

Análisis preliminar del desempeño operativo de un SFCR de 3.0 kW basado en el rendimiento de un inversor optimizado en las condiciones extremas del altiplano de Puno-Perú

Reynaldo Condori Yucra¹, Norman Jesús Beltrán Castañón², José Manuel Ramos Cutipa³, Marcos André Barros Galhardo⁴, Samuel James Williamson⁵

¹Universidad Nacional San Agustín, UNSA, Escuela de Posgrado en Cs. Ambientales y Energías Renovables, Arequipa, Perú, reynaldo_yufra@hotmail.com.

²Universidad Nacional de Juliaca, E.P. de Ingeniería en Energías Renovables, Puno, Perú, normanjesus@gmail.com

³Universidad Nacional del Altiplano, joseramosc@gmail.com.

⁴Universidade Federal de Pará (UFPA), Grupo GEDAE, Brasil, mbgalhardo@ufpa.br

⁵University of Bristol-UB, Electrical Energy Management Group, Reino Unido, Sam.Williamson@bristol.ac.uk

RESUMEN

La siguiente investigación se desarrolló en el marco del proyecto de investigación aplicada y desarrollo tecnológico ganador de los fondos concursables financiado por el FONDECYT-Banco Mundial, con Contrato N° 180-2018-FONDECYT-BM-IADT-AV. En donde se realizó el Diseño, Implementación y el Análisis preliminar del SFCR con inversor optimizado, el sistema está compuesto por ocho optimizadores o convertidores cc-cc, para una potencia instalada de 2.96kW., implementado en el pabellón del Instituto de Energías Renovables y Eficiencia Energética de la E.P. de Ingeniería en Energías Renovables de la Universidad Nacional de Juliaca (UNAJ) sede Ayabacas. Siendo las horas solar pico (HSP) de 6.0 kWh/m2/día promedio anual, la temperatura aire ambiente de 16.09°C y la temperatura de placa del módulo FV de 28.93°C promedio anual. En este análisis preliminar se ha estimado y comparado la eficiencia calculada y experimental, siendo la eficiencia del optimizador 95.5%, inversor 97.1% y de todo el conjunto 96.2%. La producción de energía es de 5,649.78 kWh/año, cuya inversión asciende a US\$. 8,172 y un periodo de amortización simple de 13 años con 10 meses.

Palabras Clave: Sistema fotovoltaico, Optimizadores cc-cc, inversor, conexión a red.

I. INTRODUCCIÓN

Un SFCR es un sistema cuya función es producir energía eléctrica en condiciones adecuadas para poder ser inyectada en la red convencional, se compone del generador fotovoltaico, un inversor DC/AC y un conjunto de protecciones eléctricas. La energía producida por este sistema será consumida parcial o totalmente en las cercanías, y la energía sobrante será inyectada en la red para su distribución a otros puntos de consumo. En este caso, el diseño no necesita considerar un consumo a satisfacer. Con este mecanismo, el objetivo del diseñador es que la producción anual del sistema sea la máxima posible sin tomar en consideración los consumos cercanos [1].

En la disertación de Lopes (2006) [2], se detalla los tipos y técnicas de conmutación de los convertidores estáticos cc-

cc y cc-ca. La energía procedente de los paneles fotovoltaicos es procesada en los convertidores cc-cc boost, estos convertidores se controlan para rastrear el punto de máxima potencia y también para eliminar selectivamente los armónicos, finalmente con todas las simulaciones y resultados experimentales demostraron que las topologías y técnicas adoptadas para el control de los convertidores cc/cc y cc/ca son perfectamente empleadas en el control del sistema experimental.

Según Teles (2017) [3], se evaluó experimentalmente la tecnología de convertor cc/cc, para la aplicación de las diferentes topologías de interconexión de generadores fotovoltaicos a la red, los resultados obtenidos muestran que el convertidor cc/cc presentó desempeños superiores a los demás sistemas monitoreados, en periodos de operación sin anomalías.

Por lo tanto, este estudio tiene como objetivo evaluar y analizar el desempeño operativo al optimizador cc-cc teniendo las condiciones climáticas de irradiación solar y áreas geográficas ideales, a esto se suma que las nuevas tecnologías son cada vez más eficientes y económicas, además de obtener energía limpia, segura y sustentable.

II. RESULTADOS DE LITERATURA

Teoría general de los convertidores cc-cc

Los convertidores cc-cc sirven para transformar una tensión de entrada continua, generalmente de valor fijo, en una tensión de salida también de corriente continua.[4].

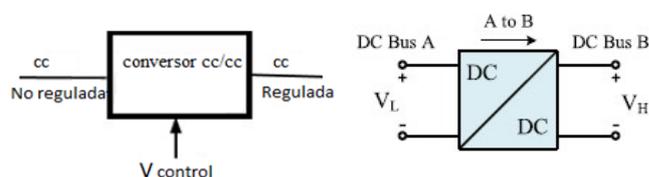


Fig. 1. (a) Esquema general de los convertidores cc-cc [4] y (b) Flujo de potencia unidireccional [5].

El convertor Buck-Boost es un tipo de convertor cc/cc que puede presentar una tensión mayor o menor en la salida con respecto a la tensión de entrada, la tensión de salida se controla modificando el ciclo de servicio del transistor [4].

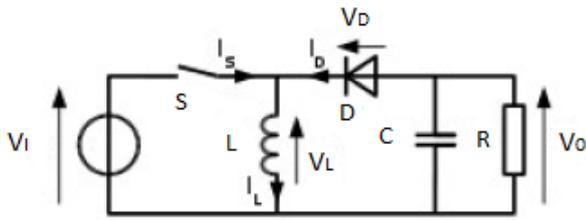


Fig. 2. Esquema de un convertor Buck-Boost [4][5].

Arquitectura de conexión con convertidores cc-cc

A partir de la curva I-V, determinada bajo las condiciones estándar de prueba-STC, de un módulo FV, se obtiene los principales parámetros que determinan su calidad y desempeño, entre ellos I_{sc} , V_{oc} , V_{mp} , I_{mp} y P_{mp} [1][6].

La Fig. 3, muestra la potencia de salida de dos módulos fotovoltaicos colocados en serie dependiendo de la corriente. La curva roja muestra la potencia proporcionada por la asociación de estos módulos en serie si no se utilizan medidas adicionales aparte del uso del diodo. Teniendo en cuenta que un módulo tiene $I_{sc}=10A.$, y el otro tiene $I_{sc} = 8A.$ La corriente de potencia máxima está limitada por el módulo FV que produce menos corriente, evitando que el módulo tenga más potencia disponible para operar en su punto de máxima potencia [7].

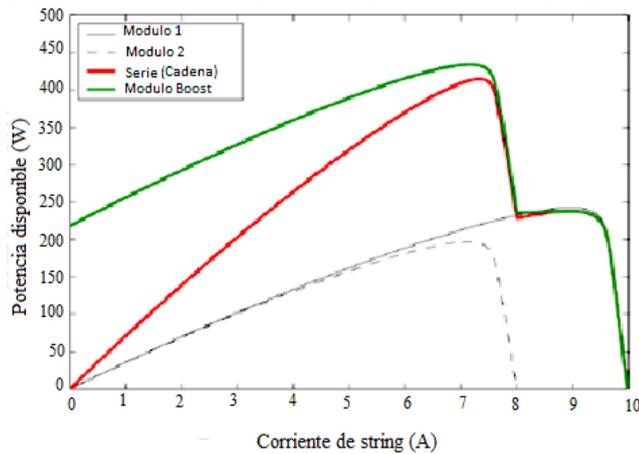


Fig. 3. Potencia de salida proporcionada por cada módulo y generador fotovoltaico [3][7].

En la Fig. 3, si se agrega un convertor Boost al módulo con la mayor potencia disponible para reducir su corriente mientras aumenta su voltaje, ambos módulos fotovoltaicos pueden operar en su punto de máxima potencia. La curva verde muestra la energía producida por los dos módulos conectados en serie cuando el más potente tiene instalado un convertor Boost. En este escenario particular, se puede lograr una mejora de 20W. [7].

Una de las principales ventajas de esta arquitectura es la reducción significativa de las pérdidas por dispersión de parámetros eléctricos, ya que cada módulo FV opera en su punto individual de máxima potencia, independientemente de los otros módulos del sistema [3].

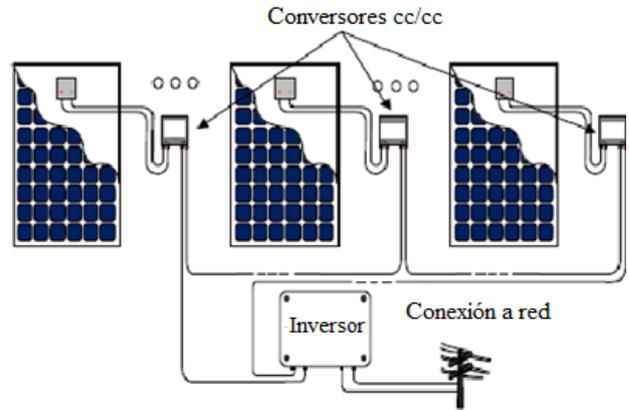


Fig. 4. Diagrama esquemático de configuración con convertidores cc-cc [3].

III. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Ubicación

El lugar donde se implementó el SFCR con optimizadores es en el pabellón del Instituto de Energías Renovables y Eficiencia Energética de la E.P de Energías Renovables de la Universidad Nacional de Juliaca -UNAJ en el centro poblado de Ayabacas que está ubicada a una latitud $15^{\circ} 25' 30.7''$ y una longitud de $70^{\circ} 4' 28.9''$ que tiene un clima frío y seco.[19]



Fig. 5. Ubicación de la implementación del SFCR (Google Maps, 2021)[19].

B. Materiales

Módulos fotovoltaicos

El Sistema fotovoltaico cuenta con 8 módulos fotovoltaicos monocristalinos de 370 Wp modelo BSP370M de la marca BAUER con una eficiencia nominal de 19 %.

Tabla 1

Parámetros eléctricos y térmicos del módulo fotovoltaico, modelo BSP370M., (BAUER, 2019).[19]

Parámetros eléctricos (STC)	Valor	Unidad
Potencia máxima (Pmax.)	370.0	Wp.
Corriente máxima de operación (I _{mp})	9.23	A.
Tensión máxima de operación (V _{mp})	40.10	V.
Corriente de cortocircuito (I _{sc})	8.81	A.
Tensión de circuito abierto (V _{oc})	48.30	V.
Eficiencia del módulo	14.91	%

Parámetros térmicos	Valor	Unidad
TONC	45	°C
Coefficiente temperatura (Isc) α	+0.02973	%/°C
Coefficiente temperatura (Voc) β	-0.38038	%/°C
Coefficiente temperatura (Pmp) γ	-0.57402	%/°C

Optimizador o conversor cc-cc. -

El Sistema fotovoltaico estará compuesto también por 8 optimizadores cc/cc en la marca Solaredge modelo P370, eficiencia ponderada a 98,8%,

Tabla 2

Parámetros eléctricos del conversor cc/cc P370, (Solar Edge, 2019) [19]

Parámetros Eléctricos	Valor	Unidad
Parámetros de entrada CC		
Potencia nominal ($P_{nominal}$)	370.0	W.
Corriente de entrada ($I_{entrada\ máx.}$)	13.75	V.
Tensión de entrada ($V_{entrada\ máx.}$)	60.0	V.
Corriente I_{sc}	11.0	A.
Rango operativo MPPT	8 - 60	V.
Salida durante operación (conectado al inversor)		
$I_{salida\ máx.}$	15.0	A.
$V_{salida\ máx.}$	60.0	V.
Salida durante modo standBy (desconectado al inversor)		
$V_{salida\ de\ seguridad\ cc-cc}$	1	V.

Inversor cc-ca. -

Para este sistema se usó un inversor monofásico también fabricado por Solaredge modelo SE3000H, estos inversores están específicamente diseñado para trabajar con optimizadores de energía cc-cc En la Tabla 3 se muestran los datos de la placa del inversor SE3000H.

Tabla 3

Características eléctricas del inversor modelo SE3000H, (Solar Edge, 2019) [19]

Parámetros Eléctricos de entrada CC	Valor	Unidad
Potencia máxima CC	4680	W.
Tensión máxima de entrada	480	V.
Tensión de entrada CC nominal	380	V.
Corriente de entrada máxima	9.0	A.
Eficiencia máxima del inversor	99.2	%.
Consumo de energía durante la noche	2.5	W.
Parámetros eléctricos de salida CA		
Potencia de salida CA nominal	3000	VA.
Potencia de salida CA máxima	3000	VA.
Tensión de salida CA (nominal)	220/230	V.
Rango de voltaje de salida de CA	184-264.5	V.
Frecuencia CA (nominal)	60	Hz.
Corriente de salida continua máxima	14	%

C. Métodos

La metodología abordada en esta investigación se establece una descripción completa; dado que se generarán datos de las características técnicas de operación del SFCR con optimizadores, además se relacionaron todos los datos obtenidos del diseño.

Para realizar el diseño se tomarán datos en referencia al proyecto de investigación docente, 2019 “Diseño e implementación de un sistema SCADA para evaluación de parámetros de funcionamiento de un mini-parque solar

fotovoltaico de 3.0 kW en sistemas aislados y conectados a la red para la UNAJ.”, puesto que están ubicados a la misma latitud y altitud [10].

Arquitectura de conexión y diseño eléctrico. –

Se diseño de la arquitectura de instalación eléctrica del sistema fotovoltaico con topología de optimizadores o conversores cc-cc, en el lado de CC y CA. [14].

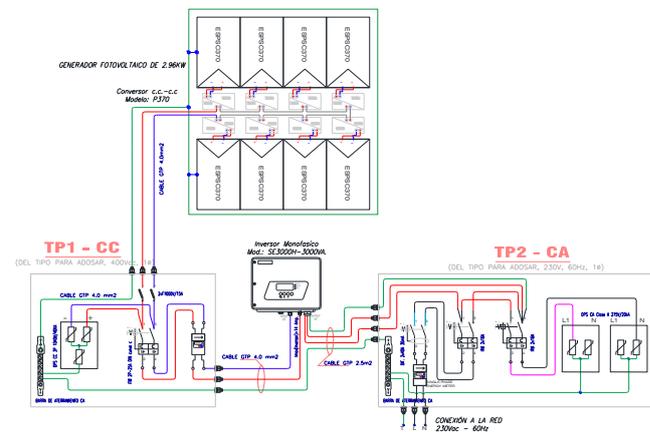


Fig. 6. Diagrama multifilar del SFCR de 3.0kW con optimizadores.

La Figura 6 muestra el diagrama multifilar del SFCR de 3.0kW., la conexión de los módulos fotovoltaicos y convertidores cc-cc estarán en serie, luego al tablero de protecciones del lado CC, seguidamente se conecta con el inversor y a la salida del inversor el tablero de protección del lado CA, y finalmente la conexión a la red en conexión monofásico. El sistema contiene un conjunto de elementos de protección y de seccionamiento en el lado CC y CA, los dispositivos de protección estarán compuestos de fusibles ultrarrápidos de 15A, interruptor termomagnético de 16A, DPS de 1000V/40KA en el lado CC., y disyuntor de 16 A., interruptor diferencial de 25mA., superinmunizado, y PDS de 275V/50KA, en el lado C.A.

La conexión en serie permitirá la suma de voltajes, operando en condiciones estándares de prueba, serán $P_{mp}=2.96kWp$, $V_{mp}=320.8V$, $I_{mp}=9.23A$, $V_{oc}=386.4V$, $I_{sc}=9.95A$, conforme a los datos proporcionados por el fabricante.

Pérdidas por temperatura (L_{tem})

Existe otra variable que no influye de manera positiva en la potencia generada: la temperatura [8]

$$L_{tem} = g \times (T_c - 25^\circ C) \quad (1)$$

Dónde g: Coeficiente de temperatura de $P_{max.}$, T_c : Temperatura de los módulos.

Utilizando el modelo estándar de (Markvart, 2000) [12] se calculó la temperatura del panel T_c mensualmente de marzo 2019 a febrero de 2020

$$T_c = T_{amb} + \frac{(T_{onc} - 20^\circ C) \times G}{800} \quad (2)$$

Dónde: T_{amb} : Temperatura ambiente, T_{onc} : Temperatura de operación nominal de la célula, G: Irradiación media en un día soleado, varía según el mes.

Perdidas en el convertor cc-cc y el inversor. -

Las pérdidas de potencia en el inversor pueden ser interpretadas por la suma de tres componentes [9]:

Perdidas de autoconsumo, $K_0 = P_{auto}$ (W), Perdidas lineales con la corriente (caída de tensión en semiconductores), $K_1 P_{salida}$, Perdidas proporcionales al cuadrado de la corriente (perdidas óhmicas), $K_2 P_{salida}^2$

$$P_{perdidas} = P_{auto} + K_1 P_{salida} + K_2 P_{salida}^2 \quad (4)$$

Siendo $p_{salida} = P_{salida}/P_{inv}$, $k_0 = P_{auto}/P_{inv}$, $k_1 = K_1$ y $k_2 = K_2 P_{inv}$, obteniéndose la siguiente ecuación.

$$p_{perdidas} = k_0 + k_1 p_{salida} + k_2 p_{salida}^2 \quad (5)$$

La ventaja de la ecuación es que se puede caracterizar completamente el comportamiento de las perdidas en el inversor y los convertidores cc-cc, y consecuentemente su eficiencia en base a solo tres parámetros adimensionales k_0 , k_1 y k_2 . Para determinar los valores de estos parámetros se utilizan las siguientes ecuaciones [9].

$$k_0 = \frac{1}{9} \frac{1}{\eta_{inv1}} - \frac{1}{4} \frac{1}{\eta_{inv0,5}} + \frac{5}{36} \frac{1}{\eta_{inv0,1}} \quad (6)$$

$$k_1 = -\frac{4}{3} \frac{1}{\eta_{inv1}} + \frac{33}{12} \frac{1}{\eta_{inv0,5}} + \frac{5}{12} \frac{1}{\eta_{inv0,1}} - 1 \quad (7)$$

$$k_2 = \frac{20}{9} \frac{1}{\eta_{inv1}} - \frac{5}{2} \frac{1}{\eta_{inv0,5}} + \frac{5}{18} \frac{1}{\eta_{inv0,1}} \quad (8)$$

Donde $\eta_{inv 0,1}$, $\eta_{inv 0,5}$ y $\eta_{inv 1}$, son valores de la eficiencia instantánea correspondientes a las cargas del inversor de 10%, 50% y 100% respectivamente, de la potencia nominal del inversor, estos valores pueden ser obtenidos de la curva de eficiencia del inversor. Para calcular la potencia de salida de los inversores, se utiliza el modelo de eficiencia de conversión del inversor el cual depende de la potencia de salida. Con base en los efectos físicos involucrados representados por K_0, K_1 y K_2 se propuso la siguiente ecuación [9].

$$n_{inv}(p_{salida}) = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} = \frac{P_{salida}}{(P_{salida} + P_{perdidas})} = \frac{P_{salida}}{P_{salida} + k_0 + k_1 P_{salida} + k_2 P_{salida}^2} \quad (9)$$

Tabla 4

Coefficientes de perdidas calculados y obtenidos experimentalmente [3].

Sistemas / Coeficientes	Calculado			Experimental		
	K_0	K_1	K_2	K_0	K_1	K_2
Inversor	9,403	0,016	2×10^{-6}	8,115	0,025	5×10^{-7}
Convertor cc/cc	0,902	0,006	14×10^{-6}	0,178	0,021	7×10^{-5}
Convertor + Inversor				18,7	0,0307	1×10^{-5}

Para calcular la eficiencia del inversor y de los convertidores cc/cc se tomara en cuenta los datos obtenidos por

Teles (2017) [3], que trabaja con el inversor y los convertidores cc-cc de la misma marca Solaredge.

Cálculo de la producción anual esperada. -

La producción de energía se calcula en función de la irradiación, la potencia instalada y el rendimiento energético de la instalación, según la siguiente ecuación:

$$E = G * P_{nom} * PR \quad (10)$$

Dónde: G=Irradiación solar media, Pnom=Potencia Nominal, PR= Rendimiento energético.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Resultados

Análisis de los parámetros geográficos y climatológicos

La medición de irradiancia en el plano inclinado registrado en una celda calibrada de 5Wp., así como de la temperatura de aire ambiente y de placa de módulo fotovoltaico mediante sensores PT1000, correspondiente a marzo 2019 hasta febrero 2020 [10].

Tabla 5

Promedio de irradiación solar en el plano inclinado, temperatura de aire ambiente y de celda, año 2019 [10].

Meses	G plano Inclinado [kWh/m2-día] $\beta=15^\circ$	T de aire ambiente [°C]	T de placa de módulo FV [°C]
Enero (2020)	5.62	16.90	28.47
Febrero (2020)	5.40	16.73	28.68
Marzo	5.45	16.55	27.91
Abril	5.73	15.99	28.32
Mayo	6.11	15.27	29.02
Junio	5.80	13.39	26.87
Julio	5.98	13.24	26.72
Agosto	6.72	14.61	29.30
Setiembre	6.29	17.00	29.69
Octubre	6.96	17.95	32.42
Noviembre	5.95	17.25	29.88
Diciembre	5.64	18.17	29.94
Promedio	6.0	16.09	28.93

Tabla 6

Pérdidas de potencia del sistema por temperatura [10].

Meses	GMedia (kWh/m2-d)	H (W/m2-d)	Ltem_1 (%)	Ltem_2 (%)
Enero	5.62	454.32	3.5	2.0
Febrero	5.40	462.87	3.6	2.1
Marzo	5.45	475.57	3.7	1.7
Abril	5.73	509.78	4.0	1.9
Mayo	6.10	548.96	4.3	2.3
Junio	5.81	519.25	2.6	1.1
Julio	5.98	527.33	2.7	1.0
Agosto	6.72	579.81	4.4	2.5
Setiembre	6.29	513.46	4.6	2.7
Octubre	6.96	557.69	6.0	4.3
Noviembre	5.95	457.34	3.8	2.8
Diciembre	5.64	449.04	4.1	2.8
Promedio	6.0	506.6	3.9	2.3

Tabla 7

Eficiencias de los componentes calculado y experimental

Componentes	Calculado	Experimental
Inversor	97.5%	97.1%
Convertor cc-cc	98.7%	95.5%
Convertor cc-cc e Inversor	-	96.2%

Cálculo de rendimiento energético o “performance ratio”

El coeficiente de rendimiento energético de un SFCR, se define como la eficiencia de la instalación en condiciones reales de trabajo, que tiene en cuenta la dependencia de las pérdidas (ver tabla 8).

Tabla 8

Balace de pérdidas e índice de rendimiento PR del SFCR-3.0kW con optimizadores.[12][13]

Meses	Disp. de potencia (%)	Temp. Suciedad (%)	Inclinac. y sombras (%)	Degrad. fotónica (%)	η_{inv_opt} (%)	PR_2 (%)
Enero	1.0	2.0	1.0	1.0	96.2	88.7
Febrero	1.0	2.1	1.0	0.5	96.2	89.1
Marzo	1.0	1.7	1.0	0.5	96.2	89.0
Abril	1.0	1.9	1.0	0.5	96.2	88.7
Mayo	1.0	2.3	1.0	1.0	96.2	87.9
Junio	1.0	1.1	1.0	1.0	96.2	89.6
Julio	1.0	1.0	1.0	1.0	96.2	89.5
Agosto	1.0	2.5	1.0	0.5	96.2	88.3
Setiembre	1.0	2.7	1.0	0.5	96.2	88.1
Octubre	1.0	4.3	1.0	0.5	96.2	86.7
Noviembre	1.0	2.8	1.0	1.0	96.2	88.4
Diciembre	1.0	2.8	1.0	1.0	96.2	88.1

El método estándar de estimación de la temperatura de un panel (basado en la TNOCT) puede dar valores que están hasta 20°C por encima de las temperaturas medidas, lo cual sobre estimaría la pérdida por temperatura en la energía generada [8], ver tabla 6.

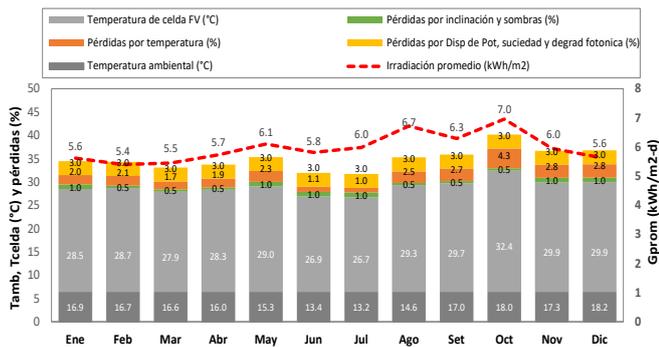


Fig. 7. Balance y resultados principales en el SFCR de 3.0kW. con optimizadores.

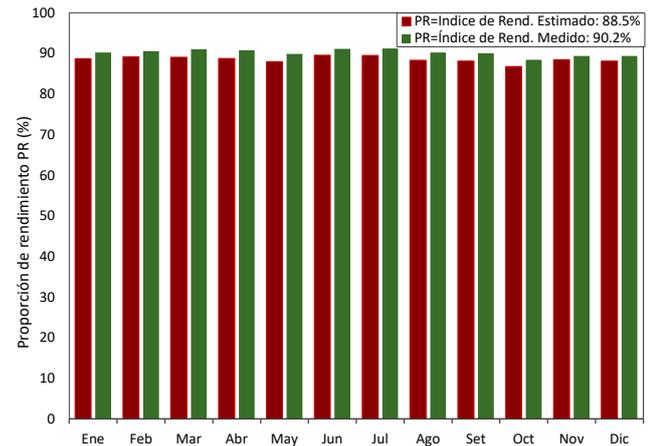


Fig. 8. Proporción de rendimientos PR con TNOCT y con temperatura de celda medida del SFCR de 3.0kW. con optimizadores.

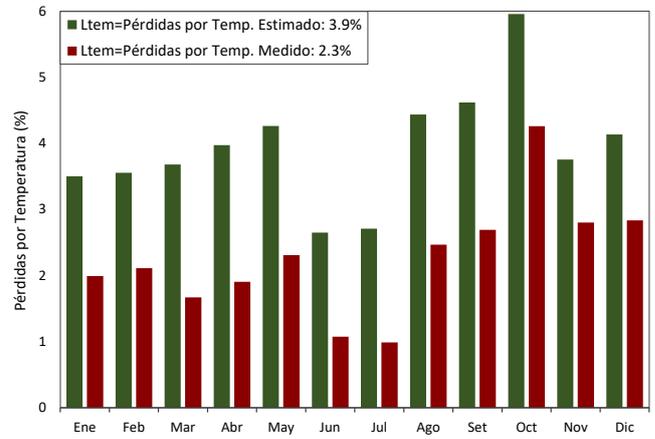


Fig. 9. Pérdidas de Temperatura con TNOCT y temperatura de celda medida del SFCR de 3.0kW. con optimizadores.

Producción anual esperada

La potencia nominal de 2.96 kW que es la potencia real del generador fotovoltaico. La irradiación solar diaria y el rendimiento energético obtenemos la energía producida mensual y anual (ver tabla 9).

Tabla 9
Producción anual de energía SFCR 3.0kW.

Meses	$G(\alpha, \beta)$ (kWh / m ² × día)	$\frac{G(\alpha, \beta) \times P_{gfv}}{G_{src}}$ (kWh / m ² × día)	E_p (kWh / día)	Producción Mensual (kWh / mes)
Enero	5.62	16.63	14.67	454.70
Febrero	5.40	15.98	14.26	413.47
Marzo	5.45	16.13	14.20	440.20
Abril	5.73	16.96	14.85	445.50
Mayo	6.11	18.09	15.67	485.77
Junio	5.80	17.17	14.94	448.14
Julio	5.98	17.70	15.47	479.56
Agosto	6.72	19.89	17.17	532.12
Setiembre	6.29	18.62	16.16	484.86
Octubre	6.96	20.60	17.76	550.47
Noviembre	5.95	17.61	15.43	462.79
Diciembre	5.64	16.69	14.59	452.20
Producción anual de energía				5649.78

La tabla 9 indica que en octubre hay mayor producción de energía 550.47 kWh, y la menor producción de energía se da en febrero de 413.47 kWh.

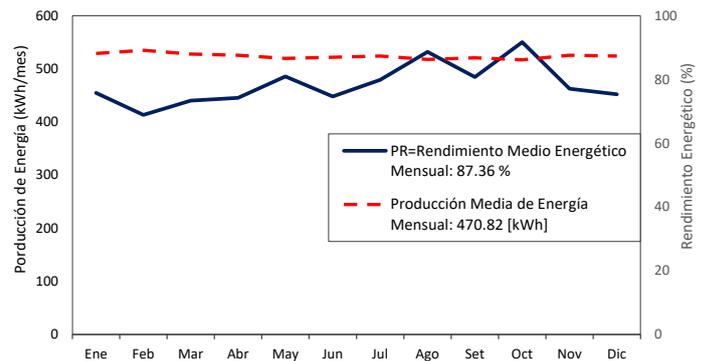


Fig. 10. Producción de energía mensual y rendimiento energético mensual del SFCR de 3.0kW. con optimizadores.

B. Discusión

Existen otros modelos numéricos para determinar la temperatura de celda en la actualidad, los modelos propuestos por (Mattei, 2006) [15], (Skoplaki, 2008) [16], (Koehl, 2011) [17], (Kurtz, 2009) [18], como así también el método Standard (Markvart, 2000) [11] que en este caso no contempla la velocidad del viento.

Según Shahrestani, M., Yao, R., Essah, E., Shao, L., Oliveira, A., Hepbasli, A., Lechón, J. L. [12] evaluó el rendimiento energético PR y térmico de un sistema fotovoltaico naturalmente ventilado, este consistía en aprovechar las corrientes de viento que se presentan en Izmir (Turquía) para disminuir la temperatura del panel. Los resultados en dicho estudio mostraron una mejora en la eficiencia hasta del 4% y un aumento en la generación anual de electricidad del sistema entre 4,7 a 5,7%.

La irradiancia solar y la temperatura influye en el rendimiento del SFCR, posiblemente acelera su degradación con el paso de los años y acciona repentinamente los sistemas de protección contra sobrecarga como los ITM y los fusibles ultrarrápidos.

La $T_{operación}$ del panel FV, desempeña un papel clave en el proceso de conversión de energía, tanto en el rendimiento eléctrico como la potencia de salida, dependen linealmente de la temperatura de placa del módulo, estos absorben en promedio el 80% de la irradiación solar recibida, sin embargo, una parte de esta irradiancia se convierte en electricidad y la restante se convierte en calor [20]

V. CONCLUSIONES

Los optimizadores corresponden a las nuevas alternativas existentes en el mercado actual con un rendimiento experimental incluido el inversor de 96.2%, al nivel de cadena, con un PR con T_{celda} medida de 90.2% promedio anual, para 6.0 HSP media y $\beta=15^\circ$ y $\gamma=0^\circ$, se espera obtener una producción de 5,649.78 kWh/año., al nivel del módulo FV.

Teniendo en cuenta las condiciones climáticas del Altiplano de Puno, se tiene para el mes de octubre una insolación de 6.96 kWh/m²-día y 5.4kWh/m²/d para el mes de febrero.

Los resultados de esta investigación preliminar muestran el índice de rendimiento PR promedio con TNOC = 45°C del 88.5% y el índice de rendimiento PR promedio en función de la temperatura de placa FV medida, de 90.2%, esto significa una diferencia menor al 2% en promedio.

AGRADECIMENTOS

Este trabajo fue financiado por CONCYTEC-FONDECYT en el marco de la convocatoria E041-01, contrato N° 180-2018-FONDECYT-BM-IADT-AV.

Al grupo de estudios y desenvolvimiento de alternativas energéticas de la Universidad Federal de Pará (GEDAE-UFPA) Brasil. A los integrantes del grupo de investigación GRIDSOLAR-UNAJ por el esfuerzo y dedicación al proyecto.

REFERENCIAS

[1] Ó. Perpiñán, A.Colmenar, & Alonso, M. Diseño de Sistemas Fotovoltaicos, 2012.

[2] L. C. Lopes. *Sistema experimental fotovoltaico de geracao de energia eletrica operando em paralelo com a rede eletrica CA.*, 2006.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

[3] M. Teles. *Avaliação operacional das diferentes arquiteturas de interligação de geradores fotovoltaicos à rede elétrica*, 2017.

[4] D. Cagigal, J. *Simulacion en PSIM y SIMULINK de un conjunto rectificador con convertidor BUCK- BOOST en la salida*, 2017.

[5] Mojtaba Forouzesh, Yam P. Siwakoti, Saman A. Gorji, Frede Blaabjerg, Fellow, and Brad Lehman. *Step-Up DC-DC Converters: A Comprehensive Review of Voltage-Boosting Techniques, Topologies, and Applications*, 2017.

[6] R. Ziles, W. Macedo, M. Galhardo, & S. Oliveira. *Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica*, 2012.

[7] Johns, M., Le, H., & M. Seeman. *Grid-Connected Solar Electronics*. 1–12., 2008.

[8] M. Battioni, G. Risso, M. Cutrera, & J. Schmidt. *Evaluacion de distintos metodos para estimar la temperatura de operacion de modulos fotovoltaicos y estimacion de las perdidas de energia por efecto de la tempearatura*. 4, 1–11., 2016.

[9] W. Macedo. *Análise do Fator de Dimensionamento do Inversor Aplicado a Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede*, 2006.

[10] Proyecto de Investigación Docente, “Diseño e implementación de un sistema SCADA para evaluación de parámetros de funcionamiento de un mini-parque solar fotovoltaico de 3.0 kW en sistemas aislados y conectados a la red para la UNAJ.”, 2019.

[11] T. Markvart, *Solar electricity*. 2nd edition. Chichester. Wiley, 2000.

[12] Shahrestani, M., Yao, R., Essah, E., Shao, L., Oliveira, A., Hepbasli, A., Lechón, J. L. *Experimental and numerical studies to assess the energy performance of naturally ventilated PV façade systems*. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.02.034>, 2017.

[13] A. Creus Solé, *Energias Renovables*. 2da edición, Bogotá ediciones dela U. pp. 368-369, 2014.

[14] IEC 61724-1: “Photovoltaic system performance – Part 1: Monitoring”, 2017.

[15] M, N. G. Mattei. *Calculation of the polycrystalline PV module temperature using a simple method of energy balance*. *Renew Energ*, 553-567, 2006.

[16] B. A. Skoplaki E. *A simple correlation for the operating temperature of photovoltaic modules of arbitrary mounting*. *Sol Energ Mat Sol C*, 92, 1393-1402, 2008.

[17] M., H. M. Koehl. *Modeling of the nominal operating cell temperature based on outdoor weathering*. *Sol Energ Mat Sol C*, 95, 1638-1646, 2011.

[18] S., W. K. Kurtz. *Evaluation of hightemperature exposure of rackmounted photovoltaic modules*. In: 34th IEEE Photovoltaic Specialists, 2399-2404, 2009.

[19] V. Chávez Ch., R. Yucra C., P. Y. Puma R y N. J. Beltrán C. *Diseño, implementación y análisis económico de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) de 3 kW con conversores cc/cc analizado en las condiciones geográficas y climatológicas la ciudad de Juliaca*, 2020.

[20] J. Cepeda, & A. Sierra. *Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones*, 2017.