

ANÁLISIS DE PARÁMETROS EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A RED COMO GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN LA CIUDAD DE JULIACA

Data de submissão: 07/05/2024

Data de aceite: 03/06/2024

Juan churata Huaraya

Universidad Nacional de Juliaca
Juliaca -Perú
<https://orcid.org/0000-0001-6908-5741>

Huber Rony Hurtado Arhuata

Universidad Nacional de Juliaca
Juliaca -Perú
<https://orcid.org/0000-0003-0417-1045>

Junior Torres Yucra

Universidad Nacional de Juliaca
Juliaca -Perú
<https://orcid.org/0000-0001-9789-9013>

Vilma Sarmiento Mamani

Universidad Nacional de Juliaca
Juliaca -Perú
<https://orcid.org/0000-0002-5520-716X>

Miguel Washington Soncco Vilcapaza

Universidad Nacional de Juliaca
Juliaca -Perú
<https://orcid.org/0000-0003-2385-1820>

RESUMEN: En este estudio se evalúa el comportamiento de los parámetros clave en sistemas fotovoltaicos conectados a la red de baja tensión en Juliaca, con el objetivo de satisfacer la creciente demanda de energía. Utilizando datos de la Universidad

Nacional de Juliaca, se registró una irradiancia promedio mensual de 820 W/m². Se determinan las viabilidades técnicas para la implementación de estos sistemas, considerando la infraestructura existente y la calidad de la energía inyectada a la red. Además, se destaca la necesidad de realizar estudios de carga en cada subestación de baja tensión y seleccionar los equipos más eficientes. El análisis sugiere que la implementación masiva de sistemas fotovoltaicos conectados a la red en Juliaca impactará diversos indicadores, requiriendo una evaluación individual en cada subestación y una atención especial en la calidad de la energía inyectada.

PALABRAS CLAVE: Calidad de energía; generación distribuida; sistemas fotovoltaicos.

INTRODUCCION

El desarrollo de la generación distribuida en el Perú ha sido notablemente lento, careciendo de una regulación adecuada para su implementación. Este concepto se centra en el uso de fuentes de energía renovable no tradicionales y de menor capacidad. En

caso de integrarla al sistema interconectado, será necesario un análisis exhaustivo de los parámetros inherentes a los sistemas fotovoltaicos conectados a la red. El propósito de esta investigación es examinar cómo estos parámetros se comportan en los sistemas fotovoltaicos como generación distribuida, en respuesta a la creciente demanda de energía eléctrica y la introducción de energía solar en las redes de distribución de baja tensión, así como los posibles conflictos que puedan surgir. Se destaca la importancia de la calidad de la energía suministrada, en donde Echeverría, Rodríguez, Julio, Julio, & Rodríguez (2017), que empleando diversas técnicas estadísticas dentro del entorno de Matlab y aprovechando las lecturas del ION 7650, se evidencia un enfoque más efectivo. La generación distribuida conectada al sistema eléctrico se revela como una opción favorable tanto en términos económicos y en el aspecto ambiental (Díaz Santos et al., 2012). El sistema energético de Cuba se fundamenta principalmente en el petróleo, lo que motiva discretos pero significativos avances en la adopción de estas tecnologías. En los países europeos, se ha estudiado el comportamiento de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red mediante parámetros como el índice medio estadístico de relación, observando mejoras desde 0,60 hasta 0,85. (Drews, 2007). Este incremento se atribuye, entre otras razones, a los fabricantes, quienes demandan menos tiempo para el mantenimiento, la operación y el análisis de datos, elementos clave para la mejora continua y para obtener una comprensión precisa de la calidad del servicio eléctrico; Dávila, (2012) Se presenta un modelo en el cual se da prioridad a la opinión de los propios usuarios, con una muestra de 3803 usuarios. Finalmente, se concluye que la calidad de la salida no se diferencia de la calidad funcional en el campo. Además, se han mostrado otras opciones de simulación a través de programas como PSIM y PROTEUS, validando así los sistemas de control. (Cordova, 2016). Y además cumple con las exigencias.

MATERIALES Y METODOS

Los métodos generales para supervisar los SFCR (sistemas fotovoltaicos conectados a la red) se encuentran detallados en la norma UNE-EN 61724 (1998), la cual especifica los parámetros recomendables para su medición en tiempo real, que son los siguientes:

Parámetros	Símbolo	Unidad
Irradiancia en el plano	G_I	W/m^2
Temperatura ambiente	T_{amb}	$^{\circ}C$
Temperatura del modulo	T_{mod}	$^{\circ}C$
Velocidad del viento	S_W	m/s
Voltaje de salida del arreglo FV	V_{DC}	V
Corriente de salida del arreglo FV	I_{DC}	A
Potencia de salida del arreglo FV	P_{DC}	kW
Voltaje de la red	V_{AC}	V
Corriente de la red	I_{AC}	A
Potencia de la red	P_{AC}	kW
Duración de interrupción del sistema	t_{int}	s

Tabla N° 01: Parámetros a medir en tiempo real UNE-EN 61724.

ÍNDICES DE ESTABILIDAD

Uno de los métodos que posibilitan el cálculo de los índices de estabilidad del voltaje, con el propósito de evaluar la capacidad máxima y mínima de generación en centros no convencionales (Gomez Ramirez, 2014). La investigación se basa en el examen de los índices de estabilidad relacionados con la variación del voltaje en sistemas del IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos), utilizando como referencia ejemplos de sistemas de 14 y 118 barras de la IEEE.

a. Método I

El índice de estabilidad en línea FVSI (índice de estabilidad de voltaje rápido) evalúa el flujo de potencia a lo largo de una única línea, y su cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$FSVI_{ij} = \frac{4 * Z^2 * Q_j}{V_i^2 * X} \quad (1)$$

Donde:

X : Reactancia de la línea. [Ω]

Z : Impedancia de la línea. [Ω]

Q_j : Potencia reactiva en el extremo receptor. [var]

V_i : Tensión reactiva en el extremo receptor. [V]

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$FSVI = \begin{cases} \leq ; \text{estabilidad} \\ \geq 1 ; \text{inestabilidad} \end{cases} \quad (2)$$

b. Método II

El Factor de Estabilidad en Línea (LQP - Line Stability Factor) se distingue por su sensibilidad a las variaciones en la potencia reactiva. Al tomar en cuenta la potencia activa, se logra una evaluación más precisa del sistema a través del cálculo de este índice de estabilidad.:

$$LQP = 4 * \left(\frac{X}{V^2}\right) * \left(\frac{X}{V^2} * P_i^2 + Q_j\right) \quad (3)$$

Realizar un análisis de las horas de máximo sol, generalmente se ha observado una irradiación equivalente a 1000 w/m², con una temperatura de 25°C y velocidades de viento de 1.5. Se reconoce que sin la radiación solar, la vida en la Tierra sería inexistente, y su aprovechamiento energético solar se extiende a otras áreas de manera indirecta. (Orbegozo & Arivilca, 2010). La energía solar puede ser utilizada de manera directa de dos formas principales. En primer lugar, puede emplearse para generar calor, el cual puede ser aprovechado mediante el uso de sistemas de termas o colectores solares. En segundo lugar, puede ser utilizada para producir electricidad a través de paneles solares fotovoltaicos (BUN-CA, 2002).

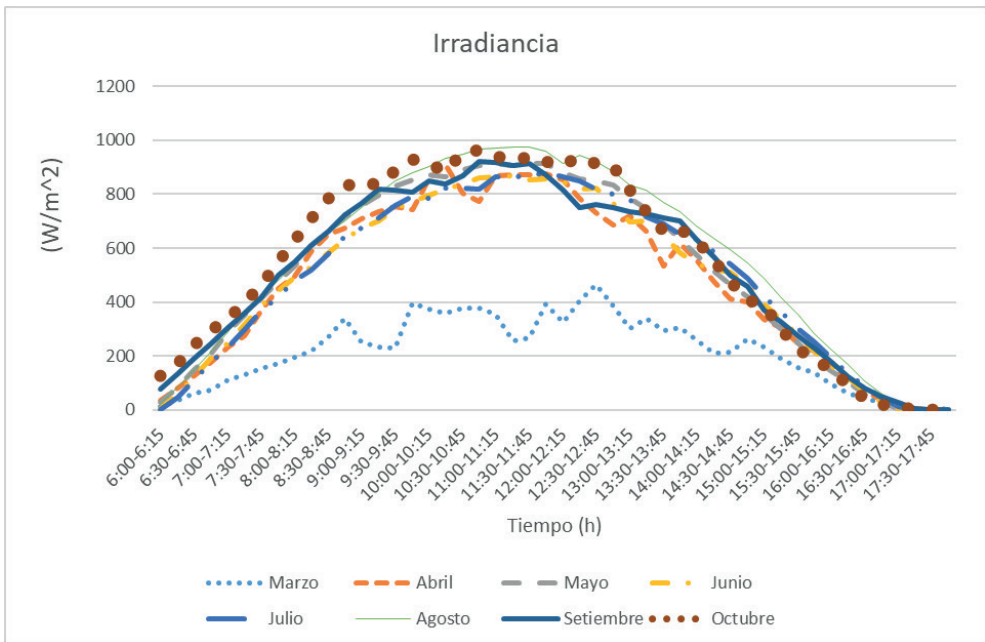
En el uso de paneles solares, uno de los aspectos más críticos es el control del inversor, cuya función principal es generar los pulsos de activación del inversor de potencia. Esto se hace para seguir las señales de referencia con la menor variación posible respecto a los valores estándar Villalobos et al., (2014); por lo que se aborda mas adelante.

INVERSORES FOTOVOLTAICOS DE CONEXIÓN A RED

Uno de los componentes esenciales de un sistema fotovoltaico son los inversores, y las partes fundamentales de estos incluyen: el control principal, la sección de potencia, el control de red, el seguidor del punto de máxima potencia (MPPT), las protecciones y la monitorización de datos (Palomino Estebaranz, 2013). Otros aspectos comúnmente considerados en un inversor son: la tensión y potencia nominales, capacidad de sobrecarga, factor de potencia, eficiencia o rendimiento, autoconsumo, presencia de armónicos, distorsión armónica y rizado de corriente. En lo que respecta a la categorización de los inversores en sistemas fotovoltaicos conectados a la red (Fuente López, 2018); estos pueden categorizarse: según el número de fases; según el principio de operación; según el parámetro que modula; según la configuración del sistema y, por último, los micro-inversores. El proceso de inyección de energía implica la generación de una corriente eléctrica senoidal con la misma frecuencia y fase que la tensión de la red. (N.I. Echeverría, S.A. González, M.G. Judewicz, J.R. Fischer, M.A. Herrán, 2013). Esto se alcanza aplicando la tensión adecuada al inductor del filtro mediante las llaves de potencia en el VSI, las cuales son controladas por el controlador.

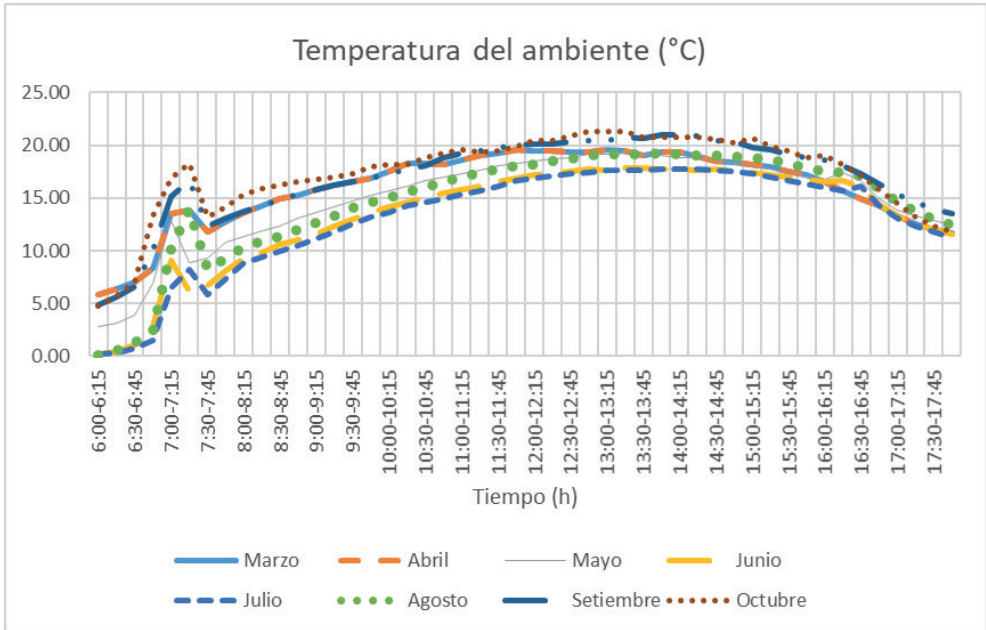
RESULTADOS Y DISCUSION

Una de estas opciones tecnológicas ha sido la generación de energía eléctrica en las proximidades de la carga, siguiendo un enfoque similar al utilizado en los primeros días de la industria eléctrica. Sin embargo, en la actualidad, contamos con tecnología avanzada y el respaldo del sistema eléctrico para cubrir cualquier demanda adicional de energía eléctrica. (Molina et al., 2007). Esta forma de generar electricidad se conoce como Generación Distribuida o Generación Descentralizada, marcando un cambio en el enfoque tradicional de la generación de energía eléctrica centralizada. Basándonos en los parámetros previamente mencionados en la sección de materiales y métodos, al analizar la irradiación en el plano, se puede observar que, en la ciudad de Juliaca y durante los meses en que se recopilaron los datos, la irradiación se muestra en el siguiente gráfico, obtenido de la Universidad Nacional de Juliaca.



Gráfica N° 01. Comportamiento de la Irradiación en Juliaca SFCR-UNAJ.

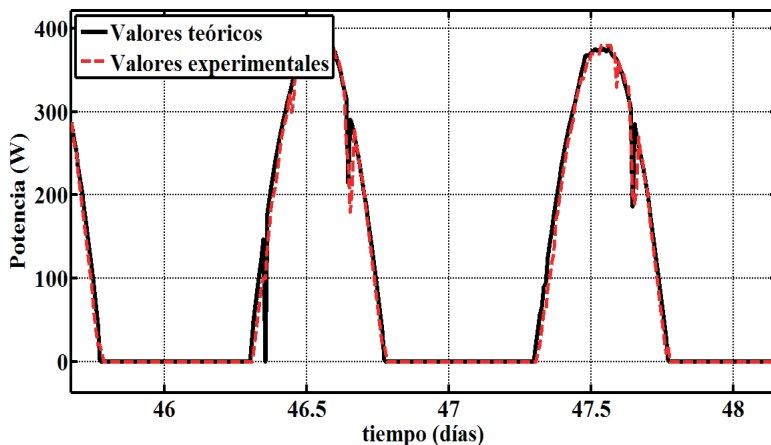
En la grafica anterior se muestra cómo varía la irradiación mensual media, con un pico máximo de 977 W/m^2 y un mínimo de 864 W/m^2 (Torres & Condori, 2019). A partir de las 6 de la tarde, la irradiación generalmente disminuye hasta alcanzar 0 W/m^2 .



Grafica N° 02. Comportamiento de la temperatura del ambiente SFCR-UNAJ

En lo que respecta a la temperatura ambiente, se nota que típicamente fluctúa entre 0,16 °C y 21°C en promedio, variando a lo largo del tiempo. Los parámetros evaluados previamente estarán considerablemente influenciados por el flujo de viento presente en la zona donde se instale el sistema fotovoltaico conectado a la red (Torres & Condori, 2019). Esto indica que un flujo de viento puede modificar las temperaturas detectadas debido a la transferencia de calor por convección.

Otro factor relevante, aunque no mencionado previamente, se refiere a la gestión de la calidad del servicio en los sistemas eléctricos, especialmente en el caso de un sistema interconectado a la red. Los modelos de gestión empleados por las empresas de distribución de energía eléctrica a menudo tienen limitaciones para analizar y evaluar las necesidades y prioridades reales de sus activos. Esto dificulta determinar si los recursos invertidos en el programa de mantenimiento proporcionan el máximo beneficio al sistema eléctrico (Dominguez & Salvatierra, 2016). Las empresas de servicios públicos suelen utilizar métodos o reglas empíricas que resultan en la asignación de presupuestos fijos para un período específico. Esto ha conducido al uso ineficiente de los recursos disponibles, lo que se traduce en niveles más bajos de fiabilidad para los clientes. La cuestión, por lo tanto, es determinar dónde y cuándo invertir para obtener el máximo beneficio, así como cómo cuantificar los beneficios del mantenimiento (Mosquera & Sempértegui, 2015). Además de examinar los parámetros clave, es crucial dirigir la atención hacia el análisis de los índices de estabilidad de un sistema eléctrico.



Gráfica N° 03: - Comportamiento de la potencia generada por el SFCR para 2 días en verano y otoño (Cáceres et al., 2016).

Se analiza la producción de energía generada en el SFCR durante un lapso de tiempo. Además, se muestran los patrones durante el verano, cuando la temperatura ambiente oscila entre 22°C y 39°C, y en los días de otoño, donde la temperatura fluctúa entre 12°C y 29°C con pequeñas variaciones. Para monitorear y determinar el punto de máxima potencia para la transferencia de energía, se emplean varios algoritmos, incluyendo algunos de enfoque indirecto, como el algoritmo de “Voltaje de circuito abierto fraccional”, que implica medir la tensión de una sola celda en circuito abierto y, a partir de esta medición, estimar el voltaje V_{mpp} como una fracción fija de la tensión en circuito abierto (Goyena & Fallis, 2019). Otra técnica implica el uso de la conductancia incremental y el método de Perturbar - Observar, que consiste en introducir una perturbación en la carga y observar cómo cambian tanto la tensión como la potencia del panel, utilizando esta información para estimar el punto de máxima potencia en un SFCR.

CONCLUSION

Los parámetros que determinan eficientemente el funcionamiento de un sistema fotovoltaico conectado al sistema eléctrico son los siguientes: con una irradiancia promedio de 720 W/m², se alcanza un rendimiento máximo del 97%. En días nublados, la irradiancia puede disminuir hasta 300W/m², resultando en una eficiencia promedio del 88%. La temperatura del módulo también desempeña un papel crucial, con temperaturas mínimas de hasta -4,15°C en junio y máximas de 7,88°C en marzo, representando los extremos. La temperatura más alta se registra en agosto, alcanzando los 46,88°C, mientras que la más baja es de 19,09°C. Aunque una celda solar expuesta a la radiación solar se convierte en una fuente de energía, su comportamiento no es ideal en términos de tensión o corriente, ya que la cantidad de energía obtenida varía con la radiación solar, lo que afecta sus parámetros internos, como la tensión de circuito abierto (VOC) y la corriente de cortocircuito (ISC).

REFERENCIAS

Cáceres, M., Busso, A., Vera, L., Firman, A., Leiva, G., & Luque, L. (2016). Sistemas fotovoltaicos conectados a red: estabilidad en los parámetros de la red y sus efectos en la capacidad de generación. *Revista Brasileira de Energia Solar*, 4(1), 47–54. <https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/94>

Cordova, R. (2016). *Metodología Para El Control SPWM E De Un Inversor Monofásico De Baja Frecuencia* [Universidad Nacional del Callao]. <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/2070>

Dávila Bustamante, M. E., Coronado Quintana, J. A., & Cereces Castro, B. M. (2012). Las dimensiones de la calidad del servicio en el proceso de distribución y comercialización de energía eléctrica. *Contaduría y Administración*, 57(3), 175–195. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=39523153008>

Díaz Santos, R., Gerard, H., Castro Fernandez, M., & Herrera Acosta, B. (2012). Sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica, su diseño. *16 Convención Científica de Ingeniería Y Arquitectura, December*. <https://www.sunsupplyco.com/wp-content/uploads/2017/09/sistema-energia-Solar-interactivo-red-on-grid.png>

Dominguez, D., & Salvatierra, B. (2016). Analisis De Calidad De Energia Electrica En Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red [Universidad Politécnica Salesiana]. In *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12710>

Drews, A. et al. (2007). Monitoring and remote failure detection of grid-connected PV systems based on satellite observations. *Solar Energy*, 548–564. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.06.019>

Echeverría, A., Rodríguez, M., Julio, L., Julio, L., & Rodríguez, M. (2017). Caracterización de la calidad de la energía en circuitos eléctricos de distribución. *Ingeniería Energética*, XXXVIII(3), 156–165. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329152934001>

Fuente López, I. de la. (2018). *Inversores en aplicaciones fotovoltaicas* [Universidad de Valladolid]. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/31889>

Gomez Ramirez, N. E. (2014). *Metodología de gestión de potencia reactiva para mejorar el margen de estabilidad de voltaje en sistemas eléctricos de potencia descentralizados* [Universidad Nacional de Colombia Facultad]. <http://www.bdigital.unal.edu.co/12748/>

Goyena, R., & Fallis, A. G. (2019). *Simulación de un micro - inversor conectado a la red considerando la topología QUASI Z SOURCE* (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Molina, M. G., Mercado, P. E., & Wiernes, P. E. (2007). Análisis y simulación de algoritmos de control para el seguimiento del punto de máxima potencia de sistemas solares fotovoltaicos conectados a la red eléctrica. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 11, 153–160.

Mosquera, G., & Sempértégui, R. (2015). *Optimización de proyectos de mantenimiento de redes de distribución eléctrica basado en el riesgo de la ocurrencia de fallas de sus equipos*. [Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23303/1/Tesis.pdf>

N.I. Echeverría, S.A. González, M.G. Judewicz, J.R. Fischer, M.A. Herrán, D. O. C. (2013). *Identificación paramétrica de un inversor trifásico conectado a red mediante paramétrica identificación conectado a red mediante el método QRD-RLS*. September.

Palomino Estebaranz, A. (2013). *Análisis De Los Datos Técnicos De Los Inversores Fotovoltaicos De Conexión a Red*. <http://hdl.handle.net/10016/16894>

Torres, J., & Condori, J. (2019). *Análisis y evaluación del sistema fotovoltaico con inyección a la red de 3kW en el pabellón administrativo de la UNAJ* [Universidad Nacional de Juliaca]. <http://repositorio.unaj.edu.pe/handle/UNAJ/45>

Villalobos, M. A. M., Suárez, J. F. P., & Plata, G. O. (2014). Control directo de potencia aplicado a sistemas fotovoltaicos conectados a la red. *Revista Facultad de Ingeniería*, 72, 47–60. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43031750005>