 de noviembre del año 2024

Atentamente,

Jorge Wladimir Vaca Ordoñez

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Rogelio Alfredo Orizondo Martinez con documento de identificación Nº 1757424195, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE MÁXIMA POTENCIA DE PANELES SOLARES MEDIANTE ALGORITMO MPPT PERTURBAR Y OBSERVAR **PARA MAXIMIZAR** EL**FACTOR** DE **FORMA** EN **ELECTROLINERA** FOTOVOLTAICA APLICADA AL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS, realizado por Jorge Wladimir Vaca Ordoñez con documento de identificación Nº 1721004586, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 18 de noviembre del año 2024

Atentamente,

Ing. Rogelio Alfredo Orizondo Martinez Msc.

## ÍNDICE GENERAL

1	I	Introd	ucción	2
2	ı	Marco	teórico	3
	2.1	1 Si	stemas de generación de energía solar fotovoltaica	3
	4	2.1.1	Sistemas de generación centralizados	3
		2.1.2	Sistemas de generación Descentralizados	3
	2.2	2 Ba	ıterías	4
	4	2.2.1	Tipos de baterías	4
	4	2.2.2	Eficiencia de baterías	4
	2.3	B Pa	neles solares Fotovoltaicos	5
	2	2.3.1	Radiación solar	5
	4	2.3.2	Ubicación geográfica	5
	2.4	4 Ce	eldas Solares	5
	2	2.4.1	Tipos de celdas solares	5
	4	2.4.2	Eficiencia de celdas solares	6
	2.5	5 Fa	ctor de Forma de paneles solares	6
	2.6	6 AI	goritmos MPPT	7
	2	2.6.1	Algoritmo MPPT Tensión Fija	7
	2	2.6.2	Algoritmo MPPT Tensión Variable	8
	2	2.6.3	Algoritmo MPPT de Conductancia Incremental	8
	2	2.6.4	Algoritmo MPPT Perturbar y Observar	9
3	ſ	Mode	amiento	9
	3.1	1 Pa	nel fotovoltaico	10
	3.2	2 Al	goritmo MPPT P&O	11
	3.3	3 P\	VM	11
	3.4	4 Tr	ansformador bidireccional DC/DC	11
	3.5	5 Tr	ansformador Buck-Boost	11
	3.6	Ba	ıteria	12
4	1	Anális	is de resultados	12
	4.1	1 Ca	asos de Estudio	12
	4	4.1.1	Caso sin aplicación MPPT	12
	4	4.1.2	Caso Renault Twizy	13
	4	4.1.3	Caso Kia Soul EV	13
	4	4.1.4	Caso Chevrolet Bolt	13
	4.2	2 In	corporación de Algoritmo MPPT "P&O"	14

4.2.1	Caso Renault Twizy	14
4.2.2	Caso Kia Soul EV	14
4.2.3	Caso Chevrolet Bolt	15
4.2.4	Comparación de factores de forma	15
5 Conc	lusiones	16
5.1 T	rabajos futuros	16
6 Refer	encias	17
6.1 M	latriz de Estado del Arte	20
6.2 R	esumen de Indicadores	23
7 Anex	os	24
7.1 A	nexo 1: Datos de placa de panel solar NEO SOLAR P	OWER NSP D6M300E3A24

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación entre Voltaje y Densidad energética de cada tipo de batería	5
Figura 2. Comparación de eficiencias según el tipo de celda solar	6
Figura 3. Curva I-V panel solar	
Figura 4. Curva P-V panel solar	7
Figura 5. Diagrama de flujo Algoritmo P&O	9
Figura 6. Sistema de carga Fotovoltaico con controlador P&O	10
Figura 7. Curva característica I-V panel solar NEOSOLAR	
Figura 8. Curva característica P-V panel solar NEOSOLAR	10
Figura 9. Control MPPT P&O conectado a sistema de carga fotovoltaico	11
Figura 10. Transformador bidireccional DC/DC	11
Figura 11. Transformador Buck-Boost	
Figura 12. Curvas características V-I, P-I sin aplicar MPPT P&O	12
Figura 13. Voltaje, Corriente y Potencia en panel solar para Caso1	13
Figura 14. Voltaje, Corriente y porcentaje de carga en batería para Caso 1	13
Figura 15. Voltaje, Corriente y Potencia en panel solar para Caso2	13
Figura 16. Voltaje, Corriente y porcentaje de carga en batería para Caso 2	13
Figura 17. Voltaje, Corriente y Potencia en panel solar para Caso3	13
Figura 18. Voltaje, Corriente y porcentaje de carga en batería para Caso 3	14
Figura 19. Curvas V-I, P-I aplicando MPPT P&O	
Figura 20. V, I y P en panel solar para Caso1 con MPPT	14
Figura 21. Voltaje, Corriente y porcentaje de carga en batería para Caso 1 con	
Figura 22. V, I y P en panel solar para Caso2 con MPPT	15
Figura 23. Voltaje, Corriente y porcentaje de carga en batería para Caso 2 con	
Figura 24. V, I y P en panel solar para Caso3 con MPPT	15
Figura 25. Voltaje, Corriente y porcentaje de carga en batería para Caso 3 con	
Figura 26. Curva característica V-I, P-I antes y después de aplicar algoritmo MPP	
Figura 27. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte	
Figura 28. Indicador de solución - Estado del arte	
Figura 29. Indicador de formulación del problema - Estado del arte	23

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos de Ficha técnica Vehículos eléctricos	5
Tabla 2. Datos del panel solar configurados en Simulink MATLAB	
Tabla 3. Datos de Ficha técnica de Batería	
Tabla 4: Matriz de estado del arte.	20

## DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE MÁXIMA POTENCIA DE PANELES SOLARES MEDIANTE ALGORITMO MPPT PERTURBAR Y OBSERVAR PARA MAXIMIZAR EL FACTOR DE FORMA EN ELECTROLINERA FOTOVOLTAICA APLICADA AL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.

#### Resumen

El presente documento está enfocado en la localización del punto de máxima potencia en paneles solares a través de la implementación del algoritmo MPPT Perturbar y Observar, y con el análisis del factor de forma de paneles solares, con el objetivo de maximizar el rendimiento de los paneles solares y, a su vez brindar un perfil de carga adecuado a las necesidades de vehículos eléctricos, donde se den condiciones óptimas para sacar el máximo provecho de la producción de energía eléctrica fotovoltaica.

En desarrollo del trabajo de titulación se contemplan 3 escenarios: Renault Twizy, Kia Soul y Chevrolet Bolt, los cuales evidencian la necesidad de implementar el algoritmo Perturbar y Observar, aquí se comparan perfiles de voltaje y corriente, antes y después de implementar el algoritmo en un sistema de carga fotovoltaico además se contempla los elementos de los cuales compone el sistema de carga fotovoltaico y sus funciones individuales.

*Palabras Clave:* Paneles solares, Sistema de carga fotovoltaico, Factor de Forma, Algoritmo MPPT perturbar y observar.

## **Abstract**

This document is focused on the location of the maximum power point in solar panels through the implementation of the MPPT Disturb and Observe algorithm, and with the analysis of the fill factor of solar panels, with the aim of maximizing the performance of the solar panels and, in turn, provide a charging profile appropriate to the needs of electric vehicles, where optimal conditions exist to get the most out of the production of photovoltaic electrical energy.

In development of the titling work, 3 scenarios are contemplated: Renault Twizy, Kia Soul and Chevrolet Bolt, which show the need to implement the Disturb and Observe algorithm, here voltage and current profiles are compared, before and after implementing the algorithm in a photovoltaic charging system in addition the elements of which the photovoltaic charging system is composed and their individual functions are contemplated.

**Keywords:** Solar panels, Photovoltaic charging system, Fill Factor, MPPT Algorithm perturb and observe.

## 1 Introducción

Los paneles solares son dispositivos capaces de convertir la energía del sol en energía eléctrica [1]. Están compuestos por celdas fotovoltaicas que convierten la luz en electricidad[2]. Son una fuente importante de energía renovable y suelen utilizarse para generar energía eléctrica a partir de la luz del sol [2].

Uno de los aspectos clave dentro de la eficiencia de los paneles solares es su propio factor de forma [2]. El factor de forma de un panel solar se refiere a la relación entre la potencia máxima producto de las variables de corriente y voltaje que puede producir el panel y la potencia que se mide en el punto de carga [3].

Un factor de forma alto indica que el panel está funcionando de manera más eficiente y es capaz de producir más electricidad con menos luz solar. Por otro lado, un factor de forma bajo indica que el panel está funcionando de manera menos eficiente y necesita más luz solar para producir la misma cantidad de electricidad [3].

Por lo antes mencionado, el algoritmo de tipo MPPT (Máximum Power Point Tracking) es un tipo de control de tensión utilizado en sistemas de energía solar para aumentar la eficiencia de la conversión de energía. El MPPT se utiliza en conjunto con inversores y reguladores de carga para maximizar la cantidad de energía eléctrica que se obtiene de los paneles solares a través del sistema de carga fotovoltaico y una electrolinera para minimizar la pérdida de energía[4].

Al utilizar el algoritmo MPPT, se maximiza la obtención de una mayor cantidad de energía de los paneles solares, lo que a su vez puede aumentar la eficiencia del sistema fotovoltaico de carga y reducir los costos de producción de energía[4].

Además, se abordará conceptos como sistemas de energía fotovoltaica, los cuales están compuestos de baterías, paneles solares y módulos de carga que usan el

algoritmo MPPT para hallar el mejor perfil energético posible[5].

Por otra parte, se modelará un sistema de carga con un transformador BUCK-BOOST encargado del control de carga, junto con un transformador DC/DC Bidireccional encargado de receptar y transmitir energía.

Entonces, este artículo tiene como objetivo principal determinar el punto de máxima potencia de los paneles solares mediante el algoritmo MPPT, específicamente utilizando la técnica de perturbar y observar para maximizar el factor de forma en una electrolinera fotovoltaica aplicada al abastecimiento energético de vehículos eléctricos[4].

Con lo antes dicho, como objetivos específicos se pretende conocer las magnitudes de voltaje, corriente y potencia que mantiene el panel solar y la batería que alimenta el vehículo eléctrico cuando este encuentra conectado y entra funcionamiento la carga de la batería del través del vehículo, programa Simulink / MATLAB, comparar los valores de tensión y corriente del panel solar en la con la salida del sistema entrada fotovoltaico y baterías de vehículos eléctricos ,Renault Twizy, Kia Soul y Chevrolet Bolt, los mismos que serán considerados como casos de estudio, para determinar el factor de forma del panel solar a través del algoritmo MPPT perturbar y observar, y simular el esquema de conexión en corriente continua del panel solar con el vehículo y sus sistemas de carga y almacenamiento [6].

Todo esto con la finalidad de optimizar el uso de la energía solar por medio de paneles solares fotovoltaicos y su aplicación en la carga de diferentes baterías de automóviles, mejorando los niveles de rendimiento a partir de encontrar el mejor perfil energético dentro de los 3 casos mencionados.[7].

## 2 Marco teórico

Actualmente los sistemas de energía solar fotovoltaica, son utilizados en varios ámbitos en los cuales la energía de red convencional se ha vuelto obsoleta debido a su gran infraestructura, donde se necesita instalaciones extensas, grandes antenas y largos cableados, en comparación con la instalación en sitio que presentan los paneles solares y todos sus sistemas asociados [7].

## 2.1 Sistemas de generación de energía solar fotovoltaica.

Los sistemas de energía solar son altamente efectivos en producción de energía eléctrica, brindando todas las facilidades que otros sistemas eléctricos no poseen como la facilidad de instalación, los costos reducidos con respecto a otros métodos de obtención de energía y el área de instalación que necesitan, en consecuencia, actualmente han ganado importancia en el ámbito eléctrico [2].

Debido a esto se llega al concepto de dos tipos de sistemas los cuales tienen características similares y el mismo principio de funcionamiento, diferenciándose entre sí únicamente por el tamaño y la extensión de uso que cada sistema proporciona [2].

El primer sistema hace referencia al uso industrial por la extensión de uso, por otra parte, el segundo se enfoca más bien en el usuario como único consumidor de la energía producida [8].

## 2.1.1 Sistemas de generación centralizados

Estos sistemas se encargan de generar energía eléctrica en altas cantidades a través de paneles fotovoltaicos, para posteriormente ser distribuidas a varios usuarios finales, sean estos industriales o residenciales, a través de una red interconectada [8].

Por lo tanto, es indispensable que un sistema de generación centralizada esté en condiciones de suministrar tal magnitud de energía, entonces debe poseer un área de instalación acorde con las necesidades de consumo y una ubicación geográfica donde la irradiancia del sol brinde el ambiente propicio para la producción de energía eléctrica [9].

De ahí que, estos sistemas dentro de la distribución de energía eléctrica, presenten perdidas, ya que una característica de estos sistemas es poseer una corriente continua la cual es producida directamente del panel solar, entonces al tener que convertir la corriente continua, a través de un inversor de corriente, en corriente alterna, también se originan perdidas en los inversores de corriente [9].

Es por eso, que estos sistemas tienen mayor participación en el ámbito industrial debido a los costos y toda la tecnología que viene detrás para dar el mejor servicio al usuario y a la red eléctrica que suministra[9].

## 2.1.2 Sistemas de generación Descentralizados

En segundo lugar, los sistemas descentralizados de generación, a diferencia de los sistemas centralizados, se enfocan en la generación en el sitio, de aquí que se descarte la idea de distribución, ya que en la mayoría de casos, no se tiene más de un usuario por sistema [10].

Por lo antes mencionado, los sistemas de generación descentralizados pasan a ser mejores, más eficaces y altamente rentables debido al área de instalación, las pocas perdidas que presentan, y la reducción de materiales que se necesitan para su entrada en funcionamiento [10].

Además, por estas características son seleccionados en la mayor parte de los casos para ser usados en subsistemas como almacenamiento en baterías, uso doméstico y actualmente ha ganado terreno en sistemas para la carga de vehículos eléctricos [11].

#### 2.2 Baterías

Las baterías son dispositivos que almacenan energía mediante la combinación de elementos en una distribución entre ánodo y cátodo, la cual se usara después para alimentar otro dispositivo eléctrico o sistema eléctrico como motores, luces, electrónicos e incluso alimentación de otras baterías [12].

Estos dispositivos funcionan según el principio de conducción electroquímica, que no es más que el movimiento de electrones del ánodo al cátodo, mediante un proceso de oxidación-reducción, lo cual se debe a que, en una batería, el ánodo tiene un potencial más alto que el cátodo y la electricidad generada fluirá a través del cátodo y saldrá por el otro extremo [12].

Por lo antes mencionado, cabe recalcar que estos dispositivos tienen ciclos de vida útil limitados por la cantidad de veces que se pueda cargar y descargar una batería, ya que esto desgasta su estructura interna, resultando en una pérdida de potencia en el tiempo [12].

De esto que, nacen diferentes tipos de configuraciones con elementos químicos en las baterías, las cuales se usan en diversas aplicaciones según el tipo de elemento que se use en su fabricación, además de que sus características particulares determinarán su empleo o no en sistemas eléctricos en los cuales se necesite almacenar energía, para su posterior aprovechamiento [12].

#### 2.2.1 Tipos de baterías

Actualmente, existen diferentes baterías, las cuales son adecuadas para el uso en diferentes áreas, de lo cual se tiene:

Baterías de Plomo -Acido: actualmente usadas para la alimentación de arranque vehículos a combustión, y en menor medida para sistemas fotovoltaicos, con una densidad energética de entre 33 a 44 Wh/Kg y voltajes de 12 y 24 V respectivamente [13].

- Baterías de níquel-hierro: actualmente descontinuadas debido a su alto coste de fabricación y su poco campo de aplicación, tenían una densidad energética de 40 Wh/Kg y voltajes de hasta 1,5V [14].
- Baterías de níquel-cadmio: debido a que esta batería puede descargarse por completo, son usados mayormente en sistemas de seguridad, con una densidad energética de 50 Wh/Kg y voltajes de 1,5V [14].
- Baterías de Níquel-Hidruro metálico: estas baterías son usadas en dispositivos electrónicos de bajo consumo, con una densidad energética de 80 Wh/Kg y voltajes de 1,2V [15].
- Baterías de Iones de Litio (Li-Ion): actualmente son las más usadas debido a su alta densidad energética y su peso y porte reducido, siendo las más usadas en dispositivos electrónicos de alto consumo como celulares y computadores, con una densidad energética de 115 Wh/Kg y voltajes de 3,7V [16].
- Baterías de Polímero de Litio: debido a su mayor densidad energética y su tamaño reducido, son usadas en dispositivos bluetooth, con una densidad energética de 130 Wh/Kg y voltajes de 3,7V [17].

#### 2.2.2 Eficiencia de baterías

Al tomar en cuenta los tipos de baterías existentes, considerando los valores que cada una tiene, y según sus compuestos químicos se tiene:

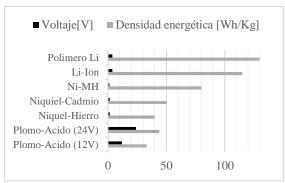


Figura 1. Relación entre Voltaje y Densidad energética de cada tipo de batería.

Las baterías que utilizan actualmente los carros eléctricos, son del tipo Ion de Litio, debido a su alta densidad energética y su porte reducido [16], en consecuencia, la siguiente tabla presenta tres ejemplos de automóviles los cuales funcionan con estas baterías:

Tabla 1. Datos de Ficha técnica Vehículos eléctricos

Caso	Modelo	Batería	Motor
1	Renault	6. 1kWh/	250V
	Twizy[18]	58V	
2	Kia Soul	60 kWh/	480V
	EV[19]	360V	
3	Chevrolet	60kWh/	480V
	Bolt[20]	384V	

#### 2.3 Paneles solares Fotovoltaicos

Los paneles solares fotovoltaicos están constituidos de diferentes materiales, los cuales son capaces de absorber fotones para generar energía eléctrica, para su posterior uso, sea este domestico o comercial [21].

Por lo antes mencionado, para considerar que el funcionamiento de los paneles solares fotovoltaicos es eficaz, nace la necesidad de considerar factores ambientales que afectan directamente en el desempeño de estos dispositivos de generación eléctrica [21].

#### 2.3.1 Radiación solar

Se refiere a la fuente de donde nacen los fotones, los cuales llegan a la tierra, para alimentar diferentes procesos naturales y químicos en el medio ambiente [22].

Precisamente, en la actualidad esta energía es aprovechada por los paneles solares, mismos que se alimentan de la radiación del sol, convirtiendo los fotones en energía eléctrica, para posteriormente alimentar sistemas eléctricos aislados o conectados a la red eléctrica local [22].

### 2.3.2 Ubicación geográfica

Es importante entender que la ubicación geográfica donde se encuentre el panel determinará la viabilidad de la instalación de este en dicho punto, siendo las latitudes cercanas a la línea ecuatorial las más eficientes debido a las horas de luz solar que se tiene en estas regiones [22].

### 2.4 Celdas Solares

Son dispositivos que transforman la energía que proviene del sol, a manera de radiación, en energía eléctrica ya sea absorbiendo los fotones para liberar electrones usando una unión PN, o bien convirtiendo esta energía en calor para usos particulares como la alimentación de sistemas eléctricos o calentadores de agua y calefacción respectivamente [23].

### 2.4.1 Tipos de celdas solares

Las celdas solares están hechas principalmente de silicio [23]. Por tal característica se puede clasificarlas en tres generaciones según el avance tecnológico aplicado a cada generación:

- Primera generación: En esta generación se pueden encontrar Celdas solares monocristalinas, policristalinas de silicio y celdas de silicio amorfo las cuales tienen un espesor entre 300 micrómetros y 500 micrómetros [24].
- Segunda generación: en esta generación se encuentran únicamente celdas solares película delgada siendo su principal característica su espesor de entre 1 micrómetro y 4 micrómetros [25]. Además se usan técnicas como la hidrogenación del silicio para aumentar su eficiencia y aleaciones con otros metales como el cobre, selenio y teluro [23].

 Tercera generación: esta generación nace debido a los costos de la primera generación y la contaminación en la producción de celdas solares de la segunda generación por sus materiales, en donde se encuentran celdas solares de puntos cuánticos, sensibilizadas con tinta, orgánicas y de perovskita [26].

## 2.4.2 Eficiencia de celdas solares

Al tomar en cuenta los tipos de celdas solares existentes, se considera la mayor eficiencia registrada por laboratorios certificados [23].

Entonces se tiene que:

- Las celdas solares policristalinas y de silicio amorfo alcanzan una eficiencia de 26. 3% resultado registrado en los laboratorios "Kaneka, Japón" [24].
- Las celdas solares de cobre, galio, indio y selenio (CIGS) alcanzan una eficiencia del 22. 6%, resultado obtenido por el laboratorio "ZSW" [27].
- Las celdas solares de perovskita alcanzan actualmente una eficiencia del 22. 7%, resultado obtenido por el "Instituto de Investigación de Tecnología Química Coreano" (KRICT) [26].
- Las celdas solares orgánicas alcanzan una eficiencia del 11. 5%, resultado obtenido por la "Universidad de Ciencia y Tecnología de Hong Kong" [27].
- Las celdas solares de puntos cuánticos alcanzan una eficiencia del 13. 4%, resultado obtenido por el "Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL)"[23].
- Las celdas solares sensibilizadas por tinta alcanzan una eficiencia del 11.
   9%, resultado obtenido por la empresa" SHARP" [25].

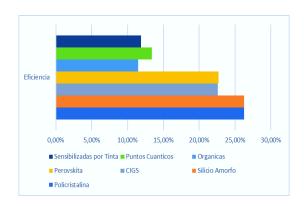


Figura 2. Comparación de eficiencias según el tipo de celda solar.

## 2.5 Factor de Forma de paneles solares.

El factor de forma de un panel solar se refiere al cociente entre la potencia de producción de energía real del panel solar y la potencia en corto circuito [3].

A su vez es una medida de eficiencia del propio panel solar, está ligada a la cantidad de energía eléctrica que un panel puede generar en relación a su tamaño físico y cuanto mayor sea el factor de forma, en consecuencia, más eficiente será la producción de energía por parte del panel solar [3].

Los paneles solares monocristalinos tienen su factor de forma más alto que los demás paneles debido a que están fabricados de un solo cristal de silicio como se menciona anteriormente, lo que hace se eleve la conversión de energía solar en energía eléctrica [25].

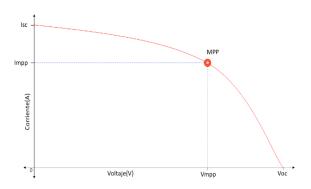


Figura 3. Curva I-V panel solar.

La figura 3 representa la curva I-V de un panel solar.

Donde:

**Voc:** Tensión del panel solar en circuito abierto

Vmpp: Tensión en el MPP.

*Isc*: Corriente del panel solar en cortocircuito

*Impp*: Corriente en el punto de máxima potencia

MPP: Punto de máxima potencia

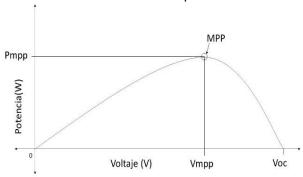


Figura 4. Curva P-V panel solar.

La figura 4 representa la curva P-V de un panel solar.

De esta manera se puede calcular el Factor de Forma que tiene el panel solar con la siguiente ecuación (1):

$$FF = \frac{Impp \cdot Vmpp}{Isc \cdot Voc}$$
 (1)

De igual forma se puede calcular el Factor de Forma aplicando la siguiente ecuación (2):

$$FF = \frac{Pmpp}{Isc \cdot Voc}$$
 (2)

Una vez calculado el factor de forma, también se puede calcular la eficiencia del panel solar aplicando la siguiente formula:

$$\eta = \frac{FF \cdot Voc \cdot Isc}{Pin}$$
 (3)

Donde

**FF**: Factor de Forma de ecuación (2)

Voc: Tensión del panel solar en circuito abierto

*Isc*: Corriente del panel solar en cortocircuito

**Pin**:Potencia de entrada al sistema Por tanto, mientras mayor sea el factor de forma en la ecuación (2), mayor será la eficiencia del panel solar en la ecuación (3).

### 2.6 Algoritmos MPPT

Los algoritmos MPPT "Máximum Power Point Tracking" son utilizados dentro de sistemas de carga solar fotovoltaica para maximizar la cantidad de energía que se puede obtener de los paneles solares. Estos algoritmos funcionan mediante el monitoreo continuo del voltaje y la corriente en los paneles solares y ajustando la resistencia del sistema de carga en consecuencia para mantener los paneles en su MPP [4].

El MPP es el punto en donde los paneles solares están produciendo la máxima cantidad de energía posible para una determinada intensidad de luz solar según los parámetros individuales de cada panel solar [4].

De aquí se derivan los siguientes métodos que aplican un algoritmo MPPT para realizar la función de mantener el MPP en los sistemas de energía fotovoltaica [4].

## 2.6.1 Algoritmo MPPT Tensión Fija

El algoritmo MPPT de tensión fija es un tipo de algoritmo MPPT que se utiliza para maximizar la cantidad de energía eléctrica que un panel solar puede generar. Este algoritmo funciona manteniendo la tensión en los paneles solares en un valor fijo y ajustando la resistencia del sistema de carga en consecuencia para mantener los paneles en su MPP [6].

Para encontrar el MPPT, el algoritmo de tensión fija sigue el siguiente proceso ordenado:

#### Algoritmo MPPT de Tensión Fija

- Entrada: Valores de voltaje y corriente en los paneles solares
- Salida: Valor ajustado de resistencia del sistema de carga

Paso 1: Inicio del algoritmo.

Paso 2: Medir los valores de voltaje y corriente en los paneles solares en diferentes puntos del rango de operación del sistema.

**Paso 3**: Determinar el punto de máxima potencia (MPP) de los paneles solares basado en las medidas obtenidas.

**Paso 4:** Establecer un valor objetivo de tensión para los paneles solares.

**Paso 5:** Ajustar la resistencia del sistema de carga para mantener la tensión en los paneles solares cerca del valor objetivo.

Paso 6: Repetir los siguientes pasos en un bucle continuo:

- a. Medir nuevamente los valores de voltaje y corriente en los paneles solares.
- b. Si el valor del voltaje en los paneles solares es mayor que el valor objetivo:
- Aumentar la resistencia del sistema de carga para reducir la tensión.
- c. Si el valor del voltaje en los paneles solares es menor que el valor objetivo:
  - Disminuir la resistencia del sistema de carga para aumentar la tensión.
  - d. Volver al paso a.

#### Fin del algoritmo.

Este proceso se repite de manera continua para mantener la tensión en los paneles solares cerca del valor objetivo y maximizar la cantidad de energía eléctrica que se puede obtener de los paneles solares [6].

Sin embargo, también puede ser menos eficiente que otros algoritmos MPPT en ciertas condiciones, como cuando hay grandes cambios en el ambiente, afectando la dosis de luz solar que el panel puede recibir. Además, este algoritmo no puede ser implementado en sistemas de energía solar con cargas de alta corriente o en sistemas con paneles solares los cuales no tienen un punto de máxima potencia bien definido [6].

## 2.6.2 Algoritmo MPPT Tensión Variable

El algoritmo MPPT de tensión variable es otro tipo de algoritmo MPPT que se utiliza para maximizar la cantidad de energía eléctrica que se obtiene de los paneles solares [6].

Este algoritmo es más eficiente que el algoritmo MPPT de tensión fija en ciertas condiciones, como cuando hay grandes variaciones en la intensidad de luz solar [6].

Además, este algoritmo puede ser más adecuado para sistemas de energía solar con cargas de alta corriente o para sistemas con paneles solares que no tienen un punto de máxima potencia bien definido [6].

Para encontrar el MPPT, el algoritmo de tensión Variable sigue el siguiente proceso ordenado:

### Algoritmo MPPT de Tensión Variable

- Entrada: Valores de voltaje y corriente en los paneles solares
- Salida: Valor ajustado de resistencia del sistema de carga
  - Paso 1: Inicio del algoritmo.
  - Paso 2: Medir los valores de voltaje y corriente en los paneles solares en diferentes puntos del rango de operación del sistema.
  - Paso 3: Determinar el punto de máxima potencia (MPP) de los paneles solares basado en las medidas obtenidas.
  - **Paso 4:** Establecer un valor máximo de tensión para los paneles solares según las medidas obtenidas.
  - **Paso 5:** Ajustar la resistencia del sistema de carga para mantener la tensión en los paneles solares cerca del valor máximo.
  - Paso 6: Repetir los siguientes pasos en un bucle continuo:
  - a. Medir nuevamente los valores de voltaje y corriente en los paneles solares.
  - b. Si el valor del voltaje en los paneles solares es mayor que el valor máximo:

Aumentar la resistencia del sistema de carga para reducir la tensión.

c. Si el valor del voltaje en los paneles solares es menor que el valor máximo:

Disminuir la resistencia del sistema de carga para aumentar la tensión.

d. Volver al paso a.

#### Fin del algoritmo.

Sin embargo, el algoritmo MPPT de tensión variable puede ser más complicado de implementar y puede requerir más hardware y cómputo que el algoritmo MPPT de tensión fija [6].

## 2.6.3 Algoritmo MPPT de Conductancia Incremental

En este algoritmo se utiliza una técnica de búsqueda incremental para encontrar el MPP de los paneles solares [28].

Esto implica ajustar la resistencia del sistema de carga en pequeños pasos y medir el voltaje y la corriente en los paneles solares después de cada ajuste. Si el voltaje y la corriente aumentan después del ajuste, se sabe que se ha encontrado un punto más cercano al MPP y se continúa ajustando la resistencia en la misma dirección. Si el voltaje y la corriente disminuyen después del ajuste, se sabe que se ha alejado del MPP y se ajusta la resistencia en la

dirección opuesta. Este proceso se repite y continua hasta que se encuentra el MPP [28].

Para encontrar el MPPT, el algoritmo de conductancia incremental sigue el siguiente proceso ordenado:

## Algoritmo MPPT de Conductancia Incremental

- Entrada: Valores de voltaje y corriente en los paneles solares
- Salida: Valor ajustado de resistencia del sistema de carga
  - Paso 1: Inicio del algoritmo.
  - Paso 2: Ajustar la resistencia en pequeños pasos.
- Paso 3: Medir el voltaje y la corriente en los paneles solares.
- a. Si tanto el voltaje como la corriente aumentan, continuar ajustando la resistencia en la misma dirección.
- b. Si tanto el voltaje como la corriente disminuyen, ajustar la resistencia en la dirección opuesta.

Paso 4: Repetir desde el paso 2 hasta encontrar el MPP.

### Fin del algoritmo.

Por tanto, este método puede ser una opción más recomendable para sistemas de energía solar con paneles solares que tienen un punto de máxima potencia bien definido y poco cambio en las condiciones de luz solar [28].

## 2.6.4 Algoritmo MPPT Perturbar y Observar

El algoritmo MPPT P&O (también conocido como algoritmo MPPT de perturbación y observación o algoritmo MPPT P&O) es un tipo de algoritmo MPPT que se utiliza para maximizar la cantidad de energía eléctrica que se obtiene de paneles solares [4].

Este algoritmo funciona mediante el monitoreo continuo del voltaje y la

#### 3 Modelamiento

Dentro de esta sección se describirá individualmente cada elemento de los cuales se compone el sistema de carga fotovoltaico. Además ,dicho sistema necesita de módulos electrónicos para su funcionamiento, en consecuencia, es necesario analizar y explicar la función de cada una de sus partes .

corriente en los paneles solares y ajustando la resistencia del sistema de carga en consecuencia para mantener los paneles en su punto de máxima potencia [4].

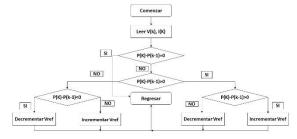


Figura 5. Diagrama de flujo Algoritmo P&O Para encontrar el MPPT, el algoritmo perturbar y observar sigue el siguiente proceso ordenado:

## Algoritmo MPPT Perturbar y Observar

- Paso 1: Inicio del algoritmo.
- **Paso 2:** Establecer valores iniciales de la corriente y el voltaje
- **Paso 3:** Establecer valores iniciales del paso de perturbación.
- Paso 4: Mientras se necesite seguir buscando el MPP:
  - a. Medir el voltaje y la corriente
  - b. Calcular la potencia
- Paso 5: Una vez medido el voltaje y la corriente:
  - a. Si la potencia es mayor que la potencia anterior:
  - Aumentar el paso de perturbación en la misma dirección
  - Si el paso de perturbación supera un valor máximo:
  - Ajustar el paso de perturbación al valor máximo
  - c. Si la potencia es menor que la potencia anterior:
  - Cambiar la dirección del paso de perturbación
- Paso 6: Reducir el paso de perturbación
  - a. Si el paso de perturbación es menor que un valor mínimo:
- Ajustar el paso de perturbación al valor mínimo
   Paso 7: Ajustar la corriente y el voltaje según el paso de perturbación y la dirección.

#### Fin del algoritmo.

La determinación de MPPT en un sistema fotovoltaico se la realiza a través de la implementación de un algoritmo de seguimiento de máxima potencia con diferentes métodos. En este caso, se aplica el método Perturbar y observar el mismo que determinará si el sistema de generación de energía se encuentra en su punto máximo, y de no ser asi enviará una señal al

transformador BUCK-BOOST para que aumente o disminuya los niveles de tensión de salida. Esto, conectando el automóvil con sus respectivas baterías, a un sistema fotovoltaico de carga descrito a continuación.

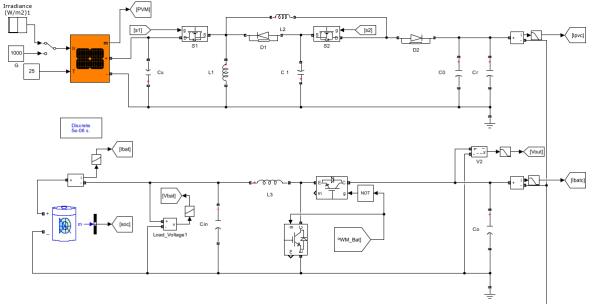


Figura 6. Sistema de carga Fotovoltaico con controlador P&O

## 3.1 Panel fotovoltaico

El panel fotovoltaico que se toma de base para efecto de estudio en el artículo es de la marca NEO SOLAR POWER CORPORATION y del modelo NSP D6M300E3A, el cual presenta las siguientes características:

Tabla 2. Datos del panel solar configurados en Simulink MATLAB

	Panel Solar NEO SOLAR POWER CORPORATION (NSP D6M300E3A)								
<b>Pmax</b> 300 W									
Vmpp	32. 35 V								
Impp	9. 28 A								
Isc	9. 65 A								
Voc	45. 50 V								

Los datos mencionados en la tabla 1, hacen referencia a los parámetros máximos que el panel puede entregar, además se toma en cuenta los datos de placa del panel mostrados en el ANEXO 1.

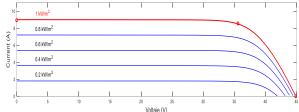


Figura 7. Curva característica I-V panel solar NEOSOLAR

La figura 7 representa la curva de niveles de corriente y niveles de voltaje de los parámetros establecidos en Simulink para el modelo especifico de panel solar, los cuales determinan los valores de entrega del panel bajo diferentes rangos de irradiancia.

Además, se programó a la señal de irradiancia del panel solar de manera que cada 5 segundos tenga un cambio en la irradiancia y de esta manera poder apreciar el cambio en la corriente y voltaje, y por tanto en su potencia y MPP.

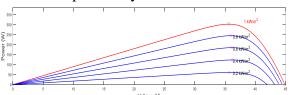


Figura 8. Curva característica P-V panel solar NEOSOLAR

Como se menciona anteriormente, la figura 8 representa la curva de niveles de potencia y niveles de voltaje de los parámetros establecidos en Simulink para el modelo especifico de panel solar, los cuales determinan los valores de entrega del panel bajo diferentes rangos de irradiancia entre 200W/m² a 1000W/m², como se muestra en el ANEXO 1.

## 3.2 Algoritmo MPPT P&O.

El algoritmo MPPT P&O es usado para hacer un seguimiento mediante el análisis de:

- Valores de entrada: Niveles de Voltaje y Niveles de Corriente del panel solar.
- Valores de salida: Niveles de carga de baterías del sistema fotovoltaico y consumo de transformadores Buck-Boost y DC/DC.

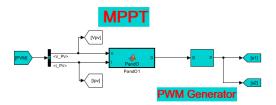


Figura 9. Control MPPT P&O conectado a sistema de carga fotovoltaico

La figura 9 representa el Control donde se aloja el algoritmo MPPT P&O el cual funciona con dos entradas de datos de corriente y tensión para censarlos y posteriormente en su salida enviar los datos al transformador Buck Boost, el mismo que ajustará los parámetros en función a la comparación de los datos anteriores con los nuevos que ingresan al convertidor Buck-Boost.

De esta manera trabaja aumentando o disminuyendo los valores de corriente y tensión para buscar el mejor perfil de potencia según la producción de energía del panel solar.

#### **3.3 PWM**

PWM es una estrategia de modulación para controlar la potencia que fluye a través del sistema de carga para regular los niveles de corriente y niveles de voltaje de la batería.

Este funciona mediante el uso de una señal de control que varía el ancho de pulso de la corriente, aumentando o disminuyendo la misma y regulando para que se mantenga a un nivel adecuado y no dañe los aparatos que componen el sistema de alimentación y carga de la batería.

Además, toma como base un voltaje de referencia que se adecuara a las necesidades de consumo de las baterías de los vehículos de estudio propuestos en la Tabla 3.

## 3.4 Transformador bidireccional DC/DC

El transformador DC/DC es un dispositivo cuya función es la de cargar las baterías del vehículo a través del sistema fotovoltaico propuesto para posteriormente, suministrar esta energía al motor del automóvil.

La estructura del transformador se describe en la siguiente figura:

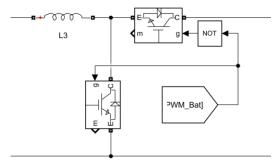


Figura 10. Transformador bidireccional DC/DC

El transformador cuenta con dos MOSFET los cuales se encargan de nivelar los perfiles de energía según la batería lo requiera, elevando o disminuyendo la corriente del sistema solar para adecuarla a las necesidades individuales que requieren las baterías propuestas en los casos de estudio mencionados en la Tabla 3.

#### 3.5 Transformador Buck-Boost

Este transformador se usa para convertir la tensión de entrada de un panel solar en una tensión de salida menor o mayor a la entrante con la finalidad de suministrar el mejor perfil de voltaje al sistema de carga de la batería.

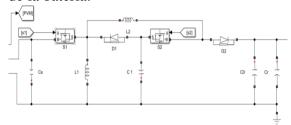


Figura 11. Transformador Buck-Boost

Esto lo logra gracias a la aplicación del Algoritmo MPPT"P&O" el cual se encargará de dar el mejor perfil de voltaje según lo que el sistema de carga fotovoltaico de la batería requiera.

#### 3.6 Bateria

Las Baterias usadas en este apartado son las popuestas para los tres casos mencionados en la Tabla 2, esto se hace con el fin de presentar casos diferentes en donde, la aplicación del algoritmo MPPT "P&O", evidencia una mejora en la carga de estas baterías por parte del sistema de carga fotovoltaico.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los valores que se va a manejar para estas baterías:

Tabla 3. Datos de Ficha técnica de Batería

Caso	Modelo	Batería
1	Renault Twizy	6. 1kWh/ 58V
2	Kia Soul EV	60 kWh/ 360V
3	Chevrolet Bolt	60kWh/ 384V

#### 4 Análisis de resultados

El método propuesto para determinación del MPP de paneles solares mediante algoritmo MPPT "P&O" se ha realizado bajo 3 diferentes escenarios, mencionados en la Tabla 3, mismos casos que van a estar conectados a la electrolinera para que esta entre en funcionamiento.

#### 4.1 Casos de Estudio

En la Tabla 3 están detallados los datos de batería de tres diferentes vehículos

eléctricos, los cuales fueron tomados de la ficha técnica de cada uno, en este caso Renault Twizy, Kia Soul EV y Chevrolet Bolt, los cuales van a estar conectados a una electrolinera fotovoltaica que entrara en funcionamiento al momento de conexión con cada vehículo, y se sacaran los datos en pleno funcionamiento de la electrolinera en estado de carga del vehículo.

### 4.1.1 Caso sin aplicación MPPT

Para obtener una base de comparación, no se implementó el algoritmo MPPT "P&O", con lo cual se establecen valores iniciales, mismos que se contrastarán posteriormente con la aplicación del algoritmo.

En este apartado, debido a que el factor de forma depende del voltaje Vmpp y la corriente Impp, tiene un valor bajo y se constata con la figura 12, donde se puede apreciar que, debido a la baja corriente, la curva característica presenta su línea acorde a los valores de corriente Impp y el punto MPP es bajo:

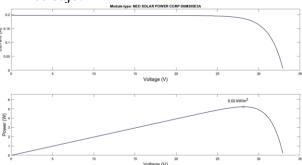


Figura 12. Curvas características V-I, P-I sin aplicar MPPT P&O

Además, aplicando las ecuaciones (1) y (2) se obtiene que:

1) Se obtiene el valor del factor de forma tomando los valores de corriente:

$$FF = \frac{Impp \cdot Vmpp}{Isc \cdot Voc}$$

$$FF = \frac{0.19A \cdot 27V}{0.18A \cdot 45.5V}$$

$$FF = 0.6263 * 100\%$$

$$FF = 62.63\%$$

2) Se obtiene el valor del factor de forma tomando los valores de potencia:

$$FF = \frac{Pmpp}{Isc \cdot Voc}$$

$$FF = \frac{5.13W}{0.18A \cdot 45.5V}$$

$$FF = 0.6263 * 100\%$$

$$FF = 62.63\%$$

## 4.1.2 Caso Renault Twizy

En la figura 13 se evidencia la baja producción de energía del panel solar debido a que no se está implementando el Algoritmo MPPT P&O para su optimización. En consecuencia, el transformador BUCK-BOOST en el panel solar y el módulo de carga solar DC-DC de la batería no buscan elevar los niveles de voltaje y este se queda en niveles de 2V-6V

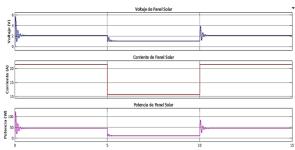


Figura 13. Voltaje, Corriente y Potencia en panel solar para Caso1.

Evidenciando lo antes expuesto, en la Figura 14, donde se observa que el porcentaje de carga es constante en la batería, el valor de voltaje se mantiene estable a 380V debido a que no existe perturbación y el valor de la corriente es 0A ya que no existe ningún consumo mientras esta se carga.

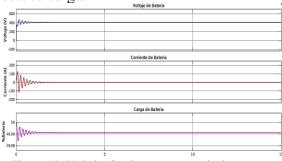


Figura 14. Voltaje, Corriente y porcentaje de carga en batería para Caso 1.

#### 4.1.3 Caso Kia Soul EV

Como en el caso anterior, no se implementó el algoritmo MPPT, por tanto, los valores van a ser similares al caso 1 como se observa en la figura 15:

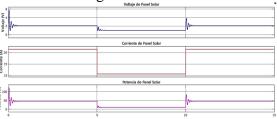


Figura 15. Voltaje, Corriente y Potencia en panel solar para Caso2.

Por otra parte, al ser la batería en el caso 2 de 64kWh/ 360V, su perfil de carga es diferente al del caso 1, pero obteniéndose los mismos resultados en cuanto a la corriente, y el voltaje se mantiene en 360 V como se evidencia en la figura 16:

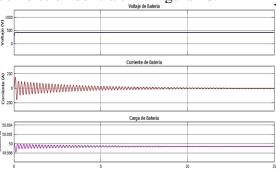


Figura 16. Voltaje, Corriente y porcentaje de carga en batería para Caso 2.

#### 4.1.4 Caso Chevrolet Bolt

Como en el caso anterior, no se implementó el algoritmo MPPT, por tanto, los valores van a ser similares al caso 1 como se observa en la figura 17:

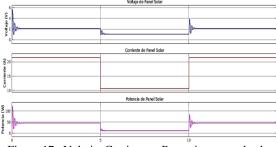


Figura 17. Voltaje, Corriente y Potencia en panel solar para Caso3.

En cambio, al ser la batería en el caso 3 de 60kWh/ 384V, su perfil de carga es diferente al del caso 1, pero obteniéndose los mismos resultados en cuanto a la corriente, y el voltaje se mantiene en 384 V como se evidencia en la figura 18:

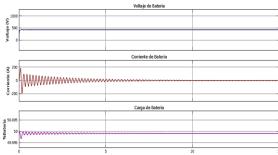


Figura 18. Voltaje, Corriente y porcentaje de carga en batería para Caso 3.

## 4.2 Incorporación de Algoritmo MPPT "P&O"

Aquí se aplica el Algoritmo MPPT para el sistema de carga fotovoltaico, por tanto, los perfiles de generación en el módulo de carga fotovoltaico, y en la batería cambian drásticamente debido a que se comienza a maximizar la potencia del sistema de carga fotovoltaico y se adapta a las necesidades en cada caso.

Además, el factor de forma incrementa debido a que los valores de voltaje Vmpp y la corriente Impp, tiene un valor más alto y se constata con la figura 19:

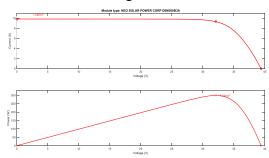


Figura 19. Curvas V-I, P-I aplicando MPPT P&O

Aplicando nuevamente las ecuaciones (1) y (2) se obtiene que:

1) Se obtiene el valor del factor de forma tomando los valores de corriente:

$$FF = \frac{Impp \cdot Vmpp}{Isc \cdot Voc}$$

$$FF = \frac{9.28A \cdot 32.35V}{9.65A \cdot 45.5V}$$

$$FF = 0.6837 * 100\%$$

$$FF = 68.37\%$$

2) Se obtiene el valor del factor de forma tomando los valores de potencia:

$$FF = \frac{Pmpp}{Isc \cdot Voc}$$

$$FF = \frac{300.208W}{9.65A \cdot 45.5V}$$

$$FF = 0.6837 * 100\%$$

$$FF = 68.37\%$$

### 4.2.1 Caso Renault Twizy

Como se puede evidenciar en la figura 20, el valor del voltaje aumenta hasta valores de 64V ya que el algoritmo está trabajando para hallar el MPP, censando los valores de entrada al modelo fotovoltaico, y aumentando la cantidad de potencia que esta entrega:

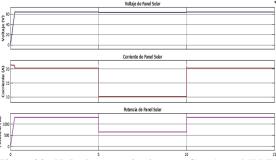


Figura 20. V, I y P en panel solar para Caso1 con MPPT.

Además, como se evidencia en la figura 21, el porcentaje de batería comienza a aumentar debido a que el sistema ya cuenta con la potencia necesaria para que el transformador BUCK-BOOST y Convertidor DC/DC comiencen a funcionar:

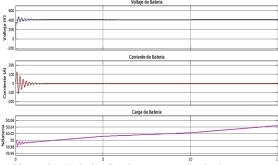


Figura 21. Voltaje, Corriente y porcentaje de carga en batería para Caso 1 con MPPT.

#### 4.2.2 Caso Kia Soul EV

Al igual que en el caso 1, se puede evidenciar en la figura 22, el valor del voltaje aumenta ya que el algoritmo está trabajando para encontrar el MPP, censando los valores de entrada al modelo

fotovoltaico, y aumentando la cantidad de potencia que esta entrega:

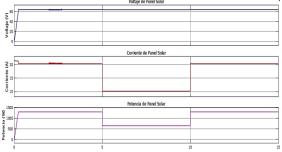


Figura 22.  $\,$  V, I y P en panel solar para Caso2 con MPPT.

También, como se evidencia en la figura 23, el porcentaje de batería comienza a aumentar debido a que el sistema ya cuenta con la potencia necesaria para que el transformador BUCK-BOOST y Convertidor DC/DC comiencen a funcionar y la batería se cargue, en este caso es importante observar que el porcentaje de la batería para el caso 2 no aumenta como en el caso 1, debido a que esta batería es de mayores capacidades:

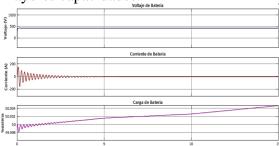


Figura 23. Voltaje, Corriente y porcentaje de carga en batería para Caso 2 con MPPT.

## 4.2.3 Caso Chevrolet Bolt

Al igual que en el caso 1 y 2, se puede evidenciar en la figura 24, el valor del voltaje aumenta ya que el algoritmo está trabajando para encontrar el máximo punto de potencia, censando los valores de entrada al modelo fotovoltaico, y aumentando la cantidad de potencia que esta entrega:

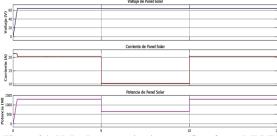


Figura 24. V, I y P en panel solar para Caso3 con MPPT.

Y finalmente, en la figura 25 se presenta un perfil de carga de la batería similar a la figura 21 correspondiente al caso 2:

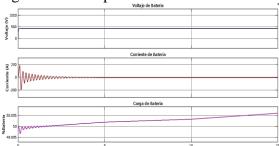


Figura 25. Voltaje, Corriente y porcentaje de carga en batería para Caso 3 con MPPT.

## 4.2.4 Comparación de factores de forma

Finalmente, tomando los datos anteriores se evidencia el crecimiento del factor de forma, estos datos se obtuvieron a partir de conectar la electrolinera al cargador del automóvil y tanto, el sistema de carga del vehículo como el sistema fotovoltaico, se encuentren en pleno funcionamiento, además se muestra el antes y después de la implementación del algoritmo MPPT P&O en la electrolinera, como se observa en la siguiente figura:

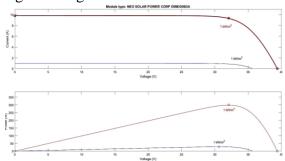


Figura 26. Curva característica V-I, P-I antes y después de aplicar algoritmo MPPT P&O

Donde la línea de color Azul representa los valores de Factor de forma antes de aplicar el MPPT "P&O" y la línea de color rojo los valores de Factor de forma después de aplicar el MPPT "P&O".

## 5 Conclusiones

El algoritmo MPPT Perturbar y Observar encuentra el MPP del sistema de carga fotovoltaico. Dentro del estudio del presente artículo, y para cada caso de estudio, este algoritmo aumenta el perfil de voltaje del sistema de carga de los paneles solares, pasando de tener una tensión de entre 2V-6V a valores de 64V. De esta forma, en el primer escenario, el sistema fotovoltaico no posee el nivel de tensión óptimo, suficiente para alimentar y almacenar la carga en las baterías de los vehículos eléctricos propuestos: diferencia del segundo caso de estudio, donde el panel solar si cuenta con el nivel de tensión necesario para alimentar el sistema de carga de las baterías.

El factor de forma aumenta notablemente después de la aplicación del algoritmo MPPT, elevando los niveles del factor de forma en 5.74% para el panel solar propuesto, esto se debe a la modificación continua de los valores de corriente y voltaje del Convertidor Buck-Boost el cual se encuentra conectado a la salida del sistema fotovoltaico, y en la entrada del sistema de carga de baterías, de esta manera el algoritmo MPPT analiza los valores de tensión y corriente de los cuales depende el factor de forma, por lo cual se puede concluir que aplicando el algoritmo MPPT P&O en un módulo de carga fotovoltaico, se logra incrementar la producción de energía y los perfiles de voltaje y corriente entregados por el panel solar.

El MPP que puede entregar el panel solar, depende de la aplicación del algoritmo MPPT Perturbar y Observar. De esta manera, dentro del estudio del presente artículo, se eleva la potencia desde 54W (caso base) hasta 300W (caso aplicando MPPT), mediante un trasformador Buck-Boost, por lo cual se puede concluir que el algoritmo utilizado, eleva los valores de Potencia por parte del panel solar para la

carga de baterías de automóviles eléctricos y adapta mediante un transformador DC/DC los valores de tensión y corriente adecuados a las necesidades individuales de cada batería propuesta en los casos de estudio.

## 5.1 Trabajos futuros

En respuesta a las nuevas tecnologías y su alto grado de eficiencia y haciendo referencia a lo analizado en este artículo, como trabajo futuro se puede sugerir la integración de un cargador con alguna otra fuente renovable no convencional y un respaldo con baterías (BESS) para compensar la falta de producción de energía solar por la noche, logrando asi una producción continua y estable a lo largo de las 24 horas del día.

## 6 Referencias

- [1] M. Badii, A. Guillen, and O. Lugo Serrato, "Historia y Uso de Energías Renovables History and Use of Renewable Energies," *Int. J. Good Conscienc.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–18, 2015.
- [2] OSCAR PERPIÑÁN
  LAMIGUEIRO, "Energía Solar
  Fotovoltaica," *Creat. Commons*, vol.
  1, no. Mayo, p. 192, 2013, [Online].
  Available:
  http://procomun.wordpress.com/doc
  umentos/libroesf
- [3] E. S. M, Edgar Serna M. (Ed.) Avances en Ingeniería, no. February. Medellin, 2019.
- L. . Ruiz, J. J. Beristáin, I. . Sosa, [4] and J. L. Hernandez, "Estudio del Algoritmo de Seguimiento de Punto de Máxima Potencia Perturbar y Observar Study of the maximum power point tracking algorithm perturb and observe," Rev. Ing. eléctrica, electrónica y Comput., vol. 8, no. 1, p. 7, 2010, [Online]. Available: https://www.itson.mx/publicaciones/ rieeyc/Documents/v8/art3vf estudio \_del\_algoritmo\_de\_seguimiento\_de \_punto\_de\_maxima\_potencia\_pertur bar\_y\_observar.pdf
- [5] J. Cepeda and A. Sierra, "Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones," *NAFA SCR Doc.*, vol. 07/80, p. 17, 2007.
- [6] R. G. Frias and M. E. Asensio, "Comparación de algoritmos MPPT de perturbación y observación de paso ajustable y de paso fijo aplicado a un aerogenerador aislado de la red," *Univ. Nac. San Luis*, no. September, p. 7, 2017.
- [7] A. Paternina, O. Villalba, L. Carlos,
   I. Nuñez, J. Luis, and R. Antonio,
   "Diseño de prototipo de sistema solar fotovoltaico optimizando el

- ángulo de inclinación de los paneles solares," *Prospectiva*, vol. 1, pp. 97–107, 2012.
- [8] J. C.; Herman. F. G. Salavarrieta;, "Monitoreo y control de centrales de Generacion Electrica a traves de Control Centralizado," COLINNOVACION, vol. 1, pp. 18– 24, 2019.
- [9] V. Calderón, "Análisis de Ciclo de Vida de Sistemas Solares Fotovoltaicos Policristalinos Centralizados en Instalaciones de Generación Distribuida para Autoconsumo.," *Tecnológico Costa Rica*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [10] C. Sánchez Pacheco, Sistemas de energía solar fotovoltaica aplicados a viviendas residenciales en entorno urbano. 2010. [Online]. Available: http://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/503/0115\_Sanchez.pdf?sequence=1
- [11] C. Espejo Marín, "La energía solar fotovoltaica en España," *Nimbus Rev. Climatol. Meteorol. y paisaje*, no. 13, pp. 5–32, 2004.
- [12] M. Gómez Gómez, O. Autores, M. Dolores, and M. Almagro, "Posibilidades de tratamiento de residuos de pilas y baterías," *CONAMA10*, pp. 1–30, 2012.
- [13] Á. A. Muñoz Álzate and 1018449343, "Comparación de dos tipos de baterías recargables como elemento de almacenamiento de energía," *Pontif. Univ. Javeriana*, vol. 1, 2017, Accessed: Jul. 01, 2022. [Online]. Available: https://repository.javeriana.edu.co/h andle/10554/38677#.Yr6mV17MG A4.mendeley
- [14] E. Abigail and G. Cruces,
  "COMPORTAMIENTO
  ENERGÉTICO DE LOS
  PARÁMETROS PRESENTES EN
  BATERÍAS DE NÍQUEL-

- CADMIO UTILIZANDO INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL," *Temacilli Editor.*, pp. 61–67, 2020.
- [15] F. A. P. Jabib, "Baterías, estado del arte y vigilancia tecnológica 2013.," *Univ. Pontif. Boliv.*, vol. 1, pp. 1–34, 2013.
- [16] Vanessa Quintero, Osvaldo Che, Eleicer Ching, Orlando Auciello, and Elida de Obaldía, "Baterias De Litio: Caracteristicas Y Aplicaciones," *Rev. I+D Tecnológico*, vol. 17, no. 1, pp. 1–9, 2021.
- [17] P. Girbal and J. I. Amalvy, "DESARROLLO Y
  EVALUACIÓN DE
  ELECTROLITOS POLIMÉRICOS
  CON APLICACIONES EN
  BATERÍAS DE LITIO Paola,"
  INIFTA Investig. Joven Vol., vol. 3,
  no. 1, pp. 2015–2016, 2016.
- [18] Renault, "Renault Twizy," p. 11,18, 2012, [Online]. Available: https://www.renault.de/elektrofahrze uge/twizy.html
- [19] M. F. Cabrera, M. V. Pucha, D. E. Esparza, and J. V. Alvarado, "Estudio comparativo del rendimiento de la batería de alta tensión en los vehículos eléctricos marca Kia Soul y Byd pertenecientes a la cooperativa de taxis 'ecotaxi' de la ciudad de Loja," *Dominio las ciencias*, vol. 7, no. 5, pp. 761–762, 2021, [Online]. Available: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8383849
- [20] R. Scholtes Ruiz, "Impacto del vehículo eléctrico en la industria española disrupción económica en ciernes," *Econ. Ind.*, no. 411, pp. 113–122, 2019.
- [21] G. Carballo, "La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica Por

- Gustavo Arencibia-Carballo," *Redvet*, vol. 17, no. 6, p. 2, 2016, [Online]. Available: https://www.redalyc.org/pdf/636/63 647456002.pdf
- [22] N. Flores and M. Domínguez, "'
  Medición de la eficiencia energética
  de los paneles solares de silicio .,'"

  Cent. Investig. en Mater. Av. S.C.
  Posgrados, p. 84, 2017, [Online].
  Available:
  https://cimav.repositorioinstitucional
  .mx/jspui/bitstream/1004/215/1/Tesi
  s MER Norma Rosario Flores
  Rivera y Mioguel Ángel Dominguez
  Ramírez.pdf
- [23] D. E. Ojeda, "Historia, Desarrollo y Actualidad de las Celdas Solares," *Conciencia*, vol. 2, no. 1, pp. 17–21, 2018, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile /Esteban-Ojeda-Duran/publication/349642922\_Historia\_Desarrollo\_y\_Actualidad\_de\_las\_Celdas\_Solares/links/6039ca12a6f dcc37a855a1b3/Historia-Desarrollo-y-Actualidad-de-las-Celdas-Solares.pdf
- [24] J. Balenzategui, "Tecnología de células solares de silicio cristalino," p. 50, 2008, [Online]. Available: http://api.eoi.es/api\_v1\_dev.php/fed ora/asset/eoi:45345/componente453 43.pdf
- [25] Y. Matsumoto, "Caos Conciencia 5: 32-44 CELDAS SOLARES DE SILICIO: FUNDAMENTO Y TENDENCIA," *Div. Ciencias e Ing. Univ. Quintana Roo*, vol. 5, p. 44, 2011.
- [26] G. Integridad and P. Clave,
  "ENERGÍA RENOVABLE:
  CELDAS SOLARES DE
  PEROVSKITA Gina Yasmin Soracá
  Pérez, Jairo Alberto Gómez y
  Enrique Vera López," vol. 5, no. 2,
  p. 42, 2018.
- [27] O. Barbosa García et al., "Celdas

solares orgánicas como fuente de energia sustentable. (Spanish)," *Org. Sol. cells as a Renew. energy source.*, vol. 22, pp. 36–48, 201AD, [Online]. Available: http://search.ebscohost.com/login.as px?direct=true&db=fua&AN=83521 139&lang=es&site=ehost-live

[28] N. Echeverría, M. Judewicz, G. Murcia, J. Strack, and S. González, "Algoritmo MPPT de Conductancia Incremental con Doble Cota," *Aadeca*, no. September, p. 9, 2014, doi: 10.13140/2.1.2604.6720.

## 6.1 Matriz de Estado del Arte

Tabla 4: Matriz de estado del arte.

## DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE MÁXIMA POTENCIA DE PANELES SOLARES MEDIANTE ALGORITMO MPPT PERTURBAR Y OBSERVAR PARA MAXIMIZAR EL FACTOR DE FORMA EN ELECTROLINERA FOTOVOLTAICA APLICADA AL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.

	APLICADA AL ABASTECIMIENTO ENERGETICO D											E VEHICULUS ELECTRICUS.																	
		DATOS				TEMÁ	TICA				PRO	BLEM	JETIVO	RESTR DEL P							PUESTAS VER EL PF						SOLUC PROPUI		
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Sistemas de energía solar	Baterías	Paneles solares Fotovoltaicos	Celdas Solares	Factor de Forma de paneles solares	Algoritmos MPPT	Simulación SIMULINK/MATLAB	Diseño de Transformador Buck -Boost	Diseño de Convertidor DC/DC	Conexión de modulo fotovoltaico y carga con MPPT P&O	Análisis de Armónicos	Aplicación de filtro de señal	Topología del sistema fotovoltaico	Factor de Forma	Algoritmo MPPT P&O	Simulación de Transformador Buck-Boost	Simulación de Convertidor DC/DC	Simulación de modulo fotovoltaico y carga con MPPT P&O	Método de Tensión Fija	Método de Tensión Variable	Método de Perturbación y Observación	Método de Conductancia Incremental	Implementación de algoritmo MPPT P&O	Cálculo de factor de forma	Curva característica V-I / P-I	Análisis comparativo de perfil de Corriente/Tensión
1	2015	Historia y Uso de Energías Renovables	1	*												¥													
2	2013	Energía Solar Fotovoltaica	5	¥	¥	¥	*									*													*
3	2019	Avances en Ingeniería	4			¥		¥						4			¥										¥	*	
4	2010	Study of the maximum power point tracking algorithm perturb and observe	8						*	4	*	*	*		*			¥	¥	¥	¥			¥	¥				¥
5	2007	Aspectos que afectan a la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus posibles soluciones	1		¥																								
6	2017	Comparación de algoritmos MPPT de perturbación y observación de paso ajustable y de paso fijo aplicado a un aerogenerador aislado de la red	8			*	*	*					*	¥			*								¥		*	*	
7	2012	Diseño de prototipo de sistema solar fotovoltaico optimizando el angulo de inclinación de los paneles solares	2	*												*												*	

D	DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE MÁXIMA POTENCIA DE PANELES SOLARES MEDIANTE ALGORITMO MPPT PERTURBAR Y OBSERVAR PARA MAXIMIZAR EL FACTOR DE FORMA EN ELECTROLINERA FOTOVOLTAICA APLICADA AL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.																								
8	2013	Monitoreo y control de centrales de generación eléctrica a través de control centralizado	2	¥	₩.	IROLI ₩	₩.													UEH				æ	
9	2013	Análisis del ciclo de vida de Sistemas Solares Fotovoltaicos Policristalinos Centralizados en Instalaciones de Generación Distribuida para Autoconsumo	3						¥	æ	¥	*	¥			*	<b>A</b>	¥	*	¥	*	4	*		*
10	2010	Sistemas de energía solar fotovoltaica aplicados a viviendas residenciales en entorno urbano	2	æ		*	4																		
11	2004	La energía solar fotovoltaica en España	1	¥			*																		
12	2012	Posibilidades de tratamiento de residuos de pilas y baterías	4		¥																				
13	2022	Comparación de dos tipos de baterías recargables como elemento de almacenamiento de energía	1		¥																				
14	2020	COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS PARÁMETROS PRESENTES EN BATERÍAS DE NÍQUEL-CADMIO UTILIZANDO INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL	2		*																				
15	2013	Baterías, estado del arte y vigilancia tecnológica 2013	1		*																				
16	2021	Baterías De Litio: Características Y Aplicaciones	2		¥																				
17	2016	DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE ELECTROLITOS POLIMÉRICOS CON APLICACIONES EN BATERÍAS DE LITIO	1		¥																				
18	2012	Renault Twizy	1		¥																				
19	2021	Estudio comparativo del rendimiento de la batería de alta tensión en los vehículos eléctricos marca Kia Soul y Byd pertenecientes a la cooperativa de taxis 'ecotaxi' de la ciudad de Loja	1		¥																				
20	2019	Impacto del vehículo eléctrico en la industria española disrupción económica en ciernes	1		¥																				

D	ETER	RMINACIÓN DEL PUNTO FACTOR DE FORN																										MIZAR	EL
21	2017	La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica	2	¥		¥	¥																						
22	2017	Medición de la eficiencia energética de los paneles solares de silicio	3			¥																							
23	2018	Historia, Desarrollo y Actualidad de las Celdas Solares	5			¥	¥	*		¥	*	¥	¥				¥									*			*
24	2008	Tecnología de células solares de silicio cristalino	2			¥	*	*							*		*									¥			
25	2011	Caos Conciencia 5:CELDAS SOLARES DE SILICIO: FUNDAMENTO Y TENDENCIA	3	¥	*	*	*									¥													*
26	2018	ENERGÍA RENOVABLE : CELDAS SOLARES DE PEROVSKITA	2			¥	*																						
27	2011	Celdas solares orgánicas como fuente de energía sustentable	2			æ	¥									¥													
28	2014	Algoritmo MPPT de Conductancia Incremental con Doble Cota	3						¥	¥	*	Æ	¥						¥	¥	¥			¥	¥	¥			
		CANTIDAD:		8	13	12	11	4	3	4	4	5	5	1	4	5	4	2	3	3	3	1	1	2	1	6	2	4	5

## 6.2 Resumen de Indicadores

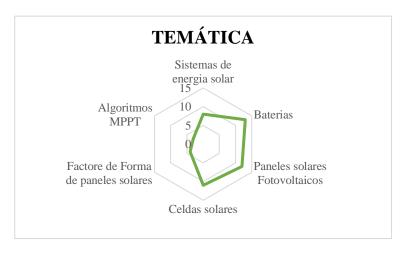


Figura 27. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.

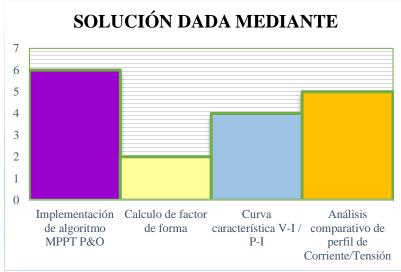


Figura 28. Indicador de solución - Estado del arte

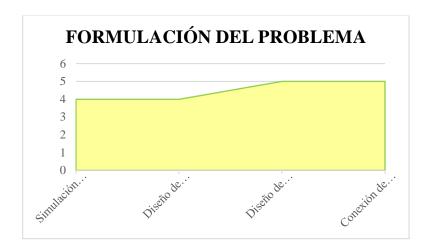


Figura 29. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.

#### 7 **Anexos**

## 7.1 Anexo 1: Datos de placa de panel solar NEO SOLAR POWER NSP D6M300E3A



#### **Electrical Data**

MODEL	D6M285E3A	D6M290E3A	D6M295E3A	D6M300E3A	D6M305E3A
Maximum Rating Power (Pmax)	285 W	290 W	295 W	300 W	305 W
Module Efficiency	17.5%	17.8%	18.1%	18.4%	18.7%
Open Circuit Voltage (Voc)	39.16 V	39.31 V	39.45 V	39.54 V	39.65 V
Maximum Power Voltage (Vmpp)	31.81 V	32.02 V	32.25 V	32.35 V	32.44 V
Short Circuit Current (Isc)	9.49 A	9.59 A	9.68 A	9.77 A	9.86 A
Maximum Power Current (Impp)	8.96 A	9.06 A	9.15 A	9.28 A	9.43 A

Standard Test Conditions (STC): Cell Temperature 25°C, Irradiance 1000 W/m², AM 1.5G
 Values without tolerance are typical numbers
 Specifications are subjuect to change without notice

#### **Mechanical Data**

Item	Specification
Dimension	1640 mm (L) <sup>1</sup> x 992 mm (W) <sup>1</sup> x 35 mm (D) <sup>2</sup> / 64.5" (L) <sup>1</sup> x 39.1" (W) <sup>1</sup> x 1.38" (D) <sup>2</sup>
Weight	18 kg / 39.7 lbs
Solar Cell	60 monocrystalline 6" silicon cells
Front Glass	Anti-reflective tempered solar glass, 3.2mm thickness
Cell Encapsulation	EVA (Ethylene-Vinyl-Acetate)
Back Cover	Composite film, black
Junction Box	IP 67 rated
Frame	Anodized aluminum frame, black
Packaging Configuration	30 pcs Per Pallet, 840 pcs per 40' HQ container
1 : With assembly tolerance of ± 2 mr	n [± 0.08"]

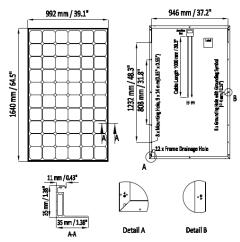
<sup>1 :</sup> With assembly tolerance of ± 2 mm [± 0.08"]
2 : With assembly tolerance of ± 0.8 mm [± 0.03"]

## **Operating Conditions**

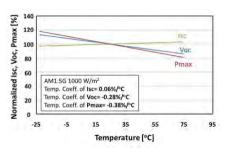
	·
Mechanical Load	5400 Pa (Certified by TUV Rheinland)
Maximum System Voltage	DC 1000 V
Series Fuse Rating	15 A
Operating Temperature	-40 to 85 °C
Temperature Characteristics	
•	
Item	Specification
	Specification 46°C±2°C
Item	
Item  Nominal Operating Cell Temperature	46°C±2°C
Item  Nominal Operating Cell Temperature  Temperature Coefficient of Isc	46°C±2°C 0.06% / °C
Item  Nominal Operating Cell Temperature  Temperature Coefficient of Isc	46°C±2°C 0.06% / °C

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT): Irradiance 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s
 Please refer to NSP's Standard Module Installation Manual before using the product
 Reduction in efficiency from 1000 W/m² to 200 W/m² at 25°C: 3.5% ± 2%

#### Front View & Back View



#### **Dependence on Temperature**



#### **Dependence on Irradiance**

