

# Análisis energético del edificio N°1 de la Universidad Tecnológica de Panamá: simulación y optimización del consumo de energía eléctrica a través de soluciones de eficiencia energética

## Energy analysis of building N°1 of the Technological University of Panama: simulation and optimization of electrical energy consumption through energy efficiency solutions

Constantino Gollini-Mihalopoulos<sup>1</sup>, Aránzazu Berbey-Alvarez<sup>2</sup>, Félix Henríquez<sup>3</sup>

*Fecha de recepción: 20 de setiembre, 2021*  
*Fecha de aprobación: 7 de febrero, 2022*

Gollini-Mihalopoulos, C., Berbey-Alvarez, A., Henríquez, F. Análisis energético del edificio N°1 de la Universidad Tecnológica de Panamá: simulación y optimización del consumo de energía eléctrica a través de soluciones de eficiencia energética. *Tecnología en Marcha*. Vol. 36, N° 1. Enero-Marzo, 2023. Pág. 140-151.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v36i1.5874>

1 Universidad Tecnológica de Panamá. Centro de Investigación e Innovación Eléctrica, Mecánica y de la Industria (CINEMI). Panamá. Correo electrónico: [constantino.gollini@utp.ac.pa](mailto:constantino.gollini@utp.ac.pa)

 <https://orcid.org/0000-0003-1539-1924>

2 Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá. Correo electrónico: [aranzazu.berbey@utp.ac.pa](mailto:aranzazu.berbey@utp.ac.pa)

 <https://orcid.org/0000-0003-4278-5478>

3 Universidad Tecnológica de Panamá. Centro de Investigación e Innovación Eléctrica, Mecánica y de la Industria (CINEMI). Panamá. Correo electrónico: [felix.henriquez@utp.ac.pa](mailto:felix.henriquez@utp.ac.pa)

 <https://orcid.org/0000-0002-9009-2599>

## Palabras clave

Energía eléctrica; eficiencia energética; edificación sostenible; energía renovable; huella de carbono.

## Resumen

La Agencia Internacional de la Energía en 2017 estimó que el 40% de la reducción de emisiones de gases contaminantes necesarias para que en 2050 se limite a dos grados el incremento de temperatura global, podría lograrse a partir de las medidas de eficiencia energética. En esta investigación se evaluó por medio de software el consumo de energía eléctrica anual del edificio N°1 de la UTP, se comparó el resultado con la facturación más reciente disponible y se propuso medidas de eficiencia energética, cuyos beneficios económicos y ambientales fueron también estudiados. Entre las propuestas planteadas se encuentran la instalación de lámparas LED, generación fotovoltaica, adaptaciones al sistema de acondicionamiento de aire, ventanas eficientes y ventilación del ático de la cubierta del edificio N°1 junto a la instalación de barreras radiantes. Los resultados obtenidos evidencian un consumo de 2 497 912 kWh/año, los cuales se verían reducidos en un 38.81%, representando un ahorro hasta de B/. 218 426.14 anuales y una disminución del 57.27% de emisiones de CO<sub>2</sub>.

## Keywords

Electrical energy; energy efficiency; sustainable building; renewable energy; carbon footprint.

## Abstract

In 2017, the International Energy Agency estimated that 40% of the reduction in pollutant gas emissions needed to limit the global temperature increase to two degrees by 2050 could be achieved from energy efficiency measures. In this research, the annual electricity consumption of building N°1 of UTP was evaluated by software, the result was compared with the most recent billing available and energy efficiency measures were proposed, whose economic and environmental benefits were also studied. Among the recommended proposals are the installation of LED lamps, photovoltaic generation, adaptations to the air conditioning system, efficient windows, and ventilation of the attic of the roof of building N°1, together with the installation of radiant barriers. The results obtained show a consumption of 2 497 912 kWh / year, which would be reduced by 38.81%, representing a saving of B /. 218 426.14 per year and a decrease of 57.27% in CO<sub>2</sub> emissions.

## Introducción

El concepto de eficiencia energética es reciente. Desde la llamada “crisis del petróleo” de los años 70, los países más desarrollados, al verse entre los más afectados por la situación, comprendieron la necesidad de crecer haciendo mejor uso de la energía [1]. A partir de ese momento, la eficiencia energética ganó importancia en la sociedad como un factor de la reducción de costos, basada en el desarrollo tecnológico y la promoción de prácticas de la correcta gestión de la energía [2].

Si se considera la disponibilidad finita de los recursos naturales y recursos energéticos no renovables, resulta importante evaluar continuamente nuestra seguridad energética y establecer programas de ahorro y uso eficiente de la energía, no sólo con la finalidad de hacerla

menos costosa, sino para para tratar de preservar parte de estos recursos y poder asegurar la satisfacción de las necesidades del presente y no comprometer las exigencias o capacidades de las generaciones futuras [3].

Planes de eficiencia energética han sido propuestos por diferentes naciones como acción para disminuir la emisión de gases de efecto invernadero tras la quema de combustible fósil, causantes del desequilibrio climático y la repercusión directa en las actividades económicas [2]. Se entiende entonces que disminuir la demanda de combustible tiene efectos ventajosos sobre el costo de la energía y beneficiosos sobre el ambiente.

En los últimos cuarenta años, el sistema energético de Panamá ha experimentado cambios dramáticos. A pesar de que los precios de la energía han aumentado significativamente durante todo ese período, el consumo de energía ha crecido de forma considerable [1]. La Ciudad de Panamá se ha desarrollado rápidamente en el área de la construcción, sector que presenta un rol clave en el ámbito energético, considerando que los edificios consumen alrededor del 40% de la energía a escala mundial [4].

Basándose en lo anterior, se evaluó el consumo de energía eléctrica del edificio N°1 de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) y se plantearon soluciones de eficiencia energética, además, se cuantificó tanto el ahorro económico como las emisiones de CO<sub>2</sub> que supondría la aplicación de estas medidas. El cálculo se llevó a cabo usando la herramienta Green Building Studio (GBS) [5] [6] [7], actuando sobre el modelo arquitectónico desarrollado en Revit, todas estas herramientas propiedad de Autodesk. Otras herramientas complementarias como DIALux y VLT Energy Box 2 de Danfoss también fueron utilizadas.

## Metodología

Con la finalidad de obtener un consumo de energía eléctrica teórico y poder cargar los valores energéticos en Revit, se le solicitó a la Dirección General de Ingeniería y Arquitectura de la UTP los planos arquitectónicos, de iluminación y del sistema de acondicionamiento de aire correspondientes al edificio. Se realizó un inventario incluyendo los dispositivos de cada sistema demandante y se estimó mediante la ec.(1) el consumo de energía eléctrica teórico diario y posteriormente anual, considerando 189 días de operación al año, excluyendo los sábados y domingos.

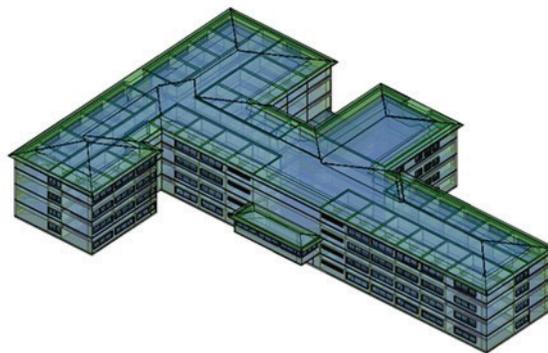
$$E=Pxt \quad (1)$$

Donde E es la energía diaria en kWh, P es la potencia del equipo demandante en kW y t es el tiempo de su uso en horas.

Para el caso de equipos electromecánicos, como ventiladores y bombas, se utilizó la ec.(2) donde se introduce una eficiencia de conversión eléctrica-mecánica igual a 85%.

$$E = \frac{Pxt}{0.85} \quad (2)$$

En Revit se desarrolló el modelo arquitectónico del edificio N°1 y se configuró cada espacio con información de interés energético, tales como número de ocupantes, densidad de potencia en iluminación y equipos en general, su acondicionamiento, entre otros. En el caso de los materiales que forman parte de la envolvente del edificio, estos se configuraron atendiendo al valor más cercano de coeficiente de transferencia de calor U. Por último, se estableció la ubicación del proyecto, en este caso se utilizó la estación meteorológica virtual más cercana. Como sistema de climatización, se seleccionó el más próximo al que se encuentra originalmente en el edificio, este consistió en un chiller y sistema de volumen constante con torre de enfriamiento. El modelo energético del edificio N°1 se muestra en la figura 1.



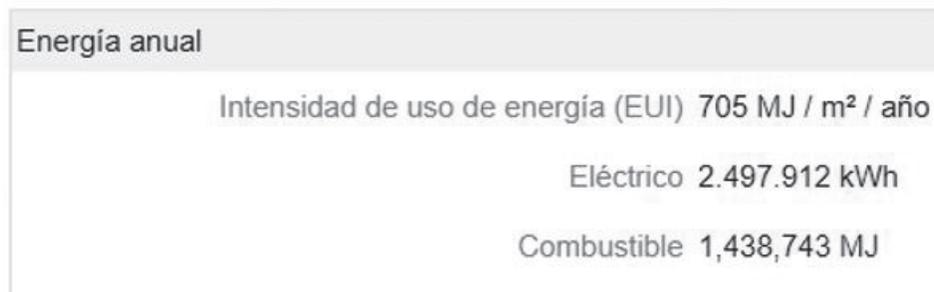
**Figura 1.** Modelo energético del Edificio N°1 antes de simulación.

Una vez que se obtuvo el consumo de la energía eléctrica en GBS, este se comparó con la facturación más reciente disponible y se evaluaron algunas medidas de eficiencia energética mediante el software.

## Resultados

El consumo eléctrico teórico anual obtenido fue de 2 404 170.72 kWh, del cual el 72.90% pertenece al sistema de climatización, el 18.15% a iluminación y el restante al consumo de equipos generales.

La simulación realizada por GBS presentó un consumo igual a 2 497 912 kWh/año como se evidencia en la figura 2.



**Figura 2.** Desglose del consumo de energía en el edificio N°1.

Los resultados presentados por Carrizo [8] y Gonzáles [9] indican un consumo de energía eléctrica igual a 1 237 160 kWh/año y 3 284 810 kWh/año para dos de los otros edificios pertenecientes al Campus Víctor Levi Sasso de la UTP. Al incluir al edificio N°1 se obtiene un consumo total de 7 019 882 kWh al año.

En el último informe disponible [10], donde se incluye la facturación eléctrica total del campus, se refleja un consumo total anual de 7 436 100 kWh. La diferencia de energía eléctrica entre los resultados obtenidos por simulación y el presente en la facturación se debe a que no se ha simulado el comportamiento energético de la cafetería de administrativos y el edificio de Secretaría General, siendo entonces los resultados obtenidos por GBS muy próximos al comportamiento real de los distintos edificios.

Con base en el consumo de energía teórico, se plantearon propuestas de eficiencia energética sobre el sistema de iluminación, sistema de climatización y se agregó generación fotovoltaica para cubrir parcialmente la demanda eléctrica.

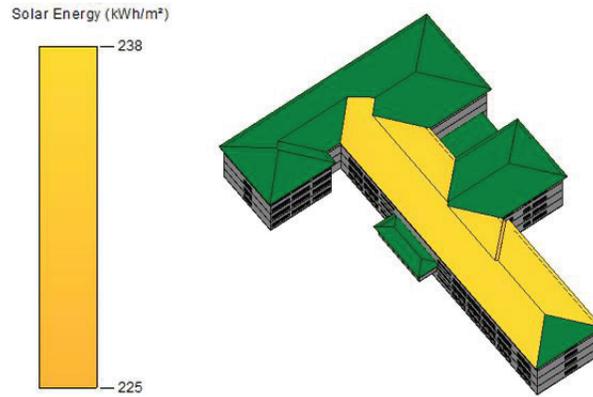
### Sustitución de lámparas fluorescentes por lámparas LED

Se utilizó el software DIALux para modelar un salón de clases típico de la UTP y evaluar el nivel de iluminación con lámparas idénticas a las presentes actualmente, pero en su versión LED (Feilo Sylvania, modelo 507 LED). Los resultados en DIALux mostraron un nivel de iluminación promedio adecuado (579 lux) con base en la Resolución N°93-319 [11], donde se establecen los niveles de iluminación mínimos para interiores en la República de Panamá (300 lux para aulas de clase). La densidad de potencia por iluminación en el salón de clases disminuyó de 16.10 W/m<sup>2</sup> a 8.24 W/m<sup>2</sup>, es decir, una diferencia porcentual de 48.82%. Al incluir estos valores de potencia nuevamente sobre el modelo en Revit y simular el consumo de energía eléctrica, se obtuvo un valor de 2 013 693 kWh anuales, lo que representa una reducción del 19.38% respecto al caso base.

### Generación eléctrica con energía fotovoltaica

Con la herramienta “Sun” de Revit se realizó un estudio solar sobre la cubierta del edificio N°1, obteniéndose una insolación acumulada de 6 876 293 kWh para el año 2020, prácticamente homogénea a lo largo de toda la superficie.

Se seleccionó parte de la cubierta, figura 3, para la instalación de módulos fotovoltaicos de 16% de eficiencia, cubriendo un área total de 1 523 m<sup>2</sup>.



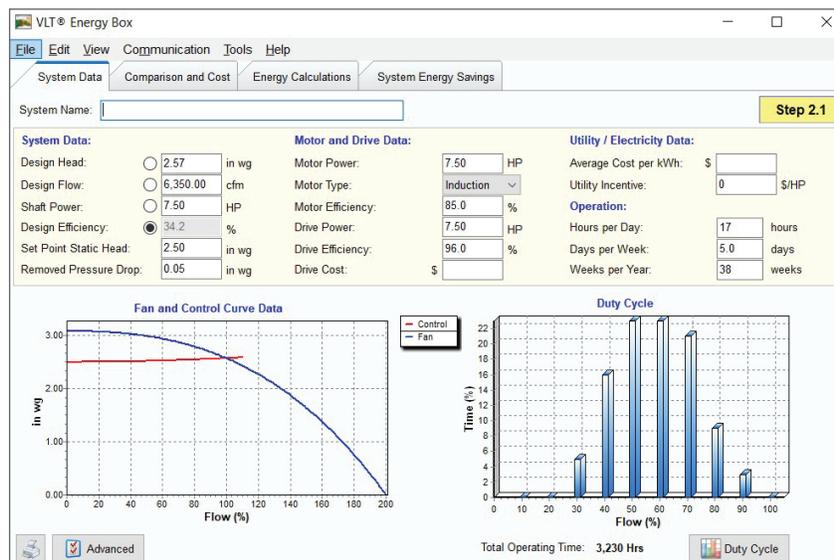
**Figura 3.** Área seleccionada para la instalación de módulos fotovoltaicos y escala de energía producida por m<sup>2</sup> anual con módulos de 16% de eficiencia.

La instalación de estos módulos generaría 361 661 kWh anuales según los resultados de la herramienta “Sun”.

### Cajas de volumen variable y variadores de frecuencia para el sistema de climatización

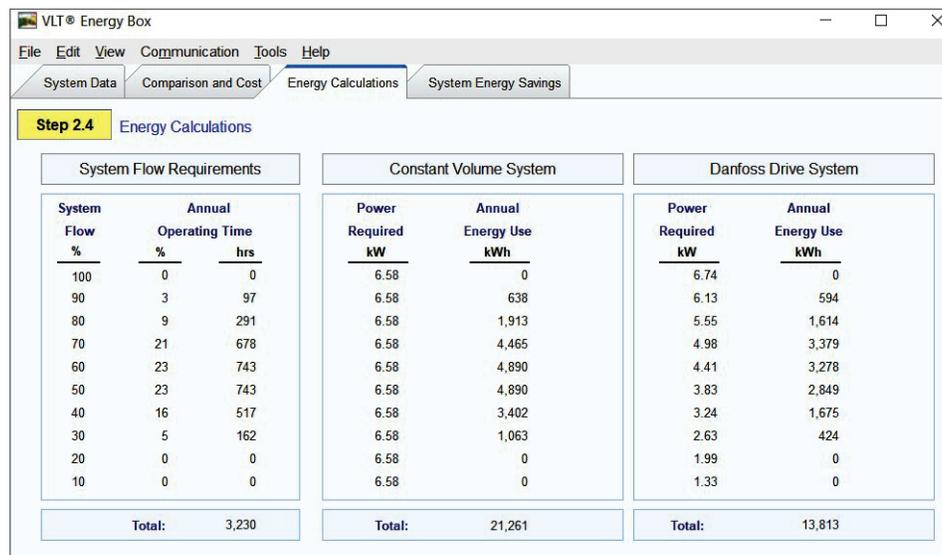
La siguiente propuesta plantea la adaptación del actual sistema de distribución de volumen de aire constante (VAC) a uno más eficiente de volumen de aire variable (VAV); para esto, se requieren de sistemas de control, variadores de frecuencia en los motores de las manejadoras de aire (se incluirían también en las bombas de agua) y cajas de volumen variable en las derivaciones de los ductos de aire.

Se utilizó el programa VLT Energy Box 2 de Danfoss, empresa especialista en control, para determinar el ahorro energético que traería consigo la implementación de la propuesta. Para esto, se trabajó con una de las manejadoras de aire ubicadas en el edificio N°1 y con ayuda de los planos se completaron los campos presentes en la figura 4.



**Figura 4.** Ventana de configuración para ventiladores.

En la figura 5 se muestran los resultados obtenidos, donde se evidencia una clara ventaja en el consumo de electricidad del motor de la manejadora, reduciéndose en un 35% anual.



System Flow Requirements			Constant Volume System		Danfoss Drive System	
System Flow %	Annual Operating Time		Power Required kW	Annual Energy Use kWh	Power Required kW	Annual Energy Use kWh
	%	hrs				
100	0	0	6.58	0	6.74	0
90	3	97	6.58	638	6.13	594
80	9	291	6.58	1,913	5.55	1,614
70	21	678	6.58	4,465	4.98	3,379
60	23	743	6.58	4,890	4.41	3,278
50	23	743	6.58	4,890	3.83	2,849
40	16	517	6.58	3,402	3.24	1,675
30	5	162	6.58	1,063	2.63	424
20	0	0	6.58	0	1.99	0
10	0	0	6.58	0	1.33	0
<b>Total:</b>			<b>21,261</b>		<b>13,813</b>	

**Figura 5.** Comparativa del consumo eléctrico entre ventiladores operando a VAC Y VAV.

Se realizó el mismo procedimiento para el resto de las manejadoras de aire y bombas de agua fría y condensado, resultando un nuevo consumo de energía eléctrica anual para el edificio N°1 igual a 2 145 688 kWh, representando un ahorro de 14.10%.

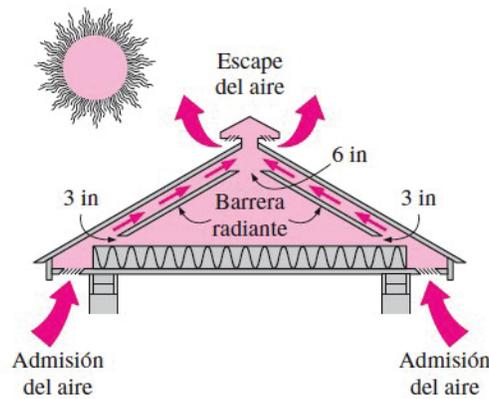
### Ventanas de doble cristal con cámara de aire

La conductividad térmica del aire a temperatura ambiente es prácticamente 30 veces menor a la del vidrio, por lo que una capa intermedia de aire en reposo de 1 cm de espesor tendría una resistencia térmica equivalente a la de una lámina de vidrio de 30 cm de espesor [12]. Por esta razón, resulta atractivo considerar la sustitución de las ventanas actuales por aquellas de doble cristal y cámara de aire. Se procedió entonces a incluir sobre el modelo en Revit ventanas con cristales de ¼ de pulgada cada uno y baja emisividad ( $\epsilon = 0.05$ ), con coeficiente  $U = 1.9873 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  y con baja ganancia de calor ( $\text{SHGC} = 0.26$ ). Al simular, se obtuvo un consumo de energía eléctrica igual a 2 397 613 kWh/año, representando una diferencia porcentual del 4.02%.

### Ventilación del ático de la cubierta e instalación de barreras radiantes

Estudios han demostrado lo favorable que resulta ventilar áticos como medidas de eficiencia energética, entre estos se puede citar las investigaciones de Al-Obaidi *et al.* [13], donde se logra una reducción de temperatura de hasta 6.4°C entre un ático no ventilado y otro ventilado en Malasia, usando un extractor tipo turbina híbrido.

Se puede minimizar la ganancia de calor por radiación entre el techo interior y el tejado si se cubre al menos uno de los dos lados del ático con barreras radiantes, Figura 6.



**Figura 6.** Funcionamiento de barrera radiante en ático. Fuente: [12]

Es importante destacar que la barrera radiante no representa por sí misma una resistencia térmica, por esta razón su uso va acompañado de material aislante. Para el caso de esta investigación, se usó aislante R-38 como parte del material del techo de ático y se volvió a simular el consumo energético. GBS arrojó un valor de 2 476 593 kWh anuales. El software Revit no cuenta con la posibilidad de simular el comportamiento energético usando barrera radiante, por esta razón el cálculo se limita al uso del aislante R-38.

#### Combinación de todas las propuestas

A partir del modelo del Edificio N°1 con las lámparas LED creado en Revit, se incluyeron en la configuración de energía las ventanas de doble cristal y el aislante R-38 en la cubierta, consiguiéndose un nuevo consumo de energía eléctrica igual a 1 880 639 kWh/año, figura 7.

Annual Energy	
Energy Use Intensity (EUI)	551 MJ / m <sup>2</sup> / year
Electric	1,880,639 kWh
Fuel	1,378,463 MJ

**Figura 7.** Desglose del consumo de energía en el edificio N°1.

Aplicando la diferencia de consumo eléctrico derivado del uso de cajas de volumen variable y variadores de frecuencia para el sistema de climatización:

$$1\,880\,639 \frac{kWh}{año} - 179\,145 \frac{kWh}{año} - 173\,079 \frac{kWh}{año} = 1\,528\,415 \frac{kWh}{año}$$

La aplicación de todas las medidas de eficiencia energética reduciría en un 38.81% el consumo de energía eléctrica base de 2 497 912 kWh anuales en el Edificio N°1.

El cuadro 1 presenta un resumen de los efectos de las distintas propuestas de eficiencia energética, entre estos, el beneficio económico en términos de ahorro, usando la tarifa de 0.15268 B./ kWh presente en el pliego tarifario de ENSA para el primer semestre de 2020.

**Cuadro 1.** Ahorros energéticos y económicos de las propuestas de eficiencia energética.

Caso base (kWh/año)	Caso base (B./.)	Propuesta	$\Delta E_{elec}$ (kWh/año)	% $\Delta E_{elec}$	Ahorro (B./ anual)
2 497 912	381 381.20	Lámparas LED	484 219	19.38	73 930.56
		Módulos PV en la cubierta 16%	-	-	55 218.40
		Módulos PV en la cubierta 20.4%	-	-	70 403.34
		VFDs + Cajas VAV	352 224	14.10	53 777.56
		Ventanas de doble cristal	100 299	4.02	15 313.65
		Ventilación de ático de la cubierta + barrera radiante*	21 319	0.85	3 254.98
		Combinación de todas las propuestas (módulos 16%)	969 497	38.81	202 241.20
		Combinación de todas las propuestas (módulos 20.4%)	969 497	38.81	218 426.14

\* Cálculo basado únicamente en la aplicación del aislante R-38.

Como se puede apreciar el cuadro 1, el ahorro anual para el caso de módulos al 16% corresponde a 203 241.20 Balboas (equivalentes en dólares americanos), lo anterior permitiría la contratación de personal nuevo de investigación con grado de maestría y/o doctorado por el orden de once nuevos investigadores con grado de maestría o seis nuevos investigadores con grado de doctorado respectivamente. Para el caso de módulos al 20.4%, las estimaciones corresponden a doce nuevos investigadores con grado de maestría y/o siete nuevos investigadores con grado de doctorado respectivamente. Las cantidades de 203 241.20 y 218 426.14 dólares americanos se pueden comparar muy bien con el capital correspondiente a la adjudicación de dos proyectos del programa marco de Convocatoria Pública de Fortalecimiento a Equipamiento e Instrumentación Especializado para Actividades de I+D (EIE) de la SENACYT [14]. Otro uso al capital ahorrado puede dársele al pago correspondiente de las tasas de acreditación o reacreditación de por lo menos cinco carreras de grado de la UTP, a razón de 35 000 dólares americanos aproximadamente.

### Evaluación de la huella de carbono

Para evaluar el beneficio ambiental que traería consigo la implementación de todas las propuestas de eficiencia energética en el edificio N°1, se calcularon con la ec.(3) las toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes que emite el edificio durante su operación y las que dejarían de liberarse a la atmósfera.

$$\frac{t_{CO_2e}}{año} = \frac{E_c \times F_e}{1000} \quad (3)$$

Donde tCO<sub>2</sub>e son las toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>, E<sub>c</sub> es la energía consumida por el edificio en kWh/año, F<sub>e</sub> es un factor de emisión por generación en tCO<sub>2</sub>e/MWh y 1000 es el factor de conversión de kWh a MWh.

El factor de emisión utilizado fue 0.224 tCO<sub>2</sub>e/ MWh [15], el cual incluye la generación por energías térmicas convencionales y renovables. Se optó por usar el factor combinado atendiendo a la última matriz energética de generación de electricidad de Panamá [16].

Las toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes emitidas por el edificio N°1 durante su operación son:

$$\frac{t_{CO_2e}}{\text{año}} = \frac{2\,497\,912 \frac{kWh}{\text{año}} \times 0.224 \frac{tCO_2e}{MWh}}{1000} = 559.53$$

Con todas las propuestas de eficiencia energética aplicándose, incluyendo los 361 661 kWh anuales de generación fotovoltaica, se tendría una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes igual a:

$$\frac{t_{CO_2e}}{\text{año}} = \frac{\left(2\,497\,912 \frac{kWh}{\text{año}} - 1\,528\,415 \frac{kWh}{\text{año}} + 361\,661 \frac{kWh}{\text{año}}\right) \times 0.224 \frac{tCO_2e}{MWh}}{1000} = 298.18$$

Con módulos de 20.4% de eficiencia, con una generación de 461 117 kWh/año, se tendría una reducción en emisiones de CO<sub>2</sub> de 320.46, lo que representa un 57.27% menos.

Haciendo un análisis comparativo con las toneladas de CO<sub>2</sub> anuales generadas por la Línea 1 del Metro de Panamá durante el periodo 2015 al 2017[17][18] y los escenarios de emisiones de CO<sub>2</sub> del Edificio N°1 sin medidas de ahorro energético y con estas, es posible apreciar lo indicado en el cuadro 2.

**Cuadro 2.** Comparativa entre emisiones de CO<sub>2</sub> del metro de Panamá y el edificio N°1.

Aspecto	2015	2016	2017
Toneladas anuales de CO <sub>2</sub> de la línea 1 del Metro de Panamá[17][18]	12 505	11 062	12 505
Toneladas mensuales de CO <sub>2</sub> de la línea 1 del metro de Panamá[17][18]	1 042	922	1 042
Toneladas anuales de CO <sub>2</sub> del edificio N°1 sin ahorro	559.53	559.53	559.53
Toneladas anuales de CO <sub>2</sub> del edificio N°1 con ahorro (módulos 16%)	261.35	261.35	261.35
Relación porcentual de las toneladas anuales de CO <sub>2</sub> del edificio N°1 sin ahorro con las toneladas anuales de la línea 1 del metro de Panamá	4.47%	5.06%	4.47%
Relación porcentual de las toneladas anuales de CO <sub>2</sub> del edificio N°1 con ahorro (módulos 16%) con las toneladas anuales de la línea 1 del metro de Panamá	2.09%	2.36%	2.09%

El total de emisiones de CO<sub>2</sub> anuales del edificio N°1 sin medidas de ahorro energético corresponde al 4.47% de las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> de la línea 1 del metro de Panamá para los años 2015 y 2017; y a un 5.06% para el año 2016. El total de emisiones de CO<sub>2</sub> anuales del edificio N°1 con las medidas de ahorro energético corresponde al 2.09% de las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> de la línea 1 del metro de Panamá para los años 2015 y 2017; y a un 2.36% para el año 2016. Si se hace la comparación para los años 2016 y 2017, con respecto a las toneladas mensuales de CO<sub>2</sub> de la línea 1 del metro de Panamá, se puede apreciar que el total de 559.53 de emisiones anuales de CO<sub>2</sub> del edificio n °1 (sin ahorro) corresponde al 53.70% y 60.68% de las emisiones mensuales de CO<sub>2</sub> de la línea 1 del metro de Panamá, es decir, esto correspondería a las emisiones de dos semanas de operaciones de la línea 1 del metro de Panamá aproximadamente. En relación con el total de 261.35 de emisiones anuales de CO<sub>2</sub>

del edificio N°1 (con ahorro) corresponde al 25.08% y 28.34% de las emisiones mensuales de CO<sub>2</sub> de la línea 1 del metro de Panamá, es decir, esto correspondería a las emisiones de una semana de operaciones de la línea 1 del metro de Panamá aproximadamente.

## Conclusiones

El resultado del cálculo teórico del consumo de energía eléctrica del edificio N°1 indica que el sistema de climatización es el conjunto más demandante (72.90% del total). Por su parte, Revit y Green Building Studio resultaron ser herramientas muy confiables para simular el comportamiento energético de la edificación, obteniéndose un consumo anual de 2 497 912 kWh. La sustitución de las lámparas fluorescentes por las de tecnología LED resultaron ser la propuesta que alcanzó un ahorro energético más significativo con un 19.38%, seguido de las adaptaciones al sistema de climatización con un 14.10%. La aplicación de la combinación de todas las propuestas descritas significaría un potencial ahorro en el consumo eléctrico del edificio de 38.81%. En términos económicos, se alcanzarían reducciones en la factura hasta de B/. 218 426.14 anuales y una disminución del 57.27% de emisiones de toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>. El dinero que se ahorraría con la implementación de todas las propuestas de eficiencia energética tendría un impacto importante en el ámbito de la investigación en la UTP, al poder contratarse profesionales con títulos de maestría y doctorado y así aportar en la escalada de la universidad en rankings internacionales. De igual forma, podría aprovecharse el capital en proyectos de innovación e interés científico. Adicionalmente, el análisis comparativo con respecto a las emisiones de CO<sub>2</sub> de la línea 1 de metro de Panamá arrojó que con el total de 261.35 de emisiones anuales de toneladas de CO<sub>2</sub> del edificio N°1 (con ahorro) corresponde al 25.08% y 28.34% de las emisiones mensuales de CO<sub>2</sub> de la línea 1 del metro de Panamá, es decir, esto correspondería a las emisiones de una semana de operaciones de la línea 1 del metro de Panamá aproximadamente.

## Referencias

- [1] Secretaría Nacional de Energía, *Plan Energético Nacional 2015-2050*, no. 6–348. Panamá: Gaceta Oficial Digital, 2016, p. 348.
- [2] D. R. Rico, “Los beneficios de la eficiencia energética: su alcance y limitaciones,” *FIDE*, p. 48, 2019.
- [3] R. Ramírez Talán and J. Toro González, “Eficiencia energética y su medición,” *FIDE*, 2019.
- [4] J. Randolph and G. M. Masters, “Energy Efficiency for Buildings,” *Energy Sustain.*, vol. 33, no. 1, pp. 173–213, 2018, doi: 10.5822/978-1-61091-821-3\_6.
- [5] M. S. Morales Flores, “Building Performance evaluation using Autodesk Revit for optimising the energy consumption of an educational building on subtropical highland climate: A case of study in Quito,” 2016.
- [6] P. Singh and A. Sadhu, “Multicomponent energy assessment of buildings using building information modeling,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 49, p. 101603, Aug. 2019, doi: 10.1016/J.SCS.2019.101603.
- [7] H. Al Habibi, “ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF ENERGY PERFORMANCE FOR A BUILDING IN CSUS CAMPUS,” California State University, 2019.
- [8] K. Carrizo, “Inventario del consumo de energía para evaluar alternativas de ahorro energético en el edificio 2 ‘Postgrado’ del Campus Víctor Levi Sasso,” Universidad Tecnológica de Panamá, 2021.
- [9] B. González, “Inventario del consumo de energía para evaluar alternativas de ahorro energético en el edificio N°3 del Campus Víctor Levi Sasso,” Universidad Tecnológica de Panamá, 2021.
- [10] C. Jaramillo, “Informe consumo eléctrico UTP 2018,” Ciudad de Panamá.
- [11] JTIA, *Gaceta Oficial N°22.263*. Panamá, 1993, p. 4.
- [12] Y. A. Cengel, *Transferencia de calor y masa*, 5th ed. McGraw Hill, 2014.

- [13] K. M. Al-Obaidi, M. Ismail, and A. M. Abdul Rahman, "A comparative study between unvented and vented attics powered by the hybrid turbine ventilator in Malaysian houses," *Int. J. Sustain. Energy*, vol. 35, no. 2, pp. 148–160, 2016, doi: 10.1080/14786451.2013.873801.
- [14] SENACYT, "Convocatoria Pública de Fortalecimiento a Equipamiento e Instrumentación Especializado para Actividades de I+D (EIE) 2019," *Convocatoria digital*, 2021. <https://www.senacyt.gob.pa/convocatoria-publica-de-fortalecimiento-a-equipamiento-e-instrumentacion-especializado-para-actividades-de-id-eie-2019-2/> (accessed Sep. 16, 2021).
- [15] E. Sempris, A. Domínguez, R. Gutiérrez, and J. Young, "Primer informe de Panamá ante la CMNUCC," 2017.
- [16] "Generación eléctrica. Secretaría Nacional de Energía." .
- [17] A. Berbey-Alvarez, J. Guevara-Cedeño, H. Alvarez, and J. Sanz Bobi, "Panama Metro Bus System and Metro Line 1: An externalities analysis of CO<sub>2</sub> emissions spectre.," in *Conference: 2017 International Conference in Engineering Applications Track: Energy and Sustainability in Small Developing Economies, At In Funchal, Madeira Island, July 10-13, 2017, Volume: In Funchal, Madeira Island, July 10-13, 2017.*, 2017, p. 2017.
- [18] A. Berbey-Alvarez, J. Guevara-Cedeño, H. Alvarez, and F. Mihailovs, "Panama metro line 1: Analysis of CO<sub>2</sub> emissions from 2015 to 2017. Principles for an eco-transportation city," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 149, no. March, pp. 467–474, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.01.164.