

SOLUCIONES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CONFORT TÉRMICO EN EDIFICACIONES A PARTIR DE MODELADO ENERGÉTICO

*ENERGY EFFICIENCY AND THERMAL COMFORT SOLUTIONS FOR BUILDINGS
BASED ON ENERGY MODELING*

William P. Guamán ¹, Jonathan A. Chicaiza ², Byron J. Vilcasana ³,
Gabriel N. Pesántez ⁴, Xavier A. Proaño ⁵

Recibido: 20/04/2022 y Aceptado: 06/06/2022
ENERLAC. Volumen VI. Número 1. Junio, 2022 (120 - 133)
ISSN: 2602-8042 (impreso) / 2631-2522 (digital)



Foto de Sergei A de Pexels.

1 Universidad Técnica de Cotopaxi. Ecuador.
wilian.guaman8956@utc.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9905-8231>

2 Universidad Técnica de Cotopaxi. Ecuador.
jonathan.chicaiza0570@utc.edu.ec

3 Universidad Técnica de Cotopaxi. Ecuador.
byron.vilcasana2541@utc.edu.ec

4 Universidad Técnica de Cotopaxi. Ecuador.
gabriel.pesantes3889@utc.edu.ec

5 Universidad Técnica de Cotopaxi. Ecuador.
xavier.proano@utc.edu.ec

RESUMEN

En este trabajo se realiza el análisis de la eficiencia energética en edificaciones mediante la herramienta de código abierto *OpenStudio* aplicando normativas como: ASHRAE 90.1-2016 y la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC). En primera instancia, se realizó una investigación bibliográfica de normativas de eficiencia energética en edificaciones. Posteriormente se buscó información acerca de los planos arquitectónicos del edificio Matriz UTC, reportes de consumo de energía eléctrica mensual del año 2019 y se realizó el levantamiento de cargas eléctricas mediante una visita *in situ*. Luego, se plantearon tres casos de estudio: caso base, inclusión de sistemas HVAC y energía fotovoltaica. Luego, se valida el modelo en *OpenStudio* mediante los coeficientes NMBE y CV(RMSE), comparando el consumo de energía eléctrica mensual del año 2019 con los resultados de la simulación en *OpenStudio*. Como resultados se obtiene que la inclusión de sistemas HVAC representa un incremento del 34.78% en el consumo de energía eléctrica anual y el sistema fotovoltaico será capaz de generar 352.210 MWh/año, energía que sirve para satisfacer el incremento de la demanda generada por los sistemas HVAC.

Palabras clave: Eficiencia energética, consumo eléctrico, sistemas HVAC, sistemas fotovoltaicos, modelado energético.

ABSTRACT

In this work, an analysis of energy efficiency in buildings is carried out using the open source tool OpenStudio, applying standards such as: ASHRAE 90.1-2016 and the Ecuadorian Construction Standard (NEC). First, a bibliographic research of energy efficiency standards in buildings



was carried out. Subsequently, information was sought about the architectural plans of the UTC Matriz building, monthly electricity consumption reports for the year 2019 and a survey of electrical loads was carried out through an on-site visit. Then, three case studies were proposed: base case, inclusion of HVAC systems and photovoltaic energy. Then, the model is validated in OpenStudio through the NMBE and CV(RMSE) coefficients, comparing the monthly electricity consumption of 2019 with the simulation results in OpenStudio. The results show that the inclusion of HVAC systems represents an increase of 34.78% in annual electricity consumption and the photovoltaic system will be able to generate 352.210 MWh/year, energy that serves to meet the increased demand generated by the HVAC systems.

Keywords: Energy efficiency, electrical consumption, HVAC systems, photovoltaic systems, energy modeling.

Gran parte de los edificios públicos en Ecuador fueron diseñados sin considerar criterios de eficiencia energética, lo que ocasiona un alto consumo energético.

INTRODUCCIÓN

Gran parte de los edificios públicos en Ecuador fueron diseñados sin considerar criterios de eficiencia energética, lo que ocasiona un alto consumo energético. Además, no se consideró el ingreso de generación *in situ* mediante fuentes renovables como la energía solar fotovoltaica, producida cuando la luz solar incide sobre las células solares (Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, 2002).

Por otra parte, el confort térmico en edificaciones se debe ajustar a los requerimientos de la Normativa Ecuatoriana de la Construcción (NEC), que establece como aceptable una temperatura de 22 °C, por lo que se hace necesario la implementación de sistemas de aire acondicionado y calefacción (HVAC), cuya función es brindar comodidades de temperatura, humedad de aire y calidad de aire, independientemente de las condiciones climáticas exteriores o adyacentes (Gulati, 2012). Para evaluar los cambios en el consumo de energía en el edificio, se puede emplear el modelado energético, que consiste en el uso de *software* profesional para analizar edificios o instalaciones complejas y a partir de allí, obtener los resultados de su consumo energético y el coste de los equipos de acondicionamiento térmico (ASHRAE, 2018).

Varios trabajos se han realizado en la región utilizando modelado energético, por ejemplo, Bravo Muñoz (2016) realizó un estudio sobre la aplicación de *EnergyPlus* como herramienta de simulación energética para edificios con el objetivo de conocer las ventajas y desventajas que presenta esta aplicación, por lo cual deduce que *EnergyPlus* presenta beneficios importantes con respecto a programas como LIDER o CALENER, como motor de cálculo de cargas térmicas. Por otro lado, la investigación de Caderot Bofill (2017) caracteriza una parte del edificio EEBE de la Universidad Politécnica de Cataluña mediante el uso de *OpenStudio* para predecir el consumo de energía, propo-

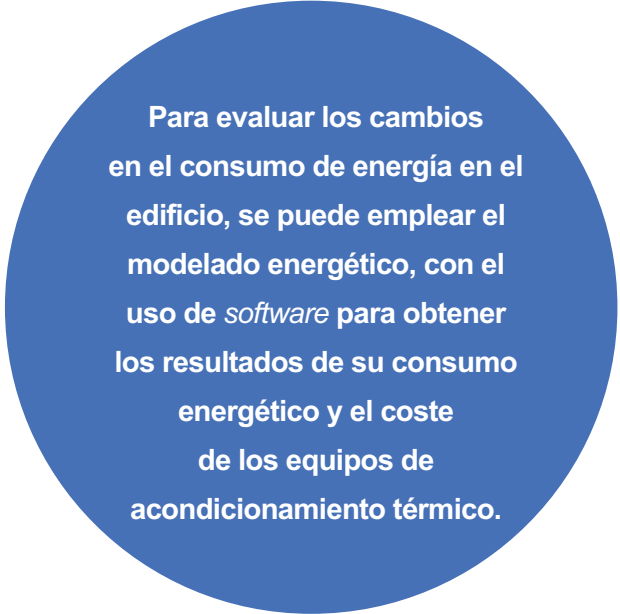
niendo como solución es reducir el consumo en el acristalamiento de las ventanas, en la fachada y en el uso de energías renovables.

El proyecto de Galán Parras (2014), realiza un estudio de demanda energética utilizando EnergyPlus en el edificio del campus central de la Universidad de El Salvador. Este campus presenta un gran consumo de energía eléctrica y lo cual se ve reflejado en las facturas mensuales del consumo eléctrico. Para dar posibles soluciones realizan el modelo de línea base y así proponer propuestas de ahorro energético como el cambiar de luminarias y sistemas eléctricos más eficientes. También, Trezza (2018) analiza el comportamiento energético de una vivienda compuesta por dos domos divididos a través del simulador energético *EnergyPlus*, para mejorar la eficiencia energética de la vivienda el autor plantea cambiar el color de acabado a blanco, usar elementos de protección solar tipo cortina y sustitución de los acristalamientos.

El campus de la Universidad Técnica de Cotopaxi se encuentra ubicado en Ecuador, ciudad de Latacunga, y dispone de dos bloques de edificios (A y B) que están conectados por pasillos en los laterales y conforman el edificio Matriz UTC. El consumo promedio anual de electricidad en el edificio durante el 2019 fue 558.676 kWh entre iluminación, y equipos eléctricos. Latacunga, es una ciudad con clima continental templado, bajas temperaturas que en promedio se acercan a los 8°C. De ahí que, este trabajo propone alternativas para mejorar la eficiencia energética del edificio al tiempo que se ajusta a los niveles de confort recomendados por la NEC.

METODOLOGÍA

En este apartado se detalla una explicación simplificada de la metodología a utilizar con las herramientas que se usaron para la simulación energética y el dimensionamiento del sistema de energía fotovoltaica. Para ello se tomarán



Para evaluar los cambios en el consumo de energía en el edificio, se puede emplear el modelado energético, con el uso de *software* para obtener los resultados de su consumo energético y el coste de los equipos de acondicionamiento térmico.

como referencia las siguientes normativas: (NEC) (2018), ANSI/ASHRAE/IES 90.1(2016), ASHRAE 14 (2002) y Resolución Nro. ARCONEL – 003/18 (2018).

Las herramientas que utilizadas para evaluar la eficiencia energética del edificio Matriz UTC son el *software SketchUp* que permite dibujar y modelar la geometría de los edificios en 3D; el simulador *OpenStudio* sirve para el ingreso de variables como cargas eléctricas, térmicas, horarios y materiales de construcción junto con el motor de cálculo de *EnergyPlus*; y por último el *software PVsyst*, que permite dimensionar un sistema fotovoltaico conectado a la red.

Caso base

En el caso base se tomaron como referencia las condiciones originales de la edificación: materiales de construcción para superficies (techos, suelos, paredes) y sub superficies (ventanas y puertas), cargas eléctricas (luminarias y equipos eléctricos), en la Tabla 1 se presentan los datos del consumo mensual de energía eléctrica obtenidos a partir de las planillas de consumo del año 2019, considerando que en dicho año el estado de emergencia de la pandemia asociada al COVID19 aún no se presentó.

Tabla 1. Consumo de energía eléctrica del edificio Matriz UTC año 2019.

Mes	Consumo de Energía (kWh)	Demanda Pico (kW)	Costo (\$)
1	53,265.00	147	3,805.02
2	43,371.00	138	3,614.94
3	38,620.00	123	3,226.13
4	51,289.00	153	3,746.09
5	52,773.00	155	4,299.01
6	52,097.00	138	3,718.11
7	53,617.00	134	4,278.34
8	33,126.00	98	2,684.62
9	39,806.00	134	3,286.82
10	47,975.00	147	3,917.38
11	48,133.00	150	3,943.94
12	44,604.00	159	3,715.00
Total	558,676.00	1,676.00	44,235.40

Fuente: Elaboración propia.

Para modelar una edificación es necesario contar con planos arquitectónicos, donde se especifiquen las dimensiones de cada espacio, los materiales de construcción de techos, puertas, ventanas y paredes. El edificio Matriz UTC posee una potencia instalada de 300 kVA,

principalmente el consumo de energía eléctrica se da por las luminarias demandan un 49% y los equipos eléctricos representan el 51% restante. A continuación, en la Figura 1 se muestra el edificio modelado al que se le añaden las cargas en la opción *loads* de *OpenStudio*.

Figura 1. Modelado completo del edificio Matriz UTC.



Fuente: Elaboración propia.

Caso 1: Inclusión de sistemas HVAC

Se añaden sistemas HVAC para la calefacción, ventilación y agua caliente sanitaria en el edificio con la finalidad de ajustarse a los criterios de confort térmico definidos en la NEC. Para ello se mantienen constantes, el tipo de construcción, las cargas de iluminación, personas, equipos eléctricos y los horarios de uso de todos los tipos de espacio. Mientras que, en la pestaña de horarios de OpenStudio se creará un horario nuevo para añadir los termostatos, y por último la pestaña de sistemas HVAC se propone un equipo de calefacción y ventilación.

Sistema HVAC

En cuanto al horario de operación de HVAC, se lo realiza por medio de un horario de “siempre encendido en discreto” que se basa en los siguientes criterios:

- El sistema de ventilación entra en funcionamiento automático a una temperatura mayor de 22°C y el sistema de calefacción entrará en funcionamiento automático a una temperatura menor de 22°C.
- En la configuración del ciclo nocturno se implementan sensores de presencia, de modo que si no hay personas o movimiento físico el sistema permanecerá apagado.

Sistema de agua caliente

Se escogió una plantilla con dos sistemas de servicio de agua caliente para el bloque A y el bloque B. En la Tabla 2 se muestra la descripción y capacidad de los elementos del sistema de agua caliente. Este proceso se basa en la normativa ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2016. Sección 7. Servicio de Calentamiento de Agua, donde se recomienda tener en cuenta ciertos aspectos que mejoran la eficiencia energética como:

- Los calentadores de agua de resistencia eléctrica están disponibles con pérdidas en espera tan bajas como 0.06% por hora.
- Eficiencia térmica mínima admisible es del 80 %.
- El control debe ajustar la temperatura a 49°C (120°F), a menos que el fabricante del equipo especifique un mínimo más alto para evitar la condensación y la corrosión resultante.
- La norma exige que estos controles de bomba de circulación proporcionen un máximo de cinco minutos entre el final del ciclo de calefacción y el apagado de la bomba de circulación.

Tabla 2. Elementos para el dimensionamiento del sistema de agua caliente.

Descripción	Capacidad	Eficiencia
Bomba de presión variable	179.33 kPa	90%
Calentador de agua	845 kW	95%
<i>Setpoint Manager</i>	6.72 °C a 49 °C	-

Fuente: Elaboración propia.

Caso 2: Inclusión de Energía Fotovoltaica

El diseño del sistema fotovoltaico debe tener como objeto reducir el consumo de energía de la red y debe estar condicionado a la emisión de factibilidad de conexión de la empresa distribuidora. Con la ayuda de *PVsyst* (García Castro, 2015) se simuló un sistema fotovoltaico conectado a la red para el bloque A y el bloque B del edificio Matriz UTC.

• Orientación e inclinación

Se desarrolló la simulación del edificio Matriz UTC considerando que la inclinación de los paneles fotovoltaicos para aprovechar al máximo la radiación esta definida en el trabajo de Guerrero García (2019), aplicando la Ecuación (1):

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 * |\varphi| \quad (1)$$

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este apartado se detallan los resultados obtenidos en la simulación de *OpenStudio* para los tres casos de estudio propuestos en la sección precedente: caso base, inclusión del sistema HVAC e inclusión de Energías Renovables.

Simulación del caso base

En la Tabla 3 se presenta la comparación de los valores del consumo mensual en kWh de la edificación Bloque A y B de la Matriz UTC, además se detalla la demanda pico por mes y finalmente el costo mensual del consumo de energía eléctrica basados tanto en las planillas del consumo real que se da en dicha edificación y la simulación en el *software OpenStudio*.

Tabla 3. Comparación del consumo de energía eléctrica del caso base

Mes	Consumo de energía eléctrica en planillas			Consumo de energía eléctrica en <i>OpenStudio</i>		
	Consumo de energía (kWh)	Demanda pico (kW)	Costo (\$)	Consumo de energía (kWh)	Demanda pico (kW)	Costo (\$)
1	53,265.000	147.000	3,805.020	54,893.000	177.580	3,898.950
2	43,371.000	138.000	3,614.940	48,146.000	177.580	3,638.670
3	38,620.000	123.000	3,226.130	38,773.000	127.750	2,774.270
4	51,289.000	153.000	3,746.090	52,978.000	177.430	3,820.750
5	52,773.000	155.000	4,299.010	55,225.000	177.430	5,346.840
6	52,097.000	138.000	3,718.110	49,374.000	177.430	5,063.240
7	53,617.000	134.000	4,278.340	55,225.000	177.430	5,346.840
8	33,126.000	98.000	2,684.620	35,318.000	113.830	3,423.670
9	39,806.000	134.000	3,286.820	33,861.000	113.830	2,445.310
10	47,975.000	147.000	3,917.380	49,736.000	154.440	3,456.710
11	48,133.000	150.000	3,943.940	46,070.000	154.440	3,316.690
12	44,604.000	159.000	3,715.000	48,098.000	154.440	3,394.440
Total	558,676.000	1,676.000	44,235.400	567,697.000	1,883.610	45,926.380

Fuente: Elaboración propia.

• **Validación de resultados del caso base**

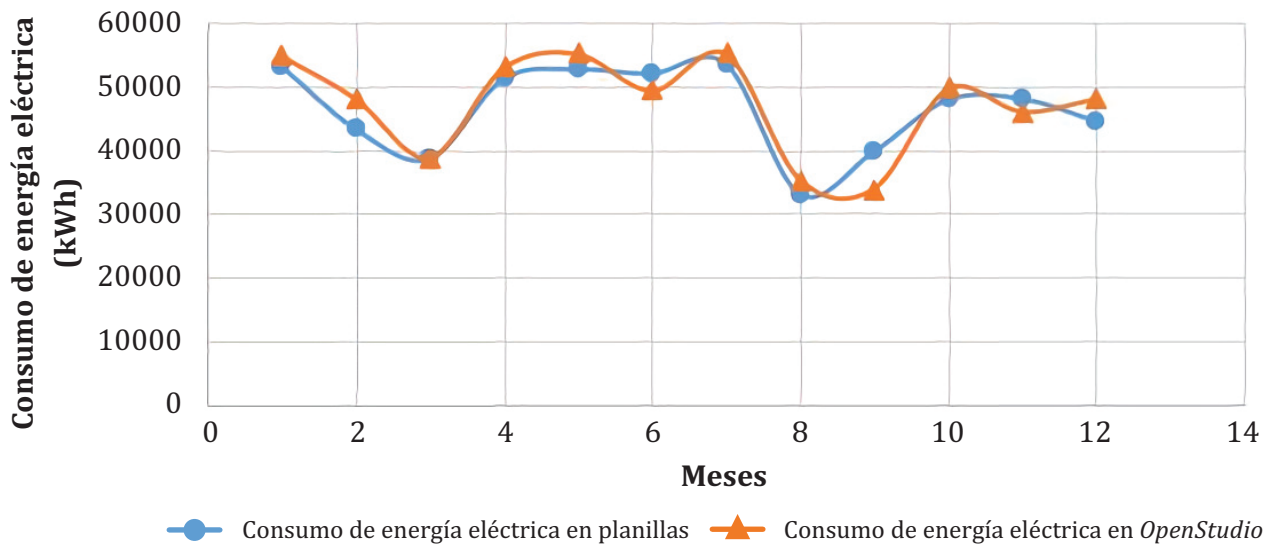
Para la validación de resultados del caso base se utilizó el coeficiente de variación del error cuadrático medio CV(RMSE) y el error medio de sesgo NMBE para cuantificar la desviación entre la medición y simulación. El primero debe estar entre 5% y el segundo deberá ser inferior al 15%, ambos vienen definidos en las Ecuaciones (2) y (3):

$$NMBE = \frac{1}{\bar{M}} * \frac{\sum_{i=1}^n (M_i - S_i)}{n} * 100 \quad (2)$$

$$CV(RMSE) = \frac{1}{\bar{M}} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - S_i)^2}{n}} * 100 \quad (3)$$

En la Figura 2 se comparan los resultados del consumo de energía eléctrica entre los datos de consumo reales y la simulación en OpenStudio. Los resultados muestran que existe similitud de los valores mensuales, por ejemplo, en el mes de julio se consume mayor cantidad de energía eléctrica con 53.617 kWh, este valor obtenido por planillas, mientras que en *OpenStudio* se tiene 55.225 kWh. Además, el NMBE es de -1.61% y CV(RMSE) del 5.59%, por lo tanto, el modelo energético representa el consumo energético real del edificio.

Figura 2. Comparación del consumo eléctrico de planillas y simulación en *OpenStudio*



Fuente: Elaboración propia.

Simulación del caso 1: Inclusión del Sistema HVAC

En la Tabla 4 se muestra la descripción, la capacidad y la eficiencia de los elementos del sistema HVAC utilizados para satisfacer los criterios de confort térmico en los bloques de edificios en estudio.

Tabla 4. Elementos para el dimensionamiento del sistema HVAC.

Descripción	Capacidad	Eficiencia
Bomba eléctrica de calefacción	10.82 kW	90%
Ventilador	924 cfm	70%
<i>Setpoint Manager</i>	22 °C	-

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, la Tabla 5 presenta los resultados del consumo de energía eléctrica en kWh, demanda pico y el costo mensual, tanto del caso base como del caso 1. Una vez añadido al programa sistemas HVAC como calefacción, ventilación y servicio de agua caliente, se observa que incrementa el consumo de energía eléctrica, pasando de 567.697 kWh a

869.042 kWh de consumo anual de electricidad, esto representa un incremento del 34.68% de la energía consumida anualmente. Según la norma ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2016, los sistemas HVAC típicamente representan entre un 30% y 50% del consumo total de electricidad en la edificación.

Tabla 5. Comparación del consumo de energía eléctrica del caso base y caso 1

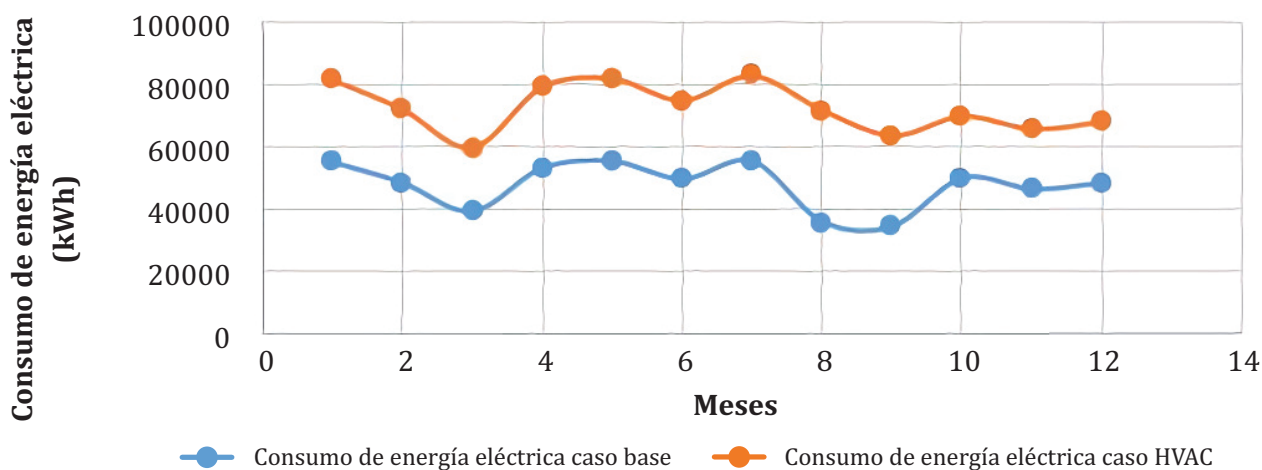
Mes	Consumo de energía eléctrica del caso base			Consumo de energía eléctrica con sistemas HVAC		
	Consumo de energía (kWh)	Demanda pico (kW)	Costo (\$)	Consumo de energía (kWh)	Demanda pico (kW)	Costo (\$)
1	54,893.000	177.580	3,898.950	81,522.880	256.870	5,653.370
2	48,146.000	177.580	3,638.670	71,905.170	277.160	5,489.970
3	38,773.000	127.750	2,774.270	59,313.020	246.080	4,678.610
4	52,978.000	177.430	3,820.750	79,215.290	310.910	6,098.590
5	55,225.000	177.430	5,346.840	81,957.300	309.070	8,553.400
6	49,374.000	177.430	5,063.240	74,737.110	306.680	8,162.170
7	55,225.000	177.430	5,346.840	82,855.270	317.320	8,713.110
8	35,318.000	113.830	3,423.670	71,540.950	341.250	8,495.680
9	33,861.000	113.830	2,445.310	63,263.050	314.840	5,503.240
10	49,736.000	154.440	3,456.710	69,594.650	240.220	5,016.620
11	46,070.000	154.440	3,316.690	65,443.600	324.260	5,695.040
12	48,098.000	154.440	3,394.440	67,694.030	314.230	5,683.600
Total	567,697.000	1,883.610	45,926.380	869,042.000	3,559.000	88,034.520

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente en la Figura 3 se presenta la variación del consumo mensual de energía eléctrica por parte del sistema HVAC y el caso base, es evidente que el consumo de energía del sistema HVAC es superior, presentando el

pico más alto de consumo en el mes de Julio con 82.855 kWh y el consumo el consumo más bajo en el mes de marzo con 59.313 kWh debido al periodo vacacional del edificio matriz UTC.

Figura 3. Variación del consumo de energía eléctrica del caso base y caso HVAC.

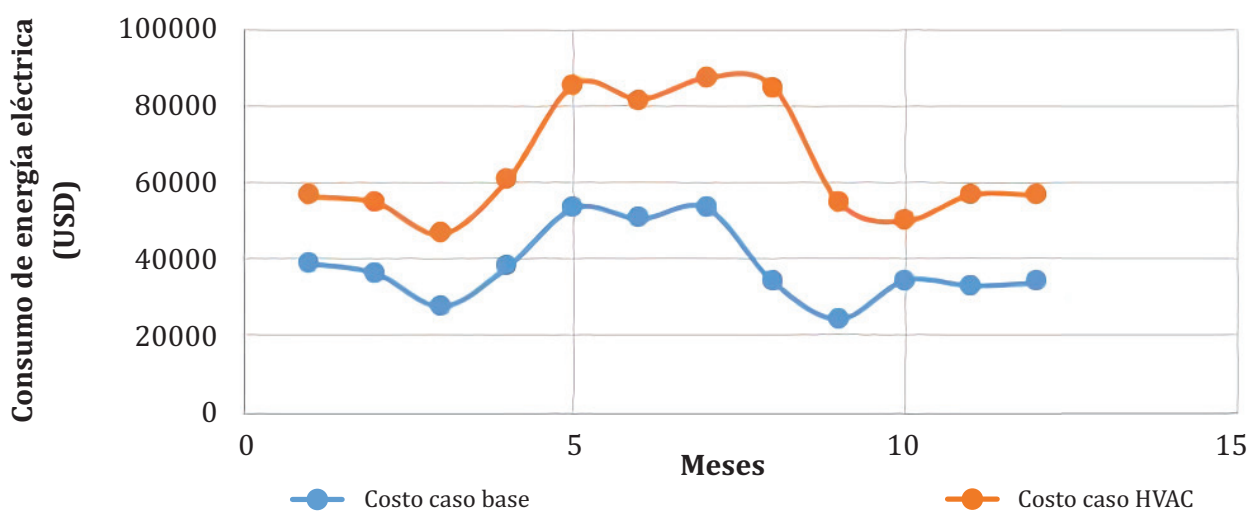


Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al costo de la energía consumida tanto del caso base como del caso HVAC, se observa en la Figura 4 la evolución de los costos, presentando un claro incremento del 34.68% en la planilla eléctrica lo que representa el consumo tanto del sistema de calefacción, ventilación y servicio de agua caliente. el con-

sumo máximo se presenta en el mes de Julio que asciende a un valor de \$8,713.11 mientras que, el consumo más bajo se presenta en el mes de marzo con un valor de \$4,678.11 debido a que, en el edificio se presenta una baja afluencia de estudiantes por el periodo de vacaciones y deriva en un bajo consumo de energía eléctrica.

Figura 4. Comparación del costo de energía del caso base con el caso HVAC



Fuente: Elaboración propia.

Para validar el correcto funcionamiento y dimensionamiento del sistema HVAC se aplica el concepto horas de cargas no satisfechas, expresado en la norma ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2016. Donde las horas de carga no

satisfechas para el diseño propuesto no deberán exceder las 300 (de las 8.760 horas simuladas). Entonces, el diseño cumple con la normativa impuesta ya que las horas no satisfechas presentes en la Tabla 6 son inferiores a las 300 horas.

Tabla 6. Horas no satisfechas

Zona	Horas no satisfechas (h)	Horas no satisfechas Occ (h)
Zona térmica 1	107	33
Zona térmica 2	92	27
Zona térmica 3	99	29
Zona térmica 4	72	16
Zona térmica 5	98	32
Zona térmica 6	85	19
Zona térmica 7	92	27
Zona térmica 8	102	32
Zona térmica 9	0	0
Zona térmica 10	0	0
Zona térmica 11	94	29
Zona térmica 12	0	0
Zona térmica 13	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Simulación del caso 2: Inclusión de Energías Renovables

Se proyectó un sistema fotovoltaico con capacidad de generación de 108.5 kWp para el bloque A y para el bloque B de 93.9 kWp que en conjunto satisfacen el consumo eléctrico asociado a la inclusión de los sistemas de HVAC en el edificio Matriz UTC. Para establecer el número de módulos totales necesarios a ser instalados se utiliza la Ecuación (4):

$$N_T = \frac{P_{FV \text{ máx INV}}}{P_M} \quad (4)$$

Donde:

P_{FV} : Potencia fotovoltaica máxima que admite el inversor.

P_M : Potencia del módulo fotovoltaico.

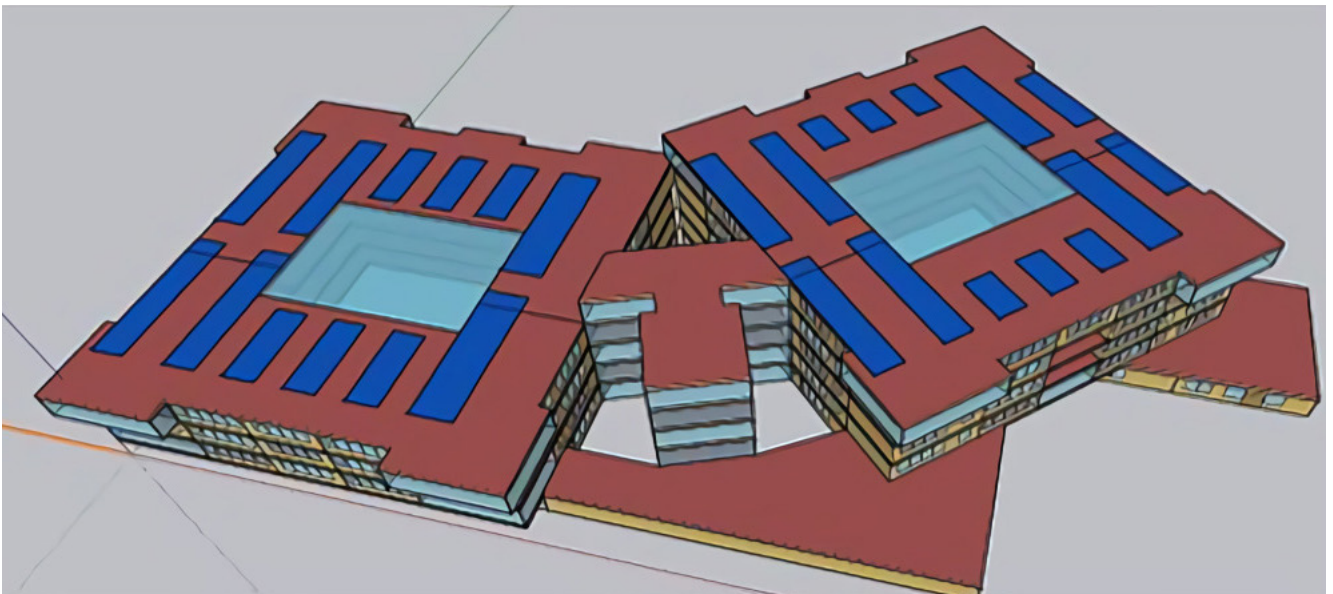
El número total de paneles del edificio A (N_{TA}) y edificio B (N_{TB}) fueron calculados a partir de las ecuaciones (5) y (6) respectivamente:

$$N_{TA} = \frac{P_{FV \text{ máx INV}}}{P_M} = \frac{108.000}{400} = 270 \quad (5)$$

$$N_T = \frac{P_{FV \text{ máx INV}}}{P_M} = \frac{96.000}{400} = 240 \quad (6)$$

La energía eléctrica que genera el sistema fotovoltaico a una inclinación de 4 grados es de 352.210 MWh/año. En la Figura 5 se muestra el modelado del edificio Matriz UTC con la inclusión de paneles fotovoltaicos con la orientación e inclinación adecuada para aprovechar al máximo la energía proveniente del sol.

Figura 5. Vista 3D del edificio con inclusión de paneles fotovoltaicos.



Fuente: Elaboración propia.

Para la validación de resultados del caso 2, se compara la generación anual de MWh que produce en la simulación de *OpenStudio* con la capacidad de generación que se obtiene en el *software PVsyst*. En la Tabla 7 se representan ambos resultados, la diferencia de

5.73% está asociada a que el modelo de *PVsyst* incluye características particulares del panel fotovoltaico que no fueron contempladas en *OpenStudio*, en embargo, con fines ilustrativos, se considera el error en el rango del 5% aceptable para el modelo.

Tabla 7. Generación de energía eléctrica con energía renovable.

Software	Energía generada anual (MWh/año)
<i>OpenStudio</i>	373.650
<i>PVsyst</i>	352.210

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

El modelamiento del edificio matriz UTC fue realizado en base a la geometría real que presentan los planos arquitectónicos, el levantamiento de cargas eléctricas definidas como cargas por iluminación y equipamiento eléctrico representan un consumo del 558.676 kWh anuales.

El sistema HVAC diseñado en la herramienta de código abierto *OpenStudio* garantizará el confort térmico de la edificación, la normativa ASHRAE 90.1.2016 posee parámetros para satisfacer las necesidades tanto de calefacción, ventilación y servicio de agua caliente. Teniendo en cuenta estos aspectos, el consumo de energía eléctrica aumentó un 34,48% en comparación a la planilla real, de igual manera el costo del consumo de electricidad aumento un 47,83%. Mientras que, las pérdidas de calor en la envolvente disminuyeron en un 5% en comparación con el caso base.

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico del edificio Matriz UTC produciría 352.10 MWh/año para satisfacer la demanda asociada a los sistemas de HVAC. En *OpenStudio* se simularon los edificios con la inclusión de paneles solares, lo que arroja un valor de 375.150 MWh/año, es válido el caso 2 ya que existe un 0.88% de diferencia de generación eléctrica entre el *software PVsyst* y *OpenStudio*.

La incorporación del sistema HVAC para el edificio Matriz UTC implica un crecimiento del consumo de electricidad de 47,83% que sería abastecido en su totalidad por la generación del sistema fotovoltaico. Es decir, la energía extra requerida para garantizar que la temperatura sea de 22°C correspondiente al nivel de confort térmico aceptable según la ASHRAE. ■



Foto de Michael Wilson de Unsplash.

REFERENCIAS

- ANSI, ASHRAE, & IES Standard. (2016). *Standard 90.1 user's manual: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. ASHRAE.
- ARCONEL. (2018). *Resolución Nro. ARCONEL - 042/2018: Generación fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica. (Photovoltaic generation for self-supply of end-users of electrical energy)*.
- ASHRAE. (2018). *Energy Simulation Aided Design for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*.
- ASHRAE Guideline 14-2002. (2002). *Measurement of Energy and Demand Savings*.
- Bravo Muñoz, V. (2016). *Metodología para la simulación energética de un edificio terciario empleando la herramienta Energy Plus. (Methodology for the energy simulation of a tertiary building using the Energy Plus tool)*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Caderot Bofill, J. (2017). *Modelización energética de edificios con herramientas de simulación dinámica. (Energy modeling of buildings using dynamic simulation tools)*. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación. (2002). *Energía Solar Fotovoltaica. (Photovoltaic Solar Energy)*. Ibergraphi.
- Galán Parras, R. B. (2014). *Estudio de demanda energética utilizando software y hardware libre en el edificio de Ingeniería Industrial, UES. (Energy demand study using free software and hardware in the Industrial Engineering building, UES)*. Universidad del Salvador.
- García Castro, C. (2015). *Simulación de instalaciones fotovoltaicas con PVSYST. (Simulation of photovoltaic systems with PVSYST)*. Universidad de Jaén.
- Guerrero García, J. J. (2019). *Instalaciones solares fotovoltaicas. (Photovoltaic solar installations)*. Editorial Síntesis, S. A.
- Gulati, N. (2012). Cost effectiveness in HVAC by building envelope optimization. *AUS*, 1–3.
- Sandoya Unamuno, A. D., Chica Martínez, C. L., Ordóñez, G. R., & Arias Zambrano, J. L. (2018). *Norma Ecuatoriana de la Construcción: Eficiencia Energética en edificaciones Residenciales (EE). (Ecuadorian Construction Standard: Energy Efficiency in Residential Buildings (EE))*.
- Trezza, L. (2018). *Análisis energético de una vivienda geodésica y autosuficiente ubicada en Jumilla. (Energy analysis of a geodesic and self-sufficient house located in Jumilla.)*. Universidad Politécnica de Cartagena.