



Identificación del Trabajo	
Área prioritaria:	Energía
Categoría:	Alumno
Facultad Regional:	Santa Fe

# Comportamiento de la demanda eléctrica en el sector residencial de Santa Fe

## Behavior of electrical demand in the residential sector of Santa Fe

Presentación 18/10/2024

Kevin T. Basilio

Centro de I+D en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos, (Lavaisse 610, Santa Fe), Facultad Regional Santa Fe, UTN

E-mail de contacto: [kbasilio@frsf.utn.edu.ar](mailto:kbasilio@frsf.utn.edu.ar)

Roberto J. Nagel

Centro de I+D en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos, (Lavaisse 610, Santa Fe), Facultad Regional Santa Fe, UTN

E-mail de contacto: [rnagel@frsf.utn.edu.ar](mailto:rnagel@frsf.utn.edu.ar)

### Resumen

El sector residencial representa un porcentaje significativo de la demanda eléctrica de la provincia de Santa Fe. En este contexto, caracterizar los perfiles de cargas típicos de los usuarios de este segmento es de gran interés para estudiar cuestiones asociadas a eficiencia energética, calidad de energía y gestión de la demanda. El actual estudio logra caracterizar perfiles de demanda de consumidores residenciales en la provincia, distinguir las componentes de sus consumos y considerar las características de su impacto en la red de distribución eléctrica.

Para lograrlo se recurrió al análisis de mediciones históricas en distribuidores provistas por la Empresa Provincial de la Energía (eléctrica) y se comprobaron puntualmente perfiles residenciales en usuarios de la ciudad por medio de analizadores de redes eléctricas. Asimismo, cada medición se ha correlacionado a sus respectivos registros de temperatura ambiente. Para la representación de resultados y evaluación de datos se usó Python y Power BI.

**Palabras clave:** consumo residencial, perfiles de potencia, demanda estacional, calidad de energía.

### Abstract

The residential sector represents a significant percentage of the electricity demand in the province of Santa Fe. In this context, characterizing the typical load profiles of users in this segment is of great interest to study issues associated with energy efficiency, energy quality and demand management. This study characterizes the demand profiles of residential users in the province, distinguishes the components of their consumption and considers the characteristics of their impact on the electricity distribution network. To achieve this, historical measurements in distributors provided by the Provincial Energy Company (electricity company) were analyzed and residential profiles in users of the city were checked punctually using electrical network analyzers. Likewise, each measurement has been correlated with its respective ambient temperature records. Python and Power BI are used to represent results and evaluate data.

**Keywords:** residential consumption, power profiles, seasonal demand, energy quality.

# 1. Introducción

El sector residencial representa el 46% de la demanda eléctrica de la República Argentina (CMMESA, 2024), y se estiman valores similares para la provincia de Santa Fe. Este sector es, por tanto, una fuente importante de emisión de CO<sub>2</sub> y un gran contribuidor a perturbaciones cuando presenta una baja calidad de energía eléctrica (Dehghanpour, et al., 2016). En este contexto, resulta relevante caracterizar la demanda de estos usuarios, considerando no solo la forma del perfil de demanda diario sino también el grado de perturbaciones inyectadas a la red (principalmente polución armónica).

Cabe destacar que en trabajos anteriores ya se ha demostrado como algunas cargas electrónicas de potencia utilizadas en domicilios consumen energía con valores de distorsión armónica total (THD) de corriente (THDI) notablemente elevados (K. Basilio, 2023), lo que suele traducirse en perfiles consumo de usuarios con alta THDI, en general.

Visto esto, y ya que la capacidad de ejecutar medidas de mejora en cuestiones de eficiencia energética y calidad de energía requiere de mediciones experimentales (Meyer, et al., 2017), se han realizado por cuenta propia caracterizaciones de perfiles en acometidas de clientes residenciales de la provincia de Santa Fe, y se ha trabajado con los registros de corriente en distribuidores de la ciudad que abastecen demandas residenciales. Estos últimos, proporcionados por la Empresa Provincial de la Energía de Santa Fe (EPESF).

Este artículo busca aportar parte del sustento necesario para expandir el estudio a técnicas de gestión de la demanda, mitigación de armónicos y eficiencia energética, que puedan mantener la calidad de energía dentro de valores normados en toda la Argentina, tal como se ha comenzado a realizar en otros países (Iqbal, et al., 2018). Sin embargo, en este estudio solo nos limitaremos a realizar un diagnóstico del estado actual del consumo energético.

## 2. Metodología

En cuanto a los datos recopilados en distribuidores, se consideraron registros en 81 distribuidores de 13,2 kV. Cabe destacar que, en este caso, cada uno de los registros en subestaciones guarda solo valores de corriente y energía, junto con información detallada sobre la cantidad de usuarios residenciales, industriales y comerciales presentes en cada distribuidor. Los registros son anuales y con cadencias de 30 minutos. Estos registros se complementaron con datos de temperatura ambiente para sus respectivos periodos de tiempo.

De estos datos, se trabajó exclusivamente con aquellos que abastecen a un alto porcentaje de usuarios residenciales. Para ello, se conservó únicamente aquellos distribuidores cuyo consumo residencial representa el 87% o más del consumo total. Los 14 distribuidores finalmente considerados para la determinación de los perfiles de carga se muestran en la Tabla 1.

En cuanto a las mediciones individuales, éstas se realizaron en acometidas de clientes residenciales de la ciudad de Santa Fe con equipos disponibles en el Centro de I+D en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE) de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) de la Facultad Regional Santa Fe. En este caso en particular se empleó un analizador marca Metrel, modelo 2892 (clase A según IEC 61000-4-30). Si bien se informan solo alguna de las variables medidas, se registraron todas las variables eléctricas asociadas al consumo.

**Tabla 1** - Energía anual por distribuidor.

ET	DISTRIBUIDOR	CANT. CLIENTES	COMERCIAL [kWh]	RESIDENCIAL [kWh]	INDUSTRIAL [kWh]	RES/TOTAL
BPA	AYACUCHO	1,689	235,368	6,527,790	10,452	96.37%
BPA	NAMUNCURA	749	103,020	2,922,594	9,924	96.28%
CAL	ALTO VERDE	1,935	423,384	7,579,800	1,554	94.69%
SFO	AGUADO	2,088	399,156	7,274,952	14,754	94.62%
SFN	QUIROGA	748	152,946	2,771,352	9,456	94.46%
SFN	CIBILS	1,051	131,460	3,333,090	76,038	94.14%
SFN	TERNA NORTE	1,141	203,268	3,791,226	46,758	93.81%
SFO	CHALET	2,117	509,190	7,206,606	45,084	92.86%
SFN	GADA	2,153	400,860	6,832,788	193,992	91.99%
BPA	MERC, ABASTO	2,548	537,474	10,532,934	541,266	90.71%
SFN	AZCUENAGA	1,314	423,990	3,730,506	32,028	89.11%
SFN	NORESTE	3,005	1,163,034	9,301,548	102,294	88.03%
SFO	ALIMENT. 2	1,329	462,600	3,125,766	0	87.11%
BPA	ROSAS	1,425	515,352	4,554,906	159,858	87.09%

En la Tabla 2 se presenta un resumen de las características de las mediciones realizadas a los 7 usuarios residenciales de la ciudad. Los mismos están geográficamente distanciados uno de otros. Notar que se consideraron hogares con distintas características en cuanto a ocupación, tipo de vivienda y superficie cubierta.

**Tabla 2** - Detalles de las mediciones en cada usuario

	USUARIO 1	USUARIO 2	USUARIO 3	USUARIO 4	USUARIO 5	USUARIO 6	USUARIO 7
Duración	9.3 días	7.5 días	9.4 días	9.0 días	9.1 días	10.7 días	10.6 días
Muestras	13356	10741	13523	12984	1311	15359	15240
Cadencia	60.0 seg	60.0 seg	60.0 seg	60.0 seg	10.0 min	60.0 seg	60.0 seg
Ocupantes adultos	2	3	4	2	2	2	2
Ocupantes menores	0	1	1	0	1	2	3
Tipo de vivienda	Casa	Dep.	Casa	Dep.	Dep.	Casa	Casa
Sup. cubierta [m <sup>2</sup> ]	80	50	110	50	76	250	200

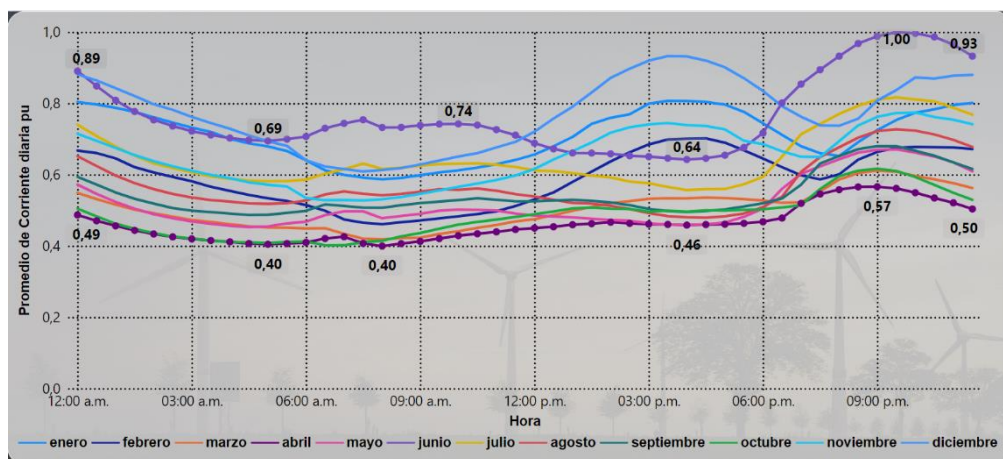
Para la representación y evaluación de resultados se usó Python y Power BI. El tratamiento de los datos requirió una depuración previa de los datos que se hizo también con estas herramientas.

### 3. Resultados

#### 3.1 Caracterización de perfiles de distribuidores

En la Fig. 1 se muestran los perfiles de carga típicos obtenidos para todos los meses del año, expresados en proporción al consumo máximo registrado. Los resultados que se presentan en esta instancia son equivalentes a evaluar el promedio del aporte de todos los distribuidores. Puede notarse que el mes de mayor consumo en verano suele ser diciembre y en invierno, junio.

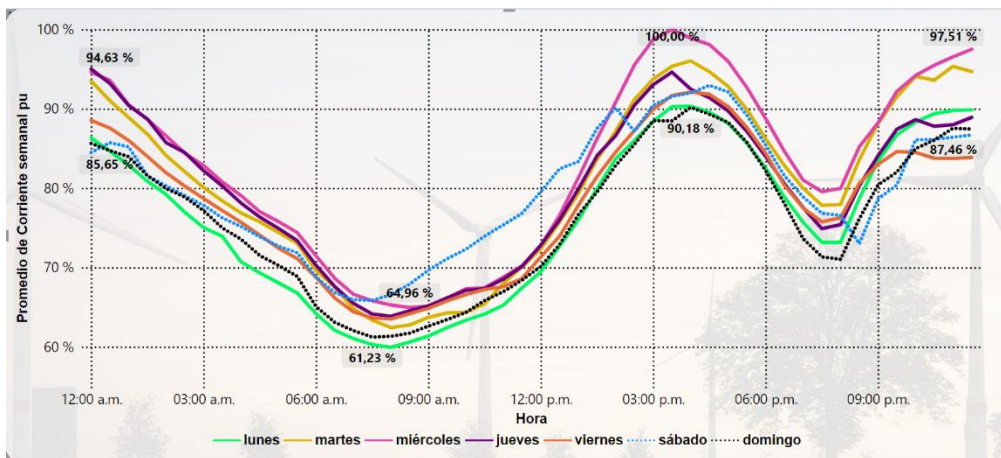
En un análisis más detallado se ha podido advertir que para los meses invernales se produce un pico de consumo de energía matutino entre las 7 a.m. y las 11 a.m., un valle durante el día y un pico nocturno (donde se produce el consumo máximo diario). En los perfiles obtenidos para meses de verano se observa un valle en la madrugada, un pico en horas de la tarde (donde se produce el consumo máximo diario) y un pico nocturno. Los picos de consumo se adjudican sobre todo al uso de equipos de calefacción o refrigeración de ambientes en los respectivos horarios de mayor consumo.



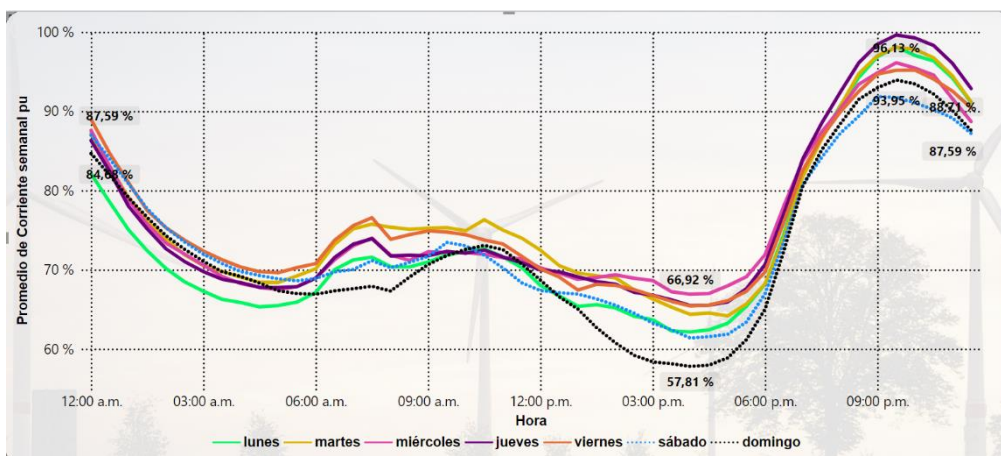
**Fig. 1** - Perfiles diarios promedio obtenidos para todos los meses del año.

Los perfiles de carga también se han tipificado según el día de la semana. En la Fig. 2 se muestran perfiles semanales típicos para meses de verano y en la Fig. 3 para los meses de invierno. Se observa que los consumos de los días hábiles no son significativamente distintos a los de los días semi-hábiles y no hábiles. Esta característica es distintiva del consumo residencial, pues, tanto en días laborables como no laborables los consumos se tienen a mantener, no así, en comercios e industrias.

Además, es sabido que la temperatura ambiente está fuertemente correlacionada con el consumo de energía eléctrica. Si contrastamos perfiles de consumo promedios, notaremos que, por ejemplo, en invierno, el consumo baja cuando sube la temperatura y sube, al bajar esta. Y en verano sucede lo contrario, ya que, a mayor temperatura mayor consumo y viceversa.



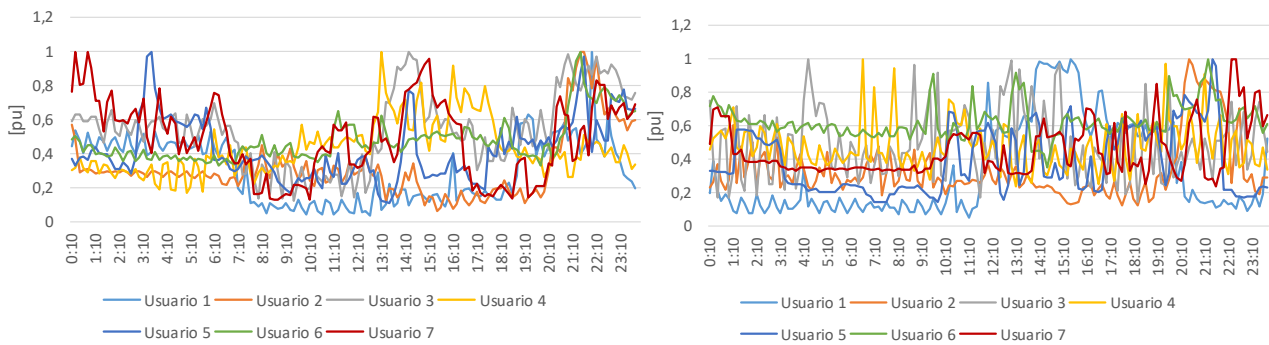
**Fig. 2** - Perfil diario típico para días de la semana en meses de verano (diciembre-enero-febrero).



**Fig. 3** - Perfil diario típico para días de la semana en meses de invierno (junio-julio-agosto).

### 3.2 Caracterización de perfiles de usuarios residenciales

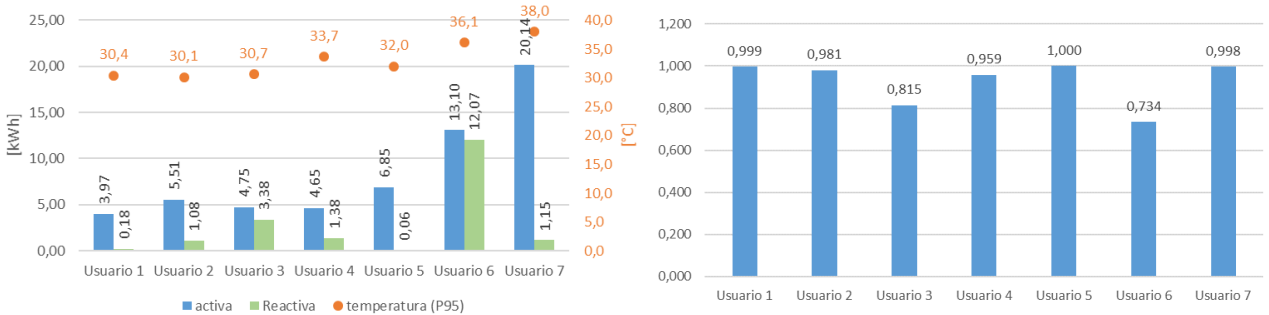
Los perfiles de consumo individuales no se clasificaron por estación ya que los mismos se registraron entre los meses de noviembre y marzo. No obstante, se clasificaron en perfiles para días hábiles y no hábiles. Estos resultados permitieron obtener perfiles de carga que caracterizan el consumo de usuarios individuales, sin el “suavizado” resultante de trabajar con perfiles promedios. Para ciertos estudios en la red de distribución, estos resultados resultan relevantes y representativo de casos reales. En la Fig. 4 se observan los perfiles promedios diarios obtenidos para los 7 usuarios considerados. Cada perfil se expresa en proporción al consumo máximo de cada usuario. Las potencias máximas registradas para estos usuarios estuvieron comprendidas entre 1,5 y 3 kW. No obstante, las potencias medias estuvieron generalmente por debajo de 0,5 kW.



**Fig. 4** - Perfil diario medio de potencia activa para días hábiles (izquierda) y para días no hábiles (derecha).

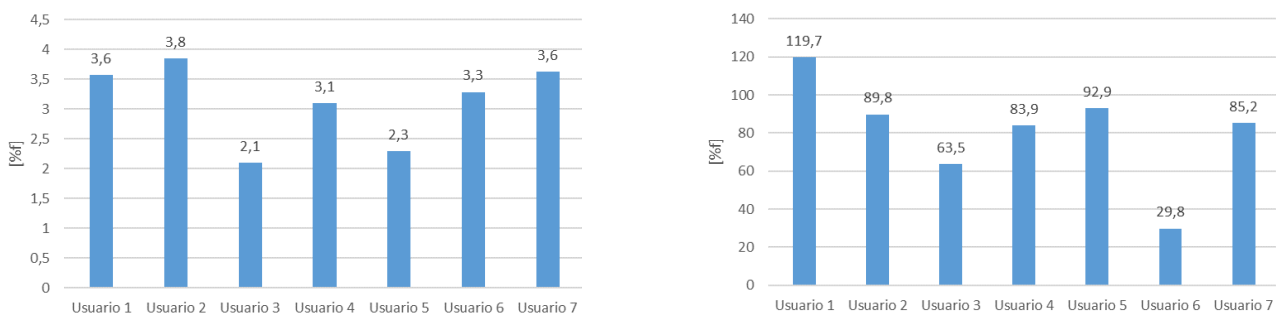
En la Fig. 5 se detalla el consumo de energía activa y reactiva junto con el factor de potencia medido para cada usuario. Los consumos de energía medios diarios resultaron bastante disímiles entre usuarios, pero puede hacerse una distinción entre aquellos clientes considerados de bajo consumo y alto consumo. Los primeros presentaron consumos comprendidos entre 4 y 7 kWh/día (consumo diario per cápita medio de 1,8 kWh/día), mientras que los segundos presentaron consumos comprendidos entre 13 y 20 kWh/día (consumo diario per cápita medio de 3,6 kWh/día). En estos consumos influyó de forma apreciable la temperatura ambiente y el uso de acondicionadores de aire.

Los consumos de energía reactiva inductiva resultaron muy dispares entre los distintos usuarios, no pudiéndose identificar un patrón claro para su correlación. Contrariamente a lo que puede pensarse a priori, en términos de energía activa y reactiva, el factor de potencia de los consumidores es, en general, alto y cercano a 1. En 5 de los 7 usuarios registrados el factor de potencia estuvo por encima de 0,95. Probablemente, esto sea causado por la componente capacitiva que prepondera en muchas de las cargas actuales basadas en electrónica.



**Fig. 5** - Consumo de energía (diaria activa y reactiva) y temperatura del periodo de medición (izquierda) y factor de potencia en cada usuario, calculado a partir de los consumos de energía activa y reactiva (derecha)

Se muestra a continuación los resultados del análisis de algunos parámetros que definen la calidad de energía en el punto de suministro para los 7 usuarios. En la Fig. 6 se muestra Distorsión armónica total de la tensión y corriente mediante el valor del THD (Percentil 95 del THD registrado en cada usuario).



**Fig. 6** - Distorsión armónica total de la tensión (izquierda) y distorsión armónica total de la corriente (derecha). Valores en % de la componente fundamental.

Durante el 95% del tiempo de registro, el THD tuvo valores que promedian 3,1 %. Estos valores son bajos si se considera el límite normativo de 8%. El espectro de frecuencia de las tensiones resultó ser bastante similar en todos los usuarios, siendo característica la presencia de armónicas de orden 3, 5, 7, 9, 11 y 15, mayoritariamente.

La distorsión armónica de la corriente tiene más variaciones entre un usuario y otro. Más allá de las diferencias en los valores globales de distorsión, el espectro de frecuencia de la corriente resulta similar, siendo característica la presencia de armónicas de orden 3, 5, 7 y 9 (en amplitud, mayores al 20%, y en ese orden). La de mayor amplitud fue la de orden 3 (amplitudes mayores al 50%), lo cual suele derivar en un problema con las corrientes en el neutro.

Más allá de lo mencionado anteriormente, los valores de distorsión armónica de la demanda (con relación a una “potencia contratada” asumida de 3,5 kVA), estuvieron comprendidos entre 3 % y 8 %, lo cual puede considerarse bajo si se considerara el límite normativo del 20 %.

## 4. Conclusiones

Este trabajo ha cumplido con el objetivo de realizar un diagnóstico del estado de la red distribución de energía eléctrica de la ciudad de Santa Fe, a través del análisis de perfiles de usuarios y datos de distribuidores. Cabe destacar que a estos resultados se suman los presentados en anteriores congresos donde se caracterizaba cargas preponderantes en el sector residencial. Estos aportes en su conjunto contribuyen al conocimiento de la situación actual en la provincia de Santa Fe y, en un futuro serán la base de estudio para la aplicación de medidas correctivas en la ciudad, en cuanto a gestión de la demanda, generación distribuida, eficiencia energética, entre otros.

El estudio realizado permitió caracterizar el consumo eléctrico en distintos escenarios para usuarios residenciales de la ciudad de Santa Fe. A través del análisis se logró identificar algunos patrones estacionales, semanales y horarios relacionados a su consumo. En este sentido, se considera valioso el aporte logrado con la obtención de perfiles típicos basados el análisis de registros en los distribuidores. Estos perfiles pueden emplearse en el modelado de redes de distribución y estudios específicos para la ciudad.

Por otro lado, se observaron algunos aspectos relacionados con la calidad de energía en redes de baja tensión, como la distorsión armónica provocada por las cargas de estos clientes. A pesar de no poseer una muestra suficientemente grande como para caracterizar completamente el consumo de los usuarios residenciales de forma general, puesto que, i) estadísticamente, constituyen un conjunto pequeño de muestras, ii) las mediciones corresponden a momentos distintos del año, con condiciones ambientales distintas, y iii) las características de ocupación y tamaño de las viviendas, junto con los horarios de mayor actividad de los usuarios considerados, son distintos y no permiten hacer una clasificación contundente entre los usuarios; los registros obtenidos permitieron identificar algunas particularidades que no se detectaron en el promedio de grandes muestras obtenidas con registros de alimentadores de la empresa distribuidora.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por la Universidad Tecnológica Nacional mediante su programa de proyectos y por el Consejo Interuniversitario Nacional a través de la Beca de Vocaciones Científicas otorgada (CIN CE. 480/2023). Se desea agradecer a los directores de la beca, el Dr. Ing. Emmanuel Sangoi, y al Ing. Ulises Manassero, al CIESE y a su equipo de trabajo por la provisión de materiales y a la Empresa Provincial de la Energía de Santa Fe por la información brindada.

## Referencias Bibliográficas

- CAMMESA. (enero de 2024). Informe Anual 2023. Obtenido de CAMMESA: <https://cammesaweb.cammesa.com/informe-anual/>
- Dehghanpour, K., Wang, Z., Wang, J., & Bu, Y. Y. (Marzo 2016). A Survey on State Estimation Techniques and Challenges in Smart Distribution Systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 10, no. 2, 2312-2322.
- K. Babilio (2023). Caracterización del perfil de consumo de cargas de uso residencial. Jornadas para Jóvenes Investigadores Tecnológicos, Facultad Regional Rafaela 2023.
- Meyer, J., Blanco, A. -M., Domagk, M., & Schegner, P. (2017). Assessment of Prevailing Harmonic Current Emission in Public Low-Voltage Networks. *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 32, no. 2, 962-970.
- M. Iqbal, L. Kütt & A. Rosin. (2018) "Complexities associated with modeling of residential electricity consumption". 2018 IEEE 59th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTU CON), 1-6