

CARACTERIZACIÓN DE PATRONES DE CONSUMO ELÉCTRICO E INSERCIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN EDIFICIOS UNIVERSITARIOS

Pedro Chevez¹, José Viñuela¹, Emilia Urteneche¹, Santiago Fondoso¹ e Irene Martini¹

¹Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC CONICET-UNLP).
+ (0221) 423-6587 INT.250 iipac@fau.unlp.edu.ar <http://www.fau.unlp.edu.ar/>

RESUMEN: El presente trabajo aborda la caracterización de las curvas de carga eléctricas de dos sectores de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de La Plata y el análisis de la instalación de dos sistemas fotovoltaicos (FV) para su cobertura. El primer sector está destinado al área de investigación y el segundo a aulas. Las mediciones empíricas de la demanda eléctrica se tomaron durante el año 2022 con un intervalo de una hora. Los resultados permitieron identificar patrones característicos en la utilización de electricidad en dos edificios con distintos usos, en cuanto a sus sistemas de climatización, iluminación, horarios de funcionamiento, etc., y, además, estimar de manera precisa (con paso horario) la cobertura directa que tendría la demanda a partir de la energía generada por un sistema FV, la energía a tomar de la red pública y la energía excedente del FV para cada caso.

Palabras clave: curva de carga, medidor inteligente, edificio educativo y energía fotovoltaica.

INTRODUCCIÓN:

Los edificios demandan alrededor de un 40-45% de la energía a nivel mundial (Tathagat y Dod, 2015), por lo que la identificación de los patrones de consumo para la implementación de medidas de eficiencia energética y la inserción de energías renovables son fundamentales para alcanzar una reducción en la utilización de fuentes fósiles y, así, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. En esta línea, los edificios educativos en general, y los de enseñanza superior en particular, presentan consumos energéticos significativos, por lo que se convierten en edificios relevantes para la intervención y el mejoramiento energético.

En esta línea, es posible identificar diversos trabajos científicos a nivel internacional que abordan el estudio de los patrones de consumo en universidades y edificios educativos en general. Bastida-Molina et al. (2023) desarrollaron un código computacional para analizar el consumo eléctrico en universidades y utilizan como ejemplo el campus de Albacete la Universidad de Castilla-La Mancha. Yang et al. (2023) investigaron los patrones y los factores que influyen en el consumo eléctrico de residencias universitarias durante el verano en China e identificaron que el género resultó ser un factor importante en la determinación del consumo de base, mientras que el piso (altura), la ocupación y la ubicación de la habitación eran determinantes en el consumo por refrigeración. En la misma línea, Zhou et al. (2021) evalúa un conjunto de características similares, donde identifican la efectividad de ciertos incentivos para el ahorro energético. Chen et al. (2023) desarrollaron un modelo predictivo para estimar la demanda mensual en la biblioteca YunTech a partir de conjuntos limitados de datos de consumo eléctrico. En tanto, en el trabajo de Samuels y Booyesen (2019) se describe un experimento de comportamiento controlado llevado a cabo en cinco colegios en Sudáfrica. Allí, se proporcionaron informes diarios, semanales y mensuales de carácter visual e intuitivo a tres de los colegios, y los otros dos actuaron como controles. Los tres colegios que tuvieron los informes lograron ahorros económicos de entre un 11 y 15%.

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 instituciones intervinientes 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 (PROFEE, 2023). En la actualidad, el proyecto cuenta con la participación activa de veintisiete universidades, distribuidas en catorce provincias. En un paso significativo hacia la implementación del proyecto, algunas de estas instituciones han sido provistas con contadores trifásicos, los cuales desempeñarán un papel fundamental en el inicio del proceso de mediciones y análisis.

En este marco, la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de La Plata (FAU-UNLP), representada en el proyecto PROFEE por el Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC CONICET-UNLP), recibió dos contadores trifásicos inteligentes. A partir de su instalación a fines de 2021 y de la recolección de los datos con paso horario un año más tarde, se elaboró el presente trabajo de investigación que tiene por objetivo reconstruir las curvas de carga eléctricas de dos sectores de la institución, un bloque de investigación y un bloque de aulas, y establecer conclusiones en cuanto a sus patrones de consumo y sus determinantes; como así también analizar la eventual instalación de un sistema fotovoltaico para cada sector.

METODOLOGÍA

En el marco del mencionado proyecto PROFEE, en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de La Plata (FAU-UNLP) se instalaron dos contadores trifásicos de conexión directa modelo CIRWATT 410-QD1A-A0B10 de la marca Circutor. Uno en el sector de investigación y el otro en el bloque de aulas P-8-9 (ver Figura 1). Los contadores son clase B en energía activa según Directiva Europea MID (EN 50470) o clase 1 según IEC-62053-21, cuentan con comunicaciones RS-232 y Ethernet, su rango de medida es $3 \times 230/400V$ y soporta corrientes de hasta 100A.

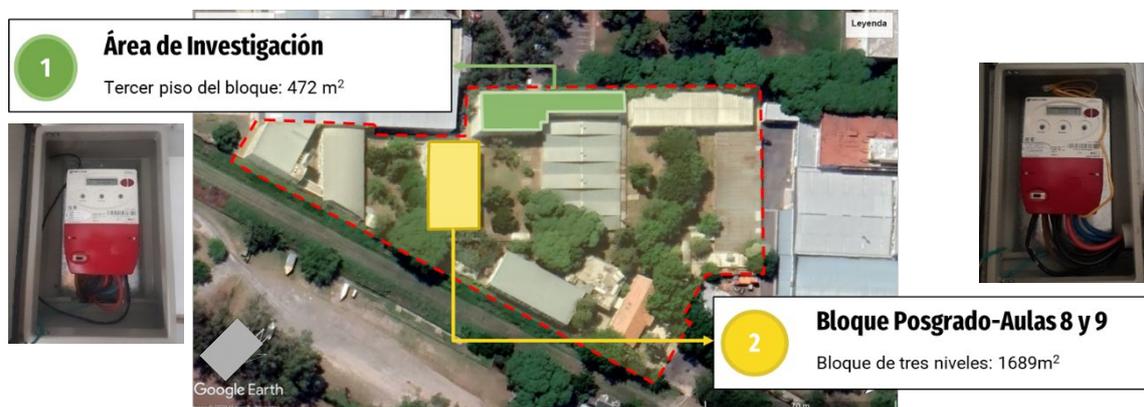


Figura 1. Instalación de los medidores inteligentes, a la izquierda el tablero del sector de investigación, a la derecha el tablero del aula P-8-9.

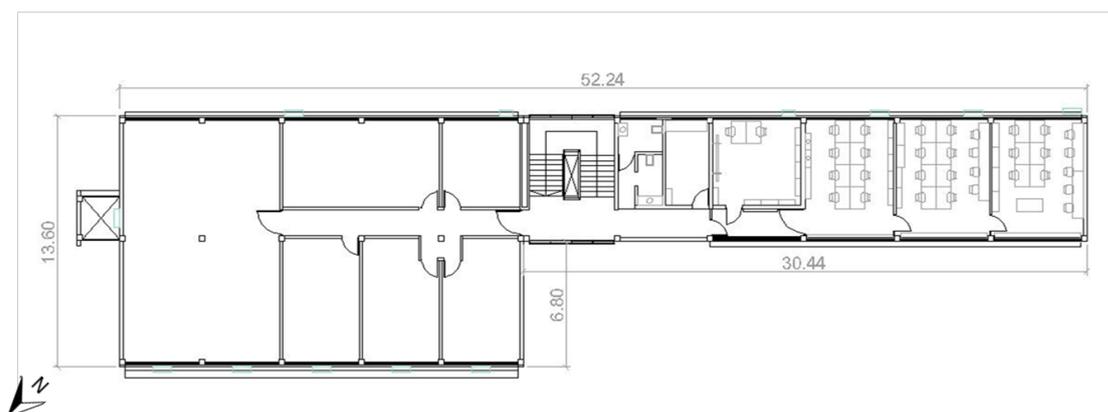
A continuación, se expone una breve descripción de los dos sectores estudiados.

En cuanto al sector de investigación (Figura 2), se trata de un área de 433 m^2 cubiertos y 39 m^2 semicubiertos y está ubicada en el último nivel de un bloque de tres plantas de aulas. El sector estudiado está constituido por institutos, laboratorios y centros de investigación en los que se desarrollan actividades de oficina, mientras que las actividades vinculadas a otro tipo de tareas de investigación como armado de prototipos y mediciones especiales se desarrollan en otras dependencias. También hay una oficina de administración, un módulo de baños individuales y un kitchenette. La envolvente es de

baja calidad termoenergética, con valores de transmitancia térmica de $1,72 \text{ W/m}^2\text{K}$ en muros; $1,83 \text{ W/m}^2\text{K}$ en cubierta y $5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ 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 equipos de aire acondicionado individuales frío-calor. Además de los aires acondicionados, se identifica una gran presencia de 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 aproximado de los equipos presentes en el sector a los efectos de caracterizar su comportamiento.

1 Área de Investigación

Planos



Imágenes



Figura 2. Planta e imágenes del sector de investigación de la FAU-UNLP.

En cuanto al bloque de aulas de posgrado, 8 y 9 (Figura 3), se trata de un edificio individual que consta de un subsuelo, donde se ubican nueve aulas de unos $40,9 \text{ m}^2$ cada una, una oficina de mantenimiento y un depósito; y dos niveles de aulas taller de 429 m^2 cada una (aula 8 en planta baja y aula 9 en primer piso). En planta baja se ubican dos baños y en el primer piso un depósito. En total consta de un área de 1469 m^2 cubiertos y 220 m^2 semicubiertos. La envolvente es de baja calidad termoenergética, con valores de transmitancia térmica de $1,72 \text{ W/m}^2\text{K}$ en muros; $1,23 \text{ W/m}^2\text{K}$ en cubierta y $5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ en aberturas (para mayor detalle ver Tabla 1). Este sector cuenta con un sistema de climatización para las aulas del subsuelo resuelto por medio de aires acondicionados individuales para cada espacio, totalizando 10 equipos. Por su parte, las aulas superiores 8 y 9 cuentan con calefacción por medio de estufas de tiro balanceado y ventiladores. Por su parte, se evidencia una importante demanda eléctrica a partir de la conexión de computadoras portátiles de los y las estudiantes durante las horas de clase, ya que las aulas 8 y 9 pueden albergar comisiones muy numerosas dada su superficie (aproximadamente 100 personas). En esta misma línea, la carga por iluminación puede resultar relevante dada la tarea a

desarrollar en el interior que puede ser el dibujo técnico, el dibujo a partir del uso diferentes técnicas, la corrección sobre planos impresos, escritura a mano, elaboración de maquetas, entre otras actividades. Para más detalle del equipamiento, ver Tabla 2.

2 Bloque Posgrado-Aulas 8 y 9



Figura 3. Plantas e imágenes del bloque del aula P-8-9 de la FAU-UNLP

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

Envolvente		
	Sector investigación	Aulas P-8-9
Muros	Ladrillo hueco de 18cm con revoque en ambas caras	Ladrillo hueco de 18cm con revoque en ambas caras
	1,72 W/m ² K	1,72 W/m ² K
Cubierta	Chapa acanalada, perfilera de chapa doblada, aislante de espuma de polietileno 1cm y cielorraso suspendido de placas roca de yeso	Chapa acanalada, perfilera de chapa doblada, poliestireno expandido 2cm y cielorraso lineal metálico
	1,83 W/m ² K	1,23 W/m ² K
Losa	Losetas pretensadas, contrapiso, carpeta y alisado de cemento	Losa hormigonada in situ, contrapiso y alisado de cemento
	2,06 W/m ² K	2,69 W/m ² K

Carpinterías	Perfiles de aluminio y vidrio simple	Perfiles de acero galvanizado y vidrio simple
	5,8 W/m ² K	5,8 W/m ² K
Tabla 1. Caracterización de la envolvente edilicia y del equipamiento eléctrico de los dos sectores analizados		

En la Tabla 2 se detalla un listado aproximado de los equipos presentes en el sector a los efectos de caracterizar sus comportamientos.

Equipamiento eléctrico				
	Sector Investigación		Aulas P-8-9	
	Cantidad	Pot. unitaria	Cantidad	Pot. unitaria
AA 5500 F/h	-	-	8	2000 W
AA 4500 F/h	10	1700 W	2	1700 W
AA 3000 F/h	2	1270 W	-	-
Ventiladores	-	-	4	280 W
Dispenser	2	1000 W	1	1000 W
PC escritorio	72	300 W	15	300 W
Proyector	-	-	5	350 W
Sistema de audio	-	-	2	80 W
PC portátil	5	120 W	Variable	120 W
Televisor LED 60"	-	-	3	200 W
Tubos fluorescentes	-	-	74	25 W
Tubos LED	88	18 W	70	18 W
Plafón LED	-	-	18	60 W
Pava/microondas	5	800 W	2	800 W
Secador de manos	-	-	2	800 W
Server	1	500W	1	500 W
Tabla 2. Caracterización de la envolvente edilicia y del equipamiento eléctrico de los dos sectores analizados.				

Los contadores trifásicos fueron configurados para tomar lecturas cada una hora y, para el presente trabajo se utilizaron los siguientes intervalos de medición: para sector de investigación se utilizaron datos desde el 1/1/2022 hasta el 14/12/2022; mientras que para el bloque de aulas P-8-9 se utilizaron datos desde el 29/1/2022 hasta el 28/1/2023. A partir de los datos medidos se construyen 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 extraídos de la estación Davis Pro Vantage 2 localizada en la propia Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de La Plata. Por último, se construyen las curvas de carga promedio de días laborales para cada mes, sobre las cuales se obtienen conclusiones en relación a los patrones de uso identificados. Por último, se simula la inserción de un sistema fotovoltaico sobre ambos sectores a los efectos de evaluar la cobertura de la demanda para cada caso. Para ello se utiliza el software PVSol en su versión de prueba y se ensaya un sistema que se adecue a las características de la cubierta de cada sector.

RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados de las mediciones eléctricas de cada uno de los sectores y de las simulaciones de los sistemas fotovoltaicos.

Sector investigación

El sector investigación presentó un consumo eléctrico de 15380 kWh durante 2022 (32,6 kWh/año*m²). 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 9728 kWh/año (63% 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, y más importante, destinado a calefacción mediante aires acondicionados en los meses de invierno, que demanda unos 5131 kWh/año (33% del consumo total); y el segundo destinado a la refrigeración por medio de aires acondicionados en los meses de verano, que demanda unos 521 kWh/año – a excepción de enero que el establecimiento se mantiene cerrado- (4% del consumo total).

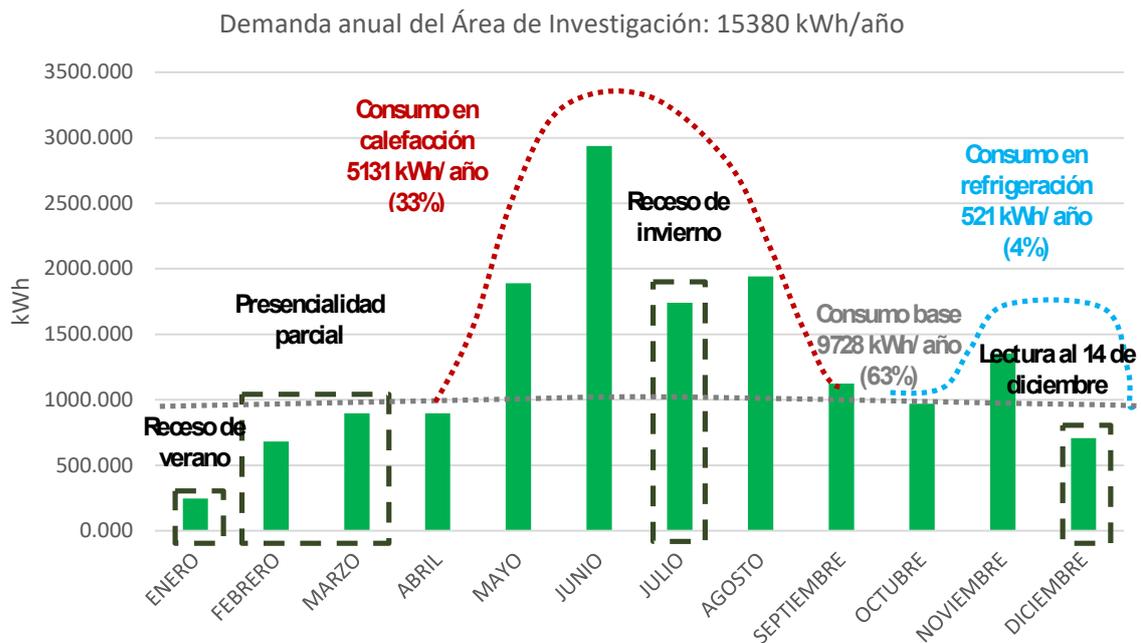


Figura 4. Demanda de electricidad mensual del sector de investigación de la FAU-UNLP

En cuanto al comportamiento horario anual, la monótona de carga refleja un consumo de aproximadamente 1 a 2,5 kW durante gran parte del año, mientras que se observan picos que van desde los 3,5 kW a los 18 kW durante aproximadamente un décimo 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 15 a 18 kW se alcanzaron cuando las temperaturas exteriores se mantuvieron en torno a los 10°C a 15°C, es decir que la demanda por calefacción es la que refleja mayores picos de potencia eléctrica. Por su parte, se identifican también consumos que superan los 10 kW de potencia en períodos donde la temperatura exterior es cercana o superior a los 30°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 2,5 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 desarrolla.



Figura 5. Monótona de carga del sector de investigación

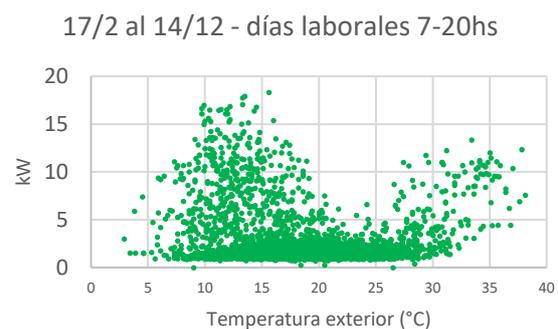


Figura 6. Interacción entre demanda eléctrica y temperatura exterior en el sector de investigación.

Por su parte, a partir de la reconstrucción de las curvas de carga con promedio para los días laborales de cada mes es posible verificar lo señalado previamente. En la Figura 7 se observa que las curvas diarias de todos los meses registran consumos que inician a las 8:00, alcanzan los picos de consumo durante el mediodía y cesan su actividad en horarios cercanos a las 19:00 hs. Por su parte, se observa que las curvas de los meses de junio y julio son las que alcanzan los valores pico máximos, entre 12 a 14 kW, dado que en dichos meses se registran las temperaturas más bajas del año. Por su parte, durante el mes de enero

se registra un consumo muy bajo por falta de actividad, seguido por los meses de febrero, marzo y diciembre, en los cuales se mantiene el comportamiento acampanado con un pico a mediodía. En este sentido, adelantando la posibilidad de insertar un sistema FV, es posible observar que las curvas de consumo acompañarán una eventual curva de generación solar, cuyo pico se alcanzará al mediodía; sin embargo, evaluando el comportamiento anual se identifica que durante el verano no se logrará un correcto aprovechamiento ya que habrá alta generación y baja demanda, mientras que en invierno sucederá lo contrario, es decir baja generación y alta demanda.

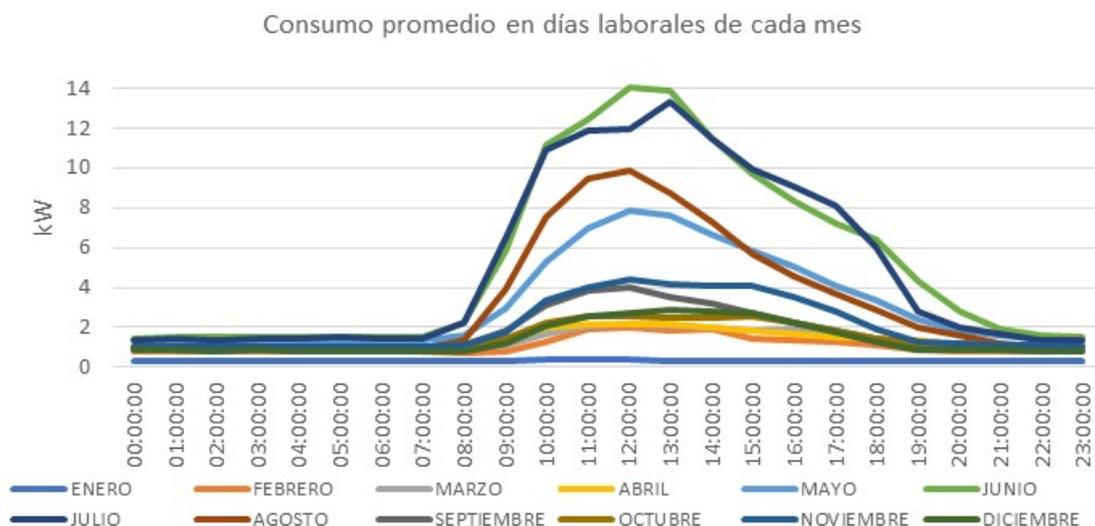


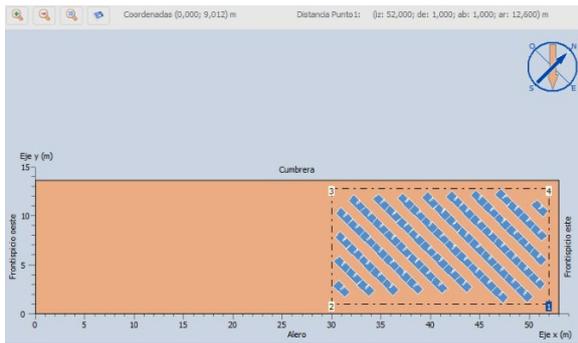
Figura 7. Curvas de carga promedio diarias por mes para el sector de investigación.

En efecto, la simulación del sistema FV (Tabla 3) consideró la utilización de un un sector de la cubierta de chapa acanalada de unos 300m², donde los paneles deberían ser instalados a 45° del borde del mismo y sobre soportes que se adecúan a la pendiente (Figura 8-1). El arreglo consta de 69 módulos de 300 Wp (de 1,68 m² cada uno y una eficiencia del 18,1%), que totalizan unos 20,7 kWp. Se simularon 3 inversores AEG trifásicos modelo AS-IC02-6000-2 con una potencia nominal de CC de 6kW cada uno y una potencia de CC máxima de 9kW cada uno (AEG, 2023). La energía generada anualmente sería de 35285 kWh (factor de carga del 19.5%) y supera ampliamente la demanda del sector (15380 kWh - coseno de $\phi = 99,5\%$). A pesar de este gran superávit, por el desfase entre la demanda y la oferta renovable (Figura 8-2), la cobertura directa de la demanda por parte del FV alcanzaría un 58,5%, y el restante 41,4% de la energía requerida debería ser comprada a la red. Por su parte, el sistema inyectará unos 26119 kWh al resto de los edificios y/o a la red. Asimismo, si evaluamos días promedio de un mes frío y un mes templado con actividad académica (Figura 8-3 y 8-4) es posible identificar que en junio se lograría una cobertura prácticamente total de la demanda por medio del sistema FV; sin embargo, en el mes de marzo habría un considerable excedente de energía diario que sería direccionado a otros sectores del establecimiento, el campus universitario aledaño o a la red pública.

Orientación/ inclinación	Potencia	Cantidad de paneles (300 Wp)	Energía generada en el año	Demanda total anual	Demanda cubierta por FV	Demanda cubierta por red	Energía inyectada a la red	Emisiones CO ₂ evitadas
N/35°	20,7 kWp	69	35285 kWh	15380 kWh	58,6%	41,4,1%	26119 kWh	16,57

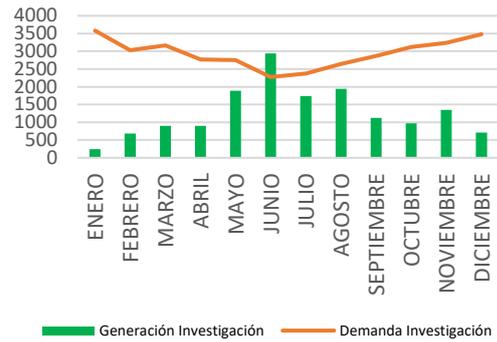
Tabla 3. Síntesis del sistema FV propuesto para el sector de investigación.

Superficie ocupada (300 m²)



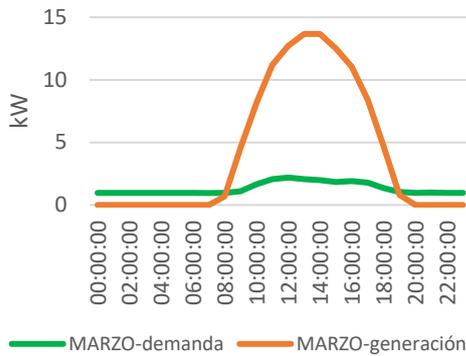
(8-1)

Demanda y generación mensual



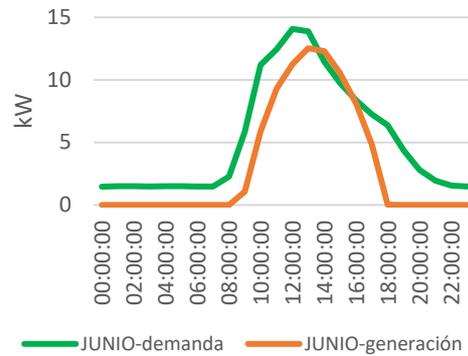
(8-2)

Demanda y generación marzo



(8-3)

Demanda y generación junio



(8-4)

Figura 8. Resultados de la simulación del sistema fotovoltaico en el sector de investigación. (8-1) Arreglo de paneles en la cubierta. (8-2) Generación FV y demanda mensual. (8-3). Generación FV y demanda un día laborable promedio de marzo. (8-4) Generación FV y demanda un día laborable promedio de junio.

Bloque aulas P-8-9

El sector del bloque de aulas P-8-9 presentó un consumo anual de 21287 kWh durante 2022 (12,6 kWh/año*m²). La curva anual (Figura 9) refleja un comportamiento acampanado, en donde los meses de invierno presentan las mayores demandas y los de verano las mínimas. En este sentido, hay que destacar que habitualmente los cursos de grado inician a mediados de marzo y terminan, en su gran mayoría, entre fines de octubre y principios de noviembre. Es decir, que durante este período se desarrollan clases en tres bandas horarias (8:30-12:00/13:30-17:00/17:30-21:00), en forma regular de lunes a viernes y sábados de 8:30-12:00. Por tal motivo se observan las principales demandas durante dichos meses. Por su parte, durante el resto del año se desarrollan actividades de posgrado, asesoramientos de trabajos finales, cursos, mesas de finales, entre otras opciones, las cuales tienen diferentes periodicidades. En este sentido, resulta complejo dividir los consumos por medio del gráfico de la Figura 9, aunque podría diferenciarse un consumo base determinado por los meses de febrero y noviembre (con un consumo de 16539 -77,7%-) y una demanda adicional durante el ciclo lectivo de marzo a noviembre (con un consumo de 4748 kWh -22,3%-), donde se infiere un mayor consumo por iluminación en concordancia con un requerimiento esporádico de calefacción en las aulas y las oficinas del subsuelo.

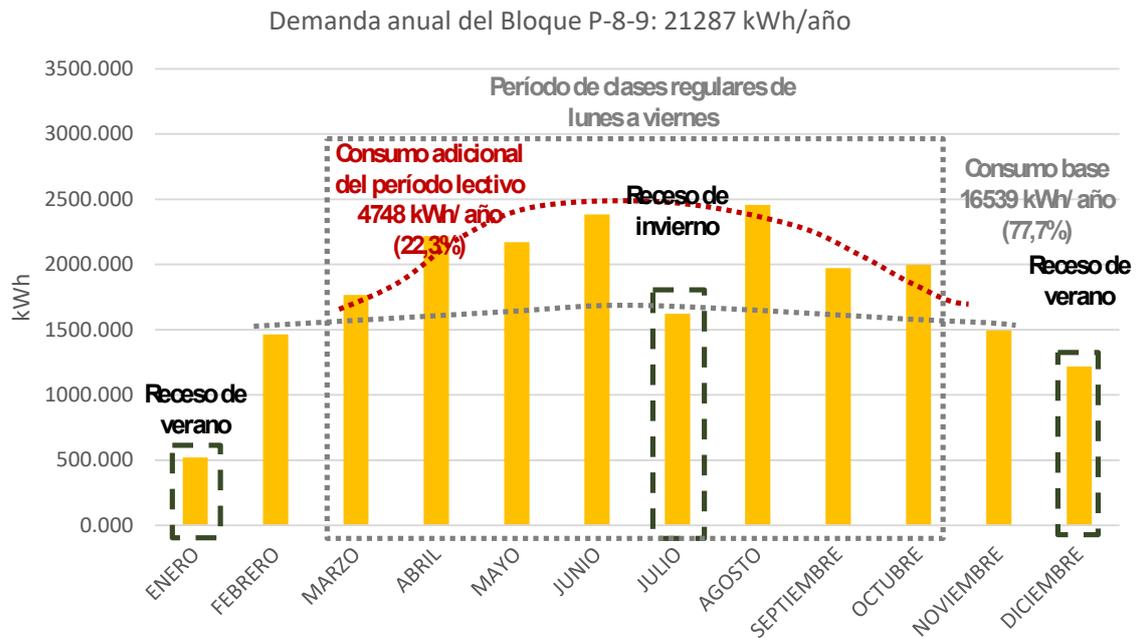


Figura 9. Demanda de electricidad mensual del bloque de aulas P-8-9 de la FAU-UNLP

En cuanto al comportamiento horario anual, la monótona de carga refleja un consumo de 0 a 0,5 kW durante un 7% del tiempo, de 0,5 a 2,5 kW durante un 70% del tiempo, mientras que se observan picos que van desde los 2,5 a los 4 kW y de los 4 a los 6 kW durante aproximadamente un 20% de las horas del año, mientras que las demandas máximas van desde los 6 a los 9 kW y se identifican en aproximadamente un 3% de las horas del año (Figura 10). Este comportamiento más homogéneo en cuanto a las demandas pico en comparación con el sector de investigación se ve reflejado en la Figura 10, donde se observa que la temperatura no presenta patrones claros en cuanto a la utilización de los sistemas de climatización eléctricos, tanto para invierno como para verano. La utilización aleatoria y/o esporádica de las aulas que cuentan con los equipos de aire acondicionado generan patrones de uso que no pueden correlacionarse directamente con la temperatura exterior, tal como sucedía en el sector de investigación. En la Figura 11 se pueden identificar potencias pico de 7,5 y 8,5 kW prácticamente en todos los rangos de temperatura exterior. Cabe señalar que los sistemas de iluminación del bloque demandan aproximadamente unos 4 kW, mientras que los equipos necesarios para las clases pueden sumar 1,5 kW, servidores (0,5 kW) y un único equipo de 6000 Frig/h (2 kW) bastan para alcanzar los picos de 8 kW. Es por ello que la temperatura no logra tener una incidencia directa sobre la curva de consumo general.

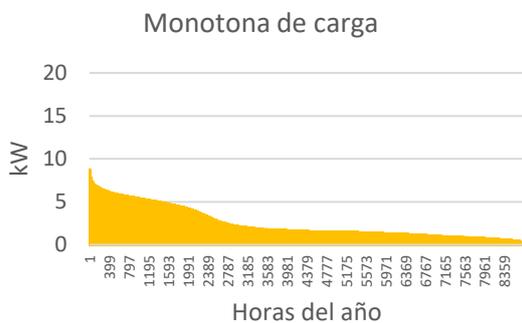


Figura 10. Monótona de carga del bloque de aulas P-8-9

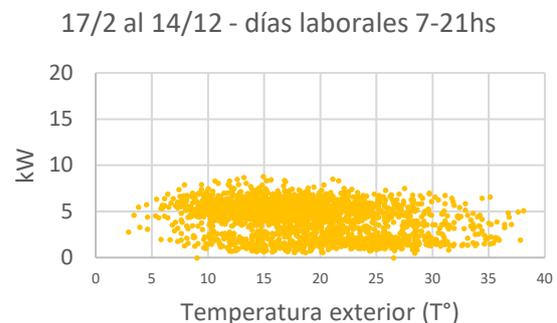


Figura 11. Interacción entre demanda eléctrica y temperatura exterior en el bloque de aulas P-8-9.

Por su parte, a partir de la reconstrucción de las curvas de carga promedio diarias para los días laborales de cada mes es posible verificar claramente las tres bandas horarias señaladas anteriormente (8:30-

12:00/13:30-17:00/17:30-21:00) identificándose tres “lomadas”, dentro de las cuales la de la mañana muestra un consumo más alto durante todos los meses probablemente debido al funcionamiento diario de la oficina del subsuelo (Figura 12). Se estima que la forma de cada una de las “lomadas” está originada por la conexión escalonada de computadoras portátiles a la hora del inicio de cada banda horaria y su desconexión escalonada durante la finalización de cada curso. Asimismo, es notorio que en la curva de febrero haya “lomadas” de consumo únicamente durante la mañana y la noche dado que el curso de ingreso que se dicta ese mes solo cuenta con esas opciones horarias. Por otro lado, en todas las curvas se identifica un consumo de base de 1,5 kW que se sostiene durante la madrugada, mientras no hay actividad, lo cual puede estar vinculado a la iluminación exterior, a un dispenser que se mantiene conectado, servidores y consumos standby. También se observa que las potencias máximas medias de cada mes tienen una estrecha vinculación con los valores de energía detectados en la demanda anual, encontrando los máximos valores en los meses de invierno. Así, en enero se observa un comportamiento diferente, con demandas eléctricas de 3,5 kW durante las tardes, vinculadas a actividades de mantenimiento. En cambio, las demandas medias máximas se obtienen en junio y agosto a las 11:00 hs, con valores de 7 kW. Nuevamente, considerando la posibilidad de insertar un sistema FV, es posible observar que las curvas de consumo estarían cubiertas marginalmente durante las bandas horarias de la mañana y la noche, por supuesto, al mismo tiempo que durante el verano no se logrará un correcto aprovechamiento ya que habrá alta generación y baja demanda, mientras que en invierno sucederá lo contrario, es decir baja generación y alta demanda.

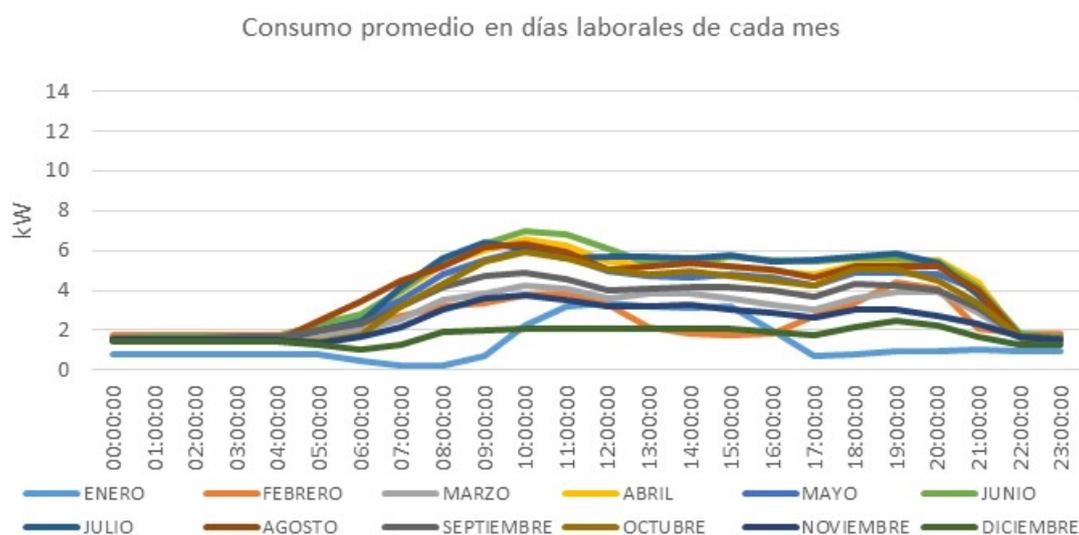


Figura 12. Curvas de carga promedio diarias por mes para el sector de investigación.

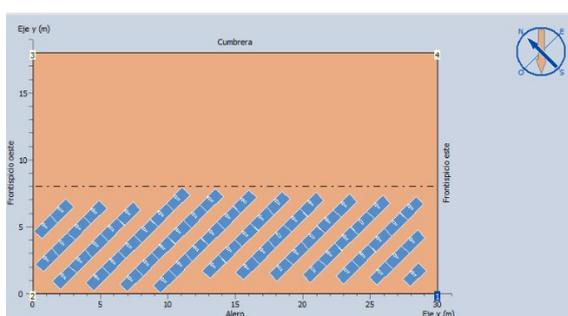
La simulación del sistema FV (Tabla 4) consideró la mitad de la cubierta disponible por motivos de obstrucciones por parte de árboles. La superficie utilizada es de 240m² y, nuevamente, este arreglo de paneles requeriría la instalación de soportes que permitan la orientación al Norte pleno y eludir la pendiente del techo Figura (13-1). El arreglo consta de 58 módulos de 300 Wp (de 1,68 m² cada uno y una eficiencia del 18,1%), que totalizan unos 17,4 kWp. Se simuló 1 inversor AEG trifásico modelo AS-IC02-15000-2 con una potencia nominal de CC de 15 kW y una potencia de CC máxima de 22.5 kW (AEG, 2023). La energía generada anualmente sería de 29796 kWh (factor de carga del 19,5%) y supera la demanda del sector (21287 kWh -coseno de $\phi=99.04\%$ -). Nuevamente, a pesar de haber un superávit energético, dado el desfase entre la demanda y la oferta renovable (Figura 13-2), la cobertura directa de la demanda por parte del FV alcanzaría un 47,9%, y el restante 52,1% debería ser comprado a la red. Por su parte, el sistema inyectará unos 19587 kWh al resto de los edificios y/o a la red. Asimismo, evaluando los días promedio de un mes frío y un mes templado con actividad académica (Figura 13-3 y 13-4) es posible identificar que en junio se lograría la cobertura de la demanda entre las 9:30 y las 15:30 por medio del sistema FV y se generaría un excedente a inyectar, mientras que se debería tomar energía de la red durante el resto del día. En cambio, en el mes de marzo se lograría cubrir la demanda entre las 8:00 y las 17:00 y se obtendría un considerable excedente de energía diario que sería direccionado a

otros sectores del establecimiento, el campus universitario o a la red, mientras que en la franja horaria nocturna se deberá tomar energía de la red o evaluar un sistema por acumulación en baterías.

Orientación/inclinación	Potencia	Cantidad de paneles	Energía generada en el año	Demanda total anual	Demanda cubierta por FV	Demanda cubierta por red	Energía inyectada a la red	Emisiones CO ₂ evitadas
N/35°	17,4 kWp	58	29796 kWh	21287 kWh	47,9%	52,1%	19587 kWh	14

Tabla 4. Síntesis del sistema FV propuesto para el sector de aulas P-8-9

Superficie ocupada (300 m²)



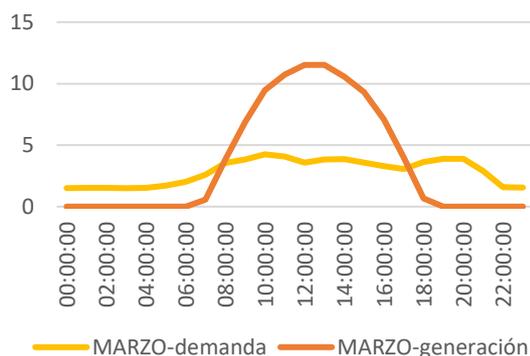
(13-2)

Demanda y generación mensual



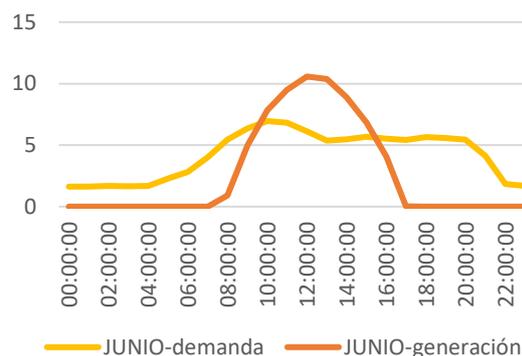
(13-2)

Demanda y generación marzo



(13-3)

Demanda y generación junio



(13-4)

Figura 13. Resultados de la simulación del sistema fotovoltaico en el bloque de aulas P-8-9. (13-1) Arreglo de paneles en la cubierta. (13-2) Generación FV y demanda mensual. (13-3). Generación FV y demanda un día laborable promedio de marzo. (13-4) Generación FV y demanda un día laborable promedio de junio.

CONCLUSIONES

El análisis realizado sobre dos sectores de la FAU-UNLP destinados a diferentes actividades académicas permitió identificar patrones de consumo particulares que se vinculan a las funciones que allí se desarrollan. Las intensidades energéticas indican que el sector investigación presentó una demanda de 32,6 kWh/año*m² y el aula P-8-9 una demanda de 12,6 kWh/año*m² debido a que: en el primer caso, el sector cuenta con un sistema de climatización por medio de aires acondicionados que se utilizan de manera regular de lunes a viernes en conjunto con computadoras fijas; mientras que en el segundo, si bien existen equipos de aire acondicionado para un sector de aulas de reducidas dimensiones en el subsuelo, estas tienen una utilización esporádica y las aulas de mayores dimensiones cuentan con estufas a gas, por lo que la demanda está principalmente asociada a los usos de iluminación y computadoras. En cuanto a los patrones de consumo anuales, se observó que ambos sectores presentan sus mayores demandas en invierno, aunque el sector de investigación muestra una curva mucho más pronunciada y, además, exhibe un cierto consumo para refrigeración. Por su parte, el bloque de aulas muestra una notoria incidencia de la duración del ciclo lectivo, reduciendo claramente su consumo en los meses

restantes. En cuanto a las monótonas de carga, el sector investigación denota picos de consumo que alcanzan los 18 kW, mientras que el bloque de aulas muestra picos que alcanzan los 9 kW. A pesar de ello, la demanda total anual fue de 15380 kWh para el primero y de 21287 kWh para el segundo. Estos valores nuevamente reflejan la dependencia del primer edificio con la climatización eléctrica, lo cual se verificó con el gráfico de dispersión energía-temperatura exterior; mientras que en el segundo no se identificaron vinculaciones claras entre estas variables. En las curvas diarias es posible identificar los comportamientos antes descritos, evidenciándose curvas muy acampanadas en los meses de invierno para el primer caso; mientras que se observan curvas más aplanadas para el segundo, donde se identifican claramente las bandas horarias en las que se desarrollan las actividades.

En cuanto a la instalación de sistemas FV, en ambos casos se ensayaron sistemas sin acumulación, lo cual resultó en coberturas directas de la demanda del 58,6% y 47,9% respectivamente. A futuro se requiere ensayar medidas de mejoramiento energético para reducir la demanda y alcanzar mayores coberturas o requerir menor potencia, dado que se identificó que la calidad de la envolvente es baja. También se requerirá ensayar sistemas FV que se integren de forma más armónica sobre los edificios (utilizando muros y aleros), considerar la demanda total del establecimiento para evaluar el destino de los excedentes de generación FV y estudiar el impacto de la utilización de baterías o sistemas de acumulación alternativos para dichos excedentes.

AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto Federal de Eficiencia Energética Universitaria (PROFEE) que proveyó los medidores inteligentes para realización del presente trabajo y a la FAU-UNLP por habilitar su instalación.

REFERENCIAS

- AEG (2023). AEG Grid-Tied Solar Inverters Technical Specifications. <https://acortar.link/5C6PME>
- Bastida-Molina, P.; Torres-Navarro, J.; Honrubia-Escribano, A.; Gallego-Giner, I.; Gómez-Lázaro, E. (2023). A detailed analysis of electricity consumption at the University of Castilla-La Mancha (Spain). *Energy and Buildings* (289), 113046.
- Chen, W.; Wang, C.; Merrett, H.; Liu, S.; Chang, J. (2023). Electricity consumption prediction - A case study of a university library. *Journal of Building Engineering* (76), 106990.
- PROFEE (2023). Proyecto Federal de Eficiencia Energética Universitaria. Resumen-documento interno.
- Samuels, J.A.; Booysen, M.J. (2019). Chalk, talk, and energy efficiency: Saving electricity at South African schools through staff training and smart meter data visualization. *Energy Research & Social Science* (56), 101212. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.05.022>
- Tathagat, D.; Dod, R. (2015). The inception and evolution of EIA and environmental clearance process—laying emphasis on sustainable development and construction. *Int. J. Eng. Res. Appl.* (5), pp. 22-28.
- Yang, H.; Ran, M; Zeng, P. (2023). Patterns and influencing factors analysis of electricity consumption in university dormitories based on balance point temperatures. *Building and Environment* (228), 109679. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109679>
- Zhou, Y.; Sun, L; Hu, X.; Ma, L. (2021). Clustering and statistical analyses of electricity consumption for university dormitories: A case study from China. *Energy and Buildings* (245), 110862, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110862>

CHARACTERIZATION OF ELECTRICITY CONSUMPTION PATTERNS AND INSERTION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN UNIVERSITY BUILDINGS

ABSTRACT: This paper deals with the characterization of the electrical load curves of two sectors of the Faculty of Architecture and Urbanism of the National University of La Plata and the analysis of the installation of two photovoltaic systems to cover them. The first sector is destined to the research area and the second to classrooms. Empirical measurements of electricity demand were taken during the year 2022 with an hourly interval. The results made it possible to identify characteristic patterns in the use of the buildings in terms of their air conditioning systems, lighting and operating hours, and to evaluate the feasibility of installing photovoltaic solar energy systems in these sectors.

Keywords: load curve, smart meter, educational building and photovoltaic energy.