



**UTILIZACIÓN Y ANÁLISIS DE MICRO-INVERSORES EN SISTEMA DE AIRE
ACONDICIONADO HÍBRIDO CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y RED
CONVENCIONAL**

**IVÁN DARIO TAVERA LÓPEZ
DORIAN JAIME CARDONA ARBOLEDA**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2015**

**UTILIZACIÓN Y ANÁLISIS DE MICRO-INVERSORES EN SISTEMA DE AIRE
ACONDICIONADO HÍBRIDO CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y RED
CONVENCIONAL**

**IVÁN DARIO TAVERA LÓPEZ
DORIAN JAIME CARDONA ARBOLEDA**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electricista

**Asesor(a)
Mónica Narváez
Ingeniera Electricista**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2015**

RESUMEN

Recientemente, algunos de los avances tecnológicos más notables han venido del área de los inversores, con varias firmas pugnando por el mercado de los micro-inversores, dispositivos que convierten la corriente continua de un único panel solar en corriente alterna [Todoproductividad, 2009].

En el mundo de la generación fotovoltaica, los inversores son la puerta por medio de la cual la electricidad obtenida a partir del sol se transforma en corriente alterna.

En este trabajo se realizará el estudio general del módulo de conversión de corriente en un sistema solar fotovoltaico donde se mostrará las diferencias entre un inversor y un micro-inversor híbridos mostrando los resultados obtenidos con el micro-inversor M215 en el equipo de aire acondicionado que se instalará en el laboratorio de aire acondicionado de la Institución Universitaria Pascual Bravo.

Palabras clave: Micro-inversor, sistema solar fotovoltaico, panel solar, aire acondicionado híbrido, inversor

Abstract

Recently, some of the most remarkable technological advances have come from the area of investors, with several firms vying for the market for micro-inverters, devices that convert direct current from a single solar panel into alternating current [Todoproductividad, 2009].

In the world of photovoltaic energy, investors are the gateway through which the electricity from the sun is converted into alternating current.

In this work the general study of power conversion module is made in a solar system where the differences between an investor and a micro-inverter is displayed and will focus specifically on hybrid systems showing the results obtained with the micro-inverter M215 in the air conditioner to be installed in the air conditioning laboratory of the university Pascual Bravo.

Keywords: Micro-inverter, solar photovoltaic system, solar panel, hybrid air conditioning, inverter.

Tabla de contenido

1. OBJETIVOS	10
1.1 GENERAL.....	10
1.2 ESPECÍFICOS.....	10
2. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 Funcionamiento de un Micro-inversor.....	12
2.2 Componentes de un Micro-inversor.....	14
2.3 Partes fundamentales de un bloque conversor.....	14
2.3.1 Control principal.	15
2.3.2 Etapa de potencia.	15
2.3.3 Control de red.	15
2.3.4 Seguidor del punto de máxima potencia (MPPT).....	15
2.3.5 Protecciones.	15
2.3.6 Monitorización de datos.	16
2.4 Cuando utilizar micro-inversores.	16
2.4.1 Arreglo solar con sombras.	16
2.4.2 Paneles con diferente orientación.	17
2.4.3 Monitoreo independiente por panel.....	17
2.4.4 Sistemas muy pequeños.....	18
2.5 Implementación de los micro-inversores en un equipo de aire acondicionado que utiliza energía solar y energía eléctrica.	18
2.6 Consideraciones para el mantenimiento de los micro-inversores en un sistema solar fotovoltaico.	19
3. METODOLOGÍA.....	21
4. RESULTADOS	23

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Convertidor CC/CA	11
Ilustración 2. Módulos solares conectados a inversor central	12
Ilustración 3. Arquitectura de un Micro-inversor (Imagen propiedad de Enecsys) .	13
Ilustración 4. Módulos solares conectados a Micro-inversores (Imagen propiedad de Enecsys)	14
Ilustración 5. Micro-inversor M215	22
Ilustración 6. Sistema solar fotovoltaico Híbrido en la IUPB.	25

INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en unos dispositivos denominados paneles fotovoltaicos. En los paneles fotovoltaicos, la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial. La conexión en serie de estos dispositivos permite obtener diferencias de potencial mayores. [Asociación de Empresas de energías renovables, 2010].

En el mundo de la generación fotovoltaica, los inversores y micro-inversores son la puerta por medio de la cual la electricidad obtenida a partir del sol se transforma en corriente alterna [Todoproductividad, 2010].

La generación de energía eléctrica por medio de paneles solares ha sido tema de investigación por muchos años, pero recientemente se han desarrollado tecnologías que la hacen más competitiva gracias a que se ha aumentado su eficiencia y reducido sus costos, esto ha sucedido en gran medida gracias a los Micro-inversores [Vargas, Isaac, & Giraldo, Ingeniar UPB, 2015].

En los últimos tiempos un nuevo debate ha irrumpido con fuerza en el mercado solar: Inversores o micro-inversores, sea cual sea la elección, la verdad es que los micro-inversores se han convertido en muy poco tiempo en una alternativa real a los inversores string tradicionales, principalmente en aquellos mercados donde las instalaciones fotovoltaicas residenciales y comerciales de pequeña potencia han tenido un crecimiento más acelerado. En este sentido conviene señalar que las predicciones del IMS Research apuntaban para el año 2012 un crecimiento del 70% del mercado de micro-inversores para alcanzar un tamaño global de casi 900 MW a nivel mundial, posiblemente este crecimiento justifique la aparición cada vez más de nuevas propuestas e incluso que fabricantes de inversores tradicionales hayan decidido apostar por este segmento de mercado creciente [Andreu, 2013].

El mercado de la energía solar fotovoltaica crece a pasos agigantados. La industria fotovoltaica mundial, principalmente en Europa, Estados Unidos, China y Japón, realiza potentes inversiones para las nuevas tecnologías e instalaciones de producción. En comparación con otros recursos renovables, como el eólico, la radiación solar es el recurso energético renovable más equitativamente repartido a nivel mundial [Ormaechea Ballesteros, Análisis comparativo de inversores fotovoltaicos de conexión a red, 2012].

Los principales países, según su potencia instalada en 2010, han sido: Alemania (7.408 MW), Italia (2.321 MW), Republica Checa (1.490 MW), Japón (990 MW) y EE.UU (980 MW) [Ormaechea Ballesteros, Análisis comparativo de inversores fotovoltaicos de conexión a red, 2012].

Uno de los puntos fuertes que ofrece un micro-inversor, es que hacen trabajar a cada panel en su punto máximo potencializando la conversión de energía, asegurando que si por causas naturales algún panel solar llega a fallar o romperse, la producción de energía no para, ya que cada panel seguirá trabajando individualmente.

Sin duda los beneficios que ofrecen los micro-inversores son de primera punta, así como la inversión que se necesita por cada inversor es mayor que un inversor central [Ecopulse Renew life, 2015].

1 OBJETIVOS

1.1 General

Analizar el funcionamiento y las características de los micro-inversores utilizados en la conversión de corriente de un sistema solar fotovoltaico aplicado a un sistema de aire acondicionado Híbrido.

1.2 Específicos

- Describir los micro-inversores, identificando sus principales componentes.
- Conocer las diferencias entre un inversor y un micro-inversor.
- Evaluar la implementación de los micro-inversores en un equipo de aire acondicionado que utiliza energía solar y energía eléctrica.

2 MARCO TEÓRICO

En todas las instalaciones fotovoltaicas el bloque de conversión de corriente es de gran importancia ya que es el encargado de transformar y adaptar la energía generada a las características de la carga, ya sea para su posterior uso individual, en caso de instalaciones aisladas, o alimentación a la red eléctrica, para instalaciones conectadas a red.

El elemento fundamental es el inversor o convertidor CC/CA, al cual se le analizan sus características principales, como la conexión, forma de onda, etc., y el seguimiento del punto de máxima potencia como uno de los parámetros eléctricos que condicionan el rendimiento del sistema fotovoltaico [Ormaechea Ballesteros, Febrero de 2012].

Un convertidor CC/CA (inversor) consta de un circuito electrónico, realizado con transistores o tiristores, que divide la corriente continua alternándola y creando

una onda de forma cuadrada. Este tipo de onda puede ser utilizada después de haberla hecho pasar por un transformador que la eleve de tensión, obteniendo entonces los denominados convertidores de onda cuadrada, o bien, si se filtra, obtener una forma de onda senoidal igual a la de la red eléctrica.

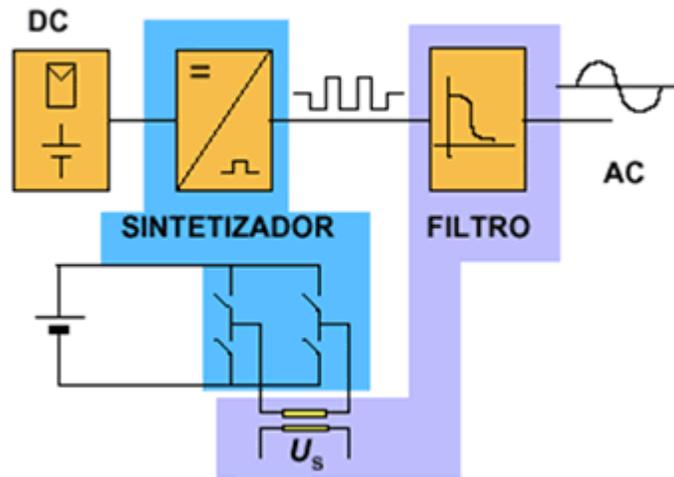


Ilustración 1. Convertidor CC/CA

El inversor se encarga de transformar la corriente continua de los paneles solares en corriente alterna y se conecta a la red. Puede haber uno o varios, dependiendo de la configuración del sistema. Debe de cumplir una serie de características, como asegurar una señal de buena calidad, sincronizarse con la red o desconectar el generador de la red, en caso de que se haya suspendido el servicio. También ha de ajustarse a la normativa de seguridad de personas, equipos y la red eléctrica.

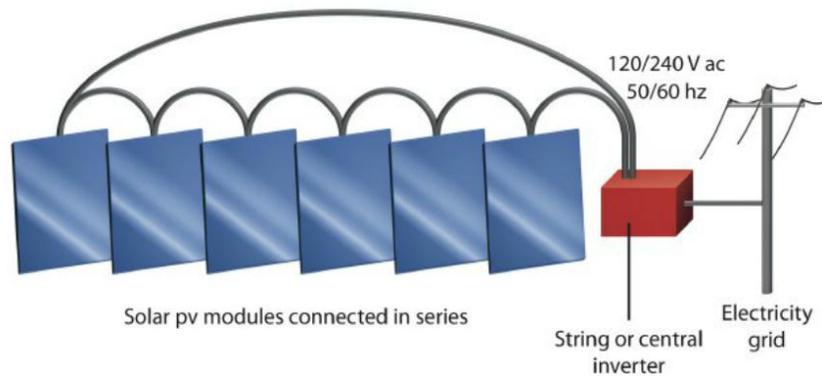


Ilustración 2. Módulos solares conectados a inversor central

En los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica los módulos solares se conectan entre ellos formando series (strings) que generan un alto voltaje en corriente continua para de este modo minimizar las pérdidas eléctricas... no obstante esto puede generar ciertos problemas o inconvenientes y por este motivo aparecen los micro-inversores [Andreu, 2013].

2.1 Funcionamiento de un Micro-inversor

Existen varias topologías que varían en algunos aspectos muy específicos del funcionamiento, pero en general todas poseen las mismas etapas, para efectos prácticos se explicará una de las más comunes.

La primera etapa consiste en un convertidor resonante que convierte la entrada de bajo voltaje de corriente continua (c.c) proveniente del panel solar a un voltaje de corriente alterna (c.a) de alta frecuencia. En una segunda etapa el voltaje alterno de alta frecuencia es amplificado usando un transformador de alta frecuencia. Como tercera etapa se tiene un diodo rectificador que convierte este voltaje de c.a de alta frecuencia en una tensión sinusoidal rectificada. Finalmente mediante un ciclo conversor se logra obtener la onda sinusoidal a la frecuencia de la red. La corriente de salida se controla mediante la modulación de la frecuencia de

conmutación de los interruptores laterales primarios. Traducido y adaptado de [Madhuwanti , 2006].

HA Sher, KE Addoweesh / Energy for Sustainable Development 16 (2012) 389–400

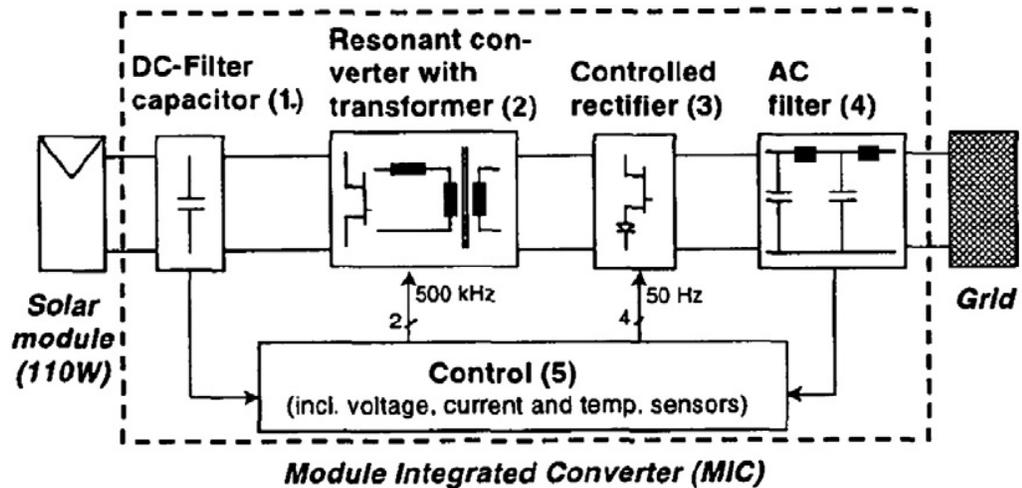


Ilustración 3. Arquitectura de un Micro-inversor (Imagen propiedad de Enecsys)

Un micro-inversor, no es más que un inversor solar de tamaño reducido que se conecta directamente en la parte posterior de cada módulo solar y que convierte de manera individual la corriente continua generada por cada módulo solar en corriente alterna [Andreu, 2013].

La mayoría de los sistemas basados en micro-inversores están diseñados para un rango de potencias entre 200 y 700 W; de otro lado, los inversores son principalmente utilizados para potencias superiores a 1000 W, para aquellos inversores o suma de inversores cuya potencia nominal sea menor o igual a 5 kW, la conexión a red debe ser monofásica, mientras que si excede los 5 kW de potencia nominal la conexión deberá ser trifásica [Ormaechea Ballesteros, Febrero de 2012].

También existen los micro-inversores duo, en los que un sólo micro-inversor comparte dos módulos, no obstante el concepto es el mismo [Andreu, 2013].

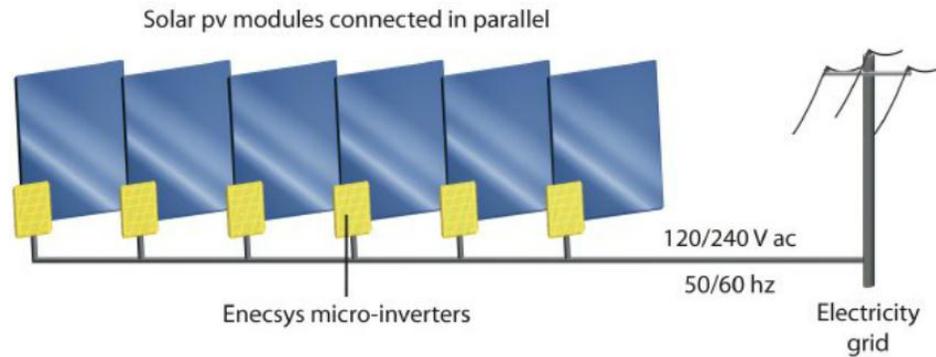


Ilustración 4. Módulos solares conectados a Micro-inversores (Imagen propiedad de Enecsys)

2.2 Componentes de un Micro-inversor.

Un Micro-inversor posee los siguientes componentes:

- Filtro de entrada.
- Puente de MOSFETs completo de entrada.
- Tanque resonante.
- Transformador de alta frecuencia.
- Diodo rectificador.
- Ciclo-conversor.

2.3 Partes fundamentales de un bloque conversor.

En general, las partes fundamentales de un bloque conversor de energía, ya sea con inversores o micro-inversores está provisto de:

2.3.1 Control principal.

Incluye todos los elementos de control general, los sistemas de generación de onda basados en sistemas de modulación de anchura de pulsos (PWM) y parte del sistema de protecciones.

2.3.2 Etapa de potencia.

Esta etapa puede ser única o modular en función de la potencia deseada. Se opta por la tecnología en baja frecuencia ya que ofrece buenos resultados con una alta fiabilidad y bajo coste. Además, debe incorporar un filtro de salida (LC), para filtrar la onda y evitar el rizado en la tensión procedente de los módulos.

2.3.3 Control de red.

Es la interface entre la red y el control principal. Proporciona el correcto funcionamiento del sistema al sincronizar la forma de onda generada a la de la red eléctrica, ajustando tensión, fase, sincronismo, etc.

2.3.4 Seguidor del punto de máxima potencia (MPPT).

Es uno de los factores más importantes en un inversor. Su función es acoplar la entrada del inversor a los valores de potencia variables que produce el generador, obteniendo en todo momento la mayor cantidad de energía disponible, la máxima potencia.

2.3.5 Protecciones.

De manera general, los inversores deben estar protegidos ante tensión de red fuera de márgenes, frecuencia de red fuera de márgenes, temperatura de trabajo elevada, tensión baja del generador, intensidad del generador

fotovoltaico insuficiente, fallo de la red eléctrica y transformador de aislamiento, además de las protecciones pertinentes contra daños a personas y compatibilidad electromagnética.

2.3.6 Monitorización de datos.

Los inversores dispondrán de microprocesadores que les facilite una gran cantidad de datos tanto de los parámetros habituales (tensión, corriente, frecuencia, etc.) como de parámetros externos (radiación, temperatura ambiente, etc.) e internos (p.e. temperaturas de trabajo) [Ormaechea Ballesteros, Febrero de 2012].

2.4 Cuando utilizar micro-inversores.

A continuación se explican las situaciones donde los micro-inversores presentan ventajas en comparación con los inversores centrales:

2.4.1 Arreglo solar con sombras.

Cuando una celda del panel solar se sombrea la serie de celdas deja de producir energía. Cuando un panel solar se sombrea, la serie de paneles solares deja de producir energía. Esta es la forma en que la generación con energía fotovoltaica funciona. Los micro-inversores ayudan a reducir el problema de sombreado en instalaciones donde se sabe que habrá sombras permanentes que no pueden eliminarse, por ejemplo, un edificio aledaño, antenas de comunicaciones, cables, árboles que no pueden ser podados, etc. Esto se debe a que los micro-inversores no están interconectados en serie, y cuando un panel solar es sombreado solo se pierde la producción energética de ese panel (en lugar de la generación de toda la serie como sería en el caso de los inversores centrales).

2.4.2 Paneles con diferente orientación.

Cuando los paneles solares de un sistema solar se instalan (erróneamente) con diferente orientación se produce un fenómeno parecido al sombreado, donde en una serie todos los paneles van a producir energía eléctrica con la misma capacidad, y si la capacidad de uno o varios paneles solares en esa serie se ve afectado, como por ejemplo una orientación con menos radiación solar, la serie completa se ve afectada. Es por eso que se recomienda que todos los paneles solares en una serie se instalen con la misma orientación e inclinación. Los inversores centrales requieren un número mínimo de paneles por serie y el mismo número de paneles en cada serie del sistema. Desafortunadamente en ocasiones donde hay una limitación de espacio resulta complicado tener una configuración óptima de paneles por serie con la misma orientación. Este problema se elimina totalmente con el uso de micro-inversores ya que cada panel solar en el sistema puede tener una orientación única.

2.4.3 Monitoreo independiente por panel.

Una de las funciones más atractivas del uso de micro-inversores es la capacidad que tienen de monitorear el desempeño de cada panel solar de forma independiente. De esta forma se puede saber cuáles son los paneles del sistema que más (o menos) energía producen en casos donde se tienen sombras u orientaciones diferentes. También se puede identificar de forma inmediata si un panel o micro-inversor está dañado o desconectado. En el caso de inversores centrales el monitoreo se realiza a nivel sistema por lo que no es posible conocer el desempeño de cada panel solar de forma individual.

2.4.4 Sistemas muy pequeños.

El inversor central para interconexión más pequeño disponible en el mercado es de 2000 Watts. Si por cualquier razón se requiere un sistema de menor potencia entonces los micro-inversores son la única alternativa. Con los micro-inversores es posible conectar un sólo panel solar a la red eléctrica, sin embargo, por cuestiones económicas y de producción no se recomienda instalar sistemas de menos de 3 paneles solares [WeboSolar, 2015].

2.5 Implementación de los micro-inversores en un equipo de aire acondicionado que utiliza energía solar y energía eléctrica.

El uso de micro-inversores en sistemas solares es muy atractivo por su capacidad de monitoreo y la flexibilidad que ofrecen durante la instalación. La diferencia principal en comparación con sistemas solares con un inversor central, donde un inversor controla la producción de todos los paneles solares del sistema, es que en el caso de los micro-inversores se tiene un inversor por cada panel solar [WeboSolar, 2015].

El aire acondicionado solar híbrido, es un sistema que utiliza el sol como fuente de calor adicional para ayudar con energía solar térmica el proceso de enfriamiento de un sistema de aire acondicionado típico, reduciendo el consumo de energía eléctrica para el funcionamiento del compresor.

Los sistemas conectados a la red son aquellos que tienen una conexión directa con la red eléctrica de la instalación, así en casas o edificios sirve para apoyar el sistema eléctrico y ahorrar en consumos durante el día. Los sistemas solares fotovoltaicos conectados a la red generan, al igual que el aislado, energía eléctrica

con base en paneles solares, con la diferencia que estos sistemas generalmente no poseen banco de baterías, por lo que la energía que se genera se consume instantáneamente y lo que falte lo aporta la red eléctrica de la instalación.

Los sistemas de aire acondicionado solar híbridos tienen una eficiencia muy alta y son una alternativa muy moderna para la refrigeración de sitios que funciona en base a energía solar, lo cual no solamente nos llega a brindar un ahorro en el consumo de energía eléctrica, sino que también resulta beneficioso para el ambiente debido a que produce una menor cantidad de dióxido de carbono a largo plazo [Energía Solar y renovables al día].

2.6 Consideraciones para el mantenimiento de los micro-inversores en un sistema solar fotovoltaico.

Los micro-inversores al ser individuales por panel manejan poca corriente, por lo que su calentamiento es mínimo y no necesita de sistema de refrigeración, así que no tiene ventiladores ni filtros que darles mantenimiento. Estos equipos son 100% electrónicos, por lo que no generan ningún tipo de ruido o zumbido.

Típicamente vienen con garantías más largas que los inversores centralizados más de 25 años cuando están integrados con paneles solares para crear 'módulos inteligentes'. Las garantías de los inversores centralizados cubren 10 años y permanecerán operacionales por 15 años antes de que se necesite ser reemplazados.

Debido a la monitorización de los datos se permiten monitorear el rendimiento individual de los paneles solares, usualmente a través de una aplicación de un teléfono inteligente o una página web. Esto ayuda a la identificación rápida de problemas sencillos y solucionarlos.

En general, los componentes de un sistema fotovoltaico tendrán entre 25 y 40 años de vida útil, si desde un inicio se cumplen las normas oficiales para su instalación. El mantenimiento es mínimo, sólo se recomienda limpiar los paneles de polvo, hojas o residuos que los obstruyan total o parcialmente, esta operación se recomienda de dos a tres veces por año dependiendo de una inspección visual periódica, en el resto de los componentes eléctricos sólo se debe verificar que no existan fuentes de humedad que puedan afectarlos [Pago inteligente de luz, 2012].

3 METODOLOGÍA

El montaje del micro-inversor M215 en el equipo de aire acondicionado que utiliza energía solar y energía eléctrica, está sujeto ó depende inicialmente de otros trabajos previos que debe cumplir la instalación fotovoltaica como son:

- Diseño y cálculos de instalación eléctrica para el sistema.
- Diseño y selección de equipos.
- Paneles solares y dimensionamiento.

Para la implementación adecuada de micro-inversores en la instalación solar fotovoltaica se cumplió con el siguiente procedimiento:

Se inició con la búsqueda de bibliografía consultando bases de datos en internet e información relacionada con los módulos de conversión de los sistemas fotovoltaicos en sistemas existentes desarrollados por empresas, además de portales web sobre energía solar como webosolar, asociación de empresas de energías renovables y los antecedentes en países con importantes crecimientos de estos (España, Alemania, Estados Unidos) instalados a red eléctrica convencional.

Se seleccionó el micro-inversor M215 ENPPHASE Modelo 215 de una lista de posibles candidatos de diferentes fabricantes para ser instalado en los paneles solares del sistema fotovoltaico en el laboratorio de frío de la Institución Universitaria Pascual Bravo, además de sus equipos auxiliares y la puesta en servicio de todo el sistema.

M215 de Enphase®



Ilustración 5. Micro-inversor M215

La conexión interna (paneles y micro-inversores) se interconectó a la red eléctrica de las Empresas Públicas de Medellín con las normativas vigentes y parámetros de seguridad, utilizando el RETIE (Reglamento técnico de instalaciones eléctricas) y la NTC 2050 (Norma técnica Colombiana).

Para la instalación correcta y adecuada del micro-inversor M215, se anexa el manual de instalación, en donde paso a paso se explican las actividades a seguir, las herramientas y elementos necesarios para su montaje, los datos técnicos con diagramas de cableado y la puesta en marcha y operación del sistema.

También se incluyen dentro de la bibliografía algunos enlaces a videos, que muestran el montaje y operación del sistema.

4 RESULTADOS

La información encontrada en la búsqueda bibliográfica se analizó comparando diferentes criterios técnicos que cada fabricante expone de acuerdo a resultados obtenidos; se analizaron micro-inversores de ABB (CDD), Delta Energy Systems (Solivia nano 260), ReneSola (Replus-250), ENPHASE (M215) y APS (YC500).

La utilización de los micro-inversores ENPHASE M215 resultaron ser los más adecuados en la instalación híbrida solar fotovoltaica de aire acondicionado ya que cumplían con las especificaciones técnicas requeridas para este propósito:

Características.

- Compatible con los módulos fotovoltaicos de 60 células.
- Comunicación a través de la línea eléctrica.
- Tierra integrada, cumple con la norma NEC 690.35
- Intervalo de temperatura ambiente es de -40°C a + 65°C.
- Rendimiento promedio del micro-inversor del 95%
- Máxima eficiencia del inversor es del 96%
- Las medidas que se realizaron de los parámetros técnicos fueron las siguientes:
 - Datos de entrada (DC)
 - Tensión nominal de entrada (fabricante) (V): 43
 - Corriente nominal de entrada (Fabricante) (A): 10
 - Potencia nominal a la entrada del inversor (W) 210
 - Temperatura (°C) 28
 - Datos de salida (AC)
 - Tensión nominal de salida (V): 208

- Corriente nominal de entrada (A): 1.03
 - Potencia nominal a la entrada del inversor (W) 210
 - Factor de potencia) 0.98
 - Frecuencia (HZ) 60
-
- Luego de la instalación de los micro-inversores, se pudo observar que la salida de tensión y corriente del módulo fotovoltaico depende de la cantidad, tamaño y temperatura de las células fotovoltaicas, así como de la radiación recibida por cada célula. La instalación solar fotovoltaica quedó provista de 4 paneles, cada uno con 60 células y un micro-inversor. La tensión máxima posible de un módulo fotovoltaico ocurre cuando la temperatura de la célula es la más baja y el módulo está en circuito abierto (sin generación de corriente).

 - El sistema solar fotovoltaico híbrido con micro-inversores que se concibió para el laboratorio de frío de la Institución Universitaria Pascual Bravo se implementó en la parte exterior de dicho laboratorio, contiguo a la piscina, a una altura de 5 metros, el sistema está soportado por una estructura metálica en forma horizontal. Los paneles solares se encuentran orientados hacia el oriente. Los micro-inversores tienen un cuerpo metálico, por lo que tanto la estructura donde reposan como el micro-inversor tienen una conexión a tierra.



Ilustración 6. Sistema solar fotovoltaico Híbrido en la IUPB.

La potencia producida por el sistema se conecta directamente con la carga, donde llega también la potencia de la red interconectada o proveedor de servicios de energía externo.

5 CONCLUSIONES

La implementación de micro-inversores en un sistema solar fotovoltaico de aire acondicionado híbrido presenta grandes beneficios económicos y ventajas técnicas, que permiten utilizarlo de manera eficiente y además, contribuir con la utilización de energías renovables.

En el caso particular, el sistema solar fotovoltaico híbrido con micro-inversores montado para alimentar la carga de aire acondicionado del laboratorio de frío de la Institución Universitaria Pascual Bravo se interconectó a la red eléctrica externa, trayendo los siguientes beneficios:

- El factor de utilización es alto, aproximadamente del 83%.
- Se logran ahorros considerables en la factura de energía, con su utilización el ahorro promedio es del 50%.
- El micro-inversor utilizado maximizan la energía producida por los paneles solares, alcanzando una eficiencia del 96%.
- La información recogida y transmitida por el sistema de comunicación para su monitorización y análisis, se hace en intervalos de 5 minutos.
- El micro-inversor, a pesar de estar instalado al aire libre, está totalmente protegido del polvo e inmersión en agua.
- El hecho de tener instalación independiente sobre cada panel solar, hace que el sistema pueda ampliarse modularmente de acuerdo a las necesidades.

Por su alto rendimiento y mínimo mantenimiento, los micro-inversores resultan ser la opción más adecuada para los sistemas de aire acondicionado solar híbridos.

El micro-inversor al ir instalado en cada panel no se ve, por lo que lo único visible de la instalación son los paneles, el tendido eléctrico y el interruptor, creándose así una mejor estética al conjunto.

Tener la posibilidad de realizar monitoreo local al sistema hace del micro-inversor M215 un dispositivo muy apropiado, eficiente y de fácil manejo.

La principal contribución de este trabajo es que con éste micro-inversor se pueda trabajar en el modo isla, o sea aislado de la red y también se pueda interconectar a la red eléctrica, constituyendo esta situación a utilizar energías renovables.

Con la inversión realizada en el montaje del sistema, la Institución Universitaria Pascual Bravo gozará de los beneficios que estos sistemas fotovoltaicos traen consigo desde el punto de vista económico y ambiental.

6 RECOMENDACIONES

- De acuerdo con los resultados obtenidos en este proyecto, se podría orientar en el futuro el estudio e implementación de una microred de generación eléctrica en la Institución Universitaria Pascual Bravo en donde las unidades desarrolladas anteriormente se puedan integrar con facilidad a dicho sistema e interactuar con la red eléctrica y evaluar el impacto económico y ambiental en su implementación.
- El trabajo realizado se concibió para que la energía producida por el sistema solar fotovoltaico fuera aprovechada directamente para la producción de aire frío. Se podrían desarrollar sistemas en paralelo para almacenamiento de energía tales como baterías, súper-condensadores y celdas de combustible, esto con el fin de abordar temáticas educativas enfocadas a la gestión de la energía almacenada en micro redes y su interacción con la generación y la carga.
- Desarrollar algoritmos inteligentes que brinden el soporte necesario a la red eléctrica para mejorar la calidad del servicio y para una buena gestión de la energía sería un gran aporte.

7 ANEXOS

A. Manual instalación y operación del micro-inversor M215

B. Guía rápida de instalación del M215

C. Ficha técnica M215

D. Enlaces videos:

- <https://www.youtube.com/watch?v=N9IAMKZYeYQ>
- <https://www.youtube.com/watch?v=Ln8OATt7ifQ&list=PL58D5BDABF878C21A&index=8>
- <https://www.youtube.com/watch?v=OljX-0ikQx4&index=9&list=PL58D5BDABF878C21A>
- <https://www.youtube.com/watch?v=37F8K1QligA&list=PL58D5BDABF878C21A&index=11>

8 BIBLIOGRAFÍA

Andreu, F. (2013). *SolarTradex*. Obtenido de <http://solartradex.com/blog/micro-inversores-o-inversores-quien-da-mas/>

Ecopulse Renew life. (2015). Obtenido de <https://ecopulserenewlife.wordpress.com/>.

Energía Solar y renovables al día. (s.f.). Obtenido de <http://energiasolaraldia.com/>

Madhuwanti , J. (2006). *A High-Efficiency Resonant Solar Micro-Inverter* . New Jersey.

Ormaechea Ballesteros, C. (Febrero de 2012). *Análisis comparativo de inversores fotovoltaicos de conexión a red*. Leganés, España.

Pago inteligente de luz. (2012). Obtenido de <http://www.pagointeligentedeluz.com/equipos-solares/ventajas-de-un-sistema-residencial/>

Renewable energy world. (11 de Marzo de 2010). Obtenido de <http://www.renewableenergyworld.com/articles/print/volume-13/issue-1/solar-ene>

Todoproductividad. (2009). Obtenido de <http://todoproductividad.blogspot.com.co/2009/12/una-nueva-tecnologia-irrumpe-en-el.html>

Vargas, J., Isaac, I., & Giraldo, F. (2015). Ingeniar UPB. *Ingeniar*.

WeboSolar. (Enero de 2015). *Webosolar*. Obtenido de http://webosolar.mx/distribuidor/blog/3_cuando-utilizar-microinversores-o-inversor-central.html