

## Medición y Análisis de Variables Eléctricas Relacionadas a la Eficiencia Energética en Instalaciones de Educación Tecnológica

Julio A. Potschka<sup>a</sup>, Mario O. Oliveira<sup>a</sup>, Armando M. Mazzoletti<sup>a</sup>, Ruben C. Brazzola<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Energía Eléctrica - LIDEE, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones, Juan Manuel de Rosas 325, Oberá, Misiones, Argentina  
Potschka@fio.unam.edu.ar, oliveira@fio.unam.edu.ar, armando.mazzoletti@gmail.com, brazzola@gmail.com

---

### Resumen

Este trabajo presenta un análisis inicial de los datos recabados en el marco del proyecto de investigación titulado “Procedimiento Metodológico para Auditoría Energética en Instalaciones de Educación Tecnológica con Propuestas de Mejora en Ahorro Energético” en ejecución desde 2019. El principal objetivo del proyecto es generar e implementar acciones para el uso eficiente de la energía eléctrica en Instituciones de Educación Tecnológica (IET) y determinar indicadores de desempeño adecuados para este tipo de instituciones tomando como referencia, en las medidas de ahorro, la línea base de consumo energético que permite evaluar el impacto de las medidas adoptadas. En este contexto, se tomó como caso de estudio una parte del edificio de la Facultad de Ingeniería de Oberá (FIO) de la UNaM, donde se realizó un relevamiento de las cargas eléctricas, identificando las de mayor consumo y prestando atención a la clase de eficiencia energética de los equipos. Además, se registraron diferentes variables eléctricas por un período de tiempo determinado y se presenta una descripción de los criterios de análisis a aplicar sobre cada uno de ellos. Finalmente, las principales conclusiones son presentadas, indicando como se da la distribución de potencia instalada por tipo de carga y por tipo de ambiente.

**Palabras Clave** – Eficiencia energética, Instalaciones de educación tecnológica, Medición, Variables eléctricas.

### 1. Introducción

El crecimiento de la población mundial lleva consigo un aumento insostenible del consumo de energía eléctrica. Es por ello que debemos encontrar la forma de utilizar la tecnología disponible en vísperas de no gastar más energía de la que realmente necesitamos. La energía eléctrica ha mejorado en creces nuestra calidad de vida abasteciendo hospitales, hogares, empresas, y hasta automóviles, pero muchas veces es consumida sin responsabilidad, por ejemplo, cuando se dejan luces encendidas sin necesidad o se compra un electrodoméstico de baja eficiencia [1].

La Eficiencia Energética (EE) abarca todos los cambios que se traducen en una reducción de la energía utilizada para un determinado servicio o para un determinado nivel de actividad [2]. El análisis de EE se aplica a varios rubros del sector eléctrico. Así, por ejemplo, en [3] se describe la experiencia práctica de una distribuidora de energía eléctrica respecto de la instalación de banco de capacitores en distribuidores de Media Tensión con el fin de reducir pérdidas técnicas por consumo de potencia reactiva en las instalaciones de los clientes. Por otro lado, [4] hace una propuesta de nuevos indicadores de pérdidas comerciales de energía aplicados a una empresa de distribución de energía eléctrica. Estos indicadores valoran en que cuánta desarrollan actividades las áreas de control de perdidas, así como también la manera en que realizan estas actividades. Desde el punto de vista de EE en organizaciones, [5] propone un procedimiento de evaluación y posterior

calificación energética para establecer un parámetro de referencia el cual, optimización mediante, permite elevar el nivel de competitividad reduciendo costos a través del insumo de electricidad. En la misma línea, [6] realiza un análisis de la demanda de un edificio utilizado para fines educativos y académicos para evaluación de EE. En el mismo, se realizó un prediagnóstico de las instalaciones basado en relevamientos de equipos, medición de nivel de iluminación y se evaluaron aspectos de calidad de servicio.

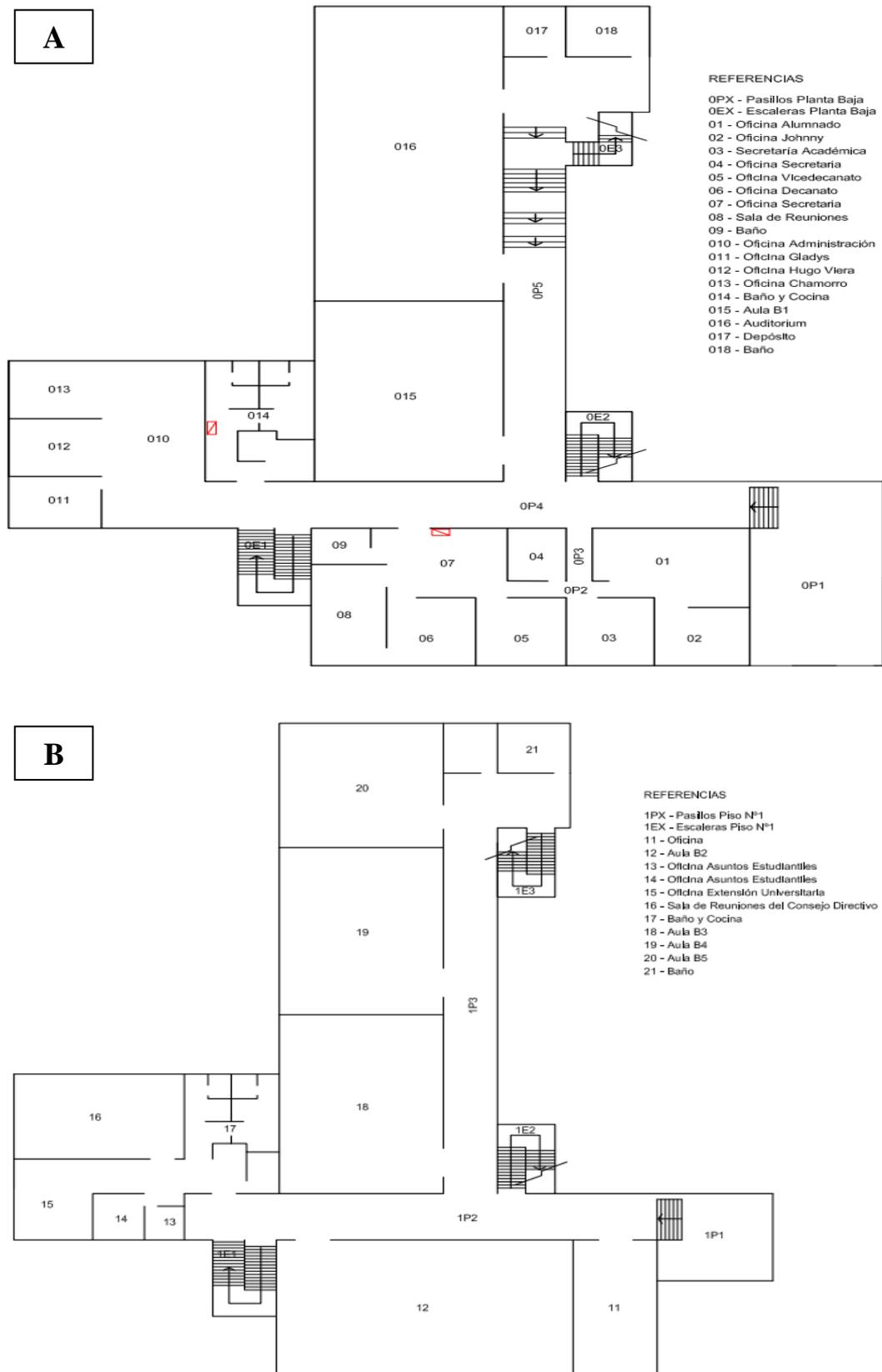
La EE es el conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios obtenidos, es decir consumir menos energía para lograr el mismo objetivo. Esta se puede medir a través de indicadores que, a su vez, miden la variación de consumos unitarios de energía en el tiempo. Se debe considerar que la EE está relacionada con la intensidad de uso de la energía, entendiéndose por ésta a la relación inversa de la eficiencia energética, es decir un aumento en la eficiencia implica una disminución en el uso de la energía [7]. La eficiencia energética se estudia por sectores y usos finales específicos, por lo tanto, los indicadores son desarrollados considerando características particulares de estos sectores. La Agencia Internacional de Energía (IEA – International Energy Agency) ha presentado en el año 2015 un documento donde propone potenciales indicadores para apoyar la generación de políticas efectivas de eficiencia energética. Estos indicadores se dividen en los sectores Residencial, Servicios, Industrial y Transporte, pero no aborda en forma directa el desarrollo o aplicación de indicadores en Institutos de Educación Tecnológica (IET) [7].

En este contexto, el objetivo de este trabajo es presentar los resultados iniciales sobre el análisis de los relevamientos y mediciones de variables eléctricas realizadas en parte de las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de Oberá (FIO). En base a esto se identificó los principales usos y consumos de electricidad lo cual permite proponer medidas para el uso responsable de la energía eléctrica.

## **2. Procedimiento Metodológico**

### *2.1. Mediciones Eléctrica Realizadas*

Antes de iniciar cualquier tipo de registro de variables para estudios de EE en IET es importante definir cuales serán las áreas o sectores a analizar. En el presente trabajo se seleccionó un sector que contempla áreas comunes, sector administrativo, oficinas de decanato y secretaría académica, baños y aulas de diferentes dimensiones. En la Fig. 1 se presenta un esquema del sector estudiado el cual incluye aulas, oficinas de autoridades y administrativas, espacios de tránsito común (pasillos y escaleras), auditorium, sala de reuniones y baños. Estos sectores son alimentados con energía eléctrica desde dos Tableros Seccionales indicados en la Fig. 1 en color rojo que son alimentados a su vez por un Tablero General desde la acometida del edificio de la FIO donde se instaló un Analizador de Redes para registro de las variables eléctricas.



**Fig. 1. Sectores donde se efectuó el análisis de variables. A) Planta Baja, B) Primer Piso.**

La Fig. 2 muestra el equipo Fluke modelo 434 [8], conectado al tablero general y registrando los siguientes parámetros: intensidad de corriente, tensión, potencia activa, potencia reactiva, coseno  $\phi$ , contenidos de armónicos, y el consumo de energía final. Estos valores cuantitativos aportan valiosa información para la toma de decisiones en cuanto a la gestión del uso de la energía, para poder determinar los puntos donde puede existir un ahorro energético. Además de estas mediciones puntuales, es importante analizar las tendencias históricas del consumo, realizar una predicción futura de demanda energética y estudiar el comportamiento de la instalación a través de la modelación computacional de la misma.



**Fig. 2. Analizador de red Fluke 434 conectado en el tablero seccional de la FIO.**

Cabe destacar que para el caso de las auditorías energéticas (de industrias, edificios públicos, etc.), el uso de medidores es preponderante cuando se requiere de datos detallados para establecer indicadores de eficiencia. Únicamente una iniciativa de medición directa puede arrojar información sobre la eficiencia de los equipos individuales, cuánta energía consumen en desuso, cuánto aporta cada componente final al consumo energético total, y la evolución de las pautas de consumo global. Este tipo de conocimiento puede informar mejor a los responsables de cada sector, a fin de que puedan planificar acciones bien fundamentadas para la reducción del consumo energético.

## 2.2. Relevamiento de Equipos Energéticos

Por otro lado, en este trabajo se realizó un relevamiento de los equipos energéticos de los sectores A y B mostrados en la Fig. 1 a los efectos de caracterizar las cargas del mismo. De esta forma, a cada equipo se lo caracterizo de la siguiente forma:

- 1) *Clasificación de la carga:* Las cargas relevadas corresponden a todos los equipos que representen un consumo de energía activa y reactiva, clasificándolos como: equipos de iluminación, ventiladores, equipos para climatización, proyector, fotocopiadora, impresora, computadoras, calentadores de agua.

- 2) *Caracterización*: se realiza una descripción del tipo de equipo, marca y modelo potencia activa y reactiva de consumo, rendimiento/eficiencia, etiquetado energético (índice).
- 3) *Ubicación*: es importante la identificación por sector para poder realizar un mapa de consumo, es decir lograr determinar cuál es la zona de mayor demanda.
- 4) *Factor de uso*: Un factor importante es el uso que se le da a los lugares detallados (tipo de actividad) y el tiempo de uso de los equipos que los conforman, ya que de ellos depende la energía consumida. Por ejemplo, las oficinas están ocupadas en un horario con jornada laboral de 8 horas (establecido por el Convenio Colectivo de Trabajo), mientras que la ocupación de las aulas dependerá de la distribución de las asignaturas en los distintos niveles de enseñanza, que en general se dan en horarios centrales, de 9 a 12 horas y de 14 a 18 horas.
- 5) *Categoría en eficiencia energética*: corresponde a la eficiencia que tiene cada equipo. Si está bajo Norma IRAM, tenemos por ejemplo los equipos de climatización etiquetados bajo Norma IRAM 62406:2007 que establece el índice de eficiencia energética de fabricación [9].

### 3. Análisis de Resultados Obtenidos

#### 3.1. Caracterización de Equipos Eléctricos

La Tabla 1 representa el modelo utilizado en la metodología para el relevamiento de equipos. En esta tabla se puede ver la información relevada para cada equipo en cada ambiente de funcionamiento, por ejemplo, en el aula B2 (situada en el primer piso, plano B -Fig. 1). En el caso de los tomacorrientes se consideró potencia cero dado que no se encuentran con carga. Es importante relevar la superficie del ambiente para determinar diferentes indicadores de eficiencia energética. En el caso del Aula B2, ninguno de los equipos relevados contaba con etiquetado de eficiencia energética y esta es una información clave a la hora de decidir acciones de mejora.

**Tabla 1. Datos relevados de los equipos que funcionan en el Aula B2, primer piso.**

Nº	Ambiente	Superficie	Equipos (tipos)	Cantidad	Potencia Activa Unitaria	Potencia Activa Total	Etiqueta Eficiencia
1	Aula B2	118 m <sup>2</sup>	Tomacorriente	6	0	0	
			Ventilador de techo	4	65 W	260 W	No
			Luminária: 2 fluorescentes de 36 W c/u.	12	72 W	864 W	No
			Aire tipo ventana.	2	1690 W	3380 W	No
			Proyector	1	230 W	230 W	No
Potencia Total Aula B2						<b>4734 W</b>	

Con esto datos podemos identificar los sectores con mayor potencia instalada y hacer una caracterización del sector/ambiente en función del porcentaje de distribución de la potencia total y

proponer medidas para uso responsable en esos sectores específicos. Además, tendremos una idea de la categoría de EE de los equipos en general y de las lámparas utilizadas en la instalación.

La Fig. 3 muestra el porcentaje de distribución de la potencia instalada en función de los diferentes equipos que intervienen en los distintos sectores (A y B, Fig. 1), destacando que en la categoría “otros” se encuentran aquellos equipos de uso no tan frecuente como ser fotocopiadoras. Como resultado se observa que las cargas más representativas en cuanto a consumo son los equipos de climatización frío/calor (para equipos más actuales) y solamente frío (para equipos más antiguos). Seguidamente, se destacan los equipos informáticos y los artefactos de iluminación con un consumo del 16% cada uno que sumados al grupo anterior representan más del 60 % de la carga demandada. Vale la pena resaltar el consumo de los equipos de tipo “electrodomésticos” de uso diario, con una ponderación del 17 %, con cargas del tipo resistivo, representando un grupo importante desde el punto de vista de las horas de uso ya que pueden consumir una energía activa importante.



Fig. 3. Distribución de la potencia instalada por equipo energético, sectores A y B.

La Fig. 4 representa la distribución de potencia instalada en función de los ambientes de trabajo. Se observa que el tipo de ambiente preponderante son las oficinas (autoridades y administrativas), representando en una jornada laboral de 8 horas, un consumo importante si lo comparamos con las aulas que en general son ocupadas por menos horas. De todos modos, hay que remarcar que se deberían considerar todas las aulas de la FIO para un análisis más detallado de tal manera de considerar su incidencia en las medidas realizadas. Con los datos representados en la Fig. 4 podemos pensar que una medida importante de mejora al corto plazo, y con costos relativamente

bajos, es la implementación de buenas prácticas para el uso de los equipos de acondicionamiento de aire en el sector de oficinas, entendiendo con esto que resultara un ahorro en el consumo de energía. Se destaca por otro lado, que el sector con mayor potencia instalada es el aula B1 (aula de posgrado) con 9117 Wattios, y una superficie de 90 m<sup>2</sup>.

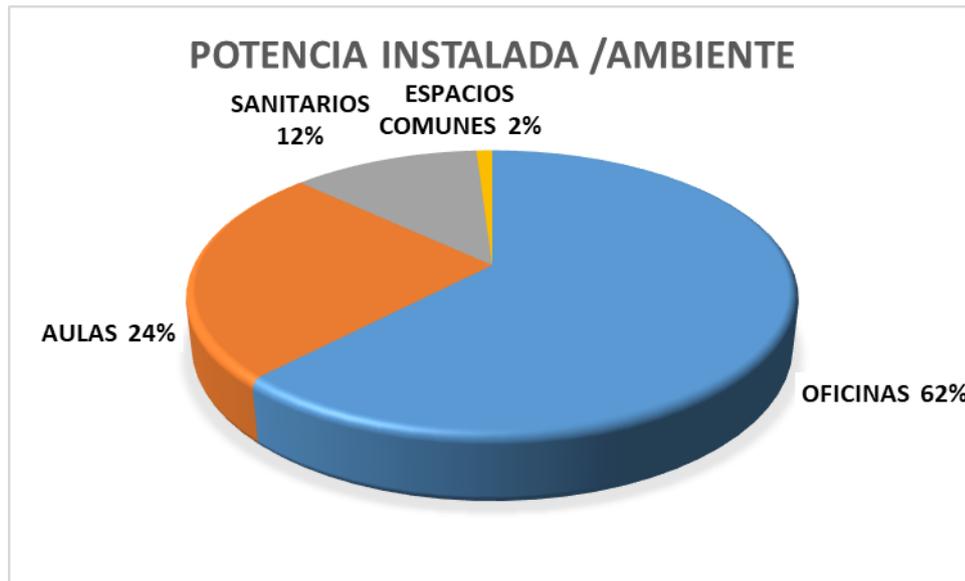


Fig. 4. Potencia instalada por ambiente de trabajo.

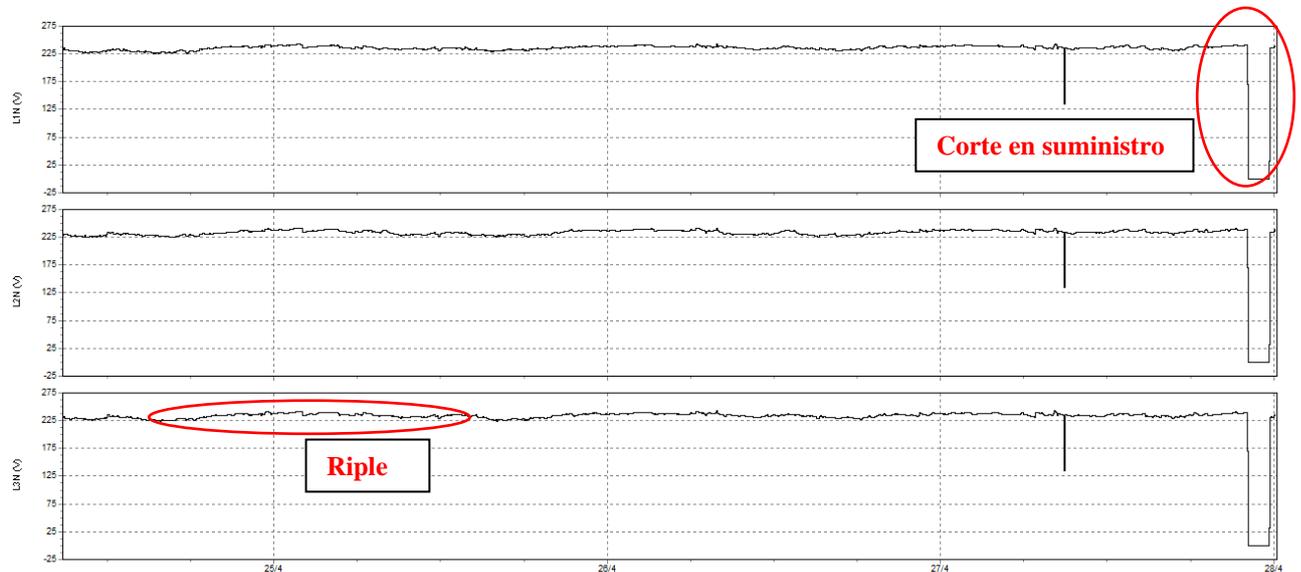
### 3.2. Análisis de Variables Eléctricas Registradas

Los resultados obtenidos a partir de las Variables Eléctricas medidas en el tablero general de la FIO se presentan a continuación. Los mismos fueron registrados en el período del 24/04/2019 (09:00 horas) al 27/04/2019 (23:55 horas). Para cada variable registrada se detalla su forma de análisis e interpretación a fines de obtener resultados relacionados con estudios de eficiencia energética.

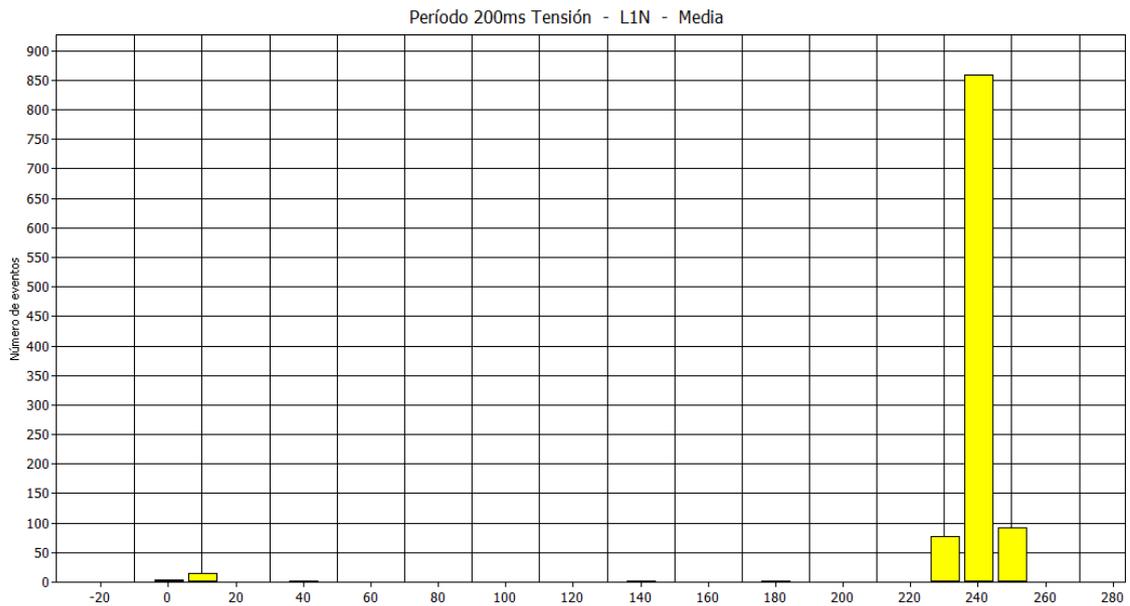
- 1) *Tensión de línea en sistema trifásico*: los aspectos más importantes visualizados en la Fig. 5 son: corte en el suministro, riple y desequilibrio, todos ellos relacionados a calidad del servicio y calidad del producto. El desequilibrio de tensiones y el riple afectan directamente el desempeño de los equipos electrónicos impactando en forma directa en la eficiencia de los mismos. El corte en el servicio impide la realización de actividades por lo que, se debe pensar en un sistema alternativo de suministro de energía para no interrumpir las actividades de la IET como ser: enseñanza, investigación, extensión, servicio a terceros, entre otros.

La Fig. 6 representa los valores de caídas de tensión en un diagrama de distribución en frecuencia. Se observa un  $\Delta V = 20$  V que representa un  $\pm 4,2$  % de variación del valor nominal de tensión de fase. Es importante verificar que este porcentaje de caída de tensión esté dentro de los valores máximos permitidos por la normativa a efectos de intervenir en la

instalación y adecuar la sección de conductores para evitar caídas de tensión mayores, relacionadas con el incremento de corriente y temperatura de conductores.



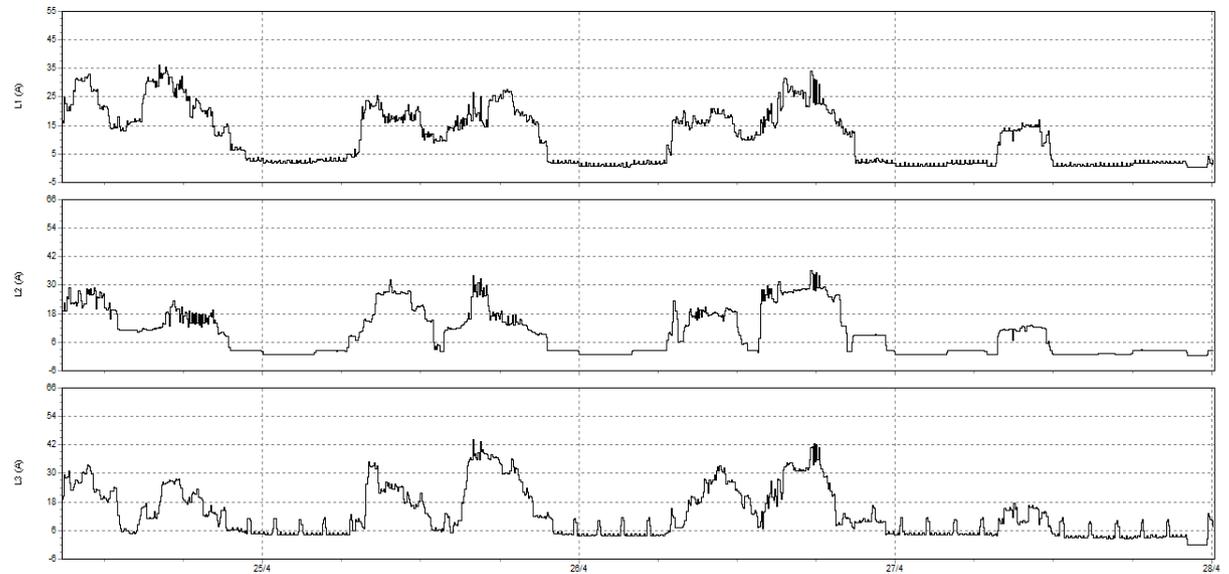
**Fig. 5. Tension de linea medida en las 3 fases de la instalación.**



**Fig. 6. Caidas de Tension de fase L1N.**

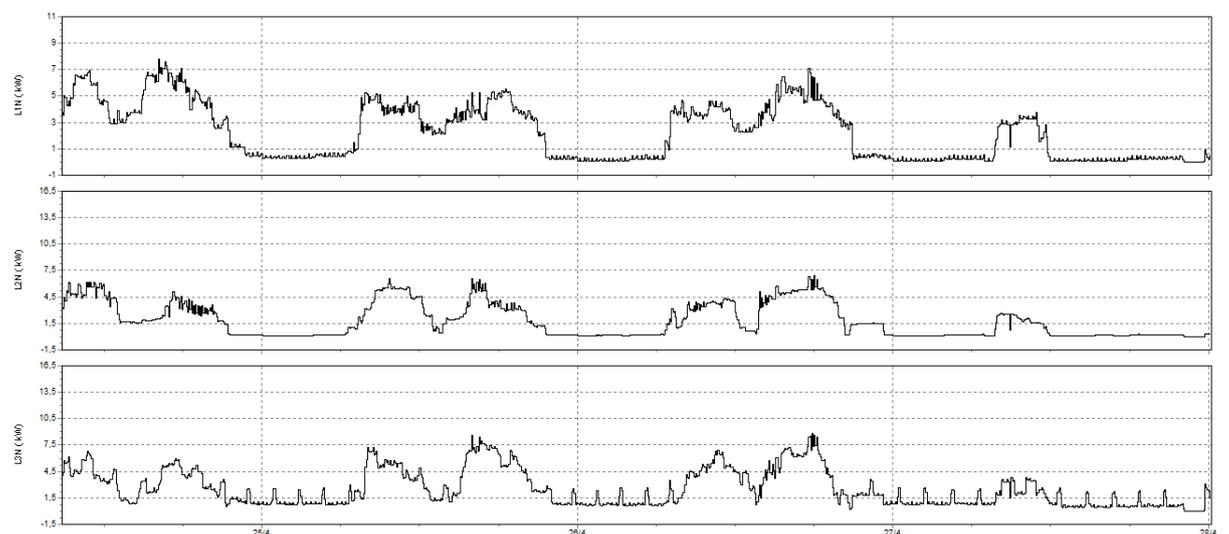
- 2) *Corriente en sistema trifásico*: La Fig. 7 muestra los registros de corrientes trifásicas donde es importante observar los siguientes aspectos: identificación de valores de cargas (magnificación), desequilibrios, cargas cíclicas, valores máximos y valores mínimos instantáneos. Desde el punto de vista de la eficiencia se pueden cuantificar las pérdidas en la línea principal de alimentación, es decir, conociendo el valor de corriente medida y haciendo

el relevamiento de la misma (tipo de conductor, longitud, resistencia, temperatura y disposición de conductores) se pueden calcular las pérdidas en un período determinado.



**Fig. 7. Corriente instantánea medida en cada línea.**

- 3) *Potencia activa en sistema triásico*: En la Fig. 8 se puede visualizar el perfil de carga, con valores máximos (picos) de 7 KW y mínimos (valles) de 0,7 KW, carga cíclica en la fase L3N de 1 KW, y una demanda de energía mínima en horario nocturno. Con esto, se puede calcular la energía en cualquier período del perfil de demanda, y esto nos interesa para hacer un análisis de eficiencia cuando se realice algún cambio en la instalación y/o cambio de equipos o conductas en el uso de los equipamientos. La potencia trifásica se puede relacionar con el desequilibrio de tensiones en cada fase (Fig. 5).



**Fig. 8. Demanda de potencia medida en cada línea**

- 4) *Energía eléctrica en el período de la medición*: El equipo de medición cuenta con una presentación de pantalla de registro en la cual se puede obtener la lectura del valor de la energía activa y reactiva durante el período especificado. En la Fig. 9 se muestra esta pantalla.

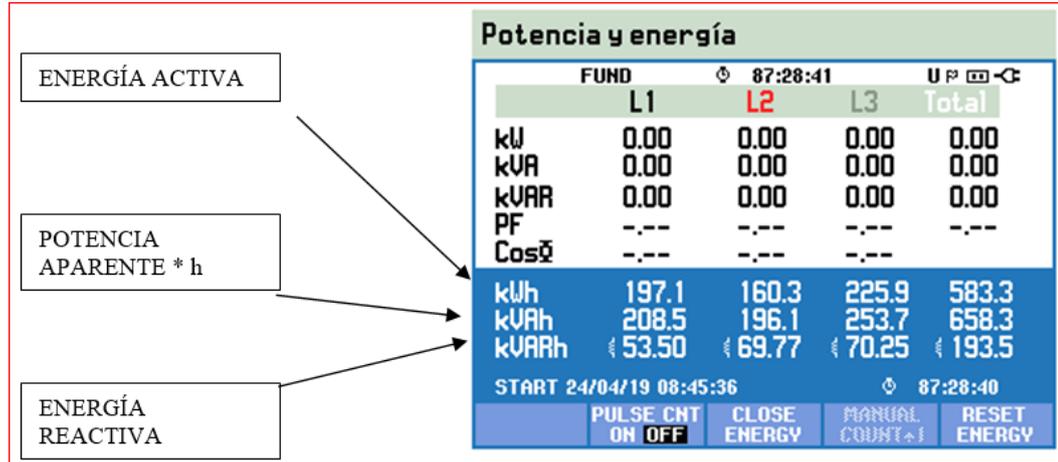


Fig. 9. Registro del analizador de red de potencia y energía.

El indicador utilizado por el IEA en este caso es Energía Activa Consumida en función a la superficie total de los sectores elegidos para el estudio (S2b). Este es un indicador de Segundo Nivel dentro de la pirámide de indicadores del sector de servicio [7].

Con el valor de 583,3 KWh en 87,5 horas de medición y registro, resulta un valor promedio de 6,68 KWh/h y refiriendo con la superficie total del sector seleccionado obtenemos el indicador de eficiencia energética S2b con la siguiente ecuación:

$$S2b = \frac{E (KW)}{A (m^2)} = 0.55 Kw/m^2 \quad (1)$$

Este valor representa la línea base, referencia que a través de cualquier medida que se tome para la reducción del consumo de energía eléctrica sea un valor a reducir y de esa manera con las mismas variables establecidas se pueda realizar la medición y registro y nuevamente calcular el indicador.

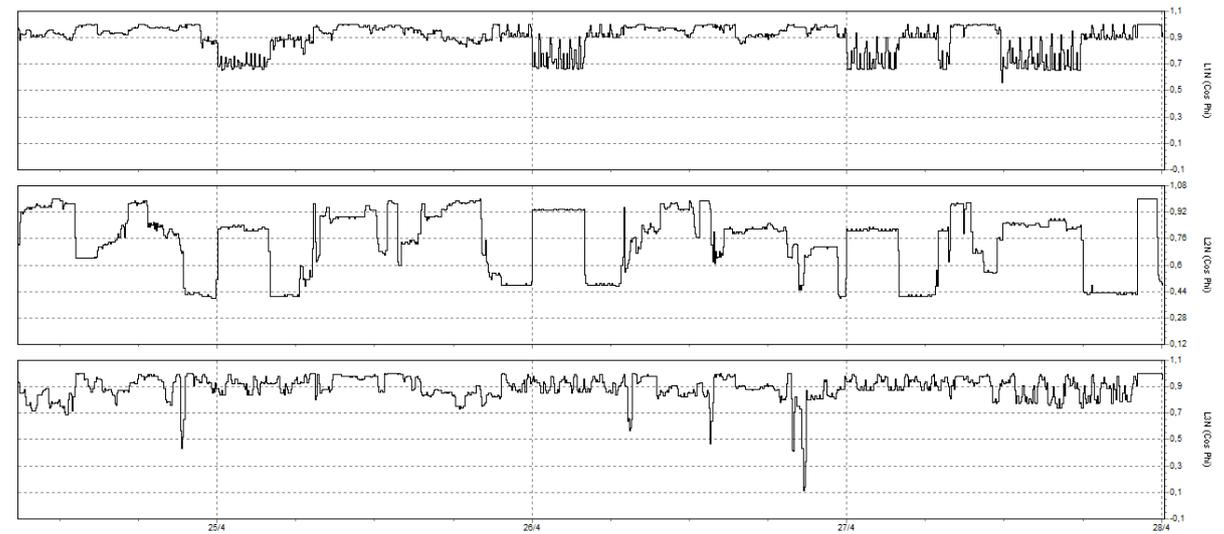
Además, se puede calcular el factor de potencia en ese período a modo de referencia, ya que el válido para la prestación del servicio es el que contempla el período completo, en general un mes.

$$Fp = \frac{\text{Energía activa}}{\text{Potencia Aparente} * h} = 0.88 \quad (2)$$

El valor exigido por la prestataria es igual o mayor a 0,95, que nos está indicando que es necesario aumentar el valor corrigiéndolo a través de la conexión de capacitores en paralelo con la red de la instalación. Con esta conexión logramos solucionar dos temas importantes,

evitar posibles sanciones de la prestaría por bajo factor de potencia y además reducir pérdidas de potencia activa en las líneas mejorando la eficiencia del sistema.

- 5) *Valores de coseno fi instantáneo en sistema trifásico*: Es importante conocer el valor de coseno fi instantáneo ya que nos da idea del aprovechamiento de la potencia activa demandada, comparándola con el perfil de demanda de potencia activa, es decir, el tipo de carga que prepondera en la instalación (carácter) y con ello tomar la decisión de realizar la corrección del cos fi como medida de ahorro y mejora en el uso de la energía eléctrica. La Fig. 10 muestra los valores de coseno de fi medidos en el período estudiado. Puede observarse la variación en el perfil de esta variable para cada fase lo que indica la conexión y desconexión de cargas con diferentes características inductivas. En la línea uno (L1N) se observa un valor más estable que en la línea dos (L2N), mientras que en la dos las variaciones son más importantes en un lapso de tiempo, reduciendo así el factor de potencia que resulta entre las dos líneas.



**Fig. 10. Perfil de curvas de coseno fi instantaneo.**

La Fig. 11 presenta los valores de coseno de fi para la línea L1N. Si relacionamos esta grafica con la gráfica de la Fig. 10 y además con el consumo de corriente (Fig. 7) se puede analizar la correspondencia de cargas altamente inductivas las que demandan corrientes que provocan altas perdidas de eficiencia al sistema.

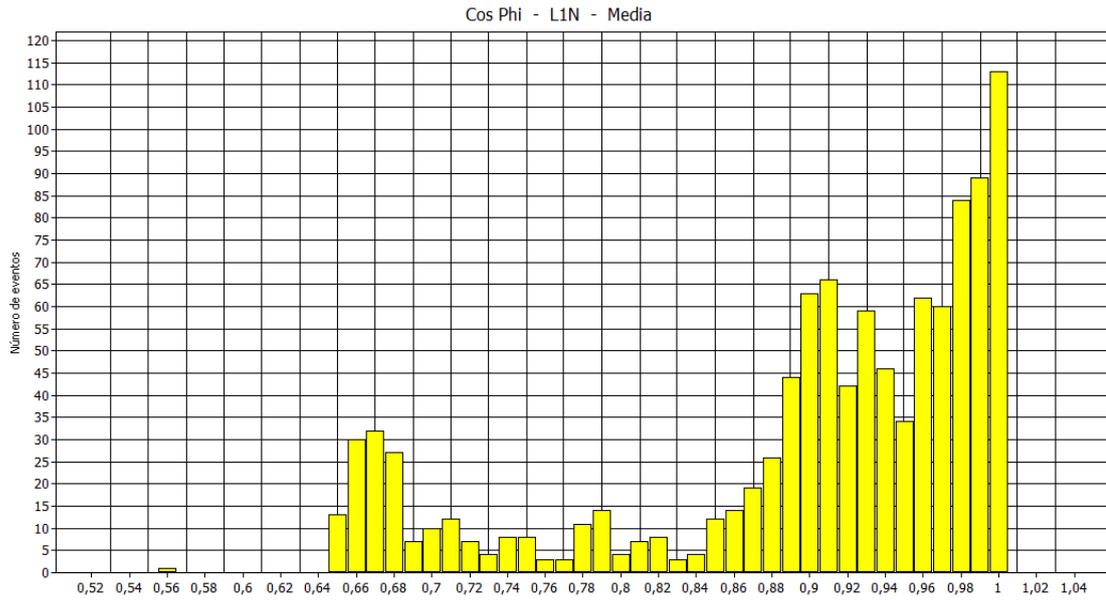


Fig. 11. Distribución de frecuencia de cos fi instantaneo en las tres líneas.

#### 4. Conclusiones

Este artículo presentó un análisis de las mediciones de parámetros eléctricos y relevamientos realizados de los equipos de un sector edilicio de la FIO y como la mismas se relacionan con aspectos de eficiencia energética.

Se destaca primeramente el aspecto importante para efectuar mediciones a través de la utilización de un analizador de red que mide y registra un conjunto de variables eléctricas de manera simultánea permitiendo la exportación de datos a otros softwares para realización de análisis de mayor complejidad, etapa en actual desarrollo dentro del proyecto de investigación.

Por otro lado, se pudieron identificar los circuitos eléctricos para la medición y realización de un análisis posterior, en conjunto con la elaboración de las tablas modelos para el relevamiento de equipos energéticos (computadoras, luminarias, equipos de climatización, etc.).

Se efectuó un análisis de potencia instalada según el tipo de carga, llegando a la conclusión de que los acondicionadores de aire junto con la iluminación y equipos informáticos representan más del 60% del consumo en los sectores estudiados.

La distribución de potencia instalada por ambiente de trabajo requiere realizar un análisis más profundo en cuanto al uso de las aulas y los equipos de mayor potencia, proponiendo realizar en trabajos próximos una simulación del sistema eléctrico contemplando propuestas de mejoras, como ser: el cambio de luminarias actuales por otras de menor consumo (tecnología led) y en la medida de lo posible considerar el cambio de equipos de mejor eficiencia, como los equipos de climatización con índice de eficiencia tipo A.

Otra medida importante para el ahorro de energía es la corrección del factor de potencia, ya que se pudo determinar en algunos períodos del consumo un valor por debajo de lo establecido por la prestataria.

Finalmente se entiende que, ante el constante crecimiento de la FIO tanto en lo académico como en lo administrativo y de servicios, se deslumbra la necesidad de implementar estrategias de gestión tendientes a reducción de pérdidas de energía eléctrica.

Este trabajo permitió una buena experiencia en cuanto al trabajo realizado con alumnos becarios y profesionales colegas, en el ámbito del conocimiento en cuanto al relevamiento, medición y análisis de variables eléctricas relacionadas a la eficiencia energética y medidas de ahorro de energía en la FIO, para la elaboración de una metodología técnica para ser aplicada en futuros trabajos.

## Referencias

- [1] Duilio Maita Ingeniería, «Las mejores prácticas en eficiencia energética según la ciencia del comportamiento,» de *CIDEL Argentina*, Buenos Aires, 2018.
- [2] A. E. Soza y D. A. Nieto, «Una experiencia práctica respecto a la instalación de banco de capacitores en distribuidores de MT para reducir pérdidas técnicas,» de *CIDEL Argentina*, Buenos Aires, 2018.
- [3] D. n. Perez y A. Brizuela, «Nuevos indicadores de pérdidas de energía aplicados en una empresa de distribución de energía eléctrica,» de *CIDEL Argentina*, Buenos Aires, 2018.
- [4] P. D`Angola, J. Lopez, C. D`Andrea, M. R. Kim, M. Quevedo, J. S. Madeo, P. Mardirossian, S. Gortari, M. Guanes, M. Caivano y M. Vera, «Optimización de la eficiencia energética en organizaciones,» de *CIDEL Argentina*, Buenos Aires, 2018.
- [5] C. Wall, P. Arnera, B. Barbieri, F. Corazza y A. Afranchi, «Análisis de demandas eléctricas en edificio para evaluación de eficiencia energética,» de *CIDEL Argentina*, Buenos Aires, 2018.
- [6] AEA 90364-8, «Reglamentación para la Ejecución de Instalaciones Eléctricas en inmuebles. Parte 8 - Eficiencia,» de *Asociación Electrotécnica Argentina*, Noviembre, 2013.
- [7] IEA – *International Energy Agency*, «Indicadores de Eficiencia Energética: Bases Escenciales para el Establecimiento de Políticas» © OCDE/AIE, Francia, 2015. Disponible en: <https://www.smarkia.com/es/blog/top-10-de-indicadores-de-desempeno-energetico-idens-por-sectores-de-actividad>.
- [8] Analizador de RED Fluke 434-Fluke Corporation, P.O. Box 9090, Everett, WA 98206-9090 EE.UU.  
Fluke Industrial B.V., P.O. Box 90, 7600 AB, Almelo, Países Bajos.
- [9] Norma IRAM 62406:2019, “Etiquetado de eficiencia energética para acondicionadores de aire”. 2da Edición, 28 páginas, Fecha de publicación: 02/01/2019.