

Análisis comparativo de las tecnologías de inversores On Grid utilizados en sistemas conectados a la Red

Comparative analysis of On Grid inverter technologies used in systems connected to the Grid

Leonidas Alexander Quispe Morales^{1[0009-0007-9865-1096]}; Alex Darwin Paredes Anchatipán^{2[0000-0002-0027-3469]}

^{1,2} Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas. 050201. La Maná - Cotopaxi. Ecuador

¹leonidas.quispe0277@utc.edu.ec ²alex.paredes4935@utc.edu.ec

CITA EN APA:

Quispe Morales, L. A., & Paredes Anchatipán, A. D. (2024). Análisis comparativo de las tecnologías de inversores On Grid utilizados en sistemas conectados a la Red. *Tesla Revista Científica*, 4(1), e286. <https://doi.org/10.55204/trc.v4i1.e286>

Recibido: 2023-10-25

Revisado: 2023-11-01 al 2023-11-20

Corregido: 2023-12-01

Aceptado: 2023-12-06

Publicado: 2024-01-03

TESLA

Revista Científica
ISSN: 2796-9320



Los contenidos de este artículo están bajo una licencia de Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) Los autores conservan los derechos morales y patrimoniales de sus obras. The contents of this article are under a Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license. The authors retain the moral and patrimonial rights of their works.

Resumen. A medida que la transición hacia fuentes de energía sostenibles aumenta, comprender las diversas tecnologías y beneficios de los inversores como la capacidad de maximización de producción de energía y reducción de riesgos son consideraciones importantes para el avance tecnológico. La investigación resalta que la elección entre microinversores e inversores convencionales depende de varios factores. Se destaca la importancia de tomar en cuenta aspectos como el tamaño de la instalación, presupuesto, presencia de sombras y necesidades específicas del cliente para determinar la tecnología que mejor se adapte a estas necesidades. El análisis de ventajas y desventajas entre los diferentes dispositivos muestra que comparten beneficios como el sistema MPPT a nivel de módulo y la reducción de riesgos, pero difieren en la capacidad de reemplazar el inversor central. Además, se resalta que existe una diferencia notable en la utilización de microinversores en instalaciones de escala reducida, pero disminuyendo su rentabilidad en proyectos de mayor tamaño. También se explora desafíos y oportunidades en la implementación de tecnologías renovables, destacando la importancia de la innovación y la investigación continua para desarrollar soluciones integrales y sostenibles. Finalmente, se muestra los diversos avances para la implementación de nuevas tecnologías con sistemas más inteligentes y robustos.

Palabras Clave: microinversores, sistemas fotovoltaicos, optimizadores de carga, tecnología renovable

Abstract: As the transition towards sustainable energy sources increases, understanding the various technologies and inverter benefits such as the ability to maximize energy production and reduce risks are important considerations for technological advancement. The research highlights that the choice between microinverters and conventional inverters depends on several factors. The importance of taking into account aspects such as the size of the installation, budget, presence of shadows and specific needs of the client is highlighted to determine the technology that best adapts to these needs. The analysis of advantages and disadvantages between the different devices shows that they share benefits such as module-level MPPT system and risk reduction, but differ in the ability to replace the central inverter. Furthermore, it is highlighted that there is a notable difference in the use of microinverters in small-scale installations, but their profitability decreases in larger projects. Challenges and opportunities in the implementation of renewable technologies are also explored, highlighting the importance of innovation and continuous research to develop comprehensive and sustainable solutions. Finally, the various advances for the implementation of new technologies with more intelligent and robust systems are shown.

Keywords: microinverters, photovoltaic systems, load optimizers, renewables technology.

1. INTRODUCCIÓN

En el siglo XXI, la demanda de electricidad sigue creciendo y las personas, así como los gobiernos, buscan constantemente fuentes de energía más limpias y que eviten la contaminación ambiental (Chura, 2020). La demanda de electricidad y la concientización por las diversas emisiones de gases de efecto invernadero han fomentado el desarrollo y la implementación de sistemas de generación de energía

renovable (Gómez, 2021). Por esta razón, la energía solar fotovoltaica se considera una solución viable para utilizar abundante luz solar para producir electricidad de forma limpia y renovable.

La aplicación a gran escala de sistemas fotovoltaicos conectados a la red ha convertido a los inversores On Grid en un componente importante que desempeña un papel clave en la eficiencia y estabilidad de estos sistemas (Vargas, 2023). Esta expansión ha dado lugar a una variedad de tecnologías de estos equipos, cada uno con sus propias características y métodos de integración en la red que actúan como un puente indispensable entre los módulos solares y la red eléctrica (Chura, 2020). Su función principal es facilitar la transformación eficiente de la energía solar en electricidad utilizable y asegurar una sincronización armoniosa con las demandas dinámicas de la red (Uriol, 2020).

El objetivo principal de los inversores conectados a la red radica en su capacidad de convertir la energía solar de corriente continua a corriente alterna (Wang, Tyuryukanov, & Monti, 2019). Sin embargo, la tecnología actual de estos ofrece una variedad de enfoques, desde topologías tradicionales de inversores de cadena hasta nuevas soluciones que incluyen tecnología de seguimiento de potencia máxima y gestión avanzada de la red (Farfan, Massen, & Cadena, 2021). En la demanda actual se comercializan diferentes equipos, cada uno con características únicas en términos de eficiencia, confiabilidad y capacidad de resultados a las situaciones cambiantes de la red (Uriol, 2020). Este análisis comparativo permitirá revelar las complejidades de estas tecnologías, comprender sus diferencias esenciales y proporcionar información importante sobre su desempeño en diversas condiciones operativas.

La importancia de este análisis comparativo se debe a la necesidad de comprender a fondo las ventajas y desventajas de cada tecnología de estos dispositivos, para garantizar decisiones más informadas en la planificación e implementación de sistemas solares conectados a la red (Ramos, Saavedra, & Bastidas, 2020). Además de la eficiencia energética y la capacidad de respuesta, también se explorarán aspectos como la respuesta ante condiciones adversas, la adaptación a las fluctuaciones de carga y la compatibilidad con la infraestructura de red existente, así como avances en el tipo de controladores (Farfan, Massen, & Cadena, 2021).

El propósito de este artículo es desarrollar una perspectiva analítica sobre cómo estas tecnologías contribuyen a la estabilidad y confiabilidad del suministro eléctrico en una situación en la que la transición a fuentes de energía renovables es esencial para resolver los problemas ambientales y satisfacer la creciente demanda energética. Al proporcionar una visión general en profundidad de las perspectivas de los inversores conectados a la red, este estudio pretende no sólo contribuir al conocimiento científico actual, sino también proporcionar orientación práctica a los profesionales de la industria, los encargados de la política pública y los investigadores en el campo de la conexión a la red.

2. DESARROLLO

El creciente desarrollo de las tecnologías de energía renovable ha generado el aumento en la investigación de análisis y desarrollo de inversores conectados a la red. Estos dispositivos, esenciales en la conversión de la energía eólica o solar en electricidad utilizable para los consumidores, desempeñan un

papel indispensable en la transición hacia sistemas eléctricos más sostenibles. En la presente revisión del estado del arte, se analizará la literatura existente sobre las diversas tecnologías y las aplicaciones específicas de este tipo de inversores conectados a la red.

Esta revisión se centrará en aspectos fundamentales como la eficiencia y el rendimiento de los inversores, priorizando los estudios y comparativas que han abordado esta temática. Además, se analizarán los avances en monitoreo y gestión de datos, elementos primordiales para evaluar y optimizar el funcionamiento a lo largo del tiempo. La integración progresiva con sistemas de almacenamiento de energía aumenta la complejidad de análisis, que se examinará mediante las investigaciones recientes que buscan determinar la capacidad de estos inversores en un trabajo conjunto con tecnologías de almacenamiento avanzadas.

Actualmente existen diversos tipos de inversores, entre los cuales se pueden mencionar los de cadena o *string*, son muy utilizados en el sector fotovoltaico ya que permiten la transformación de corriente DC proveniente de cierto conjunto o arreglo de los paneles a corriente AC para el consumo del usuario. Estos son una alternativa destacable debido a que pueden agrupar varios paneles con determinado número de inversores, y estos agruparlos en un transformador. En el estudio de Zúñiga (2022), se realiza el análisis de factores como eficiencia, calidad, confiabilidad, de los parámetros de red requeridos por la entidad reguladora del sistema eléctrico. Dentro de este análisis se evaluó una simulación de un Campo Solar de 330MW, considerado como una central de tipo D, en donde se pudo observar que el equipo cumple con el parámetro de desbalance de voltaje, trabajando entre $0.85-1.10 pu$ en la salida de cada inversor (Zúñiga, 2022). También se consideró un análisis de armónicos y se evidenció que los inversores de tipo cadena, poseen valores límites de distorsión armónica total de la señal del voltaje que se encuentran por debajo del 3%, indicado en el Código de Red de la CENACE (Zúñiga, 2022).

Por otro lado, la inclusión de micro-inversores en sistemas fotovoltaicos tiene una ventaja con respecto a otros, ya que permite el aprovechamiento de la energía en el punto de máxima potencia para cada uno de los módulos fotovoltaicos, sin considerar factores como la orientación, sombras y degradación que pueden presentarse en el sistema. En el estudio realizado por Murillo, Sánchez, y Meza (2022), se presentó el análisis de un sistema de micro-inversores establecido en el tejado del edificio de rectoría del Tecnológico de Costa Rica, compuesto por 31 paneles conectados individualmente a microinversores. Esta instalación después de 46 meses de generación logró producir un 48.892 MWh, obteniendo un desempeño por cada uno de los micro inversores de 1.570 MWh, sin embargo, se verificó mediante un cambio de orientación de la mitad de paneles, que existe un 3.6% mayor eficiencia los direccionados al norte que con respecto a los orientados hacia el sur (Murillo, Sánchez, & Meza, 2022).

Así también, existen otro tipo de inversores más avanzados, mismos que se encuentran en desarrollo y pueden generar eficiencias de 95 al 99%, con características como: compensación de armónicos y potencia reactiva; sistema de gestión de energía; evaluación de fallos; lectura en tiempo real de errores y comunicación con dispositivos dentro de la red. En el estudio realizado por Gruezo y Solis (2022), se

efectúa una investigación cualitativa de tipo documental en donde se analizaron seis fuentes bibliográficas, obteniendo como conclusión que incorporar los inversores inteligentes en sistemas fotovoltaicos de empresas o en viviendas presentan varios beneficios gracias a sus funciones complejas, tales como: la compensación de potencia reactiva, detección de errores en tiempo real y la gestión con mayor eficiencia de energía, así como, aumentar la cantidad de potencia generada, obteniendo principalmente como resultado la mejora de las actividades económicas para los usuarios (Gruezo & Solis, 2022).

El control de potencia, es una de las principales características dentro de un inversor de voltaje, para lo cual existen diversas soluciones para optimizar este tipo de sistema, sobretodo dentro de micro redes ya que dependen del ajuste de control correcto. En el estudio realizado por Redondo (2020), se analiza la respuesta de diversos controladores clásicos implementados dentro de un inversor para un sistema fotovoltaico dedicado al uso dentro de micro redes eléctricas. Se concluyó que para estos sistemas de regulación de potencia, es necesario la inserción de una componente de control integral, generando controladores de tipo PI o PID según la acción requerida para cada sistema, esto debido a que para que pueda existir una correcta comunicación con los componentes que conforman las demás micro redes se requiere tener una precisión alta de acuerdo con la normativa regulatoria de estos sistemas (Redondo, 2020).

Finalmente, la comparación entre diversas tecnologías permite identificar las mejores soluciones a diversos sistemas que requieren ser implementados en la cotidianidad, para esto se evalúan ciertos parámetros de los inversores y se identifica la mejor opción para un sistema en específico. En el estudio realizado por Ortiz (2015), se realizó el análisis del comportamiento de dos diferentes tecnologías de inversores dentro de un sistema fotovoltaico conectado a la red que provee 100 kW de potencia nominal, siendo estos un inversor de cadena y un inversor central. Dentro de esta investigación se concluyó que para zonas donde la radiación solar es baja (cielos nublados), la tecnología multietapa o de cadena logra una mejor adaptación a este tipo de condiciones de radiación, generando un rendimiento de 97.2%, mientras que para lugares donde el factor de radiación solar es alto (cielos despejados), la tecnología de inversor central resulta más económica y tiene un rendimiento del 94.3% (Ortiz R. , 2015).

Con base a este análisis bibliográfico, se ha podido determinar las diferentes aplicaciones y soluciones existentes en las tecnologías de inversores conectados a la red. Los indicadores de eficiencia y rendimiento, así como el monitoreo y gestión de datos son principios clave en la actualidad que determinan el valor tecnológico de estos dispositivos. Con estas indicaciones, se procederá a realizar un análisis comparativo de las diferentes tecnologías que forman parte del panorama actual con respecto a los sistemas fotovoltaicos y sus inversores, generando el contexto y resultados que permitan determinar la evolución y aplicaciones en la actualidad.

2.1. Desarrollo Histórico

A lo largo de los años, los inversores han experimentado un notable desarrollo, basado en las diferentes investigaciones referentes a los métodos de construcción de estos. En esta evolución, se han generado resultados como el incremento de la eficiencia, la reducción de pérdidas, y la optimización del tiempo de

vida de los componentes. Además, estos avances tecnológicos han sido factores clave para la disminución significativa de los costos asociados a estos dispositivos, marcando una diferenciación en la accesibilidad y sostenibilidad de la energía solar. Este desarrollo continuo confluye en la innovación y la eficiencia dentro del diseño de inversores, impulsando su rendimiento y colocándolos como uno de los componentes fundamentales para la generación de sistemas de energía renovable (Quezada, 2012).

La distribución de los inversores solares dio inicio en el año 1991 con el lanzamiento del primer modelo comercial por parte de la empresa tecnológica SMA. Este dispositivo pionero en la transformación de energía, generaba una eficiencia inicial que no lograba superar el 90%; también mostraba un rango de voltaje de entrada reducido y una capacidad de conversión de baja potencia, lo que permitía ser dirigido hacia aplicaciones con una cantidad limitada de paneles solares. En la Figura 1 se muestra el avance tecnológico de estos dispositivos, los cuales han marcado un avance con respecto a la llegada de la segunda generación en el año 2006, misma que revolucionó el mercado al incorporar un sistema de refrigeración mejorado para lograr gestionar la alta densidad de componentes y consiguiendo eficiencias notables del 96% (Quezada, 2012).



Fuente: (Quezada, 2012)

La tercera evolución dentro de estos dispositivos que marcó un antecedente en el desarrollo de los mismo fue en el año 2009, al lograr la implementación de sistemas trifásicos dentro de cada inversor, con potencias mínimas de 5 kW y una eficiencia mejorada, logrando llegar hasta un 98%. Estos puntos clave dentro del desarrollo de los inversores, no solo transformaron la eficiencia, sino que también aumentaron de una manera significativa la capacidad y versatilidad. Considerando todos estos aspectos, estos cambios tecnológicos han permitido que exista una mejora continua en el desarrollo de los inversores, generando una reducción de costos, mejor eficiencia y confiabilidad, siendo clave para el crecimiento y la introducción de estos elementos en la infraestructura de los sistemas de energía de fuentes renovables, principalmente la fotovoltaica (Quezada, 2012).

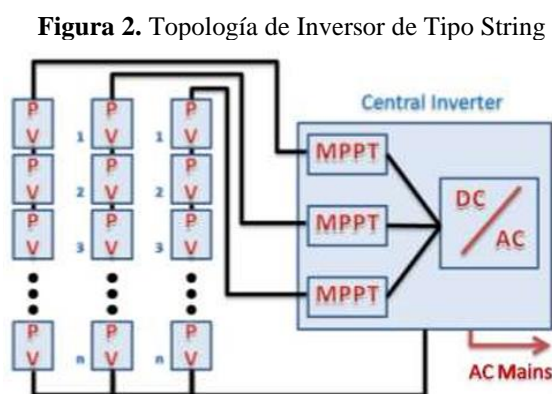
2.2. Tipos de Inversores

Dentro del entendimiento integral de los inversores conectados a la red, es indispensable el examinar la diversa cantidad dispositivos disponibles y así como las aplicaciones específicas de cada uno de ellos. Este análisis permitirá analizar las fortalezas y limitaciones de cada tipología de inversor, generando así un panorama para la selección de las tecnologías adecuadas dentro de diversos contextos y necesidades energéticas. En esta sección, se presentarán de manera detallada los diversos tipos de inversores, desde los

tradicionales inversores de cadena hasta los innovadores micro inversores y optimizadores de potencia, destacando sus características diferenciadoras y las áreas en las que demuestran un rendimiento óptimo.

2.2.1. Inversores de Cadena (String Inverters)

Los inversores de cadena funcionan a partir de la agrupación de módulos fotovoltaicos, que al combinarse en serie y en paralelo permiten al inversor convertir la energía de corriente continua generada por los módulos solares a corriente alterna o de consumo para los usuarios. Esta topología de inversor es la más utilizada en el mundo debido a su reducido costo de adquisición con respecto a otros modelos. La agrupación en serie de los paneles fotovoltaicos para el uso de este tipo de inversores es indispensable, ya que estos operan a niveles de tensión elevados y con un número reducido de seguidores del punto máximo de potencia (MPPT). En la Figura 2 se puede observar la topología de conexión de un inversor tipo string (Silva, 2019).



Fuente: (Silva, 2019)

Entre las características más relevantes de los inversores de cadena se encuentran su aceptable costo de adquisición y amplia disponibilidad en el mercado global, respaldada por la diversidad de fabricantes. Estos inversores generalmente ofrecen garantías que se relacionan con el tiempo de amortización generado en las plantas solares fotovoltaicas de aproximadamente 5 años. Sin embargo, la agrupación con módulos fotovoltaicos impide la instalación de paneles con diferentes potencias en la misma cadena, limitando la flexibilidad del sistema (Silva, 2019).

Otro aspecto a tomar en consideración, es que los niveles de tensión de operación en corriente continua (DC) son elevados, implica un mayor riesgo para los operadores considerando que sus terminales son accesibles y de fácil manipulación. La sensibilidad a los cambios de sombra es mucho más evidente en este tipo inversores, así como su menor flexibilidad es atribuible a la cantidad limitada de Puntos de Máxima Potencia (MPPT), mismos que afectan directamente a la eficiencia del sistema. Finalmente, estos presentan mayores riesgos operativos, como la posibilidad de incendios y descargas eléctricas, aspectos críticos a considerar en la evaluación de su aplicación para determinados entornos con riesgo crítico de incendio (Silva, 2019).

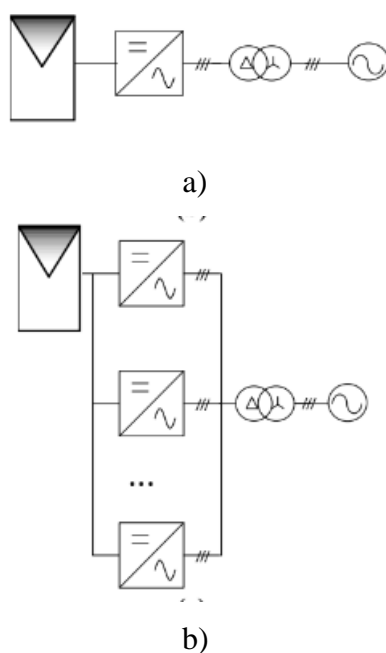
2.2.2. Inversores Centrales (Central Inverters)

Dentro del campo de generación fotovoltaica, el uso de inversores centralizados posee varias topologías de conexión, mismas que permiten el intercambio de energía entre todo el sistema fotovoltaico hacia la etapa de distribución mediante un transformador de baja frecuencia. Este tipo de conexiones genera ciertos

problemas como la disminuida eficiencia a potencias bajas, especialmente en entornos de radiación solar reducida, generando dificultades que requieren que todo el sistema permanezca operativo. Otro de los factores que genera problemas en la implementación de este tipo de inversores con transformador, es que son dispositivos pesados y voluminosos, generándose como una limitación para su consideración dentro del diseño (Liberos, 2021).

Así también se considera a los transformadores como filtros que permiten eliminar ciertas componentes modo común, es posible descartarlos dentro del diseño del inversor mediante técnicas que limiten la generación de las componentes mencionadas, considerando el cumplimiento de la normativa y regulaciones de conexión a red. Esto permite la utilización de inversores sin transformador (transformerless inverters), mismos que son más compactos, económicos y disminuyen notablemente las pérdidas de potencia asociadas a los transformadores (Liberos, 2021).

Figura 3. Configuración de Inversores Centralizados a) Inversor con Transformador b) Inversores Centralizados en Paralelo



Fuente: (Liberos, 2021)

En la Figura 3, se observan las configuraciones posibles desarrolladas como solución al aumento de la eficiencia de este tipo de inversores, en donde la conexión en paralelo de equipos inversores, es la que maneja cierto porcentaje de la potencia total. El trabajo en paralelo de inversores centralizados proporciona modularidad y permite la desconexión selectiva de estos dispositivos según la cantidad de potencia producida (Tiwari, Pandey, & Goswami, 2021).

La conexión en paralelo surge también como una estrategia de considerable desarrollo ya que permite la incorporación progresiva de estos equipos a medida que la potencia producida incrementa, evitando pérdidas determinadas en módulos inactivos. Esta modularidad centralizada mejora de manera sustancial la eficiencia del inversor centralizado, especialmente en el rango de baja potencia, abordando así las limitaciones inherentes al uso de un único inversor en situaciones de menor radiación solar (Liberos, 2021).

2.2.3. Microinversores

Los microinversores operan de manera independiente, transformando la energía de continua a alterna directamente en el sitio donde se encuentra cada panel solar conectado a ellos. Cada microinversor maximiza la generación de su panel asociado, permitiendo la conexión de uno o más paneles dependiendo del número de Puntos de Máxima Potencia (MPPTs) disponibles. Esta independencia funcional se prolonga inclusive a nivel de cada panel conectado, lo que implica que un panel con suciedad, fallos eléctricos o sombras afectará de menor manera a la producción del sistema en su conjunto (Cortés, Gómez, Betancur, Carvajal, & Guerrero, 2020).

Los microinversores están diseñados para conectarse a un solo panel solar, aunque algunos modelos como los duales, pueden manejar hasta dos paneles al mismo tiempo. Las capacidades de potencia de estos dispositivos varían, desde 245 W hasta 500 W en configuraciones duales, con ciertas variaciones dependiendo de la eficiencia del dispositivo. En términos comerciales dentro del mercado de adquisición de estos productos, se considera comúnmente que los microinversores son aquellos que poseen capacidades inferiores a 1 KW (Cortés, Gómez, Betancur, Carvajal, & Guerrero, 2020).

La principal ventaja de este tipo de inversores, consiste en su capacidad para ser asignado a su propio panel solar, lo que permite la generación de energía de manera independiente, maximizando la producción sin verse afectado por condiciones climáticas, sombras o suciedad en otros módulos fotovoltaicos. Esta independencia en la conexión hace que los sistemas implementados con microinversores sean escalables. Por la naturaleza en desarrollo y expansión de esta tecnología, se llevan a cabo estudios continuos que involucran la optimización y maximización de la potencia generada mediante técnicas de seguimiento del Punto de Máxima Potencia (MPPT) (Argadoña, 2022).

2.2.4. Optimizadores de Potencia

Estos dispositivos se consideran en un punto intermedio entre los microinversores y los inversores de cadena. Similar a los mencionados con anterioridad, los optimizadores de potencia son ubicados en el tejado, formando parte de las placas solares individuales o integrados con ellas. Pese a este parecido, a diferencia de los microinversores tradicionales, los proyectos con optimizadores de potencia mantienen una transmisión constante de energía generada a un inversor centralizado. En lugar de realizar la conversión de corriente continua a corriente alterna, los optimizadores de potencia “agregan” electricidad en corriente continua al mantener un voltaje constante antes de enviarla al inversor fotovoltaico, provocando una mayor eficiencia en comparación con los sistemas que utilizan solo un inversor de cadena (Velásquez, 2018).

De igual manera, estos equipos presentan algunas ventajas, ya que, al ser similar al funcionamiento de los microinversores, contribuyen a mejorar la eficiencia de la instalación a un menor costo. También ofrecen la capacidad de monitorear el rendimiento de cada panel solar de manera individual, reduciendo el impacto de las sombras en el rendimiento general de la instalación (Olczak, 2022). No obstante, es necesario considerar que la inversión inicial en una instalación con optimizadores de potencia siempre será más elevada que la de una configuración tradicional de cadena. Este tipo de dispositivos generalmente son

colocados en instalaciones donde el enfoque principal es el propietario, siempre que esté dispuesto a realizar una inversión alta para aumentar el desempeño de su sistema, considerando que es menor que una realizada con microinversores (Velásquez, 2018).

2.3. Eficiencia y Rendimiento

El Factor de Rendimiento (PR), conocido también como factor de calidad (factor Q), se representa comúnmente como un valor porcentual y constituye una medida crucial de la efectividad de los sistemas fotovoltaicos, sin considerar de la zona de instalación o capacidad instalada. Este factor refleja la relación entre la generación eléctrica efectiva y la producción teóricamente estimada (Salazar, 2016). El PR proporciona indicadores sobre la cantidad de energía perdida en una central fotovoltaica debido a diferentes causas, tales como pérdidas de potencia y resistencias de conducción.

En términos prácticos, a medida que este valor incrementa, la eficiencia del sistema mejora, sin embargo, es importante destacar que ningún sistema fotovoltaico logra alcanzar un valor de 100% en este indicador, ya que las pérdidas de energía en los diversos componentes no se pueden evitar. Sin embargo, los sistemas de eficiencia alta presentan valores de PR que generalmente varían entre el 70% y el 95%, dependiendo de las condiciones del entorno y optimización del inversor (Salazar, 2016).

2.4. Monitoreo y Gestión de Datos

El avance progresivo en el desarrollo e innovación tecnológica ha impulsado el campo de las tecnologías de monitoreo, siendo un factor crítico dentro de los sistemas de gestión en plantas de producción, así como en el control de los costos operativos (Rivera & Sotomayor, 2020). Dentro de los sistemas de potencia, esta monitorización impacta de manera directa en los costos de transmisión de las redes de distribución. Estos sistemas fotovoltaicos, requieren sistemas de control eficaces para su correcta operación, para lo cual se diseñan interfaces SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), mismos que permiten controlar procesos y monitorear variables, proporcionando información importante para una trazabilidad mejorada, almacenando datos de rendimiento y eficiencia (Rodríguez, Marreno, Díaz, & Benitez, 2021).

Por otro lado, la integración de sistemas basado en la nube con plataformas informáticas para equipos fotovoltaicos permite la adquisición de datos entre los diversos componentes que forma parte la instalación, generando informes detallados de producción y consumo para el conocimiento de los usuarios finales. Actualmente, los sistemas de monitorización remota en plantas fotovoltaicas avanzan hacia procesos de detección de errores y el desarrollo de técnicas y estrategias tecnológicas que permiten el diagnóstico y la evaluación de la confiabilidad del sistema fotovoltaico (Nogales, Guamán, Vargas, & Rios, 2018).

2.5. Integración con Sistemas de Almacenamiento

En el actual escenario de transición energética, identificado por el cambio necesario hacia fuentes de Energías Renovables No Convencionales (ERNC), las tecnologías de almacenamiento energético se presentan como componentes indispensables para garantizar la eficiencia y estabilidad de los sistemas energéticos. En este contexto, surge la tecnología Battery Energy Storage System (BESS), que abarca todo

un sistema de almacenamiento, mismo que es capaz de acumular energía en las baterías para su posterior utilización (Algorta, Loureiro, & Pereyra, 2023).

Básicamente, un BESS está conformado por sistemas de baterías interconectados con la red eléctrica mediante un bloque de conversión bidireccional AC-DC o inversor. También cuentan con un sistema de control que gestiona su nivel de energía y estado, ya sea para cargar y almacenar energía o para descargarla y suministrarla a la red. Las diversas aplicaciones y usos de un BESS se destacan por sus ventajas, siendo la nivelación de carga, la remoción de picos, el arbitraje de energía y la regulación de frecuencia algunas de las más notables (Algorta, Loureiro, & Pereyra, 2023).

La nivelación de carga constituye una función clave, permitiendo el almacenamiento de energía en situaciones de bajo consumo para así liberarla al sistema en momentos de alto consumo, logrando así un equilibrio en el suministro de energía. Por otra parte, la remoción de picos tiene como objetivo disminuir los picos de potencia, suavizando la curva de carga y evitando la necesidad de instalar capacidad extra para cumplir con las demandas variables (Algorta, Loureiro, & Pereyra, 2023).

El arbitraje de energía, otra aplicación relevante, consiste en almacenar energía durante periodos de costos bajos de generación para utilizarla en momentos de costos más elevados, aprovechando las variaciones de valor del recurso energético. Además, el BESS ayuda de manera eficiente a la regulación de frecuencia en redes eléctricas débiles, donde cambios radicales de carga producen variaciones en la frecuencia, al inyectar o consumir energía para eliminar estos efectos y mejorar la regulación de la frecuencia de la red (Algorta, Loureiro, & Pereyra, 2023).

2.6. Durabilidad y Confiabilidad

En el contexto actual de adquisición de inversores comerciales, los centralizados trabajan a un nivel de tensión de 1500 VDC, mientras que los inversores de cadena funcionan a un nivel de voltaje de 1000 VDC o incluso inferior, sin embargo, en los últimos años ciertas empresas han introducido al mercado inversores de cadena con voltajes de 1500 V (Ortiz E. , 2022). En la Tabla 1 se muestra una comparativa del cumplimiento de las normativas regulatorias con respecto a los requisitos técnicos, tomando en cuenta las diferentes tecnologías existentes sobre estos dispositivos (Marín & González, 2020).

Tabla 1. Comparación de los Tipos de Inversores

	Inversor de Cadena	Inversor Central	Microinversor
Control de Tensión	Si	Si	Si
Factor de Potencia (+/-1)	Si	Si	Si
Control de frecuencia / Respuesta de Frecuencia	Si	Si	No
Control de Potencia Activa	Si	Si	No
Control de Potencia Reactiva	Si	Si	No
Operación de Tensión 90% < V < 110%	Si	Si	Si

Fuente: (Marín & González, 2020)

Dos de las tres tecnologías mostradas en la Tabla 1, cumplen con los requisitos técnicos establecidos por la mayoría de entidades reguladoras para sistemas fotovoltaicos que inyecten más de 2500 kWp. Sin

embargo, se debe tomar en cuenta otros factores críticos a considerar, incluyendo parámetros como confiabilidad, eficiencia, repuesto, disponibilidad, garantías y costos. En términos de este último punto, se recomienda que los fabricantes de inversores solares ofrezcan un período de garantía estándar de 5 años en sus equipos. También, se requiere que existan un soporte técnico con tiempos de respuesta inferiores a 24 horas, adaptados a la zona de instalación (Marín & González, 2020).

En cuanto a las certificaciones de los inversores, se aconseja que los dispositivos que van a ser instalados cumplan con evaluaciones recomendadas de variación de potencia reactiva, activa, anti-isla, entre otras, además de contar con certificaciones tales como: UL1741, IEEE 1547 y IEEE 1547.2, siendo estos estándares una certificación de la calidad y seguridad de los inversores, garantizando su conformidad con las normativas específicas del sector (Marín & González, 2020).

2.7. Análisis Comparativo

Para evaluar y analizar los diversos tipos de inversores, se requiere comparar sus ventajas y desventajas en diversos puntos dentro de la instalación y en su comportamiento. Uno de los puntos que permite realizar esta comparación es determinar cuál de las instalaciones genera mayor cantidad de pérdidas en el conductor. Se requiere considerar que usualmente se utiliza cable de cobre dentro de las dos instalaciones obteniendo un número igual de resistividad (Sanchez, 2023). En un sistema con microinversores, el tamaño de cables es reducido al estar colocados junto a los paneles fotovoltaicos, lo que por consecuencia otorga una superficie de cable reducida. Para instalaciones de inversor central, se requiere de una sección transversal de mayor tamaño debido a que la distancia hacia el módulo es mayor en este tipo de instalaciones, con esto se obtiene que la pérdida estimada por cableado varía entre un 12% para inversores central y microinversores (Lagarde, Beillard, Mazen, Denis, & Leylaverne, 2021).

Así también se debe considerar que los límites de temperatura para los que se diseñan los inversores para trabajar no deben sobrepasar estos rangos. Esta variación debe mantenerse entre -25° a 60° C en inversores central, mientras que para microinversores debe estar entre -40° a 65° . Esta diferencia se motiva por el tipo de instalación, es decir, para el caso de los microinversores, al estar justo por debajo del panel solar recibe variaciones de temperatura mucho mayor que un inversor central ya que generalmente este se ubica bajo techo (Lagarde, Beillard, Mazen, Denis, & Leylaverne, 2021).

Tabla 2. Características técnicas de las tecnologías existentes.

	Inversor Central	Inversor de Cadena	Microinversor	Optimizador de Potencia
Rango de Potencia Nominal AC	2 KW a 500 KW	3 KW a 8.2 KW	250 W a 320 W por Panel	3 KW a 10 KW
Rango de Voltaje MPPT	160 V a 480 V	200 V a 800 V	No admite Voltajes AC	380 V
Corriente MPPT (1-2)	16A a 722A	12A a 18A	NA	9A a 25.5 A
Eficiencia	98.4%	98.1%	97.5%	99.2%
Características Especiales	Control inteligente de capacidad de batería y tiempo de descarga. Adaptabilidad a la carga.	Insolador DC Integrado. Medidor de Energía.	Puede conectarse a diversos tipos de paneles solares.	Rápida Desconexión. Insolador DC Integrado. Aceptación de Batería.
Costo	\$	\$\$	\$\$\$	\$\$\$

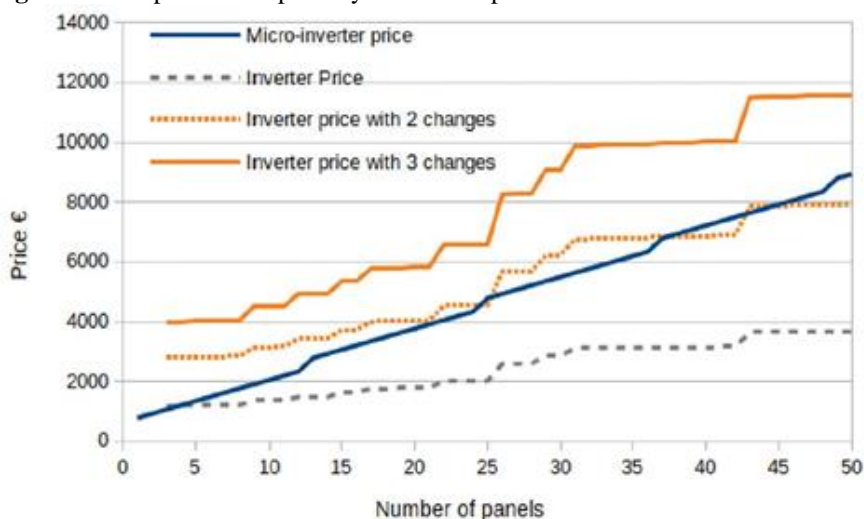
Fuente: (Ruchira, Tamrakar, Patel, & Choudekar, 2022)

Estos dispositivos reciben rigurosas pruebas que permiten la simulación de climas extremos, así como condiciones ambientales que pueden perjudicar el funcionamiento del sistema. Los microinversores están expuestos al medio ambiente de manera directa, por lo que son afectados por la temperatura y humedad, lo que genera un menor tiempo medio de fallo (MTTF). Estos se pueden adaptar a temperaturas de 30° a 70° C y condiciones ambientales secas a extremadamente húmedas (Ruchira, Tamrakar, Patel, & Choudekar, 2022). En la Tabla 2 se pueden observar las características principales de los diferentes inversores, microinversores y optimizadores de carga de las principales empresas comerciales.

Otro aspecto necesario tomar en cuenta es la seguridad que poseen los inversores centrales con respecto a los microinversores ante fallos de conexión a tierra, lo que genera riesgos como incendio por cortocircuito y electrocución. Para el caso de inversores centrales este evitará que la corriente pase a través de las líneas eléctricas, sin embargo, los conductores que vienen desde el panel solar hasta el dispositivo que tendrá una tensión alta, mientras que en el caso de microinversores, cuando se presentan un fallo de energía, estos se apagan y suspenden el paso de corriente en su salida, generando una mayor protección contra esta problemática (Quispe, 2022).

Así también, la vida útil de un microinversor es de aproximadamente de 30 años, mientras que un tipo cadena es de 10 años, considerando esto, al finalizar un contrato de autoconsumo de 25 años se requiere realizar cambiar como mínimo dos veces el equipo en el caso de inversor central, mientras que para el caso de los microinversores puede seguir operativo considerando que el fabricante garantice un tiempo de 25 años antes de ser reemplazado (Lagarde, Beillard, Mazen, Denis, & Leylaverigne, 2021).

Figura 4. Comparativa de precio y número de paneles entre inversores e inversores



Fuente: (Lagarde, Beillard, Mazen, Denis, & Leylaverigne, 2021)

En el estudio realizado por Lagarde et al. (2021), se realiza una comparación de tres escenarios donde se debe reemplazar los inversores durante un periodo de 25 años. En la Figura 4 se puede observar los costos relacionados con estos sistemas, en donde se depende la cantidad de paneles de la instalación. Para esto se consideró el microinversor IQ7 de Enphase, y el inversor central SMA SunnyBoy, incluyendo el valor de los conductores. Como el inversor posee una vida útil de 8 a 12 años, la curva de color plomo no representa la inversión total del sistema ya que es requerido entre dos a tres cambios durante el periodo

de los 25 años, lo que no representa un costo real, sin embargo, sirve como referencia para el presente análisis (Lagarde, Beillard, Mazen, Denis, & Leylavergne, 2021).

El costo de instalación es un factor determinante en la selección de un sistema, dentro de este parámetro se tiene que aproximadamente el costo por kilowatt para sistemas de inversor tipo cadena es de casi 750 dólares, mientras que para microinversores es de 1150 dólares y optimizadores de potencia alrededor 1000 dólares. Como se observa en la Tabla 3, la diferencia entre cada uno de los sistemas es 15% mayor el optimizador de potencia que uno de cadena y 15% menor que un microinversor.

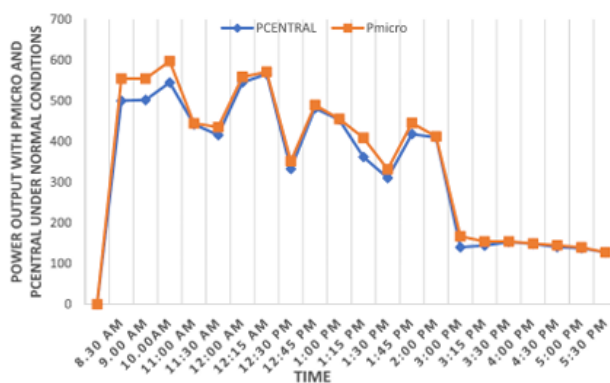
Tabla 3. Comparativa de Costos por los diferentes tipos de inversor.

	Inversor de Cadena	Microinversor	Optimizador de Potencia
Costo por Watt	\$0.75	\$1.15	\$1
Costo por Kilowatt	\$750	\$1150	\$1000
Sistema de 4Kw	\$3000	\$4600	\$4000
Sistema de 5Kw	\$3750	\$5750	\$5000
Sistema de 6Kw	\$4500	\$6900	\$6000
Sistema de 10Kw	\$7500	\$11500	\$10000

Fuente: (Quispe, 2022)

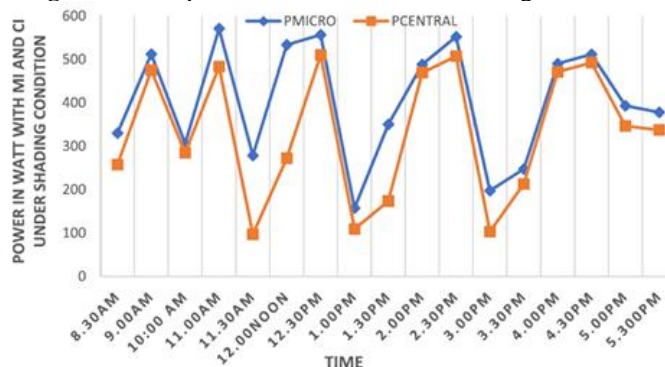
La producción de energía es uno de los factores más considerables para la selección de un tipo de inversor u otro, para el cual (Ruchira, Tamrakar, Patel, & Choudekar, 2022) realiza un análisis entre la energía producida en sombras tal y como se observa en la Figura 5 y bajo condiciones normales de operación (Figura 6). Tomando en consideración estas gráficas se concluye que la generación de energía bajo las dos condiciones es mucho mayor para el microinversor que para el inversor central, obteniendo un 16.5% más de energía producida (Ruchira, Tamrakar, Patel, & Choudekar, 2022).

Figura 5. Comparativa de Producción entre Microinversores e Inversores en condiciones normales



Fuente: (Ruchira, Tamrakar, Patel, & Choudekar, 2022)

Figura 6. Comparativa de Producción de Energía en sombra



Fuente: (Ruchira, Tamrakar, Patel, & Choudekar, 2022)

También se realizan comparaciones para el tema de almacenamiento de energía, sin embargo, en los microinversores no se puede generar esta acción para corriente directa, debido a que estos ya emiten directamente la alimentación de energía en AC. Sin embargo, para solucionar este problema, las empresas comercializadoras y desarrolladoras de estos dispositivos venden baterías que permiten el almacenamiento de energía AC asegurando el funcionamiento y compatibilidad correcta. Por otro lado, considerando los optimizadores de potencia, al convertir directamente la energía DC a DC no requieren de una batería especial como los microinversores, reduciendo el costo de implementación. Dentro de estos sistemas con optimizadores se ocupan baterías de los sistemas de inversores tradicionales como central o de cadena (Quispe, 2022). En la Tabla 4 se puede observar los detalles más destacados sobre las distintas tecnologías observadas en el estudio.

Tabla 4. Resumen de Características Principales de las Tecnologías

	Inversores	Microinversores
Potencia	2 KW a 200 KW	100 W a 500 W
Tamaño de Instalación	Únicamente Instalaciones Grandes	Cualquier Tipo de Instalación
Garantía	5 a 8 años	10 a 25 años
Tiempo de Vida	8 a 12 años	30 años
Precio	\$\$	\$\$\$
Acción en Sombras o Fallas	Alguna Falla o Sombra Afecta a todo el sistema o arreglo de paneles	La sombra o falla solo afecta al panel específico ya que los otros no están conectados entre sí
Configuraciones Heterogéneas de Orientación e Inclinación	En este tipo de instalaciones no se puede colocar solo un inversor ya que el MPPT es diferente	Se puede realizar instalaciones con diversa orientación en inclinación ya que el MPPT es independiente en cada uno
Variabilidad del número de paneles conectados y escalabilidad	Es complicado añadir componentes nuevos porque el inversor esta dimensionado para el sistema inicial	Al trabajar independientemente en cada panel, se puede agregar nuevos módulos sin problema
Variabilidad de los Paneles	No se puede conectar paneles de diferentes fabricantes porque poseen características distintas que pueden afectar al sistema	Colocar diferentes paneles con diferentes características no influencia en el sistema
Mantenimiento	Se puede acceder fácilmente al inversor para realizar el mantenimiento	Al estar conectado debajo del panel solar es de difícil acceso dependiendo de la ubicación de la instalación
Seguridad	La corriente aumenta por la conexión en paralelo lo que en un corto circuito puede generar incendios	La corriente recibida es la misma del panel solar, es decir posee una corriente baja

Fuente: (Quispe, 2022)

3. APLICACIONES PRÁCTICAS O FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Elegir entre inversores, microinversores y optimizadores de energía es un factor importante al momento de seleccionar que tipo de sistema solar elegir. Los dos últimos ofrecen ventajas significativas, como mayor producción de energía por cada módulo, mayor seguridad logrando disminuir el riesgo de incendio, capacidad de monitoreo de cada módulo de forma independiente y evita los errores debido a pérdidas por incompatibilidad del sistema. La principal diferencia consiste en que con un optimizador el inversor central o string no se puede reemplazar, mientras que con un microinversor la transformación de CC a CA se efectúa de manera directa en el módulo solar. Este punto genera importantes consideraciones al momento de evaluar la eficiencia y flexibilidad de cada sistema, pese a que la optimización tiene ciertas ventajas, la posibilidad de cambiar el inversor central proporcionado por un microinversor influye en la decisión dependiendo de las preferencias concretas de la instalación solar.

La decisión de selección al momento de establecer un microinversores u otros sistemas tradicionales de conversión de energía en un proyecto solar requiere de un análisis de varios aspectos. En muchos casos, la elección del usuario se basará en la familiaridad y comodidad con el equipo en particular, sin embargo, el tipo de inversor solar que seleccione dependerá del método de instalación, las dimensiones de la instalación para acomodar los paneles y la presencia de objetos que proyecten sombras (y con qué frecuencia esos objetos afectan los paneles). Otros factores clave incluyen la cantidad de energía requerida para cumplir con el consumo del cliente y el presupuesto disponible.

Tomando en cuenta diversos aspectos de la actualidad mundial, las oportunidades presentadas dentro del tema de inversores y energía renovable buscan generar beneficios integrales. Entre los puntos a tomar en cuenta se destaca la posibilidad de expandir el uso de energía limpia, reducir la dependencia de combustibles fósiles, disminuir emisiones nocivas y mitigar riesgos ambientales. Otros de los beneficios resultan clave en la economía y sociedad al generar energía en lugares remotos, facilitar la producción local en hogares, empresas y edificios públicos, así como asegurar la seguridad energética a nivel mundial (Ottonelli, Brito, Costa, & Silveira, 2021).

Otro enfoque se centra en los beneficios económicos y tecnológicos que impulsan el desarrollo del sector, desde la participación en concursos gubernamentales hasta la incentivación de la investigación y el establecimiento de la cadena productiva. Este desarrollo no solo incrementa el valor en la cadena productiva, sino que también contribuye significativamente a la recolección de impuestos para el estado. Finalmente, el aspecto social del sector destaca que la generación de empleo, el impulso de carreras profesionales y la ampliación del acceso a la generación distribuida, especialmente para familias de bajos ingresos es un factor clave para el desarrollo de estos sistemas (Ottonelli, Brito, Costa, & Silveira, 2021).

Para fomentar el sector, es esencial generar políticas públicas que impulsen la participación en concursos de energía renovable y promuevan la generación distribuida. Estas políticas deben incluir normativa clara, así como brindar seguridad jurídica al sector. La regulación de parques híbridos puede facilitar la utilización de un espacio para la producción de energía a partir de múltiples fuentes renovables. Destinar recursos públicos al desarrollo de investigaciones e innovaciones, no solo para universidades y centros de investigación, sino también para empresas privadas, puede estimular la creación de nuevas soluciones para el sector (Ottonelli, Brito, Costa, & Silveira, 2021).

Además, el desarrollo de la industria del silicio purificado y la creación de una cadena productiva para el ensamblaje de paneles e inversores, así como la producción de estos equipos son fundamentales para que el Ecuador pase de ser importador a productor de tecnologías, lo que requiere incentivos tributarios, financieros y fiscales para atraer a empresas privadas a participar en la cadena productiva. Otro aspecto relevante es la dificultad de acceder a líneas de financiamiento para la compra de sistemas fotovoltaicos, especialmente en lo que respecta a la generación distribuida, y destaca la importancia de mejorar el acceso de las personas a créditos para la generación de energía de autoconsumo (Ottonelli, Brito, Costa, & Silveira, 2021).

La revisión bibliográfica efectuada genera una visión integral sobre los casos adecuados para la utilización de uno u otro sistema. Pese a esto, es importante tomar en cuenta las limitaciones existentes dentro de la realización de un estudio basado en investigaciones previas. Cada estudio analizado en el presente documento, presenta diversas restricciones, que derivan en los resultados obtenidos con simulaciones para los diversos casos analizados. Es determinante la comparación entre las conclusiones de diversos autores en escenarios de prueba similares, ya sean teóricos o experimentales. En este contexto, algunos autores llegan a las mismas conclusiones, como en el incremento de la generación de energía con el uso de microinversores, pero también destacan la ventaja de los optimizadores, que logran resultados equivalentes con una inversión inicial menor.

4. CONCLUSIONES

A partir de este estudio comparativo, se puede concluir que la decisión de utilizar microinversores u optimizadores de carga en lugar de otros sistemas de transformación de energía en instalaciones fotovoltaicas es variable y depende de diferentes factores. Por un lado, los microinversores son factibles para instalaciones con un tamaño pequeño, como sistemas residenciales de autoconsumo que produzcan potencias bajas, mientras que su viabilidad se reduce en instalaciones de mayor tamaño debido al costo total.

Este análisis destaca la importancia de tomar en cuenta los aspectos técnicos y económicos al seleccionar entre las diferentes tecnologías de inversores dentro de la generación de energía en instalaciones fotovoltaicas, siendo esta elección basada en factores como el tamaño de la instalación, el presupuesto disponible y las características específicas del sitio de instalación, destacando la necesidad de evaluar detenidamente cada opción antes de seleccionar una tecnología específica.

La investigación presenta los desafíos y oportunidades en la implementación de tecnologías fotovoltaicas, principalmente en el contexto actual donde se genera una transición mundial hacia fuentes de energía renovable, siendo la intermitencia de este tipo de alternativas energéticas, una relación indispensable con los sistemas como los microinversores u optimizadores de carga, destacando la necesidad de buscar soluciones integrales que consideren todos los aspecto mostrados dentro de este estudio.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

<i>Participar activamente en:</i>	Quispe Morales Leonidas Alexander	Alex Drwin Paredes Anchatipán
<i>Conceptualización</i>	X	X
<i>Análisis formal</i>	X	X
<i>Adquisición de fondos</i>	X	X
<i>Investigación</i>	X	X
<i>Metodología</i>	X	X
<i>Administración del proyecto</i>	X	X
<i>Recursos</i>	X	X
<i>Redacción –borrador original</i>	X	X
<i>Redacción –revisión y edición</i>	X	X
<i>La discusión de los resultados</i>	X	X
<i>Revisión y aprobación de la versión final del trabajo.</i>	X	X

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación en el desarrollo de esta investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los Autores declaran que no existen conflicto de intereses con su investigación.

RECONOCIMIENTO A REVISORES:

La revista reconoce el tiempo y esfuerzo del editor Juan Carlos Santillán Lima, y de revisores anónimos que dedicaron su tiempo y esfuerzo en la evaluación y mejoramiento del presente artículo.

REFERENCIAS

- Algorta, M., Loureiro, S., & Pereyra, F. (2023). *Sistema de Almacenamiento a Gran Escala con Baterías*. [Tesis de Grado], Repositorio URU.
- Argadoña, G. (2022). *Diseño e implementación de un microinversor para sistemas fotovoltaicos domiciliarios*. [Tesis de Grado], Repositorio UCSM. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglhttps://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12920/11989/74.0217.IE.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chura, V. (2020). *Diseño, implementación y análisis económico de un sistema fotovoltaico conectado a la red (sfcr) de 3 kw con inversor string analizado en las condiciones geográficas y climatológicas de la ciudad de Juliaca*. [Tesis de Grado], Repositorio UNJ.
- Cortés, C., Gómez, G., Betancur, F., Carvajal, S., & Guerrero, 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. Obtenido de <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/63732513/2256-5337-teclo-23-47-320200624-92185-1o40vfg-libre.pdf?1593061317=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DTeclo.pdf&Expires=1700522655&Signature>
- Farfan, R., Massen, C., & Cadena, C. (2021). Modelado de Inversores para sistemas fotovoltaicos conectados a la red. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 25, 175-185.
- Gómez, A. (2021). *Diseño y desarrollo de un inversor de corriente trifásico de 5 kW conectado a la red*. [Tesis de Maestría], Repositorio UDC.
- Gruezo, D., & Solis, V. (2022). Inversores inteligentes de energía solar fotovoltaica. *Polo del Conocimiento*, 7(4), 1246-1266. doi:10.23857/pc.v7i4.3887
- Lagarde, Q., Beillard, B., Mazen, S., Denis, M., & Leylavergne, J. (2021). Performance ratio of photovoltaic installations in France: Comparison between inverters and micro-inverters. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jksues.2021.11.007>
- Liberos, M. (2021). *Técnicas de control para la conexión en paralelo de inversores aplicadas a convertidores de interconexión entre los buses de CC y CA de microrredes híbridas e inversores fotovoltaicos centralizados de alta potencia*. [Tesis de Doctorado], Repositorio UPV. Obtenido de <https://riunet.upv.es:443/bitstream/handle/10251/168190/Lberos+-T%C3%A9cnicas+de+control+para+la+conex%C3%B3n+en+paralelo+denversores+aplcadas+a+convertidores+dente....pdf?sequence%3D1&isAllowed=y>
- Marín, J., & González, P. (2020). Lessons Learned from Design of Photovoltaic solar parks: An Approach on Technical Characteristics. *Revista de I+D Tecnológico*, 16(1), 54-60. Obtenido de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/article/view/2440/3266>
- Murillo, L., Sánchez, H., & Meza, C. (2022). Evaluación de la producción energética para el sistema fotovoltaico con microinversores instalado en el edificio de rectoría del Tecnológico de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 35, 67-78. doi:<https://doi.org/10.18845/tm.v35i7.6334>

- Nogales, R., Guamán, J., Vargas, C., & Rios, A. (2018). Cloud Monitoring Platform for the Operation of a Photovoltaic Solar charging station for electric vehicles. *Revista Técnica "Energía"*(15), 80-89. Obtenido de <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/326/311>
- Olczak, P. (2022). Energy Productivity of Microinverter Photovoltaic Microinstallation: Comparison of Simulation and Measured Results—Poland Case Study. *Energies*, 15(20). doi: <https://doi.org/10.3390/en15207582>
- Ortiz, E. (2022). *Desarrollo de una interfaz de monitoreo y análisis de parámetros fotovoltaicos de un SFCR con microinversor*. [Tesis de Grado], Repositorio UNAJ. Obtenido de chrome-extension://efaidhttp://repositorio.unaj.edu.pe:8080/bitstream/handle/UNAJ/238/Tesis_EJOQ_EPIER.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ortiz, R. (2015). *Análisis comparativo de inversores fotovoltaicos de conexión a red de diferentes tecnologías*. [Tesis de Grado], Repositorio UC3M. Obtenido de <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/26452>
- Otonelli, J., Brito, U., Costa, A., & Silveira, J. (2021). Oportunidades e desafios do setor de energia solar fotovoltaica no brasil. *Econ. NE*, 52(4), 8-26. Obtenido de <https://www.bnb.gov.br/revista/ren/article/view/1199/905>
- Quezada, A. (2012). *Diseño e implementación de inversor fotovoltaico de bajo costo*. [Tesis de Grado], Repositorio U de Chile. Obtenido de https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112523/cf-quezada_an.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Quispe, L. (2022). *Análisis Comparativo entre inversores y microinversores para la generación de energía fotovoltaica*. [Tesis de Maestría], Repositorio Universidad de Barcelona. doi:https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/194049/1/TFM_Trinidad%20Guti%20c3%a9rrez.pdf
- Ramos, A., Saavedra, A., & Bastidas, J. (2020). Control en cuatro cuadrantes de un inversor de puente completo conectado a la red eléctrica. *Revista UIS Ingenierías*, 19(1), 117-130.
- Redondo, A. (2020). *Análisis comparativo de controladores clásicos en inversores con Análisis comparativo de controladores clásicos en inversores con aplicaciones en microrredes aplicaciones en microrredes*. [Tesis de Grado], Universidad de la Salle. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1583&context=ing_electrica
- Rivera, P., & Sotomayor, N. (2020). Microinversor Tipo Flyback con Control No lineal para Aplicaciones Fotovoltaicas de Baja Potencia. *Revista Politécnica*, 46(1). doi:<https://doi.org/10.33333/rp.vol46n1.06>
- Rodriguez, A., Marreno, J., Díaz, D., & Benitez, I. (2021). Modernización del sistema de control de los parques solares ‘Santa Teresa II’ (Guantánamo) y ‘Bagacera de Cruces’ (Cienfuegos). *LADEE*, 2(1), 21-32. doi:<https://doi.org/10.17981/ladee.01.02.2021.3>
- Ruchira, Tamrakar, E., Patel, R., & Choudekar, P. (2022). Customized design of microinverter based solar photovoltaic system for small houses in developing nations. *Renewable Energy Focus*, 42, 178-189. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ref.2022.06.004>
- Salazar, E. (2016). *Análisis del factor de rendimiento y eficiencia para centrales de generación de energía solar fotovoltaica*. [Tesis de Grado], Repositorio UPS. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13100/3/UPS%20-%20KT01338.pdf>
- Sanchez, L. (2023). *Análisis y propuesta de solución de fallas de comunicación en un sistema de monitoreo de microinversores*. [Tesis de Grado], Repositorio TecNM. Obtenido de <http://51.143.95.221/handle/TecNM/6555>
- Silva, G. (2019). *Comparativo da geração em uma usina fotovoltaica utilizando duas diferentes topologias de inversores fotovoltaicos*. [Tesis de Maestría], Repositorio UFMG. Obtenido de <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/55230/1/TCC%20Corrigido.pdf>
- Tiwari, S., Pandey, R., & Goswami, A. (2021). Performance Comparison of 3kW Residential Grid-Connected Photovoltaic System between Microinverter and String Inverter Topology using System Advisor Model. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 8(9). Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnhttp://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/73252652/IRJET_V8I9166-libre.pdf?1634794806=&response-content-

disposition=inline%3B+filename%3DIRJET_Performance_Comparison_of_3KW_Resi.pdf&Expires=1701831392&Signat

- Uriol, J. (2020). *Estudio de la viabilidad técnica y económica de un sistema de suministro fotovoltaico con respaldo en la red eléctrica en la empresa El Chalán S.A.C.* [Tesis de Grado], Repositorio UDP.
- Vargas, A. (2023). *Análisis de armónicos en redes de distribución con recursos renovables conectados a través de inversores.* [Tesis de Grado], Repositorio UDLA.
- Velásquez, H. (2018). *Impacto de la Generación Solar en la Estabilidad de los Sistemas de Potencia.* [Tesis de Grado], Repositorio TECNM. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnhttp://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/2213/MDRPIECA2018072.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Wang, J., Tyuryukanov, I., & Monti, A. (2019). Design of a novel robust current controller for grid-connected inverter against grid impedance variations. *Electrical Power and Energy Systems, 110*, 454-466.
- Zuñiga, F. (2022). *Evaluación de un inversor tipo cadena con aplicación a sistemas fotovoltaicos On-Grid respecto al Código de Red 2.0.* [Tesis de Maestría], Repositorio BUAP. Obtenido de <https://repositorioinstitucional.buap.mx/items/8b39691e-1e39-4c57-b04a-007e2e4b9331>