

Comparación técnico-económica entre sistema de generación fotovoltaico híbrido y on-grid: estudio de caso.

Fischer Gerardo G. ^{a*}, Neumann Miqueas M. ^a, Angermeier Pablo J. ^a, Oliveira Mario O. ^{a,b} y Cabral Roberto J. ^{a,b}

^a Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

^b Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Energía Eléctrica - LIDEE, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

e-mails: miqueasneumann@gmail.com, fischerggabriel@gmail.com, pabloangermeier539@gmail.com, ingenioli@gmail.com, robert_rjc@hotmail.com

Resumen

Este artículo presenta el análisis técnico-económico del proyecto “Diseño de Sistema Fotovoltaico a Implementar en Facultad de Arte y Diseño, Albergue Estudiantil 2 y Biblioteca Regional Oberá” el cual fue desarrollado en la cátedra “Proyecto Electromecánico 2” de la carrera de Ingeniería Electromecánica. La propuesta técnica consiste en la implementación de un sistema solar fotovoltaico híbrido para el abastecimiento de energía eléctrica de dichos establecimientos, y en este documento se realiza una comparación económica con un sistema on-grid. Los resultados obtenidos muestran la viabilidad técnica del proyecto con sistema híbrido pero el análisis económico define que, al precio actual de venta de energía excedente, el sistema on-grid se sobrepone al sistema híbrido desde el punto de vista de recuperación de la inversión.

Palabras Clave –Análisis técnico-económico, Energía renovable, Sistema híbrido, Sistema on-grid, Generación fotovoltaica.

1. Introducción

La energía, en todas sus formas, es esencial para desarrollar las actividades diarias de las personas, pero implica consecuencias ambientales que afectan directa e indirectamente a la población, ya que provoca un desequilibrio en todo el ecosistema. Las centrales térmicas, producen gases productos de la combustión derivando en problemas de calentamiento global y lluvias ácidas. Las grandes centrales hidráulicas producen pérdidas de hábitat y perturbaciones a la flora y fauna. Es por eso que las fuentes renovables como la solar y la eólica se presentan como alternativa sustentable para generación de energía eléctrica. Cada vez más países aumentan su producción de energía a través de fuentes renovables, como ser, la generación fotovoltaica.

La producción anual de energía eléctrica generada mediante paneles fotovoltaicos a nivel mundial equivalía, en 2015, aproximadamente a 184 TWh, energía suficiente para abastecer las necesidades energéticas de aproximadamente el 1(un) % de la demanda mundial de electricidad [1].

En la actualidad, la mayor producción mundial de energía solar fotovoltaica se da en la planta solar del Desierto de Tengger en Zhongwei, provincia de Ningxia, China con una capacidad de 1.547 MW. Se comenzó a construir en 2012 y se concluyó a finales de 2015 [2].

En América, la mayor producción de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos se logra en el Parque Solar Villanueva, ubicado en Viesca, México. La planta tiene una capacidad total de 828 MW, y su construcción comenzó en marzo de 2017, estando en abril de 2018 operando con el 40% de su capacidad [3].

En la Argentina continúa creciendo el uso de las energías verdes. Recientemente, en la provincia de San Luis se inauguraron los parques solares Caldenes del Oeste y La Cumbre, que aportarán 46,75 MW de energía renovable al sistema nacional, un equivalente al requerimiento eléctrico de más de 30.000 hogares [4].

El gobierno de la República Argentina declara de interés la generación de energía eléctrica en base a fuentes renovables con destino a la prestación de servicio público y establece una meta en alcanzar el 20% para el 2025 [5].

Analizando las instalaciones existentes en la provincia de Misiones, específicamente la ciudad de Oberá, otro proyecto de generación fotovoltaica se tiene en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones (UNaM), en el departamento de ingeniería electrónica. La instalación cuenta con 6 (seis) módulos fotovoltaicos de 300 W cada uno, dando una potencia instalada de 1800 W. Este sistema se encuentra conectado en paralelo con la red eléctrica, por lo cual aporta su energía generada que luego se ve reflejada en la facturación de la prestadora de servicio.

Los cortes del suministro de energía eléctrica interrumpen el normal desarrollo de las actividades residenciales, comerciales e industriales y las actividades académicas que se realizan en las instituciones educativas también son perjudicadas por los mismos. En este sentido, la Facultad de Arte y Diseño (FAyD), Albergue Estudiantil 2 y Biblioteca Regional de la Universidad Nacional de Misiones, también perciben el impacto de un corte del suministro eléctrico debido a que estos edificios no cuentan con un generador de energía propio.

Ante esto, este proyecto tiene la finalidad de proponer un sistema de generación híbrido, es decir, un sistema capaz de generar energía por medio de paneles solares fotovoltaicos conectados en paralelo con la red y a su vez almacenarla en baterías para asegurar el suministro eléctrico en horas sin radiación solar. Las cargas consideradas en el proyecto para abastecimiento de energía con el sistema fotovoltaico son las luminarias y aquellos artefactos indispensables en las actividades académicas y administrativas (computadoras, proyectores, impresoras). Por otro lado, se realiza un análisis económico del sistema propuesto y se lo compara con un sistema de generación on-grid, es decir, un sistema conectado solamente en paralelo con la red eléctrica y que no supe de energía a las cargas de las instalaciones ante un corte de suministro eléctrico. El sistema on-grid posee menor costo ya que no es necesario el uso de baterías y además los inversores son más económicos que para un sistema híbrido.

En este artículo se presenta el análisis técnico-económico del sistema de generación híbrido y la comparación con un sistema on-grid por lo cual se presentan marcas comerciales al solo efecto de poder definir costos estimados de los componentes de cada sistema analizado.

2. Análisis técnico

2.1. Cálculo de cargas

Se llevó a cabo un relevamiento de la potencia de los artefactos de cada edificio discriminándolos como cargas esenciales (como por ejemplo luminarias) y no esenciales (como ser aires acondicionados) para el funcionamiento de las actividades académicas. La Fig. 1 presenta la ubicación de las instalaciones consideradas en este proyecto, las cuales son: albergue estudiantil 2 (punto 1), biblioteca regional (punto 2) y la FAyD (punto 3); **Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



Fig. 1. Vista satelital de las instalaciones para abastecimiento de energía con sistema fotovoltaico.

Teniendo en cuenta los horarios de uso de cada espacio, el tipo de artefacto y la cantidad de usuarios se establecen distintos factores de simultaneidad y horas de uso, obteniendo de esa manera una aproximación de la energía consumida para las actividades académicas en días normales de uso.

Luego de analizar los tableros generales y seccionales de los edificios, se definió que la carga a alimentar con el sistema fotovoltaico será: carga de iluminación en su totalidad y tomacorrientes de uso general. Las cargas en circuitos especiales como ser aires acondicionados y hornos eléctricos no serán alimentadas por las baterías por lo cual se diseñó un sistema de desconexión de las mismas en los casos de falla de suministro de energía externo (red eléctrica).

Para disminuir la capacidad que deberían tener las baterías se considera un cambio del tipo de luminarias fluorescentes por luminarias de tipo LED, ahorrando así un 50% de energía en

iluminación. En el cálculo de las baterías se limitó a 3 horas de consumo pico en un día normal de clases. Los cálculos de carga se realizan teniendo en cuenta factores de simultaneidad determinados a partir de un análisis de las instalaciones en diferentes horarios. Se confeccionaron tablas para cada instalación con las cargas esenciales relevadas. En la Tabla 1 se puede observar las cargas correspondientes a la biblioteca regional.

Tabla 1. Cargas esenciales de la biblioteca.

Biblioteca							
Ambiente	Artefacto	Cantidad	Potencia unitaria [W]	Coefficiente de simultaneidad	Potencia total [W]	horas por día [h/día]	Energía por día [Wh/día]
Oficina	Tubo LED	6	18	1	108	12	1296
	Computadoras	3	300	0,66	594	12	7128
Lugar de estudio	Ventiladores	5	90	0,5	225	12	2700
	Tubo LED	64	18	1	1152	12	13824
Pasillo	Tubo LED	2	18	1	36	12	432
Baño hombre	Tubo LED	4	18	0,08	6	12	72
Baño mujeres	Tubo LED	4	18	0,08	6	12	72
Recepción	Tubo LED	4	18	1	72	12	864
	Computadoras	2	300	0,5	300	12	3600
Sala computación	Computadoras	12	300	0,2	720	12	8640
	Tubo LED	40	18	1	90	12	1080
Total							39708

La energía a suplir con el sistema híbrido por el tiempo de 3 horas es calculada teniendo en cuenta que las baterías deben alimentar la carga sin la ayuda del sistema fotovoltaico. Esto es necesario a los efectos de tener en cuenta la posibilidad de que el evento de falla del suministro eléctrico externo sucediese un día nublado, de lluvia o de noche. En la Fig. 2 se presenta la potencia respecto al tiempo en cada edificio analizado. Estos valores se dan en un día laboral y, como se consideran cargas esenciales, estas son independientes de la época del año.

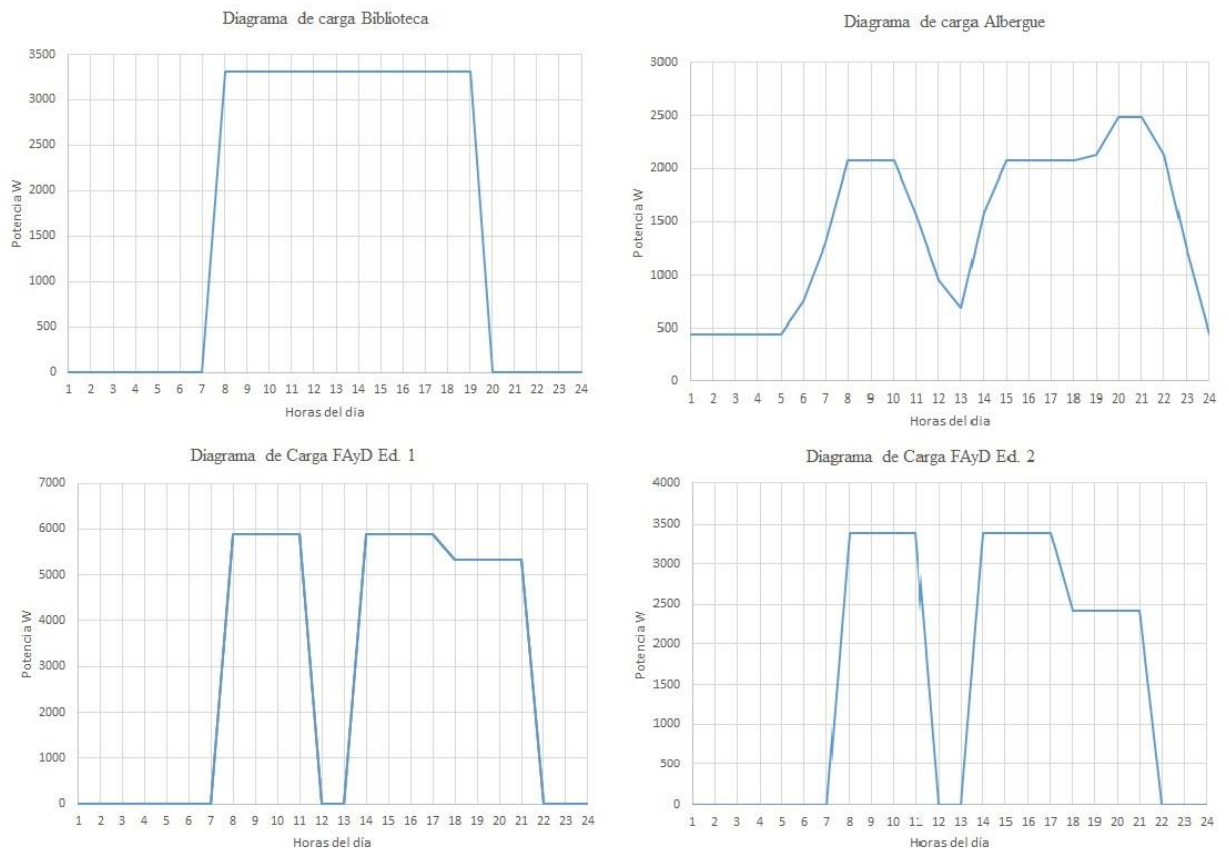


Fig. 2. Diagrama de carga de las instituciones analizadas.

2.2. Selección de dispositivos

2.2.1. Paneles fotovoltaicos

Se optó por paneles solares monocristalinos por su mayor rendimiento, y especialmente por las condiciones climáticas de la zona de utilización que se caracteriza por tener alta temperatura y elevada humedad. El criterio para seleccionar los paneles fue: precio-potencia, tamaño y disponibilidad en el mercado local.

Basado en cálculo previos, se seleccionaron paneles de 345 W a modo de aprovechar la distribución en los techos curvos ya que su instalación está limitada a las distancias de las vigas que soportan el techo.

El tipo de panel seleccionado es de marca Jinko, modelo 345m-72 con una tensión en el punto de potencia máxima de 38,9 V y de circuito abierto de 47,3 V. La corriente de cortocircuito es de 9,93 A y presenta una corriente de máxima potencia de 9,31 A. Tiene una eficiencia de 17,78% y sus dimensiones son 1956x992x40 mm [6].

2.2.2. Selección de inversores

Para la elección de los inversores se tuvo en cuenta la variación de tensión de los paneles solares en función de la variación de temperaturas durante todo el año. También se tuvo en cuenta el rendimiento y la potencia que debería manejar.

Se puede ver en la Tabla 2 que, con una cantidad de 34 paneles fotovoltaicos de las características mencionadas, se cumplen los requisitos del inversor.

Tabla 2. Parametros de selección de inversor.

	Valor mínimo	Valor máximo	Valor calculado
Voc (-4°C) [V]	350	900	871,72
Imax [A]	-	18,6	9,31
Vm (-4°C) [V]	350	850	728,9
Vm (85°C) [V]	350	850	521,39

2.2.2.1. Inversores para el sistema hibrido

La principal característica que debe cumplir este inversor es entregar energía a la red y poder ocupar la energía almacenada en las baterías en caso de un fallo en el suministro de la red eléctrica.

Se adoptó un inversor de 10 kW de marca Renogen modelo PHI 3P que es un inversor hibrido trifásico programable [7]. Se proyectó el uso de 11 inversores con el fin de seguir generando en caso de avería en algún inversor y de esta forma estandarizar la potencia de los mismos y ocupar los mismos dispositivos en todos los edificios. Además, para no tener inversores de distintas potencias, se optó por estandarizar todos los inversores en 10 kW y, otro factor muy importante, que estén disponibles en el mercado local.

2.2.2.2. Inversores para el sistema On-grid

Para este sistema se optó por un inversor con similares características que el inversor del sistema hibrido. Así, se pueden considerar los mismos rendimientos para el sistema de generación y se puede conectar la misma cantidad de paneles. En esta configuración lo único que cambiaría respecto del sistema hibrido serían los inversores y no se colocaría el banco de baterías, por lo que el inversor seleccionado para este sistema es de la marca GOODWE GD10KN-DT [8].

2.2.3. Baterías

En la determinación de las baterías se consideró una vida útil mínima de 210 ciclos. Se adoptó un factor de profundidad de descarga del 50% para optar entre un balance de costo inicial y tiempo de duración. Otra característica que se buscó, fue que la batería pueda soportar al menos 45°C en caso de que la ventilación de las casillas quede fuera de servicio. También se tuvo en cuenta la seguridad de las personas y mantenimiento por lo que se eligió baterías de ácido plomo selladas AGM (*absorbed glass material*), cabe aclarar, una batería AGM es una batería sellada y cuyo electrolito va absorbido en unos separadores de fibra de vidrio. A su vez, se consideró el recambio modular de baterías para no tener que cambiar el total en caso de una avería, por lo que se optó por baterías de 12 V. Por último y no menos importante se tuvo en cuenta la relación precio vs Amper-hora (Ah).

Una de las características principales es que la batería debe funcionar 3 horas, por lo que se elige una batería o conjunto de baterías con una capacidad de descarga del 50% en 3 horas.

La batería adoptada para la instalación del sistema híbrido es una batería de 12 V y 225 Ah de la marca Ritar modelo DC12-225 [9].

2.2.3.1. Cálculo de baterías

Para este cálculo se tiene en cuenta el rendimiento del inversor, la carga con un $\cos \phi = 0,95$, un factor de perdidas en el sistema de baterías y conductores del 5% y un ciclo de profundidad de descarga del 50%. Con estos factores de diseño se determina la energía en la batería (EB) y la energía de batería que se necesita para el ciclo de descarga planteado (EB50). Estos valores se resumen en la Tabla 3 y en la Tabla 4 se especifica la cantidad de baterías a utilizar junto con la energía provista por cada banco.

Tabla 3. Energía de baterías para 3 horas de autonomía.

Lugar	EB [kWh]	EB50 [kWh]
Albergue	8,66	17,33
FAyD Ed. 1	21,51	43,02
FAyD Ed. 2	12,41	24,82
Biblioteca	12,05	24,10

Tabla 4. Cantidad de baterías estandarizadas según banco de baterías disponible.

Lugar	Cantidad de baterías	Energía [kWh]
Albergue	8	21,6
FAyD Ed. 1	16	43,2
FAyD Ed. 2	12	32,4
Biblioteca	8	21,6

2.2.4. Posicionamiento de los paneles

Se tomaron fotografías en 360 grados en los techos de los edificios con el fin de determinar el coeficiente de sombreado y también el ángulo óptimo de orientación de los paneles, parámetros obtenidos con ayuda de simulaciones realizadas mediante el software Solarius PV [10].

Al tener las fotos en todos los ángulos del techo se reúnen en una sola imagen y se cargan los datos de vegetaciones cercanas, edificaciones y el horizonte orientando la imagen para que coincida con los puntos cardinales. Se coloca también el dato del ángulo con que fueron tomadas las fotografías respecto al suelo, el cual es definido por una observación visual y comparando las imágenes, por lo que el coeficiente de sombreado puede diferir hasta un 5% del real. Sin embargo, este coeficiente fue utilizado como una referencia a priori ya que se considera una poda periódica de los árboles efectuada por la facultad. Al tener toda la información cargada, se simula las posiciones del sol y se consigue el valor más adecuado del coeficiente de sombreado. Cabe aclarar que el coeficiente de sombreado es un coeficiente que hace disminuir la radiación efectiva sobre los paneles solares, por lo cual, si se tienen un coeficiente de sombreado bajo, la ubicación de los paneles sería poco eficiente.

En el albergue, se estima que el coeficiente de sombreado será de 1 (uno) ya que es el edificio más alto y no hay vegetación que sobrepase su altura.

Luego de realizar las simulaciones fueron descartados los lugares con coeficientes menores a 0,7, proponiendo en estos casos otra ubicación de los paneles. En los lugares donde no se pudo obtener fotografías, se consideró el valor del edificio más cercano ya que no cambia notablemente la vegetación y edificios de alrededor. En la

Tabla 5 se puede observar los coeficientes de sombreado calculados para los distintos edificios.

Tabla 5. Coeficientes de sombreados de las edificaciones.

	FAyD Ed. 1	FAyD Ed. 2	Biblioteca	Albergue
Coeficiente de sombreado	0,94	0,97	0,95	1

Para la ubicación de los paneles se tuvo en cuenta el rendimiento óptimo calculado mediante simulaciones con el software Solarius PV teniendo en cuenta también aspectos de mantenimiento (pasillos para poder desplazarse) y los soportes realizados.

Los paneles se posicionan según el ángulo de azimut medido desde el norte en el plano y el ángulo de elevación (tit) el cual es medido desde el azimut marcado. Existen techos donde, por cuestiones de peso, resulta difícil elevar los paneles en un ángulo mayor a 20° para conseguir un 100% de rendimiento. Además, cuestiones como fijación de estructuras y sombra al panel vecino también deben ser consideradas. Sin embargo, con el ángulo del propio techo se consigue un rendimiento mayor al 80%.

A continuación, la Tabla 6 presenta un resumen de los distintos tipos de techos y los ángulos a los cuales estarían instalados los paneles.

Tabla 6. Posiciones de los paneles.

	FAyD Ed. 1	FAyD Ed. 2		Biblioteca	Albergue	
Características	Techo curvo	Techo de entrada	Techo curvo	Techo biblioteca	Techo albergue	
Rendimiento de Irradiación [%]	99,76	97,22	99,76	97,78	83,81	89,74
Azimut [°]	20	20	20	20	-156	108
Elevación(tit) [°]	21	5	21	5	20	20

2.3. Energía generada

Teniendo en cuenta los valores máximos y mínimos de tensión y corriente del inversor, se establece una cantidad de 34 paneles por inversor. Además, se tiene en cuenta la superficie del techo, los rendimientos por las sombras en cada posición y tratando de evitar arboles cercanos, se obtiene un total de 374 paneles solares, atendiendo así la demanda de energía por día (

Tabla 7). Se puede observar en la Fig. 3 a posición de los paneles en el techo de la biblioteca con el fin de evitar sombras y evitar arboles cercanos.

Tabla 7. Energía demandada y generada en los distintos edificios.

Edificio	Energía demandada [kWh]	Energía generada [kWh]
FAyD	105,31	160,47
Biblioteca	39,7	65,22
Albergue	34,5	41,22

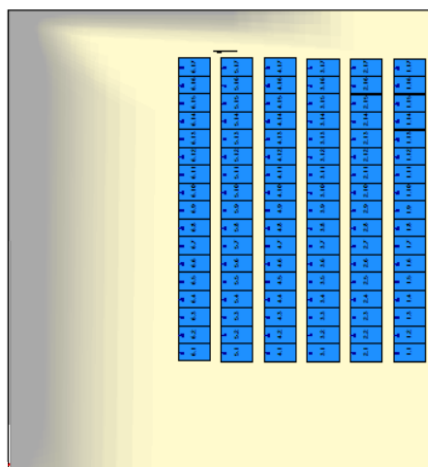


Fig. 3. Posicionamiento de los paneles en la biblioteca.

La energía generada se obtiene mediante simulaciones efectuadas con el software Solarius PV. A esta energía se le debe afectar un rendimiento por temperatura que va de 86,4% a 93,35% dependiendo las temperaturas en los distintos meses. Así también se afecta a la energía generada cada año un rendimiento por envejecimiento de los paneles solares, dado que los mismos pierden rendimiento al pasar los años.

Mediante la ecuación (1), se calcula un factor de rendimiento constante que debe afectar a la energía generada a lo largo de todo el año sin variar con el tiempo ni con la temperatura.

$$\eta_{cte} = \eta_{inv} * \eta_{cond} * \eta_{en} * \eta_{pos} \tag{1}$$

donde: η_{cte} es el rendimiento constante; η_{inv} es el rendimiento del inversor; η_{cond} es el rendimiento de los conductores; η_{en} es el rendimiento por ensuciamiento; η_{pos} es el rendimiento por la posición de los paneles.

En la Fig. 4; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa la energía generada anualmente afectada por los rendimientos detallados en la ecuación 1 (uno).

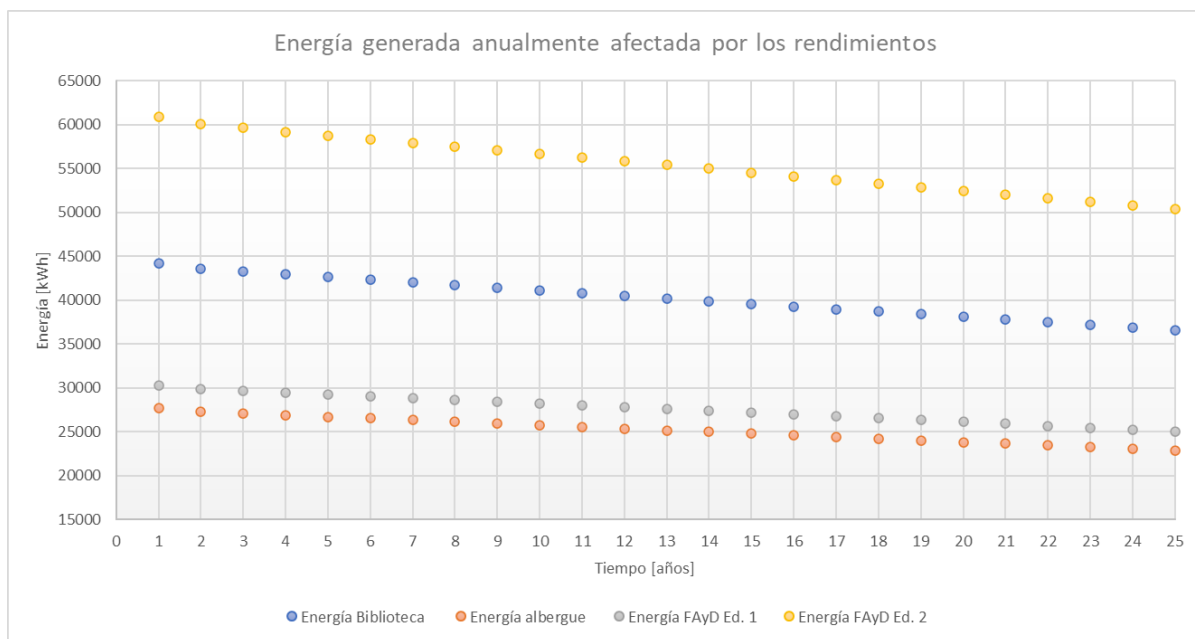


Fig. 4. Energía generada anualmente afectada por los rendimientos.

2.4. Instalación eléctrica

2.4.1. Diseño de puesta a tierra

Se calcula un sistema de puesta a tierra para las distintas casillas de control y almacenamiento de baterías, considerando para ello una resistencia de puesta a tierra menor a 10Ω según lo recomendado por la reglamentación AEA 90364 [11]. Los valores de resistividad del terreno fueron obtenidos en el cursado de la cátedra “Mediciones y Metrología” el día 23/11/2017 a las 15:00 hs con una humedad del 28,3% y una temperatura de $29,1 \text{ }^\circ\text{C}$ en el terreno de la Facultad de Ingeniería de Oberá el cual está muy próximo a la FAyD. El resultado más desfavorable fue $415,24 \Omega\text{m}$ obtenido por el método de “Wenner”.

El cálculo del sistema de puesta a tierra de contrapeso (conductor desnudo enterrado longitudinalmente) es realizado según la reglamentación AEA 90364. Según los resultados obtenidos, colocando un conductor desnudo enterrados en la biblioteca y en la FAyD con una sección de 90 mm^2 y una longitud de 100 m se obtiene una resistencia de 10Ω , lo que es aceptable para la normativa vigente.

2.4.2. Conductores y protecciones

2.4.2.1. Conductores y protecciones en corriente continua

Según la corriente máxima que pueden entregar los paneles, se determina la sección mínima del conductor verificando que la caída de tensión no supere el 1,5% y que el cable soporte la corriente máxima [12].

Se verifica que los conductores de 4 mm^2 logran soportar la corriente producida por los paneles fotovoltaicos, ya que la máxima corriente que pueden generar ronda los 9 A y los conductores de 4

mm² soportan una corriente de 44 A y cumplen con la caída de tensión. En este proyecto, se deberán instalar entonces fusibles de 10 A para proteger la instalación fotovoltaica.

La tensión de trabajo del inversor es de 48 V por lo que se colocan baterías de 12 V en serie para lograr dicha tensión y en caso de requerir más carga, se prevé la instalación de bancos de baterías en paralelo. La corriente necesaria por cada inversor en 48 V se debe calcular en función de la potencia de trabajo.

El inversor posee una potencia de trabajo de 10.000 W con un rendimiento de 91%, y a 48 V se obtiene una corriente de 230 A. Por lo tanto, se utilizan cables de 1x95 mm² con un fusible de 250 A para alimentar al inversor con el banco de baterías.

2.4.2.2. Conductores y protecciones en corriente alterna

La determinación de los conductores que interconectan los inversores con la red eléctrica y las cargas se realizó en función de la corriente máxima que los inversores son capaces de entregar. Dicha corriente se calcula considerando la potencia de cada inversor, la cual tiene un valor de 10.000 W. De esta manera se obtiene una corriente máxima de 15,2 A por lo cual se selecciona un conductor de 0,6/1,1 kV tetrapolar con una sección de 4 mm², ya que este tipo de conductor en la marca Prysmian admite 30 A [13]. Para el sistema de protección se optan por interruptores termomagnéticos tetrapolar 4x16 A limitadora clase 3 y una corriente de ruptura de 6 kA. La corriente nominal del circuito es de 15,20 A y con ello una protección de 16 A limitadora clase 3 garantiza el cuidado y la seguridad de los conductores.

Ante un corte de suministro eléctrico en el sistema híbrido, se desconectarán los inversores de la red y se alimentarán los distintos edificios mediante la generación fotovoltaica y el uso de baterías. Se alimentará solamente las cargas detalladas en la sección 2.1 de este artículo, mientras que las demás cargas serán desconectadas mediante el uso de contactores. La desconexión de los inversores con la red se realiza mediante un sistema de transferencia automático (ATS). Los ATS fueron elegidos teniendo en cuenta la cantidad de operaciones (vida útil mecánica), la corriente nominal y los tiempos de conmutación. La corriente nominal de los ATS es deducida a partir de los fusibles y termomagnéticos ya instaladas en los edificios. Se selecciona para la biblioteca y albergue ATS de corriente nominal de 80 A y una vida útil mecánica de 5.000 maniobras, mientras que para la FAyD se selecciona un ATS de corriente nominal de 630 A y 5.500 maniobras de vida útil.

Los inversores deberán estar conectados en paralelo mediante un kit de conexión en paralelo, para que todos los inversores de una misma casilla estén sincronizados. Otra maniobra que se realizará ante un corte de suministro de la red es la desconexión, mediante contactores, de los equipos acondicionadores de aire de los edificios 1 y 2 de la FAyD. Se destaca que los hornos de la facultad son desconectados mediante el ATS y no por medio de los contactores.

2.5. Soportes para paneles solares

Se diseñaron tres tipos de soportes; el primero para los techos con chapas del tipo T-90 (Fig. 5) en los cuales se parte de un perfil tipo C en el que se atornillan los paneles. El perfil tipo C se sujetará

al techo por unos soportes de un perfil angular. El segundo diseño de soporte (Fig. 6) está proyectado para techos curvos, en los cuales las chapas utilizadas son onduladas del tipo C-27. Como cada panel se encuentra a un nivel superior que el anterior debido a la geometría del techo, es posible utilizar el ángulo de elevación de máximo rendimiento ya que no hay inconveniente de que un panel le haga sombra al otro y afecte su rendimiento. Para este caso, los soportes son articulados mediante bisagras con el fin de lograr la posición deseada. Así también, las patas traseras son regulables mediante dos caños de distinto diámetro permitiendo de esta manera que uno de ellos se pueda desplazar dentro del otro. El tercer diseño de soporte es muy similar al anterior con la diferencia que sus patas traseras son fijas e iguales a las delanteras.

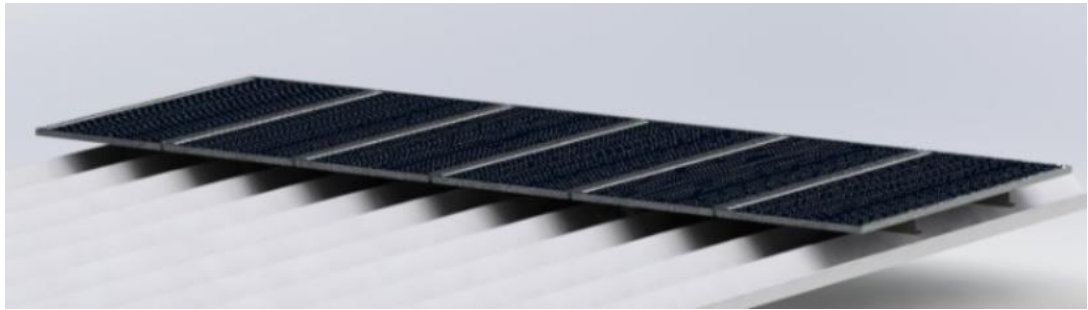


Fig. 5. Grupo de 6 paneles dispuestos en una estructura para fijarse en chapa T-90.

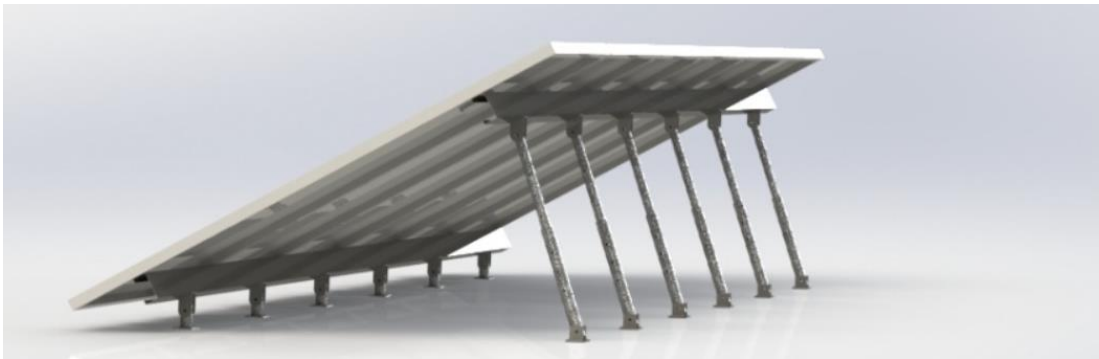


Fig. 6. Estructura regulable diseñada para los paneles en techos con chapa C-27.

3. Análisis económico

En esta sección se presenta el análisis económico teniendo en cuenta los egresos e ingresos de dinero de ambos sistemas planteados, tanto el híbrido como el on-grid. Como ambos sistemas son de características similares se pueden comparar los resultados obtenidos.

3.1. Análisis económico del sistema híbrido

Se propone que la universidad aporte una fracción de la inversión inicial y el dinero restante lo obtenga mediante un préstamo. En la Tabla 8 se puede observar los datos de la inversión inicial, el monto del préstamo solicitado y la financiación propia en dólares estadounidenses (USD).

Tabla 8. Inversión inicial.

Inversión inicial	
Costo total del proyecto	USD 201.950,03
Costo total con imprevistos	USD 212.047,53
Porcentaje destinado a imprevistos	5%
Inversión propia	USD 62.047,53
Préstamo	USD 150.000,00
Tasa de interés del préstamo	5%
Cantidad de cuotas del préstamo	20
Valor de la cuota	USD 7.832,44
Tipo de sistema de préstamo	Francés

En el costo total del proyecto están contemplados, el costo de la fase de diseño, los costos de elementos y materiales, y el costo de mano de obra para emplazar todo el proyecto.

Los ingresos que se relacionan directamente con el proyecto son: el ingreso económico por la energía inyectada a la red y el ahorro de energía que ya no se necesita comprar.

Con respecto a los egresos, se tiene primeramente la cuota del préstamo que se debe pagar durante 20 años. Otro egreso es el recambio de baterías que se realiza cada 8 o 9 años. El costo de limpieza y mantenimiento de los paneles estará a cargo de la FAyD.

En la Tabla 9 se observa, en la columna “sistema híbrido”, un resumen de los costos totales de todas las instalaciones analizadas, donde se logra ver que la Tasa Interna de Retorno (TIR) es menor a la tasa de interés del banco, por lo cual el proyecto no sería rentable. Este resultado se da con un valor de 0,057 USD por kWh consumido y USD 50,35 MWh inyectado a la red según el precio promedio ponderado del programa RenovAr, ya que el precio de la energía consumida e inyectada no es el mismo [14]. Sin embargo, si el valor de la energía en un futuro es de 0,081 USD el kWh el proyecto se volvería rentable.

En la gráfica del flujo acumulado del sistema híbrido (Fig. 7) se puede observar saltos o picos negativos relacionados al recambio de baterías cada 8 años. Además, se observa que en todos los años del proyecto no se tienen ganancias positivas de dinero.

Tabla 9. Resumen económico comparando ambos sistemas.

Resumen económico		
	Sistema Híbrido	Sistema On-grid
Costo total FAyD	USD 92.060,90	USD 61.748,15
Costo total biblioteca	USD 42.078,18	USD 30.558,73
Costo total albergue	USD 32.755,95	USD 23.721,21
Costo total mano de obra	USD 22.716,00	USD 22.716,00
Costo diseño del proyecto	USD 12.339,00	USD 12.339,00
Costo total proyecto	USD 201.950,03	USD 151.083,09
Costo total proyecto con 5% para imprevistos	USD 212.047,53	USD 158.637,25
Préstamo	USD 150.000,00	USD 150.000,00
Inversión propia	USD 62.047,53	USD 8.637,25
VAN	- USD 71.219,40	USD 19.596,07
TIR	-6,44%	9,98%
Tasa de interés del banco	2,25%	2,25%

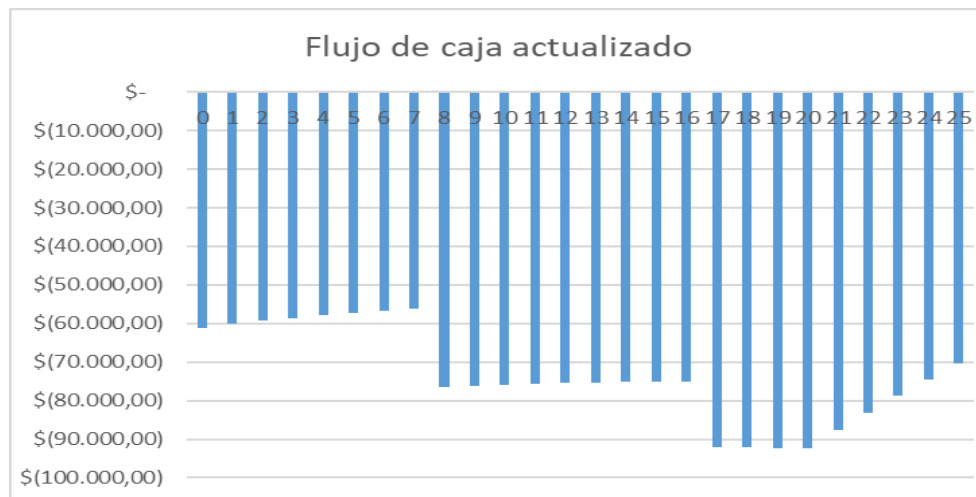


Fig. 7. Flujo de caja del sistema híbrido.

3.2. Análisis económico comparativo con una propuesta de sistema on-grid

En esta sección se realiza un análisis económico teniendo en cuenta un sistema on-grid con similares características que el sistema híbrido a fines de realizar una comparación entre ambos métodos.

Se observa en la Tabla 9, columna “sistema on-grid”, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** que la Tasa Interna de Retorno (TIR) es mayor a la tasa de interés del banco, por lo cual el proyecto es rentable económicamente. Además, comparando la inversión inicial del sistema híbrido (que tienen un valor de USD 212.047,53), con la inversión inicial del sistema on-grid (la cual vale USD 158.637,25), se puede observar que la inversión inicial requerida para el sistema on-grid es menor. Asimismo, se logra apreciar en el flujo de caja del sistema on-grid (Fig. 8) que a partir del año 21 se comienza a tener flujo de caja positivo, obteniéndose hasta el año 25 ganancias monetarias por USD 54.944,00.

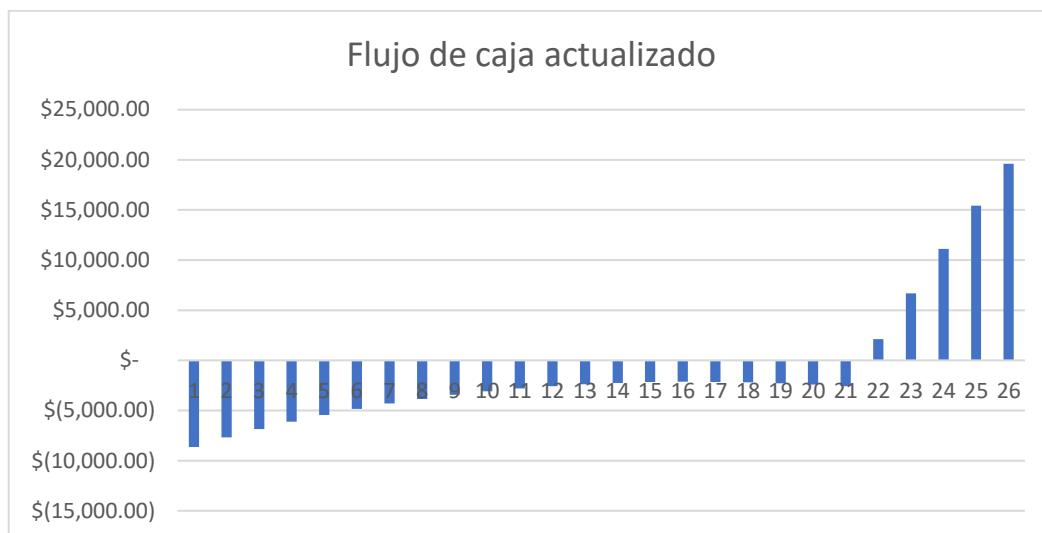


Fig. 8. Flujo de caja actualizado del sistema On-Grid

4. Conclusión

Los resultados obtenidos con respecto al diseño de sistema de generación fotovoltaica para abastecer parte de la instalación eléctrica de la FAyD, Albergue estudiantil 2 y Biblioteca regional son muy favorables, ya que, en primer lugar, dichos establecimientos cuentan con gran superficie techada disponible para la colocación de las celdas fotovoltaicas. Además, otro factor muy importante es la radiación solar que se tiene en la provincia de Misiones, la cual, en el período de verano, tiene un valor importante con lo cual se logra generar energía eléctrica que se podrá inyectar a la red si hubiese excedente entre el consumo de las instalaciones y dicha energía generada.

Por otro lado, en el caso de cortes de suministro eléctrico externo (corte desde la red eléctrica de distribución), las instalaciones podrán seguir operando con el sistema híbrido con una disminución de su carga asegurando sus actividades por 3 horas. En este caso, sectores específicos como ser: aulas, oficinas administrativas en el caso de la FAyD, recepción y oficinas en el caso de la biblioteca regional estarán alimentadas por medio de baterías.

Adicionalmente, con la implementación de alguno de los sistemas de generación planteados, se logra reducir la contaminación ya que se reemplaza parte del consumo energético de los distintos establecimientos por energía renovable libre de emisiones de gases de efecto invernadero en los 25 años de vida útil del proyecto.

Con respecto a la comparación económica realizada entre el sistema híbrido y el sistema on-grid, se puede concluir que el sistema híbrido no es viable económicamente a un costo de 0,057 USD/kWh consumido y USD 50,35 MWh inyectado a la red. Sin embargo, el sistema on-grid si es rentable económicamente en el transcurso de 25 años que dura el proyecto, pero dicho sistema no cumple con el objetivo general del proyecto que es suplir de energía eléctrica a los edificios de la FAyD, Biblioteca y Albergue Estudiantil 2 de la Universidad Nacional de Misiones (UNaM) en forma independiente de la red de distribución, es decir, en forma aislada.

Agradecimientos

Se agradece a las autoridades de la Facultad de Ingeniería y de la Facultad de Artes y Diseño de Oberá por permitir el acceso a los edificios con el fin de relevar la instalación eléctrica y verificar las características constructivas de los techos. También se agradece al técnico Carlos Sarasua que acompañó a realizar dicha actividad.

De igual manera, se gratifica el apoyo de los docentes Ing. Cabral Roberto e Ing. Oliveira Mario por su asistencia técnica durante el desarrollo del proyecto. Al Ing. Fernández Guillermo, al Ing. Wagner Nelson y al Ing. Martínez Gustavo por los conocimientos y material aportados.

Referencias

- [1] Wikipedia. (9 de Mayo de 2019). Energía solar fotovoltaica. Disponible: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Energ%C3%ADa_solar_fotovoltaica&oldid=115827163
- [2] José A. Roca (09 de octubre de 2018). Las 20 mayores plantas fotovoltaicas del mundo: China, India y EEUU arrasan. El periódico de la energía. Disponible: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>
- [3] José A. Roca (03 de septiembre de 2018). Las 10 mayores plantas fotovoltaicas de Latinoamérica. El periódico de la energía. Disponible: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-de-latinoamerica/>
- [4] Profesionales de la revista. (16 de septiembre de 2018). La Argentina tiene sus primeros dos parques solares. La red del Campo Chacra. Disponible: <http://www.revistachacra.com.ar/nota/22080-la-argentina-tiene-sus-primeros-dos-parques-solares/>
- [5] Carlos Manzoni (7 de julio de 2019). Energías renovables: cuánto y cómo se produce hoy en la Argentina y cuál es el potencial. La Nación. Disponible: <https://www.lanacion.com.ar/economia/energias-renovables-cuanto-y-como-se-produce-hoy-en-la-argentina-nid2265166>
- [6] Catalogo online Jinko Solar. Disponible: <https://somabe.com.tn/wp-content/uploads/2019/11/Jinko-345-Wc.pdf>
- [7] Catalogo online inversor Solar Híbrido PHI 3P 10KW. Disponible: <https://renogensolar.com/product/hybrid-solar-inverter-phi-3p-10kw/>
- [8] Catalogo online Inversor GOODWE GD10KN-DT
Disponible: https://es.goodwe.com/Public/Uploads/productses/pdf/GW_SDT%2012-20K_Datasheet-ES.pdf
- [9] Catalogo online batería Ritar modelo DC12-225. Disponible: <https://enertik.ar/ritar-dc12-225-bateria-agm-ciclo-profundo-12v-225ah>
- [10] Solarius PV (14.00d) [Software]. (2014). Disponible: <https://www.accasoftware.com/es/software-calculo-instalacion-fotovoltaica>
- [11] AEA 90364 (Asociación Electrotécnica Argentina). Parte 7-Reglas Particulares para la Instalación en Lugares y Locales Especiales. Sección 77. 258 p 6a edición marzo de 2006.
- [12] Manual de generación distribuida solar fotovoltaica. Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética. Av. Paseo Colón 189 - Piso 9 Oficina 903 / C.A.B.A. Argentina. Diciembre 2019. Disponible: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/manual_de_generacion_distribuida_solar_fotovoltaica_nb2.pdf
- [13] Catalogo online cables BT Prysmian.
Disponible: https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/7185/mod_resource/content/1/Catalogo_cables_BT.pdf

- [14] Ministerio de Energía y Minería. Precios adjudicados del Programa RenovAr. Rondas 1, 1.5 y 2. Av. Hipólito Yrigoyen 250 Capital Federal - CP:C1086AAB - República Argentina. Disponible: <https://www.minem.gob.ar/www/833/25871/precios-adjudicados-del-programa-renovar>