



Universidad Nacional
de General Sarmiento

RIDAA - UNGS

Repositorio
Institucional
Digital de
Acceso Abierto
UNGS

Nicolás Nehuén Antonelli

Instituto de Industria

Análisis de distintas herramientas de simulación de microrredes



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Argentina. Atribución - No Comercial
- Sin Obra Derivada 2.5 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/>

Documento descargado de RIDAA-UNGS Repositorio Institucional Digital de Acceso
Abierto de la Universidad Nacional de General Sarmiento

Cita recomendada:

Antonelli, N. (2022). Análisis de distintas herramientas de simulación de microrredes.
(Documento de trabajo). Los Polvorines, Argentina : Universidad Nacional de General
Sarmiento.

Puede encontrar éste y otros documentos en: <https://repositorio.ungs.edu.ar/>

Universidad Nacional de General Sarmiento

Juan M. Gutiérrez 1150 - B1613GSX - Los Polvorines - Provincia de Buenos Aires - República Argentina

Análisis de distintas herramientas de simulación de microrredes

Autor: Nicolás Nehuén Antonelli, Ing Electromecánico egresado de la UNGS

Investigador Docente del IDEI en el área de Automatización y Aplicaciones Mecatrónicas en áreas de la Manufactura

Resumen

Existen diversos métodos matemáticos para dimensionar un sistema fotovoltaico, la mayoría se basa en utilizar un promedio de generación anual o usar el peor de los casos (generación en Julio) para realizar todos los cálculos, resultando en una generación sobredimensionada de Agosto a Junio, cuando la energía puede almacenarse en baterías, ir a la red o incluso perderse completamente. Frente a esta situación existe la posibilidad de emplear programas de simulación que realicen los cálculos con mucha mayor precisión y otorgando una gran variedad de información relevante a la hora de diseñar un sistema fotovoltaico.

Introducción

En el presente trabajo se realizará la simulación de una micro red formada por una instalación solar fotovoltaica alimentando el circuito de iluminación del Laboratorio de Ingeniería de la Universidad Nacional de General Sarmiento, un inversor y un banco de baterías. En aquellos momentos donde la generación sea mayor a la demanda, la energía sobrante se depositará en el banco de baterías, mientras que cuando la generación sea menor a la demanda, se tomará la energía acumulada del banco, y cuando dicho banco se quede sin energía, se alimentará las luminarias con energía proveniente de la red. Todas estas decisiones las tomará el inversor. La micro red cuenta con los siguientes elementos:

- 4 paneles solares¹ de 18.8V y 100W.
- 8 baterías¹ de 12V.
- 1 inversor¹ de 12V o 24V (cc) y 48V a 220V (ac).
- 1 UPS¹ de 3000 VA.
- Carga²: Demanda estimada 8760 hs del año.

A lo largo del desarrollo de este trabajo se verán varias herramientas que permiten ejecutar simulaciones de microrredes, se enunciarán las ventajas y desventajas de cada uno, y una vez elegido el programa más adecuado para nuestros propósitos, se procederá a avanzar con la simulación y luego analizar los resultados obtenidos.

A la hora de determinar que software se debía utilizar para realizar la simulación, se debatió entre tres posibilidades: TRNSYS, OPENDSS, SAM (System Advisor Model).

TRNSYS: es un entorno de software basado en gráficos extremadamente flexible que se utiliza para simular el comportamiento de sistemas transitorios.

¹ Especificaciones técnicas en anexos

² Demanda estimada de 0 a 23 hs, los 365 días del año, tomando como datos la potencia y cantidad de luminarias y se estimó los horarios en que están encendidas las luminarias de cada sala del laboratorio.

- Es muy bueno e intuitivo, puede llevar tiempo para aprender porque es posible modificar cada aspecto de todos los elementos de la red y como interaccionan entre sí.
- Existe un problema con la cantidad de elementos y unidades que permite simular al mismo tiempo, para poder simular más de 5 elementos es necesario pagar la versión premium (siendo el ingreso de datos meteorológicos y el bloque que permite imprimir los datos, dos de esos elementos, como se puede observar en la figura 1).

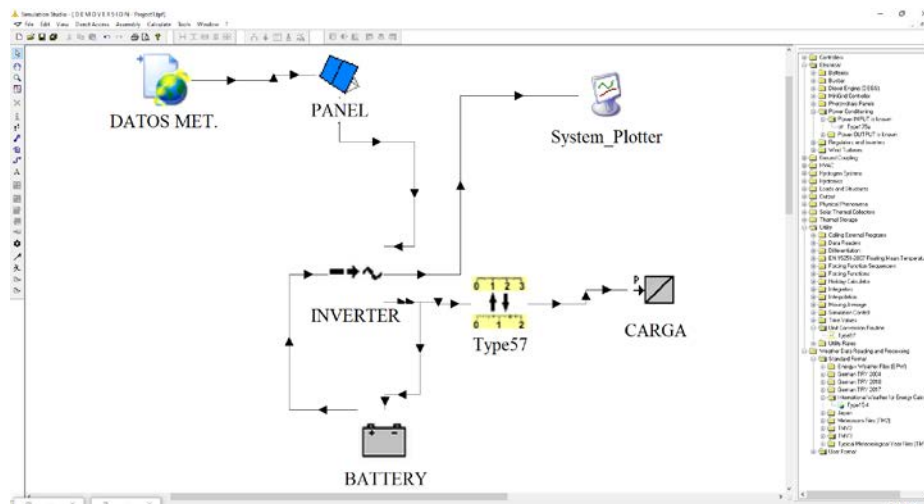


Figura 1: esquema de microrred a simular

OPENDSS: es un simulador de sistema de distribución de energía eléctrica (DSS)

- Es un programa con muchas posibilidades de parametrización.
- Se programa con C++ o con matlab, incluso es posible programarlo con Python.

SAM: es un modelo de software tecno-económico gratuito que facilita la toma de decisiones a las personas en la industria de las energías renovables.

- Es muy completo y amigable.
- Software libre.
- Tiene una gran variedad de videos explicando todos los aspectos del programa.
- No posee interfaz gráfica.

En base a la comparación anterior se decidió realizar la simulación mediante el Software libre SAM (System Advisor Model) que con la simplicidad y su amplio abanico de parametrización permite realizar una simulación lo más parecida a la micro red posible.

Una vez seleccionado el software de simulación se procede con la configuración de todos los parámetros y el ingreso de toda la información requerida por el software.

En primer lugar, se seleccionan las coordenadas donde se va a realizar la instalación, para que el programa pueda determinar la cantidad de energía que le llegará a los paneles.

Luego se configura el panel o módulo de la microrred, se puede elegir entre su amplio catálogo de paneles, o directamente cargar las especificaciones propias panel que se utilizará para favorecer a que el modelo sea fiel al sistema físico. Se puede cargar la tensión a circuito

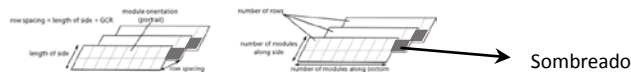
abierto (Voc), la corriente de cortocircuito (Isc), voltaje del punto de máxima potencia (Vmp), corriente del punto de máxima potencia (Imp), el área del módulo, entre otras características.

De forma similar se puede seleccionar un inversor o cargar las especificaciones del mismo y obtener un mejor resultado de la simulación, es posible ingresar los parámetros de alterna como la máxima potencia de salida, la tensión nominal, y los parámetros de continua como la tensión mínima, nominal y máxima, la corriente máxima, el número de entradas MPPT, etc.

Tanto para el panel como para el inversor es posible guardar en un archivo .csv todas las características cargadas para poder utilizarlas en otro proyecto.

El siguiente paso es el diseño del sistema, donde se ingresa la cantidad de inversores, la cantidad de paneles (cantidad de filas y columnas), la orientación e inclinación y algunas características especiales, como si el sistema posee seguimiento solar de 1 o 2 ejes.

Para ciertos casos, se puede cargar información acerca del layout y sombreado (figura 2), como la instalación de la universidad tiene todos los paneles en una fila, no corresponde añadir datos del sombreado.



Las pérdidas (en porcentaje) de la micro red se pueden ingresar por separado para cada parte del sistema, entre ellas se destacan las pérdidas del módulo, de las conexiones, del cableado de continua, incluso es posible cargar la pérdida media anual debido a la suciedad en el panel.

Para ejecutar correctamente la simulación es necesario ingresar las características de la batería, se ingresan datos como la tecnología de las baterías, la tensión y capacidad (Ah) de la celda, la tensión y potencia del banco.

Por otro lado, es posible cargar los límites de carga y las especificaciones por mes y por hora del día como se muestra en la figura 3, también si la batería se carga desde el sistema, desde la red o se descarga hacia la carga, según la demanda y generación de energía a cada hora.

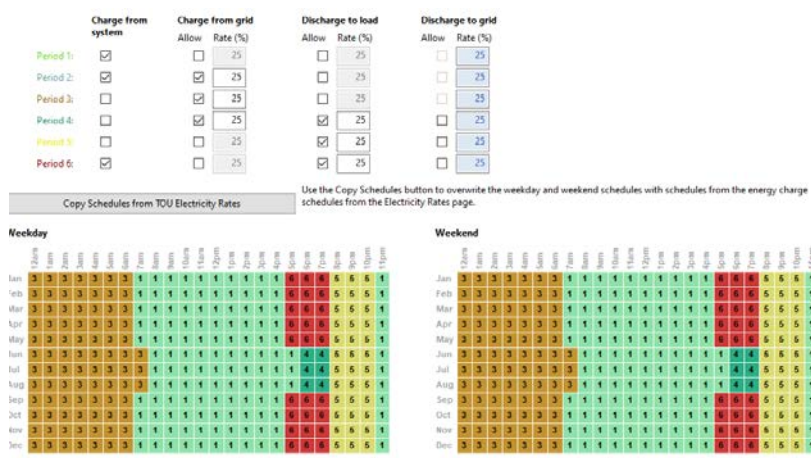


Figura 3: carga y descarga de baterías

El SAM ofrece un apartado financiero que funciona en simultáneo con el apartado técnico, dentro del primero podemos modificar información acerca de los costos de la instalación

(módulos, inversores, baterías, etc.); costos de operación y mantenimiento; incentivos eléctricos, etc.

Por último, se debe cargar las características de la carga eléctrica. Para ello, se puede ingresar un valor de energía fijo por mes (en kWh), modificar de forma manual la potencia (en kW) por cada hora del año (de la hora 1 a la 8760), importar un archivo que contenga toda la matriz con esos datos. Esta es la opción que se eligió, importando los datos de la demanda estimada de 0 a 23 hs, los 365 días del año siguiendo los pasos de la figura 4.

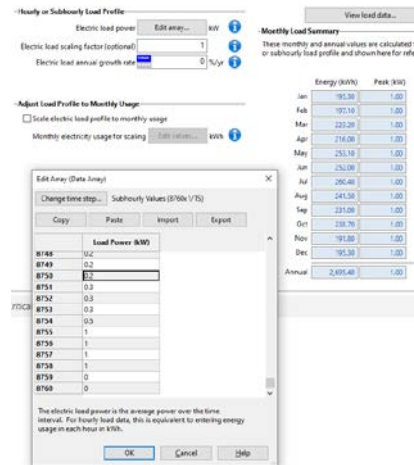


Figura 4: Matriz de demanda energética

Finalmente, se puede realizar la simulación. Una vez que termina de ejecutar, aparece una ventana con los errores o advertencias que provocó la simulación como la de la figura 5. En nuestro caso, nos aparece una advertencia de que el inversor está sobredimensionado para el sistema fotovoltaico.

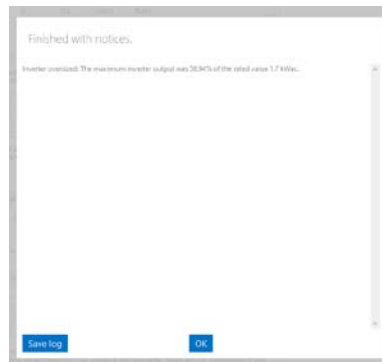


Figura 5: Advertencia sobre inverter sobredimensionado

Una vez que se clickea en "Ok", aparecen los siguientes gráficos.

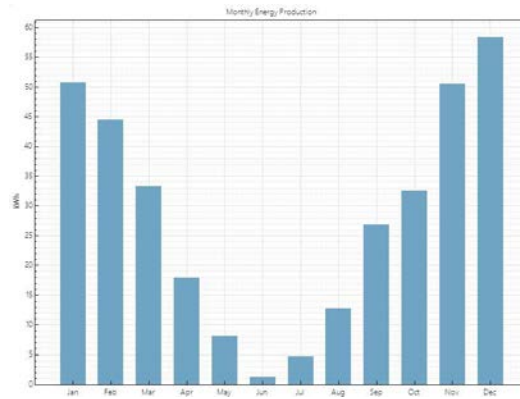


Gráfico 1: Producción de energía por mes

En el gráfico 1 podemos apreciar la energía que producen los paneles por mes. Como era de esperarse, la energía es mayor los meses donde hay mayor irradiancia, es decir los meses donde hace mayor calor (de noviembre a febrero) llegando a un máximo de 58 kWh y a un mínimo menor a 2kWh.

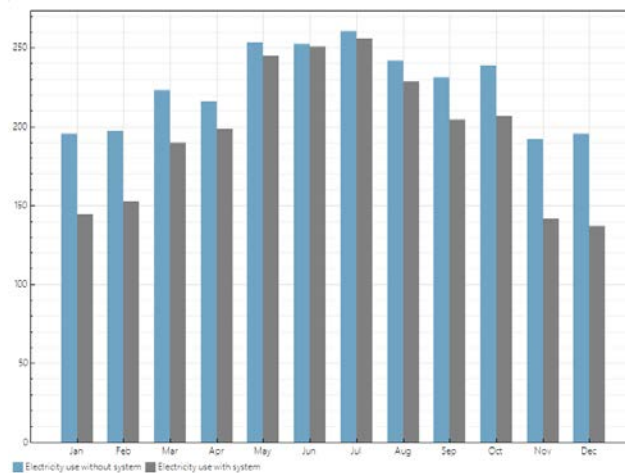


Gráfico 2: Electricidad por mes

Dentro del gráfico 2 se puede notar la energía consumida (kWh) con y sin el sistema fotovoltaico. Aunque los meses de mayor producción energética sean de noviembre a febrero, el consumo es mayor de marzo a noviembre, que son los meses donde hay más personas en clase y donde oscurece más temprano, provocando que las luminarias estén encendidas por más tiempo, requiriendo más energía. En el gráfico podemos notar como la energía consumida sin el sistema en diciembre es exactamente la energía consumida con el sistema más la generada por el sistema (58 kWh).

$$ESys = EnoSys + EgenSys$$

$$195 kWh = 137 kWh + 58 kWh$$

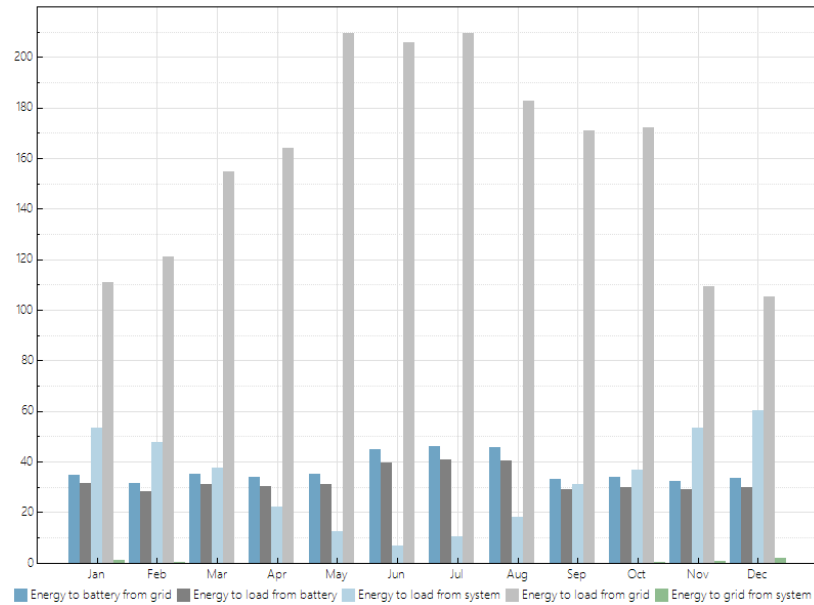


Gráfico 3: Energía por mes

En el gráfico 3 podemos observar cómo circula la energía entre la carga, el sistema, la batería y la red. Al igual que en el gráfico 2 (electricidad por mes) se puede notar que la energía consumida es mayor los días con menos horas de sol, pero en este caso la energía que la carga consume de la red es alta de marzo a septiembre ya que de noviembre a febrero el sistema entrega más energía permitiendo que baje el consumo de la red, incluso en estos meses el sistema llega a entregar algo de energía a la red (máximo 2 kWh). Los valores que se mantienen más estables son la energía que toma la batería de la red y la energía que entrega el banco de baterías a la carga, estando esta última entre un 10% y un 12% por debajo de la primera, seguramente debido a la pérdida en la carga y descarga de las baterías.

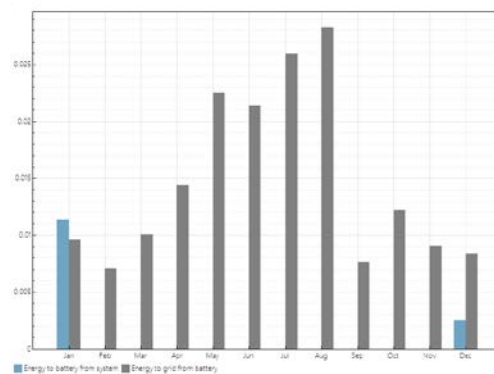


Gráfico 4: Energías despreciables

En el gráfico 4 se muestran las energías que por la escala no alcanzan a visualizarse en el gráfico anterior. La energía que va desde el sistema hacia la batería no supera los 0,015 kWh y solo se entrega en diciembre y enero, mientras que la energía que va de la batería a la red (energía que se puede rentabilizar) es menor a 0,030 kWh que, si tenemos en cuenta que Edenor está pagando aproximadamente \$1,90 por kW/h inyectado a la red, termina sin representar algún beneficio económico apreciable.

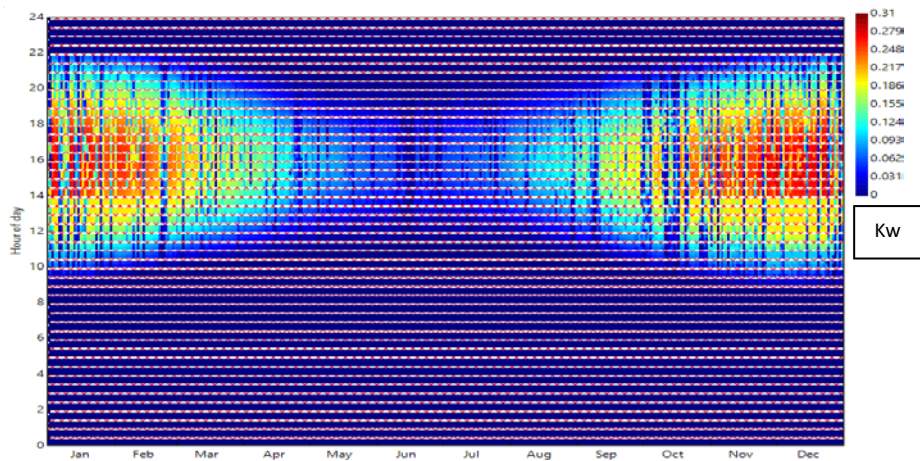


Gráfico 5: Heat map sistema a la carga

En el gráfico 5 podemos notar con gran cantidad de detalle acerca de los valores de la electricidad que el sistema le entrega a la carga. Se puede ver que los valores son mayores (de 0,217kW a 0,31kW) de octubre a marzo, en los horarios de 14 a 18hs, mientras que los demás meses no superan los 0,2kW.

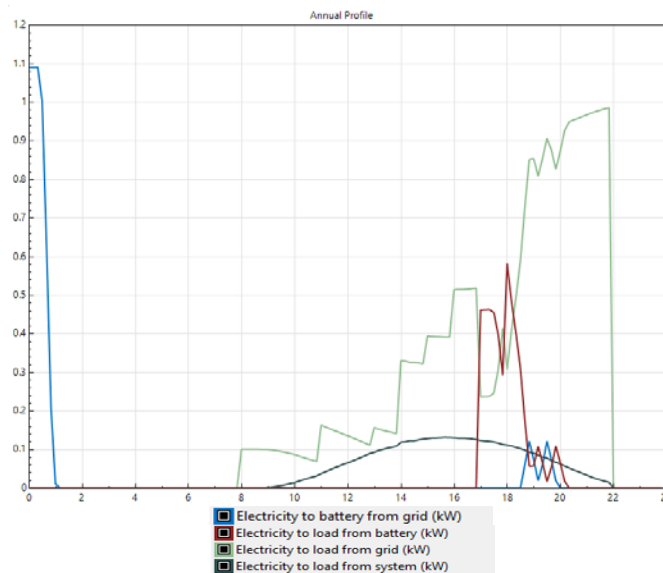


Gráfico 6: Promedio Anual

En el gráfico 6 podemos observar un promedio anual del flujo de electricidad diario. El programa también nos arroja un gráfico por cada mes, permitiendo ver cómo fluye la electricidad a lo largo del día en cualquier mes del año. Si se analiza el gráfico anterior, notamos que la electricidad que va de la red a la batería es alta de 0 a 1hs y luego tiene algunos picos de 18 a 20hs, mientras que la electricidad que va de la batería a la carga comienza a subir desde las 17 hasta las 18hs, donde tiene los picos opuestos a la curva anterior, es decir que en este horario la batería está cargándose de la red y se descarga sobre la carga. La electricidad que entrega la red a la carga comienza a subir a las 8 y se corta abruptamente a las 22hs. Esto es debido a la carga del archivo que contiene los horarios de mayor uso de las luminarias como uno de los parámetros, sin perder de vista que es un promedio anual, pero se puede notar que desde las 17hs esta curva es totalmente inversa a la anterior (electricidad de la batería a la carga) es decir, que cuando la batería entrega energía a la carga, esta última deja de solicitar la misma cantidad de energía a la red. Por último,

tenemos la curva de la electricidad que entrega el sistema fotovoltaico a la carga, que comienza a las 9 y termina a las 22, teniendo un máximo a las 16hs, de igual forma que con la comparación anterior, se puede notar que cuando aumenta la electricidad que recibe la carga del sistema, la de la red disminuye y viceversa.

$$E_{carga} = E_{red} + E_{bat} + E_{sist}$$

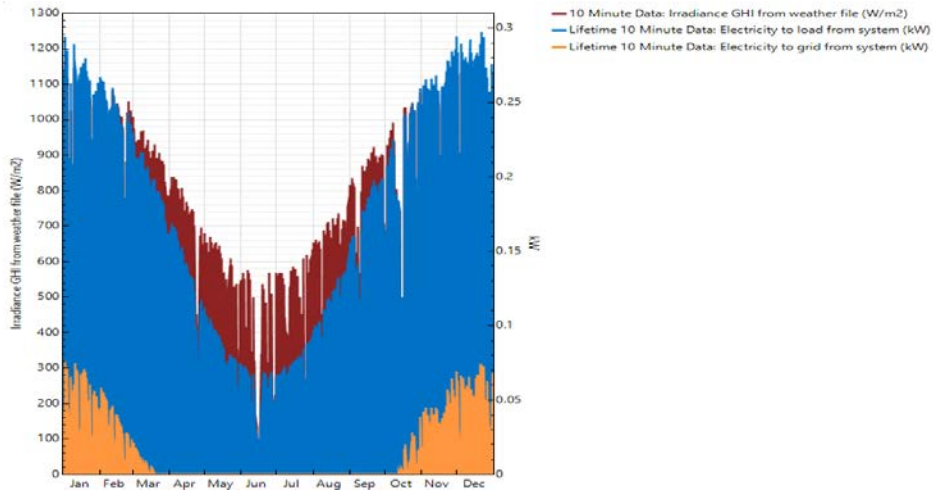


Gráfico 7: Electricidad vs irradiancia

En el gráfico 7 se observa con mayor detalle que, como ya se había mencionado anteriormente, la electricidad generada es mayor de octubre a marzo, a tal nivel que el sistema entrega electricidad a la red. También podemos notar que la electricidad generada por el sistema (electricidad hacia la carga + electricidad hacia la red) es prácticamente proporcional a la irradiancia mensual que figura en el archivo del clima.

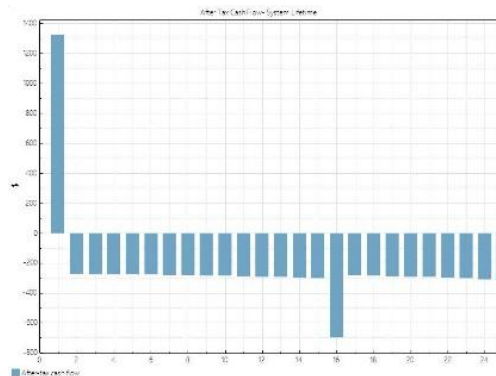


Gráfico 8: Cash flow por año

En el gráfico 8 se puede observar cómo resulta la inversión inicial de aproximadamente de \$1320 y con un retorno anual de \$270 a \$300, se puede amortizar totalmente el sistema en 5 años.

Limitaciones

La microrred que se instalará finalmente en la universidad tendrá funcionando en paralelo. Los paneles fotovoltaicos que se analizaron en el presente trabajo y un generador eólico de tipo sabonius, que no fue considerado. Por tal motivo se recomienda en un futuro trabajo realizar un análisis parecido al explicado anteriormente, pero con generación eólica o incluso ambas

fuentes funcionando a la vez, y así tener una visión más completa del funcionamiento de la microrred.

Conclusión

Podemos concluir que evidentemente el sistema fotovoltaico ahorra energía y permite ahorrar también dinero. Pero teniendo en cuenta los niveles de energía que consumen las luminarias, sería más beneficioso aumentar la cantidad de módulos, que como nos advierte el mismo programa al finalizar la simulación, todavía queda un 40% de la potencia que admite el inversor sin aprovechar. Teniendo en cuenta esto se podría agregar 2 paneles más, sin la necesidad de modificar ninguna parte de la microrred. Por otro lado, se debe considerar el aerogenerador tipo savonius que se encuentra en la universidad, lo que mejorará el aprovechamiento del inversor y a su vez aumentará el ahorro de energía y dinero. Cualquiera de los dos caminos que se tomen, resultará en un retorno de la inversión en menos de 5 años.

Anexos

Referencia bibliográfica

Daiana Romero-Carlos Hua - Proyecto sobre instalación solar fotovoltaica – UNGS

<http://www.mercobat.com.ar/bateriasmouraclean.pdf>

Manual inversor QMAX serie sp v1.0 L

<http://www.solartec.com.ar/documentos/productos/SOLARTEC-KS100T-v2.pdf>

<https://sam.nrel.gov>

<https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/70414.pdf>

<https://sam.nrel.gov/photovoltaic/pv-videos.html>

<https://www.trnsys.com>

<https://www.trnsys.com/support/tutorials.php.html>

<https://www.epri.com/pages/sa/opendss>

<https://sourceforge.net/p/electricdss/code/HEAD/tree/trunk/Distrib/Doc/OpenDSSManual.pdf?force=True>

Elementos de la microrred

- 4 módulos fotovoltaicos de la marca Solartec modelo KS100T de (18,8 V, 100 W). Precio: \$120 a \$154 cada uno.

https://www.tgwstore.com.ar/MLA-865323532-panel-solar-100w-policristalino-tgw-JM?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=darwin_ss³ 12.240=\$122,40⁴

- 8 baterías Moura Clean 12MF220 (12V). Precio: \$599 cada una.

<http://renovablesdeleste.com/producto/bateria-moura-clean-220ah-12v/> \$599

- 1 inversor QMAX modelo QM-1724SP (12/24/48V-220V). Precio: \$224 a \$285.

https://www.mercadolibre.com.ar/ups-atomlux-inversor-inv1800-1800va-entrada-y-salida-de-220v-ca-negro/p/MLA16119303#searchVariation=MLA16119303&position=1&search_layout=stack&type=product&tracking_id=1533124d-4987-4582-a9f7-bc2ed25103c3 22.499=\$224,42³

https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-926752665-ups-inversor-inv1800-atomlux-para-baterias-externas-JM?searchVariation=88875038621#searchVariation=88875038621&position=33&search_layout=stack&type=item&tracking_id=4c090c4b-5827-4f05-9921-0f449e1fb33e 28.499=\$284,27³

- 1 UPS Emerson Liebert GTX4 (3000 VA). Precio: \$1.595

<https://www.senetic.es/product/GXT4-3000RT230E> \$1.595

Total dolares: \$3.124,966

³ Panel de características similares al del sistema ya que no se fabrica más.

⁴ Dólar oficial= \$100.25 – NOV 2021.

Esquema de pérdidas

