

# +INGENIO

Revista de Ciencia Tecnología e Innovación

Edición julio-diciembre 2024 Vol. 5 N° 2

ISSN 2618-5520 on line



▪ Facultad de Ingeniería / Universidad Nacional de Misiones / Argentina



## FACULTAD DE INGENIERÍA UNaM

### AUTORIDADES

**Decana:** Mtr. Ing. María Claudia Dekun  
**Vicedecano:** Mgtr. Ing. Hugo Orlando Reinert  
**Secretaría Académica:** Arq. Hilda Marta Adelina Cámpora  
**Secretario de Ciencia y Técnica:** Mgtr. Ing. Alejandro J. Kerkohf  
**Secretario de Posgrado:** Mgtr. Ing. Carlos Rubén Brázzola  
**Secretario de Extensión:** Mgtr. Ing. Marco Paolo Bárbaro  
**Secretaría de Asuntos Estudiantiles:** Srta. Florencia Rocío E. Lima  
**Secretaría Administrativa:** D.G. Silvina Luciana Barrios

### EQUIPO EDITORIAL

#### DIRECCIÓN EDITORIAL

##### Editor en Jefe

Dr. Ing. Rubén Orlando Núñez

##### Co-Editores

PostDr. Ing. Mario Orlando Oliveira  
PostDr. Ing. Mario José Mantulak  
PostDr. Ing. Gustavo O. Bogado  
PostDr. Ing. Juan Esteban Miño Valdés

#### DIRECCIÓN EDITORIAL

Dr. Ing. Arturo Suman Bretas, Universidad de Florida. Estados Unidos.  
Dr. Ing. José Renes Pinheiro, Universidad Federal de Santa María. Brasil.  
Dr. Ing. Daniel Gustavo Allasia Piccilli, Universidad Federal de Santa María. Brasil.  
Dr. Ing. Alejandro Germán Frank, Universidad Federal de Río Grande del Sur. Brasil.  
Dr. Ing. Gilberto Dionisio Hernández Pérez, Universidad Central de Las Villas. Cuba.  
Dr. Ing. Erenio Gonzalez Suarez, Universidad Central de las Villas. Cuba.  
Dr. Ing. Amaury Pérez Martínez, Universidad Estatal Amazónica. Ecuador.  
Dr. Ing. Juan Carlos Michalus, Universidad Nacional de Misiones. Argentina.  
Mgtr. Ing. Victor Andrés Kowalski, Universidad Nacional de Misiones. Argentina.  
Mgtr. Arq. Delia Klees, Universidad Nacional del Nordeste. Argentina.  
Dr. Ing. Gustavo Aucar, Universidad Nacional del Nordeste. Argentina.  
Dr. Ing. Jorge Víctor Pilar, Universidad Nacional del Nordeste. Argentina.  
Dr. Ing. Mario De Bórtoli, Universidad Nacional del Nordeste. Argentina.  
Dra. Ing. Gabriela Corsano, CONICET-UTN, Universidad Nacional del Litoral. Argentina.  
Dra. Ing. Ada Judith Franco, Universidad Nacional de Salta. Argentina.  
Dra. Ing. Nora Okulik, Universidad Nacional del Chaco Austral. Argentina.  
Dr. Ing. Raymundo Quilez Forradellas Martínez, Universidad Nacional de Cuyo. Argentina.  
Mgtr. Ing. Liliana Raquel Cuenca Pletsch, Universidad Tecnológica Nacional. Argentina.  
Dr. Ing. Oscar Möller, Universidad Nacional de Rosario. Argentina.  
Dr. Ing. Guillermo Rubén Bossio, Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina.  
Mgtr. Ing. Raúl Barral, Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina.  
Dr. Ing. Gustavo Ernesto Maffia, Universidad Nacional de la Plata. Argentina.  
Dr. Alejandro Yawny, Instituto Balseiro (CAB). Argentina.

##### Revisor de estilo para el idioma inglés

Dra. Lic. en Lengua Inglesa Gladys González Carreras, Universidad Nacional de Misiones, Argentina.  
Mgtr. Lic. en Inglés Graciela Noemi Fritz, Universidad Nacional de Misiones. Argentina.

# Índice

- 05** **Nota editorial**  
*PostDr. Ing. Juan Esteban Miño Valdés Co-Editor +INGENIO.*
- 07** **Prólogo**  
*PostDr. Ing. Gustavo O. Bogado Co-Editor +INGENIO.*
- 09** **Estimación de la Oferta Hídrica Superficial de la Ciudad de Encarnación, Paraguay.**  
*Tatiana Wieczorko, Pedro García, Estelvina Rodríguez, María Ríos.*
- 17** **Análisis de Variación de Temperatura en Microclimas de Posadas. Caso: Barrio Centro y Barrio Itaembé Miní.**  
*Briant Alcides Gauna, José Antonio Posluszny, Pedro José Gauna Quintero.*
- 29** **Una Mirada Sobre la Gestión de Residuos Sólidos en Municipios Periféricos de Pará, Brasil y de Misiones, Argentina.**  
*Sonia Romina Niezwida, Renata Pires Quemel, Juan Carlos Michalus.*
- 41** **Sistema de Excitación y Compensación Para Generadores de Inducción basado en la Teoría de Potencia Instantánea.**  
*Aldo Javier Benítez, Rubén Orlando Núñez, Pablo de la Barrera, Guillermo Oscar García.*
- 54** **Análisis de Eficiencia Energética en Instalaciones de Educación Tecnológica Mediante la Medición de Variables Eléctricas y Ambientales.**  
*Julio A. Potschka, Manuel. A. Mazzaletti, Mario O. Oliveira, Rubén C. Brázzola.*
- 70** **Desempenho das Proteções ANSI 87, 50 e 51 com Pacotes Sampled Values Corrompidos.**  
*Ángelo Felipe Sartori, Adriano Peres de Morais, Diomar A. Copetti Lima, Júlia Rambo Hammarstron.*

## COMITE DE REVISIÓN

Mgtr. Ing. Alejandro Ricardo Ruberto  
Dr. Ing. Christian Xiscatti Perez  
Dr. Ing. Dario Tomas Rodríguez  
Mgtr. Ing. Diomar Adonis Copetti Lima  
Mgtr. Ing. Federico Sebastián Kolodziej  
Mgtr. Ing. Francisco Gentile  
Dr. Ing. Jonathan Emmanuel Bosso  
Esp. Ing. Marina Alejandra Migueles  
Abg. Marisa Inés Fernández  
Lic. Peter Bauman  
Mgtr. Ing. Saul Vione Winik  
Mgtr. Ing. Sergio Daniel Martínez Campo

## EQUIPO TÉCNICO

### Soporte Técnico:

Lic. Miryan Rosana Puchini, Universidad Nacional de Misiones - Facultad de Ingeniería, Argentina.

## COLABORADORES

### Diseño de Tapa y Formato de Publicación:

D.G. Damián Leandro Kallus, Universidad Nacional de Misiones - Facultad de Arte y Diseño, Argentina.

### Dirección de Tecnologías de la Información y Comunicaciones

A.S.C. Evaldo Meinel, Universidad Nacional de Misiones - Facultad de Ingeniería, Argentina.  
Lic. Lucas Podkowa, Universidad Nacional de Misiones - Facultad de Ingeniería, Argentina.

## EDITORIAL RESPONSABLE

Facultad de Ingeniería C.P.: 3360 Juan Manuel de Rosas 325. Oberá Misiones Argentina.  
Es una publicación de la Secretaría de Ciencia y Técnica y la Secretaría de Posgrado de la Facultad de Ingeniería UNaM.



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE MISIONES



FACULTAD  
DE INGENIERÍA  
UNaM



## **Nota Editorial**

### **Charles Robert Darwin**

Nació el 12/02/1809, en Sherewsbury. Inglaterra y murió el 19/04/1882, en Downe, Inglaterra.

Darwin es considerado el padre de la Teoría de la Evolución, una de las teorías científicas más importantes y de mayor trascendencia en la historia de la humanidad. Darwin y Alfred Russel Wallace propusieron el concepto de selección natural como base de la evolución de todas las especies que han vivido y viven en nuestro planeta.

La teoría de la evolución propone que las especies cambian con el tiempo, que las nuevas provienen de especies preexistentes, y todas comparten un ancestro común. Eso significa que cada especie tiene su propio conjunto de diferencias genéticas heredadas.

Para Darwin estaba claro que los humanos actuales eran animales, vertebrados, mamíferos y primates, descendientes de un ancestro común, y que constituyen una misma y única especie, lo que refutaba la teoría racista de que existían varias especies humanas.

Darwin quería demostrar que las especies cambian y se diferencian las unas de las otras; además cuál era esa fuerza que conducía a ello, pues debía haber un mecanismo que lo regulara. Este mecanismo es la selección natural que explica por qué los seres vivos evolucionan.

La evolución es un proceso que resulta en cambios en el material genético (ADN) de una población durante el tiempo. La evolución es el resultado de las adaptaciones de los organismos a diferentes ambientes y puede resultar en genes alterados, rasgos nuevos, y nuevas especies.

Esta teoría nació con muchas ventajas sobre las explicaciones no científicas, que son sólo hipótesis imposibles de demostrar. Tal como en una selección natural, en la ciencia las ideas van, vienen y, al final, sobreviven las que mejor se adaptan a la realidad.

El 24 de noviembre de 1859 Charles Darwin publicó "El origen de las especies" y su teoría de la evolución cambió radicalmente la Biología.

La hipótesis científica actualmente más aceptada sobre el origen de la humanidad es que la especie humana moderna (llamada Homo sapiens) surgió en África, hace unos 200.000 años, tras un proceso evolutivo de millones de años.

Hay un elevado consenso científico sobre las esponjas marinas (poríferos) como los primeros animales que habitaron la Tierra. Como lo hay al considerarlas los ancestros de todas las formas de vida que hoy forman el Reino Animal, desde peces hasta aves, pasando por mamíferos, moluscos o reptiles.

La más antigua evidencia indiscutible de vida en la Tierra, interpretadas como bacterias fosilizadas, datan del período entre 3.770 a 4.280 millones de años. La evidencia geoquímica también demuestra la presencia de la vida hace 3800 millones de años.

Y para terminar esta nota editorial, aprovecho la oportunidad para agradecer a los autores de los artículos publicados de este Nro.2 del Vol.5 y al equipo de trabajo de la Revista +INGENIO.

Se invita a la comunidad universitaria a enviar artículos, en el formato solicitado, para considerar su inclusión en el próximo Nro.1 del Vol.6.

**PostDr. Ing. Juan Esteban Miño Valdés**

*Co-Editor +INGENIO*

*Facultad de Ingeniería-UNaM*



## **Prólogo**

En un mundo donde el conocimiento avanza a un ritmo vertiginoso, la difusión de la ciencia se convierte en una responsabilidad colectiva. Por ello, el comité editorial se complace en presentar una nueva edición de nuestra revista científica +INGENIO, un espacio dedicado a la divulgación, el análisis y la difusión de investigaciones innovadoras en diversas disciplinas de la ingeniería.

Esta edición no solo busca ofrecer artículos académicos de alta calidad, sino también fomentar la curiosidad, el diálogo y el pensamiento crítico entre nuestros lectores.

En este número, abordamos temas que abarcan desde los avances en estudios sobre oferta hídrica y cambio climático hasta la gestión de residuos sólidos urbanos, los generadores eléctricos de inducción, el análisis de eficiencia energética y el desempeño de algunas protecciones eléctricas. Cada artículo refleja la diversidad y profundidad del conocimiento científico que caracteriza a nuestra revista.

Agradecemos profundamente a nuestros colaboradores por sus valiosas contribuciones y a nuestros lectores por acompañarnos en esta misión de compartir el conocimiento. Esperamos que cada artículo despierte su interés y promueva una mayor apreciación por la ciencia, la tecnología y su impacto en nuestras vidas.

Les invitamos a explorar, reflexionar y, sobre todo, disfrutar de esta edición.

Atentamente,

**PsdtDr. Ing. Gustavo O. Bogado**  
*Co-Editor +INGENIO Facultad de  
Ingeniería-UNaM*





## Estimación de la Oferta Hídrica Superficial de la Ciudad de Encarnación, Paraguay

Tatiana Wieczorko<sup>a,\*</sup> , Pedro García<sup>b</sup> , Estelvina Rodríguez<sup>a</sup> , María Ríos<sup>a</sup> 

<sup>a</sup> Universidad Nacional de Itapúa. Facultad de Ciencias y Tecnología. Itapúa, Paraguay.

<sup>b</sup> Universidad del Quindío. Programa de Ingeniería Civil. Armenia, Colombia.

e-mails: [tatianawieczorko@cyt.uni.edu.py](mailto:tatianawieczorko@cyt.uni.edu.py), [pedrogarcia@uniquindio.edu.co](mailto:pedrogarcia@uniquindio.edu.co), [investigacion@cyt.uni.edu.py](mailto:investigacion@cyt.uni.edu.py), [mariarios894@cyt.uni.edu.py](mailto:mariarios894@cyt.uni.edu.py)

---

### Resumen

El presente estudio se realizó en la ciudad de Encarnación, departamento de Itapúa, Paraguay y abarcó las cuencas de los arroyos Mboi Ka' e y Quiteria, las cuales ocupan casi el 85% del territorio municipal. Encarnación tiene una extensión total de 273,84 km<sup>2</sup> y como objetivo principal de este estudio se propuso estimar la oferta hídrica neta municipal. Para ello, se implementó una metodología cuyo insumo principal es la oferta hídrica total donde se ajusta el caudal total con los factores de reducción para mantener los regímenes de estiaje y reducción por irregularidad temporal. Como resultado, la estimación de la oferta hídrica superficial para la ciudad de Encarnación se calcula en 964.164.319 m<sup>3</sup> o 964 hm<sup>3</sup>. Esta herramienta desempeña un papel clave en el monitoreo del objetivo de desarrollo sostenible número seis cuyo propósito es garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos, y en particular los indicadores relacionados con el estrés hídrico y la eficiencia del uso del agua.

**Palabras Clave** – Caudal modal, Encarnación, Factor de reducción, Oferta hídrica, Paraguay.

---

### Abstract

This study was conducted in Encarnación, located in the Itapúa department of Paraguay, focusing on the Mboi Ka' e and Quiteria stream basins, which together cover approximately 85% of the city's municipal territory. Encarnación spans a total area of 273,84 km<sup>2</sup> and the main objective of the study was to estimate the city's net water supply. The methodology used was based on the total water supply, with adjustments for flow reduction factors to account for low water levels and variability in flow due to temporal irregularities. As a result, the surface water supply for Encarnación was estimated at 964.164.319 m<sup>3</sup> or 964 hm<sup>3</sup>. This tool is essential for monitoring Sustainable Development Goal 6, which seeks to ensure the availability and sustainable management of water and sanitation for all, particularly with regard to indicators related to water stress and water use efficiency.

**Keywords** – Encarnación, Modal flow, Paraguay, Reduction factor, Water supply .

---

## 1. Introducción

La población humana presenta un crecimiento exponencial a nivel mundial y esto influye en la disminución per cápita de la disponibilidad de todos los recursos, como el caso de los recursos hídricos. Esto sirve para identificar zonas críticas con menor disponibilidad que requieren mayor atención en cuanto a la gestión [1].

Paraguay se encuentra entre los diez países latinoamericanos con mayores reservas de agua dulce y su disponibilidad de agua es de aproximadamente 60.000 m<sup>3</sup> per cápita/año, considerada una de las más altas del mundo [2], sin embargo otros autores consideran que la cifra es más cercana a los 18.000 m<sup>3</sup> per cápita/año, tomando en cuenta que la disponibilidad hídrica tiende a disminuir como consecuencia natural del crecimiento demográfico [3].

Si bien la disponibilidad hídrica del Paraguay se considera elevada, no está uniformemente

distribuida en el territorio nacional, observándose dos regiones con características hídricas bien diferenciadas como la región occidental con déficit hídrico durante todo el año y la región oriental con mayor disponibilidad de agua [2].

A nivel país existen pocos antecedentes de estudios de cuantificación de recursos hídricos y en especial en la ciudad de Encarnación. Tomando en cuenta lo anterior, es de gran importancia contar con trabajos que estimen la cantidad de oferta hídrica superficial que abastezca y satisfaga las necesidades básicas de las poblaciones humanas, pero cabe señalar que la principal limitación para validar los cálculos es la falta de mediciones específicas y la superposición de la delimitación de zonas que son abastecidas de manera superficial y de la napa freática a través de pozos.

La sobreexplotación de una fuente de agua puede tener efectos sobre las características de la calidad y alterar la dinámica de flujo transportándola desde la fuente abastecedora hasta la receptora de efluentes, finalmente la excesiva presión sobre el recurso puede conducir a su desaparición. En este sentido es importante para las labores de planificación sostenible del recurso conocer la oferta hídrica, los niveles de demanda y las condiciones de interacción hidráulica necesarias para mantener la calidad y cantidad de agua disponible [4].

En este sentido, la oferta hídrica de una cuenca es el volumen disponible para satisfacer la demanda generada por los ecosistemas acuáticos, las prácticas culturales, las actividades sociales y económicas. El conocimiento del caudal superficial, su confiabilidad y extensión de la serie del registro histórico son variables que pueden influir en la estimación de la oferta hídrica superficial [5].

En Paraguay una de las mayores dificultades para realizar estudios de estimación de la oferta hídrica es la falta de datos, ya que no existe instrumentación para la medición de caudales, como es el caso de las cuencas de los arroyos Mboi Ka`e y Quiteria. Por lo tanto, la aplicación de métodos indirectos como modelos que estiman esta oferta hídrica resulta importante para elaborar planes de manejo de las cuencas hidrográficas y hacer valoraciones económicas del recurso hídrico ofrecido por ellas [6].

De esta manera, la estimación de la oferta hídrica superficial de la ciudad de Encarnación, la cual posee 143.281 habitantes [7], desempeña un papel clave en el monitoreo del objetivo de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas número seis cuyo propósito es garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos, y en particular los indicadores relacionados con el estrés hídrico y la eficiencia del uso del agua [8]. Además, la academia tiene dentro de sus objetivos el estudio de problemas locales y la generación de líneas de trabajo que favorezcan la preservación y planificación del recurso hídrico, especialmente en estos tiempos de crisis.

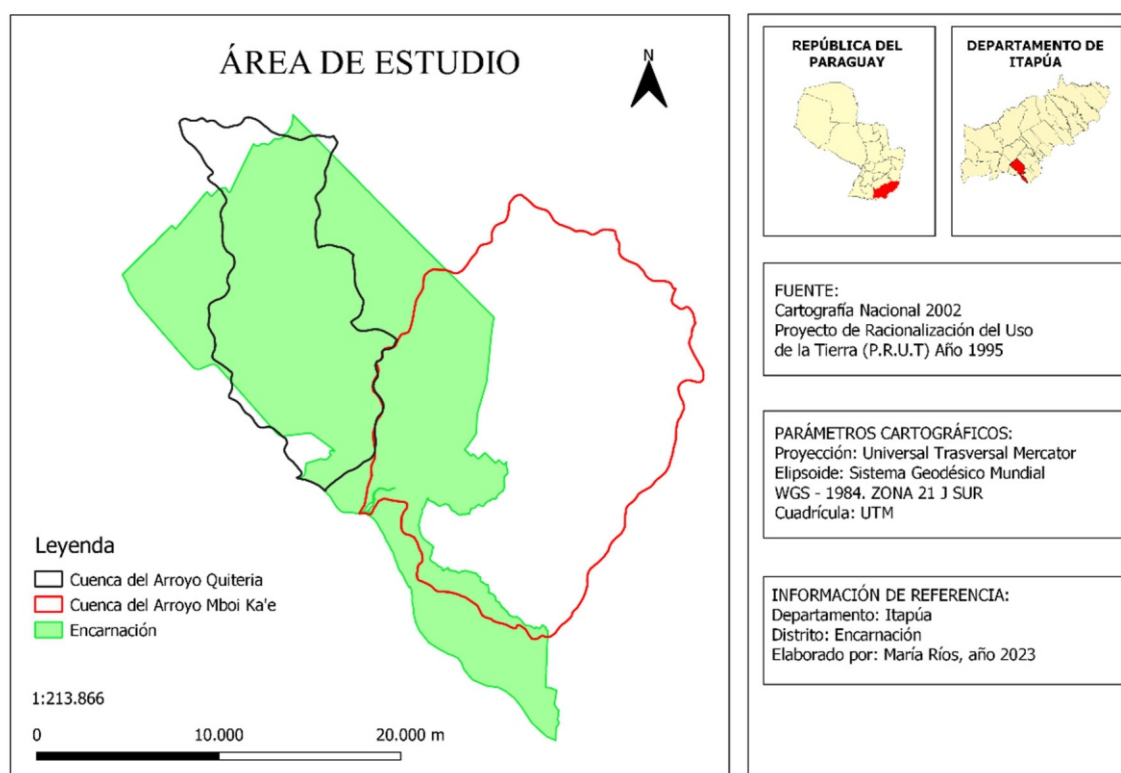
## **2. Materiales y Métodos**

### *2.1. Área de estudio*

De los 273,84 km<sup>2</sup> que ocupa Encarnación, 232,68 km<sup>2</sup> son parte de las cuencas de los arroyos Quiteria y Mboi Ka'e [9] y casi 85% del territorio está influenciado por las condiciones hidráulicas, hidrológicas y ambientales de los cursos de agua de estas dos cuencas [10].

Las áreas dónde se encuentran las cuencas de los Arroyos Quiteria y Mboi Ka´e, tienen la menor temperatura en el país y también la mayor precipitación. De acuerdo a información de estaciones meteorológicas, la temperatura media anual es de 21 °C siendo el mes más caliente enero (28 °C) y julio el más frío (16 °C) [11]. La precipitación media anual de la zona es de 1.750 mm y está distribuida regularmente a lo largo del año, excepto en el invierno cuándo disminuye relativamente [12], [13].

En la Fig. 1, se muestra la delimitación de las cuencas y el área de estudio:



**Fig. 1. Delimitación del área de estudio. Fuente: Elaboración propia.**

En la Tabla 1 se presentan las características y el balance hídrico de las cuencas de los arroyos Mboi Ka'e y Quiteria según Rivero y Romero [2]:

**Tabla 1. Características de las cuencas de los arroyos Mboi Ka'e y Quiteria**

Cuenca del Arroyo Mboi Ka'e			Cuenca del Arroyo Quiteria		
Características	Área (km <sup>2</sup> )	287	Características	Área (km <sup>2</sup> )	348
	Perímetro (km)	80		Perímetro (km)	139
	Centroide X (m)	619.423		Centroide X (m)	608.725
	Centroide Y (m)	6.981.749		Centroide Y (m)	6.993.831
	Centroide Z (m)	192		Centroide Z (m)	180
	Cota mín (msnm)	75		Cota mín (msnm)	67
	Cota máx (msnm)	290		Cota máx (msnm)	280
	Altitud media (msnm)	192		Altitud media (msnm)	180
	Altitud más frecuente (msnm)	148		Altitud más frecuente (msnm)	163
	Altitud de frecuencia 1/2 (msnm)	179		Altitud de frecuencia 1/2 (msnm)	175
	Pendiente promedio (%)	17		Pendiente promedio (%)	15
	Orden de cuenca	6		Orden de cuenca	6
	Pendiente media de la red hídrica (%)	2		Pendiente media de la red hídrica (%)	1
	Longitud del cauce principal (km)	33		Longitud del cauce principal (km)	27
Longitud de la red hídrica (km)	748	Longitud de la red hídrica (km)	881		

<b>Balance hídrico año hidrológico medio</b>	Precipitación - P (mm/año)	1.797,48	<b>Balance hídrico año hidrológico medio</b>	Precipitación - P (mm/año)	1.797,48
	Evapotranspiración potencial - ETP (mm/año)	1.290,97		Evapotranspiración potencial - ETP (mm/año)	1.290,97
	Evapotranspiración real - ETR (mm/año)	1.051,73		Evapotranspiración real - ETR (mm/año)	1.070,98
	Escorrentía - ESC (mm/año)	62,09		Escorrentía - ESC (mm/año)	60,56
	Caudal total simulado - QT (m <sup>3</sup> /s)	6,86		Caudal total simulado - QT (m <sup>3</sup> /s)	8,14
	Caudal específico de la cuenca - q (l/s*km <sup>2</sup> )	23,95		Caudal específico de la cuenca - q (l/s*km <sup>2</sup> )	23,37
	Aportación total a la salida de la cuenca - APT (hm <sup>3</sup> /año)	213,51		Aportación total a la salida de la cuenca - APT (hm <sup>3</sup> /año)	253,09
	Caudal subsuperficial - Qsub (m <sup>3</sup> /s)	1,39		Caudal subsuperficial - Qsub (m <sup>3</sup> /s)	1,87

## 2.2. Método

El método utilizado para el desarrollo del presente estudio partió de una búsqueda exhaustiva de información en las entidades públicas y privadas, páginas web y bases de datos de entes territoriales, con el fin de seleccionar el material útil para el trabajo. Se utilizaron los datos de Rivero y Romero [2] comprendido entre los años 1980 – 2013 que aplicó el cálculo hidrometeorológico de aportaciones y crecidas (CHAC), desarrollado por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas del Ministerio de Fomento de España.

El cálculo de la oferta hídrica superficial neta resulta de la ecuación (1) [14]:

$$O_n = O_t \times (1 - R_e + R_{it}) \tag{1}$$

Dónde:  $O_t$  – Oferta hídrica superficial total (m<sup>3</sup>);  $R_e$  – Factor de reducción para mantener el régimen de estiaje;  $R_{it}$  – Factor de reducción por irregularidad temporal de la oferta hídrica.

La oferta hídrica superficial total se expresa como (2):

$$Q_t = Q_0 \times T \tag{2}$$

Dónde:  $Q_0$  - Caudal modal de la fuente abastecedora (m<sup>3</sup>/s), el cual fue calculado a partir del caudal simulado medio anual [2] y  $T$  cantidad de segundos en un año.

Para definir  $R_e$  se construyó la curva de densidad probabilística (CDP) de los caudales de estiaje mínimos ( $Q_{min}$ ) utilizando el *Software* R [15] a partir de los datos de caudales mínimos anuales simulados de la serie enero 1981 a diciembre 2012 [2] con una longitud de 32 años. De esta curva se extrajo el caudal de estiaje con 97,5% de probabilidad de excedencia  $Q_{min}$  97,5% de modo que la reducción para mantener el régimen de estiaje de la fuente es igual a (3) [14]

$$R_e (\%) = 100 \times \left( \frac{min_{97,5\%}}{Q_0} \right) \tag{3}$$

Las series de caudales promedios anuales de estiaje simulados fueron ajustadas a funciones de distribución de probabilidad (FDP) teóricas de tres parámetros. Este ajuste fue realizado bajo la verificación de hipótesis de concordancia al 5% de significación usando los criterios de Anderson-Darling, Cramer-Von Mises y Kolmogorov-Smirnov y mostró que la función de Weibull es la más adecuada seguida de las funciones Log Normal y Gamma.

La reducción por irregularidad temporal de la oferta hídrica se estimó a través de (4), un funcional de la forma [16]:

$$R_{it} = f(Q_0, C_v, C_s, \rho) \quad (4)$$

Donde  $C_v$ ,  $C_s$  y  $\rho$  representan los coeficientes de variación y de asimetría de los caudales promedio anuales y el radio de correlación de los caudales diarios.

Sin embargo, ante limitaciones como la corta longitud de las series de caudales anuales y de estiaje y la complejidad del parámetro  $\rho$ , como primera aproximación para obtener  $R_{it}$  se recomienda aplicar la siguiente tabulación presentada en la Tabla 2 [16]:

**Tabla 2. Escala de reducciones por irregularidad temporal de la oferta hídrica**

$C_v R$	$it$ (%)
0 – 0.2	15
0.2 – 0.3	25
0.3 – 0.4	35
0.4 – 0.6	40
>0.6	50

### 3. Resultados

Para evaluar la oferta hídrica superficial neta de la ciudad de Encarnación, se procedió a la estimación de los caudales modales para cada una de las fuentes abastecedoras, a partir de los caudales totales mensuales simulados de 1.980 a 2.012 [2]. Para la cuenca del arroyo Mboi Ka´e se obtuvo un caudal modal de 0,69 m<sup>3</sup>/s y para la cuenca del arroyo Quiteria 1,05 m<sup>3</sup>/s.

Seguidamente, se estimó la oferta hídrica superficial total aplicando la Ecuación (2), la cual se define como el volumen de agua que escurre por la superficie e integra los sistemas de drenaje superficial, es decir es el agua que fluye por la superficie del suelo que no se infiltra o se evapora y se concentra en los cauces de los ríos o en los cuerpos de agua lénticos [17]. En este sentido, la cuenca del arroyo Mboi Ka´e presentó una oferta hídrica superficial total de 21.759.840 m<sup>3</sup> y la cuenca del arroyo Quiteria 33.112.800 m<sup>3</sup>.

De las CDP y FDP para los caudales promedio anuales simulados se obtuvieron los caudales de estiaje del 97,5% de probabilidad de excedencia de 0,047 m<sup>3</sup>/s para Mboi Ka´e y 0,0541 m<sup>3</sup>/s para Quiteria.

De la CDP de caudales promedio anuales simulados se obtuvieron los coeficientes de variación de 0,40 para Mboi Ka´e y 0,41 para Quiteria, lo que indica según la Tabla 2 que  $R_{it}$  es igual a 0,4 para ambas cuencas, es decir que por irregularidad temporal la oferta se debe reducir en 40%.

Por otra parte, aplicando la Ecuación (3), se deduce que para conservar el caudal de estiaje la oferta también se debe reducir en 6,9% para Mboi Ka´e y en 5,1% para Quiteria.

En total los dos factores aplicados reducen la oferta hídrica superficial de las cuencas de los arroyos Mboi Ka´e y Quiteria en 46,9% y 45,1% respectivamente.

Aplicando la Ecuación (1) se estimó la oferta hídrica superficial neta para las cuencas de los arroyos Mboi Ka´e y Quiteria de 741.466.548 m<sup>3</sup> y 1.186.862.090 m<sup>3</sup> respectivamente.

En la Tabla 3 se presentan las estimaciones calculadas para cada una de las variables estudiadas.

**Tabla 3. Resultados obtenidos para las cuencas de los arroyos Mboi Ka'e y Quiteria.**

Variables estimadas	Cuenca del Arroyo Mboi Ka'e	Cuenca del Arroyo Quiteria
Caudal modal de la fuente abastecedora – $Q_o$	0,69 m <sup>3</sup> /s	1,05 m <sup>3</sup> /s
Cantidad de segundos en un año - $T$	31.536.000 s	31.536.000 s
Oferta hídrica superficial total – $O_t$	21.759.840 m <sup>3</sup>	33.112.800 m <sup>3</sup>
Caudal de estiaje con el 97,5% de probabilidad de excedencia - $Q_{min\ 97,5\%}$	0,0477832 m <sup>3</sup> /s	0,05415148 m <sup>3</sup> /s
Factor de reducción para mantener el régimen de estiaje – $R_e$	6,925%	5,157%
Coefficiente de variación de los caudales promedio anuales - $C_v$	0,40	0,41
Factor de reducción por irregularidad temporal de la oferta hídrica – $R_{it}$	40%	40%
Oferta hídrica superficial neta – $O_n$	741.466.548 m <sup>3</sup> 741,46 hm <sup>3</sup>	1.186.862.090 m <sup>3</sup> 1.186,86 hm <sup>3</sup>

#### 4. Discusión

A pesar de que Paraguay cuenta con una gran cantidad de recursos hídricos, este recurso no es infinito ni está distribuido homogéneamente en el territorio nacional y por esta razón la administración y gestión del recurso a escala nacional, regional y local debe tener en cuenta tendencias y escenarios futuros que permitan avanzar hacia un desarrollo sostenible.

En este sentido, la estimación de la oferta hídrica superficial para Encarnación se calcula en 6.729,18 m<sup>3</sup> per cápita/año, siendo éste un valor que está por encima de 5.000 m<sup>3</sup> per cápita/año, cantidad promedio para la mayoría de los países de Latinoamérica, según el Índice de Disponibilidad de Falkenmark, reportado por Ballester y colaboradores [18].

La oferta hídrica superficial, la cual se obtiene del promedio de las ofertas hídricas superficiales de las cuencas de los arroyos Mboi Ka'e y Quiteria se estimó en 964.164.319 m<sup>3</sup>. Esta herramienta trae al presente consideraciones sobre la necesidad de tomar acciones dirigidas a reducir el riesgo de desabastecimiento futuro.

Según el estudio realizado por Costa y colaboradores [14] para los municipios colombianos, los dos factores aplicados ( $R_{it}$  y  $R_e$ ) reducen la oferta hídrica superficial de todos los municipios en 51%, presentando una oferta con probabilidad de excedencia 97,5% de 107.300.563 m<sup>3</sup> para el municipio de Cúcuta; 12.057.306 m<sup>3</sup> para el municipio de Los Patios y 8.771.747 m<sup>3</sup> para el municipio de Villa del Rosario siendo estos 88%, 98% y 99% menores respectivamente a los estimados para el municipio encarnaceno.

#### 5. Conclusiones

La determinación de la oferta hídrica superficial es de importancia debido a varios factores clave que afectan tanto el bienestar humano como el equilibrio ambiental y conocer la cantidad de agua disponible es esencial para asegurar que haya suficiente agua potable para satisfacer las necesidades básicas de la población, incluyendo el consumo doméstico, la higiene y la salud pública.

Sin embargo, es importante destacar que la oferta hídrica no solo cumple una función crucial para el abastecimiento humano, sino que también tiene un rol significativo en otros sectores clave. La agricultura, por ejemplo, depende del agua para la irrigación de cultivos, lo que asegura la continuidad

de la cadena de suministro de alimentos. El sector industrial y manufacturero utiliza agua en sus procesos de producción, siendo indispensable para numerosas actividades económicas. Además, el agua también impulsa el desarrollo de actividades recreativas y turísticas, como parques acuáticos, playas, la navegación y la pesca, todas ellas con impacto en las economías locales y nacionales.

Los cuerpos de agua superficiales también son parte integral de los ecosistemas locales y desempeñan un papel crucial en la conservación de la biodiversidad, siendo que los ríos y lagos brindan hábitats para diversas especies y contribuyen a la regulación del ciclo del agua y en un contexto de cambio climático, es fundamental entender la disponibilidad y variabilidad de los recursos hídricos ya que una oferta hídrica adecuada puede ayudar a las ciudades a mitigar los efectos de sequías, inundaciones y otros eventos climáticos extremos.

La oferta hídrica superficial estimada en 964.164.319 m<sup>3</sup> en la ciudad de Encarnación, representa un recurso importante para el desarrollo sostenible y el bienestar de la comunidad. Esta abundante reserva de agua proporciona la base para diversas actividades humanas, sin embargo es fundamental que se adopten medidas adecuadas de gestión y conservación para garantizar la disponibilidad a largo plazo de este recurso.

El monitoreo constante de los niveles de agua, la promoción de prácticas de uso responsable y la implementación de políticas de protección ambiental son esenciales para preservar esta oferta hídrica y garantizar su disponibilidad para las generaciones presentes y futuras, además la colaboración entre las autoridades locales, los ciudadanos y las organizaciones de conservación es crucial para aprovechar de manera sostenible este recurso y garantizar la resiliencia de la ciudad frente a los desafíos hídricos que puedan surgir en el futuro.

El fortalecimiento de la gestión integral del recurso hídrico, especialmente en las estrategias de protección de la oferta hídrica existente, de la expansión de las redes hidrométricas y de otros mecanismos de seguimiento del recurso son importantes. Este estudio genera información para activar, conectar e interactuar en futuras líneas de trabajo que podrían enfocarse en la adquisición de datos, el monitoreo del recurso hídrico, el desarrollo de indicadores para seguimiento de oferta, demanda y prestación del servicio.

Algunas limitaciones abordadas en este trabajo se debieron a la dificultad de considerar adecuadamente todos los factores que reducen la oferta total al estimar la oferta neta, como por ejemplo la calidad del agua y las necesidades ecológicas por encima de los caudales mínimos históricos, además de la incertidumbre asociada a la escala de la información disponible ya que no se cuenta con información primaria a escala local forzando el uso de datos simulados y estimaciones.

## Referencias

- [1] M. del C. Álvarez, *Disponibilidad hídrica del Paraguay*, Segunda Edición. Asunción: Investigación para el desarrollo, 2015. [Online]. Available: [www.desarrollo.org.py](http://www.desarrollo.org.py)
- [2] R. Rivero and E. Romero, "Balance hídrico superficial de Itapúa," Trabajo Final de Grado, Universidad Nacional de Itapúa, Encarnación, 2014.
- [3] M. R. Servín and A. Insfrán, "Vulnerabilidad a la contaminación de aguas subterráneas en sistemas de abastecimiento comunitario de Encarnación - Paraguay," *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 5, no. 6, Dec. 2021, doi: 10.37811/cl\_rcm.v5i6.1338.
- [4] A. Boretti and L. Rosa, "Reassessing the projections of the World Water Development Report," *NPJ Clean Water*, vol. 2, no. 1, Dec. 2019, doi: 10.1038/s41545-019-0039-9.
- [5] M. I. Brunner, L. Slater, L. M. Tallaksen, and M. Clark, "Challenges in modeling and predicting floods and droughts: A review," May 01, 2021, *John Wiley and Sons Inc.* doi: 10.1002/wat2.1520.
- [6] L. Otaña, G. Vásquez, and G. Bustamante, "Estimación de la oferta hídrica con información escasa en ecosistemas estratégicos," *Rev.fac.Nal.Agr.Medellín*, vol. 61, no. 1, pp. 4366–4380, 2008.

- [7] INE, “Instituto Nacional de Estadística,” Itapúa Proyecciones de población por sexo y edad, 2023. Accessed: May 03, 2024. [Online]. Available: [https://www.ine.gov.py/Publicaciones/Proyecciones%20por%20Departamento%202023/07\\_Itapua\\_2023.pdf](https://www.ine.gov.py/Publicaciones/Proyecciones%20por%20Departamento%202023/07_Itapua_2023.pdf)
- [8] Naciones Unidas, “Objetivos de Desarrollo Sostenible,” Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Accessed: Jun. 18, 2023. [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- [9] Global Consultores, “Gestión integrada de las cuencas de los arroyos Mbói Cae y Quiteria,” 2008. Asunción: Entidad Binacional Yacyretá.
- [10] Ecosistema Urbano, “Plan Encarnación Más - Plan de Desarrollo Sustentable y Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Encarnación, Paraguay,” Diagnóstico y Objetivos - Parte 2 - Medioambiente y Territorio. Accessed: Mar. 10, 2024. [Online]. Available: [https://issuu.com/ecosistemaurbano/docs/03-morfologia\\_urbana\\_-\\_reduced/7](https://issuu.com/ecosistemaurbano/docs/03-morfologia_urbana_-_reduced/7)
- [11] K. Musálem, “Assessing integrated watershed management and spatial groundwater vulnerability to pollution in priority watersheds of the Yacyreta dam in Paraguay,” Dissertation, Bangor University, Bangor, 2010. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/263444873>
- [12] K. Musálem, “Cuencas prioritarias del embalse Yacyreta caracterización del arroyo Mboi Caé, Itapúa, Py,” Mar. 2008. Accessed: Mar. 04, 2024. [Online]. Available: [https://www.academia.edu/58755731/Caracterizaci%C3%B3n\\_Del\\_R%C3%ADo\\_Mboi\\_Cae](https://www.academia.edu/58755731/Caracterizaci%C3%B3n_Del_R%C3%ADo_Mboi_Cae)
- [13] K. Musálem, “Cuencas prioritarias del embalse Yacyreta caracterización de l arroyo Quiteria, Itapúa, Py,” 2008. Accessed: Mar. 04, 2024. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/268515266\\_CHARACTERIZACION\\_DEL\\_RIO\\_QUITERIA](https://www.researchgate.net/publication/268515266_CHARACTERIZACION_DEL_RIO_QUITERIA)
- [14] C. Costa, E. Domínguez, H. Rivera, and R. Vanegas, “El índice de escasez de agua ¿Un indicador de crisis ó una alerta para orientar la gestión del recurso hídrico?,” *Revista de ingeniería*, vol. 22, pp. 104–111, 2005.
- [15] R Core Team, “R: A language and environment for statistical computing,” 2020, *R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria*. Accessed: Jun. 18, 2023. [Online]. Available: <https://www.R-project.org/>
- [16] E. A. Domínguez Calle, H. G. Rivera, R. Vanegas Sarmiento, and P. Moreno, “Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramientas de evaluación del recurso hídrico colombiano,” *Rev Acad Colomb Cienc Exactas Fis Nat*, vol. 32, no. 123, pp. 195–212, 2023, doi: [https://doi.org/10.18257/raccefyn.32\(123\).2008.2257](https://doi.org/10.18257/raccefyn.32(123).2008.2257).
- [17] IDEAM, *Estudio Nacional del Agua 2014*. Bogotá: Panamericana Formas e Impresos S.A., 2015.
- [18] M. Ballesteros, V. Arroyo, and A. Mejía, *Inseguridad Económica del Agua en Latinoamérica: de la abundancia a la inseguridad*, CAF. Buenos Aires, 2015. Accessed: Jun. 19, 2023. [Online]. Available: <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00406.pdf>



## Análisis de Variación de Temperatura en Microclimas de Posadas. Caso: Barrio Centro y Barrio Itaembé Mini

Briant Alcides Gauna <sup>a,\*</sup> , José Antonio Posluszny <sup>a</sup>, Pedro José Gauna Quintero <sup>b</sup> 

<sup>a</sup> Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ingeniería. Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>b</sup> Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales. Posadas, Misiones, Argentina.

e-mails: [br.gauna@fio.unam.edu.ar](mailto:br.gauna@fio.unam.edu.ar), [posluj@fio.unam.edu.ar](mailto:posluj@fio.unam.edu.ar), [pjgaunaquintero@fhycs.unam.edu.ar](mailto:pjgaunaquintero@fhycs.unam.edu.ar)

---

### Resumen

En el presente trabajo, se procedió a analizar dos microclimas de la ciudad de Posadas. Se ha caracterizado el barrio Centro y el barrio Itaembé Mini de la ciudad de Posadas. Además, se analizó la temperatura en dos puntos, uno en cada barrio, donde se encuentran estaciones meteorológicas. Este análisis se realizó para poder determinar si existe una diferencia estadísticamente significativa entre ambas mediciones. Las mediciones realizadas son extraídas de la Oficina de Prevención ante Desastres Naturales (OPAD). Se ha realizado un análisis por muestras apareadas para poder determinar si ambas mediciones son similares o no. Poder determinar diferencias entre las temperaturas de ambas mediciones pueden deberse a un efecto denominado Isla de Calor Urbana (ICU). Este efecto está presente debido al aumento de la construcción de las ciudades y de la actividad antropocéntrica. Como resultado, se han encontrado diferencias significativas. La estación meteorológica del Centro registró una temperatura superior que la temperatura registrada en la estación meteorológica de Itaembé Mini durante el período analizado (mayo 2022 en horarios de medianoche y mediodía).

**Palabras Clave** – Estación Meteorológica, Itaembé Mini, Posadas, Temperatura .

---

### Abstract

In this article, two microclimates of the city of Posadas were analyzed. The *Centro* neighborhood and the *Itaembé Mini* neighborhood of the city of Posadas have been characterized. In addition, the temperature was analyzed at two points, one in each neighborhood, where meteorological stations are located. This analysis was carried out to determine if there is a statistically significant difference between both measurements. The measurements carried out are taken from the *Oficina de Prevención ante Desastres Naturales* (OPAD). An analysis by paired samples has been carried out to determine whether both measurements are similar or not. Being able to determine differences between the temperatures of both measurements may be due to an effect called Urban Heat Island (UHI). This effect is present due to the increase in city construction and anthropocentric activity. As a result, significant differences have been found. The *Centro* weather station recorded a higher temperature than the temperature recorded at the *Itaembé Mini* weather station during the analyzed period (May 2022 at midnight and noon).

**Keywords** – Itaembé Mini, Posadas, Temperature, Weather Station.

---

### SÍMBOLOS

°C	Grados Celsius.
°F	Grados Fahrenheit.
$H_0$	Hipótesis Nula.
$\mu_D$	Parámetro media poblacional de la diferencia.
$\bar{d}$	Media de las diferencias.
$s_d$	Desvío estándar de las diferencias.
$\alpha$	Nivel de significancia.
$t$	Estadístico <i>t</i> de student

---

## 1. Introducción

A lo largo del tiempo, las ciudades van modificando la morfología de la región, lo cual genera

microclimas que experimentan cambios en las variables climatológicas del lugar. A pesar que una ciudad es una unidad geográfica pequeña frente a otras (como departamentos o provincias), existen investigaciones que sugieren que dentro de las mismas existen zonas con microclimas diferentes a los de la región. Algunos de estos microclimas están afectados por el exceso de construcción sobre la región, donde empieza a observarse un cambio en la temperatura circundante del aire, al cual se denomina Efecto Isla de Calor.

Este trabajo procura hacer un análisis estadístico entre dos barrios de Posadas donde se encuentran estaciones meteorológicas, para verificar si existen diferencias entre los microclimas de ambos barrios de la ciudad. Se analizan los datos de temperatura de mayo de 2022 para las estaciones meteorológicas colocadas por la Oficina de Prevención ante Desastres Naturales (OPAD) ubicadas en el centro de la ciudad de Posadas, y en el barrio Itaembé Miní.

### *1.1. Objetivos*

Los objetivos de este trabajo son:

- 1) Describir los barrios de la ciudad de Posadas según las variables que sean importantes de analizar para su microclima.
- 2) Analizar las mediciones de temperatura de las estaciones meteorológicas presentes en ambos barrios.
- 3) Proponer líneas de investigación para continuar analizando los microclimas de la ciudad de Posadas.

Este tema es de relevancia debido a que encontrar diferencias en la temperatura del aire en diversos barrios, podría permitir tomar acciones de mitigación para poder reducir los efectos del aumento de la temperatura en las regiones donde se visualiza una temperatura mayor. Reducir el efecto de aumento de temperatura permite aumentar el confort térmico de los habitantes de una ciudad, disminuir el consumo de energía debido a la adecuación del ambiente de los hogares de las personas, y la disminución de insolaciones o golpes de calor en la salud de la población.

## **2. Desarrollo**

### *2.1. Revisión bibliográfica*

En los últimos años, junto con el crecimiento de la población, es posible visualizar un crecimiento en las ciudades, sus construcciones, y en la actividad antrópica de la sociedad. Estos aumentos generan cambios en el ambiente, que hasta hace no mucho se estaban ignorando. Hoy día, es posible percibir por los propios sentidos que los centros de las ciudades son más calientes que sus barrios, sentir que el viento circula por nuestro cabello cuando no hay tantos edificios, y que vivir en el centro de la ciudad en verano ya no basta con encender un ventilador de techo.

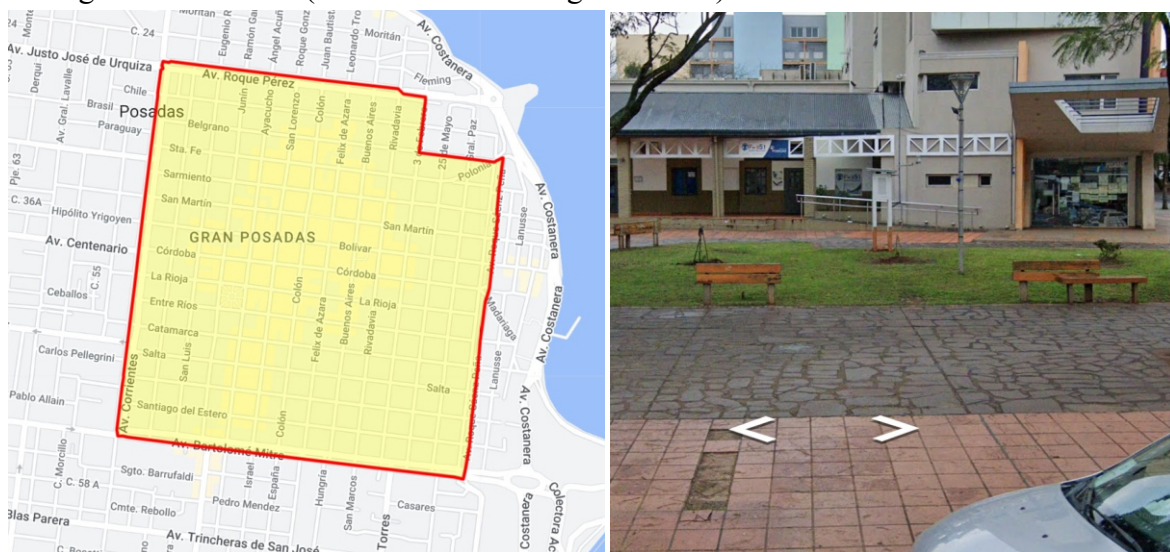
Eso da pie a comenzar a analizar qué suceden con los microclimas urbanos. El aumento de la construcción modifica el microclima absorbiendo calor, modificando el comportamiento del viento, y reduciendo los espacios verdes para que las edificaciones sean posibles. Uno de los efectos que genera este cambio en el cañón urbano y su aumento de actividad antrópica es conocido como Isla de Calor Urbana (ICU). La isla de calor urbana se caracteriza por el aumento de la temperatura del aire en la zona donde la ICU tiene efecto.

La Isla de Calor Urbana es un efecto ambiental que modifica el microclima de una ciudad, aumentando así su temperatura. Este aumento de temperatura se da por cambios en el equilibrio

termodinámico del intercambio de calor de la ciudad con el ambiente [1][2]. La radiación solar se absorbe sobre los objetos oscuros como calor [3], la forma del cañón urbano genera rozamiento con el viento cambiando su velocidad y dirección, la baja velocidad del viento no se lleva el calor presente en la ciudad, y el consumo de energía para refrigerar los espacios aumenta [4], entre otros inconvenientes. Lidar con el efecto ICU es necesario para los tiempos que se viven, y mejor si es posible detectarlo cuanto antes.

La ciudad de Posadas tiene sus orígenes en la Reducción de Nuestra Señora de la Anunciación de Itapúa en el año 1615. Sin embargo, su nombre (Posadas) y reconocimiento como territorio nacional inicia en el año 1879. Hoy día Posadas es la capital de la provincia de Misiones, siendo la 10° ciudad capital más grande de la República Argentina. Según el censo del año 2010[5], su población es de 318.861 habitantes, que si la consideramos junto a su región metropolitana (“Gran Posadas”), llega a los 386.357 habitantes. Dentro de los barrios de Posadas, se nombrarán 2 barrios en específico: El barrio Centro y el barrio Itaembé Mini.

El barrio Centro (o simplemente, el Centro) es el barrio que está delimitado por las Avenidas Mitre, Corrientes, Roque Pérez y Sáenz Peña. Esta zona de Posadas es altamente frecuentada ya que posee numerosas oficinas gubernamentales, una zona comercial por excelencia, gran cantidad de edificios construyéndose y construidos, y es una zona altamente turística. En la intersección de la Avenida Mitre con la Avenida Uruguay, limitando el barrio Centro, se encuentra una estación meteorológica de la OPAD (Estación Meteorológica Centro).



**Fig. 1. Ubicación en el mapa del Barrio Centro (izq) y Estación Meteorológica Centro (der). Fuente: Google Maps y Street View.**

Por otro lado, el barrio Itaembé Mini (o Itaembé Mini) es un barrio a las afueras de la ciudad, que no se encuentra delimitado con precisión, cuyo corazón se encuentra en la Avenida 147. El acceso principal al barrio se hace por medio de la avenida Quaranta (Ruta 12). “Se considera que el Barrio Itaembé Mini, en su visión amplia, se extiende entre las Avenidas Alicia Moreau de Justo y Quaranta hasta la altura del ingreso al autódromo, y por la margen del Arroyo Mártires hasta el Paraje San Isidro en el Sur de esta ciudad” [6]. Este barrio no posee grandes construcciones, es un barrio altamente residencial donde abundan casas. Posee una zona comercial propia, más modesta que el centro con mucha menor circulación.



**Fig. 2. Ubicación en el mapa del Barrio Itaembé Mini (izq) y Estación Meteorológica Itaembé Mini (der). Fuente: Google Maps y Street View.**

Si comparamos de manera categórica el Centro de Itaembé Mini, podríamos decir que:

**Tabla 1. Comparación categórica de los barrios Centro e Itaembé Mini.**

Atributo	Centro	Itaembé Mini
Espacio Verde	Escaso – Muy Poco	Abundante
Construcción más frecuente	Edificios de 10 a 12 pisos	Casas residenciales
Densidad de Población	Alta	Baja
Actividad antropogénica	Alta	Baja
Velocidad del Viento	Baja	Alta

**2.2. Materiales y métodos**

Para poder realizar este trabajo se ha requerido acceder a la Base de Datos de la OPAD, que posee dos estaciones meteorológicas en la ciudad, una ubicada en el Centro de la ciudad de Posadas, y una ubicada en el Barrio de Itaembé Mini. Los sitios donde se encuentran disponibles los datos son los siguientes:

- 1) Base de Datos del Centro Posadas: <https://www.wunderground.com/dashboard/pws/IPOSAD6> [7].
- 2) Base de Datos de Itaembé Mini: <https://www.wunderground.com/dashboard/pws/IPOSAD12> [8].



**Fig. 3. Ubicación de las Estaciones Meteorológicas Centro e Itaembé Mini -OPAD-.**

El método que se utilizó fue tomar los primeros registros de la medianoche (madrugada, 00hs) y mediodía (12hs), y compararlas como muestras apareadas durante todo el mes de mayo de 2022.

Debido a que los datos se encuentran en grados Fahrenheit, será necesario transformar los datos a grados Celsius [9], mediante la siguiente fórmula:

$$Temp^{\circ}C = (Temp^{\circ}F - 32^{\circ}F) \left( \frac{5^{\circ}C}{9^{\circ}F} \right) \quad (1)$$

Las hipótesis estadísticas de trabajo presentadas en esta investigación son:

- Hipótesis nula ( $H_0$ ): “En la ciudad de Posadas la temperatura es homogénea”.
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): “En la ciudad de Posadas la temperatura no es homogénea”.

Utilizando la lógica de diferencia de medias para muestras pareadas [10], teniendo que

$$\begin{aligned} H_0 : \mu_D &= 0 \\ H_1 : \mu_D &\neq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

El estadístico de prueba es

$$t = \frac{\bar{d}}{s_d / \sqrt{n}} \quad (3)$$

El criterio de rechazo para la  $H_0$  será

$$|t| \geq t_{1-\alpha/2, n-1} \quad (4)$$

siendo  $\alpha$  el nivel de significancia y  $n$  el número de muestras.

Adelantando los valores de referencia [10] para  $n=29$  y  $n=30$ , con  $1-\alpha/2=0,975$ , y sabiendo que  $t_{0,975; n-1} = -t_{0,025; n-1}$ ,

$$\begin{aligned} t_{0,975;28} &= 2,048 \\ t_{0,975;29} &= 2,045 \end{aligned} \quad (5)$$

Los cálculos se realizan con apoyo del Software Libre PSPP [11].

### 2.3. Resultados

Se procedió a clasificar las muestras necesarias para el estudio.

A partir de la Base de Datos, se tomó la primera medición en los horarios de Medianoche (12a.m. o 00hs) y de Mediodía (12p.m. o 12hs), entre las 12:00 y las 12:10.

#### **Datos Medianoche (madrugada)**

Eliminando los datos del 04/05/22 y 14/05/22, debido a que no se realizaron ambas mediciones, y convirtiendo los datos en  $^{\circ}C$ .

**Tabla 2. Datos de temperatura observados por la medianoche [7][8].**

Caso	Fecha	Temperatura Centro [°C]	Temperatura Itaembé [°C]	Diferencia [°C]
1	1/5/2022	19,3	18,4	0,8
2	2/5/2022	19,7	19,3	0,4
3	3/5/2022	14,5	14,2	0,3
4	5/5/2022	17,3	17,2	0,1
5	6/5/2022	17,3	16,2	1,1
6	7/5/2022	15,7	14,2	1,6
7	8/5/2022	15,4	15,3	0,1
8	9/5/2022	19,0	15,7	3,3
9	10/5/2022	19,2	17,8	1,3
10	11/5/2022	15,1	13,1	2,1
11	12/5/2022	15,0	12,6	2,4
12	13/5/2022	13,7	12,9	0,8
13	15/5/2022	17,7	17,0	0,7
14	16/5/2022	12,8	11,9	0,8
15	17/5/2022	11,5	10,8	0,7
16	18/5/2022	11,8	11,6	0,2
17	19/5/2022	12,2	11,6	0,6
18	20/5/2022	12,2	8,1	4,1
19	21/5/2022	12,2	8,8	3,4
20	22/5/2022	13,4	11,2	2,2
21	23/5/2022	13,4	11,4	1,9
22	24/5/2022	17,8	16,3	1,5
23	25/5/2022	19,8	17,4	2,3
24	26/5/2022	20,4	20,4	0,0
25	27/5/2022	19,3	18,4	0,9
26	28/5/2022	18,3	18,1	0,2
27	29/5/2022	19,8	19,7	0,1
28	30/5/2022	15,1	15,1	0,0
29	31/5/2022	7,7	7,3	0,4

**Datos Mediodía**

Eliminando los datos del 13/05/22, debido a que no se realizaron ambas mediciones, y convirtiendo los datos en °C.

**Tabla 3. Datos observados durante el mediodía del mes de mayo 2022 [7][8].**

Caso	Fecha	Temperatura Centro [°C]	Temperatura Itaembé [°C]	Diferencia [°C]
1	1/5/2022	25,4	24,6	0,8
2	2/5/2022	21,3	20,5	0,8
3	3/5/2022	15,7	15,6	0,1
4	4/5/2022	17,7	17,8	-0,1
5	5/5/2022	21,3	20,2	1,2
6	6/5/2022	22,8	22,4	0,4
7	7/5/2022	21,7	20,7	0,9
8	8/5/2022	24,3	23,7	0,6

Caso	Fecha	Temperatura Centro [°C]	Temperatura Itaembé [°C]	Diferencia [°C]
9	9/5/2022	24,8	23,5	1,3
10	10/5/2022	23,2	22,2	1,0
11	11/5/2022	20,8	20,3	0,5
12	12/5/2022	19,9	19,4	0,6
13	14/5/2022	18,1	18,1	0,0
14	15/5/2022	19,9	19,6	0,3
15	16/5/2022	16,2	15,9	0,3
16	17/5/2022	14,9	14,1	0,8
17	18/5/2022	13,0	12,8	0,2
18	19/5/2022	18,6	15,8	2,8
19	20/5/2022	18,6	16,7	1,9
20	21/5/2022	20,2	19,0	1,2
21	22/5/2022	21,5	20,0	1,5
22	23/5/2022	22,9	22,4	0,5
23	24/5/2022	25,1	24,7	0,4
24	25/5/2022	26,8	26,2	0,6
25	26/5/2022	19,3	19,3	0,1
26	27/5/2022	18,1	17,8	0,2
27	28/5/2022	19,8	19,8	0,0
28	29/5/2022	18,4	18,2	0,2
29	30/5/2022	14,7	14,2	0,5
30	31/5/2022	12,7	12,4	0,3

Haciendo el Análisis de Muestras Emparejadas con PSPP, el resultado que arroja es el siguiente:

**Tabla 4. Estadística de muestras emparejadas para las temperaturas de la medianoche.**

Estadística de muestras emparejadas								
	Media	N	Desviación Estándar	Error Estándar de la Media				
<b>T_Centro</b>	15,74	29	3,28	0,61				
<b>T_Itaembé</b>	14,55	29	3,59	0,67				
Correlaciones de muestras emparejadas								
<b>T_Centro &amp; T_Itaembé</b>	N		Correlación		Significación			
	29		0,95		0,000			
Prueba de muestras emparejadas								
<b>T_Centro T_Itaembé</b>	Diferencias Emparejadas					Estadístico de prueba <i>t</i>	Grados de libertad	Significación (test a 2 colas)
	Media	Desviación Estándar	Error Estándar Media	Intervalo de confianza 95% de la Diferencia				
				Inferior	Superior			
1,19	1,12	0,21	0,77	1,62	<b>5,75</b>	28	0,000	

**Tabla 5. Resultados de la prueba estadística provisto por PSPP para las temperaturas del mediodía.**

Estadística de muestras emparejadas								
	Media	N	Desviación Estándar	Error Estándar de la Media				
T_Centro	19,92	30	3,65	0,67				
T_Itaembé	19,26	30	3,57	0,65				
Correlaciones de muestras emparejadas								
T_Centro & T_Itaembé	N		Correlación	Significación				
	30		0,99	0,000				
Prueba de muestras emparejadas								
T_Centro T_Itaembé	Diferencias Emparejadas				Estadístico de prueba <i>t</i>	Grados de libertad	Significación (test a 2 colas)	
	Media	Desviación Estándar	Error Estándar Media	Intervalo de confianza 95% de la Diferencia				
				Inferior				Superior
	0,66	0,63	0,11	0,43	0,89	5,77	29	0,000

### 3. Discusiones y Conclusiones

#### 3.1. Discusiones

Contrastando los resultados obtenidos con los valores de referencia:

#### Datos Medianoche (madrugada)

Al hacer el test de muestras pareadas, el estadístico de prueba obtenido ha sido de  $t=5,75$ . Para este caso, el valor de referencia es  $t_{0,975;28}=2,048$ . Como el estadístico de prueba es mayor al valor de referencia, se rechaza la hipótesis nula. **Entonces es posible afirmar que estadísticamente las muestras son significativamente diferentes.**

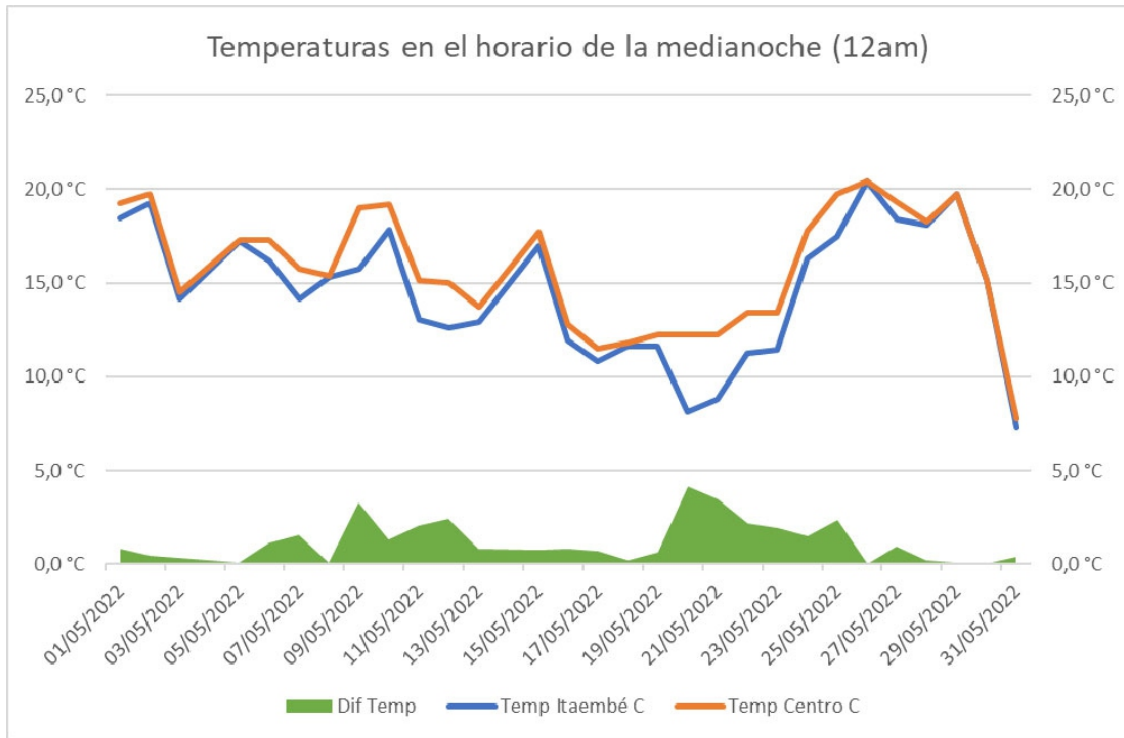
Representando las temperaturas en un gráfico de líneas, como se muestra en la Fig. 4, podemos ver que la temperatura observada en el centro de Posadas siempre ha sido más alta que la temperatura observada en el Barrio Itaembé Mini.

#### Datos Mediodía

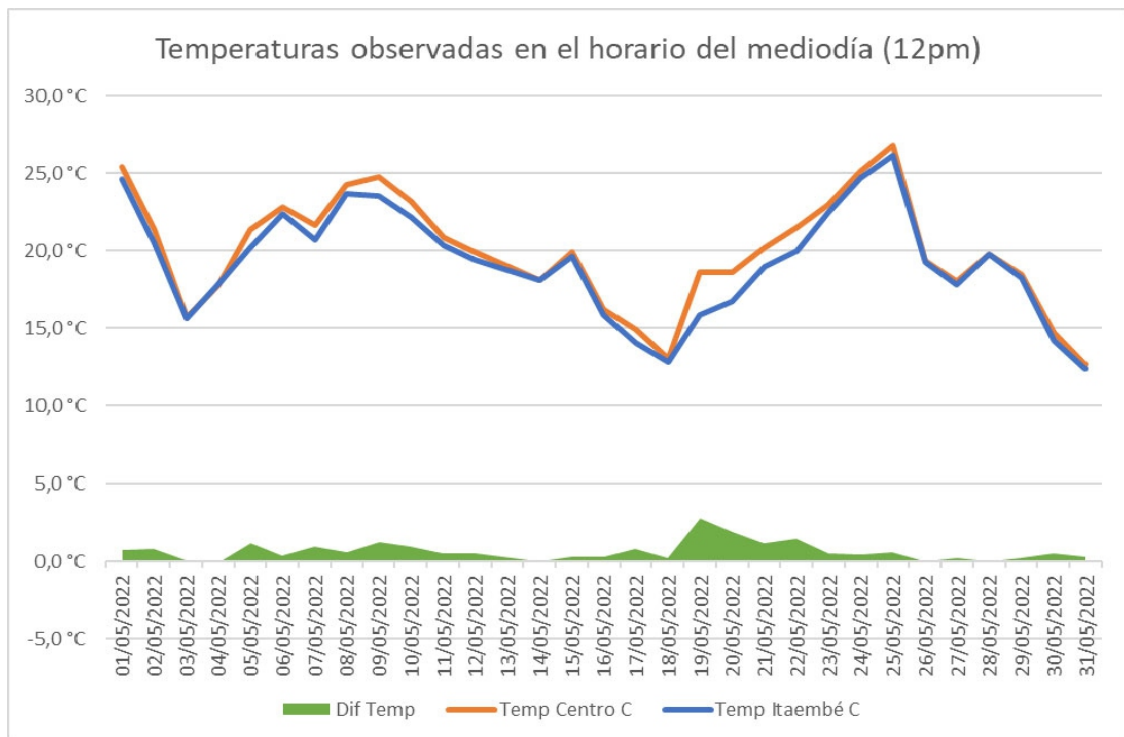
De la misma forma que para los Datos Medianoche, al hacer el test de muestras pareadas, el estadístico de prueba obtenido ha sido de  $t=5,77$ . Para este caso, el valor de referencia es  $t_{0,975;29}=2,045$ . Como el estadístico de prueba es mayor al valor de referencia, se rechaza la hipótesis nula. **Entonces es posible afirmar que estadísticamente las muestras son significativamente diferentes.**

Representando las temperaturas en un gráfico de líneas, como se muestra en la Fig. 5, podemos ver que la temperatura observada en el centro de Posadas la mayoría de las veces ha sido más alta que la temperatura observada en el Barrio Itaembé Mini. La temperatura observada en el centro de Posadas ha sido mayor que la observada en Itaembé Mini, salvo el 4 de mayo de 2022 donde la temperatura observada de Itaembé Mini ha sido 0,1°C más alta que la observada en el Centro de la Ciudad de Posadas.





**Fig. 4. Temperaturas en el horario de la medianoche durante el mes de mayo 2022.**



**Fig. 5. Temperaturas observadas en el horario del mediodía durante mayo 2022.**

### 3.2. Conclusiones

Existen diferencias entre los puntos donde se encuentran las estaciones meteorológicas de la ciudad. A pesar que se encuentran en la misma ciudad, sus condiciones respecto al espacio verde, a viento y su velocidad, y a la actividad antropogénica, son diferentes.

Respecto a la hipótesis de trabajo sobre la temperatura de la ciudad de Posadas, rechazar la hipótesis nula invita a pensar que la temperatura de la ciudad de Posadas es heterogénea a lo largo del territorio que la comprende. Por lo que, para posteriores investigaciones, se propone analizar cómo varía el perfil de temperaturas a lo largo de los microclimas que se observan en la ciudad de Posadas.

## Apéndice A

### Datos Madrugada

**Tabla 6. Datos de temperatura observados durante la medianoche [7]-[8].**

Fecha	Hora Centro	Temp. Centro [°F]	Hora Itaembé	Temp. Itaembé [°F]
1/5/2022	12:04 a. m.	66,7	12:04 a. m.	65,2
2/5/2022	12:04 a. m.	67,5	12:04 a. m.	66,7
3/5/2022	12:04 a. m.	58,1	12:04 a. m.	57,5
4/5/2022	12:04 a. m.	56,8	-	-
5/5/2022	12:04 a. m.	63,1	12:04 a. m.	63,0
6/5/2022	12:04 a. m.	63,1	12:04 a. m.	61,1
7/5/2022	12:04 a. m.	60,3	12:04 a. m.	57,5
8/5/2022	12:04 a. m.	59,7	12:04 a. m.	59,6
9/5/2022	12:04 a. m.	66,2	12:04 a. m.	60,3
10/5/2022	12:04 a. m.	66,5	12:04 a. m.	64,1
11/5/2022	12:04 a. m.	59,2	12:04 a. m.	55,5
12/5/2022	12:04 a. m.	59,0	12:04 a. m.	54,7
13/5/2022	12:04 a. m.	56,7	12:04 a. m.	55,2
14/5/2022	-	-	12:04 a. m.	63,6
15/5/2022	12:04 a. m.	63,9	12:04 a. m.	62,6
16/5/2022	12:04 a. m.	55,0	12:04 a. m.	53,5
17/5/2022	12:04 a. m.	52,7	12:04 a. m.	51,5
18/5/2022	12:04 a. m.	53,2	12:04 a. m.	52,9
19/5/2022	12:04 a. m.	54,0	12:04 a. m.	52,9
20/5/2022	12:04 a. m.	54,0	12:04 a. m.	46,6
21/5/2022	12:04 a. m.	54,0	12:04 a. m.	47,8
22/5/2022	12:04 a. m.	56,1	12:04 a. m.	52,2
23/5/2022	12:04 a. m.	56,1	12:04 a. m.	52,6
24/5/2022	12:04 a. m.	64,0	12:04 a. m.	61,3
25/5/2022	12:04 a. m.	67,6	12:04 a. m.	63,4
26/5/2022	12:04 a. m.	68,8	12:04 a. m.	68,8
27/5/2022	12:04 a. m.	66,8	12:04 a. m.	65,1
28/5/2022	12:04 a. m.	64,9	12:04 a. m.	64,6
29/5/2022	12:04 a. m.	67,6	12:04 a. m.	67,5
30/5/2022	12:04 a. m.	59,2	12:04 a. m.	59,2
31/5/2022	12:04 a. m.	45,9	12:04 a. m.	45,2

## Datos Mediodía

Tabla 7. Datos de temperatura observados durante el mediodía [7]-[8].

Fecha	Hora Centro	Temperatura Centro [°F]	Hora Itaembé	Temperatura Itaembé [°F]
1/5/2022	12:02 p. m.	77,7	12:04 p. m.	76,3
2/5/2022	12:04 p. m.	70,4	12:04 p. m.	68,9
3/5/2022	12:04 p. m.	60,3	12:04 p. m.	60,1
4/5/2022	12:04 p. m.	63,9	12:04 p. m.	64,0
5/5/2022	12:04 p. m.	70,4	12:04 p. m.	68,3
6/5/2022	12:04 p. m.	73,0	12:04 p. m.	72,3
7/5/2022	12:04 p. m.	71,0	12:04 p. m.	69,3
8/5/2022	12:04 p. m.	75,7	12:04 p. m.	74,6
9/5/2022	12:04 p. m.	76,6	12:04 p. m.	74,3
10/5/2022	12:04 p. m.	73,7	12:04 p. m.	71,9
11/5/2022	12:04 p. m.	69,5	12:04 p. m.	68,6
12/5/2022	12:04 p. m.	67,9	12:04 p. m.	66,9
13/5/2022	-	-	12:04 p. m.	70,0
14/5/2022	12:04 p. m.	64,6	12:04 p. m.	64,6
15/5/2022	12:04 p. m.	67,9	12:04 p. m.	67,3
16/5/2022	12:04 p. m.	61,2	12:04 p. m.	60,6
17/5/2022	12:04 p. m.	58,8	12:04 p. m.	57,3
18/5/2022	12:04 p. m.	55,4	12:04 p. m.	55,0
19/5/2022	12:04 p. m.	65,5	12:04 p. m.	60,5
20/5/2022	12:04 p. m.	65,5	12:04 p. m.	62,1
21/5/2022	12:04 p. m.	68,3	12:04 p. m.	66,2
22/5/2022	12:04 p. m.	70,7	12:04 p. m.	68,0
23/5/2022	12:04 p. m.	73,3	12:04 p. m.	72,4
24/5/2022	12:04 p. m.	77,2	12:04 p. m.	76,4
25/5/2022	12:04 p. m.	80,2	12:04 p. m.	79,1
26/5/2022	12:04 p. m.	66,8	12:04 p. m.	66,7
27/5/2022	12:04 p. m.	64,5	12:04 p. m.	64,1
28/5/2022	12:04 p. m.	67,6	12:04 p. m.	67,6
29/5/2022	12:04 p. m.	65,2	12:04 p. m.	64,8
30/5/2022	12:04 p. m.	58,5	12:04 p. m.	57,6
31/5/2022	12:04 p. m.	54,8	12:04 p. m.	54,3

## Referencias

- [1] D. Li, T. Sun, M. Liu, L. Wang, y Z. Gao, "Interaction between urban heat islands and heat waves in the Beijing metropolitan area," *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol. 55, pp. 2369-2385, Nov. 2016. doi: 10.1175/JAMC-D-16-0102.1.
- [2] D. E. Sangines Coral, *Metodología de evaluación de la isla de calor urbana y su utilización para identificar problemáticas energéticas y de planificación urbana*. España: Universidad de Zaragoza, 2013, pp. 24-45. ISSN 2254-7606
- [3] N. Gómez de Perozo, *Control ambiental del espacio urbano: Estrategias para el control microclimático del espacio entre edificaciones en clima cálido-húmedo*, Ph.D. dissertation, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2012.

- [4] Banco Interamericano de Desarrollo, *Sostenibilidad Urbana en América Latina y el Caribe*, Washington, DC: BID, 2011. Disponible: <https://publications.iadb.org/es/publicacion/12778>.
- [5] INDEC. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas. 2010. [Online]. Disponible en: <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-CensoProvincia-3-999-54-028-2010> (consultado el 13 de Abril de 2024)
- [6] Sitio web oficial de Posadas [Online]. Disponible en: <https://posadas.gov.ar/ciudad> (consultado el 06 de Junio de 2022).
- [7] Base de Datos OPAD del Centro de Posadas [Online]. Disponible en: <https://www.wunderground.com/dashboard/pws/IPOSAD6> (consultado entre el 01 al 05 de Junio de 2022)
- [8] Base de Datos OPAD de Itaembé Miní [Online]. Disponible en: <https://www.wunderground.com/dashboard/pws/IPOSAD12> (consultado entre el 01 al 05 de Junio de 2022)
- [9] R. Chang, W. College, *Química*, 7ma ed. Colombia: McGraw-Hill, 2002, pp 17. ISBN 970-10-3894-0.
- [10] G. Canavos, *Probabilidad y Estadística. Aplicaciones y Métodos*. México: McGraw-Hill, 1988, pp. 340-344, 621. ISBN 968-451-856-0
- [11] Free Software Foundation, Inc. (2013). GNU PSPP version 0.8.3-g5f5de6. *PSPP Users' Guide*.

## Una Mirada Sobre la Gestión de Residuos Sólidos en Municipios Periféricos de Pará, Brasil y de Misiones, Argentina

Sonia Romina Niezwida <sup>a,\*</sup> , Renata Pires Quemel <sup>b</sup> , Juan Carlos Michalus <sup>c</sup> 

<sup>a</sup> Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Facultad de Ingeniería. CONICET. Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>b</sup> Centro de Estudos e Aplicações em logística e meio ambiente (CEALMA), Belém, Pará, Brasil.

<sup>c</sup> Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Facultad de Ingeniería. Oberá, Misiones Argentina.

e-mails: [sonia.niezwida@fio.unam.edu.ar](mailto:sonia.niezwida@fio.unam.edu.ar), [dequemel@yahoo.com.br](mailto:dequemel@yahoo.com.br); [michalus@fio.unam.edu.ar](mailto:michalus@fio.unam.edu.ar)

---

### Resumen

El presente trabajo expone la contextualización en materia de residuos de una micro-región de la provincia de Misiones y otra del estado de Pará de Brasil. Se muestran las legislaciones relacionadas a la gestión de residuos para cada zona geográfica, una investigación focalizada en municipios alejados de los centros urbanos y con baja densidad poblacional, denominados municipios periféricos. La metodología aplicada para el trabajo es de tipo exploratoria con un enfoque comparativo entre municipios de una micro-región de Argentina, y otra de Brasil.

El objetivo del estudio, ha sido comparar la gestión de residuos en municipios periféricos de ambos países latinoamericanos, principalmente en relación a densidad poblacional, como así también las legislaciones vigentes, la generación y composición aproximada de los desechos que generan.

Sin duda, la gestión de los residuos demuestra ser una problemática social vigente para ambos territorios analizados, donde los municipios periféricos presentan similares condiciones de avance en materia de gestión de residuos; en ambos estados de los diferentes países, a pesar de que las legislaciones para residuos de Brasil son más recientes que las de Argentina.

**Palabras Clave** – Generación de residuos sólidos, Gestión de residuos sólidos, Ley, Micro-región, Municipios periféricos, Problemática, Residuos.

---

### Abstract

This work exposes the contextualization of waste in a micro-region of the province of Misiones and another of the state of Pará in Brazil. The legislations related to waste management are shown for each geographical area, focusing on municipalities far from urban centers and with low population needs, called peripheral municipalities. The methodology applied for the research is exploratory, with a comparative approach between municipalities in a micro-region of Argentina and another in Brazil.

The objective of the work has been to compare waste management in peripheral municipalities of both Latin American countries, mainly in relation to population density, as well as current legislation and per capita waste generation. Without a doubt, waste management proves to be a current social problem for both territories analyzed, where the peripheral municipalities present similar conditions of progress in terms of waste management in both states of the different countries, despite the fact that waste legislation from Brazil are more recent than those from Argentina.

**Keywords** – Solid Waste Generation, Solid Waste Management, Law, Micro-region, peripheral municipalities, Problematic, Waste.

## 1. Introducción

Los municipios periféricos, son aquellos poblados en los que el desarrollo en algunos aspectos políticos, sociales y/o económicos se ven desfavorecidos [1]. Estos distritos, son aquellos donde están presentes el modo de vida premoderno de producción doméstica, de la vivienda y a veces, están ubicados con proximidad a basurales, a selva, ríos y a los desagües de ciudades más pobladas [2]. Además, estos municipios aislados, muchas veces, se caracterizan por no contar con redes de agua potable y cloacas, caminos pavimentados e inexistencia de instituciones educativas de nivel superior, centros de salud y otros servicios como tratamiento de residuos, que sólo lo tienen los poblados más grandes (no periféricos).

Actualmente, Brasil enfrenta una creciente en la generación de residuos, con más de 200.000.000 habitantes. La cantidad de residuos generada y descartada es alta y el destino inadecuado de los mismos. Ello, causa diversos impactos negativos en el medio ambiente y en la salud pública. Una opción viable para los desechos, debería incluir el tratamiento y soluciones económicamente viables, conforme a la legislación y las tecnologías existentes y disponibles, pero, lamentablemente todavía existen basurales a cielo abierto, residuos en las rutas y caminos vecinales, en la vía pública e incineración no controlada en las casas, éstos últimos de uso común en los municipios periféricos. El destino final de los residuos en Brasil, enfrenta desafíos persistentes en la última década, a pesar de la existencia de un plan nacional de residuos sólidos urbanos [3]. Infelizmente, en Brasil, el progreso en este sentido sigue siendo limitado, ya que, en diferentes zonas del país, existen una cantidad considerable de basurales en ejecución, especialmente en municipios con hasta 50.000 habitantes, representando cerca del 70 % del total de distritos municipales brasileños según el último censo del 2022, donde la implementación de la Ley N° 12.305/10 “ Plan Nacional de Residuos Sólidos” (PNRS) [4] no se ha realizado o completado y por ello, en las diferentes localidades no se han cerrado los basurales, lo que acarrea una serie de daños ambientales y sociales, por contaminar el suelo, el agua y aire, principalmente por la presencia de lixiviados, que es el efluente resultante de la descomposición de la materia orgánica. La realidad es que, gran parte de los residuos termina contaminando directamente la tierra e impactando en la salud de la población [5-7].

Al igual que Brasil y otros países de Latinoamérica, Argentina enfrenta la gestión de residuos. A nivel nacional el responsable institucional máximo argentino en relación con problemas ambientales y en consecuencia con los residuos sólidos urbanos (RSU) es el Ministerio del interior desde diciembre de 2023, bajo la reestructuración reciente, antes ministerio de ambiente y desarrollo sostenible [7].

La gran extensión territorial de la República Argentina con 2.780.400 km<sup>2</sup>, se acompaña de una baja densidad poblacional (población/superficie) 16 habitante/km<sup>2</sup> aproximadamente, resultado del último censo nacional que indica una población total de 46.044.703 habitantes [8]. La gestión de los residuos ocupa un lugar importante entre las preocupaciones sobre políticas públicas en diversos municipios de la Argentina que ha sido abordado en ocasiones, pero, que en poblaciones pequeñas aún es un tema promisorio [9,10].

El objetivo del artículo, es dar a conocer cómo se contextualizan las regiones en municipios periféricos de la provincia de Misiones, Argentina y en el estado de Pará de Brasil, como así también comparar las legislaciones vigentes en cada espacio geográfico, la generación de los

residuos y la composición de los mismos, dado que ambas autoras están investigando la temática en su respectiva micro-región.

## 2. Desarrollo

La metodología abordada para el desarrollo de esta investigación es de tipo exploratoria con un enfoque comparativo, para identificar similitudes y diferencias en la gestión de residuos de ambas micro-regiones de diferentes territorios, en relación a factores clave como la densidad poblacional de municipios, las legislaciones vigentes, la generación y la composición de los residuos.

### 2.1 Legislaciones

Las leyes que regulan la gestión de residuos en Argentina y Brasil, se detallan en la Tabla 1 y Tabla 2 respectivamente.

**Tabla 1. Leyes que regulan la gestión de residuos en Argentina.**

Ley N°	Denominación	Alcance
Ordenanzas municipales	Depende de cada jurisdicción, por ejemplo existe una ordenanza en la Carta Orgánica de la ciudad de Oberá, del año 2013, Art.66: “La Municipalidad se obliga a dictar las normas necesarias para una adecuada gestión y manejo de los residuos [...] tendiente a la minimización de los mismos, prevención de riesgos ambientales y protección de la salud y el bienestar de la persona. Desarrolla programas de capacitación promoviendo la incorporación de hábitos culturales que permitan buenas prácticas ambientales de generación y clasificación de residuos desde el ámbito familiar”.	MUNICIPAL/ OBERÁ
Ley XVI – N.º 133 (2020)	Art. 1: “La presente implementa el Sistema Provincial de Prácticas y Procesos de Reducción, Reciclado y Reutilización de Residuos de Aparatos Eléctricos, Electrónicos y Neumáticos Fuera de Uso, en el marco del Plan Ambiental de Eliminación de Residuos Urbanos y Patológicos de Misiones, establecido por Decreto N.º 171/03 y Ley XVI - N.º 89 (Antes Ley 4274): establece exigencias básicas para la provincia en marco a la ley nacional, teniendo en cuenta que los RSU quedan a cargo de los municipios, más allá de la colaboración provincial ó nacional”	PROVINCIAL (Misiones)
Ley N° 25.916 (2004)	Determina los presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión residuos.*	NACIONAL (Argentina)
Constitución Nacional Anexo 1 (2020)	“Programa ambiente participativo: tiene como objetivo fortalecer el vínculo y la comunicación con los distintos actores de la sociedad beneficiarios de políticas a cargo del Ministerio, en el marco de “La Agenda para el Desarrollo Sostenible” [...] la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible es el documento (A/RES/69-315) que se aprobó en la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible realizada en	NACIONAL (Argentina)
	Nueva York en septiembre de 2015”, Argentina, al suscribir la Agenda 2030, se comprometió con su implementación y con el establecimiento de un proceso sistemático de seguimiento y análisis de los progresos hacia el alcance de los ODS ”	

**Fuente: Elaboración propia a partir [11-18].**

\* Esta ley ha sido reglamentada en el año 2022 bajo el decreto (779/2022). A partir de este momento, la ley incorporó el código de colores para tipos de residuos domiciliarios y líneas que regulan y acompañan prácticas de economía circular y responsabilidad extendida del productor.

**Tabla 2. Leyes que regulan la gestión de residuos en Brasil.**

<b>Ley N°</b>	<b>Denominación</b>	<b>Alcance</b>
<i>Lei Ordinária N° 8899(2011)</i>	<i>Art. 1º- Institui o Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos – Art. PGRS, esta lei estabelece o Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos do município de Belém, dispondo sobre os princípios, diretrizes e objetivos, para gestão integrada e o gerenciamento de resíduos sólidos, sob a responsabilidade dos geradores e do poder público.</i>	<i>MUNICIPAL /BELÉM.</i>
<i>Lei complementar N° 3.190/ (2021)</i>	<i>Altera a Lei complementar N° 2.181, de 28 de janeiro de 2005, Código Tributário Municipal – CTMA, para dispor sobre a Taxa de Manejo de Resíduos Sólidos.*</i>	<i>MUNICIPAL /BELÉM.</i>
<i>Lei Ordinária N° 6.517/(2002)</i>	<i>Dispõe sobre a responsabilidade por acondicionamento, coleta e tratamento dos Resíduos de Serviços de Saúde no Estado do Pará, e dá outras providências.</i>	<i>ESTADUAL (Pará)</i>
<i>Lei Ordinária n° 9.048 de 29/04(2020)</i>	<i>Institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas do Pará. Onde os municípios do Estado do Pará, ao desenvolverem e implementarem suas políticas e planos sobre a mudança climáticas (SEMAS.PA.GOV). Decreto Estadual n° 1943, de 21/10/21. Institui a estratégia Estadual de Bioeconomia do Pará e reconhece o Grupo de Trabalho Interinstitucional para Estratégia Estadual de Bioeconomia (SEMAS.PA.GOV).</i>	<i>ESTADUAL (Pará)</i>
<i>Lei n° 12.305/(2020)</i>	<i>Lei que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. (PLANALTO.GOV).</i>	<i>FEDERAL</i>

**Fuente: Elaboración propia a partir de [19-23].**

En la organización del sistema jurídico Brasileiro, la ley federal establece las atribuciones de unión, mientras que las leyes de los estados o provincias definen competencias dentro del límite físico de cada estado. Entonces, las leyes municipales son aplicables exclusivamente dentro de los límites territoriales de cada municipio, como se muestra en la Tabla 2.

Según la Tabla 1, en los municipios de la provincia de Misiones, la legislación define que cada municipio debe gestionar los residuos que produce, proporcionando pertinencia para la gestión a cada jurisdicción por separado.

\* Decreto N° 83.021./2021 da Prefeitura do Município de Belém, estabelece normas e prazo para o cadastramento dos grandes geradores de Resíduos Sólidos, dispõe sobre as ações fiscalizadoras a serem adotadas no caso de infração da Lei 12.305 de 02/08/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, bem como as normas nacionais e municípios que tutelam a proteção ao meio ambiente e à saúde pública. (CAMARA MUNICIPAL DE BELÉM)



## 2.2 Contextualización

### 2.2.1 Misiones, Argentina

Ubicada en el Noreste Argentino, la provincia de Misiones despliega su encanto con una densidad poblacional cercana a los 43 habitantes por habitantes/km. Presenta un escenario divergente, que se revela en su horizonte económico y político en comparación con la provincia de Buenos Aires y la ciudad autónoma de Buenos Aires (CABA), este último conocido por ser el epicentro más poblado del país. Las elecciones gubernamentales de mayo de 2023, propagaron viralmente la noticia de que Misiones es gobernada por un partido independiente a nivel nacional. Este hecho, puede traer consigo la exclusión de ciertos programas sociales y económicos para el distrito provincial. A nivel país Misiones, se encuentra en las primeras 5 provincias con mayor cantidad de habitantes según el censo de población y vivienda del 2022 y es el distrito provincial con la mayor cantidad de población joven de Argentina [8, 24].

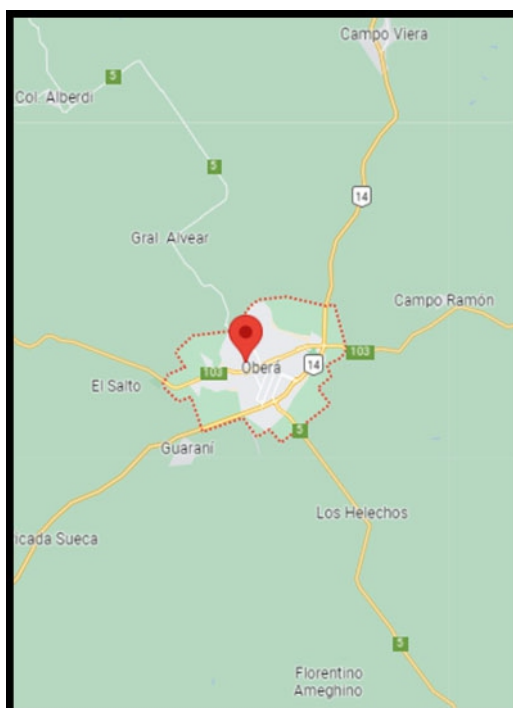
Oberá, es la segunda ciudad más grande de la provincia y está ubicada en la zona centro y no está considerada dentro del área metropolitana de Misiones. Tomando una porción de superficie alrededor de Oberá y delimitando así una micro-región\*[25] para el análisis, se citan a los municipios de Oberá, Campo Viera, Campo Ramón, Guaraní, General Alvear, Los Helechos y Florentino Ameghino. Como se observa en la Fig.1, el espacio territorial está constituido por Oberá que es la ciudad central y otros municipios periféricos, es decir, municipios que están alejados de Oberá a razón de 15 a 20 kilómetros. Los municipios periféricos que no poseen un área pública del estado específica para gestionar sus residuos. En general, los municipios alrededor de Oberá son distritos con baja densidad poblacional y presentan varias problemáticas asociadas a la gestión de saneamiento ambiental, entre las que se cita la gestión de los residuos que produce y desarrollo urbano, ya que no responden a un modelo de ciudad metropolitana.

El uso real del suelo en este corte territorial, se lleva a cabo mediante la agricultura familiar, cultivo de té verde, yerba mate, además de forestación de pino y eucaliptus. Cuenta con uso forestal natural de montes nativo e implantado y cursos de agua con lagunas y arroyos. Este espacio territorial, tal como se observa en la Fig. 1. se conecta hoy mediante caminos terrados y rutas pavimentadas entre las que se cita, la ruta nacional 14 y rutas provinciales 103 y 5.

Si se realiza un análisis cuantitativo en el país, se puede distinguir a grandes rasgos, las cuatro categorías de municipios: parajes con menos de 1.000 habitantes; pueblos entre 1.000 y 10.000 habitantes; ciudades intermedias entre 10.000 y 100.000 habitantes; y las grandes ciudades con más de 100.000 habitantes. Ahora bien, el total de municipios argentinos actualmente es de 1298, donde 78 corresponden a los de la provincia de Misiones con 3 ciudades que concentran casi la mitad de la población de la provincia. Si se toma como referencia los datos del censo nacional 2022 para la micro -región considerada, se observa que los municipios periféricos a los que se alude son pueblos y que, además, ésta micro-región se encuentra a una distancia de aproximadamente 100km de la capital provincial que es ciudad de Posadas, la jurisdicción más poblada de la provincia, tal como espone en datos en la Tabla 3 [24].

---

\* Rodríguez Barrientos afirma que “La micro-región puede ser definida como aquella unidad territorial en la que se tejen los procesos típicos del desarrollo en cualquiera de sus dimensiones, donde se pueden potenciar las capacidades productivas de la comunidad, Es decir, el concepto de micro-región va más allá de los límites geográficos de un municipio. A su vez, Altschuler (2003) mencionó a la micro-región como asociación de municipios para el desarrollo de sus localidades y territorios y la articulación de estrategias y visiones de futuro comunes para lograrlo.



**Fig. 1. Micro-región de Misiones integrada por municipios periféricos. Fuente: Adaptado mediante GoogleMaps.**

**Tabla 3: Población por municipio de una micro - región de la provincia de Misiones, Argentina.**

Municipio	Cantidad de población	% en función de la cantidad de habitantes de la provincia (1.280.960)
Oberá	117.979	0.092
Campo Viera	10.078	0.0078
Campo Ramón	1.477	0.0011
Guarani	4.857	0.00379
General Alvear	1.431	0.0011
Los Helechos	4.701	0.0036
Florentino Ameghino	6.217	0.004
Posadas (capital de la provincia)	379.000	29

**Fuente: Elaboración propia a partir de**

Existe una gran cantidad de municipios rurales y microrregiones como la descrita en éste trabajo, compuesta por parajes y pueblos con menos de 10.000 habitantes. A nivel nacional en Argentina, se estima que localidades de este tipo alcanzan el 82% de los municipios existentes, mientras que el 60% de la población vive en ciudades de más de 100.000 habitantes. Es decir, coexisten muchas jurisdicciones pequeñas y medianas con baja población, mientras que en algunas jurisdicciones se

observa mayor concentración de la población, especialmente alrededor del Gran Buenos Aires, Rosario, Córdoba, Santa Fe y Mendoza y con ello, los municipios periféricos poseen escasos aspectos de desarrollo sostenible, aunque la provincia de Misiones y la ciudad autónoma de Buenos Aires, según estadísticas, son los distritos con mayor actividad laboral [8, 24].

En general, la composición de los residuos sólidos urbanos dependerán del consumo de la población, como así también de las condiciones socio-económicas. En Misiones, los residuos generados responden a cantidades que se exponen en la Fig. 2.



**Fig. 2. Composición habitual de los RSU en los municipios de Misiones. Elaborado a partir de [26-30].**

Según estudios del equipo de investigación de la Facultad de Ingeniería de Oberá, de la Universidad Nacional de Misiones y la información publicada recientemente [26-30], la composición general de los residuos de municipios se resumen en: materia orgánica (aproximadamente 60%) la más representativa, seguida por los materiales con potencial de reciclado, como plástico (14%), vidrio (7%), papel y cartón (7%), metales/aluminio (2%) y tetrabrik (2%), otros (8%) donde se encuentran restos de madera, textiles y materiales compuestos. Cabe destacar que las cifras exactas en cada municipio dependerá de la situación económica de cada familia por zona residencial y de la estación del año que se analiza. A nivel nacional, se tiene un mapa de emprendimientos que trabajan con residuos, denominado “Argentina recicla” [27], si bien, a nivel local se evidencia la ausencia de una articulación por parte de los municipios con los recolectores urbanos para gestionar los residuos [30].

### 2.2.2 Pará, Brasil

El estado de Pará es uno de las 27 unidades Federativas de Brasil, localizada en la Región Norte del país. Su capital es el municipio de Belén, siendo Pará el segundo estado con mayor extensión territorial del país, con un área de 1.245.870.707 km<sup>2</sup>, de acuerdo con la estimación del “*Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*” IBGE de 2021, la población es de aproximadamente 8.777.124 habitantes, distribuidos en 144 municipios en el estado [5].

Según el IBGE, la región norte de Brasil posee riqueza mineral y vegetal, minas de hierro, actividad agropecuaria, industria, comercio y servicio. La economía de Pará es la mayor de la región norte, ya que los recursos naturales presentes hacen del estado un gran exportador de

“commodities agrícolas y minerales“ siendo fundamental en la composición del Producto Interno Bruto (PIB) brasilero, desarrollando alianzas comerciales internacionales para potenciar mercados. En Pará, las actividades mineras se destacan por tener hierro y oro. En cuanto al sector vegetal, se produce naranja, banana, caña de azúcar, cacao, mandioca, poroto, pimenta do reino y en particular el açaí. Éste último, es un producto típico de la zona que es exportado en gran cantidad, aproximadamente el 90% de la producción. Además, posee carne vacuna, cerdos, aves y búfalos, éstos últimos en la isla de Marajó [5, 31, 32].

La región metropolitana de Belém (RMB) se encuentra enfrentando desafíos relacionados a indicadores urbanísticos, habitacionales y de infraestructura y ha sido una de las primeras regiones metropolitanas formalmente definidas en Brasil por medio de una ley complementaria del año 1973.

Actualmente, la región está compuesta por 7 municipios son: *Belém, Ananindeua, Castanhal, Marituba, Santa Izabel do Pará, Benevides e Santa Bárbara do Pará* y se estima que tiene una población de 2.510.000 de habitantes en 2019, de acuerdo a IBGE (2019), tal como se observa en la Tabla 4 y Fig. 3.

**Tabla 4: Población de una micro - región de la Estado do Pará.**

Municipio	Cantidad de población	% en función de la cantidad de habitantes de la estado (8.777.124)
Ananindeua	540.410	0.0616%
Castanhal	205.667	0,0234%
Marituba	135.812	0.0157%
Santa Izabel do Pará	72.856	0.00830%
Benevides	64.780	0.00738%
Santa Bárbara do Pará	21.811	0.00248%
Belém (Capital do estado)	1.506.399	0.1716%

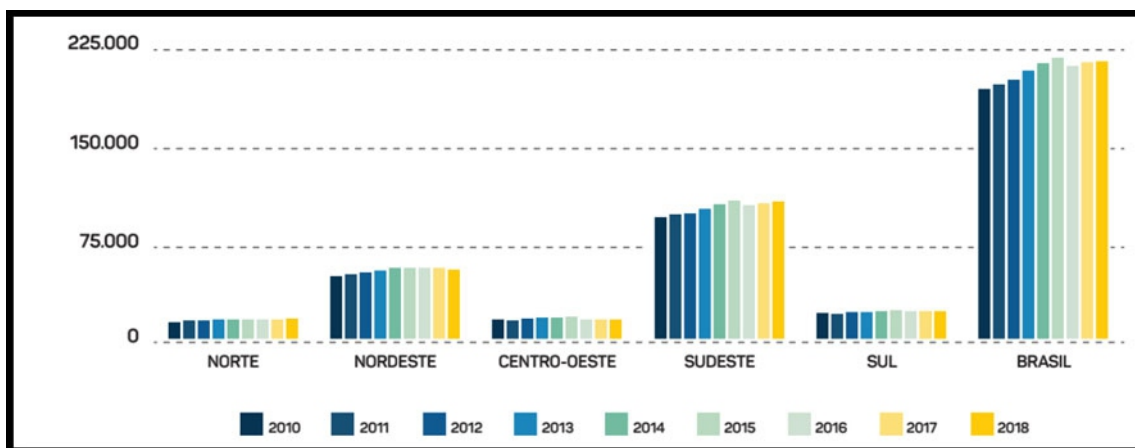
**Fuente: Elaborado a partir de [5].**

En la Región metropolitana de Belem existe una alta incidencia de municipios periféricos que representa un 52.5 % del total de los domicilios, de acuerdo a datos del IBGE [5]. En éste contexto, los denominados “aglomerados” se refieren a las áreas precarias, muchas veces caracterizadas como “favelas” con condiciones habitacionales inadecuadas y falta de infraestructura básica. La metrópolis de Belem, de forma general presenta características a partir de bajos ingresos salariales, con acceso desigual de la población a servicios urbanos e infraestructura. Esa realidad, evidencia desigualdad socioeconómica y espacial en la RMB, con falta de oportunidades y acceso a servicios básicos para gran parte de la población. La concentración de domicilios en áreas precarias, también

revela la falta de políticas efectivas de domicilios y de planeamiento urbano que garanticen condiciones adecuadas de habitación para todos. Según el “*Plano Nacional de Resíduos Sólidos do Ministério do Meio Ambiente*” (Fig. 4), entre el año 2017 y 2018 hubo un aumento en la generación de los RSU, en todas las regiones, tal que a nivel país, las estadísticas indican que aumenta a razón de 1% anual aproximadamente.



**Fig.3. Municípios Integrantes RMB [5].**



**Fig.4. Datos de generación de RSU en regiones de Brasil  
Fuente: Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil (2022)**

La composición gravimétrica se refiere a la proporción porcentual de la masa de cada componente con relación a la masa total. Esa información juega un papel importante para una adecuada planificación del sector en la generación y aprovechamiento de los residuos, a través de políticas públicas, estrategias y soluciones que garanticen la eliminación ambientalmente correcta y segura, conforme lo establece la PNRS, teniendo en cuenta las mejores opciones disponibles y aplicables, los tipos y la cantidad de residuos existentes. Según estimaciones, la composición gravimétrica promedio de los RSU recolectados en Brasil es la siguiente: 45,3% materia orgánica, 2,3% metales, 2,7% vidrio, 16,8% plástico, 10,4% papel y cartón, 1,4% envases multicapa, 5,6% textiles , cuero y caucho y 15,5% residuos [19, 20, 32]. Cabe destacar que no se han encontrado datos específicos del estado de Pará por ello se presenta los datos estadísticos por zona de Brasil.

En base a los datos de composición de los residuos se evidencia que tanto en el estado de Pará representada por en nordeste (Fig.4) de Brasil como en Misiones, Argentina poseen una gran porción de materiales orgánicos en los residuos sólidos urbanos. Además, ambos estados poseen alrededor del 30% de materiales potencialmente reciclables que hoy terminan en rellenos sanitarios o dispuestos a cielo abierto por ausencia de la economía de la conducta sostenible.

Las diferencias porcentuales en composición, reflejan la baja variabilidad en los patrones de consumo y prácticas de gestión de residuos entre ambas regiones. En ambos casos, es necesario implementar estrategias de gestión de residuos adaptadas a las características específicas de cada región para avanzar hacia una gestión sostenible y eficiente.

Las características de desarrollo local de la micro-región de la provincia de Misiones y la de Pará Brasil, poseen características de municipios periféricos y la singularidad que ambas regiones tienen grandes oportunidades de desarrollo local y sostenible [1, 2, 6, 29, 33-36].

### **3. Conclusiones**

La gestión de residuos en municipios periféricos es un tema no tratado en profundidad, por lo menos de forma integral. Por ello, se evidencia la ausencia de un modelo a seguir para gestionar los residuos que producen éstos territorios periféricos, ya que Argentina, posee un plan que ha sido elaborado para los municipios, si bien, no es una guía cerrada y difícilmente puede ser aplicada en regiones desfavorecidas, pero sí en grandes ciudades.

Por otra parte, los municipios periféricos, en general no cuentan con estadísticas de relevamiento en cuanto a producción de residuos por habitante y tampoco incentivos tanto del estado como de la población, para poder tratarlos y/o gestionarlos y mejorar la calidad de su ambiente y por lo tanto, es una problemática promisoriosa.

El artículo demuestra que Brasil tiene estudios y legislaciones más avanzadas y recientes en relación a gestión de los residuos que Argentina. Además, se evidencia que los municipios periféricos de Pará de Brasil, poseen mayor densidad poblacional que los de Misiones de Argentina, respecto a los tomados para el estudio. Lo antes dicho, sugiere que la diferencia es un fiel reflejo de la relación entre superficie y población de ambos países.

La revisión del estado del arte con una mirada en ambas regiones de diferentes países, es un puntapié inicial para el estudio y diseño de una red integrada para municipios periféricos que presentan ciertas condiciones iniciales.

### **Agradecimientos**

Este trabajo ha sido llevado a cabo gracias al apoyo de la Facultad de Ingeniería de Oberá, Universidad Nacional del Misiones en marco al Proyecto de Investigación 16/I1486-PI.

### **Referencias**





- [1] B. Villanueva, "Herramienta metodológica colaborativa para facilitar los procesos de creación y fortalecimiento de PyMEs en regiones periféricas. Aplicación en la provincia de Salta," Tesis doctoral, Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina, Nov. 2022.
- [2] E. Maricato, "El Estatuto de la ciudad periférica. El Estatuto de la Ciudad: un comentario," Sao Paulo, Brasil: Alianza de las Ciudades, 2010. [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Statute-of-the-Peripheral-City-Maricato>. Acceso: 25.08.24.
- [3] D. Bacchi Bartholomeu and J. V. Caixeta-Filho, Logística ambiental de residuos sólidos. São Paulo: Atlas, 2011.

- [4] Brasil, "Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências," Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2010. Acceso: 23.09.24.
- [5] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), "Censo 2022". [Online]. Available: <https://basedosdados.org/dataset>. Acceso: 23.09.24.
- [6] M. Zupello, "Crece la preocupación en Brasil por la situación sanitaria en la región amazónica," Infobae, Apr. 6, 2024. [Online]. Available: <https://www.infobae.com/america/america-latina/2024/04/06/crece-la-preocupacion-en-brasil-por-la-situacion-sanitaria-en-la-region-amazonica>. Acceso: 27.09.24.
- [7] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MAyDS), "Informe del estado del ambiente 2019". [Online]. Available: <https://informe.ambiente.gob.ar/#residuos>. Acceso: 28.09.24.
- [8] INDEC, "Informe del censo de población y vivienda del 2022". [Online]. Available: [https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/poblacion/cnphv2022\\_resultados\\_provisionales.pdf](https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/poblacion/cnphv2022_resultados_provisionales.pdf). Acceso: 30.09.24.
- [9] M. Saidón, Explicar la innovación en políticas públicas: La gestión integral de residuos sólidos urbanos en municipios argentinos. Buenos Aires: Editorial Teseo, 2020.
- [10] M. Berent, "Mejoramiento en la gestión de residuos sólidos urbanos en pequeñas ciudades del NEA: El caso de Leandro N. Alem, Misiones," Cuaderno Urbano, vol. 4, pp. 43-74, 2004.
- [11] M. Berent and D. Vedoya, "Modelo de gestión ambiental de residuos sólidos urbanos," Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad Nacional del Nordeste, Resistencia, Chaco, Argentina, 2006.
- [12] Infoleg, "Legislación Argentina". [Online]. Available: [www.infoleg.com.ar](http://www.infoleg.com.ar). Acceso: 23.09.24.
- [13] Carta Orgánica de la Ciudad de Oberá, 2013. [Online]. Available: <https://www.obera.gov.ar/laciudad/carta-organica>. Acceso: 23.09.24.
- [14] Ley XVI - Nº 89 (Antes Ley 4274). [Online]. Available: <https://digestomisiones.gob.ar/archivospdf>. Acceso: 23.09.24.
- [15] M. I. Fernández, L. H. Posluszny, A. Fernández, S. Santa Clara, H. A. Sosa, and J. L. Rodríguez, "El tratamiento de residuos urbanos de Oberá frente a una gestión integral sustentable," JIDETEV, Oberá, Misiones, Argentina, 2019.
- [16] Ley XVI – N.º 133, 2020. [Online]. Available: [https://www.marval.com/archive/a\\_newsletters/Misiones-LeyXVI-133.pdf](https://www.marval.com/archive/a_newsletters/Misiones-LeyXVI-133.pdf). Acceso: 20.09.24.
- [17] Ley 25.916, "Gestión de residuos domiciliarios," República Argentina, 2004. [Online]. Available: <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primer/a/276572/20221128>. Acceso: 23.09.24.
- [18] Constitución Nacional Argentina, Art. 41, 2020. [Online]. Available: <https://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/335000-339999/337364/norma.htm>. Acceso: 20.09.24.
- [19] Planalto.gov. (Federal). [Online]. Available: <https://www.planalto.gov.br>. Acceso: 23.09.24.
- [20] SEMAS.Pa.gov (Estadual). [Online]. Available: <https://www.semas.pa.gov.br>. Acceso: 20.09.24.
- [21] Lei Ordinária Nº 8899, "Institui o Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos do Município de Belém (PGRS) e dá outras providências," Belém, Pará, Brasil, 2011. [Online]. Available: <https://leismunicipais.com.br/a/pa/b/belem/lei-ordinaria/2011/890/8899>. Acceso: 30.09.24.
- [22] Lei complementar Nº 3.190, "Dispõe sobre o Plano Diretor Participativo," Belém, Pará, Brasil, Nov. 2021. [Online]. Available: [https://ananindeua.pa.gov.br/midias/legislacao/769\\_lei\\_complementar\\_n\\_3.190\\_de\\_5\\_de\\_novembro\\_de\\_2021\\_1.pdf](https://ananindeua.pa.gov.br/midias/legislacao/769_lei_complementar_n_3.190_de_5_de_novembro_de_2021_1.pdf). Acceso: 24.09.24.

- [23] Lei Ordinária N° 6.517, Pará, Brasil, Dec. 2002. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/document/686281810/Lei-Ordinaria-N%C2%BA6-517-De-16-de-Dezembro-de-2002>. Acceso: 23.09.24.
- [24] IPEC, "Provincia de Misiones, proyección de población según municipio, periodo 2010-2022". [Online]. Available: <https://ipecmisiones.org/wp-content/uploads/2021/05/IPEC-Misiones-Estimacion-de-poblacion-2010-2022.pdf>. Acceso: 29.09.24.
- [25] F. Rodríguez Barrientos, "La micro-región como unidad espacial para el estudio de los problemas ambientales: Situación de los recursos suelo, forestal e hídrico en la micro-región Platanar-La Vieja, cuenca del río San Carlos," *Tecnología en Marcha*, vol. 20, no. 1, pp. 62-79, 2007.
- [26] C.G.Sambiasi,A.E.PascualBarrera,andM.A. Sambiasi, "Urban solid waste characterization of the Misiones metropolitan area," *Revista de Ciencia y Tecnología*, vol. 38, no. 1, pp. 36-41, 2022. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12219/4355>. Acceso: 27.09.24.
- [27] Argentina recicla, 2023. [Online]. Available: <https://economiasustentable.com/noticias/lanzan-un-mapa-federal-para-visibilizar-la-cadena-de-valor-del-reciclado>. Acceso: 30.09.24.
- [28] Canal 12 Misiones, "Oberá busca optimizar el servicio de recolección de residuos sólidos urbanos," *Diario Provincial*, Apr. 27, 2024. [Online]. Available: <https://www.canal12misiones.com/noticias-demisiones/sociedad/residuos-solidos-urbanos>. Acceso: 23.09.24.
- [29] S. R. Niezwida, J. C. M. Jusczyczyn, and G. B. Gavazzo, "Revisión bibliográfica sobre los residuos sólidos urbanos," *InGenio Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 30-39, 2023. [Online]. Available: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/385/3854269003/>. Acceso: 24.09.24.
- [30] El Territorio, "Presentaron el primer informe de economía circular de Misiones," *El Territorio*, Sept. 3, 2024. [Online]. Available: <https://www.eltterritorio.com.ar/noticias/2024/09/03/835197>. Acceso: 23.09.24.
- [31] "Expansão urbana da Região Metropolitana de Belém sob a ótica de um sistema de índices de sustentabilidade," *Ambiente & Água*, vol. 11, no. 3, pp. 1-13, Jul. 2016. [Online]. Available: <https://www.scielo.br/j/ambienta/a/PGkfrVNkHt54FB4nGQJss8d/?lang=pt>. Acceso: 23.09.24.
- [32] Brasil, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Qualidade Ambiental, Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Planares, Brasília, DF: MMA, 2022. Acceso: 23.09.24.
- [33] B. Altschuler, "Dificultades y oportunidades del desarrollo económico local en Argentina," Tesis de Maestría, Universidad Internacional de Andalucía, España, 2003.
- [34] M. C. M. Alves, M. A. G. de Andrade Lima, S. Llamas, and I. T. Mercante, "Residuos sólidos urbanos en Argentina y Brasil: Generación, disposición final y legislación," *Residuos: Revista técnica*, vol. 22, no. 131, pp. 24-35, 2012.
- [35] I. R. Brandão and R. Gutierrez, "La emergencia de nuevos regímenes de políticas de residuos sólidos en América Latina: Los casos de Argentina y Brasil," in *Recicloscopio*, Buenos Aires: Universidad Nacional de General S



## Sistema de Excitación y Compensación Para Generadores de Inducción Basado en la Teoría de Potencia Instantánea

Aldo Javier Benítez <sup>a,\*</sup> , Rubén Orlando Núñez <sup>a,b</sup> , Pablo de la Barrera <sup>c</sup> ,  
Guillermo Oscar García <sup>c</sup> 

<sup>a</sup> Grupo de Investigación y Desarrollo en Electrónica (GIDE). Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Misiones (UNaM). Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>b</sup> Instituto de Materiales de Misiones (IMAM)–CONICET, Argentina.

<sup>c</sup> Grupo de Electrónica Aplicada (GEA)–CONICET. Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC). Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

e-mails: [javierbenitez@fio.unam.edu.ar](mailto:javierbenitez@fio.unam.edu.ar), [ruben.nunez@fio.unam.edu.ar](mailto:ruben.nunez@fio.unam.edu.ar), [pmdelabarrera@gmail.com](mailto:pmdelabarrera@gmail.com),  
[ggarciasapino@gmail.com](mailto:ggarciasapino@gmail.com)

---

### Resumen

Se reporta la aplicación de la Teoría de Potencia Instantánea a un sistema de generación autónomo trifásico, capaz de alimentar cargas desequilibradas monofásicas y/o trifásicas lineales. Este sistema propuesto se basa en el uso de un motor de inducción (MI) del tipo jaula de ardilla, un sistema de excitación compuesto por un banco de capacitores y un convertidor CC-AC de cuatro piernas que actúa como una fuente de corriente, todos conectados en paralelo, formando lo que llamamos Generador de Inducción (GI). Con esta propuesta es posible extraer corrientes sinusoidales y equilibradas del MI, reduciendo así las pérdidas y las fluctuaciones de torque en la máquina; características indeseables que aparecen cuando se alimentan cargas trifásicas desequilibradas. Además, con el uso de un MI tipo jaula de ardilla, el sistema de generación tiene un bajo costo, una robustez adecuada y una mínima necesidad de mantenimiento. Se presentan resultados experimentales y de simulación que validan la viabilidad práctica de la propuesta.

**Palabras Clave** – Generador de inducción, regulación de voltaje, cargas desequilibradas, convertidores de cuatro piernas, teoría de potencia instantánea.

---

### Abstract

The application of the Instant Power Theory to an autonomous three-phase generation system, capable of feeding unbalanced single-phase and/or three-phase linear loads, is reported. This proposed system is based on the use of an induction motor (IM) of the squirrel cage type, an excitation system composed of a capacitor bank and a four-leg CC-AC converter that acts as a current source, all connected in parallel and forming what we call Induction Generator (IG). With this proposal it is possible to extract sinusoidal and balanced currents from the IM, thereby reducing losses and torque fluctuations in the machine; undesirable characteristics that appear when three-phase unbalanced loads are fed, in addition, with the use of a squirrel cage type IM, the generation system has low cost, adequate robustness and minimal need for maintenance. Experimental and simulation results are presented that validate the practical feasibility of the proposal.

**Keywords** – Induction generator, voltage regulation, unbalanced loads, four-leg converters, instantaneous power theory.

## 1. Introducción

La necesidad de acceder a la energía eléctrica en lugares remotos, donde no se tiene acceso a las redes eléctricas convencionales ni a servicios técnicos especializados para realizar mantenimiento y/o reparaciones, ha impulsado diferentes propuestas de sistemas de generaciones de energía eléctrica a partir de diferentes fuentes de energía renovables como las solares, eólicas, entre otras. En la mayoría de estos sistemas se requieren el uso de máquinas eléctricas rotativas [1]–[3], los cuales deben ser lo más robusto posible y de bajo mantenimiento [4].

Las máquinas de inducción (MI) tipo jaula de ardilla son las más utilizadas como motor en todo el mundo, son las más estandarizadas, son las más robustas, no poseen contactos móviles, requieren de un mínimo de mantenimiento y son las de menor costo debido a su simplicidad constructiva y gran escala de producción [5]–[8]. Estas características de la MI hacen que la misma sea atractiva para utilizarla como generador en lugares aislados de la red eléctrica convencional, con la desventaja de que en este modo de funcionamiento ésta requiere de un sistema de excitación no convencional para regular la tensión generada. En referencia a esto, se han propuesto diferentes alternativas para resolver esta cuestión, desde conectar un banco de capacitores en paralelo con la maquina [9], la opción más simple, hasta el uso de convertidores electrónicos de potencia con complejos algoritmos de control con el objetivo de brindar una mejor calidad de energía [4], [10], [11]. Al conjunto MI y sistema de excitación se lo denomina Generador de Inducción (GI).

Cuando los generadores alimentan cargas lineales, trifásicas equilibradas, las corrientes que circulan por el mismo son sinusoidales equilibradas, dando como resultado un funcionamiento “suave”. Por otro lado, cuando se alimentan cargas trifásicas desequilibradas, como por ejemplo un conjunto de cargas monofásicas diferentes entre ellas, pueden generarse corrientes de secuencia cero y negativa, lo que ocasiona calentamiento y par pulsante, logrando con ellos disminuciones en el rendimiento y en la vida útil del sistema [12]–[19].

Existen diferentes métodos propuestos para compensar el desequilibrio de cargas, los que utilizan componentes eléctricos pasivos, tales como bancos de capacitores e inductores, denominados compensadores pasivos y los que utilizan convertidores electrónicos, denominados compensadores activos. En relación con compensadores pasivos se han propuesto trabajos como los presentados en [20] y [21], en los cuales se presentan métodos de compensación de desequilibrios de cargas. La desventaja de ambas propuestas es que son diseñados para cargas constantes [22].

En relación con los compensadores activos se han publicado trabajos como los presentados en [23]–[26], que proponen sistemas de excitación para generadores de inducción (GI), con estos además de regular la tensión permiten compensar armónicos y desequilibrio de cargas, minimizando los inconvenientes asociados a estos últimos. En [23] se propone una topología compuesta por un GI y un convertidor en paralelo que permite alimentar cargas monofásicas no lineales, se compensan los armónicos. A pesar de que, tanto el generador como el convertidor son trifásicos la topología solo permite la alimentación de cargas monofásicas.

En [24] y [25] se propone un generador de inducción con regulación de tensión y frecuencia. Se utiliza un GI basado en una topología de excitación denominada híbrida, que consta de una MI conectada en paralelo con un banco de capacitores conmutados y un convertidor CC–CA de cuatro hilos. Se presentan resultados experimentales, en los cuales pueden observarse transitorios ocasionados por la conmutación del banco de capacitores.

También, se han publicado compensadores activos en los cuales se propone controlar a los GI utilizando la Teoría de Potencia Instantánea o Teoría  $p-q$  [27]–[29]. Algunas de estas propuestas pueden observarse en las referencias [30]–[33], en las cuales se presentan sistemas de generación trifásicas para alimentar cargas trifásicas equilibradas. En este trabajo se propone mostrar los avances en la implementación experimental de un sistema de generación trifásica de cuatro hilos, basado en la Teoría  $p-q$  para alimentar cargas monofásicas y trifásicas desequilibradas. Esta propuesta de generación posee un sistema de excitación para una MI compuesto por un banco de capacitores y un convertidor CC–CA de cuatro piernas que actúa como fuente de corriente, ambos conectados en paralelo con la máquina. Este trabajo está organizado de la siguiente manera: en la Sección 2 se

describe el sistema de excitación y de compensación de desequilibrio propuesto, en las Secciones 3 y 4 se presentan resultados de simulación y experimentales, respectivamente, los cuales demuestran la viabilidad práctica de la propuesta. Finalmente, en la Sección 5 se presentan las conclusiones obtenidas.

## 2. Descripción del sistema propuesto

En la Fig. 1 se presenta un diagrama de bloques conceptual del sistema de excitación y compensación, propuesto, para implementarse en un sistema de generación eléctrica basado en una MI. En este diagrama la MI es representada por una fuente de tensión de CA trifásica ideal, con una tensión y corriente sinusoidal,  $V_s$  e  $i_s$ , respectivamente. La carga es representada por una fuente de corriente,  $i_L$ , la cual resulta de la suma de la componente fundamental,  $i_{Lf}$ , y de sus componentes armónicas,  $i_{La}$ . Además, puede apreciarse en esta figura, una representación del sistema de excitación utilizado para excitar al GI y regular la tensión en el Punto de Conexión Común (PCC), entre el generador y la carga. Este sistema está compuesto por un banco de capacitores ( $C$ ) y por una fuente de corriente controlada, a su vez compuesta por un convertidor con lazo de control de corriente, la cual realiza una inyección de una componente de corriente reactiva  $i_e$  y de una componente de compensación de desequilibrio de carga,  $i_c$ , logrando con esto que la corriente que circula por la MI sea sinusoidal.

En la Fig. 1 también se representan dos lazos de control, los cuales están asociados a los cálculos de las referencias de las componentes de corriente de excitación  $i_2^*$  y de compensación,  $i_c^*$ . Estos cálculos son realizados mediante algoritmos basados en la teoría de potencia instantánea o  $p-q$  [27], [28].

### 2.1. Algoritmo de excitación y de compensación de desequilibrio de carga

El algoritmo de control de este convertidor tiene como objetivo la inyección de una corriente, en el PCC, compuesta por la suma de dos componentes, una reactiva y otra de compensación de desequilibrio de carga. Con la inyección de estas componentes se logra que las corrientes que circulan por la MI sean sinusoidales y equilibradas, que las tensiones generadas estén reguladas y que la corriente del conductor de neutro sea minimizada.

En la Fig. 2 se representa al prototipo experimental implementado. En esta figura se representa al sistema de excitación, a la fuente de corriente, el GI y a la carga. La fuente de corriente está implementada con un convertidor CC-CA de cuatro piernas, el cual posee un lazo interno de control de corrientes, el cual se basa en una referencia  $i_{dq0}^*$ .

El GI está conectado a un motor impulsor primario, el cual emula por ejemplo una turbina hidráulica, que impone una velocidad  $\omega_e$  al eje de la MI, pudiendo variar en un determinado rango, en función a un regulador.

El algoritmo de control de corrientes calcula las referencias de corrientes, en base a la teoría  $p-q$  [34], utilizando un referencial en variables  $i_{dq0}$  sincrónico con la secuencia positiva de las tensiones generadas por el GI, la detección de secuencia positiva se implementa mediante un integrador generalizado de segundo orden [35]. Las expresiones de cálculo de las corrientes se muestran en el sistema de ecuaciones (1).

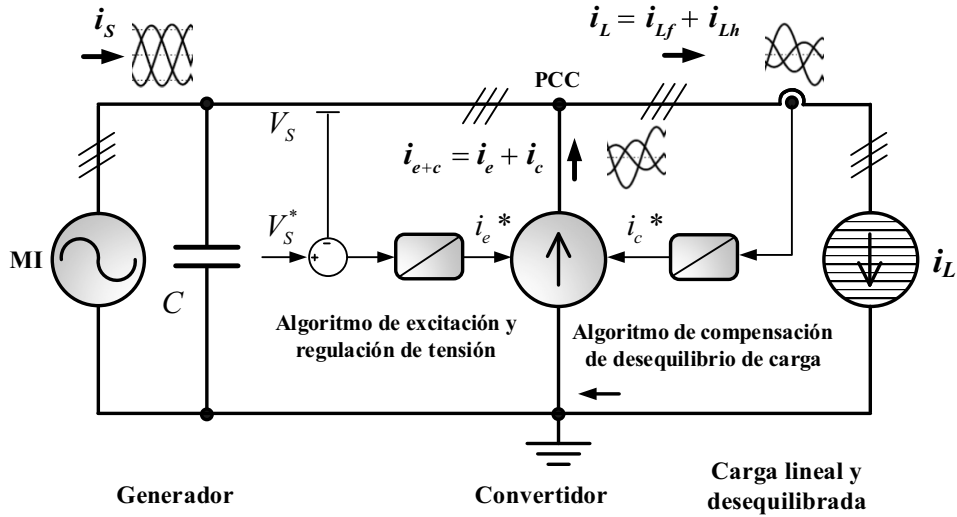


Fig. 1. Diagrama conceptual del sistema de generación eléctrica propuesto.

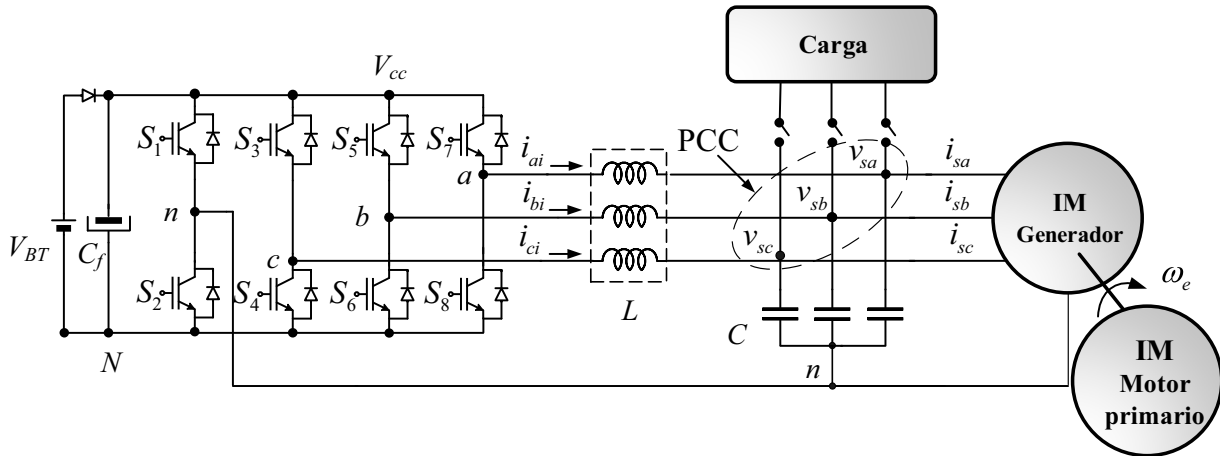


Fig. 2. Circuito simplificado del prototipo experimental implementado.

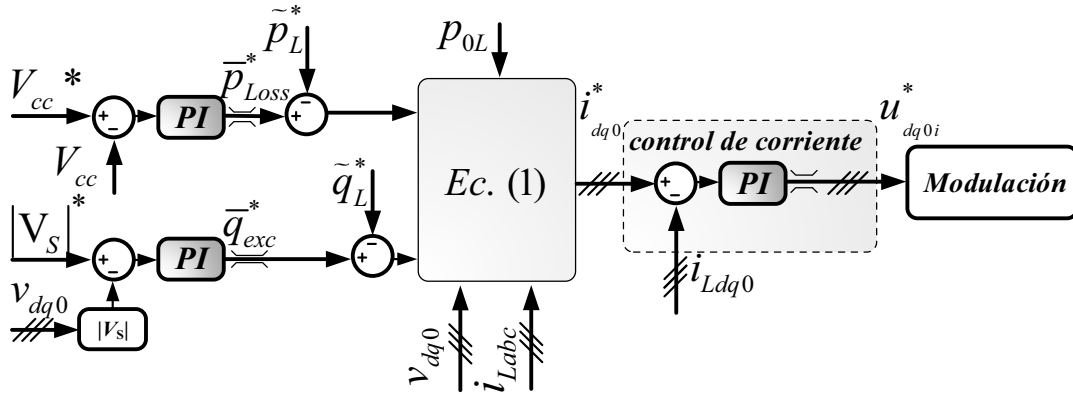
$$\left. \begin{aligned}
 i_d^* &= \frac{1}{\Delta} \left[ (v_d) (\bar{p}_{Loss}^* - \tilde{p}_L^*) + (v_q) (\bar{q}_{exc}^* - \tilde{q}_L^*) \right], \\
 i_d^* &= \frac{1}{\Delta} \left[ (v_d) (\bar{p}_{Loss}^* - \tilde{p}_L^*) + (v_q) (\bar{q}_{exc}^* - \tilde{q}_L^*) \right], \\
 i_0^* &= \frac{-P_{0L}^*}{v_0},
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

donde  $v_d$ ,  $v_q$  y  $v_0$  representan las tensiones del generador ( $v_{Sabc}$ ) en el referencial  $dq0$  y  $\Delta$  y puede calcularse a partir de (2).

$$|V_s| = \sqrt{v_d^2 + v_q^2} = \sqrt{\Delta} \quad (2)$$

En la Fig. 3 se representa un diagrama de bloques correspondiente al algoritmo de excitación y regulación de tensión, el cual tiene como objetivo calcular las referencias  $i_{dq0}^*$  de la fuente de corriente, cuyas referencias provienen de:

- el lazo de regulación de la tensión de la barra de CC de la fuente de corriente,  $V_{cc}$ , cuya referencia es  $V_{cc}^*$ ;
- el lazo de regulación de la tensión generada,  $|V_S|$ , cuya referencia es  $|V_S^*|$ ;
- el algoritmo de compensación de desequilibrio de carga, basado en la medición de las tensiones y corrientes sobre la misma.



**Fig. 3. Diagrama de bloques del algoritmo de excitación y de regulación de tensión en la barra de CC.**

Inicialmente para que la maquina genere energía es necesario que el convertidor provea una corriente reactiva inicial, para lo cual en este caso se utiliza una batería de 24 V conectada a la barra de CC, que junto con la corriente provista por los capacitores darán inicio al proceso de autoexcitación del GI. Una vez que el GI aumenta su tensión inicial y logra valores nominales de tensión, la batería de 24 V ya no se utiliza. Existe un intercambio de potencia activa y reactiva entre la barra de CA y CC, durante el arranque y funcionamiento del GI que está controlado por los lazos de control.

El lazo de control de la tensión  $V_{cc}$  calcula la referencia de la potencia activa media,  $\bar{p}_{loss}^*$ , que la fuente de corriente debe transferir desde su barra de CC hacia la de CA del GI para compensar la pérdida de potencia de la fuente de corriente, utilizada para regular la tensión en la barra de CC.

El lazo de control del módulo del vector tensión trifásica,  $|V_S|$ , calcula la referencia de potencia reactiva media,  $\bar{q}_{exc}^*$ , que la fuente de corriente debe transferir desde su barra de CC hacia la de CA para excitar a la MI y regular la tensión generada.

En la Fig. 4 se representa, en diagramas de bloques, el algoritmo de compensación de desequilibrio de carga, utilizado para calcular los valores de las potencias instantáneas,  $p_L^*$ ,  $q_L^*$  y  $p_{0L}^*$ , determinadas a partir del sistema de ecuaciones (3).

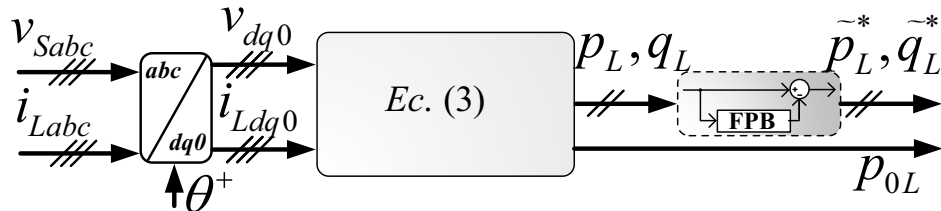
$$\left. \begin{aligned} p_L^* &= v_d i_{Ld} + v_q i_{Lq} = \bar{p}_L + \tilde{p}_L, \\ q_L^* &= v_q i_{Ld} - v_d i_{Lq} = \bar{q}_L + \tilde{q}_L, \\ p_{0L}^* &= v_0 i_{L0}, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

donde  $i_{Ld}$ ,  $i_{Lq}$  e  $i_{L0}$  representan las corrientes en la carga en el referencial  $dq0$ . A su vez, estas componentes de potencia instantáneas pueden descomponerse en sus partes continuas y oscilatorias,  $\bar{p}_L$  y  $\bar{q}_L$ ,  $\tilde{p}_L$  y  $\tilde{q}_L$ , respectivamente, mediante un filtro pasa bajos (FPB) del tipo recursivo [36], como se representa en la figura.

Las componentes de potencias que se desean compensar son las oscilatorias, debido a que provocan desequilibrio de tensiones y corrientes [28]. También se desea compensar la componente

de secuencia cero ( $p_{0L}$ ), debido a que indica circulación de corriente por el neutro, lo cual no es conveniente debido a la generación de pérdidas de potencia y desvío de la tensión del neutro.

Una vez obtenidas las potencias  $\bar{p}_{loss}^*$ ,  $\bar{q}_{exc}^*$ ,  $\tilde{p}_L$ ,  $\tilde{q}_L$  y  $p_{0L}$ , ingresan al bloque dado por el sistema de ecuaciones (1), de la Fig. 3, para el cálculo de las referencias de corriente  $i_{dq0}^*$ , que la fuente de corriente debe inyectar en la barra de CA.



**Fig. 4. Diagrama de bloques del algoritmo de compensación de desequilibrio de carga, basado en la teoría  $p-q$ .**

### 2.2. Descripción Modelo y Control del GI

Para obtener el modelo del sistema de generación se hicieron las siguientes simplificaciones: El GI es considerado como una fuente de tensión alterna ideal, con tensiones equilibradas y que su régimen de funcionamiento es constante; que el convertidor utilizado es uno de CC-CA trifásico de cuatro piernas con un filtro  $LC$  a la salida, el cual tiene en cuenta el banco de capacitores necesario para la autoexcitación; que la barra de CC es una fuente de tensión constante ideal; que los inductores del filtro poseen valores iguales y constantes en cada fase.

A partir del modelo obtenido en el dominio frecuencial se determinaron los valores de los parámetros de cada compensador Proporcional Integral (PI) representado en la Fig. 3; considerando características de desempeño transitorio y de régimen permanente establecidas a partir de las limitaciones de los máximos valores de desequilibrios de tensiones y corrientes, indicados en la Tabla 1. Para su implementación, en el Procesador Digital de Señales (DSP-del inglés), cada compensador fue discretizado mediante el método de retenedor de orden cero, con una frecuencia de muestreo de 10 kHz [24], [37].

### 3. Resultados de Simulación

En esta sección se presentan resultados de simulación del sistema de generación eléctrica propuesto. Los parámetros más importantes del GI, de la carga y de cada compensador PI se muestran en la Tabla 1. Dónde:  $P$  es la potencia nominal del motor;  $R_s$  y  $R_r$  son resistencias del estator y del rotor, respectivamente;  $L_s$  y  $L_r$  son inductancias del estator y del rotor, respectivamente;  $L_M$  es la inductancia de magnetización;  $L$  y  $C$  son los componentes del filtro  $LC$  y  $J$  es el momento de inercia del motor.

Al inicio de la simulación el GI se encuentra funcionando en vacío y la fuente de corriente se encuentra inyectando potencia reactiva a la barra de CA, para regular su tensión. En la Fig. 5 se presenta la evolución de las formas de onda de las tensiones del generador ( $v_{Sabc}$ ), las corrientes de carga ( $i_{Labc}$ ), las corrientes de fase ( $i_{Sabc}$ ) y de neutro ( $i_{s0}$ ).

En  $t = 1.42$  seg, el generador se encuentra alimentando a las cargas desequilibradas 1 y 2 de la Tabla 1, conectadas en paralelo, con el algoritmo de compensación de desequilibrio de carga deshabilitado, por lo cual las corrientes de la MI ( $i_{Sabc}$ ) de la Fig. 5 (c) son desequilibradas.

Continuando en este modo de funcionamiento, en  $t = 1.45$  seg se desconecta la carga de la fase  $b$ , en consecuencia,  $i_{Lb}$  se anula e  $i_{s0}$  aumenta, como puede observarse en la Fig. 5 (b) y (c).

**Tabla 1. Características de los componentes de simulación**

<b>Máquina de Inducción (MI)</b>			
Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
$P$ (kW)	3.30	$R_r$ ( $\Omega$ )	0.40
$R_s$ ( $\Omega$ )	1.80	$L_r$ (mH)	5.75
$L_s$ (mH)	5.75	$L_M$ (mH)	134.21
$L$ (mH)	3	$C$ ( $\mu$ F)	100
Nº de polos	4	$J$ (kgm <sup>2</sup> )	0.04

<b>Cargas</b>	
Carga 1	Carga 2
$r_1 = 400$ ( $\Omega$ ), $L_1 = 3$ (mH)	$r_{p1}=30$ ( $\Omega$ )
	$r_{p2}=60$ ( $\Omega$ )
	$r_{p3}=90$ ( $\Omega$ )

<b>Parámetros de los compensadores PI</b>			
PI	$K_p$	$K_i$	$T_s$ (seg)
$PI_v$	0.30	3	0.10
$PI_i$	0.03	3	0.01
$PI_{i0}$	0.40	3	0.01

En  $t = 1.5$  seg se habilita el algoritmo de compensación de desequilibrio de carga, lo que hace que la fuente de corriente inyecte corriente de compensación a las tres fases y al conductor de neutro, en ese instante se observa, en la Fig. 5, que las tensiones y corrientes del GI se equilibran y la  $i_{s0}$  se anula.

En la Tabla 2 se resumen los porcentajes de desequilibrio, cuando el sistema de generación eléctrica funciona sin el algoritmo de compensación (SC) y cuando si lo hace (C). Puede observarse en esta tabla que las tensiones de línea ( $U_L$ ) tienen 0.74% de desequilibrio para el caso SC y 0.55% para el caso C. Es importante resaltar que el máximo de desequilibrio permitido por el standard IEEE 1159 es del 2%. El desequilibrio de corrientes de fases resultó 11.11% para el caso SC y 2.07% para el caso C, con un máximo permitido por la misma norma del 15%. Estos valores de desequilibrios (d) fueron calculados en función de la citada norma, mediante la siguiente ecuación:

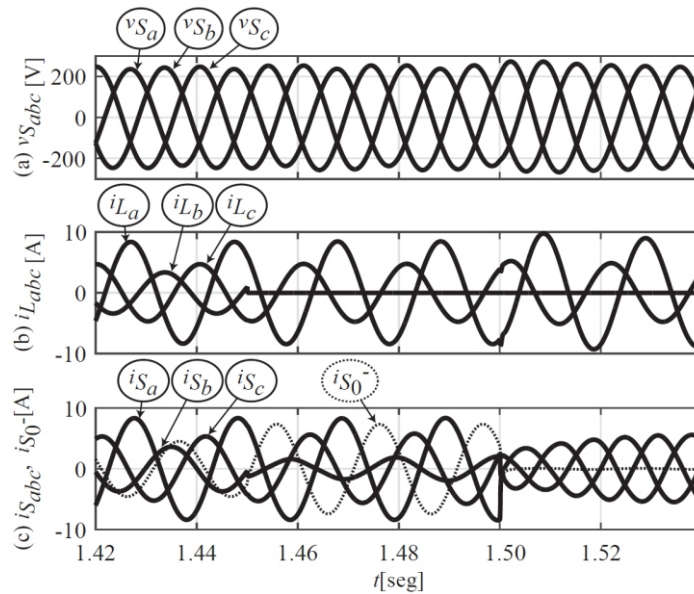
$$d = 100 \max \left( \frac{U_L - U_{Lpromedio}}{U_{Lpromedio}} \right), \tag{4}$$

**Tabla 2. Porcentaje de desequilibrio de tensión de línea y corriente de fase del GI.**

Variable	SC (%)	C (%)	Máx.
$U_L$ (V)	0.74	0.55	2%
$I_F$ (A)	11.11	2.07	15%

donde  $U_{Lpromedio}$  es el promedio de las tensiones instantáneas de línea. Se utilizó la misma expresión, modificada adecuadamente, para el caso de las corrientes.

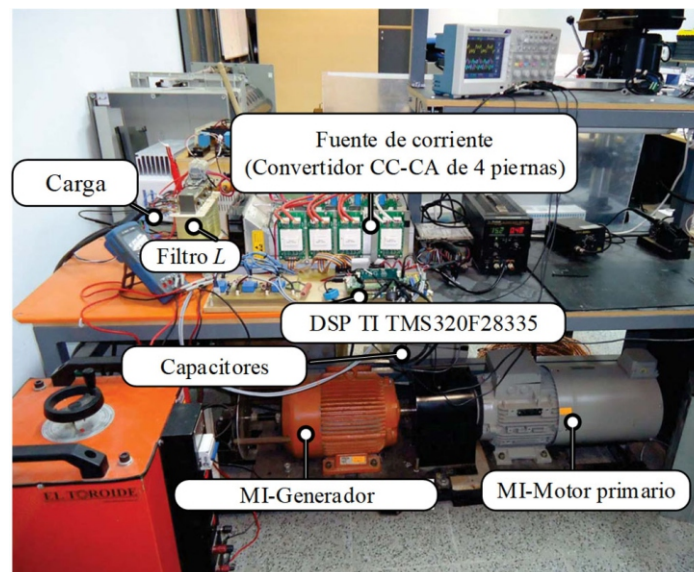
Los resultados de desequilibrios obtenidos muestran la validez de la propuesta para compensar corriente de neutro, equilibrando corrientes y tensiones del GI.



**Fig. 5.** Formas de onda de tensiones y corrientes, cuando el GI alimenta una carga lineal desequilibrada de 2,3 kW con y sin la utilización del algoritmo de compensación: (a)  $v_{Sabc}$ , (b)  $i_{Labc}$  y (c)  $i_{Sabc}$  e  $i_{S0}$ .

#### 4. Implementación Experimental de la Propuesta

En esta subsección se presenta el prototipo experimental implementado, cuyo circuito simplificado y fotografía se muestran en la Fig. 2 y la Fig. 6, respectivamente. Se utilizaron dos MI tipo jaula de ardilla convencionales, haciendo funcionar a uno como generador y al otro como motor primario. Las características de ambas maquinas se presentan en la Tabla 3. Además, en la Tabla 4 se muestran las características de los componentes más importantes del prototipo. Se utilizó un DSP de la familia de *Texas Instruments*<sup>TM</sup>, el TMS320F28335, en el cual se implementaron los algoritmos de adquisición de las mediciones de las variables eléctricas, de control, de protecciones, de modulación de la fuente de corriente, entre otros.



**Fig. 6.** Prototipo experimental del sistema de generación eléctrica propuesto.



**Tabla 3. Características de las máquinas de inducción.**

<b>MI - Generador (WEG/W22)</b>			
Parámetro/Componente	Valor	Parámetro/Componente	Valor
$P$ (kW)	5.50	$R_r$ ( $\Omega$ )	0.40
$V_s$ ( $V_{Linea,rms}$ ) $\Delta Y$	220/380	$I_s$ (A)	15.1/8.77
$R_s$ ( $\Omega$ )	1.16	$L_r$ (mH)	5.74
$L_s$ (mH)	5.74	$L_M$ (mH)	134.21
Nº de polos	4	$J$ (kgm <sup>2</sup> )	0.04
Velocidad (RPM) 1500			
<b>MI - Motor primario (SIEMENS/IE1)</b>			
Parámetro/Componente	Valor	Parámetro/Componente	Valor
$P$ (kW)	5.50	$R_r$ ( $\Omega$ )	0.40
$R_s$ ( $\Omega$ )	0.80	$L_r$ (mH)	4
$L_s$ (mH)	4	$L_M$ (mH)	125
Nº de polos	4	$J$ (kgm <sup>2</sup> )	0.04
Velocidad (RPM) 1500			

Para la medición de las variables eléctricas se utilizaron:

- tres sensores de tensión de efecto hall para medir las tensiones de fase  $a$  bornes del generador y un cuarto para medir la tensión de la barra de CC de la fuente de corriente.
- seis sensores de corriente de efecto hall, tres utilizados para medir las corrientes a la salida de la fuente de corriente y otros tres para medir las corrientes de carga.
- un sensor de posición para medir la velocidad del GI, acoplado al eje de ambas máquinas.

#### 4.1. Resultados Experimentales

Para verificar el sistema de generación eléctrica propuesto, de manera similar a lo realizado en simulación, al inicio del ensayo experimental se llevó al sistema, en vacío, a valores nominales de funcionamiento; regulando la tensión en la barra de CA mediante la inyección de potencia reactiva desde la fuente de corriente. En estas condiciones, se conectó al GI una carga lineal y desequilibrada de 1 kW, dada por las tres resistencias monofásicas conectadas en estrella, indicadas como Carga 1 en la Tabla 4. Además, en estas condiciones, se puede observar que la fase  $b$  no tiene carga con el objetivo de provocar un sistema muy desequilibrado.

**Tabla 4. Otros componentes del sistema propuesto.**

Parámetro/componente	Características	Unidad/Rango
$C$	60	$\mu F$
$L$	5.5	mH
Sensores de corriente	LA 55p	0-50 A
Sensores de tensión	LV 25p	0-500 V
IGBT	SKM75GB124	1200 V y 75 A
Circuitos de activación	SKHI 22A	
Sensor posición	1xp8001-1024p/v	
Carga (CA)	$r_a = 115, r_b = \infty, r_c = 22.5$	$\Omega$
Tensiones	$V_{Sabc} = 110, V_{cc} = 400$	V

En la Fig. 7(a) se presentan las evoluciones de las corrientes de carga ( $i_{La}$ ,  $i_{Lb}$  e  $i_{Lc}$ ) y del neutro del GI ( $i_{s0}$ ), antes y después de la compensación. En la Fig. 7 (b) se presentan las evoluciones de las tres corrientes de fase del generador ( $i_{Sa}$ ,  $i_{Sb}$  y  $i_{Sc}$ ) y para comparación, también, la del neutro del GI ( $i_{s0}$ ).

En las Figuras 7(c) y 7(d) se presentan, para el mismo ensayo, las evoluciones de las tensiones de fase del GI ( $v_{Sabc}$ ) y de la corriente de neutro ( $i_{s0}$ ) del sistema sin compensar y compensado, respectivamente.

Puede observarse en la Fig. 7 que luego de activar el algoritmo de compensación la corriente  $i_{s0}$  disminuye su valor hasta hacerse prácticamente nula, además, que las corrientes y tensiones de fase del generador se equilibran. Esto se debe a que la fuente de corriente inyecta en el PCC corrientes de secuencia cero en oposición a la de la carga ( $-i_{0L}$ ) y también corrientes de secuencia negativa en oposición a las producidas por el desequilibrio de carga.

## 5. Conclusiones

En este trabajo se propone la aplicación de la Teoría de Potencia Instantánea a un sistema de generación trifásica de cuatro hilos, capaz de alimentar cargas lineales monofásicas y/o trifásicas desequilibradas. Este sistema incluye la utilización de máquinas eléctricas rotativas, específicamente un motor de inducción (MI) del tipo jaula de ardilla, un sistema de excitación

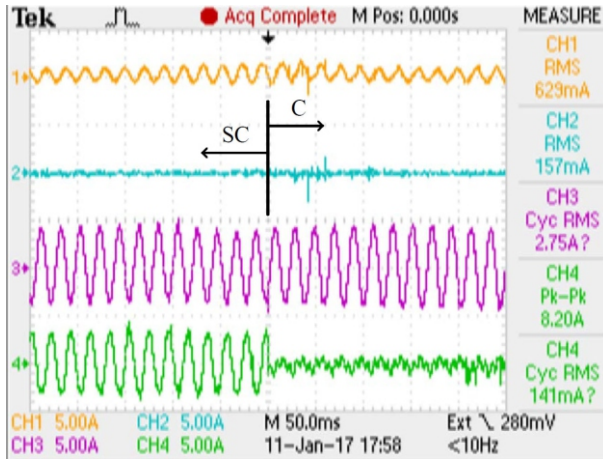
compuesto por un banco de capacitores y un convertidor CC-CA de cuatro piernas que actúa como fuente de corriente, todos conectados en paralelo y formando lo que denominamos Generador de Inducción (GI).

Las principales ventajas que se tienen con esta propuesta son su bajo costo, la adecuada robustez y la mínima necesidad de mantenimiento, debido a la utilización de una máquina eléctrica rotativa como la MI de jaula de ardilla, mínimo valor de par pulsante, tensiones y corrientes del MI sinusoidales y equilibradas, mínimo valor de corriente de neutro, regulación con buena precisión y respuesta dinámica de la tensión de carga. Con estas características se logra que aumente el rendimiento y vida útil del GI.

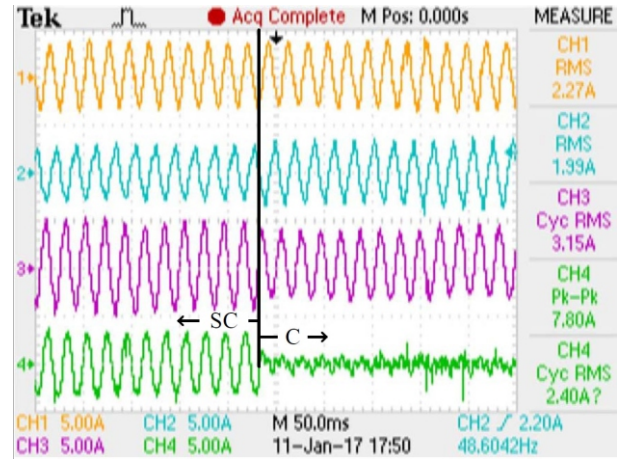
Se validó la propuesta mediante resultados de simulación y experimentales verificándose muy buen desempeño tanto en funcionamiento en régimen transitorio como permanente del GI, principalmente en el funcionamiento con carga desequilibrada; que es el caso más desfavorable. Los resultados obtenidos, hacen que la propuesta en general sea una opción para la implementación de generadores trifásicos, para el suministro de energía eléctrica con buena calidad.

## Agradecimientos

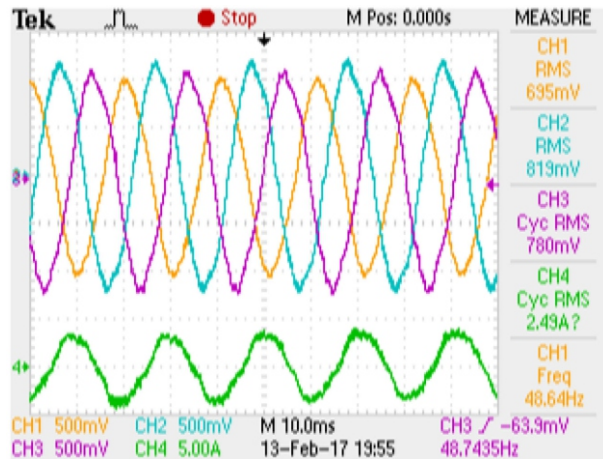
Agradecemos el financiamiento de este trabajo a la Facultad de Ingeniería de Universidad Nacional de Misiones (UNaM) en el marco del Proyecto de Investigación 16/I1205-PI (T. Inv. 16/I1090-TI) y al Concejo Nacional de Investigaciones Científicas (CONICET).



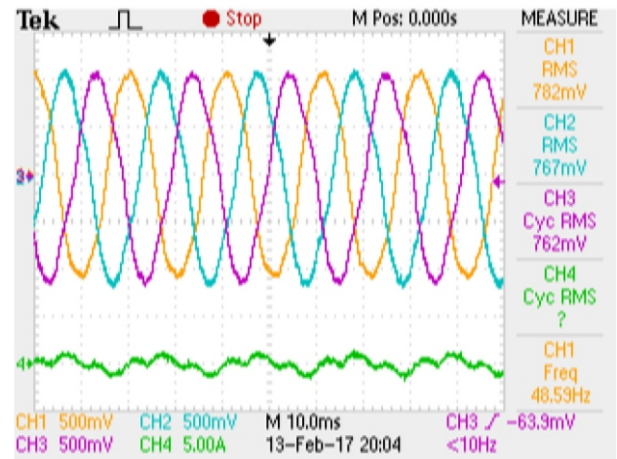
(a) Corrientes de carga:  $i_{Labc}$  (CH<sub>1,2,3</sub>) y de neutro:  $i_{so}$  (CH<sub>4</sub>).



(b) Corrientes de fase del GI:  $i_{Sa,b,c}$  (CH<sub>1,2,3</sub>) y de neutro:  $i_{so}$  (CH<sub>4</sub>).



(c) Tensiones del GI  $v_{Sabc}$  (CH<sub>1,2,3</sub>) y corriente de neutro  $i_{so}$  (CH<sub>4</sub>). Sistema sin compensador (SCC).



(d) Tensiones del GI  $v_{Sabc}$  (CH<sub>1,2,3</sub>) y corriente de neutro  $i_{so}$  (CH<sub>4</sub>). Sistema con compensador (C).

**Fig. 7. Ensayo de funcionamiento del algoritmo de compensación de desequilibrio de carga.**





**Referencias**

- [1] M. Nehrir, C. Wang, K. Strunz, H. Aki, R. Ramakumar, J. Bing, Z. Miao, and Z. Salameh, "A review of hybrid renewable/alternative energy systems for electric power generation: Configurations, control, and applications," IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol. 2, no. 4, pp. 392–403, 2011.
- [2] S. Chu and A. Majumdar, "Opportunities and challenges for a sustainable energy future," nature, vol. 488, no. 7411, pp. 294–303, 2012.
- [3] F. Blaabjerg, Y. Yang, K. Ma, and X. Wang, "Power electronics - the key technology for renewable energy system integration," in 2015 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), Nov 2015, pp. 1618–1626.
- [4] M. Singh, S. P. Singh, B. Singh, A. S. Pandey, R. Di xit, and N. Mittal, "Stand alone power generation by 3  $\phi$  asynchronous generator: A comprehensive survey," in 2012 2nd International Conference on Power, Control and Embedded Systems, Dec 2012, pp. 1–14.
- [5] J. Laghari, H. Mokhlis, A. Bakar, and H. Mohammad, "A comprehensive overview of new designs in the hydraulic, electrical equipments and controllers of mini hydro power plants making it cost effective technology," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 20, pp. 279–293, 2013.
- [6] Z. Chen, J. Guerrero, and F. Blaabjerg, "A review of the state of the art of power electronics for wind turbines," Power Electronics, IEEE Transactions on, vol. 24, no. 8, pp. 1859–1875, Aug 2009.

- [7] L. Gumilar, W. S. Nugroho, and M. Sholeh, "Power quality of synchronous generator under conditions of starting large induction motors simultaneously and sequentially," in 2021 7th International Conference on Electrical, Electronics and Information Engineering (ICEEIE), 2021, pp. 66–71.
- [8] P. Aree, "Starting performance of induction motor under isolated self-excited induction generator," in 2015 12th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2015, pp. 1–5.
- [9] M. H. Haque and A. Maswood, "Determination of excitation capacitance of a three-phase self-excited induction generator," in Power and Energy Society General Meeting, 2012 IEEE, July 2012, pp. 1–6.
- [10] P. J. Chauhan and J. K. Chatterjee, "A novel speed adaptive stator current compensator for voltage and frequency control of standalone self feeding three-phase four-wire system," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 10, no. 1, pp. 248–256, Jan 2019.
- [11] M. Kiani and W.-J. Lee, "Effects of voltage unbalance and system harmonics on the performance of doubly fed induction wind generators," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 46, no. 2, pp. 562–568, 2010.
- [12] A. K. Sharma, "Study of wind turbine based self under balanced/unbalanced loads and excitation," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 2, no. 3, p. 353, 2012.
- [13] C. Wessels, N. Hoffmann, M. Molinas, and F. W. Fuchs, "Statcom control at wind farms with fixed-speed induction generators under asymmetrical grid faults," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, no. 7, pp. 2864–2873, 2013.
- [14] F. B. Silva, W. E. Vanco, F. A. da Silva Goncalves, C. A. B. Junior, D. P. de Carvalho, and L. M. Neto, "Experimental analysis of harmonic distortion in isolated induction generators," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 14, no. 3, pp. 1245–1251, 2016.
- [15] V. S. Santos, P. R. V. Felipe, J. R. G. Sarduy, E. C. Quispe, and M. Balbis, "Shaft power estimation in induction motor operating under unbalanced and harmonics voltages," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 14, no. 5, pp. 2309–2315, 2016.
- [16] G. Carrasco, C. A. Silva, R. Peña, and R. Cárdenas, "Control of a four-leg converter for the operation of a dfig feeding stand-alone unbalanced loads," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 62, no. 7, pp. 4630–4640, July 2015.
- [17] M. Szypulski and G. Iwanski, "Sensorless state control of stand-alone doubly fed induction generator supplying nonlinear and unbalanced loads," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 31, no. 4, pp. 1530–1538, Dec 2016.
- [18] A. A. Abdel-Aziz, R. A. Hamdy, and A. S. Abdel-Khalik, "Design and performance evaluation of a three-phase self-excited induction generator feeding single-phase loads," *Electric power components and systems*, vol. 47, no. 6-7, pp. 486–500, 2019.
- [19] E. Muljadi, D. Yildirim, T. Batan, and C. P. Butterfield, "Understanding the unbalanced-voltage problem in wind turbine generation," in *Conference Record of the 1999 IEEE Industry Applications Conference. Thirty-Forth IAS Annual Meeting (Cat. No.99CH36370)*, vol. 2, 1999, pp. 1359–1365 vol.2.
- [20] V. Leon-Martinez, J. Montanana-Romeu, and J. M. Palazon-Garcia, "Unbalance compensator for three-phase industrial installations." *IEEE Latin America Transactions*, vol. 9, no. 5, pp. 808–814, 2011.
- [21] A. K. Panigrahi, R. Kulkarni, and D. Sadhu, "Design and simulation of innovative hybrid filter for harmonic compensation," in 2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES), 2016, pp. 1–6.
- [22] B. Singh, S. Murthy, and R. S. R. Chilipi, "Statcom-based controller for a three-phase self feeding single-phase loads," *IEEE transactions on energyconversion*, vol. 29, no. 2, pp. 320–331, 2014.
- [23] L. G. Scherer, R. V. Tambara, and R. F. de Camargo, "Voltage and frequency regulation of standalone self-excited induction generator for micro-hydropower generation using discrete-time adaptive control," *IET Renewable Power Generation*, 2016.
- [24] L. G. Scherer, C. B. Tischer, and R. F. de Camargo, "Power rating reduction of distribution static synchronous compensator for voltage and frequency regulation of stand-alone self-excited induction generator," *Electric Power Systems Research*, vol. 149, no. Supplement C, pp. 198 – 209, 2017.[Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378779617301608>
- [25] Z. Chen, J. Lu, C. Mao, Y. Zhou, and D. Wang, "Design and implementation of voltage source converter excitation system to improve power system stability," in 2015 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 2015, pp. 1–10.
- [26] H. Akagi, "New trends in active filters for power conditioning," *Industry Applications, IEEE Transactions on*, vol. 32, no. 6, pp. 1312–1322, Nov 1996. 11

- [27] E. W. y M. Aredes H. Akagi, *Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning*. IEEE Press Series on Power Engineering, 2007.
- [28] P. Kumar, A. K. Singh, and N. K. Kummari, “p-q theory based modified control algorithm for load compensating using dstatcom,” in *2014 16<sup>th</sup> International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*, 2014, pp. 591–595.
- [29] R. Leidhold, G. García, and M. I. Valla, “Induction generator controller based on the instantaneous reactive power theory,” *Power Engineering Review*, IEEE, vol. 22, no. 7, pp. 51–51, July 2002.
- [30] P. Silva, R. Pinheiro, M. Aguiar, L. Junior, A. Salazar, and C. Cunha, “Implementation of a shunt active filter using the theory of generalized instantaneous power,” in *Power Electronics Conference (COBEP)*, 2011 Brazilian, Sept 2011, pp. 782–787.
- [31] B. A. J., de la B. Pablo M, and G. G. O, “Sistema de excitación y compensación de armónicos para generadores de inducción jaula de ardilla,” in *Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)*, 2014 IEEE. IEEE, 2014, pp. 73–77.
- [32] A. J. Benitez, F. Botterón, and G. Garcia, “Autonomous induction generator feeding non-linear and unbalanced loads,” in *2018 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)*, 2018, pp. 1–6.
- [33] M. Aredes, H. Akagi, E. H. Watanabe, E. V. Salgado, and L. F. Encarnación, “Comparisons between the p-q and p-q-r theories in three-phase four-wire systems,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 24, no. 4, pp. 924–933, 2009.
- [34] F. Rodriguez, E. Bueno, M. Aredes, L. Rolim, F. A. Neves, and M. C. Cavalcanti, “Discrete-time implementation of second order generalized integrators for grid converters,” in *Industrial Electronics, 2008. IECON 2008. 34th Annual Conference of IEEE*. IEEE, 2008, pp. 176–181.
- [35] E. M. Asensio, G. A. Magallán, and C. H. De Angelo, “Control de un sistema híbrido de almacenamiento de energía para vehículos eléctricos,” in *2014 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)*, June 2014, pp. 570–575.
- [36] F. Botterón, R. De Camargo, H. Hey, J. Pinheiro, H. Grundling, and H. Pinheiro, “New limiting algorithms for space vector modulated three-phase four-leg voltage source inverters,” *IEE Proceedings-Electric Power Applications*, vol. 150, no. 6, pp. 733–742, 2003.

## Análisis de Eficiencia Energética en Instalaciones de Educación Tecnológica Mediante la Medición de Variables Eléctricas y Ambientales

Julio A. Potschka <sup>a, b \*</sup> , Manuel. A. Mazzoletti <sup>a, b</sup> , Mario O. Oliveira <sup>a, b</sup>   
Rubén C. Brázzola <sup>a, c</sup> 

<sup>a</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>b</sup> LIDEE (Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Energía Eléctrica) FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>c</sup> LIC (Laboratorio de Ingeniería Civil) FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

e-mails: potschka@fio.unam.edu.ar, armando.mazzoletti@fio.unam.edu.ar, mario.oliveira@fio.unam.edu.ar, brazzola@fio.unam.edu.ar

---

### Resumen

Este trabajo presenta una metodología aplicada en edificios de educación tecnológica con el objetivo de reducir el consumo de energía a partir de oportunidades de mejoras detectadas. En este contexto, la eficiencia energética se logra mediante la implementación de un sistema de gestión de la energía basados en indicadores que miden las variaciones de consumos en el tiempo. Este trabajo describe e implementa un procedimiento para lograr el uso responsable de la energía eléctrica consumida en la Facultad de Ingeniería (FI) de la Universidad Nacional de Misiones (UNaM). Los avances presentados son el resultado de una primera revisión energética que se realiza en la FI de la UNaM, donde se clasificaron los equipos eléctricos en función de su desempeño y uso final, se midieron y registraron variables que permitieron identificar los hábitos de consumo en la institución. En base a las variables medidas se analizaron dos indicadores definidos en normas nacionales e internacionales que serán utilizado para implementar acciones de mejoras.

**Palabras Clave** – Eficiencia energética, Educación tecnológica, gestión de la energía, variables eléctricas, variables ambientales.

---

### Abstract

This work presents a methodology applied in technical education buildings aimed at reducing energy consumption through identified improvement opportunities. In this context, energy efficiency is achieved through the implementation of an energy management system based on indicators that measure variations in energy consumption over time. This work describes and implements a procedure to achieve the responsible use of the electrical energy consumed in the Faculty of Engineering (FI) of the National University of Misiones (UNaM). The advances presented are the result of a first energy review carried out at the UNaM FI, where electrical equipment was classified based on its performance and final use, variables were measured and recorded that allowed consumption habits to be identified in the institution. Based on the measured variables, two indicators defined in national and international standards were analyzed that will be used to implement improvement actions.

**Keywords** – Energy efficiency, Educational technology, energy management, electrical variables, environmental variables.

---

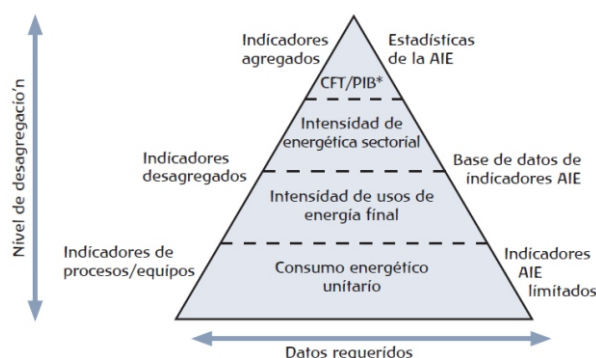
### SÍMBOLOS

$E$	Energía activa.
$A$	Superficie.
$C2b$	Indicador de eficiencia de segundo nivel.
$FP$	Factor de potencia.
$P$	Potencia activa.
$S$	Potencia aparente.

---

## 1. Introducción

El crecimiento de la población mundial lleva consigo un marcado aumento en el consumo de la energía en todos los ámbitos de demanda, provocando un gran impacto medio ambiental y en las personas, debido al uso de combustibles fósiles en centrales de generación convencionales que forman parte en la matriz energética mundial a gran escala. En particular, la energía eléctrica ha mejorado la calidad de vida de la población permitiendo el funcionamiento de hospitales, hogares, empresas, automóviles eléctricos, entre otros. Sin embargo, en múltiples ocasiones el consumo de la energía en exceso, el uso de forma inadecuada, el funcionamiento de equipos en malas condiciones, son algunas de las acciones y condiciones que atentan contra la Eficiencia Energética (EE). Una de las herramientas importante para la evaluación de la EE son los indicadores, destacando en estos su utilización para evaluar la interacción que puede haber entre el consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub>, utilizados para la modelización y en la predicción de la demanda futura de energía. En este sentido, la mejora de los indicadores relacionados con la EE se consigue mediante la implementación de un sistema de gestión de la energía correctamente planificado, como lo indica la Agencia Internacional de la Energía (AIE) [1]. En la Fig. 1 se presenta la pirámide de indicadores recomendados por la AIE. Los indicadores presentan distintos niveles de desagregación. Aquellos que se encuentran en la cima son utilizados para el análisis a niveles macroeconómicos [2]. Por otro lado, los indicadores en la base de la pirámide se relacionan con el consumo energético de procesos o equipos de uso final que requieren del conocimiento de datos con mayor precisión y en tiempo real.



**Fig. 1. Pirámide de indicadores de la AIE [1].**

La EE implica realizar una serie de cambios y/o mejoras en diferentes sectores de consumo con el objetivo de reducir la energía utilizada para un determinado servicio o para un determinado nivel de actividad [3]. Como se mencionó anteriormente, la EE puede cuantificarse a través de indicadores que, a su vez, miden la variación de consumos de energía en el tiempo. Debe considerarse que la EE está relacionada con la intensidad de uso de la energía, entendiendo por ésta a su relación inversa. Es decir, un aumento en la eficiencia implica una disminución en el uso de la energía. La EE se realiza en sectores y usos finales específicos; por tanto, los indicadores deberían ser desarrollados utilizando la demanda de energía final [1].

El análisis de EE se aplica en distintas áreas tales como en el sector eléctrico, comercial, edilicio, transporte, ambiental, entre otros. En el sector eléctrico las principales acciones de mejoras que se implementan, es la instalación de capacitores en líneas eléctricas con el fin de reducir pérdidas técnicas por el consumo de potencia reactiva en las instalaciones de uso final [4][5]. Esta tarea es habitual, sin embargo, el análisis detallado sobre el impacto de la mejora y su cuantificación sobre la EE a través de indicadores adecuados no ha sido realizado. En [5] se proponen nuevos indicadores de

pérdidas de energía para el sector comercial, aplicados a una empresa de distribución de la energía eléctrica. Los indicadores propuestos cuantifican el impacto que generan las mejoras de las acciones para mitigar las pérdidas, así como también la manera en que realizan dichas actividades. Desde el punto de vista de la EE en instituciones de educación tecnológica, en [6] se propone un estudio enfocado en el diagnóstico de la calidad de energía de la red de distribución interna en las instalaciones de una institución educativa en Colombia. Los problemas encontrados en estos tipos de establecimientos, en general, tienen relación con la distorsión armónica de la tensión y el factor de potencia debido a las naturalezas de las cargas y el tipo de actividad. Estudios realizados en la Argentina analizan la demanda de consumo de energía eléctrica en un edificio utilizado con fines educativos y académicos a partir de un prediagnóstico energético [7]. En este caso se analizan los equipamientos instalados, la medición de nivel de iluminación, calidad del servicio y del producto técnico, además, se contabiliza el impacto de fuentes de energía renovables sobre el consumo de la energía. En [8] se realizó un estudio preliminar de revisión y recolección de datos de los equipos instalados y otras fuentes de energías. En base a la medición de energía en varios sectores se detectó un elevado consumo en horas nocturnas, donde no existen actividades laborales. Estudios recientes [9-11] analizan el consumo de la energía en edificios con el fin de detectar excesos y proponer mejoras de EE. En [10] se logró cuantificar el costo económico de la mejora propuesta mediante el recambio de tecnología y el tiempo de retorno de la inversión. Por otro lado, en [11] los autores analizan los perfiles de consumo y aplica dos métodos para detectar y disminuir excesos de consumo. En [12] y [13] se analizan históricos de consumos y variables eléctricas medidas en edificios de educación tecnológica y se proponen modelos matemáticos con el objetivo de predecir el consumo de energía eléctrica. En la propuesta [12] se demuestra que el modelo matemático utilizado describe adecuadamente el consumo de energía eléctrica en función de las variables independientes que lo afectan, pero no complementan en dicho análisis la variable de temperatura. Por otro lado, en [13] se propuso un modelo matemático de regresión lineal multivariable a partir de un análisis cualitativo considerando las variables de energía eléctrica y la inclusión de la temperatura. En este caso, los coeficientes obtenidos para el modelo demostraron tener alta correlación entre las variables dependientes (temperaturas) e independientes (consumo de energía).

En este trabajo se presenta un procedimiento metodológico para determinar y analizar el consumo de energía eléctrica en la Facultad de Ingeniería (FI) de la Universidad Nacional del Misiones (UNaM). Esta propuesta es un avance de los estudios previos presentado en [13] y [14]. En [14] se presenta una introducción a la metodología para el análisis del consumo energético en una etapa de medición de variables, mientras que en este trabajo se implementa un método en base a dos escenarios de consumos en distintas estaciones del año con el objetivo de analizar los patrones de uso de energía eléctrica en la FI de la UNaM y proponer medidas de EE. Las primeras actividades se enfocaron en el relevamiento y clasificación de los equipos eléctricos en función de su desempeño y uso final. En base a los datos registrados en planillas, luego, se realizaron mediciones de variables eléctricas y ambientales para determinar el estado operativo de un sector edilicio multifuncional de la FI-UNaM. Mediante la comparación de los resultados que se presentan fue posible profundizar el conocimiento de los principales usos y hábitos de consumos de energía eléctrica. A partir de las mediciones y registros de variables eléctricas se calcula un indicador de desempeño energético para obtener la línea base energética. Este indicador de es fundamental como punto de referencia para proponer medidas para el uso final y eficiente de la energía en la institución.



## 2. Metodología propuesta e implementada en la institución

El procedimiento metodológico aplicado se resume en el diagrama de flujo mostrado en la siguiente Fig. 2. En este esquema se indican las etapas aplicadas para determinar las oportunidades de mejoras como se especifican en la sección 6.3 de la norma ISO 50001-2018 [15]. El proceso comienza con la selección y relevamiento de los sectores para la revisión energética inicial. Luego, se procede a caracterizar el consumo de energía eléctrica a través del relevamiento de equipos y el registro de datos en planillas. Una vez realizadas las primeras etapas, se procede a realizar mediciones de variables relacionadas con los consumos energéticos. Para las mediciones de energía eléctrica se utilizó un analizador de calidad de energía. Luego, los registros fueron procesados y analizados con el software Power Log Classic v4.4. Para la medición de variables ambientales se utilizaron Data Logger. En base a las mediciones eléctricas se determinó la línea base energética y se calcularon indicadores de EE. Finalmente, se analizan los resultados y se proponen acciones de mejoras.

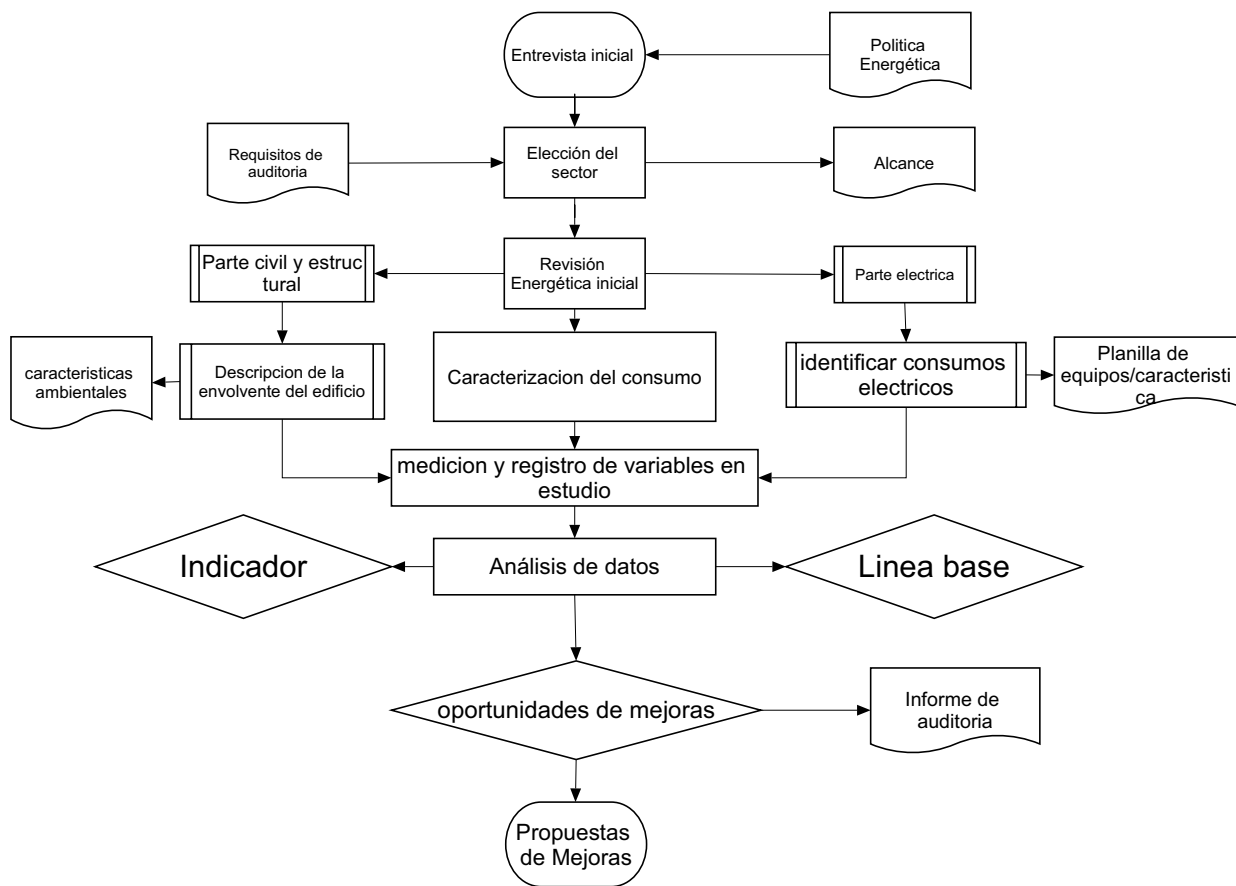


Fig. 2. Diagrama de flujo del procedimiento metodológico aplicado.

## 3. Revisión energética inicial

### 3.1. Selección del sector

La revisión energética inicial en el establecimiento se realizó tanto en el sistema eléctrico como en el sistema civil y estructural. Sin embargo, este trabajo enfoca su análisis en el sistema eléctrico. Los sectores seleccionados para el estudio se presentan en la Fig. 3, las imágenes muestran las oficinas, aulas y espacios comunes (pasillos y accesos) dentro la FI-UNaM.



Fig. 3. Sectores en la FI-UNaM seleccionados para el estudio.

Antes de iniciar cualquier tipo de registro de variables para los estudios de este tipo es fundamental definir cuáles serán las áreas o sectores a analizar. En la Fig. 4 se presentan los planos esquemáticos de los sectores estudiados constituidos por dos plantas con espacios comunes, sector administrativo, oficinas, secretarías y aulas de diferentes tamaños, baños y cocinas. Los sectores analizados son alimentados desde dos tableros seccionales, quienes, a su vez, se alimentan desde un tablero general en donde se instaló el equipo para la medición y registro de variables eléctricas. Además, en cada sector se realizó el relevamiento de los equipos instalados para registrar el tipo de carga, su caracterización, ubicación, el uso final y su etiquetado de eficiencia energética.

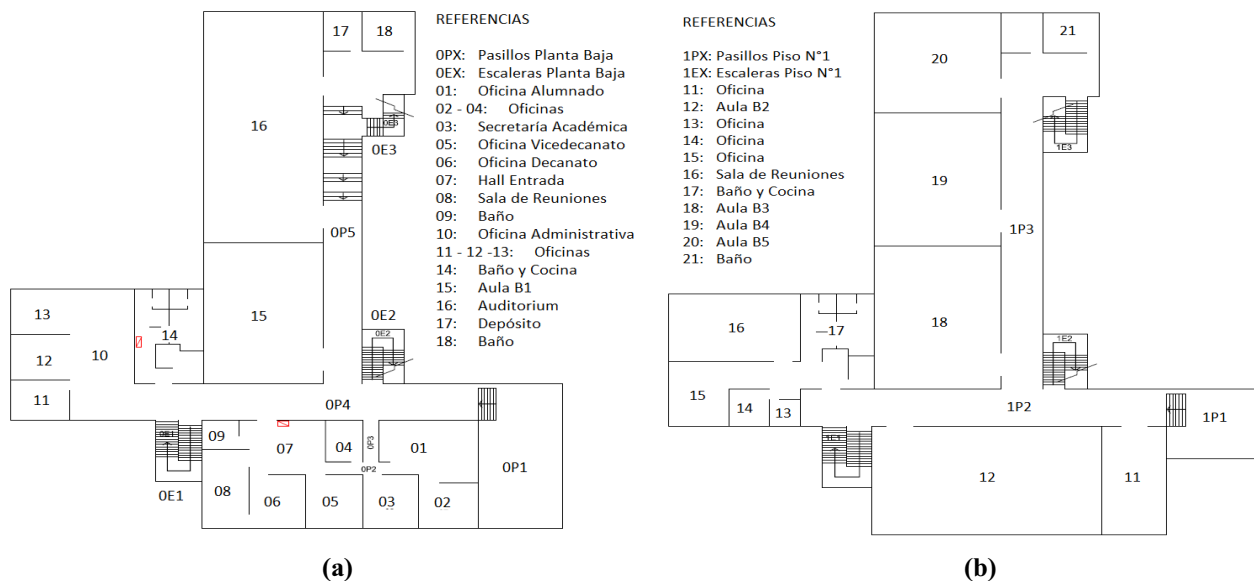


Fig. 4. Planos esquemáticos de los sectores seleccionados. (a) Planta baja. (b) Primer piso.

### 3.2. Caracterización del consumo

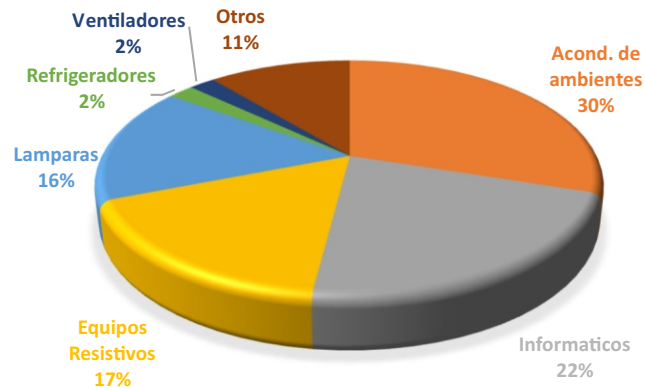
Las cargas relevadas corresponden a los equipos que representen consumo de energía activa y reactiva tales como luminarias, ventiladores, equipos para climatización, proyectores de diapositivas, fotocopiadoras, impresoras, calefactores y calentadores de agua. También se registró la ubicación de los equipos con el fin de realizar un mapa de consumo energético, es decir, determinar cuál es la zona de mayor demanda energética. En cuanto al tiempo de utilidad de los equipos, es importante determinar el factor de uso ya que de ellos dependerá la energía consumida, por ejemplo, las oficinas se utilizan en un horario habitual de jornada laboral de ocho horas diarias, según lo establece el convenio colectivo de trabajo. En cuanto a las aulas dependerá de la distribución de las asignaciones de turnos para las respectivas asignaturas en los distintos niveles de enseñanza, que en general los horarios de mayor concurrencia se encuentran concentrados de 9 a 12 horas y de 14 a 18 horas.

El registro de las categorías en eficiencia energética corresponde a la eficiencia que indica el etiquetado de cada equipo bajo la norma IRAM. En los equipos de climatización, por ejemplo, la norma IRAM 62406 establece el índice de eficiencia energética de fabricación [16]. Por lo tanto, para tener en cuenta todas las características mencionadas se confeccionó una planilla para el relevamiento de los equipos instalados en los sectores de la institución seleccionados. A modo de ejemplo, en la siguiente Tabla 1 se presenta los datos relevados en un aula en particular (Aula B1). En el caso de los tomacorrientes que no se encuentran con cargas fijas conectada, se considera una potencia nula de consumo. Además, Es importante mencionar que ninguno de estos equipos relevados cuenta con algún etiquetado que brinde información del rendimiento energético. Por lo tanto, se considera un valor aproximado de las categorías de EE en los equipos instalados y de las lámparas utilizadas actualmente, en base a equipos comerciales de similares características.

**Tabla 1. Planilla para la caracterización de equipamientos**

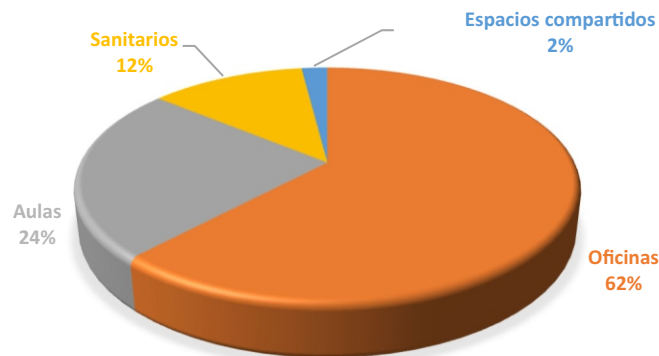
#	Ambiente (Código)	Sup. (m2)	Equipos	Cantidad	P <sub>unidad</sub> (W)	P <sub>total</sub> (W)
1	Aula B1	91,1	Tomacorriente	6	0	0
			Proyector	1	231	231
			Luminaria (2 fluorescentes de 36 W c/u)	18	72	1296
			Aire Acondicionado tipo Split	1	7500	7500
			TV LCD 50"	1	90	90

En la Fig. 5 se muestra la distribución de potencias de los equipos que intervienen en los distintos sectores. En la categoría “otros” se encuentran aquellos equipos de uso poco frecuentes como ser las fotocopiadoras, impresoras, teléfonos, entre otros. Como resultado se observa mayores potencias en los equipos de acondicionadores de ambientes “frio/calor” y solo “fríos” para equipos más antiguos. En segundo lugar, se encuentran los equipos informáticos con el 22% y, luego, la iluminación con el 16%, que sumado a los equipos anteriores representan el 68 % de la carga total. Entre los equipos resistivos que representan el 17% se encuentran los electrodomésticos de usos diarios tales como hornos, cafeteras, estufas. Este tipo de carga monofásicas produce un gran impacto en el consumo de energía activa y sobre la línea de alimentación eléctrica durante su tiempo de uso.



**Fig. 5. Potencia instalada de los equipos energéticos clasificados.**

En la Fig. 6 se presenta la potencia instalada por el tipo de ambiente analizado. Se observa que el tipo de ambiente preponderante está representado por las oficinas. Durante una jornada laboral de ocho horas diarias el consumo de energía puede ser importante en comparación con las aulas que, en general, presentan un menor tiempo de uso. Esto último indica que es importante conocer con precisión el tiempo de uso de las aulas de forma tal de gestionar las acciones de mejoras para este tipo de ambientes. La implementación de buenas prácticas para el uso de estos equipos en este sector es fundamental, entendiéndose que conlleva a un real ahorro en el consumo de energía. En el relevamiento realizado en el sistema civil y estructural se destaca el aula B1 (ver en la Tabla 1) con capacidad de ocupación para 60 personas, alcanzando la mayor potencia instalada de 9,117 kW.



**Fig. 6. Potencia instalada por sectores de la FI-UNaM.**

#### **4. Mediciones y registros de variables**

En esta sección se describe la instrumentación utilizada para las mediciones y el registro de variables tanto eléctricas como ambientales en las instalaciones de la FI-UNaM.

##### *4.1. Medición y registro de variables eléctricas*

En la Fig. 7 se muestra el analizador de calidad de energía de la marca Fluke 434 instalado en el tablero seccional que alimenta los sectores en estudio, indicados en la Fig. 3. En este caso se midieron las corrientes de línea, las tensiones, la potencia activa y reactiva, el factor de potencia, la distorsión armónica, el consumo de energía final, y otros eventos que registra el instrumento. Los registros almacenados contienen datos relevantes para la gestión del uso de la energía en base a las tendencias históricas del consumo y el modelo de curvas para la predicción futura de demanda energética.

Los resultados presentados en este estudio corresponden a las campañas de medición realizadas en las siguientes etapas:

- Etapa 1: desde el 24/04 hasta el 28/04 de 2023 (Estación de otoño)
- Etapa 2: desde el 12/08 hasta el 16/08 de 2023 (Estación de invierno)



**Fig. 7. Analizador de calidad de energía conectado en tableros de la FI-UNaM.**

**4.2. Medición y registro de variables ambientales**

El comportamiento higrotérmico se aborda mediante la medición del clima interior de algunos locales que forman parte de los sectores en estudio. Para comenzar, se realizó un relevamiento de las dimensiones, los materiales y espesores de los elementos constitutivos de la envolvente arquitectónica tales como techos, paredes y pisos. Por otro lado, se registraron los datos de temperatura y humedad relativa ambiente con el fin de mejorar la EE en los equipos destinados a la climatización de los espacios antes mencionados.

En la Fig. 8 se muestra el instrumental utilizado para el registro de datos climáticos. Se utilizaron dos Data Logger HOBO de la serie U10-003 (temp/HR), uno serie UX100-003, uno serie UX100-011 y el último de la serie U12-012 (temp/HR /light). Los equipos fueron instalados en la secretaría administrativa, oficinas de decanato, aulas y el medioambiente exterior. El procesamiento de datos se realizó mediante los softwares específicos del sensor BoxCarPro 3.01, Hoboware y Psiconf 1.1.



**Fig. 8. Equipos utilizados para el registro de variables ambientales.**

El relevamiento higrotérmico se efectuó durante el periodo coincidente con la Etapa 2, comenzando un día hábil laboral e incluyendo los días sin actividades (sábados y domingo). En este caso, se aplicó la metodología y protocolo de mediciones implementado en [17].

### 4.3. Indicadores de EE

Para determinar la línea base energética se utilizó un indicador de segundo nivel dentro de la pirámide de indicadores denominado *C2b*. En este estudio se consideró la energía activa consumida en un período considerado ( $E - kWh$ ), en función de la superficie total correspondientes a los sectores seleccionados ( $A - m^2$ ).

De esta forma el indicador de EE queda definido de la siguiente manera:

$$C2b = \frac{E (Kwh)}{A (m^2)} \quad (1)$$

Además, se calcula como segundo indicador el factor de potencia (FP) contemplado durante el período de relevamiento de datos, de la siguiente manera:

$$FP = \frac{P (Kw)}{S (KVA)} \quad (2)$$

Cabe destacar que el uso de instrumentos de medición es preponderante para el cálculo de los indicadores de EE a fin de implementar las propuestas de mejoras como resultado de las auditorías energéticas. La medición directa sobre equipos de consumo instalados arroja información sobre la eficiencia del propio equipo que se está analizando. Esta información puede cuantificarse por la energía no consumida, el aporte de uso final de cada elemento al consumo energético total, y la evolución de las pautas de consumo integral. Este tipo de conocimiento permite determinar con precisión las mejores prácticas que serán implementadas en cada sector para luego planificar las acciones hasta lograr la reducción del consumo energético.

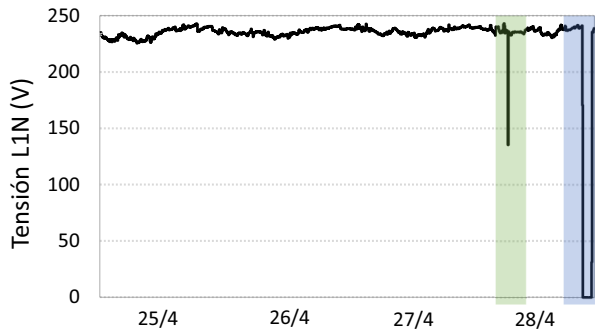
## 5. Resultados obtenidos y análisis de datos

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir de las variables medidas y registradas. En la Fig. 9 se muestra la tensión de línea de la fase A (L1N) medidas desde el tablero seccional. En la Fig. 9a se aprecian caídas de tensión y un corte total en el suministro eléctrico el día 28/04, además, se visualizan oscilaciones de tensión en todo el periodo medido. Para el periodo de invierno en la Fig. 9b se observan similares eventos ocurridos, caídas de tensión y un corte total en el suministro eléctrico el día 14/08. Las tendencias para las otras fases B (L2N) y fase C (L3N) son similares a la L1N.

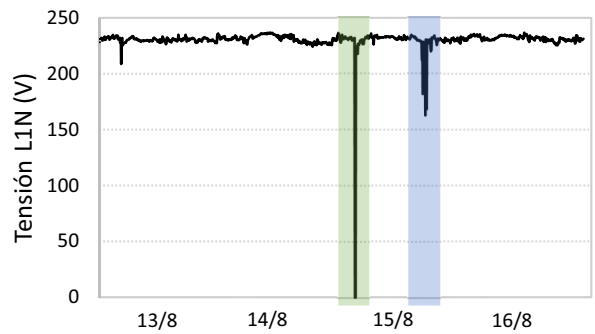
Por otro lado, en la Fig. 10 se muestran las tres corrientes registradas de fase A, B y C, C1N, C2N y C3N, respectivamente. Observando las variaciones de amplitudes de las corrientes se observan desequilibrios de corrientes dado que la mayoría de las cargas de uso final en el sector de estudio seleccionado son del tipo monofásicas. Es interesante notar que la corriente de la fase C es de mayor amplitud que el resto de las fases, además, se identifican marcados transitorios de corriente de forma cíclica en ambos periodos registrados. Sin dudas, este tipo de cargas deben ser caracterizada para tomar acciones correctivas o de mejoras tecnológicas en caso que no sea fundamental su utilización en horarios nocturnos. A partir de los valores máximos y mínimos instantáneos y conociendo la sección de los conductores, longitudes, resistencias, temperaturas de trabajo y disposición, es posible cuantificar las pérdidas eléctricas en la línea de alimentación que se producen durante un día.

En la Fig. 11 se presenta la demanda de potencia activa en kW. En el perfil de potencia para el periodo de otoño de la Fig. 11a, se identifica valores picos cercanos a los 9 kW en la L3N, mientras que, para la estación de invierno en la Fig. 11b, los máximos aumentaron hasta los 11 kW en la misma

línea, con mínimos en ambos periodos de 0,6 kW, aprox. Notar que este incremento también se ocasionó en la L2N para el estadio invernal.

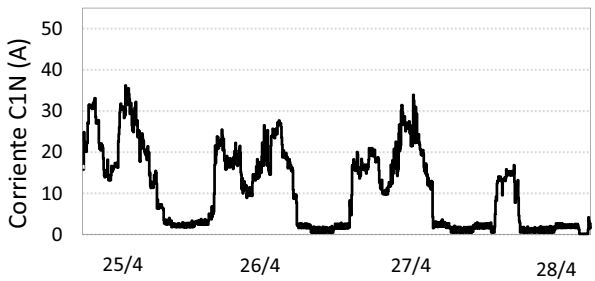


(a). Etapa 1: Estación de otoño.

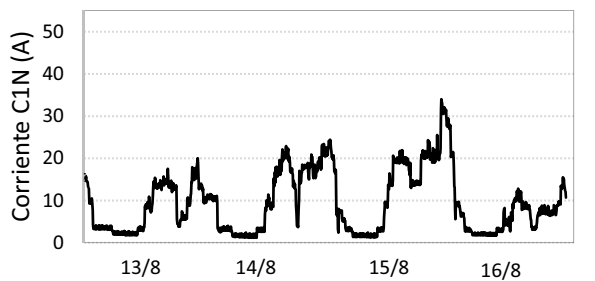


(b). Etapa 2: Estación de invierno.

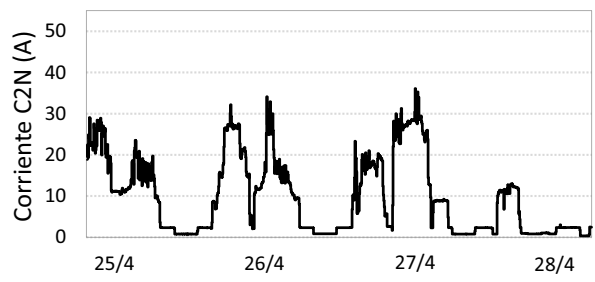
**Fig. 9. Tensión de la fase A (L1N).**



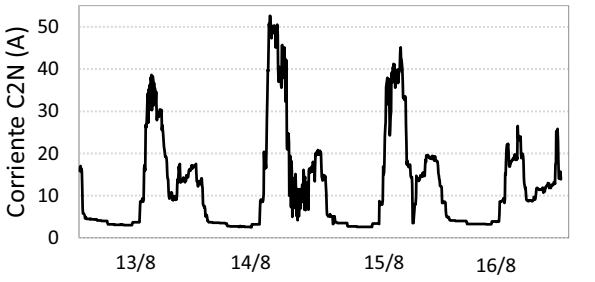
(a). Etapa 1: Estación de otoño.



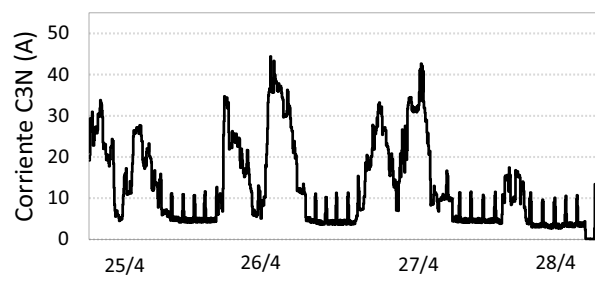
(b). Etapa 2: Estación de invierno.



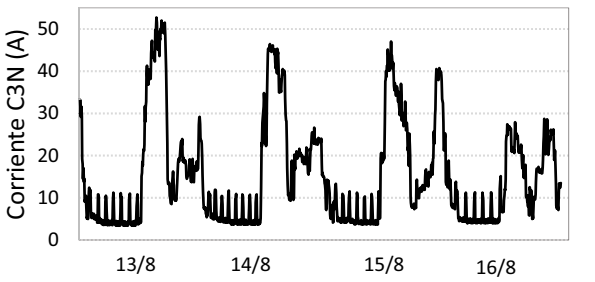
(a). Etapa 1: Estación de otoño.



(b). Etapa 2: Estación de invierno.



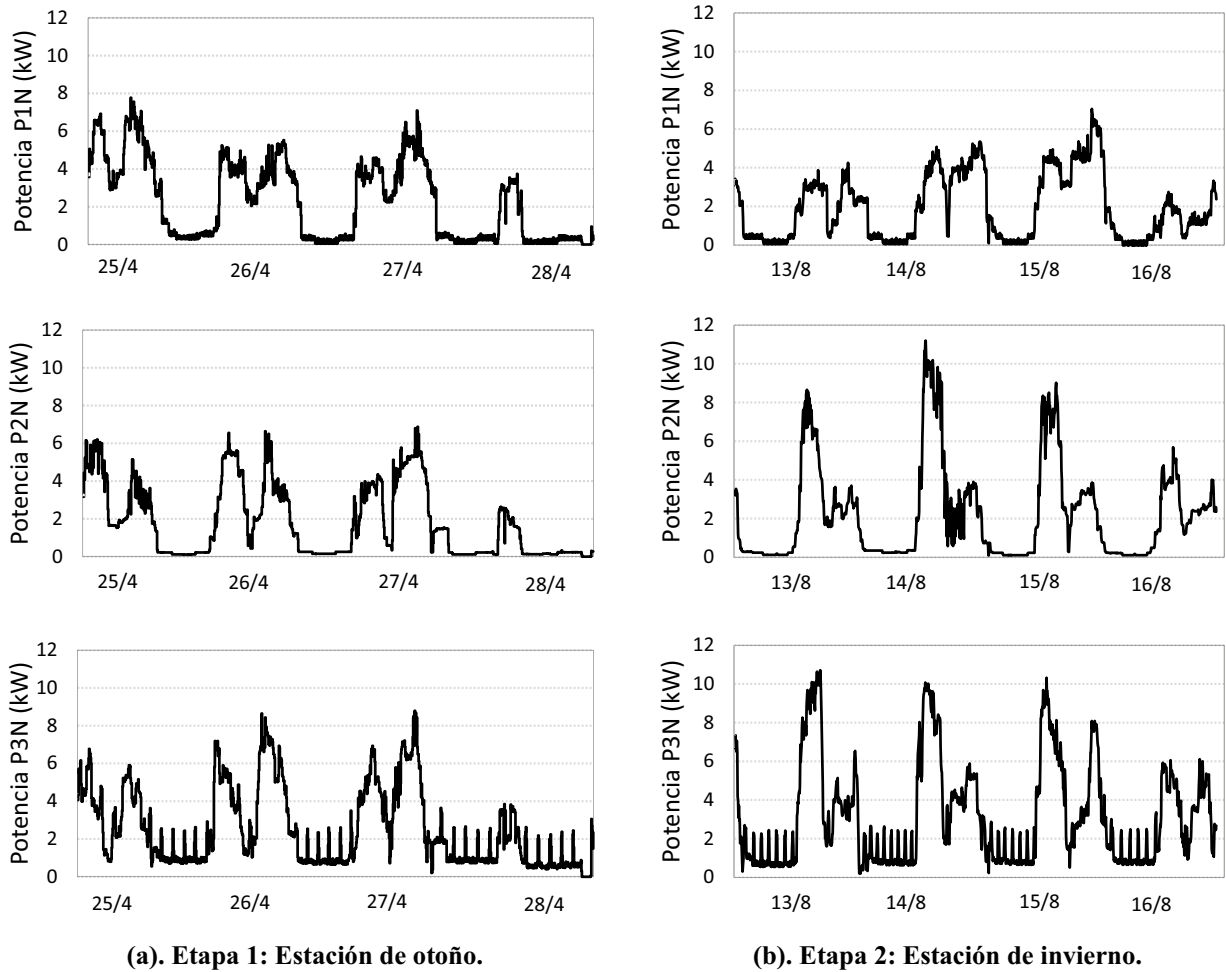
(a). Etapa 1: Estación de otoño.



(b). Etapa 2: Estación de invierno.

**Fig. 10. Corriente trifásica. Fase A (C1N), fase B (C2N) y fase C (C3N).**

La potencia que demanda la carga cíclica en la fase C puede cuantificarse en alrededor de 1 kW, representando una demanda de energía mínima en horarios nocturnos. A partir de los perfiles de potencias puede calcularse la energía en cualquier período de tiempo, y a partir de ello, realizar un análisis de EE al momento de efectivizar las acciones de cambio en la instalación y/o recambio de equipos obsoletos o mejoras en las conductas en el uso de los equipamientos.



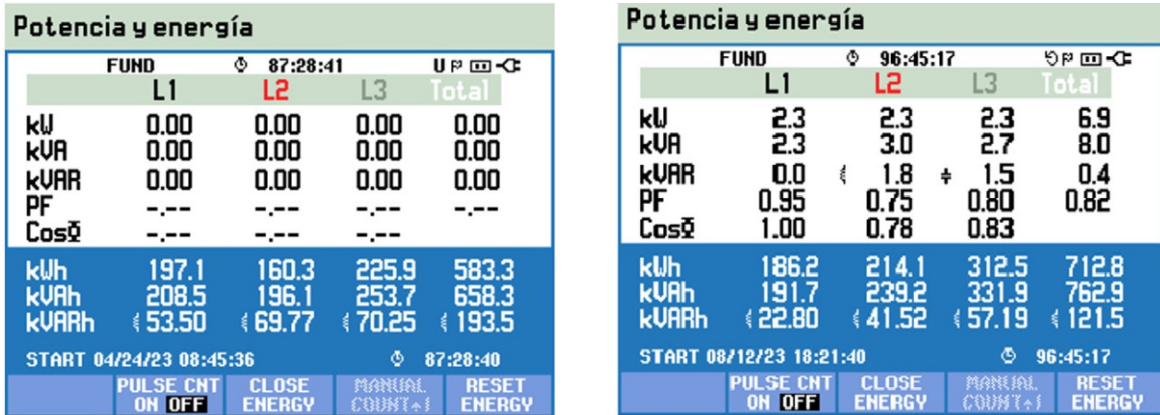
**Fig. 11. Potencia activa. Fase A (P1N), fase B (P2N) y fase C (P3N).**

En la Fig. 12 se muestran las imágenes correspondientes a las capturas de pantalla del instrumento, indicando el valor de la energía activa y reactiva durante ambos períodos medidos. La etapa 1 registró 583,3 kWh para un periodo de 87:28:40 h, mientras que en la etapa 2 se registró 712,8 kWh para un periodo de 96:45:17 h. El indicador de eficiencia energética definido en (1) resulta entonces de la relación entre la energía medida en kWh respecto del área total del sector estudiado. De esta manera, reemplazando los valores se obtiene:

$$C2b_1 = \frac{E [Kwh]}{A [m^2]} = \frac{583,3 kWh}{1060,5 m^2} = 0,55 \left[ \frac{Kwh}{m^2} \right] \tag{3}$$

$$C2b_2 = \frac{E [Kwh]}{A [m^2]} = \frac{712,8 kWh}{1060,5 m^2} = 0,68 \left[ \frac{Kwh}{m^2} \right] \tag{4}$$





(a). Etapa 1: Estación de otoño.

(b). Etapa 2: Estación de invierno.

Fig. 12. Pantalla de registro del analizador de calidad de energía.

Este indicador representa la línea base energética de referencia sobre la cual las acciones de mejoras implementadas para la reducción del consumo de energía eléctrica deben impactar de forma directa sobre su magnitud. Por lo tanto, el sistema de gestión de la energía deberá realizar la actualización y el seguimiento de este indicador a través de futuras campañas de mediciones.

Por otro lado, es posible calcular el *FP* para ambos períodos de medición, ya que este valor es fundamental para la prestataria del servicio eléctrico.

El *FP* promedio resulta entonces:

$$FP_1 = \frac{583,3 [KWh]}{658,3 [KVAh]} = 0,88 \tag{5}$$

$$FP_2 = \frac{712,8 [KWh]}{762,9 [KVAh]} = 0,94 \tag{6}$$

Calculando el consumo de potencia promedio en los periodos totales, se obtiene para la Etapa 1:

$$P_{t1} = \frac{583,3 [KWh]}{87,47 [h]} = 6,67 kW \tag{8}$$

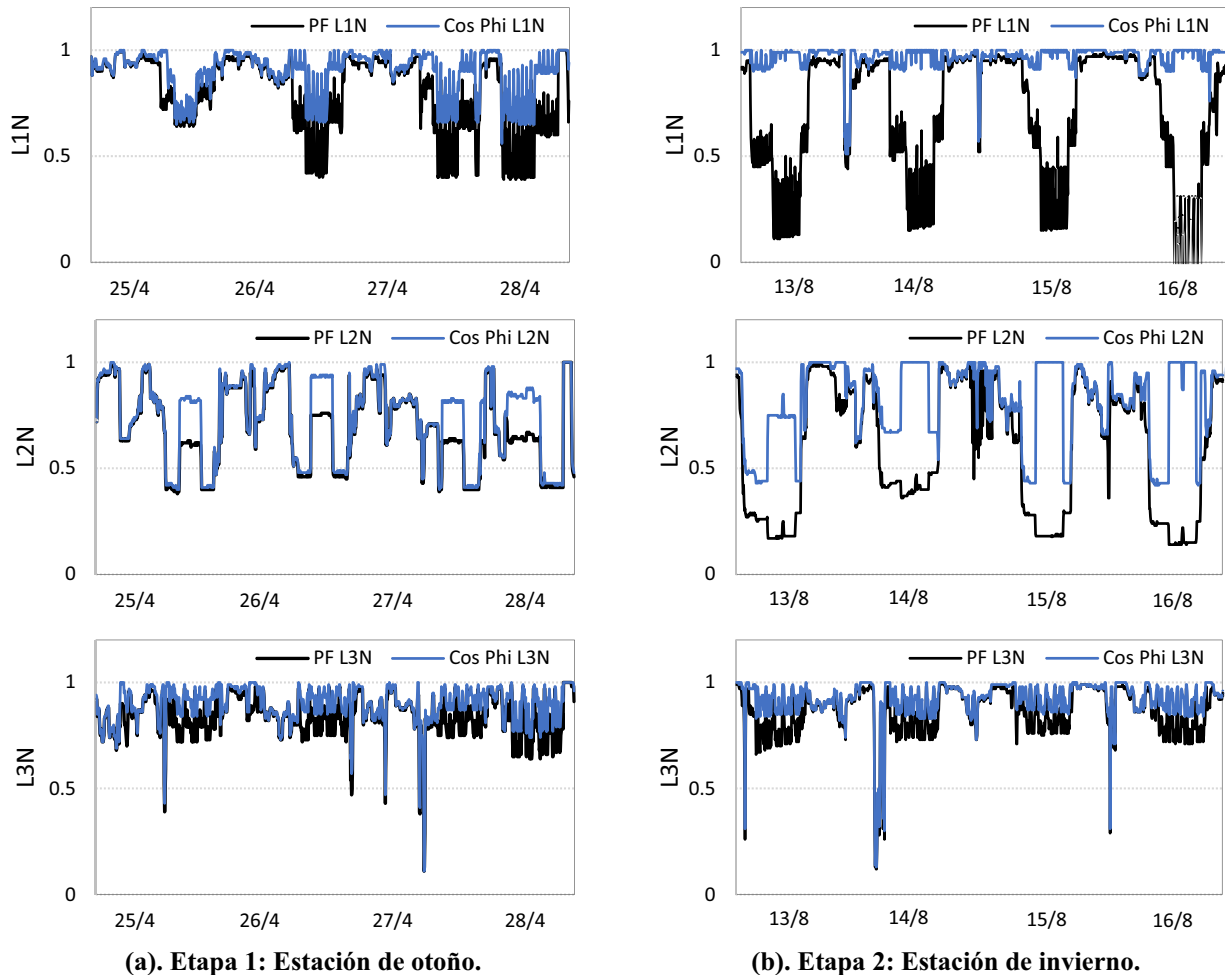
y para la Etapa 2:

$$P_{t2} = \frac{712,8 [KWh]}{96,78 [h]} = 7,37 kW \tag{9}$$

Se observa el incremento de consumo en la estación invernal debido a las bajas temperaturas. También se observa una mejora en el factor de potencia, posiblemente, por el hábito de utilizar cargas del tipo resistivas para la calefacción. El *FP* exigido por la prestataria que brinda el servicio de energía eléctrica, en general, deberá ser igual o mayor a 0,95 por lo cual el valor obtenido indica que debe mejorarse para optimizar el uso de la energía eléctrica. Para mejorar esta condición se requiere tomar medidas correctivas mediante el dimensionamiento y la conexión de bancos de capacitores. Con esta implementación se pretende, por un lado, mitigar posibles sanciones por *FP* por debajo de los límites establecidos en las normas vigentes y por la prestataria de servicio eléctrico, por otro, reducir las pérdidas en los conductores de alimentación por la potencia reactiva demandada.

En la Fig. 13 se presenta la evolución del coseno de fi instantáneo y el *FP*. Se observa en ambos periodos diferencias entre ambos indicadores, en mayor medida en las fases A (L1N) y fase B (L2N). Esto se produce por la presencia de cargas no lineales que originan corrientes no senoidales, tales

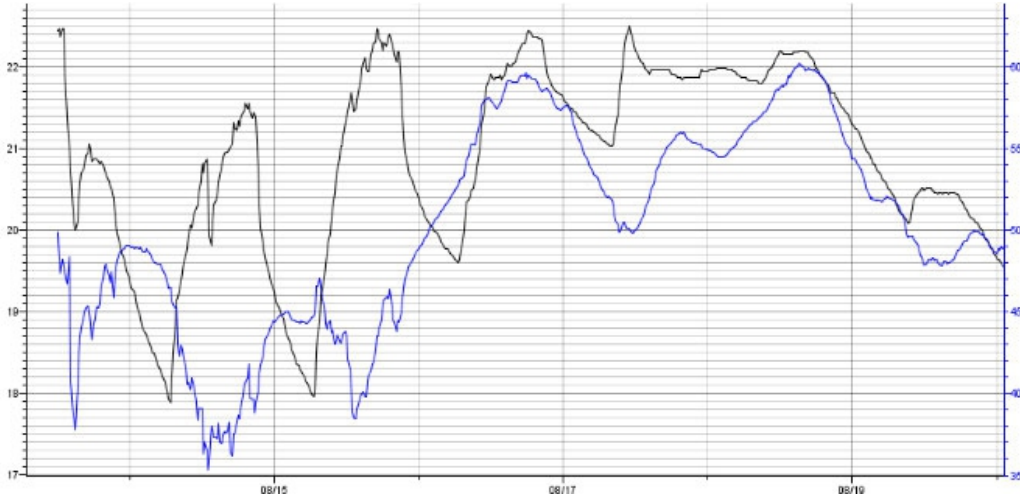
como las fuentes de alimentación conmutadas de equipos informáticos, los aires acondicionados, etc. Este comportamiento puede ser comparado con el perfil de demanda de potencia activa de la Fig. 9 a fines de ubicar y caracterizar la carga preponderante de la instalación que causan tales efectos.



**Fig. 13.** Perfil de curvas de  $\cos \phi$  instantáneo yFP. Fase A (L1N), fase B (L2N) y fase C (L3N).

Finalmente, en la Fig. 14 y la Fig. 15 se presenta la evolución de las variables de temperatura en grados centígrados ( $^{\circ}\text{C}$ ) y la humedad relativa ambiente (%) desde el 13/08 hasta el 19/08 de 2023. Estos registros coinciden con cuatro días de registro de la Etapa 2. Las variables fueron medidas y registradas por los sensores instalados en el sector de administración de la FI y en el ambiente exterior.

En un primer análisis puede observarse que la temperatura y la humedad relativa ambiente medidas dentro del sector en estudio se ubican en el rango de la zona de confort, según el modelo bioclimático según Givoni [18] y aplicado en [17]. La mínima temperatura registrada en el interior del recinto fue de  $17,89^{\circ}\text{C}$ , mientras que la máxima de  $22,47^{\circ}\text{C}$ . Cabe aclarar que se utilizaron los equipos de climatización en los horarios normales de oficina, mientras que, para el mismo período de tiempo, las variables climatológicas registradas, estuvieron por momentos fuera de los rangos de confort para el periodo de medición en la estación invernal. Durante la semana de registro, la temperatura exterior alcanzó el valor mínimo por debajo de los  $10^{\circ}\text{C}$  entre los días 13/08 al 15/08. Luego, la temperatura exterior fue incrementando hasta llegar a superar los  $25^{\circ}\text{C}$ .



**Fig. 14. Registro en el interior del sector de administración de la FI de la temperatura (curva de color negro) y la humedad relativa (%).**



**Fig. 15. Registro en el ambiente exterior de la temperatura (curva de color negro) y la humedad relativa (curva color azul).**

De manera similar al análisis realizado en [12], estas exclusiones de temperatura pueden correlacionarse entre los perfiles de temperaturas y el consumo de energía eléctrica. Teniendo en cuenta que los equipos de acondicionamiento ambientes representan el 40% de la potencia instalada del sector y que el 62% se encuentran conectados en el sector de oficinas, puede inferirse que la mayor parte del consumo de energía fue debido al uso de los equipos por las bajas temperaturas invernales.

## 6. Conclusiones

En este trabajo, se aplicó un procedimiento metodológico para estudiar y evaluar el consumo de energía en las instalaciones de educación tecnológica (IET) como parte de un Sistema de Gestión de la Energía (SGE). El análisis se realizó en las instalaciones edilicias de la Facultad de Ingeniería (FI) de la Universidad Nacional de Misiones (UNaM) con el objetivo de implementar acciones de mejoras para el incremento de la eficiencia energética (EE). El relevamiento de equipamientos instalado se realizó en los sectores que incluyen oficinas, aulas y espacios comunes. En este sector particular se determinó que alrededor del 50% de la potencia instalada corresponden con los equipos de acondicionadores de ambientes e informáticos. Luego, se ubica en orden de importancia el sistema

de iluminación con el 22% del total de las cargas. Esta caracterización es primordial para enfocar las propuestas de mejoras en este sector de la FI.

Se presentaron las mediciones de variables eléctricas para dos escenarios diferentes de consumo: estación de otoño e invierno. En base a la demanda de potencia activa se cuantificaron los valores picos por fase cercanos a los 9 kW para el periodo de otoño y de 11 kW para la estación invernal. En ambos casos se calculó un indicador que representa la línea base energética de referencia que ronda entre los 0,55 kW/m<sup>2</sup> y 0,68 kW/m<sup>2</sup> entre ambas estaciones del año. Por otro lado, a partir de la energía consumida total y el tiempo de registro se calculó la potencia activa en ambos escenarios, obteniendo un incremento de potencia consumida de alrededor de 700 W durante el invierno. Esta diferencia se ocasiona, posiblemente, debido al aumento de las horas en el uso de calefactores por las bajas temperaturas exteriores. En ambas etapas de mediciones se detectaron valores de factor de potencia (FP) por debajo de lo establecido por la prestataria del servicio de energía eléctrica, afectando de manera directa el desempeño de los equipos instalados. En cuanto a las variables de temperatura registradas por sensores, se registraron mínimos de 17,89 °C durante la estación invernal en recintos cerrados, con temperaturas mínimas exteriores inferiores a 10 °C. Teniendo en cuenta que los equipos de acondicionamiento ambientes representan cerca del 40% de la potencia instalada del sector, entre aires acondicionados y calefactores resistivos, puede concluirse que la mayor parte del consumo de energía se debe al uso de estos equipos por las bajas temperaturas invernales.




La distribución de la potencia instalada por sectores requiere mayor profundidad de análisis en cuanto al cronograma de uso de las aulas y el uso de los equipos de mayor potencia. Este análisis y la implementación de acciones de mejoras detectadas serán objeto de futuros trabajos a partir de la correlación de los datos presentados en este trabajo. Además, resulta importante verificar si los niveles de iluminación artificial y la iluminación natural cumplen con los requisitos mínimos para los distintos ambientes analizados según las normativas vigentes. La implementación de políticas de eficiencia energética en la FI-UNaM es fundamental dado que desde su concepción no se han realizado estudios que permitan reducir las pérdidas de energía.

## Referencias

- [1] International Energy Agency - IEA, Indicadores de eficiencia energética: Bases esenciales para el establecimiento de políticas, París, Francia: OCDE/AIE, 2015.
- [2] Q. Chunguang, C. Xiaojuan, Y. Shasha and Y. Xin, "Analysis on the influencing factors of carbon emission in China's logistics industry based on LMDI method," in *Science of the Total Environment*, vol. 734, p. 138473, 2020.
- [3] D. Maita, "Las mejores prácticas en eficiencia energética según la ciencia del comportamiento," en *Congreso Internacional de Distribución Eléctrica – CIDEL 2018*, Buenos Aires, Argentina, 2018.
- [4] N. D. A. Soza A. E., "Una experiencia práctica respecto a la instalación de bancos de capacitores en distribuidores de MT para reducir pérdidas técnicas," en *Congreso Internacional de Distribución Eléctrica – CIDEL 2018*, Buenos Aires, Argentina, 2018.
- [5] A. B. D. N. Pérez, "Nuevos indicadores de pérdidas de energía aplicados en una empresa de distribución de energía eléctrica," en *Congreso Internacional de Distribución Eléctrica – CIDEL 2018*, Buenos Aires, Argentina, 2018.
- [6] Churio Silvera, O., Vanegas Chamorro, M., y Valencia Ochoa, G, "Estudio y diagnóstico de la calidad de la energía de un campus universitario en la costa norte de Colombia," *Avances Investigación En Ingeniería*, 2018, 15(1), 271–285, 2018.
- [7] L. I. Silva, A. G. Bucciarelli, C. H. Berrino and D. M. Ferreyra, "Impact produced by a photovoltaic system on the energy utilization in an educational building," en *XVIII Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control (RPIC)*, Bahía Blanca, Argentina, 2019, pp. 1-6.

- [8] A. J. Kerkoff, P. M. Bárbaro. and E. J. Toledo, “Pre liminary analysis of energy consumption in public buildings with IRAM-ISO 50001 approach. Case study: Faculty of Engineering Oberá,” *2020 IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON)*, 2020, pp. 1-8.
- [9] L. D. Bosco, G. R. Catuogno and H. D. Flores, “Energy Efficiency of Street Lighting in the Municipality of Villa Mercedes, San Luis,” *2020 IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON)*, 2020, pp. 1-4.
- [10] F. A. Bengier, G. E. Kazlauskas, C. R. Ruschetti, S. R. Rossi y M. Meira, “Análisis y propuestas de mejoras para el uso eficiente de la energía eléctrica en el complejo universitario de Olavarría,” *en XIX Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control (RPIC)*, San Juan, Argentina, 2021, pp. 194-199.
- [11] F. Y. Poy y P. D. Donolo, “Propuesta para la detección del cambio de tipo de suministro eléctrico en edificios a partir de su perfil de carga,” *en XIX Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control (RPIC)*, San Juan, Argentina, 2021, pp. 585-589.
- [12] A. M. Díaz Rodríguez, J. B. Cogollos Martínez, J. Peña Acción, A. Cogollos Izaguirre, y R. González Álvarez, “Modelo matemático para predecir el consumo de energía eléctrica en la Universidad de Cienfuegos,” *en Revista Universidad y Sociedad*, 12(4), 21-31, 2020.
- [13] J. A. Potschka, M. O. Oliveira, M. A. Mazzoletti and R. C. Brazzola, “Electric Energy Consumption Prediction in Technological Education Buildings Using Linear Regression Method,” *2022 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)*, San Juan, Argentina, 2022, pp. 1-6.
- [14] J. A. Potschka, M. O. Oliveira, M. A. Mazzoletti and R. C. Brazzola, “Energy Efficiency in Technological Education Buildings: A study case at UNaM,” *2020 IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON)*, Resistencia, Argentina, 2020, pp. 1-6.
- [15] *ISO 50001:2018. Energy Management Systems—Requirements with Guidance for Use*; ISO/IEC: Geneva, Switzerland, 2018.
- [16] Instituto Argentino de Normalización y Certificación - IRAM, IRAM 62406-2007: Etiquetado de eficiencia energética para acondicionadores de aire, Buenos Aires, Argentina: IRAM, 2007.
- [17] C. R. Brázzola y J. D. Czajkowski, “Evaluación higrotérmica en viviendas económicas. Comportamiento de invierno de la “casa cajón” Estudio de caso,” *en Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 11, p.p. 9-15, 2007.
- [18] B. Givoni. *Man, Climate & Architecture*. 2nd Edition, Applied Science Publishers, Ltd., London, 1976.

## Desempenho das Proteções ANSI 87, 50 e 51 com Pacotes Sampled Values Corrompidos

Ângelo Felipe Sartori<sup>a</sup> , Adriano Peres de Moraes<sup>a</sup> , Diomar A. Copetti Lima<sup>a,\*</sup> 

Júlia Rambo Hammarstron<sup>a</sup> 

<sup>a</sup> Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Tecnologia. CEESP.  
Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

e-mails: [sartori.af@gmail.com](mailto:sartori.af@gmail.com), [adriano@ctism.ufsm.br](mailto:adriano@ctism.ufsm.br), [diomar.lima@acad.ufsm.br](mailto:diomar.lima@acad.ufsm.br), [julia.rambo@hotmail.com](mailto:julia.rambo@hotmail.com)

---

### Resumo

Este artigo investiga o comportamento das proteções IEEE C37.2 50/51 e 87T com o protocolo *Sampled Values* (SV) da IEC 61850-9-2, considerando a integridade dos dados. Utilizou-se a representação computacional de uma subestação de distribuição real no simulador Opal-RT OP 5700, com testes de *software-in-the-loop*. Os valores de corrente foram enviados das TCs para as *Merging Units* (MU) virtuais, que publicaram pacotes de dados SV em uma rede *ethernet*, sendo os IEDs virtuais programados para assinar esses dados. Diversos problemas de transmissão, como atraso, perda ou duplicação de pacotes, foram simulados. Os testes mostraram que a proteção 87T foi afetada tanto em operação normal quanto em situações de falta, enquanto a proteção de sobrecorrente 50/51 manteve-se estável em condições normais, mas foi comprometida em situações de falta e degradação dos *frames* SV. Conclui-se que a integridade dos pacotes de dados SV é crucial para o funcionamento eficiente das proteções.

**Palavras-Chave** – ANSI 87T, IEC 61850-9-2, IEEE C37.2 50/51, Proteção de SEP, Sampled Values e Software in-the-loop.

---

### Abstract

This paper investigates the behavior of the IEEE C37.2 50/51 and 87T protections with the Sampled Values (SV) protocol of IEC 61850-9-2, considering data integrity. A computational representation of a real distribution substation was used in the Opal-RT OP 5700 real-time simulator, with software-in-the-loop tests. Current values were sent from the CTs to the virtual Merging Units (MUs), which published SV data packets on an ethernet network, with virtual IEDs programmed to subscribe to these data. Various transmission issues, such as delays, packet loss, or duplication, were simulated. The tests showed that the 87T protection was affected both in normal operation and fault conditions, while the 50/51 overcurrent protection remained stable under normal conditions but was compromised during faults and SV frame degradation. It is concluded that the integrity of SV data packets is crucial for the efficient operation of the protections.

**Keywords** – ANSI 87T, IEC 61850-9-2, IEEE C37.2 50/51, Power System Protection, Sampled Values and Software in-the-loop.

---

### SÍMBOLOS

A Ampère.  
kV Quilovolt.  
m mili ( $10^{-3}$ ).  
MVA Mega Volt Ampère.  
rms Rotações por minuto  
s Segundos.

---

## 1. Introdução

A interoperabilidade entre dispositivos eletrônicos inteligentes (IEDs) é um princípio fundamental da norma IEC 61850. Esta norma define, entre vários aspectos, uma série de

protocolos de comunicação, como MMS, GOOSE e *Sampled Value* (SV), com o objetivo de estabelecer um sistema de automação de subestações aberto e interoperável [1]. Embora os protocolos MMS e GOOSE já estejam amplamente difundidos, o protocolo SV ainda é pouco explorado. Esta lacuna de exploração deve-se às incertezas relacionadas ao comportamento dos esquemas de proteção quando submetidos a pacotes de dados SV corrompidos, duplicados ou com atrasos.

Diante desse cenário, surge a necessidade de uma investigação minuciosa sobre a aplicação do protocolo SV no funcionamento dos sistemas de proteção. A hipótese principal é que a integridade dos pacotes de dados SV afeta significativamente a eficiência das proteções, podendo comprometer o seu desempenho em situações críticas.

O objetivo deste artigo é avaliar o impacto desses problemas sobre o funcionamento das funções de proteção IEEE C37.2 50/51 e 87T, proporcionando uma caracterização detalhada do comportamento dessas proteções em um ambiente simulado. A contribuição deste trabalho reside na identificação dos principais desafios e na proposição de soluções para aprimorar a confiabilidade dos sistemas de proteção utilizando o protocolo SV da IEC 61850-9-2.

## 2. Norma IEC 61850

A criação da norma IEC 61850 foi um marco na automação de subestações (SE), pois permitiu a interoperabilidade entre diversos fabricantes, possibilitando o desenvolvimento de novos processos de engenharia, esquemas de proteção e automação. Isso implicou em um novo paradigma para a construção de subestações. A implementação do barramento de processos, que inclui a interface com o Sistema Elétrico de Potência (SEP), infraestrutura de rede, sincronismo de tempo e protocolo SV, representa o futuro para os sistemas de proteção. Este novo sistema substitui tanto o circuito trifilar entre transdutores e IEDs quanto o circuito funcional por um sistema baseado na tecnologia de rede Ethernet [2].

A utilização do protocolo GOOSE da norma IEC 61850 já é uma realidade em diversas subestações de energia no mundo. Atualmente, o protocolo SV tem sido utilizado apenas em projetos pilotos, ainda não sendo uma solução consolidada na digitalização das subestações. Diferentemente do protocolo GOOSE, o protocolo SV não possui um mecanismo de repetição das mensagens enviadas, o que pode resultar em impactos negativos sobre o funcionamento de algumas funções de proteção, como no caso de um frame corrompido [3].

Outro aspecto a ser considerado é o atraso de comunicação máximo definido pela norma IEC 61850. Para mensagens de tempo crítico, o atraso varia de 3 a 4 ms, independentemente das condições de tráfego na rede de comunicação do barramento de processo [4]. Devido a isso, diversos estudos atuais estão focados na análise dos efeitos dos atrasos na transmissão ([5];[6]; [7]) e dos problemas de sincronismo de tempo [8] sobre o comportamento das funções de proteção que utilizam o protocolo SV. Observa-se uma carência nas publicações sobre os efeitos da duplicação, perda e atraso de pacotes SV no funcionamento dos sistemas de proteção. Uma abordagem comum para lidar com esses problemas consiste em bloquear as funções de proteção assim que alguma anomalia nos pacotes SV seja detectada.

## 3. Simulação em tempo real

As simulações em tempo real e malha fechada vêm cada vez mais sendo utilizadas por empresas do setor elétrico. Os simuladores em tempo real (RTS), do inglês *Real-time Simulators*, estão mais

acessíveis, permitindo assim, trazer parte da simulação em tempo real para o meio físico. Para garantir que a simulação está sendo executada em tempo real, o RTS deverá garantir uma coerência temporal, isto é, em um ciclo de tempo processar o modelo, ler sinais e gerar sinais ao dispositivo sob ensaio. Para realizar testes com RTS, 3 opções de ensaios são mais frequentemente realizadas: *software-in-the-loop*, *hardware-in-the-loop* e *power hardware-in-the-loop*.

### 3.1. *Opal-RT*

Entre os fabricantes de RTS, as empresas OPAL-RT Technologies, Typhoon HIL e RTDS Technologies lideram o mercado e são uma ótima opção, tanto para Universidades e Centros de Pesquisa, quanto, para empresas que trabalham com desenvolvimento de produtos, pesquisa e inovação. Para a realização das simulações em tempo real deste artigo, foi utilizado o RTS da OPAL-RT Technologies, modelo OP5700. A Fig. 1 (a) mostra uma foto da parte frontal do equipamento. Algumas características em termos técnicos do OP5700 são:

- 16 canais de saída analógica com resolução de 16 bits e amplitude de até  $\pm 16V$ ;
- 16 canais de entrada analógica com resolução de 16 bits e amplitude de até  $\pm 20V$ ;
- 32 canais de saída digital com isolação óptica;
- 32 canais de entrada digital com isolação óptica;
- Processador INTEL XEON 8 núcleos 3,2GHz;
- 16 GB de memória RAM.

A Fig. 1 (b) mostra uma vista da parte de trás do equipamento onde estão as I/O (entradas/saídas analógicas/digitais). A parte frontal é utilizada para fins de visualização dos sinais, conectando um osciloscópio, por exemplo. Na parte de trás do simulador, cada grupo de sinais possui uma determinada configuração de pinagem, e através de um conector DB37, pode-se realizar a conexão com o hardware externo.



Fig. 1. (a) RTS OPAL-RS modelo OP5700 vista frontal. (b) RTS OPAL-RS modelo OP5700 vista traseira.

### 3.2. *Manipulação de Dados SV*

A Fig. 2 apresenta o bloco da Manipulação de Integridade de Dados (“*Data Integrity Manipulation - DIM*”) utilizado para realização dos testes deste artigo. Esse componente faz parte do software HYPERSIM da OPAL-RT. Trata-se de um componente que força a publicação dos pacotes SV a erros na transmissão, permitindo realizar diversas manipulações dos *frames* transmitidos pela rede ethernet. É constituído por múltiplas entradas (u) e múltiplas saídas (y).

O componente IEC 61850 DIM é usado para realizar seis tipos diferentes de manipulações nas mensagens do *Sampled Values Publisher*. A Tabela 1 apresenta o tipo de erro e suas descrições. Para realização dos testes deste artigo foram utilizados os três primeiros, visto que são os que



podem afetar o funcionamento dos IEDs virtuais. Os demais, são apenas para apresentar as funcionalidades do bloco.

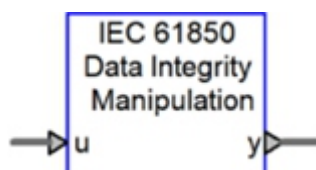


Fig. 2. Bloco *Data Integrity Manipulation*.

Tabela 1. Manipulações realizadas

Tipo de Manipulação	Descrição
Perda	Simula a perda de pacotes SV na rede.
Atraso	Simula um atraso determinado na rede atrasando <i>frames</i> por um período especificado.
Duplicação	Simula uma topologia de rede errada em que os pacotes enviados pelo publicador serão enviados várias vezes duplicado.
<i>SmpCnt</i>	Simula um reset do relógio do IED manipulando o <i>smpCnt</i> .
<i>SmpSynch</i>	Simula a perda de sincronismo manipulando o <i>smpSynch</i> .
Qualidade	Altera a qualidade dos valores de tensão e corrente.

#### 4. Sistema teste

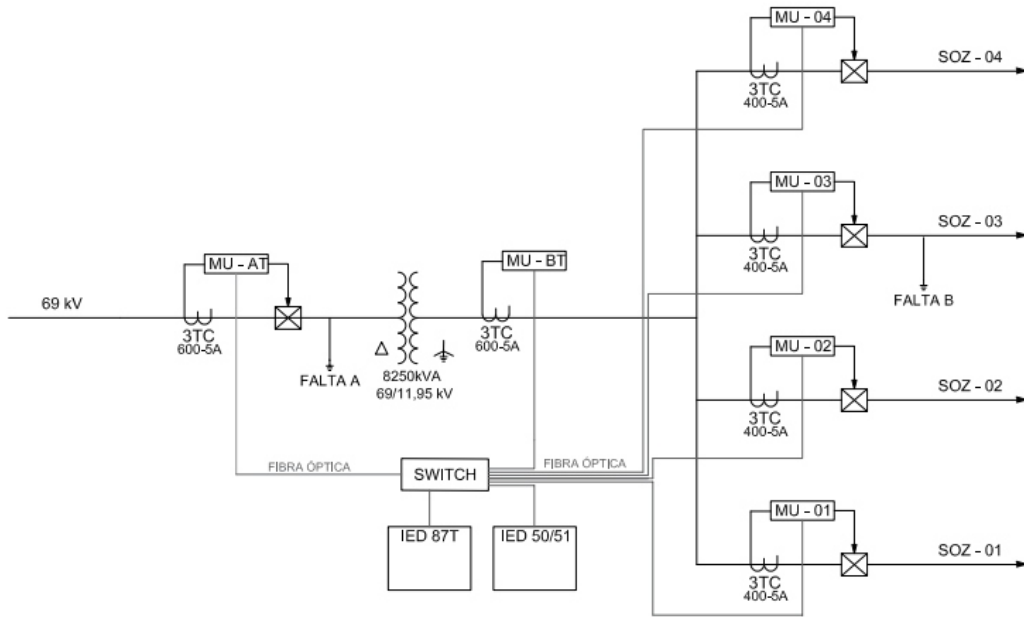
O Sistema teste utilizado é uma subestação abaixadora. Sendo constituído por um transformador abaixador de 8,25 MVA – 69/11,95 kV com a proteção 87T. Além de possuir 4 alimentadores protegidos pela proteção IEEE C37.2 50/51 (SOZ-01 a SOZ-04). A transmissão dos valores de secundário do transformador de corrente (TC) é realizada por MU virtuais que transmitem por meio do protocolo SV, enquanto os *TRIPs* dos disjuntores são realizados pelo protocolo *GOOSE*. A Fig. 3 apresenta o diagrama unifilar da subestação. Para os testes considerou-se a subestação operando com os níveis de carregamento nominal dos TCs do transformador ( $\approx 5A$  no secundário do TC).

##### 4.1. Testes Realizados

Os testes foram realizados em duas funções de proteção: na proteção 87T e na proteção IEEE C37.2 50/51. Para cada proteção, os testes foram focados em duas condições de operação: Condição normal e condição de falta no SEP.

Nos testes para a condição normal de operação foram realizadas diversas manipulações (perda de pacote, atraso e duplicação de *frames*). O objetivo destes testes é determinar o limiar de degradação de desempenho das mensagens SV responsável por causar má operação das funções de proteção.

Já para o segundo teste, em condição de falta, realizou-se uma manipulação dos *frames* poucas amostras após o início de uma falta trifásica. O objetivo destes testes é observar os efeitos que ocorrem no tempo de atuação da proteção em comparação a uma condição de falta trifásica sem a manipulação em seus *frames*. Para o caso da proteção 87T a falta foi realizada no lado de alta tensão (AT), isto é, antes do transformador (FAL TA A) e na proteção IEEE C37.2 50/51 a falta foi realizada logo após o TC do alimentador SOZ-03 (FALTA B). A Tabela 2 apresenta os valores de parametrização da proteção 87T e na Tabela 3 os valores de parametrização da proteção IEEE C37.2 50/51.



**Fig. 3. Sistema teste.**

**Tabela 2. Parametrização da proteção 87T**

Parâmetro	Valor
<i>Pickup</i> (prim)	25 A
$I_{BREAKPOINT}$ (prim)	30 A
<i>Slope</i> 1	0,3
<i>Slope</i> 2	0,5

**Tabela 3. Parametrização da proteção 50/51**

Parâmetro	Fase	Neutro
<i>Pickup</i> (prim)	400	120
Curva	IEC-NI	IEC-NI
<i>Dial</i>	0,15	0,30
<i>Pickup inst</i> (prim)	2400	2000

**5. Resultados**

*5.1. Proteção Diferencial do Transformador (87T)*

A fim de estimar os efeitos da perda de pacotes na proteção diferencial, considerou-se a condição de operação nominal sem falta. Na ocorrência de perdas de pacotes, realizou-se diversos bloqueios do envio dos pacotes SV variando de um em um até a atuação indevida da proteção diferencial do transformador.

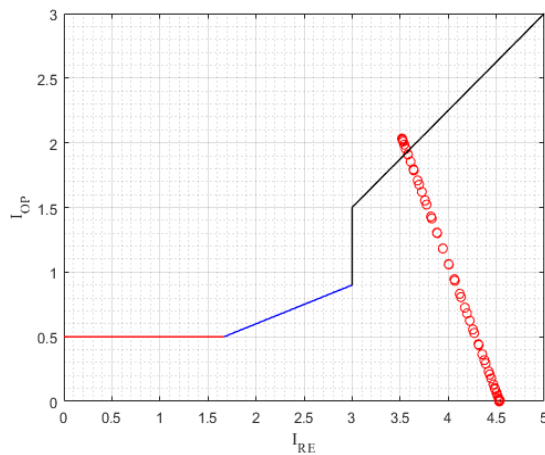
Observou-se que com aproximadamente 28 amostras consecutivas perdidas pelo assinante são suficientes para a proteção 87T atuar indevidamente, isto é, aproximadamente 35% de um ciclo. A Tabela 4 apresenta os limiares dos testes. As manipulações apresentadas foram realizadas na MU do lado AT do transformador. O mesmo comportamento foi identificado quando a manipulação

ocorreu no lado BT do transformador. Cabe ressaltar, que esse comportamento observado, está relacionado ao valor de parametrização da proteção 87T.

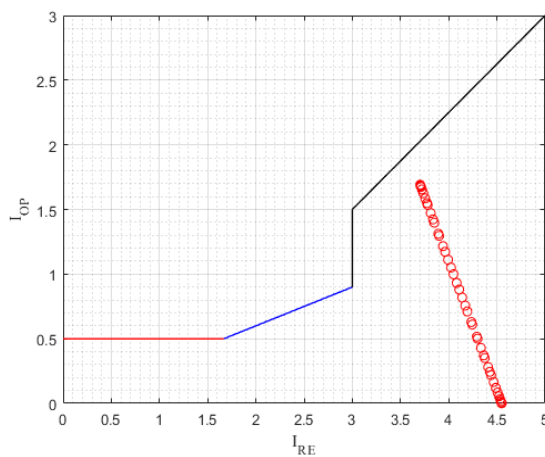
**Tabela 4. Perda de pacotes na MU do lado AT**

Pacotes perdidos	Carga nominal
27	Funcionamento correto
28	Atuação indevida

A Fig. 4 apresenta a relação de corrente de operação e restrição. Observa-se na Fig. 4 (a) um caso com 28 pacotes SV perdidos. A corrente de operação x restrição ultrapassou o *slope* de 50% provocando a atuação da proteção. Já na Fig. 4 (b) um caso de 25 pacotes perdidos onde não houve a atuação indevida da proteção.



(a)



(b)

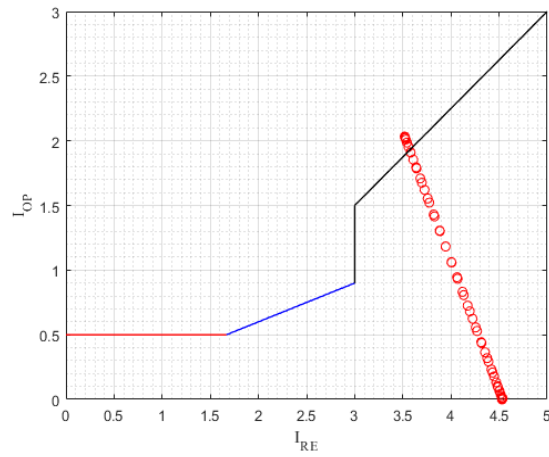
**Fig. 4. Corrente de operação x restrição (a) 28 pacotes perdidos (b) 25 pacotes perdidos.**

O atraso é um dos problemas que fazem com que a proteção atue indevidamente. A Tabela 5 apresenta os limiares para a atuação da proteção quando ocorre o atraso na transmissão dos pacotes SV. Conforme pode ser visto, realizar um atraso na MU do lado AT do transformador com aproximadamente 1,46 ms já é suficiente para o incorreto funcionamento da proteção 87T. Os testes demonstraram resultados iguais quando a manipulação ocorreu na MU do lado BT do transformador.

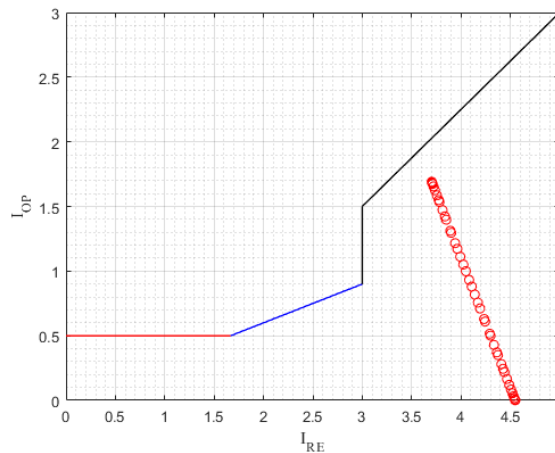
**Tabela 5. Delay na MU do lado AT**

Atraso (ms)	Carga nominal (100%)
1,45	Funcionamento correto
1,46	Atuação indevida

A Fig. 5 apresenta as correntes de restrição e operação em condição de atraso na chegada dos pacotes SV. Conforme pode-se observar na Fig. 5(a), com 2 ms há atuação indevida da proteção, enquanto na Fig. 5(b) o atraso não foi suficiente para a atuação indevida.



**(a)**



**(b)**

**Fig. 5. Corrente de operação x restrição (a) 2 ms de atraso (b) 1,3 ms de atraso.**

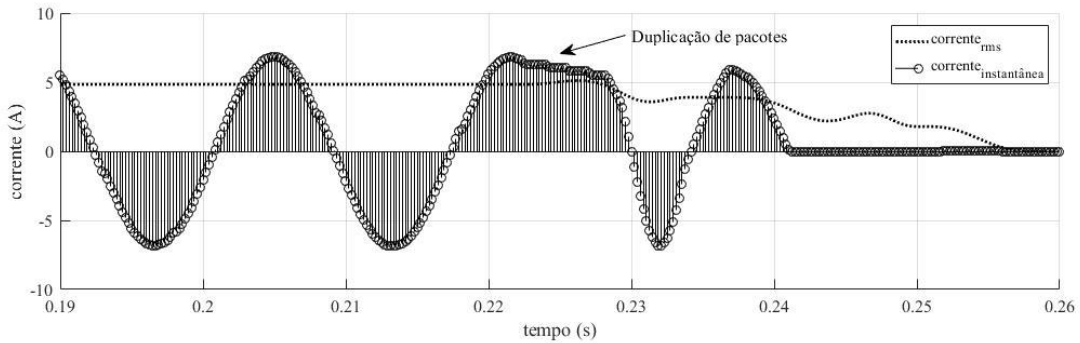
A duplicação dos pacotes SV foi um fator que afetou o correto funcionamento da proteção diferencial 87T. A Tabela 6 mostra os valores limiares que afetaram a proteção. A “Qtd de Pacotes Duplicados” indica quantas vezes uma determinada amostra é duplicada e “Qtd Pacotes consecutivos” são a sequência de pacotes que foram duplicados.

**Tabela 6. Duplicação na MU do lado AT**

Qtd Pacotes Duplicados	Qtd Pacotes consecutivos	Carga nominal (100%)
15	4	Funcionamento correto
15	5	Atuação indevida

A Fig. 6 mostra o resultado do sinal da corrente sob condições de duplicação de pacotes. A duplicação ocorreu em diversos pacotes consecutivos. Assim, como nos casos anteriores, quando há

frames corrompidos, o IED acaba enxergando valores contínuos e quando são calculados esses fasores, tendem a zero, isto é, terá uma diminuição no seu valor rms.



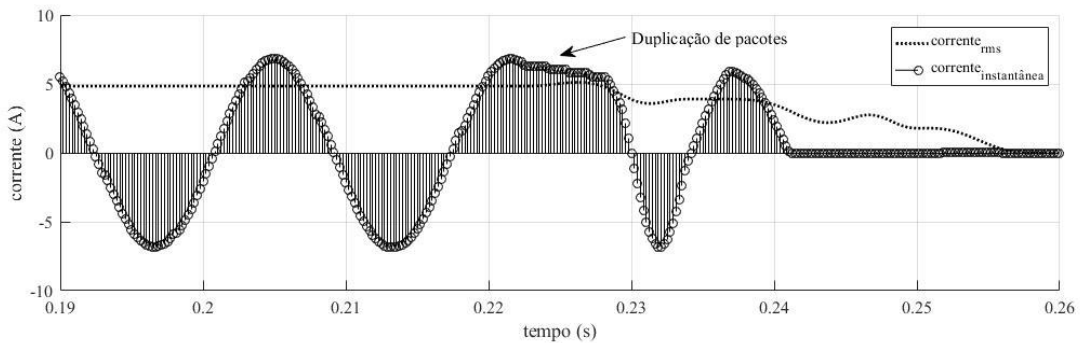
**Fig. 6. Corrente da MU do lado AT com duplicação de pacotes.**

Em condição de falta, uma perda de pacotes logo após do seu início, tende a atrasar a atuação da proteção. Para a análise dessa situação foi aplicada uma falta trifásica no lado AT do transformador sem a perda de pacotes e analisou-se o tempo que a proteção necessitou para gerar o sinal *trip*. Para esta situação, foram necessários 8,33 ms. Posteriormente, realizou-se a perda de pacotes. Para uma condição de 25 amostras perdidas após o início da falta, observou-se um tempo necessário de 12,92 ms para a atuação da proteção, gerando um atraso de 4,59 ms, conforme é mostrado na Tabela 7.

**Tabela 7. Perda de pacotes na MU do lado AT**

Perdas de Pacotes	Tempo de atuação	Atraso de <i>trip</i>
25	12,92 ms	4,59 ms

A Fig. 7 apresenta a perda de pacotes (25 amostras) instantes após o início da falta trifásica. Conforme pode-se observar, os *Sampled Values* perdidos impactaram no tempo de *trip* da proteção. O início da falta ocorreu no tempo de 0,44 s, aproximadamente.



**Fig. 7. Corrente da M do lado AT com perda e pacotes durante uma falta trifásica.**

Em uma condição de atraso de 1 ms, observou-se que o tempo de atuação representou um atraso no *trip* da proteção de 0,63 ms, conforme a Tabela 8.

**Tabela 8. Atraso de pacotes na MU do lado AT**

Atraso	Tempo de atuação	Atraso de <i>trip</i>
1 ms	8,96 ms	0,63 ms

A Tabela 9 apresenta os resultados de atraso do *trip* quando o IED é submetido a duplicações de *frames*. Quanto maior a quantidade de pacotes consecutivos que são duplicados, maior o tempo necessário para a atuação da proteção.

**Tabela 9. Duplicação na MU do lado AT**

Pacotes duplicados	Pacotes consecutivos	Atraso de <i>trip</i>
15	1	0,42 ms
15	2	1,67 ms
15	3	3,12 ms

### 5.2. Proteção Instantânea e Temporizada de Sobrecorrente (IEEE C37.2 50/51)

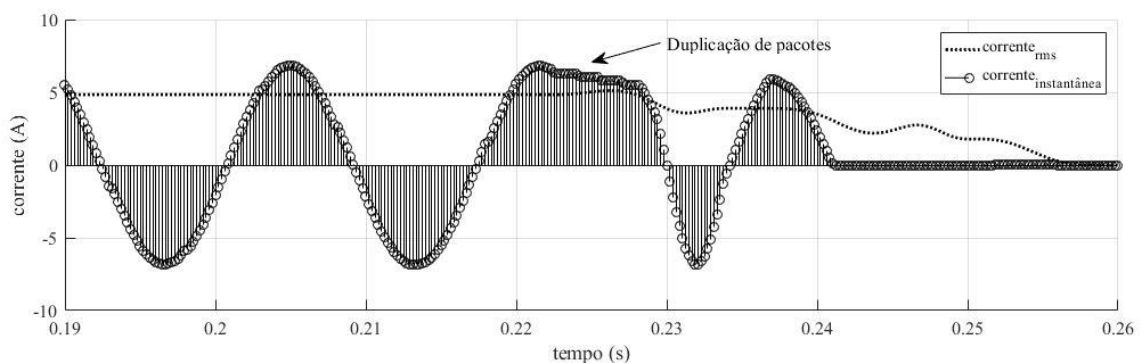
A proteção de sobrecorrente e temporizada foi a que apresentou condições favoráveis de operação quando em funcionamento nominal, isto é, não apresentou atuações indevidas quando submetido a diversas manipulações dos pacotes SV. Os principais fatores que contribuíram para o correto funcionamento estão na condição do IED funcionar isoladamente, isto é, realizar a medição de somente uma MU, não necessitando realizar comparações com outra MU, como o caso da proteção 87T.

Enquanto a proteção IEEE C37.2 50/51 apresentou bons resultados quando aplicado diversos tipos de manipulações no IED em condições de operação normal, quando corrompido os *frames* logo após o início da falta, os efeitos puderam ser observados em seus atrasos. Além disso, pode-se observar uma linearidade com o aumento das perdas de pacotes e o atraso de atuação da proteção, conforme a Tabela 10.

**Tabela 10. Atraso de pacotes na MU do lado AT**

Perdas de pacotes	Tempo de atuação	Atraso de <i>trip</i>
100	53,08 ms	19,79 ms
200	83,95 ms	46,66 ms

A Fig. 8 apresenta o caso de 100 pacotes perdidos. O início da falta ocorreu no tempo de 306 ms e logo após iniciou-se a perda de pacotes. Enquanto a perda de pacotes estava em curso, a proteção permaneceu sem atuar, 100 pacotes perdidos correspondem a 20 ms, valor muito próximo do atraso gerado no *trip*.



**Fig. 8. Corrente do alimentador com perda de pacotes durante uma falta trifásica.**

A Tabela 11 apresenta os valores de atraso nos pacotes SV assinados pelo IED da proteção IEEE C37.2 50/51. Semelhante ao caso anterior, o tempo provocado impactou com aproximadamente o mesmo tempo no atraso do *trip*.

Por fim, realizou-se a duplicação de diversos pacotes na proteção do alimentador. Conforme o esperado e apresentado na Tabela 12, os efeitos desta manipulação também influenciam na operação correta da proteção.

**Tabela 11. Delay de pacotes na MU do alimentador**

Atraso	Tempo de atuação	Atraso de <i>trip</i>
2 ms	39,79 ms	2,5 ms
4 ms	41,45 ms	4,16 ms

**Tabela 12. Duplicação na MU do alimentador**

Pacotes duplicados	Pacotes consecutivos	Tempo de atuação	Atraso de <i>trip</i>
15	1	38,12 ms	0,83 ms
15	2	38,33 ms	1,04 ms
15	3	39,37 ms	2,08 ms

### 5.3. Comparativo

A Tabela 13 apresenta um comparativo entre as três manipulações realizadas e os efeitos de operação correta/incorrecta nos IEDs virtuais, isto é, se as manipulações causam algum evento indesejado.

**Tabela 13. Comparativo dos efeitos**

Manipulação	Proteção 87		Proteção 50/51	
	Normal	Falta	Normal	Falta
Pacotes Perdidos	comprometido	comprometido	estável	comprometido
Pacotes Atrasados	comprometido	comprometido	estável	comprometido
Pacotes Duplicados	comprometido	comprometido	estável	comprometido

Conforme pode ser observado, a proteção 87T foi a que mais teve seu funcionamento afetado pela manipulação dos dados SV, a isso, justifica-se pela necessidade de realizar comparações entre MU diferentes. Quando em condição normal, sem falta, a proteção 87T teve atuações indevidas na sua proteção, enquanto em condições sob falta e manipulação dos *frames*, observou-se um determinado atraso no tempo de *trip*.

A proteção 50/51 demonstrou-se estável quando a manipulação ocorreu em condições de operação normal do sistema. Porém, em condições de falta e com a manipulação dos *frames* observou-se que nessa proteção os tempos de atraso no tempo de *trip* foram afetados.

## 6. Conclusões

Dados SV corrompidos são os principais desafios no processo de digitalização de subestações para os próximos anos. Atualmente, os principais fabricantes de IEDs comerciais bloqueiam a proteção quando alguns *frames* são perdidos ou atrasados. Em uma condição de operação normal, isto é, sem condição de falta, o bloqueio da proteção não gera maiores problemas. Contudo, em uma

condição de falta com a ocorrência de *frames* corrompidos podem gerar danos ainda maiores se a proteção for bloqueada.

Com a caracterização realizada será possível verificar o impacto de cada tipo de problema de rede/integridade dos dados sobre o funcionamento do sistema de proteção. Esse tipo de informação será aplicado no desenvolvimento de diretrizes de projeto, monitoramento, manutenção e desenvolvimento de esquemas de proteção mais eficientes e seguros a partir do desenvolvimento de orientações técnicas. Os resultados mostram que a camada de comunicação de dados exerce um papel fundamental no desempenho e confiabilidade dos modernos sistemas de proteção, pois a integridade dos dados SV tem implicação direta sobre o comportamento das funções de proteção.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior - Brasil (CAPES/PROEX) - Código de Financiamento 001.

### Referências

- [1] P. Sergio e G. Silva, “INTEROPERABILIDADE NO BARRAMENTO DE PROCESSOS À LUZ DA IEC 61850/IEC 61869-9 E O SINCRONISMO TEMPORAL”, 2019.
- [2] A. F. Silva Melo, U. C. Netto, J. C. C. da Silva, e U. J. Dreyer, “Influence of process bus on performance of power system protection”, *Electric Power Systems Research*, vol. 200, 2021, doi: 10.1016/j.epsr.2021.107491.
- [3] M. G. Kanabar e T. S. Sidhu, “Performance of IEC 61850-9-2 Process Bus and Corrective Measure for Digital Relaying”, *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 26, n° 2, p. 725–735, abr. 2011, doi: 10.1109/TPWRD.2009.2038702.
- [4] M. G. Kanabar, T. S. Sidhu, e M. R. D. Zadeh, “Laboratory Investigation of IEC 61850-9-2-Based Busbar and Distance Relaying With Corrective Measure for Sampled Value Loss/Delay”, *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 26, n° 4, p. 2587–2595, out. 2011, doi: 10.1109/TPWRD.2011.2159033.
- [5] R. Feizimirkhani, A. I. Bratcu, Y. Bésanger, A. Labonne, e T. Braconnier, “A methodology for the evaluation of the message transmission delay over IEC 61850 communication network — a real-time HV/MV substation case study”, *Sustainable Energy, Grids and Networks*, vol. 28, p. 100555, dez. 2021, doi: 10.1016/j.segan.2021.100555.
- [6] T. Docquier, Y.-Q. Song, V. Chevri er, L. Pontnau, e A. Ahmed-Nacer, “Determining a tight worst-case delay of switched Ethernet network in IEC 61850 architectures”, em *2020 IEEE 45th Conference on Local Computer Networks (LCN)*, 2020, p. 184–194. doi: 10.1109/LCN48667.2020.9314800.
- [7] Y. Zhang, South China University of Technology, X. Li, South China University of Technology, R. He, e Guangdong University of Technology, “Propagation delay measurement and compensation for sampled value synchronization in a smart substation”, *CSEE JPES*, vol. 3, n° 2, p. 196–202, jul. 2017, doi: 10.17775/CSEEJPES.2017.0024.
- [8] D. M. E. Ingram, P. Schaub, D. A. Campbell, e R. R. Taylor, “Evaluation of Precision Time synchronisation methods for substation applications”, em *2012 IEEE International Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement, Control and Communication Proceedings*, San Francisco, CA, USA: IEEE, set. 2012, p. 1–6. doi: 10.1109/ISPCS.2012.6336630.



Es una publicación de la  
Universidad Nacional de Misiones,  
Facultad de Ingeniería. Argentina.



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE MISIONES**



**FACULTAD  
DE INGENIERÍA  
UNaM**

