

ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL DEL TIPO ON-GRID

ECONOMIC VIABILITY ANALYSIS OF AN ON-GRID RESIDENTIAL PHOTOVOLTAIC SYSTEM

Ing. Ricardo León Vásquez Arnez ^{1*}§ Lic. Tesoro E. Del Carpio Huayllas ^{2*}§

Recibido: Abril 12, 2022; Aceptado: Julio 18, 2022

RESUMEN

En este artículo se presenta un análisis sobre la viabilidad económica de un sistema fotovoltaico residencial conectado al sistema de distribución. Dicho análisis es realizado considerando los principales métodos de valorización de la energía producida por esa forma de generación, así como los costos de adquisición del kit solar implicados.

Con el objetivo de evaluar la factibilidad del estudio se analizó la sensibilidad de dichos resultados en relación a las variables econométricas. Consumidores de energía de la red eléctrica se preguntan si la instalación de uno o más paneles solares en sus hogares traería los beneficios económicos que son mencionados por algunas empresas de energía o por los propios comercializadores de paneles solares.

El artículo muestra a través de un ejemplo, la viabilidad, ventajas y costos incurridos durante la adquisición del equipo de generación. El sistema objeto de estudio no considera sistemas de almacenamiento de energía ni baterías las que ofrecerían una ventaja técnica al proyecto, aunque puedan incidir en el costo inicial de adquisición del mismo.

Palabras clave: Viabilidad económica, Tarifa Feed-in, Net Metering, Net Billing, Energía Solar, Panel Solar.

ABSTRACT

This article presents an analysis on the economic viability of a residential photovoltaic system connected to the distribution system. Such an analysis is carried out considering the main methods that value the energy produced by this form of generation, as well as the acquisition costs of the solar kit involved.

In order to evaluate the feasibility of the study, the sensitivity of the results in relation to the econometric variables was analyzed. Nowadays, several end-users of the network wonder if the installation of one or more solar panels in their homes would bring the economic benefits mentioned by some energy companies or by solar panel marketers.

Through a case example, this article shows the feasibility, advantages and costs incurred during the acquisition of the equipment. The system under study does not consider energy storage systems or batteries, which would offer a technical advantage to the project, although they may also affect the initial acquisition cost.

Keywords: Economic viability, Feed-in Tariff, Net Metering, Net Billing, Solar Energy, Solar Panel.

Citación: Vásquez A. Ricardo L., Del Carpio H. Tesoro E., ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL DEL TIPO ON-GRID. Revista Científica EMINENTE 2022, 6-1: 73-81.

¹ Ingeniero Eléctrico – Carrera de Ingeniería de Sistemas Electrónicos - Unidad Académica Cochabamba - Escuela Militar de Ingeniería

* Corresponde al Autor (correo electrónico: ricleon75@gmail.com).

[§] Dirección de contacto Investigador primer autor: Zona Muyurina, Av. Papa Paulo N°. 1151 - Telf.: (+591) 63859977, Cochabamba – Bolivia.

² Posgraduada en Energía – MRTS Consult.

* Corresponde al Autor (correo electrónico: tesoroelena@hotmail.com)

[§] Dirección de contacto Investigador segundo autor: Urb. Olivos, Calle 7, N° 54 - Telf.: (+591) 71768061 – Cochabamba – Bolivia.

INTRODUCCIÓN

Con el fin de promover el crecimiento de las fuentes de energía renovable, muchos países publicaron diversas políticas de incentivos al uso de energía proveniente de ese tipo de fuentes. La energía solar fotovoltaica es una de esas fuentes en constante crecimiento.

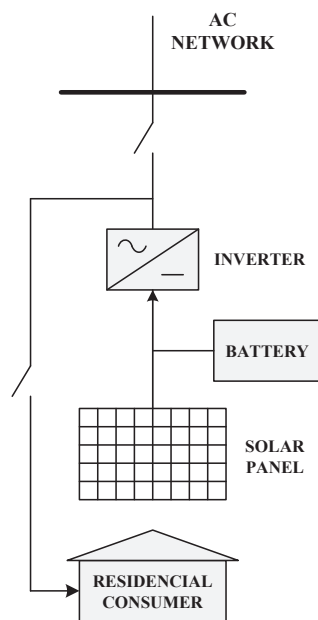
Según (REN 21), en 2020 el mercado global de energía “solar” alcanzó los 760 GW. En Bolivia, en ese mismo año se alcanzó los 115 MW de capacidad solar instalada (Memoria ENDE, 2020).

En la Figura 1 se presenta la configuración de un sistema fotovoltaico residencial del tipo *on grid*. En la ilustración, el usuario tiene un banco de baterías para garantizar su requerimiento de energía. Así también, la energía excedente del panel solar puede ser exportada a la red de CA.

En la actualidad la mayoría de las instalaciones con este tipo de generación (principalmente en Europa y Norteamérica) cuentan con algún tipo de incentivo gubernamental (subsidio). En Bolivia, según el D.S. 44744-2021, se prevé que este tipo de incentivos sea aplicado en un futuro próximo.

Entre los mecanismos de incentivo para la instalación de estas fuentes de generación se destacan las tarifas *feed-in*, *net metering*, y *net billing*. Estas tarifas están vigentes en países como Alemania, España, Francia, USA, Canadá, China, India y otros.

Fig. 1. Esquema de panel solar residencial.



Fuente: Elaboración propia.

Tarifa *Feed-in* (FiT)

Se caracteriza por ser una de las responsables para la expansión de las fuentes renovables, principalmente de la generación fotovoltaica (Hille, G. 2011).

La tarifa *FiT* ofrece tres principales beneficios financieros (Del Carpio, T. etal, 2012):

- i) Tarifa (o compensación) por la generación de energía a partir de fuentes renovables que permite a su propietario recibir una compensación por cada kWh generado, independientemente a si esta energía es consumida localmente o es exportada a la red eléctrica.
- ii) Si el propietario genera más de lo que consume, este (propietario) se beneficia con una tarifa (o compensación) por la exportación de cada kWh generado e inyectado a la red.
- iii) Tarifa (o compensación) por el consumo propio de la energía generada por el usuario.

Tarifa *Net Metering*

Es un mecanismo de incentivo normalmente aplicado a fuentes de generación de energía limpia. Esta tarifa se caracteriza por la inyección a la red del exceso de energía generada por el consumidor. La diferencia en relación a la tarifa *Feed-in* es que en la modalidad *Net-metering* el consumidor paga a la distribuidora solo la energía neta.

Tarifa *Net Billing*

También llamada facturación neta. Bajo esta modalidad, tanto el consumo como la generación del usuario son registrados y facturados de forma separada (compensación monetaria). Puede estar compuesta por dos medidores, uno que mide la energía exportada a la red y otro que mide la energía importada de la misma (Dufo-Lopez, R etal, 2015).

Mercado de Energía Solar

Básicamente, los sistemas fotovoltaicos conectados a la red pueden ser clasificados en dos categorías: sistemas centralizados y descentralizados.

Sistemas Centralizados. Típicamente encontrados en parques solares para la generación de energía eléctrica de gran tamaño.

Sistemas descentralizados. Son aquellos sistemas fotovoltaicos típicamente instalados en techos de residencias (*rooftop*). En Europa, típicamente son instalados sistemas PV (*Photo Voltaic*) igual a 3 kWp en el sector residencial, 100 kWp en el sector

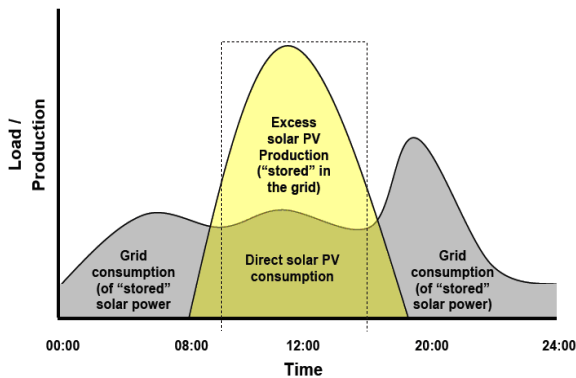
comercial, y 500 kWp en el sector industrial (Villalva G.M. et al, 2012).

Para el caso específico de nuestro país, fueron ya realizados algunos estudios sobre el potencial de la irradiación solar principalmente en el occidente de nuestro país (Calle R.E., 2021), (Gaitán C, 2014). A pesar de ese gran potencial de radiación solar el mercado nacional de energía producida a partir de células fotovoltaica (de consumidores finales) es aún incipiente. Así, con el objetivo de verificar el impacto de la instalación de un sistema solar residencial será presentado a continuación los principales costos y beneficios aplicados a esta forma de generación.

Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red – Ejemplo de Caso

Según ilustrado en la Figura. 2, el período medio de plena radiación que será considerado es de aproximadamente 5 hr/día (línea segmentada).

Fig. 2. Perfil diario de radiación solar (media) y curva típica de consumo residencial



Fuente: Hille et al. (2011).

Puede verse que la producción de energía solar es mayor en el período de menor consumo residencial del día. Así, este exceso de generación de electricidad puede ser exportado para la red eléctrica.

El sistema PV considerado para el análisis está localizado sobre el techo de una residencia en la región de Cercado (Cochabamba). El usuario a ser considerado tiene un consumo medio de 250 kWh/mes. El análisis aquí presentado puede también ser aplicado al caso de consumos de energía menores.

Taxa de Radiación Solar Diária por Metro Quadrado

Los valores de radiación solar de esta localidad fueron extraídos de la referencia (NASA, 2022) que es un *site* que ofrece datos en tiempo real de muchas variables meteorológicas, principalmente de radiación

solar. Los valores extraídos son los siguientes (Tabla I):

TABLA I. DATOS DE SALIDA DEL SITIO DE LA NASA.

- Location: Lat. -17.379°, Long. -66.1031°
- Average solar radiation (ES) = 5.33 kWh/m2/day for a maximum radiation of 1000 W/m2.
- Period considered = 01/01/2021 through 03/31/2021

Fuente: NASA (2022).

Cálculo de la Energía Producida por un Panel Solar Fotovoltaico Simple.

El panel solar considerado tiene una disposición horizontal fija con las siguientes características:

La potencia máxima considerada de un panel solar simple es de P_{MAX}=255W que opera durante las 5 hr/día consideradas (10:00 am - 15:00 pm). Este tipo de panel es común en el mercado.

El área del panel (comercial) considerado es de A_p=1.455mx1.25m = 1.069m². La expresión para el cálculo de la eficiencia de conversión del panel puede ser obtenida a través de (1)

$$\eta_p = \frac{P_{MAX}}{A_p \times 1000} \tag{1}$$

Así, se tiene que,

$$\eta_p = \frac{255W}{1.5554m^2 \times 1000W/m^2} = 0.1639 \approx 16.39\%$$

La energía producida por el panel solar es igual a:

$$E_D = E_S \times A_p \times \eta_p \times \eta_{inv} \tag{2}$$

Donde,

E_D : Energía producida pelo sistema solar (kWh/día)

E_S : Energía diaria recibida del sol (kWh/m²/día)

A_p : Área del panel (m²)

η_p : Eficiencia de conversión del panel (%)

η_{inv} : Eficiencia del inversor (entorno de 95%).

Así, la energía producida será:

$$E_D = 5.33(kWh/m^2/dia) \times 1.5554m^2 \times 0.1639 \times 0.95$$

$$E_D = 1.2908(kWh/dia)$$

La energía total suministrada por panel en un mes será:

$$E_{D_mes} = 1.2908(kWh/dia) \times 30días/mes$$

$$E_{D_mes} = 38.72kWh/mes$$

Caso se desee compensar todo el consumo de energía adquirida de la red, entonces el número de paneles necesarios ($N_{paneles}$) será:

$$N_{paneles} = \frac{E_{residencia}}{E_{D_mes_paneles}} \tag{3}$$

$$N_{paneles} = \frac{250(kWh/mes)}{38.72(kWh/mes)} = 6.46 \approx 6 \text{ paneles}$$

Sin embargo, considerando que no se pretende instalar baterías de almacenamiento, lo que hiciera que la residencia sea autónoma en su consumo de energía, serán instalados solo 4 paneles solares para reducir la adquisición de energía de la red. La energía total mensual (E_{DT}) suministrada por los 4 paneles será:

$$E_{DT} = 38.72(kWh/mes) \times 4 = 154.88(kWh/mes)$$

La potencia total del sistema fotovoltaico será:

$$P_{Max} = 4 \times 255W = 1.02 Kw$$

Conexión de Paneles

En este caso pueden ser utilizados paneles de Silicio monocristalino cuya máxima tensión de salida es de 46.11 V con corriente de salida aproximada de 5.5 A. Será adoptado 40 V de tensión media de salida. En circuito abierto la tensión de salida del panel adoptado es de aproximadamente 56.08 V_{dc}.

Por otro lado, la conexión de los paneles será en serie (Figura. 3); así, la tensión de salida equivalente será de 160 V_{dc}. Aunque la tensión de salida parezca elevada posee la ventaja de que la relación DC para AC del inversor es muy próxima. Caso sea considerada batería de almacenamiento el esquema precisaría un conversor DC-DC reductor para adecuarse a la tensión de la batería (12 o 24 V_{dc})

También es posible conectar los paneles en paralelo con lo cual la tensión media (V_{dc}) en los terminales sería de solo 40 V_{dc} siendo que la corriente nominal del grupo sería igual a 4*5.5 A = 22A.

Características Panel Solar

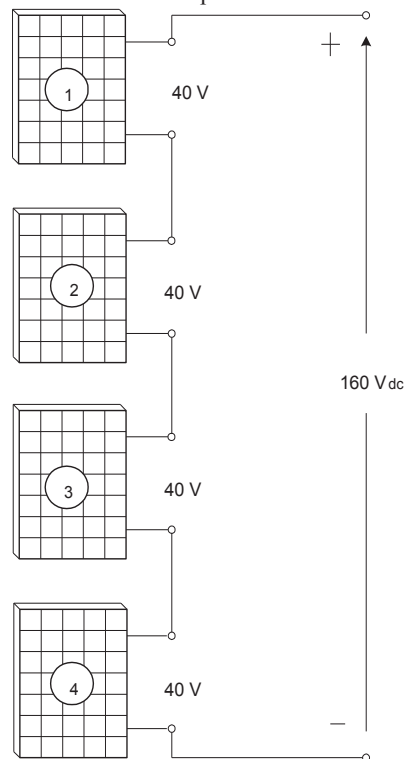
De catálogo web (Neosolar Energía, 2022) pueden obtenerse los datos técnicos mostrados en la Tabla II).

Características del Inversor

Con base en la tensión DC de salida se puede utilizar un inversor de 120 V_{dc} para una salida de 110 V_{ac} → 265 V_{ac}. De catálogo (Neosolar Energía, 2022) las

características adicionales del inversor serán aquellas mostradas en la Tabla III.

Fig. 3. Configuración de los paneles fotovoltaicos adoptados.



Fuente: Elaboración propia.

TABLA II. CARACTERÍSTICAS DEL PANEL SOLAR.

Datos eléctricos (Panel monocristalino)	
Precio/panel	B\$. 1070.0
Potencia máxima (Wp)	255 W
Tensión a máxima potencia (Vmp)	46.11 V
Intensidad a máxima potencia (Imp)	5.52 A
Intensidad de cortocircuito (Isc)	5.78 A
Tensión en circuito abierto (Voc)	56.08 V
Eficiencia	16.36%
Vida útil	25 años
Datos mecánicos	
88 células de 125x125 mm	
Vidrio exterior templado de 3.2 mm de espesor	
Capa adhesiva de etilvinilacetato (EVA)	
Capa posterior de polifluoruro de vinilo, poliéster y polifluoruro de vinilo (TPT)	
Marco de aluminio anodizado	
Temperatura de trabajo -40°C hasta 85°C	
Dimensiones 1455x1069x40 mm	
Resistencia a la carga del viento 245 kg/m ²	
Resistencia a la carga de la nieve 551 kg/m ²	
Peso 17.59 k	

TABLA III. CARACTERÍSTICAS DEL INVERSOR

Precio
B\$. 2300.0 (1 inversor para 4 paneles)
Datos de entrada
Tensión nominal de entrada 150 V _{dc}
Corriente DC máxima por MPPT 13 ^a
Rastreadores de MPP 1
Datos de salida
Potencia nominal de salida 1.5kW
Tensión nominal 230V (180V-280V)
Frecuencia nominal 50-60Hz
Corriente de salida 7.5 ^a
Eficiencia máxima 95%
THD _i <3%
Vida útil = 5 años

Costo del Sistema Fotovoltaico.

A partir de los costos presentados puede realizarse el cálculo del costo total del sistema fotovoltaico.

Paneles	= 1070.0 (B\$/panel)*4 = B\$. 4280.0
Inversor	= B\$. 2300.0
Instalación	= 4.0 (B\$/Wp)*1020(W _p) = R\$. 4080,0
Mantenimiento	= B\$. 895.0/año

Total	= B\$. 11 555.0

Nótese que el costo por instalación es próximo al costo de adquisición de los paneles. El costo por mantenimiento anual se refiere al lavado de los paneles y verificación de conexiones para prolongar su vida útil.

Escenarios Considerados para Evaluación del Sistema Solar Fotovoltaico

Serán considerados los siguientes escenarios:

i) Provisión de energía tanto por la red como por el sistema fotovoltaico sin ningún incentivo. En este caso, se asume que la residencia decide no solicitar ningún mecanismo de incentivo (*feed-in* o *net metering*), sino solo compensar su propia demanda a través del panel solar durante el día y durante la noche conectarse a la red. Se considera también que el costo mensual de la energía aplicado por la red es de B\$. 0.9209/kWh.

Por otro lado, se asume que la carga media de la residencia entre las 10:00 am y 15:00 pm es de 0.49 kW, valor obtenido adoptando un factor de capacidad igual a 50% ($f_{cap} = P_{media}/P_{nom}$), un consumo de 250 kWh/mes y una relación entre carga intermedia y demanda máxima de 70%, siendo la duración de los niveles de carga intermedia y de punta de 5 hr y 3hr, respectivamente. Esta carga media (0.49 kW) es

menor a la potencia máxima del sistema fotovoltaico calculado (1.02 kW_p).

La energía media generada por el panel solar y consumida por la residencia (periodo 10:00 - 15:00 hr) será igual a:

$$E_{solar} = 0.49kW * 5hr/día * 30días/mes = 73.5kWh/mes$$

Así, el costo mensual a ser pagado a la red será:

$$C_E = (250 - 73.5) \frac{kWh}{mes} \times 0.9209 \frac{B\$}{kWh} = B\$ _ 162.5 / mes$$

En ausencia del sistema fotovoltaico, el precio a ser pagado por la residencia sería de:

$$C_E = 250 \frac{kWh}{mes} \times 0.9209 \frac{B\$}{kWh/mes} = B\$ _ 230.2 / mes$$

La economía en la factura será de 29.4%. Sin embargo, esto requiere que en el período de mayor radiación solar (p.ej. entre las 10:00 am y las 15:00 pm) se corte diariamente la energía recibida de la red. Cabe destacar que precisamente en el periodo en el que la generación solar podría ser máxima, la demanda de energía de la residencia se reduce (nivel de carga intermedia). De ello se deduce que, como el usuario no exporta energía a la red, el número de paneles considerados estará sobredimensionado, imposibilitando la instalación del sistema solar con los 4 paneles.

ii) Exportación de la energía generada a la red considerando la tarifa *net metering*. En el caso de la tarifa *net metering* el usuario podrá exportar la energía sobrante a la red, además de no tener que accionar diariamente el disyuntor entre la residencia y la red, como en el caso anterior. Como el sistema solar estará continuamente conectado, la energía generada será aquella calculada en la Sección III (b), es decir, E_{DT}=154.88 kWh/mes. Así, el costo a pagar considerando el sistema solar será:

$$C_E = (250 - 154.88) \frac{kWh}{mes} \times 0.9209 \frac{B\$}{kWh} = B\$ _ 87.60 / mes$$

Se observa que, en relación al caso anterior hay un ahorro de B\$. 142.6/mes. Esta compensación por parte de la red será en energía, registrando un crédito en la compra de energía y no monetaria.

iii) Utilización de la tarifa *Feed-in*. En caso de que se aplique la tarifa *feed-in*, el usuario residencial podrá tener los beneficios mencionados en la Sección I. Ahora,

considerando el consumo promedio anual de la residencia igual a:

$$E_{Res} = 250 \text{ kWh/mes} * 12 = 3000 \text{ kWh/año}$$

La energía media generada en un año, por el sistema fotovoltaico, será de:

$$E_{DT} = 154.88 \text{ kWh/mes} * 12 = 1858.56 \text{ kWh/año}$$

(a) Beneficio por la energía producida (generación)

Puede ser utilizado (asumido) el mismo valor de la tarifa de energía de la red:

$$G_1 = 1858.56 \text{ kWh/ano} * 0.9209 \text{ B\$/ kWh}$$

$$G_1 = \text{B}\$.1711.55 / \text{ano}$$

(b) Beneficio por el consumo evitado de la Red. La valoración económica de los consumos evitados se debe realizar mediante la tarifa unitaria de la red. O sea, en lugar de pagar B\$. 2762.7/año (3000 kWh/año*0,9209 B\$/kWh) será pagado solo:

$$G_2 = (3000 - 1858.56) \text{ kWh/ano} * 0.9209 \text{ B\$/ kWh}$$

$$G_2 = \text{B}\$.1051.15 / \text{ano}$$

(c) Beneficio por la Tarifa de Exportación. Se considera un costo unitario de valoración por exportación igual a 0.2729 B\$/kWh que debe pagar la red al usuario (este valor fue deducido de su equivalente en Europa; deberá ser actualizado por el valor real que pudiera ser establecido en el país).

$$G_3 = (1858.56 - 3000) \text{ kWh/año} * 0.2729 \text{ B\$/ kWh}$$

$$G_3 = \text{B}\$. -311.50 / \text{año}$$

En este caso, este beneficio “no podrá ser aplicado” ya que el cálculo salió negativo. Por tanto, el beneficio total (por año) debido a la aplicación de la tarifa *Feed-in* será (4):

$$G = (G_1 + G_2 + G_3) \tag{4}$$

$$G = (1711.55 + 1051.15 + 0) = \text{B}\$. 2762.7 / \text{año}$$

Según (Del Carpio et al, 2012), el período mínimo inicial de permanencia con la tarifa *Feed-in* es de 5 años, posteriormente este período será de 15 o 20

años, dependiendo del tipo y tamaño de generación renovable.

Evaluación Económica - Periodo de retorno de la inversión.

La evaluación económica enfocada en esta sección es solo para el caso de la tarifa *Feed-in*, por ser la más favorable a la factibilidad de inversión en paneles solares. Para determinar el grado de atractividad económica del sistema PV fueron utilizadas variables econométricas como el Valor Presente Neto (VPN o *Net Present Value*) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Este cálculo puede ser realizado de forma directa utilizando programas comunes como Excel. El VPN de un flujo de caja se obtiene mediante la suma de todos los importes anuales del periodo considerado, descontados a la fecha de referencia económica:

$$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+i)^t} \tag{5}$$

- donde:
- F_t*: Valores de flujos de caja
 - t*: Años del periodo considerado (25 años)
 - i*: Tasa de interés adoptada (12%)

Como regla, se tiene que:

- Si VPN > 0, la inversión es viable y tendrá una rentabilidad sobre el capital invertido con una tasa superior a la TMA (Tasa Mínima de Atractividad) cuyo valor adoptado en el caso de estudio es de 12%.
- Si VPN = 0, la inversión es indiferente y tendrá un retorno sobre el capital invertido con una tasa igual a la del TIR.
- Pero si VPN < 0 (negativo), la inversión no es viable, ya que la tasa de rendimiento del capital invertido será inferior a la TMA.

De los resultados obtenidos en la planilla Excel se pudo evidenciar que el valor del VPN es positivo, siendo además que el TIR es mayor que la TMA (Tasa Mínima de Atractividad). Así, la inversión en el panel solar residencial sería “factible” con un retorno monetario a partir del 6° año considerando una vida útil de los paneles solares igual a 25 años. Durante el cálculo fue incluido el valor de reajuste monetario de la energía igual a 7.03% (tasa de inflación). Finalmente, recordar que la vida útil media del inversor es de aproximadamente 5 años lo cual implica que ya habrá un costo adicional por substitución del mismo al cabo de ese periodo.

RESULTADOS

Incidencia del precio del equipo en la viabilidad.

Actualmente, existe una tendencia a la reducción de costos ($B\$/W_p$), principalmente de los paneles solares, que es el componente con mayor incidencia en el costo de adquisición del equipo.

Incidencia de los niveles de radiación en la viabilidad

Pudo verificarse que los valores de radiación diferentes al valor considerado no tienen influencia significativa en el análisis de viabilidad del capital, esto debido a que los valores de radiación en otros departamentos no son muy diferentes del valor considerado.

Finalmente, se debe tomar en cuenta que la vida útil del inversor, principalmente de los semiconductores (IGBT – *Insulated Gate Bipolar Transistor*), depende del tiempo de operación de estos, es decir, cuanto mayor su operación menor será su vida útil, necesitando cambiar el equipo antes de su vida útil media.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De la evaluación económica realizada, podemos concluir que sin los debidos subsidios e incentivos gubernamentales la instalación de paneles fotovoltaicos por parte de consumidores residenciales sería aún cuestionable desde el punto de vista económico. La idea de tener un retorno económico inmediato por la instalación de paneles solares residenciales debe ser cuidadosamente evaluada. Para el caso ejemplo mostrado en este artículo, el retorno económico bajo la modalidad de tarifa *feed-in* ocurriría recién al 6° año de la instalación del kit solar.

También, a pesar de la caída en el precio de los paneles fotovoltaicos, esta forma de generación de energía sigue siendo relativamente cara, principalmente debido al costo de inversión inicial. Sin embargo, un hecho favorable para esta forma de generación, así como en el caso de la generación eólica, es que la fuente primaria (radiación) no tiene costo.

Otro aspecto a tomar en cuenta es que la eficiencia de los paneles solares sigue siendo baja (en torno a 16%). Así, si no fueran instalados en espacios no utilizados (p.ej. cubiertas de viviendas, cubiertas de campos deportivos, etc.) el área que ocupasen los paneles sería relativamente grande no compensando su instalación.

CONFLICTO DE INTERES

Los autores declaran que no tienen conflictos de interés con la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] REN21, Renewable Energy Policy Network for the 21st century, “Net Metering”. Recuperado de <http://www.ren21.net/REN21Activities/Publications/GlobalStatusReport/tabid/5434/Default.aspx>.
- [2] MEMORIA ENDE (2020). <https://www.ende.bo/public/memorias/ende-corp-2020-22-diciembre.pdf>
- [3] HILLE, G. et al. (2011). Grid Connection of Solar PV Technical and Economical Assessment of Net-Metering in Kenya. Ed. GIZ. Recuperado de https://kerea.org/wp-content/uploads/2012/12/Net_MeteringReport-Kenya.pdf
- [4] DUFO-LOPEZ R., BERNAL-AGUSTIN, J.L. (2015). A comparative assessment of net metering and net billing policies. Study cases for Spain. *Revista Energy* 84: 684-694.
- [5] DEL CARPIO, T.E. & RAMOS, D.S. (2012). Feed-in and Net Metering Tariffs: An Assessment for their Application on Microgrid Systems. In 6th IEEE/PES Latin America Transmission and Distribution Conf., Montevideo, 3-5 Sep. 2012.
- [6] VILLALVA, G. M & GAZOLI J.R. (2012). *Energía Solar Fotovoltaica Conceitos e Aplicações: Sistemas Isolados e Conectados à Red*, Ed. Érica.
- [7] CALLE, R.E. (2021). Impacto potencial del uso de la energía solar en la economía boliviana. Tesis de Grado. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. Recuperado de <https://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/26088>
- [8] GAITAN, C. (2014). Rural electrification in Bolivia through solar powered Stirling engines, KTH School of Industrial Engineering and Management Energy Technology, Final Year Project, Stockholm. Recuperado de <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:735270/FULLTEXT01.pdf>.
- [9] NASA (2022). Simulation and Design of Solar Systems. Recuperado de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

[10] NEOSOLAR ENERGIA (2022). Recuperado de <https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar.html>



Ricardo León Vásquez Arnez.

Nació en Oruro, Bolivia, es Ingeniero Eléctrico formado en la Universidad Técnica de Oruro, Magíster en Electrónica de Potencia y Drives - Universidad de Birmingham (ING) (1999), Doctorado en Ingeniería en Energía Eléctrica y Automatización de la Universidad de São Paulo (2006). Trabajó como investigador de doctorado en la prestación de servicios para la FTDE (Fundación para el Desarrollo Tecnológico de la Ingeniería) y para el ITAEE (Instituto Técnico de Automación y Estudios Eléctricos), ambos en São Paulo. Sus áreas de investigación están relacionadas con Sistemas FACTS, transmisión de energía eléctrica en EAT y UAT, protección de sistemas eléctricos, análisis de fenómenos EMT (Electromagnetic Transients), control de flujo de potencia, entre otros. Fue miembro del tribunal de tesis de maestría y doctorado de la Universidad de São Paulo. De 2013 a 2019, impartió cursos cortos en varios países de América Latina en el área de Aspectos teóricos y prácticos de la tecnología UV y el fenómeno Corona organizados por Corona Inspection Training Institute (CITI), OFIL Systems PRED & Assoc.



Tesoro Elena Del Carpio

Huayllas.

Nació en Potosí, Bolivia, es Licenciada en Administración de Empresas por la Universidad Técnica de Oruro (Bolivia), maestría y doctorado en Sistemas Eléctricos de Potencia en la Escuela Politécnica de la Universidad de São Paulo (Brasil) respectivamente. También realizó su posdoctorado en el área de Sistemas Eléctricos de Potencia en la Escuela Politécnica de la Universidad de São Paulo, (Brasil). Actualmente trabaja como investigadora en áreas relacionadas con energías alternativas, microrredes eléctricas y regulación eléctrica. Es coautora de publicaciones en revistas internacionales en las áreas mencionadas.