

Microgeneración fotovoltaica domiciliaria: efectos de su implementación en el sistema eléctrico paraguayo

Frankz Lindstrom, Jacqueline Cabañas, Gustavo Riveros

Fundación Parque Tecnológico Itaipu Paraguay / Universidad Privada del Este – Facultad de Ciencias y Tecnologías

Paraguay

1.1 Resumen

Si bien Paraguay posee abundante energía hidroeléctrica, en 2017, la generación alcanzó los 96,387 GWh, y actualmente está exportando parte de esta energía. Algunos estudios realizados por la Administración Nacional de Electricidad - ANDE indican un aumento en la demanda de energía eléctrica donde se observa que el Margen de Generación de Reserva se vería afectado en el año 2030. Para enfrentar este escenario, Paraguay está investigando fuentes alternativas para diversificar su producción de energía y para ello, apunta a expandir y mejorar el sistema de suministro de energía eléctrica, principalmente en la parte occidental del país, en la región central del Chaco paraguayo por medio de grandes centrales fotovoltaicas pero estas obras llevan tiempo en ser implementadas.

Sin embargo, el principal problema del sistema eléctrico paraguayo se encuentra en el sector de distribución de energía eléctrica en donde la calidad del servicio prestado por la ANDE a los usuarios se ve afectado por los cortes de suministro de energía que ocurren frecuentemente en la estación de verano donde el sistema eléctrico registra un horario de punta de carga atípico entre las 13:00 y 15:00 hs. debido en gran parte al uso de los sistemas de climatización. Esto ocurre porque el perfil de demanda eléctrica de los usuarios de la ANDE en su mayoría es domiciliario donde una alternativa para mitigar este problema se podrían utilizar microsistemas de autoconsumo sustentables, sostenibles, asequibles y que a futuro pueda integrarse a un sistema de smart grid con enfoque a generación distribuida.

Este trabajo realiza un análisis de sensibilidad sobre los efectos de la instalación de microsistemas fotovoltaicos domiciliarios para autoconsumo en la curva de oferta y demanda de energía eléctrica en el Paraguay como así también en la evolución del margen de reserva de generación presentado por la ANDE en su Plan Maestro de Generación 2021 – 2040. Se evaluaron varios escenarios de forma a que, con los resultados obtenidos, contribuir con datos para la investigación y el desarrollo futuro de las políticas y/o regulaciones del sector energético paraguayo.

1.2 Palabras clave

Microgeneración, Planificación Energética, Autoconsumo, Energías Renovables.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

1.3 Introducción

La Administración Nacional de Electricidad – ANDE administra el sistema eléctrico paraguayo con el objetivo de satisfacer en forma adecuada las necesidades de energía eléctrica del país, con el fin de promover el desarrollo económico y fomentar el bienestar de la población, aprovechando preferencialmente recursos naturales renovables. Para cumplir este objetivo la ANDE utiliza el criterio técnico de planificación de Margen de Reserva de Generación para que el parque de generación pueda atender la demanda y sus fluctuaciones de forma satisfactoria [1].

Las fuentes de generación conectadas al Sistema Interconectado Nacional son las Centrales Hidroeléctricas de Itaipu Binacional, Yacyreta Binacional y Acaray. En el plan maestro de la ANDE 2021 – 2040 se muestra un crecimiento promedio anual de 5,9% de la demanda de energía eléctrica en el Paraguay en el periodo 2021 – 2030 y en base a este dato se prevé que para el año 2030 las centrales de generación tendrán estas características de producción [1]:

- Central Hidroeléctrica de Acaray: despacho de 256 MW. (100%).
- Central Hidroeléctrica de Yacyretá Binacional: dispatch de 1.530 MW. (72%).
- Central Hidroeléctrica de Itaipú Binacional: despacho de 4.385 MW. (85%).

En la figura 1 se observa que la generación disponible para el SIN en el año 2030 será de 6.171 MW., que corresponde al 82% de la potencia total a ser despachada y será utilizado para cubrir la demanda de energía eléctrica proyectada mientras que restante 18% queda como Margen de Generación Reservado el cual se aproxima al margen mínimo de reserva de generación planificado para el SIN que es de 10 % de la energía eléctrica disponible [1]. El Margen de Reserva Planificado es una métrica basada en la capacidad de generación y no proporciona una evaluación precisa del rendimiento en los sistemas energéticos limitados, por ejemplo, la capacidad hidroeléctrica cuando son limitados los recursos hídricos, por lo cual en algunos sistemas eléctricos el margen de reserva mínimo varía entre 15% a 20% [2] y para el 2033 el sistema eléctrico paraguayo alcanzaría un 12%.

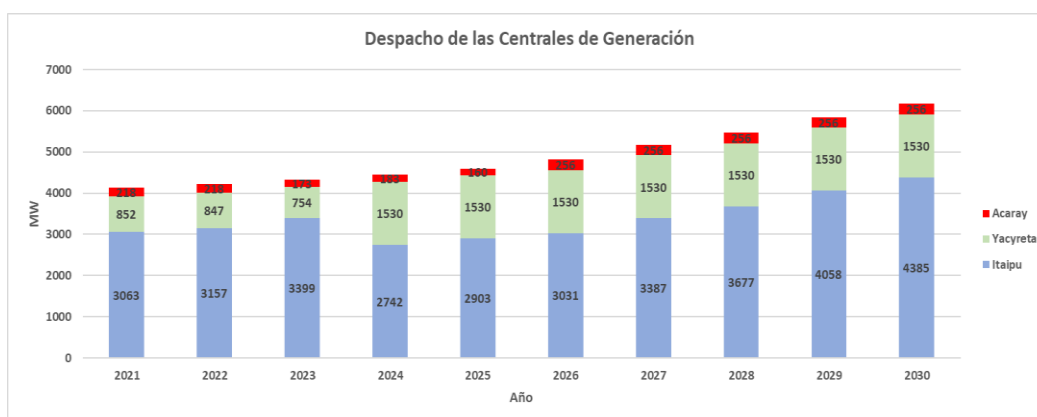


Figura 1: Despacho proyectado por la ANDE en el periodo 2021 – 2030.

El Plan Maestro de Distribución 2021 – 2030 de la ANDE y el informe “Compilación Estadística 2000 – 2020” elaborada por el Departamento de Estudios Estadísticos de la ANDE indican que la

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

energía eléctrica a ser demanda para el año de 2030, sin incluir las pérdidas, es de 27.996,5 GWh. utilizando una tasa de crecimiento anual del 6,9%. En la figura 2 se muestra la demanda proyectada por la ANDE sin tener en cuenta las pérdidas en la distribución de energía y energías no facturadas y en la figura 3 la demanda de energía anual por grupo de consumo.

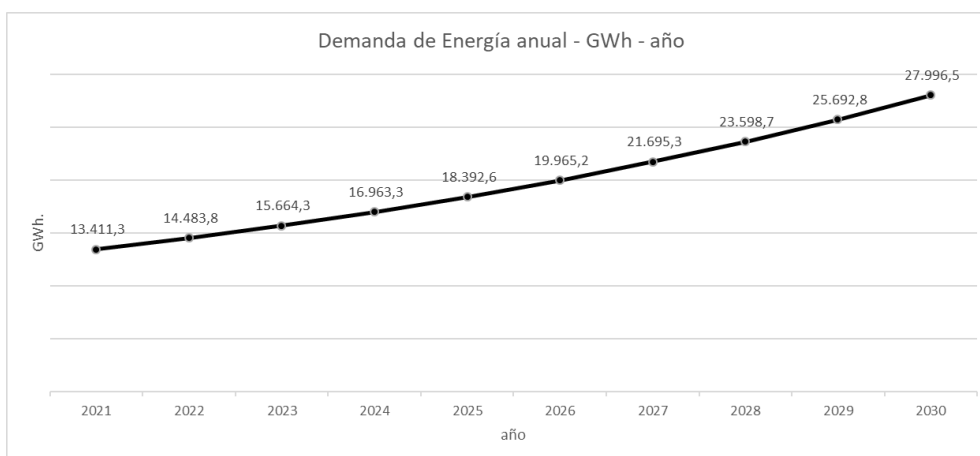


Figura 2: Demanda proyectada por la ANDE 2021-2030. No se incluye pérdidas técnicas y no técnicas.

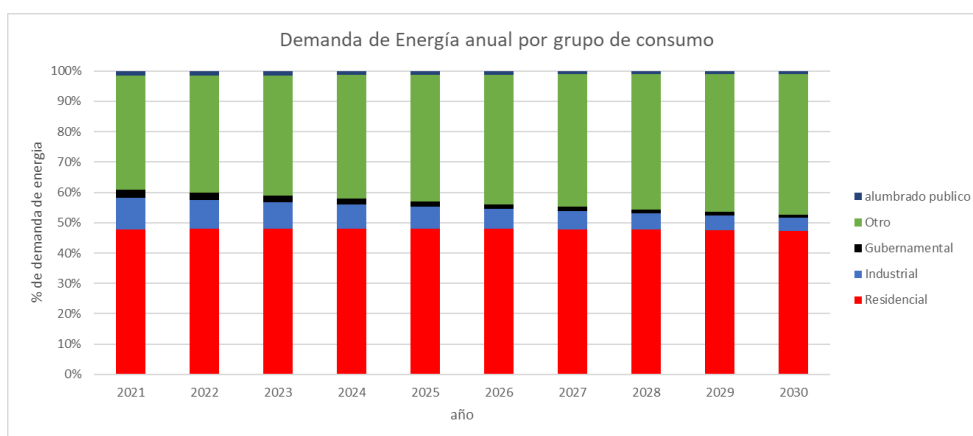


Figura 3: Demanda de energía anual. Porcentaje de participación de los grupos de consumo.

Hasta diciembre del 2020, el área Comercial de la ANDE registra 1.541.730 clientes facturados de los cuales 21,73% pertenecen a la categoría de tarifa social, de los cuales 13.402 se encuentran en la ciudad de Asunción [3]. En la figura 4 se muestra la distribución de clientes por sistema eléctrico nacional en donde la mayor cantidad de clientes se encuentra en el sistema eléctrico metropolitano.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

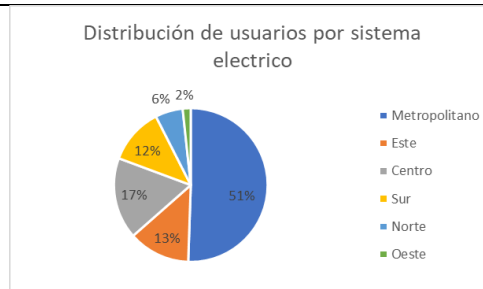


Figura 4: Participación de clientes facturados de la ANDE por sistema eléctrico.

En el periodo de 2021 – 2040, la ANDE prevé varias obras para ampliar la capacidad de generación de energía eléctrica como así también mejorar la infraestructura del sistema de distribución de energía, pero estas acciones llevan tiempo en ser realizadas. Según datos de la ANDE la demanda de energía diaria aumenta en la estación de verano lo que a partir del año 2015 ha generado un horario de punta de carga atípico entre las 13:00 y 15:00 hs. [4] cómo se observa en la figura 5.

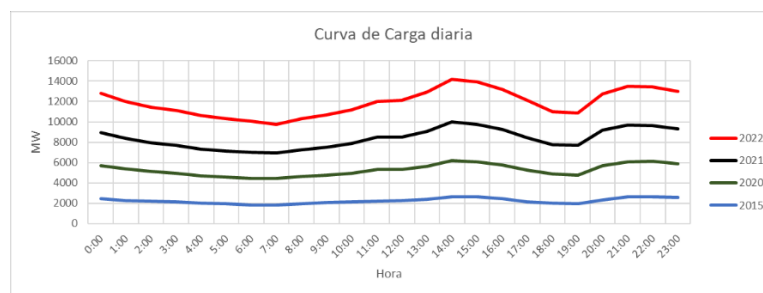


Figura 5: Curva de carga diaria del total de clientes facturados de la ANDE.

El día 19 de enero del 2022 se registró el mayor consumo de energía eléctrica en Paraguay, como se observa en la figura 6 se registró una potencia máxima de 4.206 MW a las 14:00 hs. [5]. Esta situación está relacionada directamente con la temperatura ambiente, que en la fecha mencionada se registró un máximo de 44°C a las 14:00 hs, lo que provoca el uso masivo de aparatos eléctricos para la climatización de ambientes y en consecuencia provoco cortes en el suministro de energía a los clientes por sobre cargas además de desperfectos en los equipos eléctricos de distribución de energía como los transformadores de potencia.

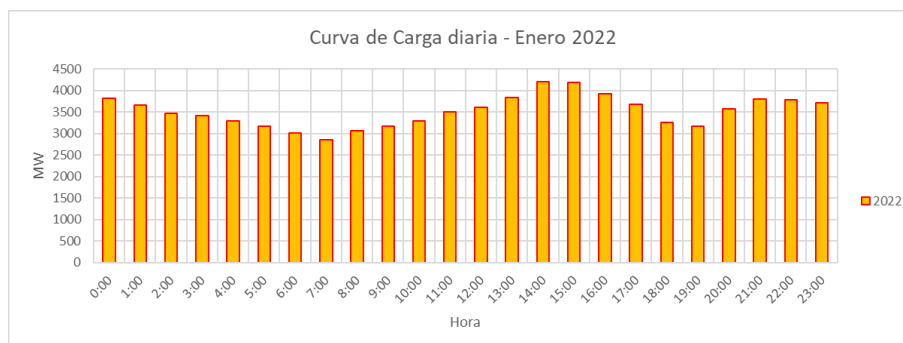


Figura 6: Curva de carga diaria informado por la ANDE el 19 de enero del 2022.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022**1. CASO DE ESTUDIO**

Por el perfil de demanda eléctrica de los usuarios de la ANDE, que en su mayoría es domiciliario, una alternativa para mitigar este problema podría ser utilizar microsistemas de autoconsumo solar fotovoltaico que son sistemas que poseen las siguientes características:

- Sustentables porque utiliza como fuente de energía el sol.
- Sostenibles porque son sistemas que tienen un tiempo de vida de entre 25 a 30 años con costos de mantenimiento bajo.
- Asequibles porque existe un mercado global bien maduro además son sistemas de fácil instalación y mantenimiento.
- Escalable porque son sistemas que pueden ampliarse en bloques de energía y a futuro puede integrarse a un sistema de generación distribuida.

Este trabajo realizó un análisis de sensibilidad sobre el impacto en la oferta y demanda de energía eléctrica en el Paraguay con la instalación por parte de los clientes de la ANDE de sistemas de microgeneración solar fotovoltaica para autoconsumo. Para realizar el análisis se tuvieron en cuenta los siguientes datos técnicos:

- Instalación de sistemas de generación fotovoltaica de 2 kWp.
- Instalación de sistemas de generación fotovoltaica de 4 kWp.
- Radiación solar promedio en la estación de verano: 5,9 kWh/m²/día.
- Tipo de paneles fotovoltaicos: policristalinos.

Para realizar el estudio de caso se utilizaron los datos del informe de compilación estadística 2000 – 2020 de la ANDE, la base de datos del mapeo energético solar de la FPTI-PY y el software de la National Renewable Energy Laboratory – NREL.

2 RESULTADOS

En la tabla I se muestran los resultados de generación de energía de eléctrica de los sistemas fotovoltaicos utilizados para el caso de estudio en donde la energía anual suministrada por los sistemas de 2 kW y 4 kW son de 2,85 GWh. y 5,7 GWh. respectivamente.

Tabla I: Datos energéticos de los sistemas fotovoltaicos seleccionados en el caso de estudio

Variable	Unidad de medida	Capacidad	Capacidad
Potencia instalada	kW.	2	4
Pérdidas totales	%	14	14
Inclinación grados	Grados	20	20
Potencia de salida	kW.	1,53	3,31
Energía suministrada	GWh/año.	2,85	5,7

2.1. Despacho de los sistemas de generación

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

En el estudio de caso se consideró el despacho proyectado por la ANDE sin tener en consideración los proyectos de centrales eléctricas mencionados en el Plan Maestro de Generación 2021 – 2040. Caso el sistema fotovoltaico de 2 kW. es instalado por la totalidad de los clientes de la ANDE la potencia instalada para el año 2022 sería de 2.424 MW. que es aproximadamente el 47 % de la potencia disponible para despacho de la central hidroeléctrica Itaipu Binacional y para el año 2030 se estima el 38% de participación de los sistemas fotovoltaicos en el sistema de generación eléctrica nacional en la figura 7 se muestra el despacho proyectado para el periodo 2021 – 2030 con la inclusión de microsistemas fotovoltaicos de 2 kW.

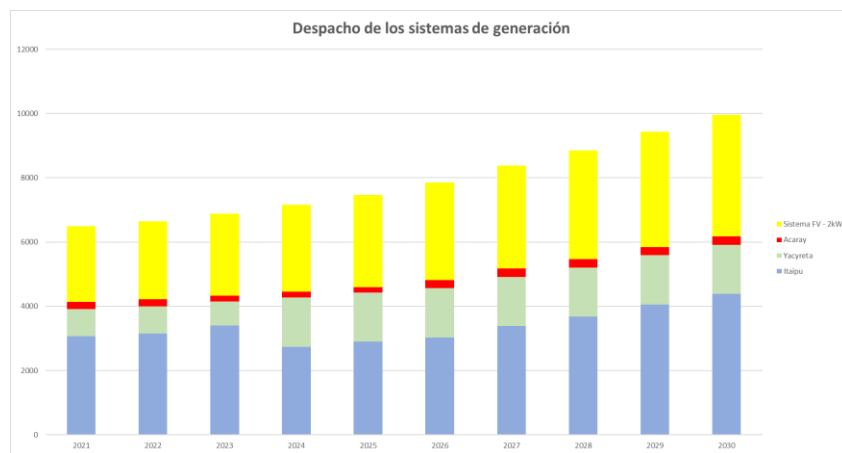


Figura 7: Despacho proyectado para el periodo 2021 – 2030 con la inclusión de microsistemas fotovoltaicos de 2 kW.

Como se muestra en la figura 8, para el caso de instalar sistemas fotovoltaicos de 4 kW. a clientes de la tarifa social la participación en la matriz de oferta de energía eléctrica sería del 22 % y la potencia total disponible en el sistema eléctrico sería de 7.906 MW.

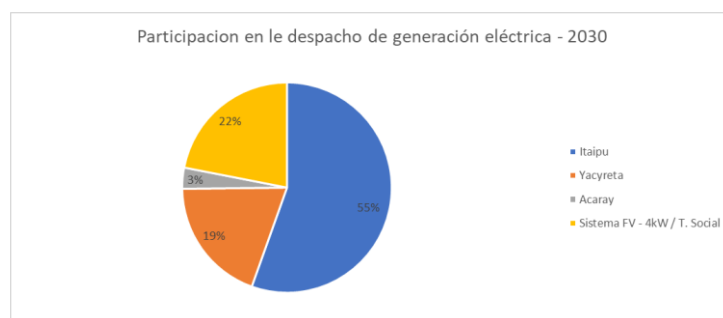


Figura 8: Participación estimativa de los sistemas de generación del Paraguay en el año 2030

2.2 Demanda de energía eléctrica

En el caso de instalar sistemas fotovoltaicos de 2 kW a todos los clientes de la categoría residencial de la ANDE, se estima un suministro de energía para el año 2022 de 3.854 GWh/año. cubriendo 28,7

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

% de la demanda de energía del sistema eléctrico y para el año 2030 sería el 22,1 %. La proyección de la demanda de energía a ser cubierta por el Sistema Interconectado Nacional y los sistemas fotovoltaicos de 2 kW para el caso anterior se muestra en la figura 9.

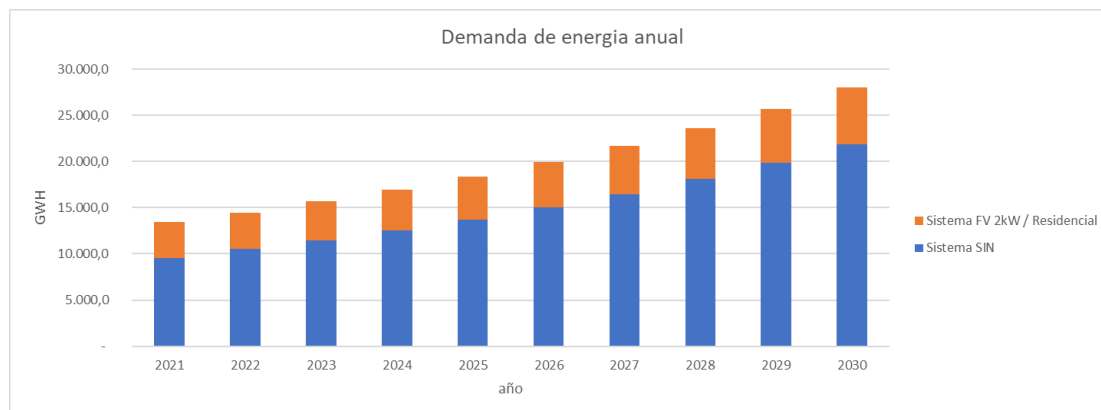


Figura 9: Participación de los sistemas de suministro de energía a los clientes de la ANDE en el periodo 2021 – 2030.

Caso sean instalados sistemas fotovoltaicos de 2 kW. a todos los clientes de la categoría de tarifa social de la ANDE, se estima un suministro de energía para el año 2022 de 928,6 GWh/año cubriendo el 6,9 % de la demanda de energía del sistema eléctrico y para el año 2030 sería el 5,3 % como se muestra en la figura 10.

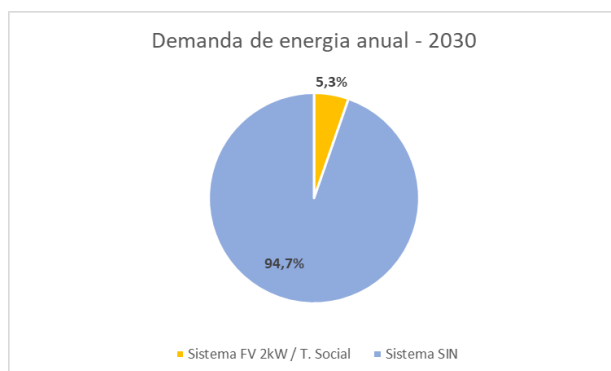


Figura 10: Participación de los sistemas de suministro de energía a los clientes de la ANDE en el año 2030.

Utilizando de referencia la curva de carga del día 19 de enero del 2022, caso sean instalados sistemas de 4 kW. a todos los usuarios de la categoría de tarifa social de la ANDE, se observa que la disponibilidad de energía para el SIN es de 8,6 % pero debido al funcionamiento dinámico de los sistemas fotovoltaicos esa disponibilidad de energía se da en el periodo de las 10:00 a 15:00 hs. como se observa en la figura 11. Además, en el horario de las 14:00 hs. se observa un aumento de disponibilidad de energía eléctrica de aproximadamente 16%.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

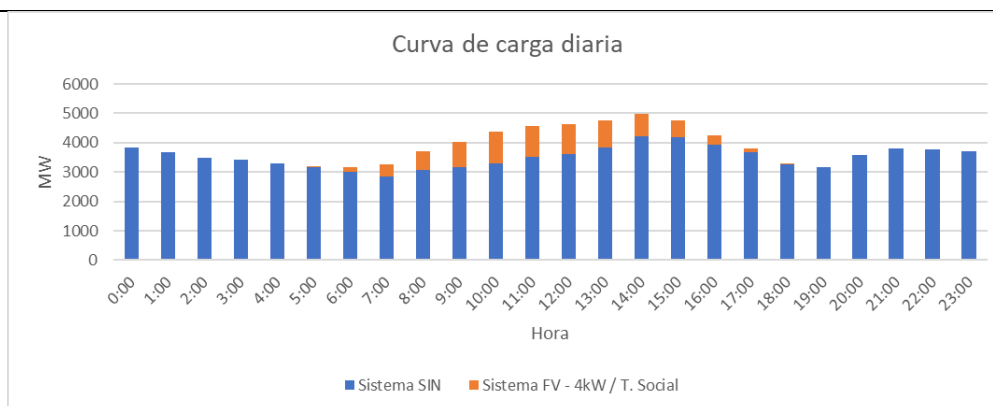


Figura 11: Curva de carga diaria del 19 de enero del 2022 con la generación de los sistemas fotovoltaicos.

1.4 Conclusión

El criterio de Margen de Reserva Planificado de Generación utilizado por la ANDE permite identificar si las adiciones de capacidad de generación cubren adecuadamente el crecimiento de la demanda, pero como se trata de una métrica basada en la capacidad de generación, no proporciona una evaluación precisa del rendimiento de los sistemas energéticos de característica dinámica por lo cual la ANDE menciona en el Plan Maestro 2021 – 2040 la necesidad de realizar un sistema de predictor de despacho de las centrales de Energías Renovables No Convencionales.

Los sistemas de generación fotovoltaicos son sustentables, sostenibles, asequible y escalables de fácil instalación y con costos operativos bajos, pero al momento de evaluar la inserción de esta generación a un sistema eléctrico se debe evaluar con mayor importancia los momentos de disponibilidad de energía y no de potencia instalada, es decir, analizar el rendimiento de sistema fotovoltaico en las horas de producción diaria. Esto es necesario debido a que son sistemas de generación de comportamiento dinámico dependiente directamente de la disponibilidad de irradiación solar, diferentes a las de una central hidroeléctrica que es considerado un sistema de generación de base.

Según el estudio de caso realizado, se verifico que cuando son instalados sistemas fotovoltaicos de 4 kW a clientes de la categoría de tarifa social de la ANDE, la participación en el despacho de potencia para el año 2023 es de 22% sin embargo el aporte a nivel de suministro de energía es del 10% y siendo nula en horarios donde no se tiene irradiación solar. Así también se comprobó que instalando sistemas fotovoltaicos a los usuarios de la categoría de tarifa social el aporte de generación energía eléctrica en el horario de punta de carga de las 13:00 a 15:00 hs. llegaría a 16 % del total de la demanda de energía suministrada actualmente por el SIN permitiendo de esta forma un alivio carga a la red eléctrica en ese periodo.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE
23 y 24 de Junio 2022

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Plan Maestro de Generación 2021-2040. Administración Nacional de Electricidad, Asunción, 2021, páginas 3-34
- [2] U.S. Energy Information Administration. U.S. Energy Information Administration, Washington D.C., 2021, páginas 1-15
- [3] Informe del área de comercialización de energía eléctrica. Administración Nacional de Electricidad, Asunción, 2021, páginas 1-6
- [4] Compilación Estadística 2000-2020-ANDE. Administración Nacional de Electricidad, Asunción, 2021, páginas 3-70
- [5] Altas temperaturas dispararon la demanda de potencia y consumo de energía eléctrica en el SIN. Administración Nacional de Electricidad, Asunción, 2021, páginas 1-2
- [6] Plan Maestro de Distribución 2021-2030. Administración Nacional de Electricidad, Asunción, 2021, páginas 6-75
- [7] Atlas del Potencial Energético Solar y Eólico del Paraguay. Itaipu Binacional-Parque Tecnológico Itaipu Paraguay, Hernandarias, 2016, páginas 61-75
- [8] Energía Fotovoltaica de Autoconsumo. Banco Interamericano de Desarrollo-BID, Miami, 2021, páginas 5-16
- [9] Mercado Eléctrico Nacional Proyección 2019-2030. Administración Nacional de Electricidad, Asunción, 2020, páginas 3-14
- [10] A. Castejon and G. Santamería, *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. Madrid, MA: Editex, 2018, pág. 126-193
- [11] Analisis de Viabilidad de Proyectos de Energía Renovable. Organización Latinoamericana de Energía, Quito, 2020, páginas 1-350
- [12] Diseño de Ingeniería, Plan de Construcción y Modelo O&M para proyectos de Energía Renovable. Organización Latinoamericana de Energía, Quito, 2019, páginas 1-322