

Análisis del consumo de Energía Eléctrica en la Facultad de Ingeniería (UNER), evaluando la incorporación de fuentes de Energías Alternativas y su impacto en el medio ambiente

Francisco J. Fernández¹; Carlos R. Ramírez¹; Gastón R. Schvindt¹; Walter J. Tornero¹; Luis I. Silva²; Martín S. García²

Autoras/es: ¹Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos. Ruta provincial 11, km 10 Oro Verde, Entre Ríos, Argentina. ² Centro de Investigaciones y Transferencia, Universidad Nacional de Rafaela (CIT-UNRaf - CONICET) Contacto: javier.fernandez@uner.edu.ar

ARK: <https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s22504559/6ckoudib5>

Resumen

En este proyecto se analizó el consumo de energía eléctrica en la Facultad de Ingeniería de la UNER, identificando áreas de mayor demanda y patrones de uso a lo largo del año. A partir de estos datos, se evaluó la viabilidad de incorporar fuentes de energías alternativas, como paneles solares fotovoltaicos y tecnologías de eficiencia energética, para reducir el impacto ambiental y mejorar la sostenibilidad de las instalaciones.

Esta investigación incluye un diagnóstico detallado del consumo energético y propone soluciones que combinan beneficios ambientales y económicos. Se analiza el potencial de ahorro energético, la disminución de emisiones de carbono y los beneficios con la implementación de tecnologías. Además, se destaca la importancia de integrar estas iniciativas en el ámbito educativo, promoviendo el uso racional de la energía y generando conciencia ambiental en la comunidad universitaria.

El informe concluye que la adopción de energías renovables es viable con algunas mejoras edilicias, cambios en la conducta de uso y contribuye al compromiso institucional con la sostenibilidad. Asimismo, este proyecto puede ser útil como herramienta para la formación de estudiantes, la investigación aplicada y la extensión, fortaleciendo el rol de la facultad como referente en la implementación de prácticas energéticas responsables y sostenibles.

Palabras clave: Eficiencia energética, Energías renovables, Sostenibilidad, Impacto ambiental, Consumo eléctrico.

Objetivos propuestos y cumplidos:

El proyecto tiene como objetivo general analizar el consumo de energía eléctrica en la Facultad de Ingeniería de la UNER, evaluando la incorporación de fuentes de energías alternativas y, a partir de la información obtenida, contribuir al diseño de acciones alineadas con buenas prácticas energéticas.

Objetivos específicos y sus cumplimientos:

Caracterización del uso de la energía eléctrica en la FI-UNER:

Se realizó un relevamiento integral del consumo energético en el Módulo 1, identificando las principales fuentes de demanda, como climatización, iluminación y equipos electrónicos.

Se determinó que un 46% del consumo energético se da en estado de stand by, evidenciando oportunidades de optimización.

Evaluación del impacto de fuentes de energías renovables:

A través de simulaciones en software como PVSol, se analizó la viabilidad técnica y económica de la implementación de sistemas fotovoltaicos en sectores específicos del Módulo 1.

- Concientización y sustentabilidad:**

Se llevaron a cabo capacitaciones para docentes e investigadores, además de la participación en congresos sobre eficiencia energética y energías renovables.

- Generación de indicadores y divulgación:**

Se establecieron indicadores de desempeño energético para la FI-UNER y se publicaron los resultados en congresos nacionales e internacionales.

Marco teórico y metodológico:

Los edificios sustentables, también conocidos como edificaciones verdes o ecológicas, son construcciones diseñadas y construidas para tener un impacto mínimo en el ambiente mientras maximizan la eficiencia en el uso de recursos naturales y energéticos. Estas construcciones van más allá de la estética, incorporando tecnologías y prácticas que minimizan el consumo de energía, reducen la huella de carbono y fomentan la utilización de materiales reciclables y energías renovables.

Una de las principales causas del cambio climático es el excesivo consumo energético de los edificios. En las ciudades, el sector de edificios es responsable de aproximadamente el 30% de las emisiones directas [1]. Cerca de un tercio de la energía producida en Argentina es consumida en la gestión de los edificios. De esta cantidad, casi la mitad se utiliza para satisfacer la demanda de calefacción y refrigeración, mientras que más del 30% del resto se pierde por los techos con deficiente aislación térmica y provocando fugas de calor en invierno o sobrecalentamiento en verano [2]. Mundialmente, alrededor del 40% del consumo total de energía involucra las actividades humanas relacionadas con las edificaciones incluyendo el empleo de aparatos eléctricos e iluminación [3].

El aprovechamiento de las orientaciones, parasoles, ventilación natural, materiales aislantes y envolventes verdes son factores asociados con la sustentabilidad del hábitat que contribuyen a mejorar la calidad de vida, la salud humana y del edificio, la eficiencia energética y los costos de construcción. Si bien el Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) impulsa la aplicación de reglas que no son de carácter obligatorio, pero sientan las bases para la oficialización de las mismas, ningún

código de edificación establece criterios claros sobre sustentabilidad. En general, las normas IRAM establecen los valores globales de los parámetros que caracterizan a los materiales usados en las edificaciones y la forma estandarizada de calcular el intercambio de calor a través de los muros bajo los diferentes procesos de transmisión para las distintas zonas bioclimáticas. La eficiencia de la aislación determina la categoría de la edificación entre los niveles A y H según la norma IRAM 11900 [4] [5] [6].

Antes de considerar cualquier propuesta de mejora sobre un edificio, es conveniente realizar una evaluación térmica del mismo. La forma usual de evaluar el comportamiento térmico es integrando los aportes de las diversas componentes de la envolvente, esto es, muros, aberturas, techos, etc. Para ello es necesario entender cómo contribuye cada proceso de transmisión del calor (conducción, convección, radiación) y la acumulación de energía en el interior y en las paredes. Este proceso puede llevarse a cabo mediante aproximaciones ya que, en la práctica, los flujos de calor asociados con cada mecanismo de transferencia no son independientes. En efecto, en el intercambio de calor entre una superficie y el ambiente se solapan los flujos producidos por la radiación y la convección. Los flujos de calor por convección dependen de si el movimiento del aire es impulsado por el viento o por diferencias de densidad. A su vez, en la transmisión de calor por conducción, debe considerarse que la envolvente se compone de capas de diferentes materiales con propiedades físicas distintas, y en algunos casos existen materiales que transmiten con mayor facilidad el calor debido a una menor resistencia térmica (puentes térmicos). La conducción también es afectada por la generación transitoria de sumideros y fuentes de calor por pérdida o acumulación de energía en el interior de las paredes. Otro factor que suma dificultad es el comportamiento térmico de las puertas, ventanas, y otros componentes, que resulta complejo de evaluar.

La caracterización térmica de un edificio no sólo involucra la transferencia de calor a través de la envolvente sino también su capacidad calorífica global o "masa térmica". La energía almacenada en la envolvente edilicia puede cuantificarse, pero la energía real acumulada o liberada en todo el edificio es más difícil de calcular porque involucra la masa térmica interior y su distribución, las fuentes térmicas internas y las condiciones reales de uso del edificio [7]. Si se conocen los valores de todos los parámetros edilicios involucrados, entonces el comportamiento térmico de una construcción puede determinarse resolviendo las ecuaciones diferenciales y/o integrales que rigen los procesos de transferencia de calor con las condiciones iniciales (distribución inicial de temperatura en todos los componentes) y de contorno (evolución de las condiciones del tiempo en el exterior) adecuadas. Si no es posible obtener una solución analítica, puede recurrirse a aproximaciones a través de simulación o métodos numéricos [8].

Otro aspecto importante en la caracterización térmica es la forma en la que se intercambia energía a través de la envolvente edilicia. En particular, el estudio de la conducción térmica a través de las paredes fue profuso y condujo al desarrollo de herramientas que posibilitaron notorios avances en la gestión energética de los edificios. A fin de simplificar los cálculos asociados con la transferencia de calor, es frecuente emplear aproximaciones como la conducción térmica unidimensional estacionaria a través de la envolvente. En estado estacionario, el flujo de calor se determina a partir de la ley de Fourier y depende de la diferencia de temperatura entre las dos caras de la pared y de la conductividad de los materiales de construcción [8]. Generalmente, la envolvente se compone de muros construidos por capas de diferentes materiales

y propiedades físicas, las aberturas y el techo. Como consecuencia de la complejidad involucrada en los cálculos, el comportamiento térmico de un edificio suele determinarse empleando simulaciones basadas en modelos que dan cuenta de los principales fenómenos físicos, a partir de los cuales es posible reproducir la evolución temporal de la temperatura interna para diferentes condiciones externas.

Las simulaciones permiten estimar el comportamiento térmico de las diferentes zonas que conforman un edificio, los consumos de energía y la producción asociada de CO₂ que conlleva, como así también analizar diferentes estrategias de control y comportamientos de los sistemas o equipos de climatización, prever la evolución de temperatura o humedad relativa en las diferentes zonas del edificio, etc. Los efectos de cada una de las contribuciones al cálculo (materiales de la envolvente, construcciones, cantidad de espacios, fuentes internas, ganancia solar, etc.) varían con el tiempo y dependen de las condiciones ambientales, zona climática, tipo de edificio y sus características térmicas, y del uso y control que se establezca. También es importante tener en cuenta la “inercia térmica”, es decir la propiedad de un material relacionada con la facilidad con que cambia su temperatura ante variaciones de la temperatura exterior. Como esta inercia nunca es despreciable, el uso de una aproximación estacionaria para establecer la demanda energética real del edificio puede conducir a resultados incorrectos [7].

Existe una gran variedad de software aplicados a la simulación energética y al análisis térmico de edificaciones. La utilización de estos programas implica conocer en detalle la descripción digital del edificio y los valores de todos los parámetros edilicios involucrados. Dada la incertezza sobre los valores de los parámetros característicos de los materiales empleados, se requieren validaciones específicas para definirlos. Si bien esta tarea conlleva un esfuerzo importante, los programas de simulación son herramientas ventajosas para determinar el balance térmico total del edificio o el parcial de cada componente de la envolvente, y también para analizar situaciones virtuales que son difíciles o costosas de estudiar de otra manera.

En los últimos años, en varios países han sido adoptadas diferentes medidas y acciones hacia el crecimiento de la eficiencia energética y la reducción de pérdidas, donde se evidencia un especial énfasis hacia las etapas de uso final. Dentro de este contexto, se ha identificado que los edificios son unos de los mayores consumidores de energía, con el consecuente impacto en cuanto a emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y, por lo tanto, en el cambio climático. Un edificio tiene un ciclo de vida largo, así que su efecto en el medioambiente es de larga y permanente duración [9]. Diversos estudios indican que, con la tecnología existente, se pueden conseguir importantes mejoras en la eficiencia de los inmuebles, sin disminuir niveles de seguridad y confort. También se indica que el costo neto derivado de la implantación de estas mejoras tiene un valor neutro si se tienen en cuenta los ahorros generados [10].

La elaboración de indicadores de eficiencia energética, específicamente los utilizados para medir el rendimiento energético en los edificios, brindan la información necesaria para el funcionamiento óptimo del sistema energético, de pequeños y grandes consumidores, como es el caso de los edificios educativos. Estas edificaciones ameritan ser analizadas para estudiar e implementar soluciones tecnológicas que incrementen la eficiencia energética, con el objetivo de reducir significativamente el consumo de energía a la vez que se crea conocimiento que puede ser aplicado en actividades de

docencia, extensión e investigación [11].

Por otro lado, la gestión energética comprende una serie de actividades que permiten generar cambios organizacionales, tanto en estructura como en algunos procesos y procedimientos. Su incorporación también implica cambios en la forma de pensar y actuar de aquellas personas que están directamente relacionadas con el manejo de los procesos consumidores de energía [12].

Los parámetros obtenidos de la gestión energética, permiten la aplicación de la Norma internacional ISO 50001, que tiene que ver con los sistemas de gestión de la energía, ya que esta norma está destinada a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, de los costos y consumos de la energía y de otros impactos ambientales relacionados, en tal sentido la implementación de los indicadores supone una mejora continua en estos aspectos establecidos en la norma [13]. Los indicadores de desempeño energético (IDEn) y las líneas de base de energía (LBE) sirven como referencia que caracteriza y cuantifica el desempeño energético de la institución durante un período de tiempo especificado. La LBE permite a la organización evaluar los cambios en el desempeño energético entre diferentes períodos. También, se utiliza para el cálculo del ahorro de energía, como referencia antes y después de la implementación de acciones de mejora de desempeño energético [14].

De acuerdo con lo anterior, se hace necesaria la construcción e implementación de indicadores de gestión que incluyan las principales variables de los consumos energéticos para un edificio educativo, con el fin de evaluar de manera continua el nivel tecnológico y los hábitos de consumo a medida que se van percibiendo o no las mejoras presupuestada en los planes iniciales [15].

En Latinoamérica existen países cuyos gobiernos han implementado leyes de Eficiencia Energética, Brasil (Ley N° 9.991), Colombia (Ley N° 697), Costa Rica (Ley de Regulación del Uso Racional de la Energía), Chile (Ley y Plan Nacional de Eficiencia Energética) [16] y muchos otros. Además, hay países pioneros en trabajar la problemática de la eficiencia energética en establecimientos educativos tales como Chile, que implementó una Guía de Eficiencia Energética para Establecimientos Educativos (GEEEduc) [17] y Brasil donde existe el proyecto de Campus Sustentable [18].

En Argentina se aprobó el Decreto N° 140/2007 que tiene como objetivo lograr un uso racional de la energía eléctrica que dio como resultado la elaboración del Plan Nacional de Eficiencia Energética (PlanEEAr) [19]. Una de las acciones que propone este plan consiste en estimar el consumo de energía eléctrica de los edificios, con el objetivo de saber qué medidas aplicar para reducir el consumo. Este plan se ha combinado con la implementación en varias universidades de instalaciones piloto de energía renovables, que ha servido para realizar varios análisis sobre el uso de la energía en dichas instituciones [20]. La Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Entre Ríos (FI-UNER), desde el año 2012 viene implementando diferentes políticas que tienden a mejorar la gestión ambiental, la eficiencia energética y la implementación de energías renovables [8] [21] [22].

En relación al estudio de la energía en edificios educativos universitarios, en Argentina se está llevando a adelante el Proyecto Federal de Eficiencia Energética Universitario (PROFEE). Este se centra en el análisis del consumo de energía eléctrica en instituciones de educación superior y en la evaluación del impacto de la generación a partir de fuentes renovables sobre dichas instituciones y el medio ambiente. En este sentido, el proyecto pretende realizar diagnósticos energéticos en cada una de las ins-

tituciones intervenientes a fin de identificar cómo se desagregan los consumos eléctricos (iluminación, climatización, equipos especiales, etc.) y cuáles son sus factores determinantes (clima, usuarios, según el tipo de actividad y bandas horarias). Los datos relevados son procesados para obtener información sistematizada y determinar los perfiles de consumo de energía eléctrica de los edificios que conforman la red. Esto permitirá identificar oportunidades de mejora de la eficiencia energética y las posibilidades de incorporar sistemas de generación fotovoltaica. A su vez, esta información permitirá diseñar e implementar campañas de sensibilización sobre el uso energético en las instituciones [23].

La estrategia metodológica utilizada, se orientó hacia un enfoque cuantitativo de tipo experimental que permitió interpretar y comparar datos de manera simple y facilitar la evaluación y comparación de los resultados en distintos períodos. Además, los resultados obtenidos se pueden replicar eventualmente en otras unidades académicas y/o instituciones e industrias.

El diseño metodológico requirió de la confección de una planilla de relevamiento estandarizada, donde se contabilizaron los consumos energéticos relacionados con la climatización, iluminación, equipos eléctricos especiales, etc. También se desarrolló una base de datos de la energía consumida en tiempo real para registrar los datos de manera sistematizada. Esta tarea implica la descripción previa de supuestos teóricos, preguntas propias de la investigación, hipótesis, variables a comprobar, operacionalización de variables, selección y diseño de instrumentos de medición y tratamiento de los resultados y de la información.

En una primera etapa se realizó un análisis descriptivo del lugar donde está ubicada la Facultad de Ingeniería según la zona bioambiental (IRAM 11603) [4]. Luego se realizó un relevamiento de datos de ocupación y cargas eléctricas. Con los aportes de estos datos y la utilización de programas como el EnergyPlus, OpenStudio y SketchUp se logró desarrollar y relacionar el diseño 3D del edificio con los datos meteorológicos obtenidos de la zona (Aeropuerto J.J de Urquiza e INTA-Paraná). A través de la simulación con estos programas computacionales se analizó el intercambio de energía con el exterior y los efectos de las principales cargas térmicas de los diferentes edificios de la FI-UNER. También, para la implementación del modelado se tuvieron en cuenta los materiales constructivos de los muros, aberturas, pisos y cubiertas del edificio.

Para evaluar los consumos de energía eléctrica del Módulo 1 de la Facultad de Ingeniería de la UNER se instaló un medidor inteligente (marca CIRCUTOR Modelo: CirSET-130), adquirido por comodato entre la UNRaf y la UNER, a través de la participación del Grupo de Investigación y Desarrollo en Energía y Medio Ambiente (GIDEMA) en el Proyecto Federal de Eficiencia Energética Universitario (ProFEE Universitario). Por medio de este medidor, se obtuvo la información instantánea cada 60 minutos de las variables eléctricas de consumo.

Este Medidor se instaló en el módulo 1 de la FI-UNER, brindando información acerca del comportamiento de la demanda, lo que nos permitió proponer acciones para minimizar el consumo. El medidor fue instalado en el año 2022; y para este proyecto se utilizaron los datos de las mediciones mensuales para los meses de enero a diciembre del año 2024. A partir de los datos medidos se construyeron las curvas de demanda eléctrica anual, sobre las cuales se interpreta la posible incidencia de los usos. También se evalúa la monótona de carga horaria; la interacción entre el consumo y la temperatura a partir de datos horarios aportados por la estación Experimental INTA-Paraná

localizada en la localidad de Oro Verde.

También se simuló la inserción de un sistema fotovoltaico (FV) para la cobertura del consumo de energía eléctrica de dos sectores del Módulo 1 de la Facultad de Ingeniería de la UNER. Para ello se utilizó el software PVSol en su versión de prueba y se ensaya un sistema que se aadecue a las características de la cubierta de cada sector. Además, se estimó la cobertura directa que tendría la demanda a partir de la energía generada por el sistema FV, la energía a tomar de la red pública y la energía excedente del FV para cada caso, con el fin de realizar un uso óptimo y racional de la energía consumida, minimizando los costos de compra de la misma.

Para el desarrollo del proyecto se hizo énfasis en la revisión bibliográfica y en la documentación de todas las tareas realizadas. La relación entre el grupo de trabajo se fomenta mediante reuniones periódicas donde se debaten los avances del proyecto y así repensar los enfoques y actividades realizadas.

Una vez obtenidos y procesados los datos se logró hacer una caracterización térmica y un diagnóstico energético para identificar algunos programas de ahorro energético y detectar áreas de mejoras, y confeccionar indicadores de desempeño energético.

Síntesis de resultados

Visitas y capacitaciones:

Algunos docentes e investigadores integrantes del PID realizaron visitas de capacitación al Laboratorio de Investigación y Desarrollo de la Electro movilidad, Eficiencia Energética y Energías Renovables (LIDER-UNRaf), al Grupo de Electrónica Aplicada (GEA-UNRC) y al Centro de Investigación en Métodos Computacionales (CIMEC-UNL) donde se están desarrollando aplicaciones tecnológicas relacionadas con la eficiencia energética y las fuentes de energías renovables. Además, fueron instruidos en los modelos computacionales, el uso de medidores de energía, monitoreo en tiempo real del consumo energético y la confección de indicadores de desempeño energéticos.

Relevamiento integral del espacio, uso y consumo eléctrico en la FI-UNER:

Se realizó el relevamiento de las áreas, materiales utilizados en la construcción, ocupación y consumos eléctricos del módulo 1 de la FI-UNER. Este relevamiento fue utilizado para el desarrollo de la simulación de la caracterización térmica del edificio del Centro de innovación, Emprendimiento y Vinculación (CiEV) de la Facultad de Ingeniería (FIUNER), con el fin de evaluar el comportamiento térmico y el consumo de energía destinado a climatización aprovechando los recursos naturales de iluminación y ventilación, el cual se ha llevado a cabo a través de los programas de modelado y simulación SketchUp®, OpenStudio® y EnergyPlus.



Figura 1. Instalación del medidor inteligente, a la izquierda el tablero del módulo 1.
En azul el CiEV (PA) y en verde el sector de secretarías, oficinas y aulas (PB).

a. Relevamiento de ocupación y cargas del módulo 1 de la FI-UNER

Las cargas térmicas de verano son distintas a las de invierno y en ambas estaciones hay períodos en los que es posible evitarlas. Durante los períodos de vacaciones, los edificios permanecen cerrados y la ventilación es mínima, el número de usuarios y la disipación energética generada por la actividad metabólica de los mismos pueden despreciarse, como así también la carga térmica generada por la iluminación y los equipos eléctricos y electrónicos. Por lo tanto, la simulación del comportamiento térmico de la Facultad durante vacaciones y recesos resulta más sencilla con una notoria disminución de los parámetros utilizados. En caso contrario, la simulación que contempla la operación de los equipos de acondicionamiento de aire (refrigeración y calefacción), ventilación natural requiere definir lo mejor posible las cargas internas, introducir los parámetros que se correspondan con los equipos disponibles y programar los horarios de funcionamiento correspondientes de acuerdo con la ocupación horaria en los diferentes días de la semana.

A continuación, se expone una breve descripción de las características de los edificios que conforman el módulo 1 de la FI-UNER:

El Centro de innovación, Emprendimiento y Vinculación (CiEV) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Entre Ríos (Figura 2), fue construido en el año 2020 según los estándares recomendados para la zona y es la construcción más nueva de la Facultad. Está situado en la planta alta con una superficie de 150 m², una fachada frontal de 85 m², construida mayormente de superficie vidriada. Las aberturas de doble vidriado hermético (DVH) con cámara de aire de 0,006 m de espesor abarcan un área de 51 m², mientras que las puertas y los paneles fijos vidriados internos de simple vidrio ocupan 24 m². El resto de la fachada y ambas paredes laterales se componen de muros de 0,20 m de espesor compuestos de revoque fino y grueso, ladrillo alivianado de HCCA y revoque fino y grueso interno, cubriendo un área total de 77 m². La pared posterior sur se compone de muros de 0,45 m de espesor compuestos de revoque fino y grueso, aislante hidrófugo y ladrillo visto, cubriendo un área total de 85 m². La relación vidrio/muro es del 32% distribuida de la siguiente manera: 78% del área vidriada se ubica al norte (N), 7% al este (E) y 15% al oeste (O).

El edificio del CiEV se describe mediante 151 superficies que conforman 5 espacios internos (oficina, espacio común, sala de reuniones, hall de entrada y baños) distribui-

dos en la planta alta (PA). Mediante una escalera metálica se accede al hall de entrada del edificio. En este sector, la envolvente es de alta calidad termoenergética, con valores de transmitancia térmica de $2,41 \text{ W/ m}^2 \text{ °C}$ en muros alivianado, $1,28 \text{ W/m}^2 \text{ °C}$ en muro al sur, $0,073 \text{ W/m}^2 \text{ °C}$ en techo, $2,44 \text{ W/m}^2 \text{ °C}$ en piso y $3,205 \text{ W/m}^2 \text{ °C}$ en aberturas (para mayor detalle ver Tabla 1). Este sector no cuenta con gas natural, por lo que el sistema de climatización está resuelto mediante 4 equipos de aire acondicionado individuales frío-calor. Además de los aires acondicionados, se identifican computadoras fijas y portátiles, iluminación y equipos de refrigeración y calentamiento de agua como los equipos más importantes en cuanto a consumo. En la Tabla 2 se detalla un listado de los equipos eléctricos presentes en el sector a los efectos de caracterizar de forma aproximada su comportamiento.



Figura 2. Plano e imágenes del sector de CiEV de la FI-UNER.

En cuanto a la planta baja, por un lado, se trata de oficinas y secretarías como el departamento personal, secretarías de extensión, académicas e investigación, decanato, mesa de entrada, alumnado, área contable entre otras; y un bloque de 4 aulas (Figura 3). En la planta baja también se ubican dos baños cercanos al área donde se disponen las aulas. La planta baja del módulo 1, tiene en total un área de 1.200 m² cubiertos y 160 m² de galerías externas semicubiertas. La envolvente es de baja calidad termoenergética, con valores de transmitancia térmica de 1,71 W/ m²°C en muros, 0,08 W/ m²°C en techos y 7,04 W/m²°C en aberturas (para mayor detalle ver Tabla 1). Este sector cuenta con un sistema de climatización para las oficinas y secretarías resuelto por medio de aires acondicionados individuales para cada espacio, totalizando 15 equipos. Por su parte, el sector de aulas no cuenta con calefacción, y disponen de ventiladores. Se evidencia una importante demanda eléctrica a partir de la conexión de computadoras portátiles de los y los estudiantes durante las horas de clase, ya que las aulas pueden albergar comisiones muy numerosas dada su superficie (aproximadamente 450 personas). Además, la carga eléctrica de los ventiladores en épocas de verano puede resultar relevante dada la cantidad de alumnos que pueden ingresar en las aulas. Para más detalle del equipamiento, ver Tabla 2.



Figura 3. Plano e imágenes del sector de oficinas, secretarías y aulas del módulo 1 de la FI-UNER.

A continuación, en la Tabla 1 se exponen las características de la envolvente de cada sector analizado.

Tabla 1. Caracterización de la envolvente edilicia de los sectores analizados.

Propiedades térmicas de la envolvente		
	CIEV	Oficinas, secretarías y aulas
Muros livianos	Ladrillo alivianado HCCA de 10 cm con revoque grueso y fino en ambos lados	Ladrillo alivianado HCCA de 10 cm con revoque grueso y fino en ambos lados
	2,415 W/m ² °C	2,415 W/m ² °C
Otros muros	Ladrillo común de 45 cm con revoque grueso y fino en ambos lados	Ladrillo común de 25 cm con revoque grueso y fino interior
	1,28 W/m ² °C	1,71 W/m ² °C
Aberturas	Perfiles de polímero y vidrio DVH de 18 mm con 6 mm de cámara de aire	Perfiles de aluminio y vidrio simple
	3,205 W/m ² °C	7,04 W/m ² °C
Cielorraso y cubierta	Chapa de Zinc, membrana aislante de espuma de polietileno 1 cm con cámara de aire y cielorraso suspendido de placas de yeso	Chapa de Zinc, membrana aislante de fibra de vidrio con cámara de aire y cielorraso suspendido de placas de yeso
	0,0736 W/m ² °C	0,08 W/m ² °C
Pisos	Cerámica de loza, contrapiso y hormigón denso	Cerámica de loza y contrapiso
	2,44 W/m ² °C	5,025 W/m ² °C

En la tabla 2 se muestran los valores obtenidos en el relevamiento de los consumos de los equipos en los espacios analizados.

Tabla 2. Caracterización del consumo eléctrico de los sectores analizados.

Relevamiento de equipos eléctricos				
	CIEV		Oficinas, secretarías y aulas	
	Cantidad	Pot. unitaria	Cantidad	Pot. unitaria
AA 1000 F/h	-	-	14	550 W
AA 1200 F/h	-	-	1	650 W
AA 1700 F/h	-	-	1	750 W
AA 3000 F/h	1	1270 W	-	-
AA 4000 F/h	1	1500 W	-	-
AA 9000 F/h	2	3300 W	-	-
PC portátil	10	120 W	6 fijas + variable	120 W

PC escritorio	2	300 W	28	300 W
Teléfono	2	44 W	14	44 W
Televisor LED	2	200 W	4	200 W
Proyector	1	350 W	4	350 W
Parlantes	-	-	4	120 W
Robot ABB 250	1	250 W	-	-
Dispenser	1	1000 W	2	1000 W
Ventiladores	-	-	30	280 W
Caloventor	-	-	7	2000 W
Pava/microondas	3	800 W	6	800 W
Cafetera	1	200 W	1	200 W
Heladera	1	900 W	2	900 W
Tubo LED	2	18 W	140	18 W
Plafón LED	20	40 W	70	40 W
Secador de mano	-	-	2	500 W
Sistema de control	1	120 W	1	1200 W

b. Análisis del consumo del módulo 1 de la FI-UNER

Con los datos brindado por el medidor de energía, se obtuvieron los perfiles del consumo del módulo 1 de la Facultad de Ingeniería durante el año 2024.

La Figura 4 muestra los consumos mensuales medidos de enero a diciembre de 2024.



Figura 4: Demanda del consumo eléctrico mensual del módulo 1 de la FI-UNER - Año 2024

En la figura 4 se puede apreciar como baja la demanda en los periodos de receso (enero y julio). También puede apreciarse que los picos de mayor demanda se dieron en los meses de febrero y marzo (comienzo de actividades académicas coincidente con periodo estival de altas temperaturas).

El módulo 1 de la FI-UNER presentó un consumo de energía eléctrica de 37.823 kwh durante 2024 (25,21 kWh/año*m²), con un consumo promedio de 3.152 kwh que; desde el punto de vista del uso, equivale a: 80 % iluminación y equipos electrónicos de uso informático y 20% climatización. A su vez, es importante destacar que un 46% de la energía consumida es en estado stand by, un punto muy fuerte que se analizó, ya que se puede generar una gran optimización energética mejorando el consumo durante ese periodo.

Su curva anual (Figura 4) refleja un comportamiento vinculado a un consumo de base conformado por las computadoras fijas, servicio de agua caliente/fría para consumo e iluminación que demanda unos 30.658 kWh/año (86% del consumo total). Este consumo de base se estimó a partir de considerar la demanda de abril y de octubre como meses sin requerimientos de climatización. Por su parte, se observan dos picos anuales de consumo: el primero, destinado a calefacción mediante aires acondicionados y caloventores en los meses de invierno, que demanda unos 1.974 kWh/año (6% del consumo total); y el segundo destinado a la refrigeración por medio de aires acondicionados en los meses de verano, que demanda unos 2.705 kWh/año – a excepción de enero que el edificio se mantiene cerrado- (8% del consumo total).

En cuanto al comportamiento horario anual, la monótona de carga refleja un consumo de 1 a 9 kW durante gran parte del año (88 %), mientras que se observan picos que van desde los 9,6 kW a los 47 kW durante aproximadamente 10% de las horas del año (Figura 5). Este comportamiento se explica en la Figura 6, donde se observa que las demandas pico, que van de los 20 a 30 kwh se alcanzaron cuando las temperaturas exteriores se mantuvieron en torno a los 28°C a 38°C, es decir que la demanda por refrigeración es la que refleja mayores picos de potencia eléctrica; considerando que no hay calefacción por otra fuente de energía. Por su parte, se identifican también consumos que superan los 20 kW de potencia en períodos donde la temperatura exterior es cercana o inferior a los 15°C (Figura 6). En la Figura 6 también se observa que la mayoría de las horas del año hay un consumo de base de 1 a 10 kW, generado por la demanda de las computadoras, en el rango de temperaturas que va desde los 10 a los 30°C. En efecto, entre los tres gráficos y el reconocimiento del equipamiento instalado es posible identificar ciertos patrones de uso que caracterizan de forma notoria al sector estudiado y la actividad que allí se desarrollan.

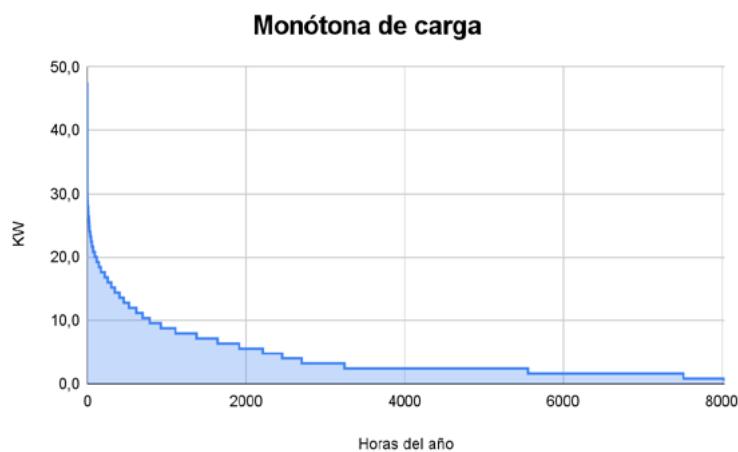


Figura 5. Monótona de carga del módulo 1 de la FI-UNER

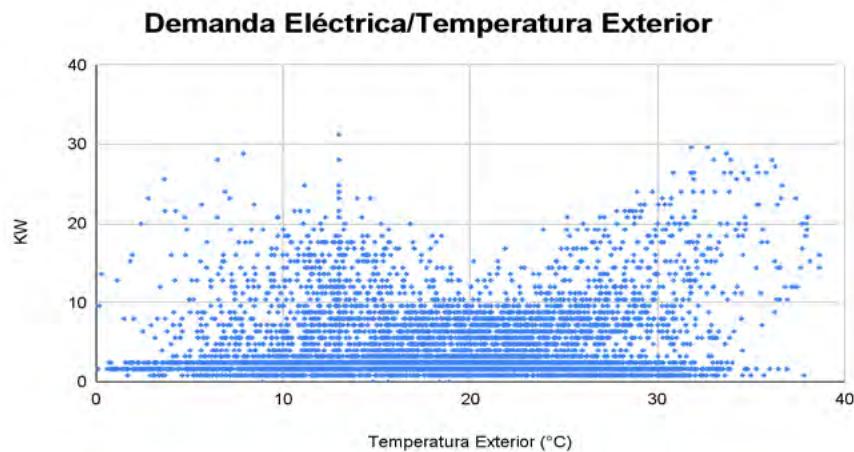


Figura 6. Interacción entre la demanda eléctrica y la temperatura exterior del módulo 1

Con la información obtenida del medidor, se construyó el perfil típico diario de consumo de energía para todos los días de la semana en verano (Figura 7) e invierno (Figura 8).

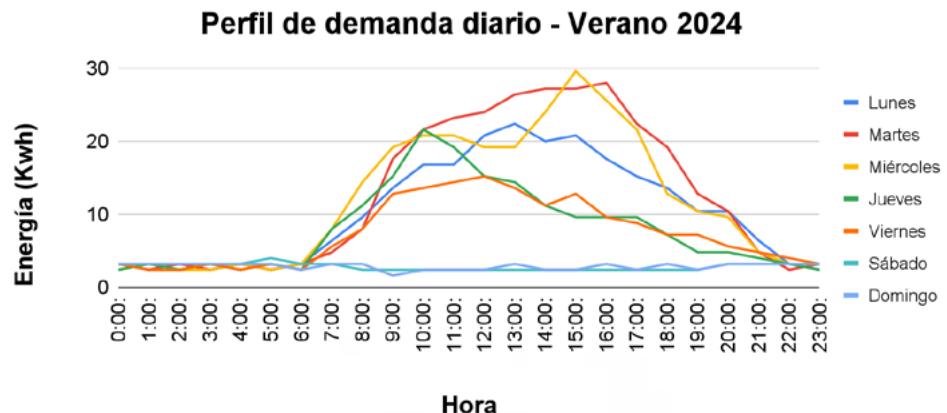


Figura 7. Perfil de demanda diario para verano del módulo 1.

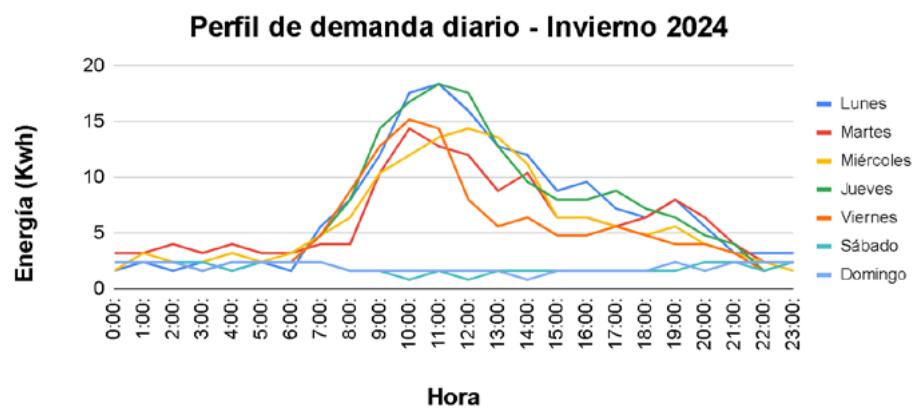


Figura 8. Perfil de demanda diario para invierno del módulo 1.

Se puede observar que el perfil diario en verano muestra una mayor demanda de energía que en invierno, producto del uso de los aires acondicionados y ventiladores. Las curvas entre lunes y viernes, tienen un comportamiento similar con un pico de 30 Kwh en verano y de 18,4 Kwh en invierno. Para el caso de los días sábado y domingo el consumo energético es menor, donde se observa una potencia promedio de 2,85 Kwh en verano y 1,9 Kwh en invierno, la cual corresponde a los equipos informáticos, de seguridad e iluminación nocturna.

c. Validación del Modelo mediante datos reales de temperatura y humedad

En el análisis realizado, un aspecto clave fue la verificación del modelo simulando mediante el uso de software de modelado térmico y energético, complementado con datos reales de medición de variables ambientales. Se incorporaron registros de temperatura y humedad obtenidos mediante un medidor específico (data Logger de Temperatura y Humedad Wifi C/historial de Datos) adquirido con financiamiento del proyecto, lo que permitió validar las condiciones climáticas utilizadas en las simulaciones. Esta etapa de comparación fue fundamental para garantizar la precisión y representatividad del modelo, asegurando que los resultados obtenidos reflejaron el comportamiento real de los sistemas analizados en el edificio del CiEV de la Facultad de Ingeniería.

Los datos de temperatura y humedad, junto con el consumo energético registrado, se integraron al modelo para ajustar los parámetros y mejorar su fiabilidad. Este enfoque permitió no solo validar el modelo, sino también evaluar la sensibilidad del consumo energético a las variaciones climáticas locales. La incorporación de estas mediciones reales aporta un valor agregado al estudio, permitiendo optimizar las estrategias de eficiencia energética y dimensionamiento de fuentes alternativas bajo condiciones específicas del entorno, lo que incrementa la aplicabilidad de los resultados obtenidos.

En la Figura 9 se puede observar la temperatura interna medida (línea azul), la temperatura interna simulada computacionalmente (línea roja) y la temperatura externa real (línea verde) durante el mes de febrero de 2024. A través de la misma se puede observar la correlación en los perfiles de temperatura; como así también es notoria la carga o masa térmica que presenta el edificio.

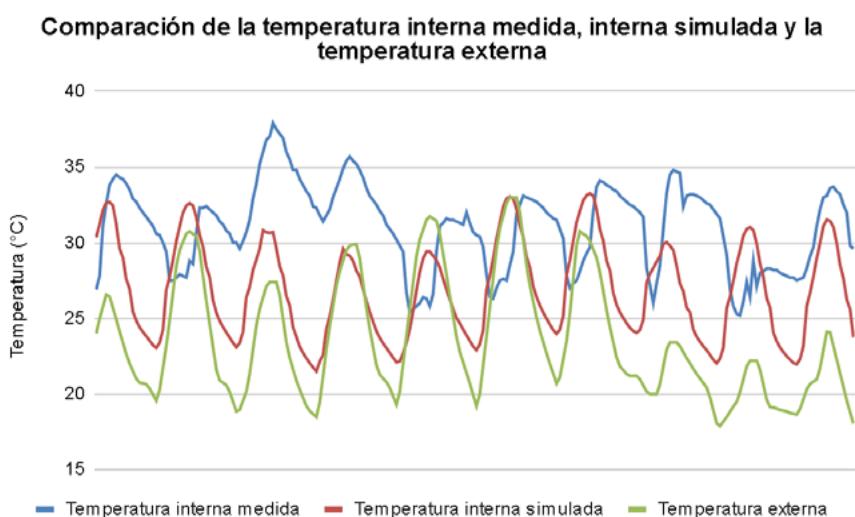


Figura 9. Comparación de la temperatura interna medida, simulada y la temperatura externa real.

d. Demandas facturadas en la FI-UNER

Si tomamos los consumos registrados en la facturación durante el año 2024 en la Facultad de Ingeniería (UNER), podemos apreciar los bajos consumos en los períodos de receso y que los mayores registros se dieron en los períodos de febrero y marzo. En la Figura 10 se muestran los consumos mensuales facturados durante el año 2024.

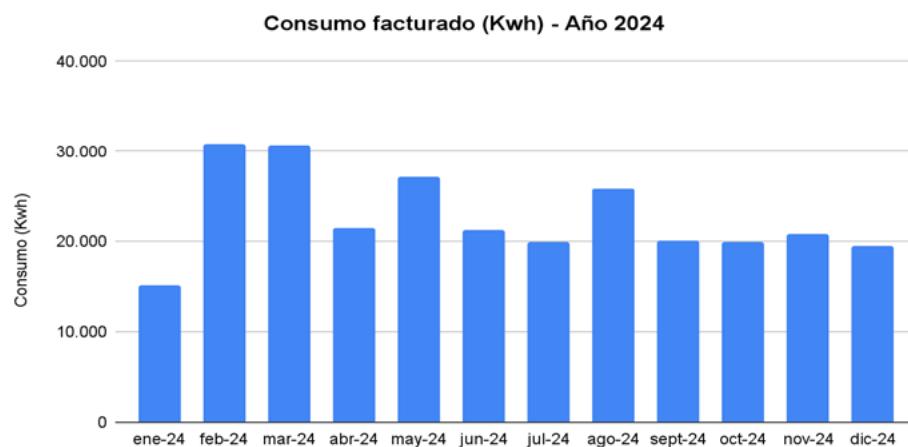


Figura 10: Consumos mensuales facturados - Año 2024

Indicadores del desempeño energético y Línea de Base Energética:

En este caso, acudimos a la norma IRAM 50006:2019, cuyo objetivo es “proporcionar a las instituciones y/u organizaciones una orientación práctica sobre cómo cumplir con los requisitos de ISO 50001 relacionados con la creación, uso y mantenimiento de los indicadores de desempeño energético (IDEn) y líneas de base de energía (LBE) en la medición del desempeño energético y de los cambios del desempeño energético”.

“La LBE es una referencia que caracteriza y cuantifica el desempeño energético de la institución durante un período de tiempo especificado. La LBE permite a la organización evaluar los cambios en el desempeño energético entre períodos seleccionados. La LBE también se utiliza para el cálculo del ahorro de energía, como referencia antes y después de la implementación de acciones de mejora de desempeño energético” [14].

Indicadores de desempeño del módulo 1

a- Índice de consumo energético por zona

Este indicador, busca monitorear el consumo específico de las diferentes dependencias dentro de la instalación. Aspecto medido: consumo de energía eléctrica de la dependencia, relacionada con el área ($\text{kWh}/\text{mes-m}^2$). A continuación, en la Tabla 3 se muestran el indicador propuesto, el valor y la fuente de información para realizar el seguimiento.

Tabla 3: Índice de consumo eléctrico por zona

Indicador	Dependencia/zona	Unidad	Valor	Fuente de información
Índice de consumo energético por zona	PA:CIEV	kWh/m ²	37823/150 252	Los consumos a partir del medidor instalado y las dimensiones físicas construidas (en m ²) de los planos arquitectónicos.
	PB: oficinas		37823/540 70,05	
	PB: aulas		37823/600 63,04	

b- Indicadores del módulo

Con estos indicadores, se busca monitorear el consumo medido del edificio y compararlo con edificaciones similares. Aspecto medido: consumo de energía eléctrica del módulo 1, relacionada con el área y la ocupación (unidades en Tabla 4).

Para obtener los indicadores relacionados con la ocupación del edificio, se realizó el relevamiento de ocupación del módulo, en donde el número de estudiantes aproximado que ocupan el edificio es de 305 y la cantidad de docentes y no docentes en este módulo es de 72.

Tabla 4: Indicadores para el módulo 1

Indicador	Unidad	Valor	Fuente de información
Índice de consumo energético por área total	Kwh/m ²	37823/1510 25,05	Los consumos a partir del medidor instalado y las áreas construidas (en m ²) obtenidas de los planos arquitectónicos.
Índice de consumo energético por persona.	Kwh/persona	37823/377 100,32	Los consumos a partir del medidor instalado y la cantidad total de personas (docentes, no docentes y estudiantes) que ocupan el edificio.

c- Índice de consumo energético por alumnos

El indicador de desempeño del módulo 1, es la medición del consumo de energía por alumnos que ocuparon las instalaciones del módulo 1 de la FIUNER, el cual se calcula utilizando la sumatoria de la energía eléctrica activa medida dividida entre la cantidad total de alumnos que desempeñaron sus actividades académicas en el módulo 1 de la Facultad de Ingeniería de la UNER durante el año 2024. Ver Figura 11 y tabla 5.

**Figura 11:** Consumo medido de Energía Eléctrica por alumno en el módulo 1 de la FIUNER - Año 2024

Tabla 5: Formato consumo medido de Energía Eléctrica 2024 en el módulo 1

Mes	Energía med. (Kwh) [E]	Cantidad de alumnos [N]	Kwh/alumnos [E/N]
Enero	1392,8	305	4,57
Febrero	4328	305	14,19
Marzo	4377,6	305	14,35
Abril	2986,4	305	9,79
Mayo	3825,6	305	12,54
Junio	2972	305	9,74
Julio	2868	305	9,40
Agosto	4148,8	305	13,60
Septiembre	2810,4	305	9,21
Octubre	2984,8	305	9,79
Noviembre	2643,2	305	8,67
Diciembre	2485,4	305	8,15
Total	37823		124,01

Sobre la base de la información de la tabla 5, se completó la tabla 6, la cual representa la línea base de energía eléctrica del módulo 1 de la Facultad de Ingeniería de la UNER.

Tabla 6: Reporte de consumo de energía 2024 - Línea base de energía del módulo 1

Indicador	Fórmula	Valor	Descripción
Consumo anual medido de energía eléctrica activa (kWh)	Σ Consumo mensual medido	37.823 Kwh	Resultado de la sumatoria de la energía eléctrica activa medida de todos los meses durante el 2024
Consumo promedio mensual de energía eléctrica activa (kWh)	$(\Sigma$ Consumo mensual)/12	3.152 Kwh/mes	Consumo total anual de energía eléctrica activa (kWh), dividido entre los 12 meses del 2024
Número de alumnos (Población Universitaria)	N promedio	305 Alumnos	Sumatoria del número total de alumnos (población universitaria) entre los 12 meses del 2024
Indicador de desempeño: consumo de energía eléctrica activa anual (kWh)/alumno/año	Total anual(kWh)/N promedio	124 Kwh/Alumno	El resultado se obtiene dividiendo el consumo anual de energía eléctrica (kWh), entre el promedio de alumnos registrados en el 2024
Indicador de desempeño: consumo promedio de energía eléctrica mensual (kWh)/alumno/mes	$(\Sigma$ Consumo mensual)/12/N/mes	10,33 Kwh/Alumno	El resultado se obtiene dividiendo el consumo promedio mensual de energía eléctrica (kWh), entre el número de personas registradas en ese mismo mes

Indicador de desempeño de la FIUNER

El indicador de desempeño es el consumo de energía por población total de alumnos universitarios, el cual se calcula utilizando la sumatoria de la energía eléctrica activa dividida entre la cantidad total de alumnos que asistieron a la Facultad de Ingeniería de la UNER durante el año 2024. Ver Figura 12 y tabla 7.

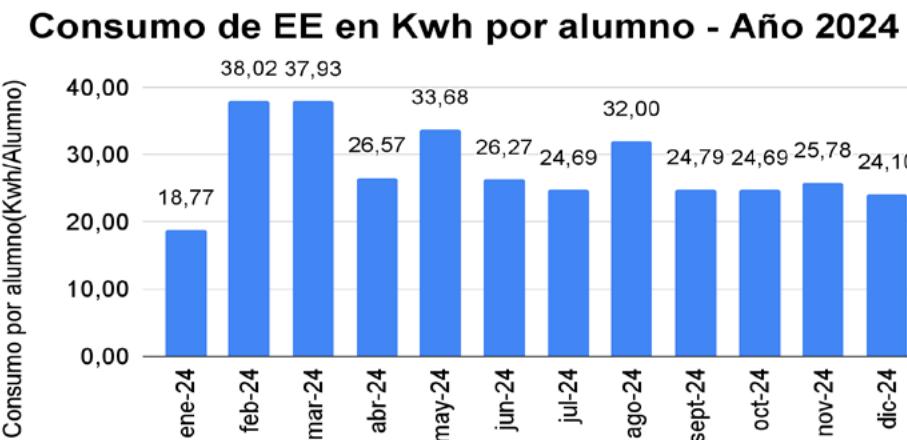


Figura 12: Consumo de Energía Eléctrica por alumno de la FIUNER - Año 2024

Mes	Consumo (Kwh) [C]	Cantidad de alumnos [N]	Total Factura (\$) [P]	Kwh/alumnos [C/N]	Costo/alumnos [P/N]
Enero	15.200	810	1.099.461,63	18,77	1.357,36
Febrero	30.800	810	4.127.979,63	38,02	5.096,27
Marzo	30.720	810	4.421.087,06	37,93	5.458,13
Abril	21.520	810	3.976.998,17	26,57	4.909,87
Mayo	27.280	810	4.878.323,00	33,68	6.022,62
Junio	21.280	810	5.474.392,66	26,27	6.758,51
Julio	20.000	810	6.056.891,98	24,69	7.477,64
Agosto	25.920	810	7.572.277,90	32,00	9.348,49
Septiembre	20.080	810	7.085.952,36	24,79	8.748,09
Octubre	20.000	810	6.119.753,69	24,69	7.555,25
Noviembre	20.880	810	6.251.513,43	25,78	7.717,92
Diciembre	19.520	810	6.090.939,14	24,10	7.519,68
Total	273.200	810	63.155.570,65	337,28	77.969,84

Tabla 7: Formato consumo de Energía Eléctrica 2024

Sobre la base de la información de la tabla 7, se completó la tabla 8, la cual representa la línea base de energía eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la UNER.

Tabla 8: Reporte de consumo de energía 2024 - Línea base de energía

Indicador	Fórmula	Valor	Descripción
Consumo anual de energía eléctrica activa (kWh)	Σ Consumo mensual	273.200 Kwh	Resultado de la sumatoria de la energía eléctrica activa de todos los meses durante el 2024
Costo anual de energía eléctrica activa(\$)	Σ Costo mensual	\$ 63.155.570,65	Sumatoria de los costos mensuales (energía eléctrica activa) durante el 2024
Consumo promedio mensual de energía eléctrica activa (kWh)	$(\Sigma$ Consumo mensual)/12	22.766,66 Kwh	Consumo total anual de energía eléctrica activa (kWh), dividido entre los 12 meses del 2024
Costo promedio mensual (\$)	$(\Sigma$ Costo mensual)/12	\$ 5.262.964,22	Costo total anual de energía eléctrica, dividido entre los 12 meses del 2024
Número de alumnos (Población Universitaria)	N promedio	810 alumnos	Sumatoria del número total de alumnos (población universitaria) entre los 12 meses del 2024
Indicador de desempeño: consumo de energía eléctrica activa anual (kWh)/alumno/año	Total anual(kWh)/N promedio	273.200/810 337,28 Kwh/alumno	El resultado se obtiene dividiendo el consumo anual de energía eléctrica (kWh), entre el promedio de alumnos registrados en el 2024
Indicador de desempeño: costo del consumo de energía eléctrica anual/ alumno/año	Total Costo anual de energía eléctrica(\$)/N promedio	63.155.570,65/810 77.969,84 \$/alumno	El resultado se obtiene dividiendo el costo del consumo anual de energía eléctrica activa (\$), entre el promedio del número de personas registradas en el 2024
Indicador de desempeño: consumo promedio de energía eléctrica mensual (kWh)/alumno/mes	$(\Sigma$ Consumo mensual)/12/N/mes	22.766,66/810 28,1 Kwh/alumno/mes	El resultado se obtiene dividiendo el consumo promedio mensual de energía eléctrica (kWh), entre el número de personas registradas en ese mismo mes

Si comparamos los indicadores de consumo por alumnos del módulo 1 (Figura 9) con los de la Facultad en general (Figura 10), podemos observar que el valor del índice de consumo de toda la FI-UNER es mayor; y puede estar vinculado a que en el módulo 1 solo se dispone de aulas y oficinas de uso administrativas, y en los otros módulos se disponen los laboratorios y áreas con equipamientos de mayor consumo. Por otro lado, los valores de los indicadores encontrados en este proyecto son acordes a lo esperado para una institución educativa de la región Centro de Argentina [24].

Simulaciones de los sistemas fotovoltaicos para el módulo 1 de la FIUNER:

A continuación, se presentan los resultados de las simulaciones de los sistemas fotovoltaicos para ambos sectores analizados.

Sector del CIEV

La simulación del sistema FV (Tabla 9) consideró la utilización de un sector del techo de chapa de zinc de unos 45 m², donde los paneles deberían ser instalados a 45° del borde del mismo y sobre soportes que se adecúen a la pendiente (Figura 13). El arreglo consta de 27 módulos de 300 Wp (de 1,68 m² cada uno y una eficiencia del 18,1%), que totalizan unos 8,1 kWp. Se simuló un inversor AEG trifásico modelo AS-IC02-6000-2 con una potencia nominal de CC de 6 kW y una potencia de CC máxima de 9 kW (AEG, 2023). La energía generada anualmente sería de 6.994,31 kWh, la irradiación global sobre el módulo sería de 952,47 kWh/m², el coeficiente de rendimiento de la instalación (PR) de 84,20 % y el rendimiento anual específico de 863,50 kWh/kWp.

Sector de oficinas, secretarías y aulas

La simulación del sistema FV (Tabla 9) consideró la utilización de un sector del techo de chapa de zinc de unos 215 m², donde los paneles deberían ser instalados a 45° del borde del mismo y sobre soportes que se adecúen a la pendiente (Figura 13). El arreglo consta de 128 módulos de 300 Wp (de 1,68 m² cada uno y una eficiencia del 18,1%), que totalizan unos 38,4 kWp. Se simularon 6 inversores AEG trifásico modelo AS-IC02-6000-2 con una potencia nominal de CC de 6 kW y una potencia de CC máxima de 9 kW [25]. La energía generada anualmente sería de 33.239,43 kWh, la irradiación global sobre el módulo sería de 952,47 kWh/m², el coeficiente de rendimiento de la instalación (PR) de 84,40 % y el rendimiento anual específico de 865,61 kWh/kWp.

Tabla 9. Síntesis del sistema FV propuesto para el módulo 1 de la FI-UNER.

Sector	Orientación/ Inclinación	Potencia	Nº de paneles (300 Wp)	Energía anual generada	Demand-a total anual	De-manda cubierta por FV	De-manda cubierta por red	Energía inyectada a la red	Emi-siones de CO ₂ evitadas
CIEV	180°/45°	8,1 Kwp	27	6994,31 kWh	7800 Kwh	46%	54%	3406,3 kWh	3281,4 Kg/ año
Oficinas, secret. y aulas	180°/45°	38,4 Kwp	128	33239,43 kWh	29700 Kwh	42%	58%	20765 kWh	15594,6 Kg/ año
Total	180°/45°	46,5 Kwp	155	40234 kWh	37504 Kwh	44%	56%	24171,3 kWh	18876 Kg/ año

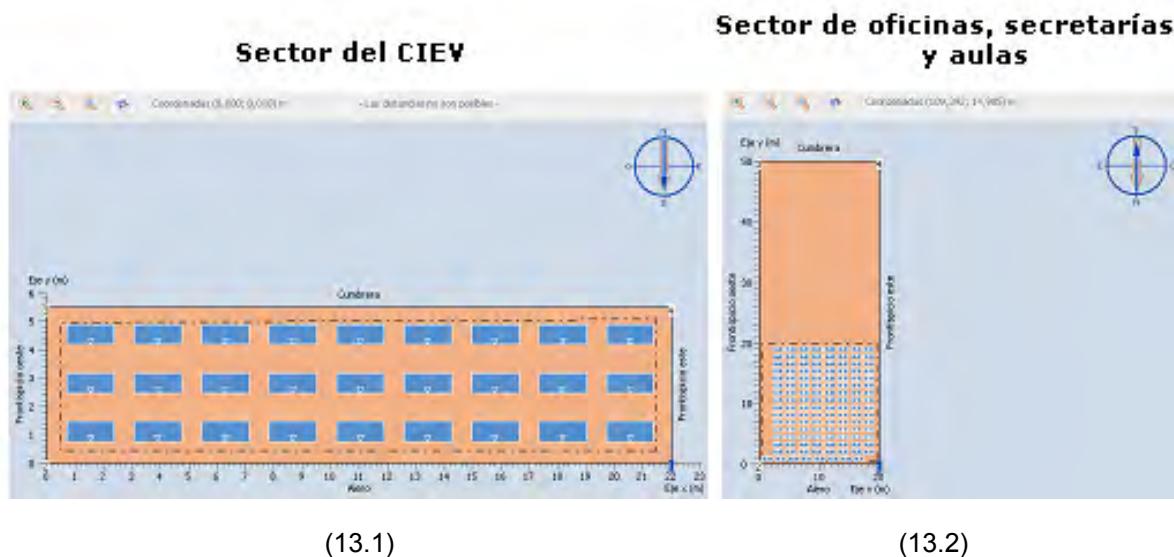


Figura 13. Resultados de la simulación del sistema fotovoltaico del módulo 1 de las FI-UNER. (13.1) Arreglo de paneles en la cubierta del sector del CIEV. (13.2) Arreglo de paneles en la cubierta del sector de oficinas, secretarías y aulas.

Como se observa en la Tabla 9, la energía generada anualmente sería de 40.234 Kwh y supera la demanda del sector (37.823 Kwh -coseno de $f_i = 95,8\%$ –). A pesar de este superávit, por el desfasaje entre la demanda y la oferta renovable, la cobertura directa de la demanda por parte del FV alcanzaría un promedio de 44%, y el restante 56% de la energía requerida debería ser comprada a la red. Por su parte, el sistema inyectará unos 24.171,3 Kwh al resto de los edificios y/o a la red.

Conclusiones

El análisis del consumo de energía eléctrica en la Facultad de Ingeniería de la UNER permitió caracterizar los patrones de uso energético del Módulo 1 y evaluar la viabilidad de incorporar fuentes de energías renovables. A través de mediciones en tiempo real y modelado computacional, se identificaron las principales áreas de consumo, destacándose la climatización y la iluminación como los rubros más demandantes. Además, se evidenció que un 46% del consumo energético ocurre en estado de stand by, lo que resalta la necesidad de implementar estrategias de eficiencia energética para reducir desperdicios.

Las simulaciones realizadas con software especializados como EnergyPlus, OpenStudio y PVSol permitieron evaluar la factibilidad técnica y económica de la instalación de paneles solares fotovoltaicos en distintos sectores del módulo. Los resultados demostraron que la incorporación de esta tecnología permitiría reducir el consumo de la red en un 44% y generar excedentes de energía aprovechables en otros sectores. Asimismo, el uso de datos reales de temperatura y humedad permitió validar los modelos simulados, aumentando la precisión de las estimaciones sobre consumo y demanda térmica.

Desde el punto de vista metodológico, el proyecto logró establecer una línea base energética según la norma IRAM 50006:2019, lo que permitirá futuras comparaciones

y mediciones de impacto tras la implementación de acciones de eficiencia energética. Además, se desarrollaron indicadores clave para monitorear el desempeño energético, lo que facilitará la toma de decisiones basada en evidencia y la optimización de recursos dentro de la FI-UNER.

Finalmente, el proyecto sentó las bases para expandir este análisis al resto de los módulos de la facultad, promoviendo un enfoque integral de gestión energética. Se recomienda la implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real en toda la institución, la optimización del consumo en stand by y el desarrollo de políticas institucionales para la concientización sobre el uso eficiente de la energía. La continuidad de estas investigaciones permitirá avanzar hacia un modelo de sustentabilidad energética, consolidando a la FI-UNER como un referente en la adopción de buenas prácticas ambientales y eficiencia energética en el ámbito académico.

Indicadores de producción

El proyecto generó diversos productos y actividades que contribuyen a la difusión del conocimiento y a la concientización sobre el uso eficiente de la energía en la FI-UNER. A continuación, se detallan los principales indicadores de producción:

1. Publicaciones y participación en eventos científicos

Los resultados previos generados en el proyecto fueron presentados en congresos de relevancia nacional e internacional, entre ellos:

- XX Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control (RPIC 2023).
- VII Congreso Bienal ARGENCON 2024.
- XLVI Reunión de Trabajo de Energías Renovables y Ambiente (ASADES 2024).

Se elaboraron artículos científicos basados en los análisis y simulaciones realizadas, abordando el impacto del uso de energías renovables en entornos académicos.

1.1- Fernández, F.J; García: M.; Silva, L. I. "Desarrollo de un modelo computacional utilizado para evaluar la Eficiencia Energética de edificios, a través del análisis del comportamiento térmico de sus estructuras constructivas". XX Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control (RPIC 2023). Desarrollados en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones, del 1 al 3 de noviembre de 2023, en la ciudad de Oberá, Misiones, Argentina. ISBN: 978-950-766-230-0

1.2- García, M.; Silva, L.I.; Díaz Cabrera, D.; Fernández, F.J. "Modelado y Simulación de la Dinámica Térmica de un Edificio Educativo de Argentina". XX Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control (RPIC 2023). Desarrollados en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones, del 1 al 3 de noviembre de 2023, en la ciudad de Oberá, Misiones, Argentina. ISBN: 978-950-766-230-0

1.3- Fernández, F. J; Silvestri, R.; Silva, L. I.; De Angelo, C. y García, M. "Caracterización Térmica de un Edificio de la Facultad de Ingeniería de la UNER a partir de simulaciones con EnergyPlus". Published in: 2024 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON). DOI: [10.1109/ARGENCON62399.2024.10735941](https://doi.org/10.1109/ARGENCON62399.2024.10735941)

1.4- García, M.; Silva, L.I.; Díaz Cabrera, D.; Fernández, F.J. "Evaluación del Criterio de Diseño de Plantas Fotovoltaicas instaladas en un Campus Universitario". Published

in: 2024 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON). DOI: [10.1109/ARGENCON62399.2024.10735856](https://doi.org/10.1109/ARGENCON62399.2024.10735856)

2. Capacitación y formación académica

Se llevaron a cabo seis cursos de posgrado orientados a la eficiencia energética, energías renovables y modelado energético, dirigidos a docentes, investigadores y alumnos.

Se realizaron visitas a laboratorios e instituciones especializadas, como el Grupo de Electrónica Aplicada (GEA-UNRC), el Laboratorio LIDER-UNRaf y el CIMEC-UNL, para fortalecer la formación del equipo en monitoreo y optimización energética.

3. Desarrollo de herramientas computacionales y bases de datos

Se generaron modelos de simulación utilizando software como EnergyPlus, OpenStudio y PVSol, integrando datos meteorológicos y constructivos para evaluar estrategias de eficiencia energética.

Se diseñó una base de datos energética en tiempo real, que permitió registrar consumos eléctricos, temperaturas y humedad, facilitando el análisis y la optimización del uso de energía en el Módulo 1.

4. Generación de indicadores de desempeño energético

Se establecieron métricas clave para evaluar la eficiencia energética, como el consumo energético por metro cuadrado, por usuario y por zona funcional dentro del módulo analizado.

Se calculó la línea base de consumo energético según la norma IRAM 50006:2019, lo que permitió comparar los efectos de la incorporación de energías renovables.

5. Propuestas de mejora y transferencia de conocimientos

Se identificaron acciones concretas para reducir el consumo en estado de *stand by* y optimizar la climatización e iluminación del edificio.

Se generaron informes técnicos con recomendaciones de eficiencia energética, dirigidos a las autoridades de la FI-UNER, con el objetivo de extender estas iniciativas a otros módulos de la facultad.

Estos indicadores reflejan el impacto del proyecto en la generación de conocimiento, la optimización del consumo energético y la promoción de la sustentabilidad dentro del ámbito académico.

Bibliografía

- [1] Deloitte (2019). Ciudades energéticamente sostenibles: la transición energética urbana a 2030. Monitor Deloitte, marzo de 2019. Madrid.
- [2] INTI – Instituto Nacional de Tecnología Industrial (2005). Ahorro y certificación energética: la envolvente de los edificios. “Saber cómo”. N° 27, pp. 4. <http://www.inti.gob.ar/sabercomo/sc27/inti5.php>.
- [3] UNEP- SBCI United Nations Environment Programme, Sustainable Buildings & Climate Initiative (2009) Buildings and Climate Change. Summary for Decision-Makers. <http://www.unep.org/sbci/pdfs/SBCI-BCCSummary.pdf>
- [4] IRAM 11603 (2011). Acondicionamiento térmico de edificios: Clasificación bioambiental de la República Argentina, Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires. www.iram.org.ar.

- [5] IRAM 11900. Prestaciones energéticas en viviendas. Método de cálculo y etiquetado de eficiencia energética. 2017.
- [6] Marino B. M., Muñoz N. y Thomas L. P (2019). Análisis del comportamiento térmico de un edificio complejo del centro bonaerense a partir de simulaciones con Energyplus. Energías Renovables y Medio Ambiente 44, 29-38.
- [7] Muñoz N. (2019). Caracterización térmica de un edificio construido según los estándares recomendados para la región centro bonaerense. Tesis doctoral. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- [8] Fernández F. J., García M. & Silva L. I. (2023). Desarrollo de un modelo computacional utilizado para evaluar la Eficiencia Energética de edificios, a través del análisis del comportamiento térmico de sus estructuras constructivas. XX Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control (RPIC). Oberá, Misiones. Noviembre de 2023.
- [9] Dakwale, V. A., Ralegaonkar, R., & Mandavgane, S. (2011). Improving environmental performance of building through increased energy efficiency: A review. Sustainable Cities and Society, 1(4), pp. 211-218.
- [10] Plataforma Tecnológica Española de Eficiencia Energética (2009). Visión de España en Eficiencia Energética. Ministerio de Ciencia e innovación de España. Madrid.
- [11] N. N. A. Bakar, M. Y. Hassan, H. Abdullah, H. A. Rahman, M. P. Abdullah, F. Hussin, y M. Bandi, "Energy efficiency index as an indicator for measuring building energy performance: A review." Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 44, 2015, pp. pp. 1- 11.
- [12] Consejo Mundial de la Energía. (2004). Eficiencia Energética: estudio mundial indicadores, políticas, evaluación. Informe, ADEME, (s.l).
- [13] Organización Internacional de Normalización, ISO 50001, 2011. Sistemas de gestión de la energía (2011).
- [14] IRAM ISO 50006:2019. ISO 50006. Línea base e indicadores de desempeño energético (2019).
- [15] Pinzón, J., & Corredor, A. (2013). Energy Characterization, Methodology and Results for a University Public Building. VII International Symposium On Power Quality – SICEL. Medellin, Colombia.
- [16] A. Blanco, "Estudio comparativo de leyes de Eficiencia Energética a nivel Latinoamérica" Argentina.gob.ar, junio 2019. [Online]. Available: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/ii.1 - alfonso blanco olade estudio comparativo de leyes de ee en latinoamerica.pdf>.
- [17] Guía de Eficiencia Energética para Establecimientos Educacionales (GEEEduc), Agencia Chilena de Eficiencia Energética, 2012.
- [18] Campus Sustentável (2023). UNICAMP [Online]. Available: <https://www.campus-sustentavel.unicamp.br/en/energy-efficiency>.
- [19] D. Bouille, "Guía metodológica para la elaboración de un Plan Nacional de Eficiencia Energética en Argentina (PlanEEAr)" Eficiencia Energética en Argentina [Online], Jul 10 2024. Available: <https://eficienciaenergetica.net.ar/publicaciones.php>.
- [20] L. I. Silva, C. H. Berrino and D. M. Ferreyra, "Grid-Connected Photovoltaic System in an Educational Building. Overview and Preliminary Data Analysis," in IEEE ANDESCON, Santiago de Cali, Colombia, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/ANDESCON.2018.8564614.

- [21] F. J Fernández, R. Silvestri, L. I. Silva, C. De Angelo y M. García (2024). Caracterización Térmica de un Edificio de la Facultad de Ingeniería de la UNER a partir de simulaciones con EnergyPlus. IEEE-ARGENCON 2024, San Nicolás de los Arroyos, Buenos Aires. Septiembre 2024.
- [22] M. García, L.I. Silva, D. Díaz Cabrera y F. J. Fernández (2023). Modelado y Simulación de la Dinámica Térmica de un Edificio Educativo de Argentina. XX Reunión de Trabajo en Procesamiento de la Información y Control (RPIC). Oberá, Misiones. Noviembre 2023.
- [23] PROFEE (2023). Proyecto Federal de Eficiencia Energética Universitaria. Resumen-documento interno.
- [24] Secretaría de Energía, "Programa de Uso racional y Eficiente de la Energía en Edificios Públicos," Programa de Ahorro y Eficiencia Energética en Edificios Públicos, 2007.
- [25] AEG (2023). AEG Grid-Tied Solar Inverters Technical Specifications. <https://acortar.link/5C6PME>.

PID6236

Denominación del Proyecto

Análisis del consumo de Energía Eléctrica en la Facultad de Ingeniería (UNER), evaluando la incorporación de fuentes de Energías Alternativas y su impacto en el medio ambiente.

Director

Francisco Javier Fernández

Unidad de Ejecución

Universidad Nacional de Entre Ríos

Dependencia

Facultad de Ingeniería

Contacto

javier.fernandez@uner.edu.ar

Cátedra/s, área o disciplina científica

Grupo de investigación y desarrollo en energía y medio ambiente (GIDEMA). Departamento macrosistema.

Instituciones intervinientes públicas o privadas:

1) COMODATO ENTRE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE RAFAELA (UNRaf) y LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ENTRE RÍOS (UNER): La Facultad de Ingeniería de la UNER, a través de la participación del Grupo de Investigación y Desarrollo en Energía y Medio Ambiente (GIDEMA) en el Proyecto Federal de Eficiencia Energética Universitario (ProFEE Universitario) dispone “por comodato” un (1) Medidor de energía marca CIRCUTOR Modelo: CIRSET-130, N° de serie: 501918799; un (1) Módem ESG MDA-35 con fuente de alimentación y antena y tres (3) Transformadores de Intensidad - Modelo TC 6 -300/5 A - Clase 0,5 - 5 VA, con la posibilidad de comunicaciones remotas con PLC, GSM/GPRS, Ethernet, RS232 y RS485.

2) CONVENIO DE COLABORACIÓN INTERINSTITUCIONAL ENTRE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ENTRE RÍOS, y LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE RAFAELA – UNRaf (Autorización de investigadores de terceras instituciones en PROYECTOS PID): La Facultad de Tecnología e Innovación para el Desarrollo (FTID-UNRaf) participará en carácter de institución invitada en el Proyecto PID- UNER titulado “Análisis del Consumo de Energía Eléctrica en la Facultad de Ingeniería (UNER), evaluando la incorporación de fuentes de Energías Alternativas y su Impacto en el Medio Ambiente, aprobado por Resolución del Consejo Superior de la UNER, con sede institucional en la Facultad de Ingeniería, Ruta Provincial N° 11, Km 10, de la Ciudad de Oro Verde.

PID6236

3) CONVENIO MARCO DE COLABORACIÓN CONV-REC-UER 056-2021: Entre la UNER y la UNRaf para establecer cauces para la realización en común de actividades de divulgación, de formación, de investigación, de extensión y de vinculación que redunden en beneficio de ambas partes y la comunidad.

4) CONVENIO MARCO DE COLABORACIÓN DE PARTICIPACIÓN DE INVESTIGADORES EXTERNOS EN LOS GRUPOS DE I+D+i FIUNER para establecer mecanismos para la realización en común de actividades de divulgación, de formación, de intercambio de conocimiento y de investigación que redunden en beneficio de ambas partes y de la comunidad.

Integrantes del proyecto

Docentes: Ramirez, Carlos Rodolfo; Schvindt, Gastón Rubén; Tornero Arnaudo, Walter Joel. Becario: Silvestri Alonso, Renata de los Ángeles. Externos: Silva, Luis Ignacio; García, Martín Sebastián (CIT Rafaela (UNRaf - CONICET)

Fechas de iniciación y de finalización efectivas

01/03/2023 y 28/02/2025

Aprobación del Informe Final por Resolución C.S. N° 141/25 (30-05-2025)