

Revisión de microinversores Enphase – referencias M250 e IQ7+

Andrés Mauricio Cristancho Juliao, Paula Marcela Sarmiento Campo

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniero Electricista

Director

German Alfonso Osma Pinto

Doctor en Ingeniería Eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Bucaramanga

2020

Agradecimientos

Agradecer a mi Dios; a mis padres, en especial a mí mamá que ha sido mi anclaje, mi apoyo emocional, mi polo a tierra, la que me apoyó en mis caídas y mis triunfos, la que me permitió seguir luchando y la que me levanto el ánimo cuando mi corazón estuvo devastado.

Agradezco a mí papá que es un ejemplo de empeño, dedicación y lucha para mi vida y para mi carrera; a mi hermano por sus métodos de aprendizaje, sus consejos académicos y su apoyo económico cuando más lo necesitaba.

Agradezco a mis amigos en especial a Edner Carvajal, que estuvo conmigo cuando nadie más me escuchó, con el que tuve mi primera borrachera, mi confidente y mejor amigo; a Angie Arevalo, a Karen Arango, a Lorena Arias, Maite Perez, por ser parte de mi vida y permitirme aprender de ellas.

A la familia Beltrán Pastrana en cabeza de Rocio Pastrana por ser incondicionales y acogerme como una hija en mis últimos años de mi carrera.

A Richard Beltrán, que, con su paciencia infinita y su amor, me ha enseñado mucho de la vida, me ha permitido soñar en pareja, ha sido el generador de muchas alegrías, ha estado a mi lado en los momentos más duros, nunca me ha juzgado y es el primero en apoyar mis proyectos.

A todos infinitas gracias.

Paula Marcela Sarmiento Campo

Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Generalidades sobre inversores on-grid usados en generación fotovoltaica	18
1.1. Tipos de inversores comunes en sistemas fv	18
1.1.1. Inversores centralizados	19
1.1.2. Inversores string	20
1.1.3. Microinversores	20
1.1.4. Optimizadores de potencia	21
1.2. Comparacion de tipos de inversores	21
1.3. Oferta de microinversores en Colombia	24
1.3.1. Acerca de las empresas	25
2. Microinversor Enphase – patente	25
2.1. Circuito de conversión de potencia	26
2.1.1. Circuito de entrada	26
2.1.2. Etapas de potencia	27
2.1.3. Circuito de salida	27
2.1.4. Circuito de filtro de salida	27
2.1.5. Muestreador de voltaje AC	28
2.2. Controlador	28
2.2.1. Dpll	29
2.2.2. Generador de señales de control	30
2.2.3. Método de funcionamiento	31
3. Descripción de los microinversores M250 e IQ7+	33

3.1. Principio básico de un inversor	33
3.2. Introducción a los microinversores M250 e IQ7+.....	34
3.2.1. Microinversor M250	34
3.2.2. Microinversor IQ7+	34
3.3. Identificación de características técnicas.....	36
3.3.1. Cable	36
3.3.2. Comunicación	37
3.3.3. Parámetros de la red eléctrica	39
3.3.4. Capacidad por circuito	40
3.3.5. Conexión microinversor-Envoy	41
3.3.6. Terminales.....	42
4. Sistema de configuración y monitoreo	43
4.1. Enlighten Manager	43
4.1.1. Descripción general de la plataforma.....	43
4.1.2. Crear un nuevo sistema	44
4.1.3. Funciones de monitoreo	46
4.1.4. Cambio de perfil de red.....	49
4.1.5. Identificación de fallas	49
4.2. MyEnlighten	52
Conclusiones.....	54
Referencias.....	56
Apéndices.....	60

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Capacidad instalada acumulada de energía solar FV. Tomada de (Jäger-Waldau, 2020).....	12
Figura 2. Generaciones de los microinversores Enphase.....	14
Figura 3. Estructura del documento.....	16
Figura 4. Configuración de inversores. a) Centralizado. b) String. c) Microinversor. d) Optimizadores de potencia. Fuente: Autores.....	18
Figura 5. ROI y periodo de recuperación de la inversión para los tres sistemas. Tomada de (Tariq, Butt, & Khan, 2018).....	22
Figura 6. Identificación de etapas del microinversor.....	26
Figura 7. Diagrama de bloques del controlador. Tomada de (Estados Unidos Patente n° US8717780B2 , 2014).	29
Figura 8. Diagrama de bloques de un DPLL. Tomada de (Estados Unidos Patente n° US8717780B2 , 2014)	30
Figura 9. Diagrama de bloques del generador de señales de control. Tomada de (Estados Unidos Patente n° US8717780B2 , 2014).....	31
Figura 10. Ejemplo del método de funcionamiento. Tomada de (Estados Unidos Patente n° US8717780B2 , 2014)	32
Figura 11. Topología del inversor. Tomado de (Estados Unidos Patente n° US8717780B2 , 2014)	33
Figura 12. Microinversor M250. Tomado de (Enphase Energy, 2016).....	34
Figura 13. Microinversor IQ7+. Tomado de (Enphase Energy, 2018).....	35

Figura 14. Conexión del Envoy IQ en un sistema monofásico trifilar.	41
Figura 15. Conexión del Envoy IQ en un sistema trifásico.	42
Figura 16. Conexión del Envoy para sistema monofásico y trifásico.....	42
Figura 17. Terminal MC4.	42
Figura 18. Etapas de comprobación de activación de un nuevo sistema FV.	44
Figura 19. Proceso para añadir un nuevo sistema en Enlighten Manager.	45
Figura 20. Visualización del sistema FV por panel. a). Microinversores M250.	
b). Microinversores IQ7+.....	46
Figura 21. Gráficas de generación de energía.....	47
Figura 22. Control del time-lapse para identificación de patrones de sombras.	48
Figura 23. Gráficas del microinversor.	48
Figura 24. Pasos para cambiar perfil de red.....	49
Figura 25. Detección de un panel FV defectuoso. Tomada de (Enphase	
Latinamérica, 2017)	50
Figura 26. Identificación de microinversor defectuoso. Tomado de (Enphase	
Latinamérica, 2017).	51
Figura 27. Interfaz de MyEnlighten.....	52
Figura 28. Resumen de producción de energía.	53

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Costos y garantía de tipo de inversores	21
Tabla 2 Comparación de tipos de inversores	23
Tabla 3 Oferta de microinversores en Colombia	24
Tabla 4 Modos de operación de retorno	29
Tabla 5 Color de conductores	36
Tabla 6 Color de conductores	37
Tabla 7 Características de técnicas de Envoy y Envoy IQ	38
Tabla 8 Estados de LED indicador	39
Tabla 9 Requisitos de la red eléctrica-M250	40
Tabla 10 Requisitos de la red eléctrica-IQ7+	40
Tabla 11 Capacidad de circuito derivado.....	41
Tabla 12 Comparación de fichas técnicas.....	60

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice A. Comparación de fichas técnicas.....	60
Apéndice B. Conexión de los microinversores M250 e IQ7+	61
Apéndice C. Conexión del Envoy IQ y Envoy IQ comercial	63

Abreviaturas y acrónimos

FV	Fotovoltaico
MPPT	Seguidor de punto de máxima potencia (Maximum Power Point Tracker)
ROI	Retorno de la inversión (Return On Investment)
ADC	Convertidor análogo-digital (Analog-to-Digital Converter)
DPLL	Bucle de bloque de fase digital (Digital Phase Lock Loop)
NCO	Oscilador controlado numéricamente (Numerically Controlled Oscillator)
PWM	Modulación de ancho de pulsos (Pulse Width Modulation)
GEC	Conductores de electrodos de puesta a tierra (grounding electrode conductors)
EGC	Conductores de puesta a tierra de equipos (equipment grounding conductor)

Resumen

Título: Revisión de microinversores Enphase – Referencias M250 e IQ7+ *

Autor: Paula Marcela Sarmiento Campo, Andrés Mauricio Cristancho Juliao **

Palabras Clave: Inversor, Microinversor, Enphase, Enlighten, Sistema FV.

Descripción:

Este trabajo de grado consistió en la revisión de dos modelos de microinversores de la marca ENPHASE utilizados en los dos sistemas FV ubicados en la terraza superior del Edificio de Ingeniería Eléctrica. Inicialmente, se realizó una descripción de los tipos de inversores utilizados comúnmente en los sistemas FV, una breve comparación entre ellos y se consultó la oferta comercial de microinversores en Colombia. Seguidamente, se realizó una revisión de la patente de la empresa Enphase que detalla la estructura interna de sus microinversores, explicando cada uno de los circuitos que lo componen y las funciones de su controlador. Posteriormente, se hizo una descripción de las características físicas, técnicas y de operación de los microinversores Enphase M250 e iQ7+, basada en la revisión de documentos técnicos como manuales, artículos, fichas técnicas, sitios web y videos oficiales de Enphase. Por último, se apropió el sistema de monitoreo Enlighten que es una plataforma de supervisión y monitorización de la operación del SFV, a través de un portal de comunicaciones que transmite la información por medio de Internet a tiempo real al usuario y que ofrece herramientas de diagnóstico para personal profesional.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: PhD. Germán Alfonso Osma Pinto.

Abstract

Title: Revisión de microinversores Enphase – Referencias M250 e IQ7+ *

Autor: Paula Marcela Sarmiento Campo, Andrés Mauricio Cristancho Juliao **

Key words: Inverter, Microinverter, Enphase, Enlighten, PV System.

Description:

This Bachelor Thesis consisted in the revision of two models of ENPHASE brand microinverters used in the two PV systems located on the upper terrace of the Electrical Engineering Building. Initially, a description of the types of inverters commonly used in the PV systems was made, a brief comparison between them and the commercial offer of microinverters in Colombia was consulted. Then, a review of the Enphase patent was made, which details the internal structure of its microinverters, explaining each of the circuits that compose it and the functions of its controller. Subsequently, a description was made of the physical, technical and operational characteristics of the Enphase M250 and iQ7+ microinverters, based on the review of technical documents such as manuals, articles, technical sheets, websites and official videos of Enphase. Finally, the Enlighten monitoring system was appropriated, which is a platform for supervising and monitoring the operation of the FPS, through a communications portal that transmits information via the Internet in real time to the user and offers diagnostic tools for professional personnel.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: PhD. Germán Alfonso Osma Pinto.

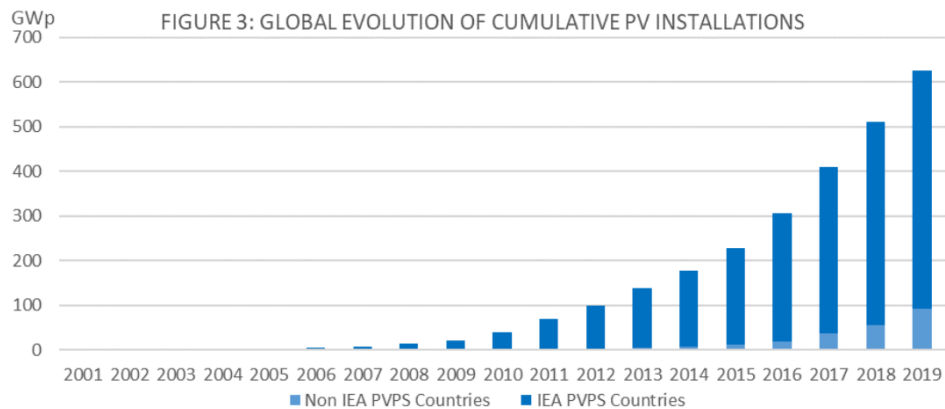
INTRODUCCIÓN

Las fuentes de energía como el carbón, el gas natural, y el petróleo son combustibles fósiles no renovables y contribuyen a la contaminación del medio ambiente. Con el fin de mitigar esta situación, se hace necesario el uso de alternativas renovables como energía solar, eólica, hidráulica o geotérmica. De éstas, la energía solar fotovoltaica (FV) puede ser aprovechada en casi cualquier lugar (Barghi & Teke, 2015).

La generación solar FV ha presentado un crecimiento significativo a nivel global debido a la disminución de los costos de instalación y los incentivos financieros brindados por los gobiernos (Çelik, Teke, & Tan, 2018). A finales del año 2019, su capacidad instalada ascendió a cerca de 627 GWp (Jäger-Waldau, 2020) y se estima un valor de 1000 GWp para finales del 2022 (Schmela, 2018). La Figura 1 muestra el crecimiento anual acumulado de la capacidad instalada a nivel mundial para países pertenecientes al Programa de Sistemas de Energía Fotovoltaica (PVPS) de la Agencia Internacional de la Energía (IEA).

Figura 1.

Capacidad instalada acumulada de energía solar FV. Tomada de (Jäger-Waldau, 2020).



Un sistema FV es un conjunto de elementos que hace posible el uso de la energía solar para generar energía eléctrica, por lo que es una fuente de energía sustentable. Entre los elementos principales para el correcto funcionamiento de un sistema fotovoltaico conectado a la red se encuentran: los paneles fotovoltaicos y el inversor. Los paneles fotovoltaicos hacen posible la conversión de energía solar a energía eléctrica en corriente continua (DC); el inversor transforma la corriente

continúa entregada por el panel FV a corriente alterna (AC) (Cortés, Gómez, Betancur Londoño, Carvajal Quintero, & Guerrero González, 2020). Así mismo, la corriente alterna obtenida del inversor puede ser inyectada tanto a la red de distribución como a la edificación donde se encuentre.

Un inversor puede ser de tipo centralizado, *string*, microinversor o simplificado con *optimizer*. La configuración del inversor centralizado cuenta con un único inversor para toda la instalación fotovoltaica. El arreglo en *string* tiene como característica usar un inversor conectado a un subgrupo de módulos FV en configuración serie-paralelo. El microinversor se conecta por separado a cada panel FV individualizando el proceso de conversión (Cossoli, Firman, Cáceres, & Busso, 2015). Por otro lado, el inversor simplificado con *optimizer* tiene un único inversor DC/AC para todo el arreglo FV simulando la configuración centralizada; de igual manera, cuenta con optimizadores de potencia ubicados individualmente en cada panel FV permitiendo así monitorear y maximizar la generación de energía que llega al inversor (Invistus, 2017).

Si bien es cierto, los inversores centralizados son globalmente la opción de mercado más conocida, no en todos los casos es la opción más recomendable. Casos como sombreado parcial del área de instalación del SFV, instalación en un techo con múltiples planos, o el querer conocer el desempeño individual de cada panel FV son algunas de las razones que podrían disminuir el atractivo de esta configuración en particular. Diferente es el caso con el uso de optimizadores de potencia o los microinversores, que en estos casos serían ideales. (Invistus, 2017)

Los microinversores desarrollados por la empresa Enphase Energy cuentan con un transformador de alta frecuencia galvánicamente aislado lo que permite tener un sistema con mayor confiabilidad y eficiencia ante situaciones ambientales adversas. Igualmente, este tipo de inversor ofrece un sistema flexible permitiendo que un sistema instalado se pueda expandir mediante modificaciones futuras (Enphase Energy, 2020) (Enphase Energy, 2016).

La Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E3T) está comprometida con la apropiación e investigación de sistemas FV. Por tal motivo, se han instalado dos sistemas FV en la terraza superior del Edificio de Ingeniería Eléctrica. El primer sistema FV cuenta con 37 paneles FV (255-270 W) y una capacidad instalada de aproximadamente 10 kWp; cada panel FV

es gestionado por un microinversor M250 de la marca Enphase. El segundo sistema FV está conformado por 6 paneles FV (325 W) para una capacidad instalada de aproximadamente 2 kWp; cada uno de estos paneles FV cuenta con un microinversor IQ7+ de la marca Enphase. La generación de los sistemas FV ha llegado a representar hasta un 24.2 % del consumo de energía del edificio (Colmenares-Quintero, 2020).

Esta empresa, ofrece microinversores de fácil instalación con un diseño compacto que encapsula la tarjeta principal, controlando su temperatura interna y ofreciendo una alta resistencia a temperaturas extremas y altos niveles de humedad proporcionando un grado de protección IP67. Por otro lado, cumplen con la clasificación ambiental NEMA 6, para uso en entornos interiores y exteriores, asegurando protegerse de contacto directo con agua. Además, al no tener partes móviles disminuye el riesgo de posibles fallas. (Enphase Energy, 2020)

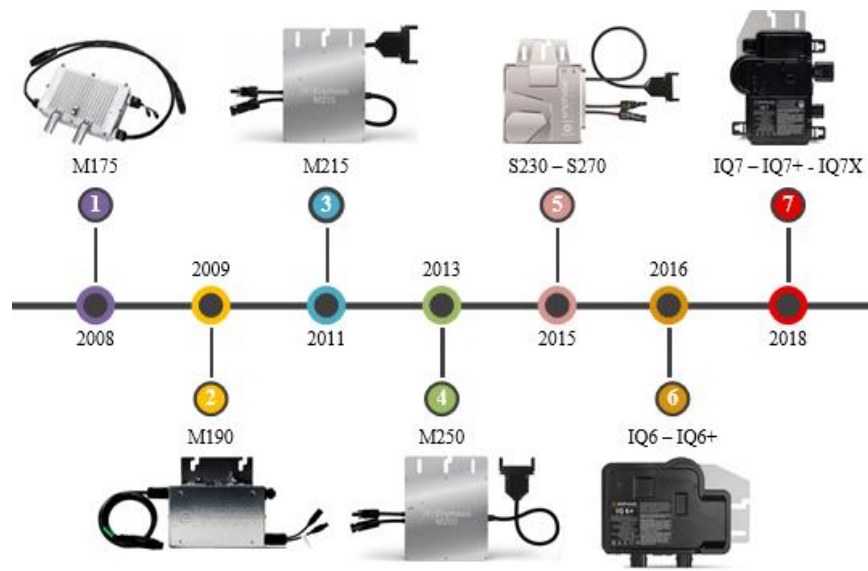
De la misma manera, esta empresa dispone de dos plataformas gratuitas. La primera llamada Enlighten Manager que permite a los instaladores realizar el monitoreo y configuración del sistema FV. Por otro lado, MyEnlighten está destinada para los propietarios y permite únicamente el monitoreo del sistema.

Estos microinversores han contado con una evolución tecnológica en sus microinversores bastante amplia (Figura 2) con la garantía más extensa del mercado, 25 años (Enphase Energy, 2020). Sin embargo, esta garantía solo se ofrece en el lugar donde se instala por primera vez el sistema FV, en caso de que se cambie de ubicación, la garantía ya no tendría validez.

La Figura 2 muestra la evolución tecnológica de microinversores que ha llevado a cabo Enphase desde su inicio. Esta serie de modelos de microinversores (M175, M190, M215, M250, S230-S270, iQ6-iQ6+ e iQ7-iQ7+-iQ7X) son producto de un proceso de innovación y mejora continua atendiendo las necesidades del mercado.

Figura 2

Generaciones de los microinversores Enphase.



Teniendo en cuenta la constante evolución de los microinversores, este trabajo de grado consiste en la revisión de dos referencias de microinversores de la marca Enphase utilizados en los sistemas FV ubicados en la terraza superior del Edificio de Ingeniería Eléctrica; estas referencias son M250 e IQ7+. Inicialmente, se describe la estructura interna de un microinversor Enphase a partir de la patente US8717780B2. Luego, se realiza un análisis comparativo de las características físicas y técnicas de los dos modelos. Finalmente, se expone el sistema de configuración, monitorización y visualización que ofrece esta empresa.

Este trabajo de grado tiene como objetivo general *Describir características técnicas y principios de operación de microinversores M250 e IQ7+ de la marca ENPHASE a partir de la revisión de patentes, fichas técnicas y artículos de investigación.* Con el fin de dar cumplimiento se plantearon los siguientes objetivos específicos.

OE1: Identificar y comparar diversos tipos inversores On-grid usados en sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

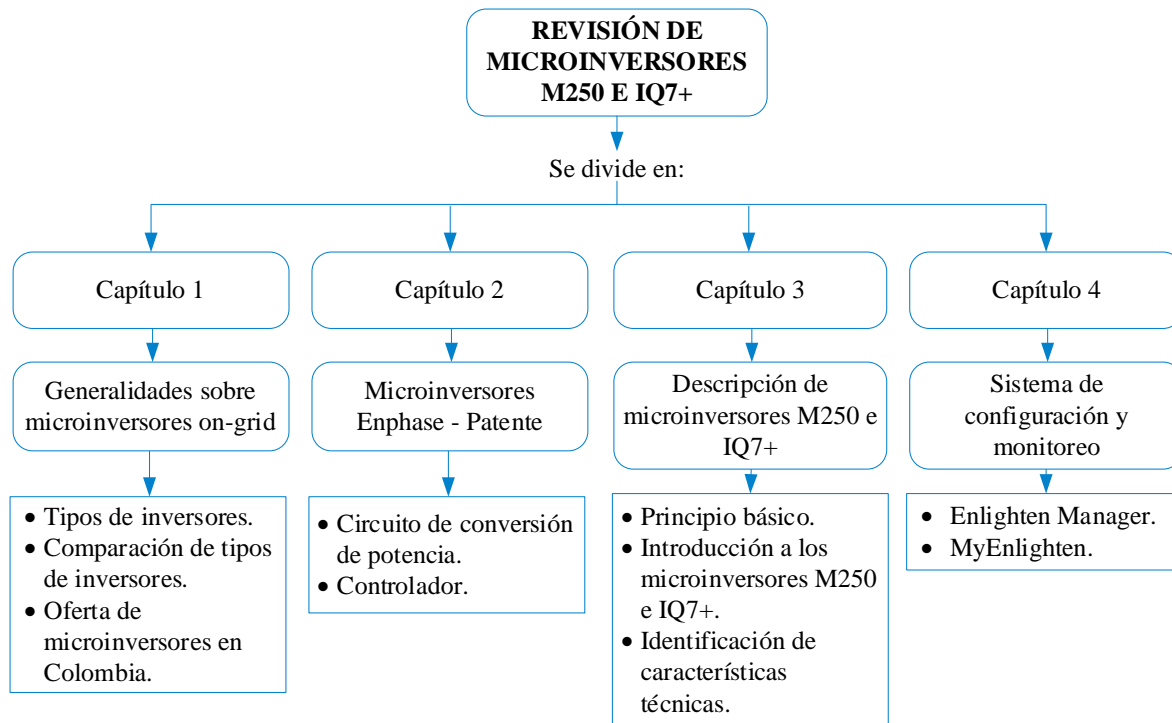
OE2: Describir la estructura interna de los microinversores Enphase M250 e IQ7+.

OE3: Identificar las características técnicas de operación de los microinversores Enphase M250 e IQ7+.

OE4: Establecer las funcionalidades de configuración y visualización de la plataforma Enlighten para los microinversores Enphase M250 e iQ7+.

Figura 3

Estructura del documento.



En el marco del desarrollo de cada uno de los objetivos propuestos para este trabajo de investigación, se propuso el desarrollo de 4 capítulos. En el primer capítulo se realiza una descripción de los tipos de inversores utilizados comúnmente en los sistemas FV, una breve comparación entre ellos y se consulta la oferta comercial de microinversores en Colombia.

En el segundo capítulo se realiza una revisión profunda de la patente de la empresa Enphase que detalla la estructura interna de sus microinversores, explicando cada uno de los circuitos que lo componen y las funciones de su controlador.

El tercer capítulo hace una descripción de las características físicas, técnicas y de operación de los microinversores Enphase M250 e iQ7+, basada en la revisión de documentos técnicos como

manuales, artículos, fichas técnicas, sitios web y videos oficiales de Enphase con el fin de describir cada uno de ellos.

Seguidamente, se apropia el sistema Enlighten desarrollado por la empresa Enphase Energy. Este sistema es una plataforma de supervisión, monitorización y configuración de la operación de sistemas FV, a través de un portal de comunicaciones que transmite la información por medio de internet en tiempo real al usuario y ofrece herramientas de diagnóstico para personal profesional. Por su importancia, se realiza una descripción de la información ofrecida por la plataforma con énfasis en su configuración y visualización para los microinversores M250 e IQ7+.

Este trabajo de grado se desarrolla con el apoyo del Semillero de Investigación en Generación Distribuida (SIGED), perteneciente al Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica (GISEL), en el marco del proyecto COLCIENCIAS titulado “VIABILIDAD TÉCNICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS (FV) INTEGRADOS CON VEGETACIÓN COMO ESTRATEGIA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA Y HORTICULTURA EN ENTORNOS URBANOS DE CLIMA TROPICAL”.

1. GENERALIDADES SOBRE INVERSORES ON-GRID USADOS EN GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

Los sistemas FV tienen como objetivo captar la energía solar y transformarla en energía eléctrica para luego inyectarla a la red. A grandes rasgos, un sistema FV conectado a la red se compone de paneles FV e inversores. La disposición de los paneles FV y escoger de manera acertada el inversor, son características que influyen directamente en el costo y la eficiencia del sistema (Çelik, Teke, & Tan, 2018).

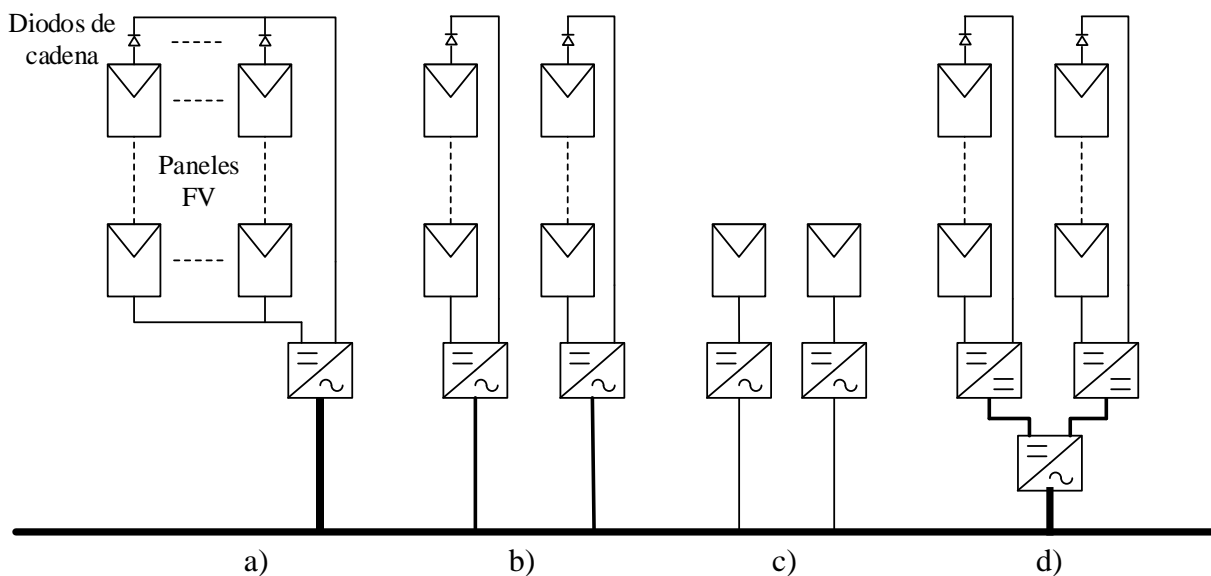
La interconexión a la red se hace por medio del inversor tipo On-Grid. Este tipo de inversor cuenta con un rango de tensión aceptada; es decir, si la tensión de la red sale de dicho rango, el inversor se apaga. Por ejemplo, para una conexión trifásica de 208 V el microinversor M250 tiene como requisito de red una tensión de línea entre 183 V y 229 V. Así mismo, el inversor establece los parámetros de su señal de salida en AC como amplitud y frecuencia por medio de su conexión a la red.

1.1. TIPOS DE INVERSORES COMUNES EN SISTEMAS FV

De manera general, los inversores pueden clasificarse según su configuración con los paneles FV en 4 topologías, inversor centralizado, string, microinversores y optimizadores de potencia.

Figura 4

Configuración de inversores. a) Centralizado. b) String. c) Microinversor. d) Optimizadores de potencia. Fuente:Autores.



1.1.1. Inversores centralizados

Este tipo de inversor es utilizado principalmente para gestionar uno o dos arreglos o generadores FV de alta potencia (e.g. 25-100 kWp). Un arreglo FV es el conjunto de paneles FV conectados en serie y paralelo. Cada rama del arreglo cuenta con diodos de cadena con el fin de evitar que la cadena se comporte como un elemento pasivo. En este caso, un arreglo FV opera a un alto nivel de tensión DC (e.g. 500-1000 Vdc debido a los paneles FV en serie en cada rama) y de corriente DC (e.g. 50-100 A por las ramas en paralelo).

En general, estos inversores tienen 1 o 2 entradas que permiten la gestión de igual número de arreglos FV en el punto de máxima potencia (MPP). Dado que todos los paneles FV del arreglo son gestionados por un mismo control, no se logra gestionar cada panel en el MPP causando una disminución de la eficiencia del sistema FV (Sahoo, Sukchai, & Yanine, 2018). Es decir, si una parte de los paneles FV se ve afectado por condiciones desfavorables como sombreado, todo el sistema FV disminuye su generación. De igual manera, esto obliga que todos los paneles FV sean orientados del mismo modo. Además de las pérdidas por el desajuste entre los paneles FV, esta topología presenta pérdidas en los diodos de cada cadena (Jana, Saha, & Bhattacharya, 2017).

Los inversores centralizados presentan una eficiencia entre 85 y 90% (Kabalcı, 2020). A pesar de las desventajas mencionadas, esta topología aún se continúa empleando en sistemas FV de media y alta potencia (Çelik, Teke, & Tan, 2018).

1.1.2. Inversores string

Los inversores string se pueden ver como una versión reducida de los inversores centralizados. Cada inversor se conecta con una sola cadena de paneles FV, comúnmente se pueden tener cadenas de 5 kW.

Igualmente, debido a que no hay conexión entre cadenas, esta configuración no requiere de los diodos cadena evitando las pérdidas asociadas a estos elementos. Esta independencia entre cadenas permite la individualización del control de seguimiento del punto de máxima potencia de cada cadena mediante su respectivo inversor, aumentando entre 1 y 3 % la eficiencia en comparación con el inversor centralizado (Jana, Saha, & Bhattacharya, 2017) y cuentan con una eficiencia entre 94 y 97% (Sahoo, Sukchai, & Yanine, 2018). Cabe mencionar que, ante la disminución de generación de un panel esta afecta negativamente la cadena a la que pertenece.

Esta configuración es apropiada para sistemas FV de media potencia entre 1 y 10 kW que requieren colocar cadenas del string con diferente orientación debido a la superficie donde se instalaran o donde los patrones de sombra de las superficies afectan a cierta zona del sistema FV. Por otro lado, estos inversores presentan un mayor costo por kW que los inversores centralizados (Çelik, Teke, & Tan, 2018).

1.1.3. Microinversores

Son usados para aplicaciones de baja potencia dado que su costo por kW es elevado, su diseño es de un tamaño pequeño y compacto; generalmente, se instalan en la parte posterior del panel FV. Típicamente, un sistema FV requiere un microinversor por panel FV, permitiendo una operación independiente del MPPT para cada panel FV; esto permite mejorar en gran medida la generación de energía ante factores desfavorables como suciedad o sombreado. De este modo, se mejora la fiabilidad y se disminuyen las pérdidas, maximizando la eficiencia general del sistema (Çelik,

Teke, & Tan, 2018). Igualmente, permite una mayor facilidad en la detección de fallas (Sahoo, Sukchai, & Yanine, 2018).

Los microinversores manejan una potencia menor a la mostrada para las anteriores configuraciones; generalmente, se pueden encontrar microinversores entre 100 y 400 W (Çelik, Teke, & Tan, 2018).

Sin embargo, en el mercado se ofrecen dispositivos que agrupan dos, tres y hasta cuatro microinversores llamado encapsulado, permitiendo acoplar igual número de paneles FV a cada encapsulado; incrementando así su potencia de salida y manejando un MPPT individual para cada panel FV.

1.1.4. Optimizadores de potencia

Si bien es cierto este elemento no es un inversor, pero sí es una alternativa para los sistemas FV. Este dispositivo es un convertidor DC-DC que se instala individualmente entre cada panel FV y el inversor string o centralizado, según sea el caso. Los optimizadores de potencia son más económicos que los microinversores y cuentan con una de sus principales características, ya que permiten incrementar el rendimiento del sistema FV mediante la detección del punto de máxima potencia de cada panel. (Invistus, 2017)

1.2. COMPARACION DE TIPOS DE INVERSORES

En (Tariq, Butt, & Khan, 2018) presentan como caso de estudio un sistema FV de 48 kWp para el análisis de los tres tipos de inversores, considerando una vida útil de 25 años para el sistema de cada inversor y se usan paneles FV con características iguales. La Tabla 1 muestra el costo por W y la garantía para cada uno de los inversores.

Tabla 1
Costos y garantía de tipo de inversores

	Tipo de inversor		
	Centralizado	String	Microinversor
Costo (\$/W)*	197.38	427.66	1118.49
Garantía (años)	5	8	25

*COP con tasa de conversión año 2018

Tomado de (Tariq, Butt, & Khan, 2018)

En la Tabla 1 se observa que el tipo de inversor con el menor costo por W es el centralizado; en cambio, la alternativa del microinversor es la que presenta el mayor costo por W. Por otro lado, al manejar bajas potencias facilitan un diseño compacto a los microinversores que les permite tener una garantía mucho mayor a las otras configuraciones. No obstante, el inversor centralizado requiere un diseño de gran tamaño con partes móviles para su refrigeración como extractores de calor; así mismo, al manejar una mayor tensión este tipo de inversor requiere de elementos que no le permiten brindar una amplia garantía.

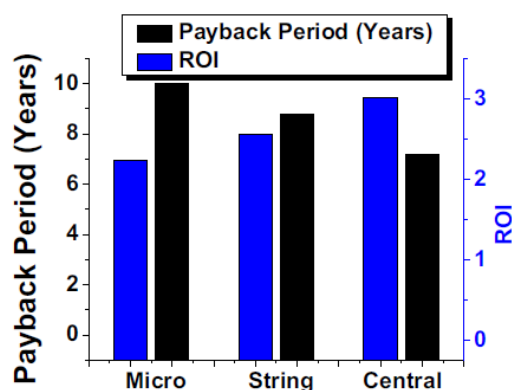
Considerando que el sistema FV tiene una vida útil de 25 años y teniendo en cuenta las garantías mostradas en la Tabla 1, el inversor centralizado se debe cambiar cuatro veces y el inversor string se reemplaza en dos ocasiones en ese periodo de tiempo. Debido a la confiabilidad de los microinversores, se estima que su vida útil coincide con la del sistema FV.

Definiendo el retorno de la inversión (ROI) como un coeficiente que muestra la relación entre el ingreso anual (descontando reemplazo de inversores y costos de mantenimiento) y la inversión inicial, los sistemas FV con inversores centralizados, en string y microinversores, presentan un ROI de 3.02, 2.56 y 2.23, respectivamente. Es importante mencionar que este estudio se realiza sin tener en cuenta escenarios de sombreado y debido a las ventajas de los microinversores, pueden tener un incremento en el ROI ante situaciones de alto nivel de sombreado (Tariq, Butt, & Khan, 2018).

La Figura 4 muestra que el periodo de recuperación de la inversión de los sistemas es de 7.2 años para inversores centralizados, de 8.8 años para inversores en string y de 10 años para microinversores.

Figura 5

ROI y periodo de recuperación de la inversión para los tres sistemas. Tomada de (Tariq, Butt, & Khan, 2018).



La Tabla 2 resume una comparación de las ventajas y desventajas que tiene cada una de las configuraciones de los inversores. La elaboración de esta tabla se apoyó en (Tariq, Butt, & Khan, 2018), (Shayestegan, y otros, 2018), (Jana, Saha, & Bhattacharya, 2017).

Tabla 2
Comparación de tipos de inversores

Tipo de inversor	Ventajas	Desventajas	Potencia nominal
Centralizado	+ Bajo costo + Alta potencia nominal + Menor periodo de recuperación de la inversión	+ Alta tensión DC entre paneles FV e inversor + Alta distorsión de la corriente de salida + Pérdidas por MPPT común para todo el sistema FV + Pérdidas por diodos de cadena + Diseño no flexible + Falla del inversor causa falla de todo el sistema + Bajo factor de potencia + Baja fiabilidad	+ 30 kW, 50 kW a 1 MW + Típicamente entre 250 y 800 kW para distribución trifásica
String	+ Bajo costo por W + Mayor eficiencia que el centralizado + MPPT por cada cadena + Sin pérdidas por diodos de cadena	+ Salida de menor potencia que el centralizado	+ 1, 2 y 5 kW por cadena + Típicamente para distribución monofásica
Microinversor	+ Mayor confiabilidad + MPPT para cada modulo + Menos pérdidas de potencia + Fácil detección de fallas + Larga vida útil + Sistema flexible	+ Salida de baja potencia + Alto costo por W + Reemplazo costoso + Mayor periodo de recuperación de la inversión	+ Hasta 500-600 W

1.3. OFERTA DE MICROINVERSORES EN COLOMBIA

Como se mencionó, existen básicamente tres configuraciones de inversores para realizar la conversión de tensión DC a AC. Los microinversores están abarcando gran parte del mercado de sistemas FV en baja potencia por sus múltiples beneficios (Kabalcı, 2020). En consecuencia, se realiza la consulta de la oferta comercial de microinversores a nivel nacional detallando sus principales características.

Aunque existen una gran cantidad de marcas de microinversores a nivel mundial, en Colombia no se evidencia una demanda tan extensa. En el país se ofrecen marcas como Enphase, APsystems, NEP, Hoymiles y KaiDeng. Teniendo en cuenta lo anterior, la Tabla 3 muestra algunos de los parámetros más importantes de los modelos de microinversores

Tabla 3
Oferta de microinversores en Colombia

Modelo	# Panel FV	Potencia de salida	Rango de tensión MPPT	Factor de potencia	Eficiencia [%]	Precio aproximado*
Enphase M215	1	215 W	27-39 V	>0.95	96.5	\$ 450.000
Enphase M250	1	250 W	27-37 V	>0.95	96.5	\$ 650.000
Enphase IQ7+	1	290 VA	27-45 V	±0.85	97	\$ 480.000
APsystems YC500A	2	500 W	22-45 V	>0.99	95	\$ 750.000
APsystems YC600B	2	600 VA	22-48 V	>0.99	96.5	\$ 845.000
NEP BDM-600LV	2	500 W	22-55 V	>0.99	95.5	\$ 900.000
NEP BDM-250	1	250 W			95	\$ 290.000
KaiDeng WVC1200	4	1200 W	22-45 V	>0.99	91.2	\$ 1'550.000
Hoymiles MI-500	2	500 W				
Hoymiles MI-600	2	600 W	29-48 V	>0.99	96.75	\$ 900.000
Hoymiles MI-700	2	700 W				

* Precios tomados de sitios web como Copérnico S.A.S, Solartex, Elecprocol, Mercadolibre, entre otros.

1.3.1. Acerca de las empresas

APsystem es una empresa fundada en USA en el año 2010. Se caracteriza por ofrecer microinversores diseñados para operar individualmente de 2, 3 y 4 paneles FV con MPPT independientes, lo que se traduce en la disminución de costos de instalación y accesorios.

NEP es una empresa fundada en el 2009 en Estados Unidos. En 2015, se posicionó en Japón y China como planta local e internacional para proveer inversores y microinversores. Los microinversores ofrecidos por NEP están diseñados para operar uno o dos paneles FV con referencias BDM-250 y BDM-600VL, respectivamente.

Hoymiles es una empresa fundada en China en 2008. En 2015, el microinversores de MI-250/MI-300 fue clasificado mundialmente como el más eficiente, debido a que alcanzó la eficiencia pico CEC No.1 del mundo con 96.7% (Hoymiles, 2020). Esta empresa ofrece microinversores para uno, dos o cuatro paneles FV.

Enphase es una empresa de Estados Unidos fundada en 2006. Se dedica a la fabricación de microinversores y al desarrollo continuo de accesorios que hacen más sencillo la instalación de sistemas fotovoltaicos. Diferente a las anteriores marcas, Enphase no cuenta con microinversores diseñados para operar con más de un panel.

2. MICROINVERSION ENPHASE – PATENTE

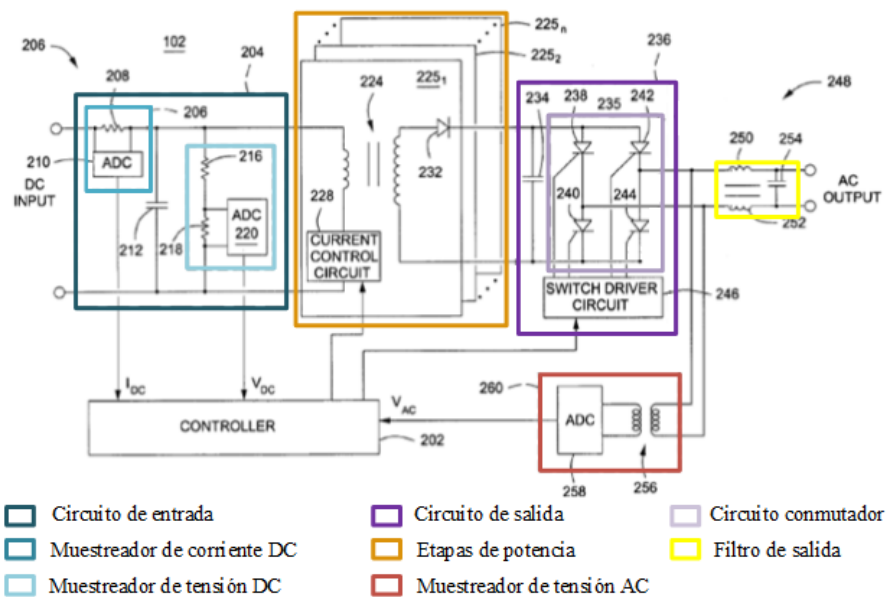
La empresa Enphase Energy obtuvo en Estados Unidos la patente n° US8717780B2 del año 2014 titulada “Method and apparatus for converting direct current to alternating current” donde se describe una metodología de control y muestra de forma general la estructura interna de un microinversor sin presentar una referencia específica. Esta estructura se compone principalmente de un circuito de conversión de potencia y un controlador. A continuación, se explica cada uno de los bloques que la componen.

2.1.CIRCUITO DE CONVERSIÓN DE POTENCIA

Cuando se trata de la estructura de un microinversor, el circuito de conversión de potencia es sin duda la parte más robusta, pues relaciona desde la entrada hasta la salida del microinversor y es el encargado de realizar la conversión de corriente DC a corriente AC. Este circuito cuenta con cinco etapas: circuito de entrada, etapa de potencia, circuito de salida, circuito de filtro de salida y un muestreador de la tensión AC.

Figura 6

Identificación de etapas del microinversor.



2.1.1. Circuito de entrada

El circuito de entrada es el encargado de recibir la tensión proveniente del módulo FV. Este circuito inicia con un muestreador de corriente DC con su respectivo convertidor análogo-digital (ADC). Seguidamente, cuenta con un capacitor con un rango de tensión que determina la tensión DC del módulo FV. Posteriormente, por medio de un divisor de tensión y un ADC, se tiene un muestreador de tensión DC. Las muestras obtenidas en esta etapa son enviadas al controlador. Este circuito se conecta con la etapa de potencia.

2.1.2. Etapas de potencia

El microinversor cuenta con etapas de potencia conectadas en paralelo entre sí. Cada una de estas etapas tiene un transformador elevador, un diodo y un circuito de control de corriente. El devanado primario del transformador recibe la tensión del circuito de entrada y cuenta con el circuito de control de corriente, el cual posee una entrada que llega desde el controlador; esto con el fin de realizar un control sobre la tensión DC de entrada del transformador. Por otra parte, al devanado secundario se conecta un diodo en serie y posteriormente se realiza el acople con la etapa de salida.

Cada una de las etapas de potencia es independiente. Durante la operación, la carga del microinversor se divide entre las etapas que estén activas. La puesta en marcha de cada etapa de potencia se realiza mediante la activación de su correspondiente circuito de control de corriente mediante la señal proveniente del controlador.

El grupo de etapas de potencia tiene una etapa de potencia principal conectada en paralelo con etapas de potencia auxiliares que se usan dependiendo de la potencia en cada ciclo. Este diseño presenta una gran ventaja debido a que permite la reducción de tamaño en las partes empleadas.

2.1.3. Circuito de salida

Este circuito recibe la tensión DC elevada que sale de las etapas de potencia con el fin de entregar una onda sinusoidal. Este circuito cuenta con un capacitor filtro seguido por un circuito conmutador que se compone de cuatro dispositivos semiconductores que son controlados por un circuito de *switching* que, a su vez, es dirigido por el controlador del microinversor. Lo anterior con el fin de asegurar un sincronismo entre la tensión AC de salida y la tensión de la red.

La onda sinusoidal de este circuito de salida se entrega paralelamente a un muestreador de tensión AC y a un filtro de salida.

2.1.4. Circuito de filtro de salida

El filtro de salida está compuesto por dos inductores y un condensador. Cada uno de los inductores se conecta en serie con cada uno de los dos terminales que recibe del circuito de salida. Por otro lado, el condensador se conecta en paralelo con la salida del microinversor.

La función principal de este filtro es eliminar señales armónicas y picos de tensión de alta frecuencia para tener como resultado una disminución de la distorsión de la señal AC de la tensión de salida.

2.1.5. Muestreador de voltaje AC

Este muestreador está compuesto por un transformador de aislamiento que reduce la tensión de AC de la etapa de salida y un convertidor análogo-digital. La señal de tensión AC que se obtiene del circuito de salida llega a los terminales del devanado primario del transformador y el devanado secundario se conecta con el ADC. Finalmente, las muestras obtenidas son enviadas al controlador.

2.2.CONTROLADOR

Todo el proceso realizado por el circuito de conversión de potencia es orientado por el controlador. Esto es posible mediante el monitoreo de las señales de tensión y corriente DC de la entrada del microinversor y la señal de tensión AC obtenida del circuito de salida. Luego de realizar el análisis de las señales mencionadas, el controlador genera sus respectivas señales de control que son dirigidas hacia el circuito de control de corriente y el circuito de *switcheo*, ubicados en las etapas de potencia y el circuito de salida, respectivamente.

El controlador posee modos de operación de retorno para el circuito de conversión de potencia, modo de retorno regular, modo de retorno intercalado y modo de retorno intercalado cuasi-resonante. El modo intercalado permite activar etapas de potencia adicionales que se utilizan para compartir los requisitos de conversión de energía del sistema. De esta manera, el microinversor puede manejar mayores niveles de corriente.

El uso y selección de estos modos se realizan según el análisis de las señales muestreadas; lo anterior con el fin de maximizar la eficiencia de conversión del microinversor. Los cambios de modos se ejecutan durante cada ciclo de conmutación; por lo tanto, en un ciclo de la onda sinusoidal puede presentarse varios modos de operación. La Tabla 4 muestra los modos de operación de retorno y el caso en el cual se usa.

Tabla 4

Modos de operación de retorno

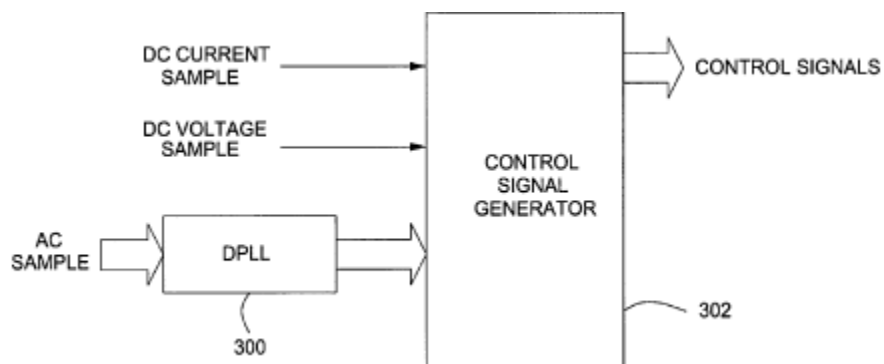
Modo	Uso
Retorno regular	Durante un estado de baja tensión y corriente.
Retorno intercalado	Durante un estado de alta corriente.
Retorno cuasi-resonante intercalado	Durante un estado de alta tensión.

Una de las funciones principales del controlador es dirigir el circuito de conversión de potencia para optimizar el seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT). Otra función es estimar la tensión y frecuencia de la señal AC. Igualmente, permite informar al usuario final sobre la operación general del microinversor.

La Figura 6 muestra un diagrama de bloque del controlador. Este cuenta con un DPLL (*digital phase lock loop*) que recibe las muestras de tensión AC y entrega una señal digital que contiene la información de la onda sinusoidal. Asimismo, posee un generador de señales de control que recibe las muestras de tensión y corriente DC provenientes del circuito de entrada y la señal digital que entrega el DPLL.

Figura 7

Diagrama de bloques del controlador. Tomada de (Estados Unidos Patente n° US8717780B2 , 2014).



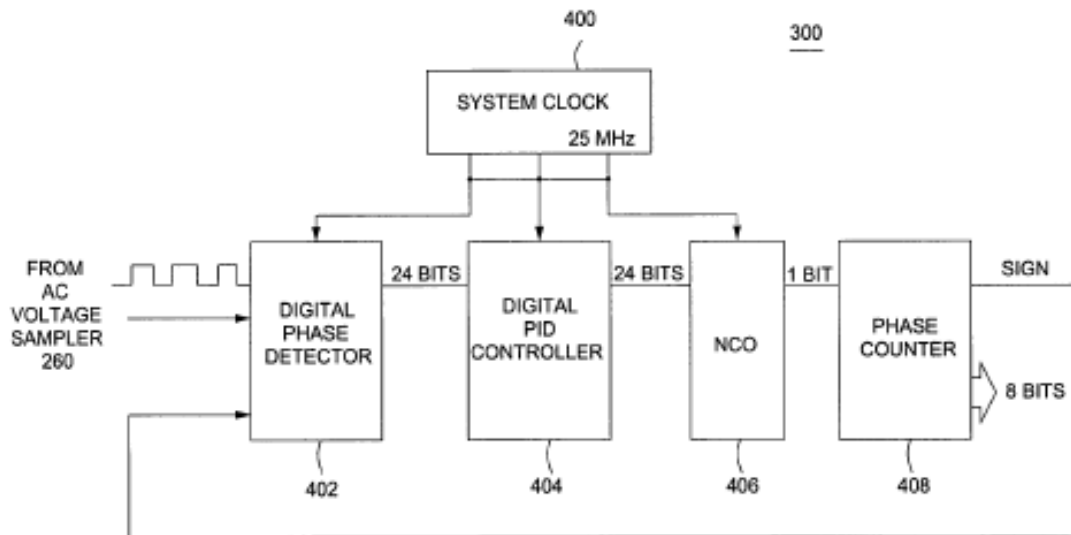
2.2.1. DPLL

El DPLL internamente cuenta con un detector digital de fase, un controlador PID digital, un oscilador controlado numéricamente (NCO), un contador de fase y el reloj del sistema. El detector

digital de fase recibe la señal del reloj, las muestras de tensión AC y la señal que proviene del contador de fase, con esta información genera un error de fase que es procesado por el controlador PID. La salida del controlador PID y una señal del reloj ingresan al NCO para entregar una señal modificada al contador de fase. La Figura 7 muestra el diagrama de bloques del DPLL.

Figura 8

Diagrama de bloques de un DPLL. Tomada de (Estados Unidos Patente n° US8717780B2 , 2014)



2.2.2. Generador de señales de control

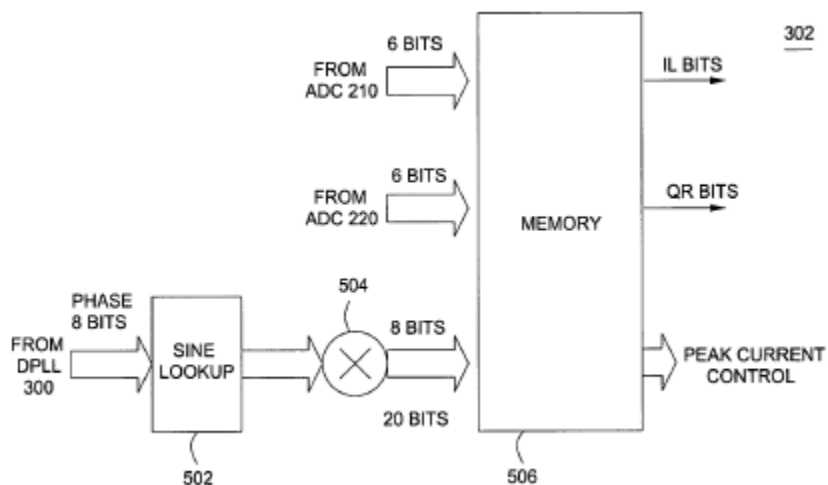
Está conformado por una tabla de búsqueda sinusoidal, un multiplicador y una memoria; esta última podría ser reemplazada por un microprocesador o microcontrolador. Dependiendo de la señal de fase obtenida del DPLL, la tabla de búsqueda arroja una forma de onda que depende de la tensión de la red y genera una corriente de baja distorsión. Estos dos resultados pasan por el multiplicador para obtener una señal digital escalada que representa la corriente de salida requerida.

La memoria tiene como entrada las muestras de las señales de DC que provienen del circuito de entrada, así como la señal digital escalada que se obtiene del multiplicador. Esta información permite realizar una búsqueda en los datos almacenados en la memoria, con el fin de encontrar las señales de control que corresponden a los parámetros de entrada.

Estas señales de salida corresponden a la configuración de la señal de fase que controla el circuito de conversión de potencia. Puntualmente, la memoria entrega un bit intercalado (IL), un bit cuasi-resonante (QR) y bits de control de pico de corriente. Las señales mencionadas permiten controlar el modo de operación de retorno y en consecuencia, las etapas de potencia a utilizar. La Figura 8 muestra el diagrama de bloques del generador de señales de control.

Figura 9

Diagrama de bloques del generador de señales de control. Tomada de (Estados Unidos Patente n° US8717780B2 , 2014)



2.2.3. Método de funcionamiento

Este hace referencia a los pasos a seguir para realizar el control del circuito de conversión de potencia. A continuación, se muestra un ejemplo del proceso que se desarrolla varias veces en un ciclo de señal sinusoidal.

Para empezar, se multiplican las señales muestreadas de tensión y corriente DC obtenidas del circuito de entrada; esto con el propósito de calcular la potencia de entrada y compararla con una potencia referencial. Esta potencia referencial se establece con el fin de proteger las etapas de potencia, empleando etapas adicionales de ser necesario.

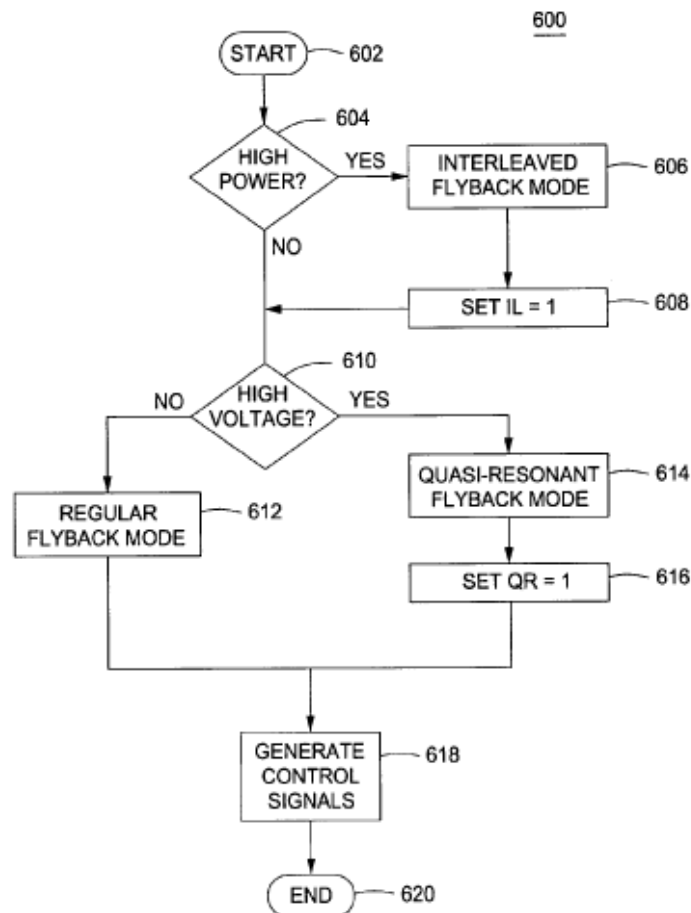
En caso de que la potencia calculada sea mayor a la referencial, se activa el modo de operación de retorno intercalado y se configura la primera señal de control $IL=1$; en caso contrario $IL=0$. Seguidamente se consulta la tensión DC, si dicha tensión es alta, se procede a activar el modo de

operación de retorno cuasi-resonante; configurando la señal de control $QR=1$. En caso de que la tensión DC sea baja, se establece el modo de operación de retorno regular. Establecido lo anterior, se procede a entregar la señal correspondiente a los parámetros muestreados y las señales de control.

Como se mencionó al inicio de este numeral, este proceso describe solo un posible caso de operación. Cabe aclarar que los modos de operación de retorno pueden alternarse o combinarse según sea requerido.

Figura 10

Ejemplo del método de funcionamiento. Tomada de (Estados Unidos Patente n° US8717780B2 , 2014).



3. DESCRIPCIÓN DE LOS MICROINVERSORES M250 E IQ7+

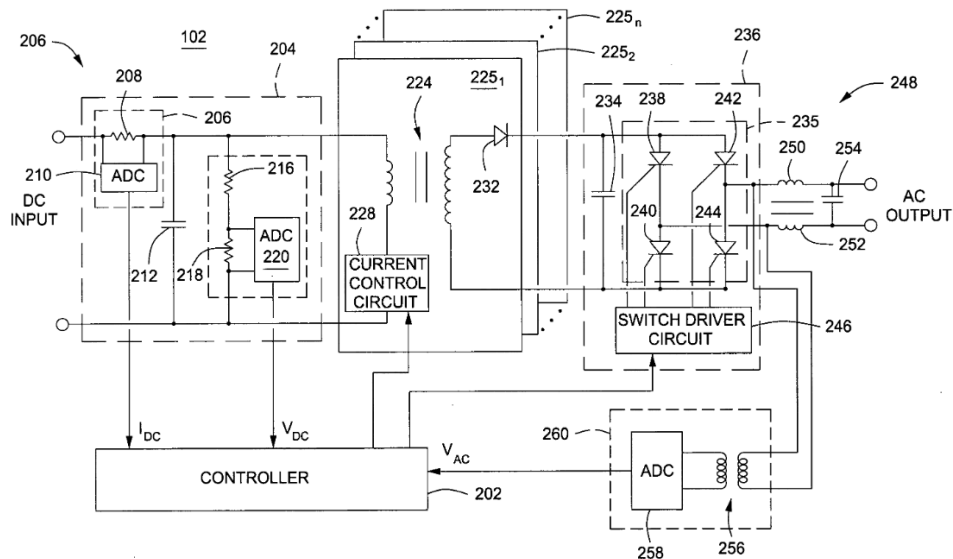
3.1. PRINCIPIO BÁSICO DE UN INVERSOR

Su objetivo es obtener una salida de voltaje AC con magnitud y frecuencia deseada. Adicionalmente, se precisa un control de la corriente que se inyecta a la red; este control es el encargado de comparar las corrientes sensadas con las corrientes de referencia para generar la señal de control, que sirve como entrada a la modulación de ancho de pulsos (PWM) responsable del encendido-apagado de los dispositivos semiconductores que conforman el microinversor. (Murillo Yarce, Alzate Gómez, & Escobar Mejía, 2018)

El funcionamiento general de un inversor está basado en puentes de interruptores de semiconductores de potencia de ciclo controlado de apertura-cierre generando ondas de pulso variables, cuantos más pulsos menos distorsión armónica y mayor proximidad a la onda pura senoidal. La siguiente figura muestra la topología general de un inversor.

Figura 11

Topología del inversor. Tomado de (Estados Unidos Patente n° US8717780B2 , 2014)



3.2. INTRODUCCIÓN A LOS MICROINVERSORES M250 E IQ7+

3.2.1. Microinversor M250

Los microinversores M250 hacen parte de la cuarta generación de microinversores Enphase. Entre las características que lo diferencian de las generaciones anteriores se encuentra que, el dispositivo no necesita conductores de electrodos de puesta a tierra (GEC, grounding electrode conductors), ni conductores de puesta a tierra de equipos (EGC, equipment grounding conductors); su tierra está integrada en el dispositivo por medio del cable de salida.

Figura 12

Microinversor M250. Tomado de (Enphase Energy, 2016).



Esta generación cuenta con los modelos M250-60-2LL-S22, M250-60-2LL-S25 y M250-72-2LL-S22, M250-72-2LL-S25; los primeros dos se han diseñado para ser compatibles con módulos FV de 60 celdas y los dos restantes para módulos FV de 60 y 72 celdas.

La potencia máxima de salida corresponde a 250 W de potencia pico; sin embargo, presenta una salida de potencia continua nominal de 240 W. Esto permite entregar una corriente de salida nominal de 1.15 A cuando se conecta a 208 V y de 1.0 A al conectarse a un sistema de 240 V.

3.2.2. Microinversor IQ7+

Los microinversores IQ7+ hacen parte de la séptima generación de producción de Enphase, esto quiere decir que esta actualización presenta mejores tecnologías respecto a las generaciones anteriores.

Figura 13

Microinversor IQ7+. Tomado de (Enphase Energy, 2018).



La familia de microinversores IQ se compone actualmente por 4 referencias, IQ7, IQ7+, IQ7X e IQ7A. Las características de estos microinversores van cambiando según el modelo y es necesario que durante el proceso de diseño se identifique, entre otras cosas, cual es el número de celdas en los paneles FV que se pondrán en operación, puesto que para las cuatro referencias se especifica un número de celdas propias para cada uno: el IQ7 es compatible con módulos FV de 60 celdas, el IQ7+ e IQ7A son compatibles para 60 y 72 celdas, el IQ7X es compatible para 96 celdas.

La familia IQ cumple con los artículos especificados en la certificación UL 1741 (Underwriters Laboratories, 2018) que incluye características técnicas de funciones avanzadas de red. Entre estas funciones están: sostener por un periodo de tiempo establecido fluctuaciones de voltaje y frecuencia sin apagarse, ajuste para que el microinversor opere a un factor de potencia fijo entre 0.85 en adelante y 0.85 en atraso, balanceo de líneas, función de apagado rápido, limitación de la exportación de energía. Este último es especialmente útil cuando el sistema FV está ubicado en una zona donde el operador de red no permite la inyección de energía por parte de estos sistemas.

Todas las funciones avanzadas de red se configuran desde la plataforma Enlighten Manager por medio del perfil de red. Si en dado caso el perfil de red que se requiere no se encuentra disponible, se debe realizar la solicitud directamente a Enphase con el fin de que ellos creen dicho perfil siempre y cuando sea compatible con las características de los microinversores.

El microinversor IQ7+ cuenta con una potencia de salida continua máxima de 290 VA llegando a picos de 295 VA. Esto le permite entregar una corriente de salida continua máxima 1.21 A cuando se conecta a 240 V y de 1.39 A si trabaja a una tensión de 208 V. Además, presenta una eficiencia

del 97%; 0,5% más que el microinversor M250 en la conversión de la energía solar a energía eléctrica presentando la misma frecuencia nominal de 60 Hz.

Para presentar mejor los datos de entrada y salida presente en los modelos de microinversores M250 e IQ7+, se realizó la Tabla A.1 del Apéndice A; adaptada de las fichas técnicas presentadas por la empresa Enphase Energy.

3.3. IDENTIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

A continuación, se procede a realizar la descripción de las características más relevantes de las dos referencias de microinversores que son objeto de estudio.

3.3.1. Cable

La empresa Enphase cuenta con un avance permanente en el desarrollo de accesorios y elementos que ayudan a disminuir los costos y tiempos de instalación. Uno de los elementos que ha tenido un cambio significativo es el cable utilizado para la conexión de los microinversores.

Cable Engage

El microinversor M250 cuenta con el cable Engage que es producido por Enphase, con el fin de realizar las interconexiones de los microinversores con los demás elementos del sistema FV. Este cable cuenta con un aislamiento THWN-2 y una clasificación UL 746 C referente a exposición UV (Enphase Energy, 2016). El número de conductores que componen el cable depende de la red a la cual se va a conectar. Para una red trifásica con tensión de 208 V el cable posee 5 conductores y para una red monofásica de 240 V el cable tiene 4 conductores; cada uno de ellos es de calibre 12 AWG.

Tabla 5
Color de conductores

Monofásico 240 Vac		Trifásico 208 Vac	
Conductor	Color	Conductor	Color

L1	Negro	L1	Negro
L2	Rojo	L2	Rojo
L3	No disponible	L3	Azul
Neutro	Blanco	Neutro	Blanco
Tierra	Verde	Tierra	Verde

Cable Q

El cable Q es el cable por medio del cual se realizan las conexiones en la generación IQ; tiene una capacidad de corriente de 20 A, cuenta con doble aislamiento clasificado como THHN/THWN-2, es 50% más liviano que su antecesor y cuenta con certificación UL3003 (Enphase Energy, 2018).

Este tipo de cable está compuesto por dos conductores de cobre calibre 12 AWG, donde el conductor de color negro es la línea L1 y el conductor de color rojo corresponde a la línea L2, las cuales llegan a una caja de empalme donde se continua el camino hacia la protección. Asimismo, a esta caja llega un conductor de tierra que se conecta a la estructura metálica que sirve de soporte para el sistema FV.

Tabla 6
Color de conductores

Conductor	Color
L1	Negro
L2	Rojo

3.3.2. Comunicación

El Envoy es el dispositivo que permite la transferencia de información entre los microinversores del sistema FV y las plataformas de configuración y monitoreo, esto se realiza mediante comunicación PLC; es decir, el intercambio de información se realiza mediante los cables de potencia. Lo anterior permite realizar un monitoreo en tiempo real de los parámetros de los

microinversores del sistema y facilita que dichos datos puedan ser visualizada mediante la plataforma Enlighten por medio de conexión a Internet.

La conexión a Internet de estos equipos varía dependiendo de su referencia. Por ejemplo, el Envoy se conecta por medio de cable; por otro lado, el Envoy IQ permite la conexión mediante cable Ethernet, puente de comunicación, Wifi, incluso se puede conectar mediante un modem de celular.

Dependiendo de la generación del microinversor, se debe utilizar una puerta de enlace compatible con esta. Para el caso del microinversor M250 se debe conectar a un Envoy y para la generación de microinversores IQ7+ se debe conectar al Envoy IQ. La Tabla 7 identifica sus características más relevantes:

Tabla 7
Características de técnicas de Envoy y Envoy IQ

Característica	Envoy	Envoy IQ
Frecuencia de comunicación	144 kHz	110 kHz
Compatibilidad	M215, M250, S230, S280	IQ6, IQ6+, IQ7, IQ7+
Uso principal	Residencial	Residencial
Alimentación	120 VAC, 60 Hz	120 VAC, 60 Hz, 120/240 VAC fase dividida
Medición de la producción	Mediciones de microinversores con precisión del 5 %	Medidor integrado con precisión del 0,5% (CT)
Medición del consumo	No	Con precisión de 2,5%

Tomada de: (Enphase Energy, 2020)

Es importante señalar que debido a su frecuencia de comunicación los microinversores que se sincronizan con el Envoy IQ no se pueden conectar al Envoy y viceversa.

El Envoy IQ cuenta con un medidor integrado que, haciendo uso de CT's que vienen incluidos al hacer la compra de estos dispositivos de comunicación, permite una precisión de 0.5%.

Igualmente, el Envoy IQ cuenta con un monitoreo de consumo opcional con precisión de 2.5%; esto por medio de CT's que no vienen incluidos en la compra de este portal de comunicaciones.

Led indicador

Estos microinversores cuentan con un led indicador para verificar el estado operativo en el cual se encuentra el dispositivo. Dependiendo del color y la forma de iluminación permite determinar su estado actual. La Tabla 8 muestra cada uno de los posibles estados.

Tabla 8
Estados de LED indicador

Color del LED	Indica
Verde intermitente	Funcionamiento normal. La función de la red de CA es normal y hay comunicación con el Envoy.
Naranja intermitente	La red de CA es normal pero no hay comunicación con el Envoy.
Rojo intermitente	La red de CA no está presente o no está dentro de las especificaciones.
Rojo fijo	Hay un fallo activo que precisa de intervención.

3.3.3. Parámetros de la red eléctrica

- **M250**

Si bien es cierto los microinversores M250 permiten trabajar en conexión monofásica a una tensión 240 V o en conexión trifásica a 208 V, estos exigen unos requisitos de red con el fin de garantizar su correcto funcionamiento. La Tabla 9 muestra los rangos de tensión admitidos.

Tabla 9
Requisitos de la red eléctrica-M250

	Tensión de la red	
	Monofásico 240 VAC	Trifásico 208 VAC
L1 a L2	De 211 a 264 V	De 183 a 229 V
L1 a Neutro	De 106 a 132 V	De 106 a 132 V
L2 a Neutro	De 106 a 132 V	De 106 a 132 V

- **IQ7+**

Los microinversores IQ7+ pueden operar a tres valores diferentes de tensión línea-línea, 208 V con desfase de 120°, 220 V con desfase de 120° y 240 V con desfase de 180°. Los dos primeros valores se operan cuando el nivel de tensión se deriva de una alimentación trifásica y el tercer valor se presenta cuando se trabaja con un sistema monofásico trifilar que consta de dos líneas vivas y un neutro. Las tensiones a las que se conectan los microinversores deben estar dentro de los rangos que muestra la Tabla 10.

Tabla 10
Requisitos de la red eléctrica-IQ7+

	Tensión de la red	
	240 VAC	208 VAC
L1 a L2	De 211 a 264 V	De 183 a 229 V
L1 a Tierra	De 106 a 132 V	De 106 a 132 V
L2 a Tierra	De 106 a 132 V	De 106 a 132 V

3.3.4. Capacidad por circuito

El número de microinversores que se pueden conectar a un mismo circuito depende directamente de la tensión a la cual se conecte y de la potencia misma del microinversor. Dado que la potencia aparente es igual a la tensión por la corriente, para un valor determinado de potencia aparente, si

la tensión aumenta por ende la corriente disminuye; es decir, a mayor magnitud de tensión, se pueden conectar un mayor número de microinversores.

Tabla 11
Capacidad de circuito derivado

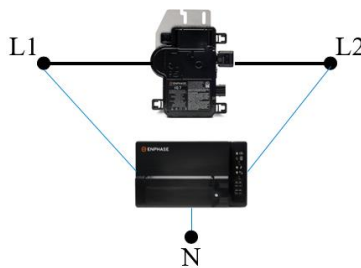
Tensión	Número máximo de microinversores por circuito	
	M250	IQ7+
208 VAC	16	11
220 VAC	-	12
240 VAC	24	13

3.3.5. Conexión microinversor-Envoy

Para la conexión al Envoy IQ, este se conecta en paralelo con los microinversores IQ; además requiere de una conexión al neutro de la red. El grupo de microinversores en paralelo se denomina circuito. La siguiente figura muestra el esquema de conexión del Envoy IQ en un sistema monofásico trifilar.

Figura 14

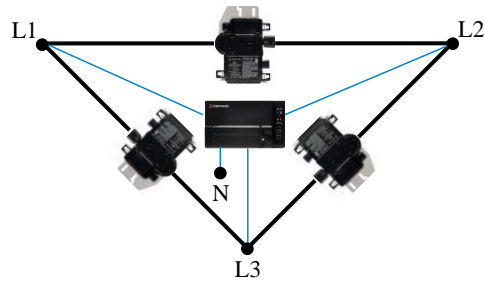
Conexión del Envoy IQ en un sistema monofásico trifilar.



Para los sistemas trifásicos los microinversores deben ser conectados en configuración delta, de tal manera que el microinversor 1 esté conectado entre las líneas L1 y L2, el microinversor 2 se conecta entre las líneas L2 y L3, el microinversor 3 se ubica entre las líneas L1 y L3. La siguiente figura muestra la conexión del Envoy IQ en un sistema trifásico. Es importante agregar que para la configuración trifásica se hace necesario utilizar el Envoy IQ comercial.

Figura 15

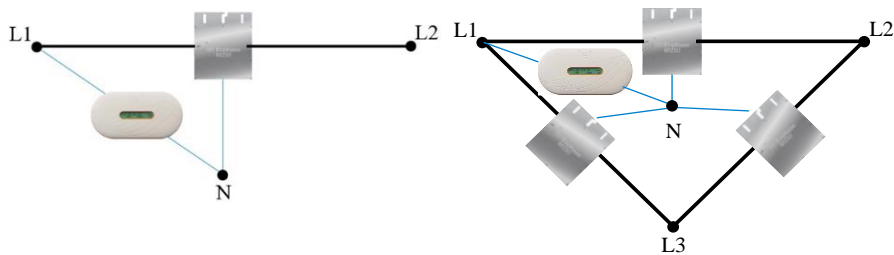
Conexión del Envoy IQ en un sistema trifásico.



Para la conexión de los microinversores M250 con el Envoy, este último se ubica entre una de las fases y el neutro común de los microinversores. La siguiente figura muestra lo anterior.

Figura 16

Conexión del Envoy para sistema monofásico y trifásico.



3.3.6. Terminales

Los microinversores M250 e IQ7+ están diseñados para que su instalación este configurada con terminales MC4 o Amphenol H4, dichos terminales permiten una conexión simple y rápida de dos terminales, uno macho y uno hembra, que hacen de su ensamble un proceso ágil y de baja dificultad.

Figura 17

Terminal MC4.



4. SISTEMA DE CONFIGURACIÓN Y MONITOREO

La empresa Enphase ha desarrollado un sistema de monitoreo dividido en dos plataformas que ofrecen información histórica y en tiempo real de la operación del sistema FV. Enlighten Manager es orientada para los instaladores y MyEnlighten está dirigida hacia los propietarios del sistema mencionado. En caso de que el propietario del sistema quiera hacer uso de Enlighten Manager, tiene un costo adicional.

4.1. ENLIGHTEN MANAGER

Esta interfaz permite observar diversos sistemas FV desde cualquier equipo con acceso a internet. Así mismo, proporciona a los instaladores la facultad de hacer un seguimiento continuo de la operación de sistemas FV, incluso de cada panel individual. De igual manera, brinda la posibilidad de consultar en detalle la operación de los microinversores.

4.1.1. Descripción general de la plataforma

Esta plataforma cuenta con cuatro pestañas que permiten interactuar con el sistema y hacer contacto con personal técnico de Enphase. Estas pestañas son: Panel, Sistemas, Cuenta y Soporte técnico.

- ✓ **Panel:** permite agregar nuevos sistemas y ofrece información como alertas de mantenimiento, activaciones pendientes, noticias del sector, entre otras; esto mediante recuadros que se puede agregar o quitar.

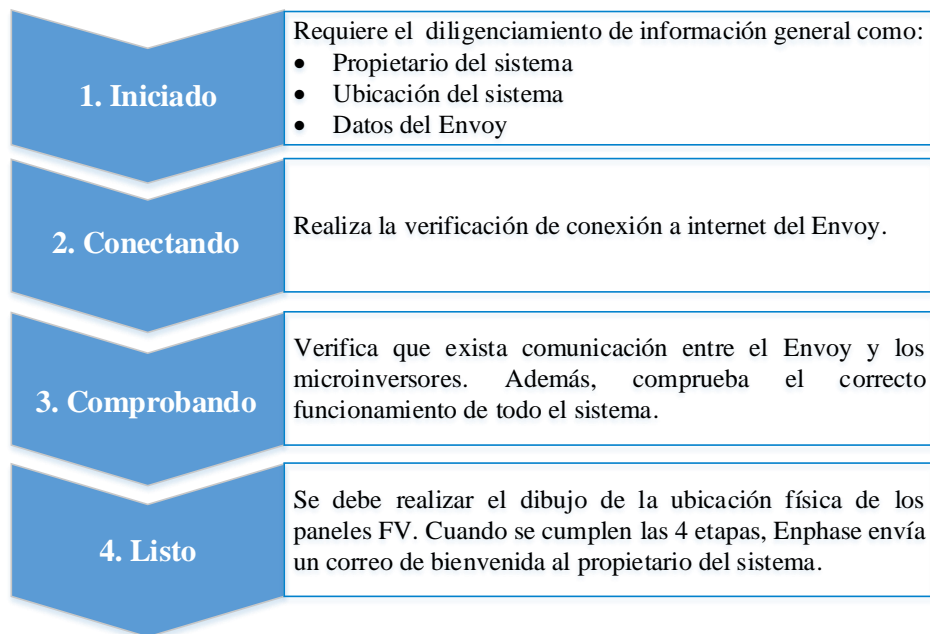
- ✓ **Sistemas:** muestra un listado de los sistemas instalados junto con su estado actual. Igualmente, exhibe un mapa con la ubicación geográfica y un resumen de la energía generada por todos los sistemas.
- ✓ **Cuenta:** donde se configuran todos los datos de la cuenta Enphase, datos como información de la empresa, perfiles de red y agregar nuevos usuarios de la compañía.
- ✓ **Soporte técnico:** posibilita el contacto con los técnicos de Enphase en caso de tener una complicación con algún sistema.

4.1.2. Crear un nuevo sistema

Durante la creación de un nuevo sistema, Enphase ofrece una lista de cuatro etapas de comprobación de la activación. El proceso queda plenamente culminado una vez se haya llevado a cabo las cuatro etapas. A continuación, se muestran las etapas mencionadas.

Figura 18

Etapas de comprobación de activación de un nuevo sistema FV.



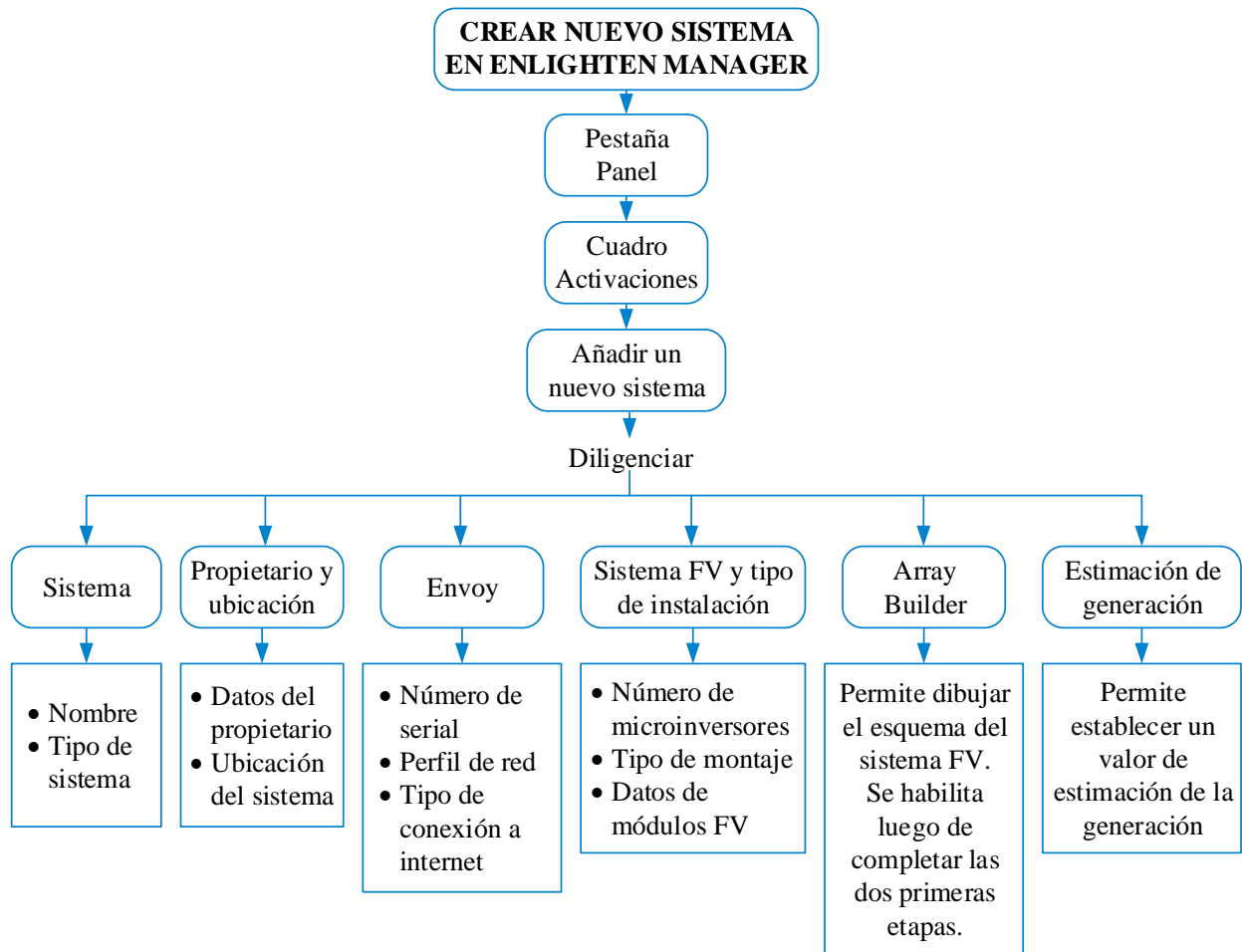
Para crear un nuevo sistema en Enlighten Manager es necesario llenar ciertos campos con información general del sistema FV, características del Envoy, número de microinversores y datos de los módulos FV que serán empleados.

Igualmente, incluye la posibilidad de ingresar una estimación de generación mensual y así mostrar una comparación entre la estimación y el rendimiento del sistema FV. Adicionalmente, permite ingresar un parámetro llamado factor de degradación anual, este parámetro hace referencia a la degradación que sufren los paneles FV cada año; su valor por defecto es 0.5 % pero se debe ajustar al valor que indique la ficha técnica de los paneles FV, usualmente esta entre 0.6% y 0.7%. (Canadian Solar, 2014) (Yingli Solar, 2012) (Trinasolar, 2015)

Asimismo, esta interfaz cuenta con la herramienta Array Builder que permite realizar un esquema de la ubicación física de los paneles FV; de la misma manera, tiene la opción de incluir como fondo del esquema una imagen con el plano o foto del lugar donde se instala el sistema FV. La siguiente figura muestra el resumen del proceso para crear un nuevo sistema en Enlighten Manager.

Figura 19

Proceso para añadir un nuevo sistema en Enlighten Manager.

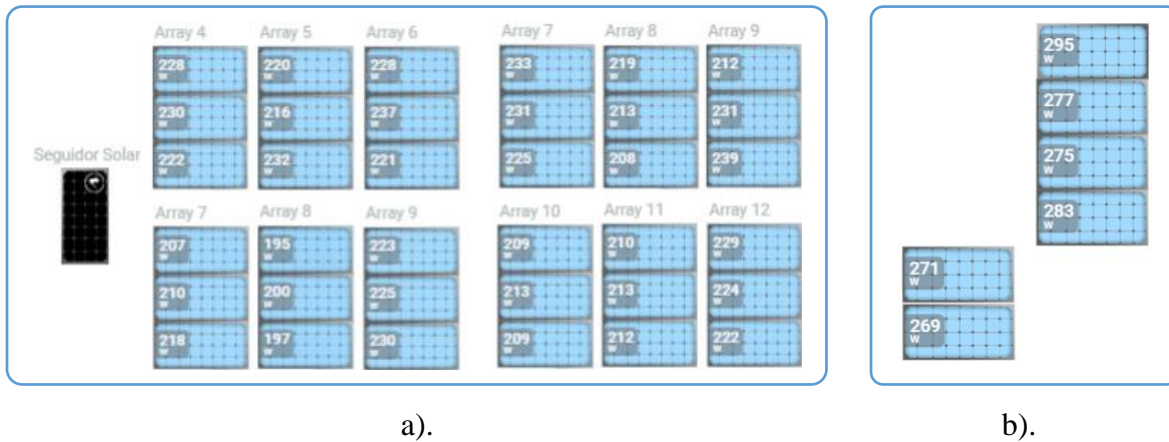


4.1.3. Funciones de monitoreo

Otro de los aspectos más relevantes que presenta Enlighten Manager es la supervisión del funcionamiento del sistema FV mediante la visualización individual de las características de operación de cada panel. La siguiente figura muestra la ilustración de los dos sistemas FV, uno con microinversores M250 y el otro con microinversores IQ7+, ubicados en la terraza del edificio de Ingeniería Eléctrica.

Figura 20

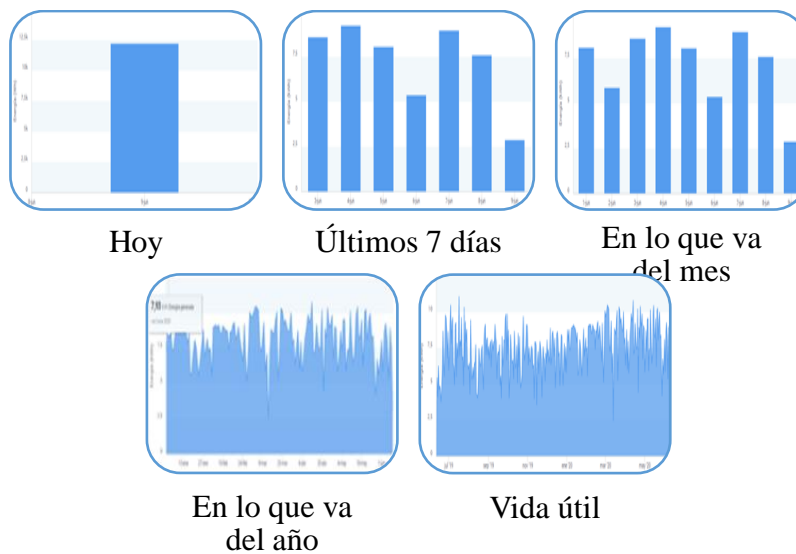
Visualización del sistema FV por panel. a). Microinversores M250. b). Microinversores IQ7+.



Esta plataforma almacena toda la información de generación de energía desde el primer día de funcionamiento del sistema FV, permitiendo consultar datos de energía y potencia tanto del sistema como de cada microinversor que lo compone. Los tipos de graficas de energía disponibles para la visualización se muestran en la siguiente figura.

Figura 21

Graficas de generación de energía.



Al consultar información sobre la potencia generada, se puede visualizar los datos del transcurso del día y de los últimos siete días. De la misma manera, genera un time-lapse con la evolución de la producción de los paneles FV que facilita la identificación de patrones de sombra sobre el

sistema FV mediante la observación de la potencia generada en los últimos siete días. Las siguientes figuras muestran lo mencionado anteriormente.

Figura 22

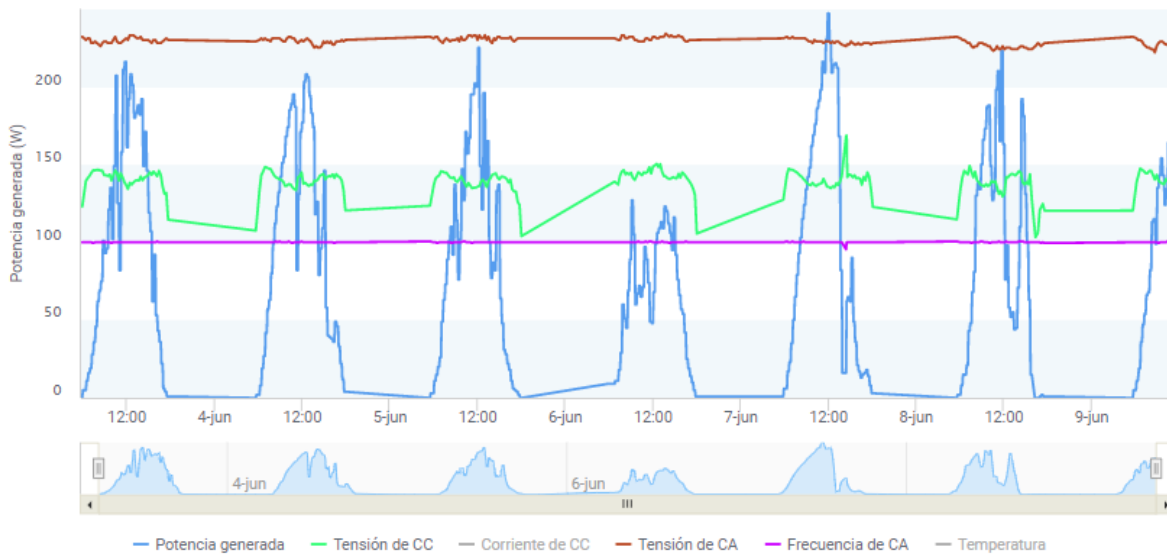
Control del time-lapse para identificación de patrones de sombras.



Además de todo lo anterior, esta interfaz brinda una completa información sobre la operación de cada microinversor del sistema FV. Se cuenta con datos de potencia generada, tensión DC, corriente DC, tensión AC, frecuencia y temperatura. Para acceder a dicha información basta con seleccionar el microinversor el cual se desea analizar. La siguiente figura muestra lo anterior.

Figura 23

Gráficas del microinversor.

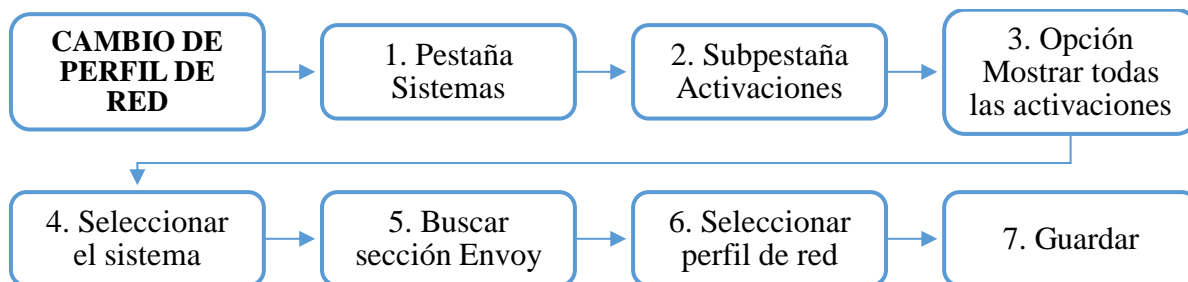


4.1.4. Cambio de perfil de red

Enlighten Manager brinda al instalador la posibilidad de realizar el cambio del perfil de red de un sistema posterior a su activación. Esto se suele presentar en lugares donde se tiene una actualización de los requisitos de red. La modificación mencionada se realiza mediante los pasos mostrados en la siguiente figura.

Figura 24

Pasos para cambiar perfil de red.



4.1.5. Identificación de fallas

Gracias a la información disponible en la plataforma y su visualización mediante las gráficas, es posible detectar y determinar problemas en los elementos que intervienen en la operación del

sistema FV. A continuación, se muestra como identificas fallas en los paneles FV y los microinversores.

4.1.5.1. Módulo FV defectuoso

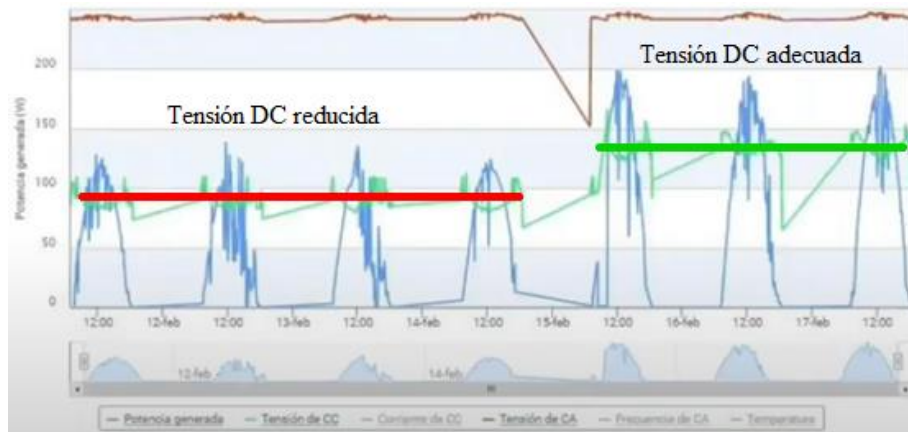
Una gran ventaja que presenta la plataforma es brindar información de cada microinversor. Esta también permite conocer el comportamiento del panel FV. Para empezar, pausando el time-lapse de generación de potencia en un pico de radiación máxima, se puede hacer una inspección general de la operatividad del sistema en cuestión. En este punto, todos los microinversores deberían estar generando su potencia máxima o un valor muy cercano; siempre y cuando la potencia del panel FV sea mayor a la del microinversor.

Si en esta inspección se detecta que un panel FV en particular tiene una diferencia significativa en su generación con los paneles de su alrededor, sin estar afectado por sombra, se procede a verificar la tensión DC que está entregando el panel FV al microinversor. En caso de que este voltaje sea muy inferior respecto a lo que indica su ficha técnica, se identifica la falla del panel FV. Es importante tener en cuenta que, si la tensión DC del panel FV cae por debajo del rango aceptado por el microinversor, este se apagará.

La siguiente figura muestra la variación de parámetros del microinversor como potencia generada y tensión DC cuando opera con un módulo FV defectuoso y cuando este es reemplazado por un nuevo módulo.

Figura 25

Detección de un panel FV defectuoso. Tomada de (Enphase Latinamérica, 2017)

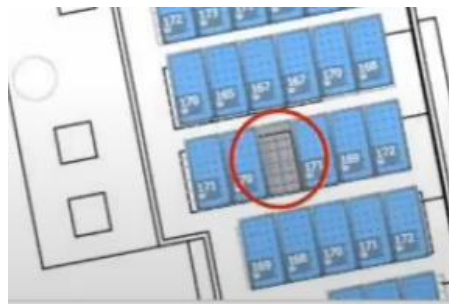


4.1.5.2. Microinversor defectuoso

Si se visualiza el sistema FV y se encuentra algún panel que no muestra su generación y además se observa con un tono grisáceo, se procede a verificar los datos que ha reportado el respectivo microinversor. La siguiente figura muestra lo anterior.

Figura 26

Identificación de microinversor defectuoso. Tomado de (Enphase Latinamérica, 2017).



Si el microinversor reporta información de tensión DC y tensión AC, pero no hay información de generación, se identifica una posible falla del microinversor. Es importante mencionar que no se debe hacer el retiro inmediato del microinversor, dado que se debe contar con autorización directa de Enphase. Primero se debe enviar un email informando la situación; luego de que Enphase confirme el problema, se autoriza el retiro.

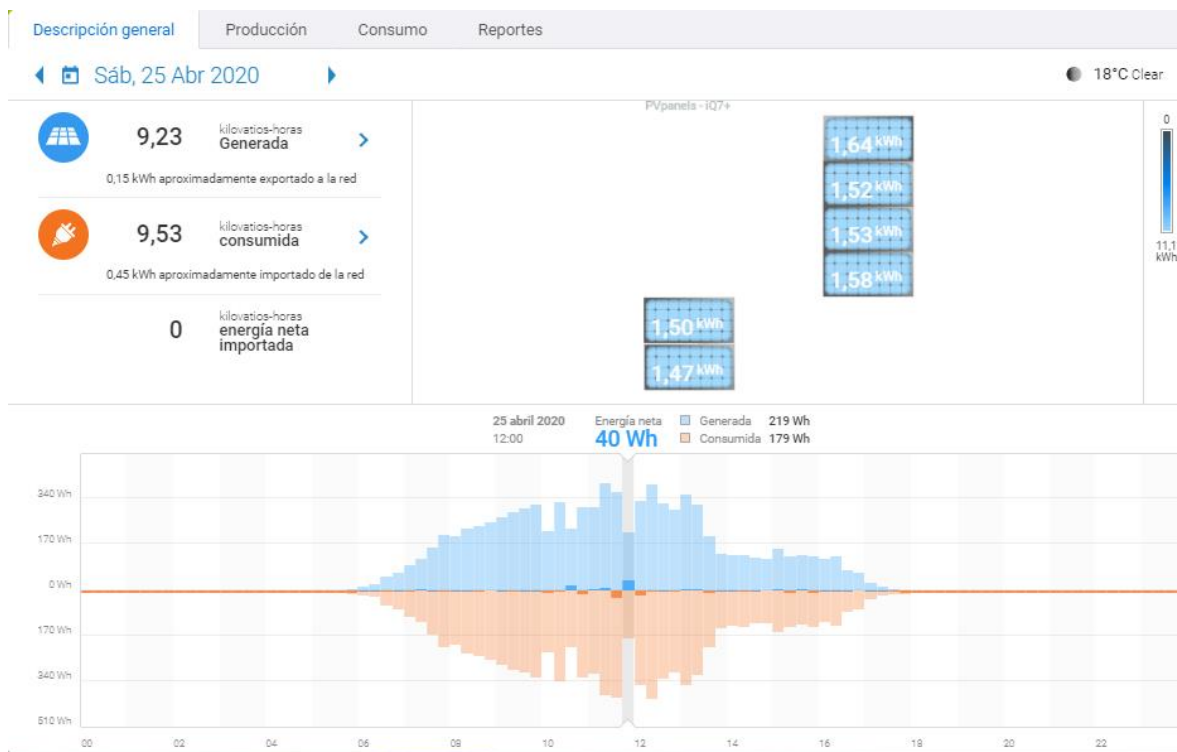
4.2. MyEnlighten

Está diseñado para que el propietario del sistema tenga acceso a información básica, compacta y simplificada de la operación del sistema FV. Esta interfaz cuenta con cuatro pestañas, descripción general, producción, consumo y reportes.

La primera pestaña presenta información general del sistema, muestra el esquema de la ubicación de los paneles FV creado por el instalador e ilustra una gráfica con datos en intervalos de quince minutos de la producción (color azul) y consumo (color naranja) de energía. La siguiente figura muestra la interfaz mencionada.

Figura 27

Interfaz de MyEnlighten.



Cabe aclarar que la información de generación es suministrada por los microinversores y los datos de consumo se presentan gracias al Envoy del sistema FV. Para realizar el monitoreo del consumo se debe contar con transformadores de corriente (CT's) y un Envoy que permita esta opción, como

el Envoy-S metered (Enphase Energy, 2016) o el Envoy IQ para los sistemas con microinversores de la generación IQ (Enphase Energy, 2018).

Las pestañas de producción y consumo tienen un diseño que permite hacer una revisión de la información por meses, por día o por horas. Dicha información se puede observar de manera ordenada mediante una cuadrícula o un gráfico de barras, según sea el gusto del propietario del sistema. De la misma manera, muestra un equivalente de la generación de energía en número de baterías, arboles plantados, entre otros.

Figura 28

Resumen de producción de energía.



Por último, MyEnlighten brinda al propietario la opción de generar una serie de reportes de producción y consumo de energía. Esta información está disponible de manera diaria, reciente o mensual.

CONCLUSIONES

- Cuando se trata de dimensionar un sistema fotovoltaico a razón de sus inversores existen una serie variables a considerar: la potencia pico generada que se espera, la ubicación y el terreno donde se quiere instalar el sistema FV, la inversión inicial que se dispone, el monitoreo del sistema que se desee; la oferta comercial en el país e incluso la frecuencia de mantenimiento que se planea para el sistema FV. A partir de esto y teniendo claro los requerimientos de la instalación, se procede a escoger el tipo de configuración más acorde según la necesidad, teniendo en cuenta las 4 opciones posibles: centralizados, string, microinversores u optimizadores de potencia.
- La estructura interna de un microinversor Enphase se conforma a grandes rasgos de un circuito de conversión de potencia y un controlador. El primero se encarga de hacer la conversión de corriente DC a corriente AC, y el segundo se encarga de establecer los parámetros para que el circuito de conversión de potencia actúe de la forma esperada. Esto se da por el monitoreo continuo de las señales de tensión y corriente que se dan a la entrada y a la salida del microinversor.
- A medida que las generaciones de microinversores avanzan se cuenta con dispositivos con mejores parámetros como, por ejemplo, la referencia IQ7+ cuenta con una eficiencia 0.5% superior que el microinversor M250. De la misma manera, la generación de microinversores IQ cuentan con funciones avanzadas de red que permiten resistir eventos de tensión y frecuencia, operar a un factor de potencia fijo, así como limitar la exportación de energía; esta función es útil cuando el operador de red no permite la inyección de potencia por parte de sistemas FV. Así mismo, se tiene dispositivos de mayor potencia y mayor corriente de salida. Igualmente, la generación M250 tiene un cable Engage de 4 o 5 conductores; por otro lado, la generación IQ cuenta con un cable Q de dos conductores disminuyendo los tiempos de instalación.

- El Envoy es un portal de comunicación que permite configurar, monitorear, actualizar y sincronizar el sistema FV a través de su plataforma Enlighten. Debido a que las frecuencias de comunicación de estos dispositivos son diferentes no se hace posible poder sincronizar el Envoy con el microinversor IQ7 ni el microinversor M250 con el Envoy IQ. Enphase cuenta con dos plataformas, Enlighten Manager para los instaladores y MyEnlighten para los propietarios de los sistemas FV. La primera, permite al personal profesional realizar la configuración y monitorización del sistema FV; de la misma manera, facilita la identificación de fallas como panel FV defectuoso o microinversor defectuoso. La segunda plataforma únicamente permite hacer el seguimiento de la producción de energía del sistema FV.

REFERENCIAS

- Barghi, M., & Teke, A. (2015). Investigation of multilevel multifunctional grid connected inverter topologies and control strategies used in photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 361-376. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.030>.
- Canadian Solar. (2014). Ficha técnica. *CS6P-250 I 255 I 260P*.
- Çelik, Ö., Teke, A., & Tan, A. (2018). Overview of micro-inverters as a challenging technology in photovoltaic applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 3191-3206. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.024>.
- Colmenares-Quintero, R. (2020). II International Congress on Biorefineries and Renewable Energies Supported in ICTs: bresict (Evento Científico N.º 3). Bogotá: Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia. doi:[Doi:https://doi.org/10.16925/ecam.03](https://doi.org/10.16925/ecam.03)
- Cortés, C., Gómez, G., Betancur Londoño, F., Carvajal Quintero, S., & Guerrero González, N. (2020). Análisis experimental del desempeño de un sistema solar fotovoltaico con inversor centralizado y con microinversores: caso de estudio Manizales. *TecnoLógicas*, 23(47), 1-21.
- Cossoli, P., Firman, A., Cáceres, M., & Busso, A. (2015). MICRO-INVERSORES: PRINCIPALES TOPOLOGÍAS. *EXTENSIONISMO, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA*, 2, 14-21.
- Energy, E. (29 de Agosto de 2018). *Enphase Evolución del Microinversor*. Obtenido de Archivo de video: <https://www.youtube.com/watch?v=uLyh-XFD4AM>

Enphase Energy. (2016). Ficha técnica. *Enphase Envoy-S metered*.

Enphase Energy. (2016). Hoja de datos. *Enphase Engage Cable*.

Enphase Energy. (2016). Hoja de datos. *Enphase M250*.

Enphase Energy. (2016). MANUAL DE INSTALACIÓN Y FUNCIONAMIENTO.
Microinversores Enphase M250 y M215.

Enphase Energy. (2018). Ficha técnica. *Microinversores Enphase IQ 7, IQ7+ y IQ 7X (60 Hz)*.

Enphase Energy. (2018). Ficha técnica. *Accesorios para el cable Enphase Q*.

Enphase Energy. (2018). Ficha técnica. *IQ Envoy de Enphase*.

Enphase Energy. (2019). Diagrama de cableado de campo. *Microinversores IQ 7, IQ 7+, IQ 7A y IQ 7X*.

Enphase Energy. (2020). *La familia Envoy de Enphase*. Obtenido de <https://enphase.com/es-lac/productos-y-servicios/envoy/familia>

Enphase Energy. (2020). *Microinversores de Enphase*. Obtenido de Descripción general: <https://enphase.com/es-lac/productos-y-servicios/microinversores>

Enphase Energy. (2020). *Microinversores de Enphase*. Obtenido de Calidad: <https://enphase.com/es-lac/productos-y-servicios/microinversores/calidad>

Enphase Latinamérica. (27 de Marzo de 2017). *YouTube*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=ooarV7w2Fa0>

Enphase Latinoamerica. (12 de Noviembre de 2018). *youtube*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=NiB8oT2KF9c>

Famoso, F., Lanzafame, R., Maenza, S., & Scandura, P. F. (2015). Performance comparison between micro-inverter and string-inverter Photovoltaic Systems. *Energy Procedia*, 81, 526-539. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.126>.

Fornage, M. (06 de Mayo de 2014). *Estados Unidos Patente n° US8717780B2* . Obtenido de <https://patentimages.storage.googleapis.com/3a/15/1e/a26ab023e0cf0e/US8717780.pdf>

Hoymiles. (05 de Julio de 2020). *Hoymiles introduction*. Obtenido de <http://www.hoymiles.com/keqiao/aboutus/about-us#>

Invistus. (22 de 9 de 2017). *Invistus.mx*. Obtenido de <https://www.invictus.mx/aprende/2017/9/22/diferencia-y-comparaciones-entre-microinversores-e-inversores-centralizados>

Jäger-Waldau, A. (2020). *Snapshot of Global PV Markets 2020*. IEA International Energy Agency.

Jana, J., Saha, H., & Bhattacharya, K. (2017). A review of inverter topologies for single-phase grid-connected photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1256-1270. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.049>.

Kabalcı, E. (2020). Review on novel single-phase grid-connected solar inverters: Circuits and control methods. *Solar Energy*, 198, 247-274. doi:<https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.01.063>.

- Murillo Yarce, D., Alzate Gómez, A., & Escobar Mejía, A. (2018). Análisis comparativo del control predictivo de corriente en convertidores VSI empleados en la conexión a red de energías renovables. *TecnoLógicas*, 21(41), 45-62.
- Sahoo, S., Sukchai, S., & Yanine, F. (2018). Review and comparative study of single-stage inverters for a PV system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 962-986. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.063>.
- Schmela, M. (2018). Global Market Outlook for Solar Power/2018–2022. *SolarPower Europe*.
- Shayestegan, M., Shakeri, M., Abunima, H., Reza, S., Akhtaruzzaman, M., Bais, B., . . . Amin, N. (2018). An overview on prospects of new generation single-phase transformerless inverters for grid-connected photovoltaic (PV) systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82 Part 1, 515-530. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.055>.
- SolarEgde. (2013). Performance of PV Topologies under Shaded Conditions.
- Tariq, M., Butt, S., & Khan, H. (2018). Impact of module and inverter failures on the performance of central-, string-, and micro-inverter PV systems. *Microelectronics Reliability*, 88–90, 1042-1046. doi:<https://doi.org/10.1016/j.microrel.2018.06.096>.
- Trinasolar. (2015). Ficha técnica. *The Honey module*.
- Underwriters Laboratories. (2018). CERTIFICATE OF COMPLIANCE (Certificate Number 20180626-E341165).
- Yingli Solar. (2012). Ficha Técnica. *PANDA 60 Cell 40mm SERIE*.

APÉNDICES

Apéndice A. Comparación de fichas técnicas

Tabla 12

Comparación de fichas técnicas

DATOS DE ENTRADA (CC)	MODELOS:	MODELOS:	MODELO:
	M250-60-2LL-S22, M250-60-2LL-S25	M250-72-2LL-S22, M250-72-2LL-S25	IQ7+-72-22-US
Combinación de módulos recomendado	210-350W		235 W-440 W+
Compatibilidad del módulo	60 celdas	60 y72 celdas	60 y72 celdas
Tensión máxima de CC de entrada	48 V	62 V	60 V
Tensión máxima de registro de corriente	27 V-37 V	27 V-48 V	27 V- 45 V
Intervalo de funcionamiento	16 V-48 V	16 V-60 V	16 V-60 V
Tensión de arranque mínima/máxima	22 V/ 48 V		22 V/60 V
Corriente de cortocircuito de CC máxima	15 A		
DATOS DE SALIDA (CA)			
Potencia máxima de salida	250 W		295 VA
Tensión/Intervalo nominales (L-L)	208 V/183-229 @208 V CA 208 V/211-264 @208 V CA		240 V/211-264 V 208V/183V-229 V
Frecuencia nominal	60,0 Hz		60,0 Hz
Intervalo de frecuencia extendido	57-62,5 Hz		47-68 Hz
factor de potencia	>0,95		± 0,85
Máximo de unidades por circuito derivado de 20 A	24 (208 V CA trifásico) 16 (240 V CA monofásico)		13 (240 VAC) 11(208 VCA)
Eficiencia	96,5%		97%

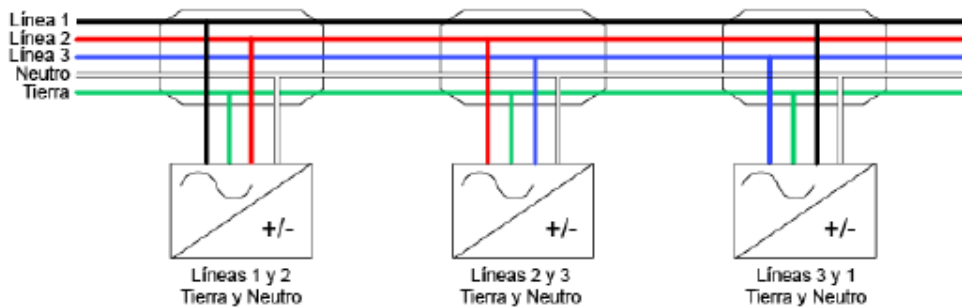
Apéndice B. Conexión de los microinversores M250 e IQ7+

M250

Un criterio importante en la instalación de un sistema trifásico es lograr un sistema equilibrado de tal manera que las fases de los microinversores se conecten tal y como se muestra en la siguiente figura.

Figura B.1

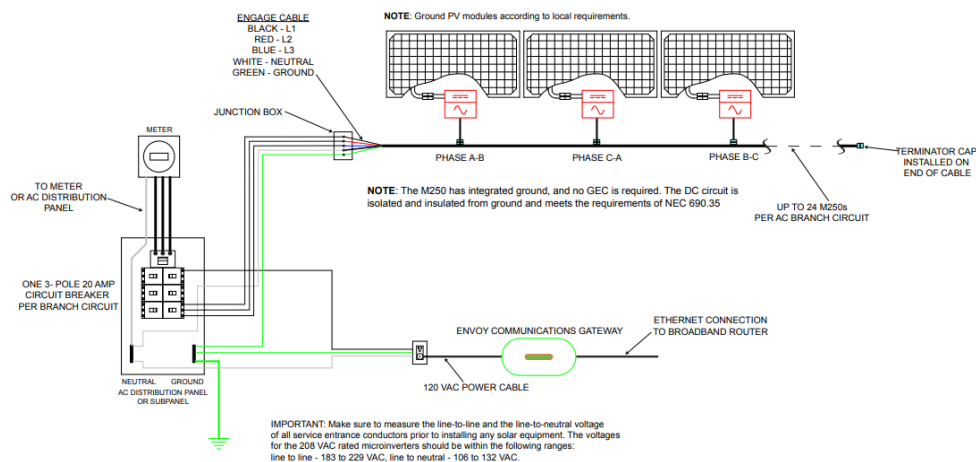
Esquema de conexión de sistema trifásico. Tomado de (Enphase Energy, 2016)



La siguiente Figura muestra el diagrama de cableado de campo del microinversor M250 para un sistema trifásico.

Figura B.2

Diagrama de cableado de campo del microinversor M250 para conexión trifásica.

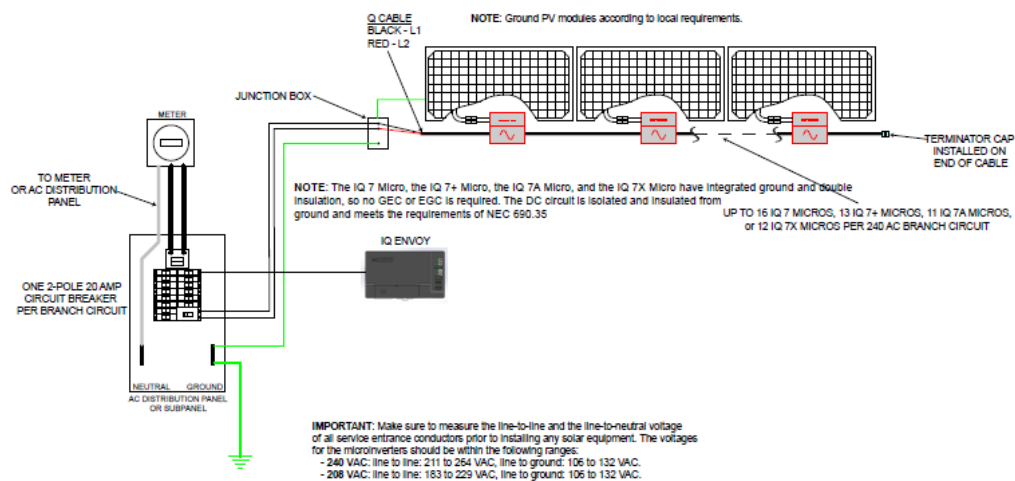


IQ7+

Cuando el sistema FV se conecta a una red monofásica trifilar los microinversores se deben conectar en paralelo entre las líneas L1 y L2. La siguiente Figura muestra el diagrama de cableado de campo para el microinversor IQ7+.

Figura B.3

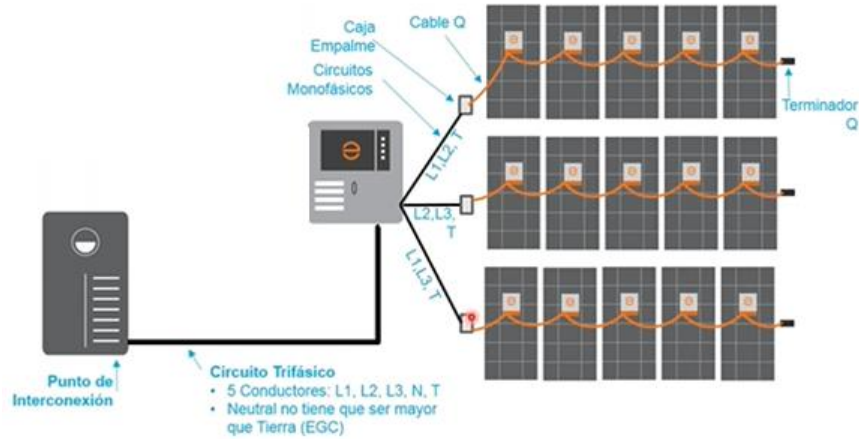
Diagrama de cableado de campo microinversor IQ7+. Tomado de (Enphase Energy, 2019)



Para esta familia de microinversores, un sistema trifásico debe tener tres circuitos. Un circuito que entrega las líneas L1-L2, otro que entrega L2-L3 y otro con L1-L3; además, cada circuito cuenta con el conductor de tierra que se conecta a la estructura metálica. Estos circuitos llegan al tablero del sistema donde se conectan a sus correspondientes protecciones bipolares de 20 A. Asimismo, el cableado entre el tablero del sistema FV trifásico y el punto principal de conexión a la red cuenta con 4 conductores, L1-L2-L3-T. Al igual que en el caso monofásico, si se desea ubicar el envoy en el tablero del sistema FV trifásico, se debe adicionar el conductor neutro. La siguiente figura muestra lo anterior.

Figura B.4

Esquema de conexión para configuración trifásica. Tomado de (Enphase Latinoamerica, 2018).



Apéndice C. Conexión del Envoy IQ y Envoy IQ comercial

Figura C.1.

Esquema de conexión para Envoy IQ.

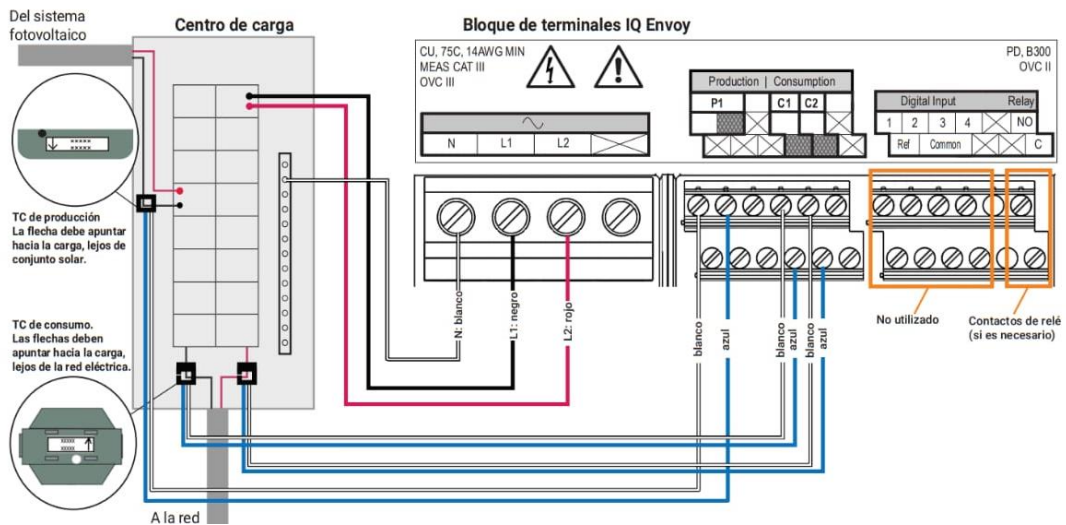


Figura C.2

Esquema de conexión para Envoy IQ comercial.

