

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

Julio A. Potschka ^{a, b *} , Manuel. A. Mazzoletti ^{a, b} , Mario O. Oliveira ^{a, b} 
Rubén C. Brázzola ^{a, c} 

^a Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

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

^c 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 CO₂, 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.

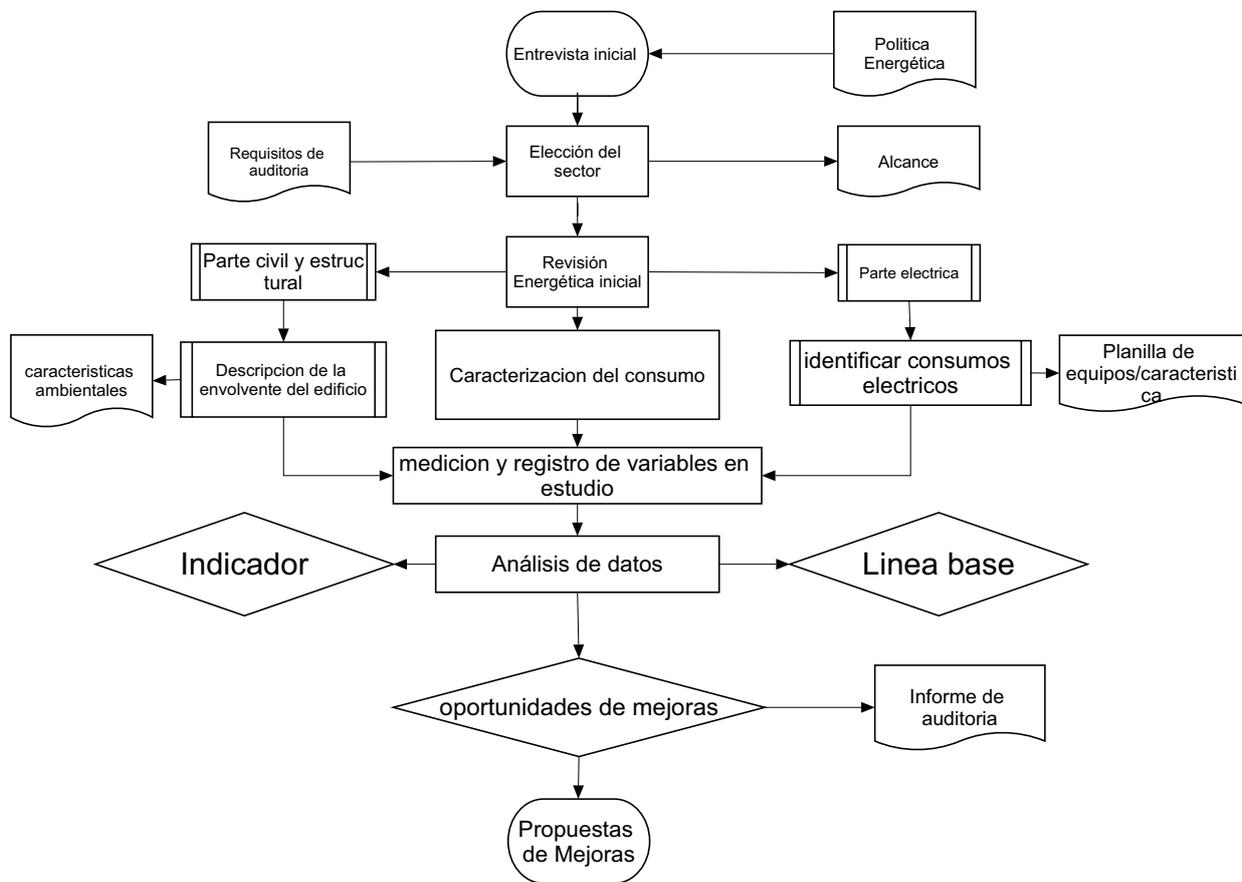


Fig. 2. Diagrama de flujo del procedimiento metodológico aplicado.

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.

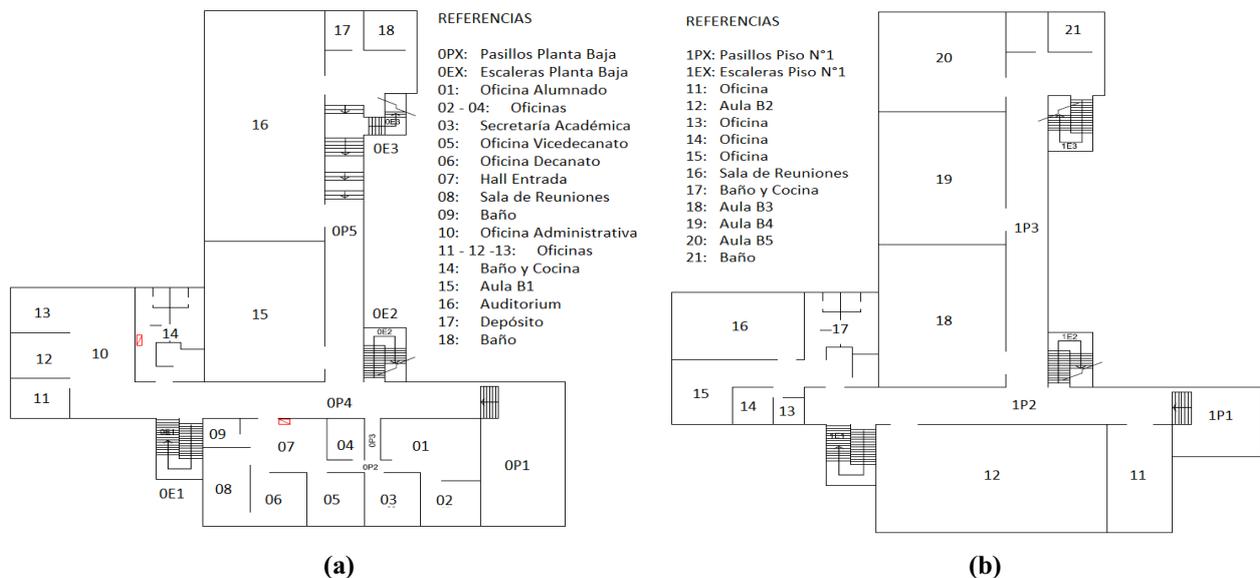


Fig. 4. Planos esquemáticos de los sectores seleccionados. (a) Planta baja. (b) Primer piso.

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 _{unidad} (W)	P _{total} (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.

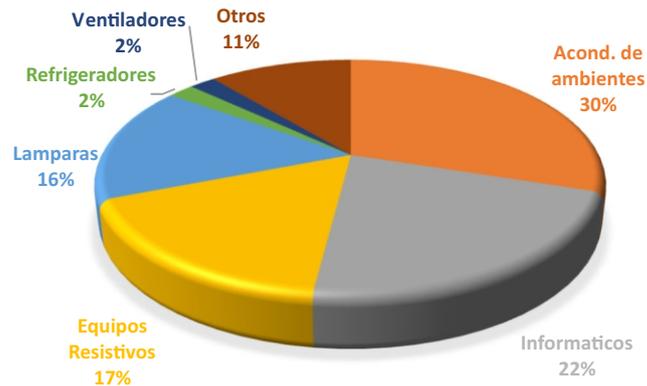


Fig. 5. Potencia instalada de los equipos energéticos clasificados.

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.

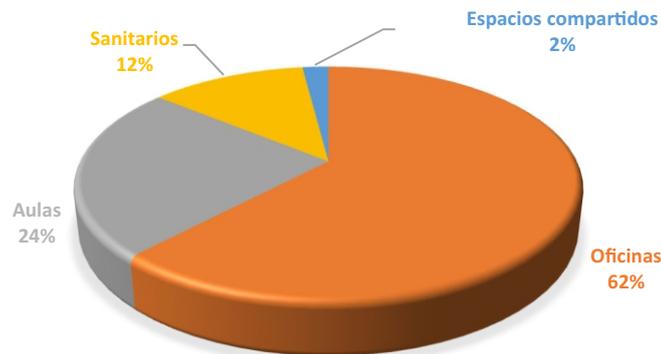


Fig. 6. Potencia instalada por sectores de la FI-UNaM.

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.

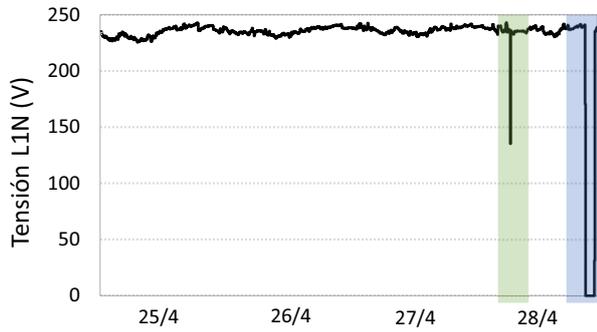
5. Resultados obtenidos y análisis de datos

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.

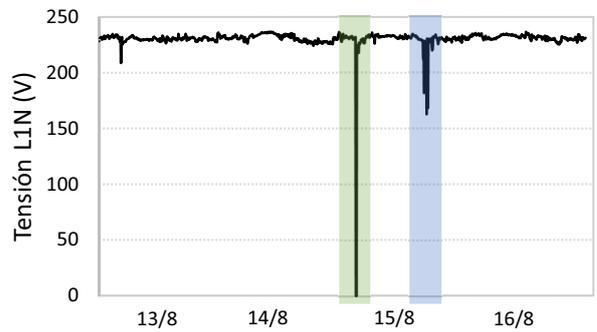
Por otro lado, en la Fig. 10 se muestran las tres corrientes registradas de fase A, B y C, C1N, C2N y C3N, respectivamente. Observando las variaciones de amplitudes de las corrientes se observan desequilibrios de corrientes dado que la mayoría de las cargas de uso final en el sector de estudio seleccionado 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.

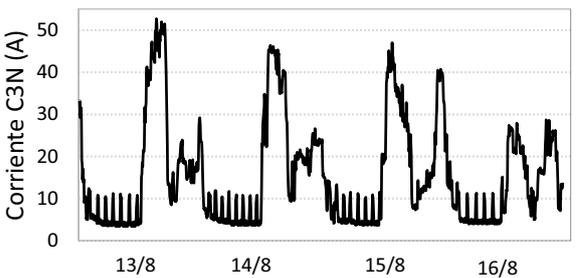
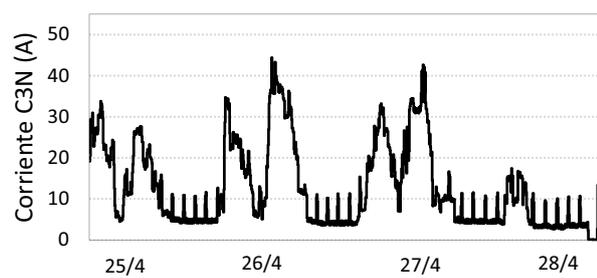
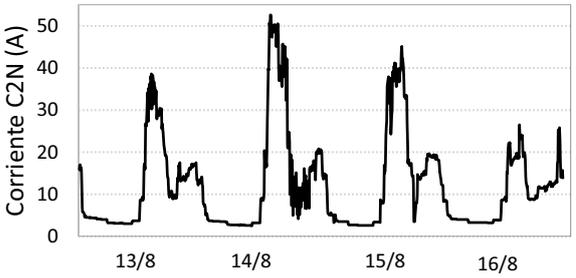
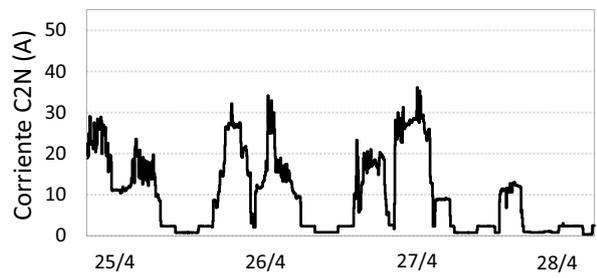
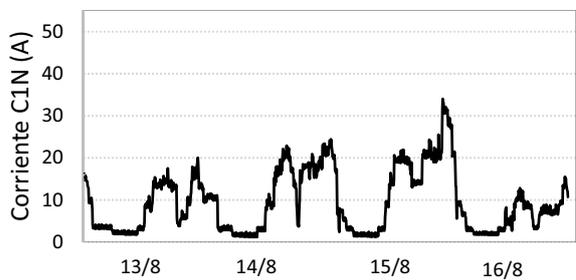
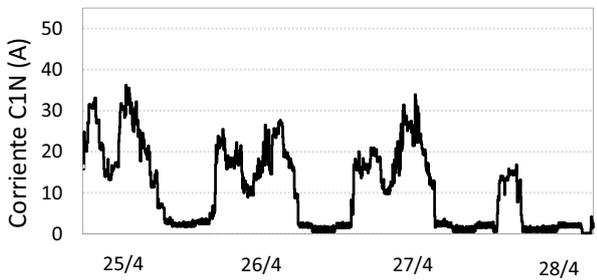


(a). Etapa 1: Estación de otoño.



(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.

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.

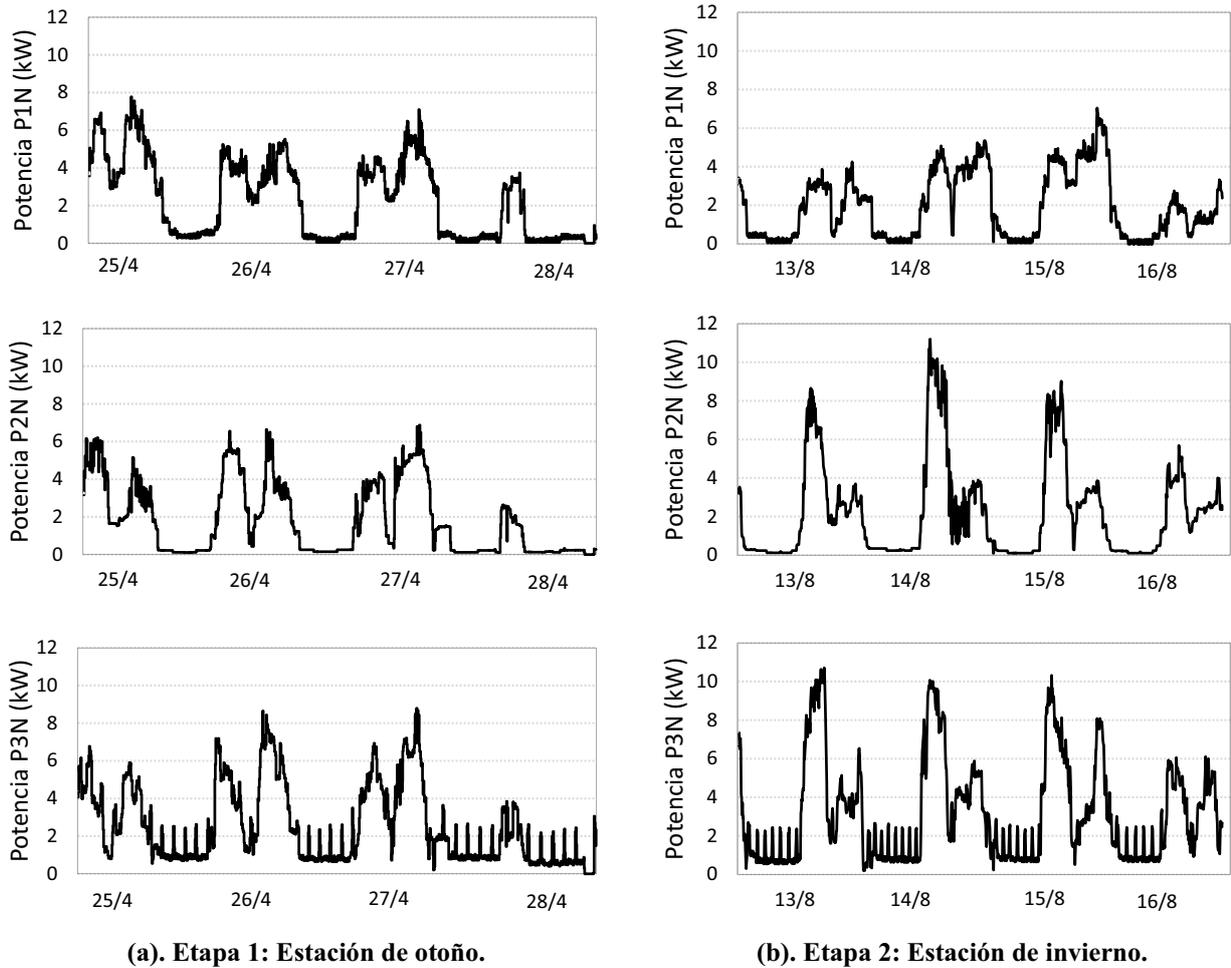
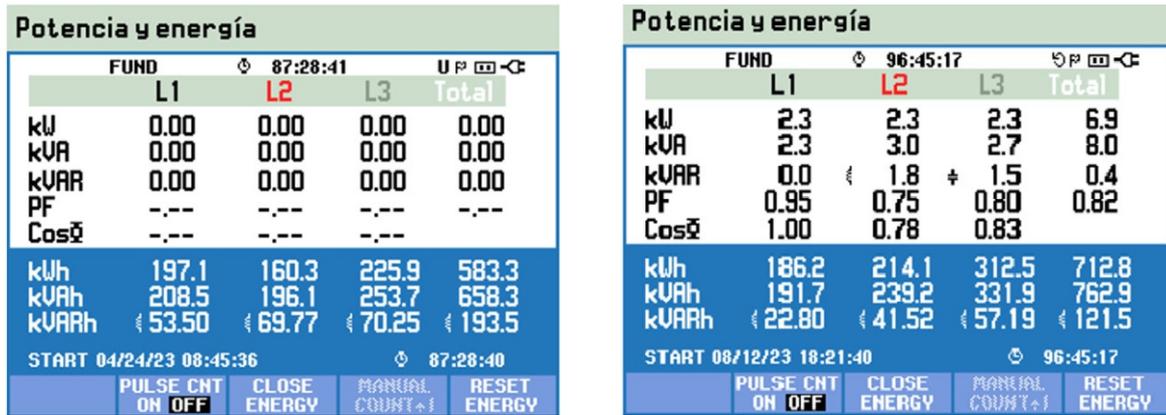


Fig. 11. Potencia activa. Fase A (P1N), fase B (P2N) y fase C (P3N).

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.

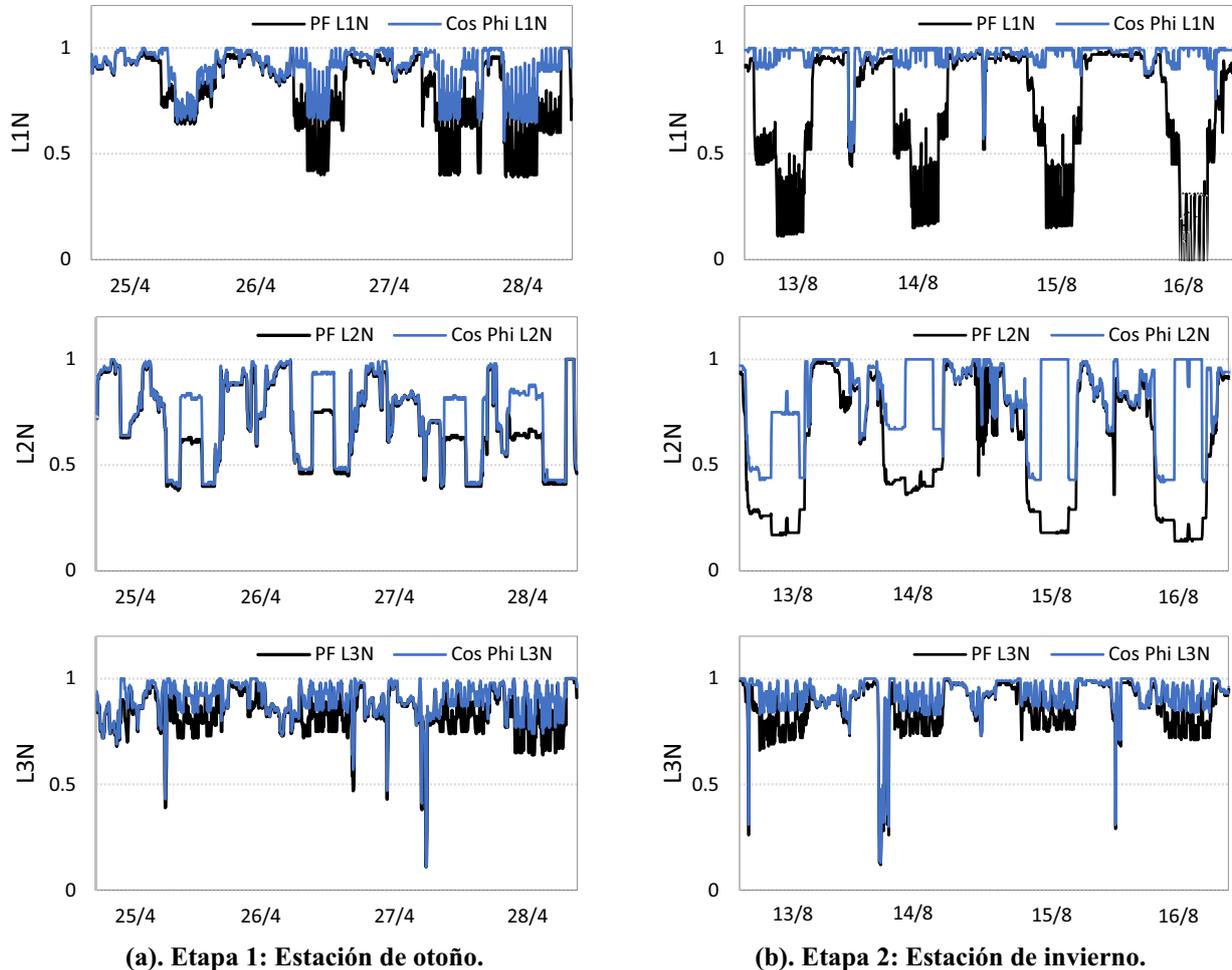


Fig. 13. Perfil de curvas de $\cos \phi$ instantáneo yFP. Fase A (L1N), fase B (L2N) y fase C (L3N).

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°C entre los días 13/08 al 15/08. Luego, la temperatura exterior fue incrementando hasta llegar a superar los 25°C .

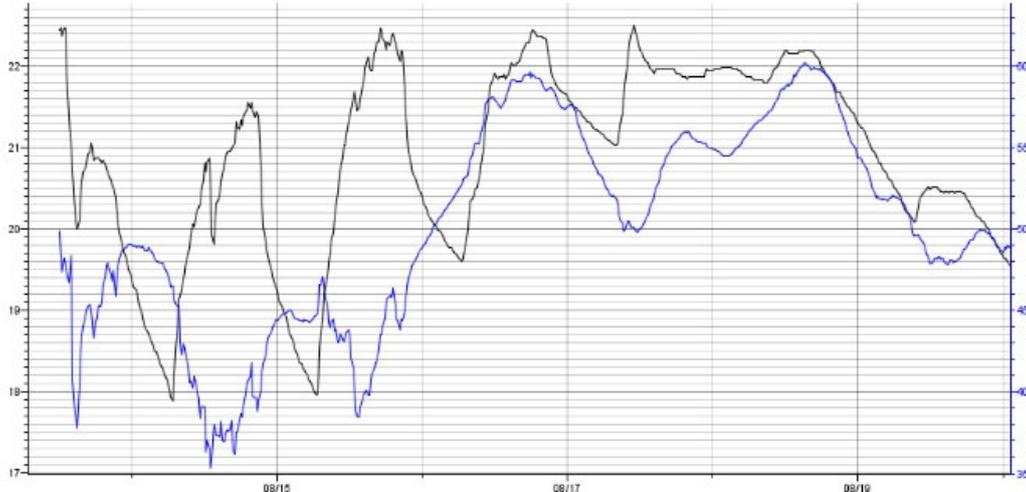


Fig. 14. Registro en el interior del sector de administración de la FI de la temperatura (curva de color negro) y la humedad relativa (%).



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/m² y 0,68 kW/m² 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 temperatura 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. Kazlausk as, 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, “P ropuesta 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.