

# Diseño Óptimo de Planta Fotovoltaica para Inversiones en Micro Redes mediante Análisis de Datos

## Optimal Photovoltaic Plant Design for Investment in Microgrids through Data Analysis

Presentación: 8-9/10/2024

Doctorando:

**Bruno BIGNOTTI**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concordia. Universidad Nacional de Río Cuarto, Facultad de Ingeniería  
[brunobig2004@gmail.com](mailto:brunobig2004@gmail.com)

Director:

**Juan ALEMANY**

Codirector:

**Fernando MAGNAGO**

### Resumen

Este trabajo trata el problema del diseño óptimo de una planta fotovoltaica de generación de energía eléctrica desde un punto de vista técnico como también económico. Esto quiere decir que para el diseño se tiene en cuenta un aprovechamiento eficiente del recurso de generación y un análisis de la demanda para alcanzar un objetivo específico de generación eléctrica como también un estudio del tiempo de amortización y otros indicadores económicos del proyecto. El sistema fotovoltaico es dimensionado para ser utilizado dentro de una micro red on-grid. Se pretende mejorar la calidad de los resultados obtenidos por otros métodos de dimensionamiento al hacer un análisis más exhaustivo de los datos disponibles, en otras palabras, el trabajo pretende descubrir el valor asociado al mencionado análisis, a una mejor calidad de datos y al uso de modelos matemáticos. Se utilizan datos de demanda provistos del campus de la Universidad Nacional de Río Cuarto para sus estudios, como también datos de medición de irradiación solar suministrados por el ministerio de agricultura y ganadería de Córdoba. Entre los estudios se detalla el estudio de la demanda, del recurso solar en la localidad de Ríos Cuarto, el análisis técnico mediante modelos matemáticos de paneles fotovoltaicos y el análisis económico. Los resultados preliminares sugieren que el método propuesto por el trabajo permite un dimensionamiento más eficiente, un mejor aprovechamiento y una mejor previsión del desempeño. Por otro lado, la factibilidad económica está sujeta a la correcta aplicación de subsidios y créditos para poder sobrellevar la inversión inicial.

Palabras clave: Paneles Fotovoltaicos, Micro Redes, Diseño Óptimo, Análisis de Datos, Generación Distribuida

## Abstract

This work deals with the problem of the optimal design of a photovoltaic power generation plant from a technical as well as an economic point of view. This means that the design takes into account an efficient use of the generation resource and an analysis of the demand to achieve a specific goal of electric generation as well as a study of the amortization time and other economic indicators of the project. The photovoltaic system is sized to be used within an on-grid microgrid. The aim is to improve the quality of the results obtained by other sizing methods by making a more exhaustive analysis of the available data, in other words, the work aims to discover the value associated with the aforementioned analysis, a better quality of data and the use of mathematical models. Demand data provided by the campus of the National University of Río Cuarto are used for its studies, as well as solar irradiation measurement data supplied by the Ministry of Agriculture and Livestock of Córdoba. The studies detail the study of the demand, the solar resource in the town of Río Cuarto, the technical analysis using mathematical models of photovoltaic panels and the economic analysis. Preliminary results suggest that the method proposed by the paper allows for more efficient sizing, better utilization and better performance forecasting. On the other hand, economic feasibility is subject to the correct application of subsidies and credits to be able to cope with the initial investment.

Keywords: photovoltaic panels, microgrids, optimal design, data analysis, distributed generation

## Introducción

La definición más simple y general de micro redes es que son circuitos eléctricos compuestos de generación de energía eléctrica, distribución de la misma y su consumo. Dada esta definición entendemos que el concepto de micro red como tal no es una novedad. Las redes eléctricas de la antes de la invención y masificación del uso de la corriente alterna son un ejemplo de micro redes. Hoy en día las micro redes existen para abastecer demandas rurales, demandas críticas como hospitales, centros de investigación (como ser la base Marambio en la Antártida Argentina) u hospedajes remotos alejados del sistema interconectado. Una definición un poco más amplia de micro red incluye además el almacenamiento de energía eléctrica como también demandas no eléctricas, como ser la temperatura. Las micro redes cuando son diseñadas de forma óptima para abastecer demandas determinadas, sumado a una inteligente comunicación entre generación, almacenamiento y consumo, presentan una impresionante eficiencia y confiabilidad en comparación con el sistema interconectado. Las micro redes como tales son sistemas fundamentalmente autónomos y aislados de los demás sistemas eléctricos. A esto se lo denomina una micro red off-grid. Sin embargo, el desarrollo de la tecnología electrónica ha permitido la interconexión con el sistema interconectado permitiendo el flujo de energía en ambas direcciones. A esto se lo denomina una micro red on-grid. En la actualidad han proliferado trabajos que estudian las potenciales ventajas de la inclusión de las micro redes al sistema interconectado con la finalidad de aumentar la eficiencia del mismo como también la aparición de micro redes comunitarias dentro de las ciudades, (véase por ejemplo Perera, 2017).

Luego de la invención de la célula foto eléctrica, la tecnología de energía solar fotovoltaica fue originalmente concebida para su aplicación en satélites y estaciones espaciales. Desde su concepción hasta la modernidad la tecnología solar fotovoltaica ha sido relativamente poco desarrollada y no fue hasta la implementación del protocolo de Kioto en 2005 y el acuerdo de París en 2015, donde se trató el tema del calentamiento global y el cambio climático, que su desarrollo se aceleró mediante subsidios gubernamentales a lo largo de todo el planeta. Hoy en día esos subsidios han dado frutos, las fábricas de obleas de silicio, los centros de investigación y desarrollo de tecnología fotovoltaica como los sistemas electrónicos asociados han proliferado y prosperado, y el costo nivelado de la energía solar fotovoltaica ha disminuido lo suficiente para ser competitivo frente a fuentes de energía convencionales. La energía solar fotovoltaica ha tenido un rol icónico en España, Alemania, China y en India, donde su desarrollo, implementación y acorde modificación del sistema interconectado, como también

una modificación cultural, han llevado a un elevadísimo nivel de penetración eléctrica de la energía solar fotovoltaica, (véase por ejemplo Spertino, 2013).

Existen dos formas fundamentales para integrar la energía solar fotovoltaica al sistema interconectado: mediante plantas fotovoltaicas o mediante micro redes del tipo on-grid. Las plantas de energía fotovoltaicas son simplemente un área de tierra donde son instalados la mayor cantidad posible de paneles fotovoltaicos. Dada su naturaleza, estas plantas no pueden controlar su producción y para obtener la máxima ganancia deben despachar continuamente su energía al sistema. Si la producción de energía se detiene o incrementa de forma súbita, el sistema sufre un desequilibrio. De otro modo, la frecuencia del sistema se ve afectada. Este no es el caso de las micro redes on-grid, puesto que las mismas poseen un sistema electrónico inteligente que controla si la demanda de la micro red debe ser abastecida por su propia producción o por la energía del sistema. Por lo tanto, si se pretende garantizar la estabilidad como también aumentar el porcentaje de energía renovable al sistema, lo ideal es el desarrollo de micro redes on-grid con generación renovable.

## Desarrollo

Una empresa argentina que comercializa tecnología de recursos de energía distribuida (como ser paneles fotovoltaicos, calefones solares, baterías, inversores, etc.) presentó en su canal de Youtube un webinar sobre el dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos on-grid y off-grid. El presente trabajo utilizará el método off-grid presentado en dicho video como punto de comparación para establecer una valoración de los resultados.

El método para el dimensionamiento de la microgrid on-grid presentado en el mencionado video (Enertik, 2019) consiste en la estimación del recurso solar disponible, el análisis de la demanda y la determinación del sistema fotovoltaico. Sin embargo, todos estos análisis se realizan utilizando muchas suposiciones, promedios y diversas generalizaciones sobre el comportamiento de todas las variables y sistemas involucrados. Sumado a lo anterior, los análisis de recurso solar se efectúan generalmente utilizando información satelital.

La hipótesis del presente trabajo establece que una mejor calidad de datos como también un análisis con modelos matemáticos y un análisis estadístico de los datos producen como resultado una mejor estimación del desempeño del proyecto en términos de la generación de energía. Además, se plantea que utilizar datos de irradiación solar medida en la superficie cercana al emplazamiento del proyecto (en lugar de hacerlo con mediciones satelitales) posibilitará un mejor entendimiento del recurso solar. Esto en consecuencia permite una mejor toma de decisiones a la hora de diseñar un sistema fotovoltaico para una micro red.

Los objetivos generales del trabajo es la investigación, uso, desarrollo e implementación de técnicas, herramientas y de tecnologías para el análisis de datos, sistemas eléctricos y de recursos de generación distribuida, como también el descubrimiento del valor de estas técnicas, tecnologías y conocimiento. Todo lo que implica el análisis de datos será desarrollado en el lenguaje de programación Python, haciendo uso de múltiples librerías o módulos de uso libre como ser pandas, numpy, matplotlib, scipy.

La UNRC ha suministrado los datos de la demanda eléctrica del campus. Existen 3 nodos trifásicos en el campus que llamaremos anfi, arte y jardin. Las mediciones van desde el 13 de septiembre del 2017 hasta el 23 de noviembre del 2018. El intervalo de medición es de un minuto en promedio. En la Figura 1 se puede apreciar una representación de la demanda del nodo anfi.

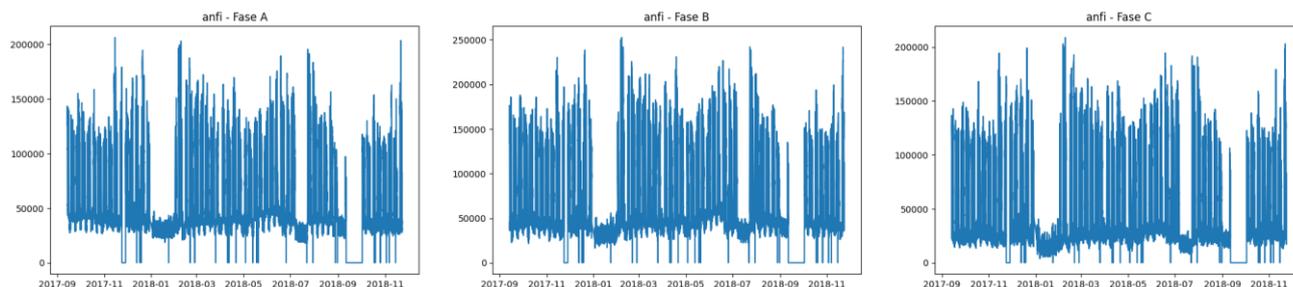


Figura 1: Representación de la demanda eléctrica en la UNRC

A través del ministerio de agricultura y ganadería (MAGYA) de la provincia de Córdoba se han obtenido datos de irradiación solar de diferentes sensores ubicados por toda la provincia. Particularmente se eligieron sensores ubicados cerca de la UNRC para hacer los estudios del recurso solar

A partir de programas desarrollados en Python se realizarán análisis de los datos proporcionados para investigar la naturaleza de los datos y determinar tendencias. Se realizarán análisis sobre los datos de demanda, los cuales aislarán los datos por nodo, por día y por fase. Sobre los datos de irradiación solar se aplicará un análisis similar al de la demanda que pretende determinar qué relación existe entre la irradiación teórica en una ubicación y los datos medidos. Otros análisis son los aquí llamados análisis técnico y económico. El análisis técnico consiste en la aplicación de modelos matemáticos de paneles solares e inversores para determinar su funcionamiento en las condiciones de demanda e irradiación solar planteadas. El análisis económico por otro lado pretende determinar si es económicamente rentable abastecer cierto porcentaje de la demanda usando generación distribuida.

## Resultados

Se han analizado los datos de la demanda de varias maneras. En la Figura 2 se representan gráficamente la demanda medida en el nodo anfi y la fase A. Mediante filtrado de datos se aislaron los datos pertenecientes a los Lunes y a los Domingos. De esta manera se puede apreciar la diferencia en la curva de demanda

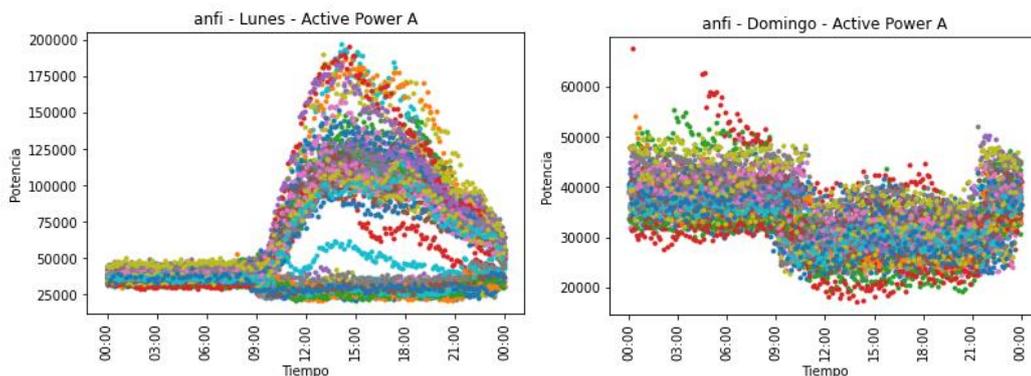


Figura 2: Naturaleza de la demanda los días Lunes y Domingo

Posteriormente se han analizado las demandas máximas diarias en un gráfico de frecuencias para determinar la naturaleza estadística de demanda. En la Figura 3 podemos ver que los valores más frecuentes de demanda máxima son entre los 110kW y los 160kW.

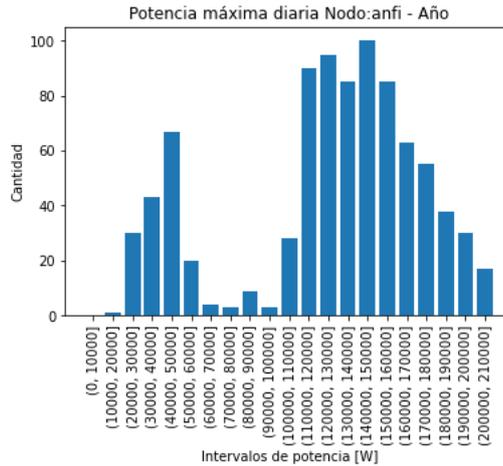


Figura 3: Frecuencia de distintos intervalos de potencia máxima demandada

Sin embargo, tras un análisis por estación vemos en la Figura 4 que, dado que se trata de un establecimiento educativo, durante el verano las demandas máximas más frecuentes están entre los 20kW y 50kW

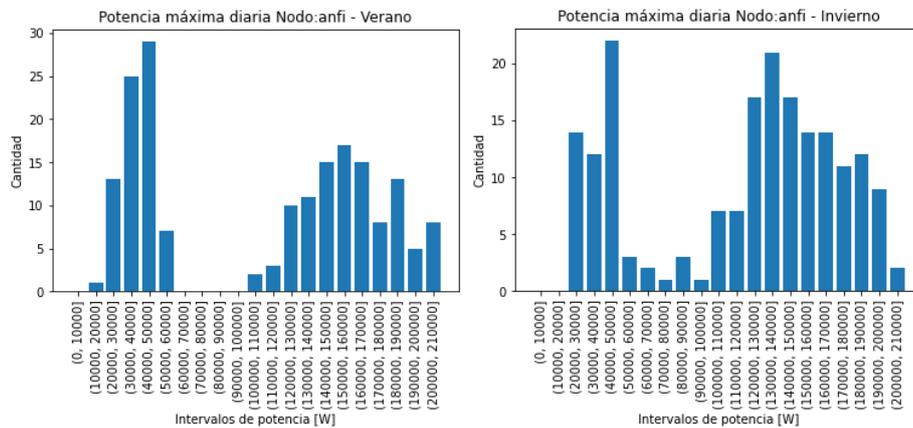


Figura 4: Frecuencia de distintos intervalos de potencia máxima demandada en verano e invierno

Por otro lado, las demandas en otoño y primavera suelen ser generalmente más elevadas (Figura 5).

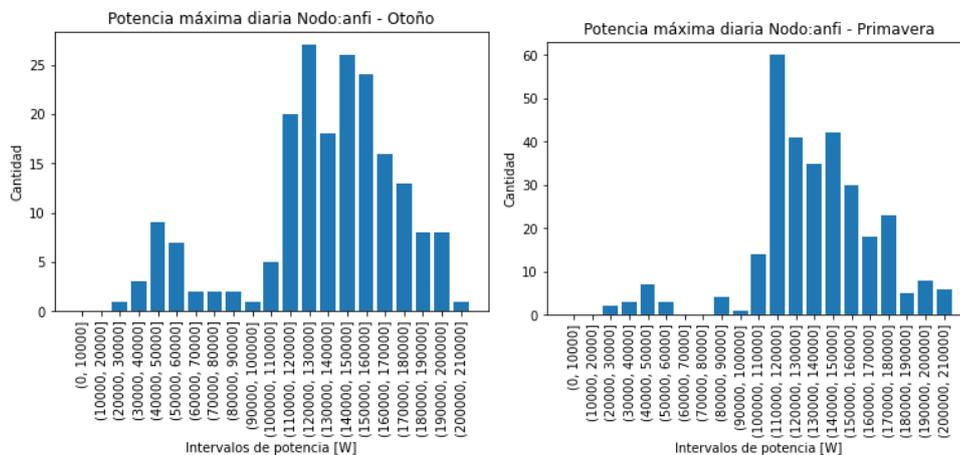


Figura 5: Frecuencia de distintos intervalos de potencia máxima demandada en otoño y primavera

Respecto al recurso solar se ha encontrado que en invierno y en otoño la irradiación solar coincide en gran medida con la curva de demanda, coincidencia que se reduce en primavera y es mínima en verano. A partir de estos resultados podemos ver que dada la naturaleza de la demanda no se debería considerar de la misma manera los datos del verano a la hora de dimensionar el sistema. (Figura 6)

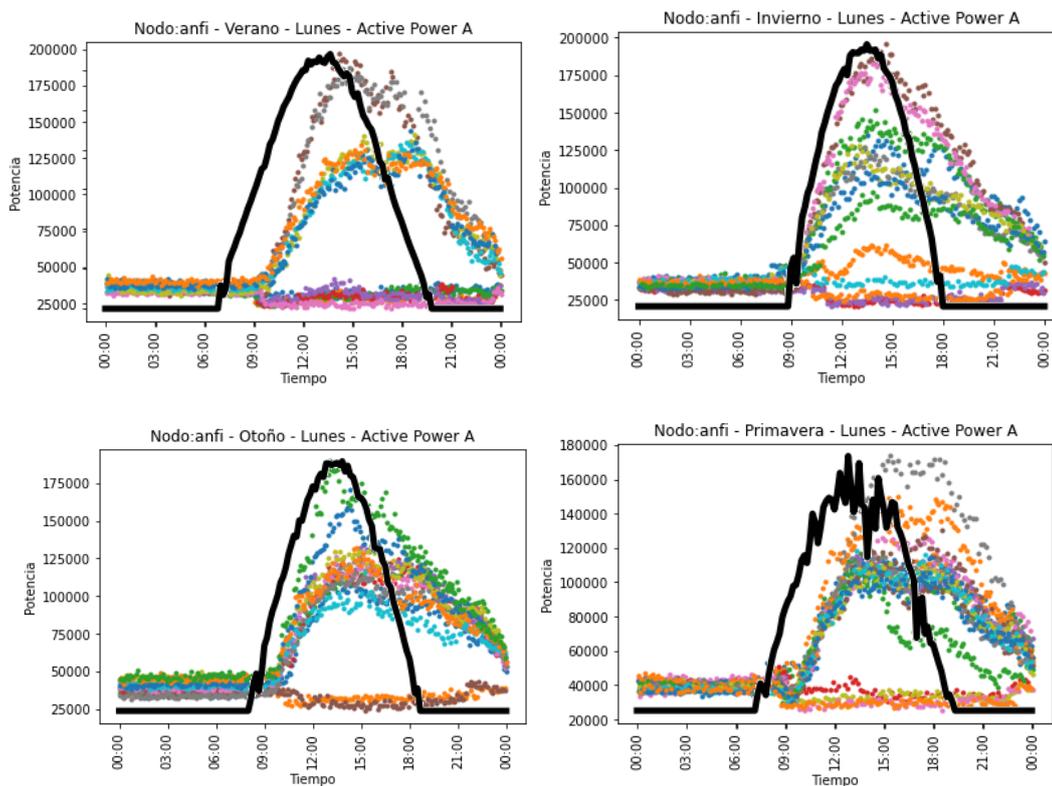


Figura 6: Superposición de demanda eléctrica estacional con su correspondiente irradiación solar

## Conclusiones

Este trabajo realizó un análisis de datos a partir del cual se pretende diseñar y dimensionar de forma óptima el sistema de generación solar fotovoltaico. Este trabajo cumple los objetivos del desarrollo de las técnicas de análisis como también del descubrimiento del valor asociado a un mejor análisis de datos de la demanda y del recurso solar a la hora de dimensionar un sistema solar fotovoltaico. Los resultados arrojan una fuerte relación temporal entre la radiación solar en las estaciones de otoño e invierno y las correspondientes demandas diarias, lo que se traduce en un mayor aprovechamiento del recurso solar en estas estaciones, por lo que las demandas en estas épocas deberían ser ponderadas por encima de la época de verano a la hora de dimensionar el sistema solar fotovoltaico.

## Referencias

- Enertik. (2019). Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos on-grid (conexión a red) y off-grid (aislado) - Webinario [Video]. YouTube. <https://youtu.be/qOUMBpPabEs?feature=shared&t=1040>
- Perera, A. T. D., Nik, V. M., Mauree, D., & Scartezzini, J.-L. (2017). Electrical hubs: An effective way to integrate non-dispatchable renewable energy sources with minimum impact to the grid. *Applied Energy*, 190, 232-248. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.127>
- Spertino, F., di Leo, P., & Cocina, V. (2013). Economic analysis of investment in the rooftop photovoltaic systems: A long-term research in the two main markets. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 531-540. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.024>