

“Estudio y Simulación Energético del Edificio de la FIEC con EnergyPlus”

Richard Manuel Briceño Maldonado
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP)
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
rbriceno@espol.edu.ec

Ph.D. Paulo Peña Toro
Investigador del Proyecto Prometeo.
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP)
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
paulopena@yahoo.com

Resumen

En este documento se presenta el estudio energético y análisis de cargas térmicas del edificio de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación. El objetivo principal es realizar recomendaciones para disminuir la demanda de energía eléctrica debido a la excesiva carga térmica generada por los lucernarios de policarbonato alveolar. Se analizaron varias herramientas informáticas, y mediante matriz de decisión, se escogió a la denomina EnergyPlus. Se realizaron seis comparaciones a través de simulaciones de modelos diferentes. Las variaciones hacen referencia a las características de los lucernarios, su tamaño o color. Según los resultados generados ningún modelo lograría reducir la carga térmica del edificio de una manera drástica y que ayude a que los equipos de aire acondicionado instalado funcionen correctamente, por lo que, se hizo un rediseño del sistema de aire acondicionado en base al modelo 5 (cámara ventilada) que es el de menor consumo eléctrico y segundo de menor carga térmica.

Palabras Claves: *EnergyPlus, estudio energético, análisis de cargas térmicas.*

Abstract

This paper presents the energy study and analysis of thermal loads of the Faculty of Electrical and Computer Engineering building. The main objective is to make recommendations to reduce electricity demand due to excessive heat load generated by alveolar polycarbonate skylights. We analyzed several tools, using a decision matrix, where EnergyPlus was chosen. Six comparisons were performed by different model simulations. The changes relate to the parameters of the skylights, size or colour. According to the results generated no model achieved enough reductions of the heat load in order to improve the performance of the air conditioners installed. A redesign of the air conditioning system was proposed, taking into account the model 5 (ventilated chamber) because is the lowest power demand and second lower thermal load.

Keywords: *Simulations, EnergyPlus, thermal loads.*

1. Introducción

La Escuela Superior Politécnica del Litoral está interesada en utilizar eficientemente la energía en sus instalaciones, por lo que, el objetivo de este proyecto es realizar un estudio energético y análisis de carga térmica del edificio de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación (FIEC) para estudiar soluciones que ayuden a reducir la demanda de energía eléctrica debido al uso de los sistemas de climatización. La herramienta informática Energy Plus fue escogida después de un análisis

sobre la variedad, de las mismas, que hay en el mercado, para simulación energética de edificaciones.

El principal problema que tiene el edificio de la FIEC es el excesivo calor que se genera debido al efecto invernadero que producen los lucernarios ubicados en diferentes lugares de la cubierta.

Se estudiaron varias soluciones, por lo que, en este trabajo se presentan seis modelos, en los cuales, se han realizado diferentes variaciones a los lucernarios, tales como, tamaño, color, etc.

La presentación de este estudio se ha dividido en 7 capítulos. En el Capítulo 1 se encuentra los objetivos y alcance del estudio; en el Capítulo 2 se describen las principales características de una simulación y se habla sobre la selección del programa utilizado; en el Capítulo 3 se describe detalladamente las características de la herramienta informática EnergyPlus y los modelos físicos en los que se basa; en el Capítulo 4 se detallan las condiciones iniciales de la simulación o del caso de estudio, cómo por ejemplo, su localización, clima, forma y uso del edificio; en el Capítulo 5 se explican los seis modelos considerados para dar solución al problema, la simulación y los resultados que genera el programa; el Capítulo 6 contiene el análisis de los resultados y, finalmente, en el capítulo 7 se exponen las conclusiones y recomendaciones a las que se llega en el presente trabajo.

2. Información General

2.1. Objetivo General

Realizar un estudio energético y análisis de cargas térmicas del edificio de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación para plantear soluciones que ayuden a reducir la demanda de energía eléctrica.

2.2. Objetivos Específicos

- Describir de manera general el funcionamiento de los programas de simulación energética para edificios.
- Obtener la información sobre las características geométricas, el consumo energético del edificio, de las condiciones iniciales y de contorno.
- Realizar el estudio energético del edificio en las condiciones reales de operación y, además, plantear soluciones y/o otros casos para reducir la demanda de energía eléctrica.

3. Metodología

3.1. Selección del programa de simulación

En la selección de la herramienta informática para simulación se consideraron lo siguiente aspectos:

Balance de calor: Califica la exactitud de cálculo de carga térmica que tiene cada

programa según el método de cálculo que utiliza.

Absorción de Humedad: Algunos programas calculan la absorción de los materiales del edificio para tener en cuenta la humedad del ambiente.

Envoltente del Edificio y Luz Natural: Se califica el interfaz gráfica sobre el tratamiento de la radiación solar exterior y como se distribuye en el interior.

Iluminación interior: Permite simular la capacidad de iluminación interior con luz natural.

Temperatura de las superficies: Permite conocer la temperatura de las distintas superficies, ya sean muros, ventanas, techos o pisos.

Facilidad de adquisición.- Permite conocer el grado de dificultad que tiene cada programa para ser conseguido.

Infiltración, Ventilación, Movimiento de aire: Realiza el cálculo del movimiento de aire, tanto desde el exterior como entre las oficinas y combinación entre ambos.

Sistemas de climatización (HVAC systems): Muestra los distintos sistemas de HVAC así como secciones adicionales para el control de la demanda de ventilación y control de CO₂.

Datos climatológicos: Esto diferencia a los programas que poseen una base de datos climática para simular cualquier día del año, en cualquier lugar del mundo.

Generación de reportes: Esta información es necesaria para saber en qué formato el programa entrega la información de la simulación (13).

La selección del programa de simulación se califica siguiendo las directrices de la siguiente escala:

Véase Anexo 1.

3.2. Descripción General del programa EnergyPlus

Es un programa de simulación desarrollado por el Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos. Lo singular es que este simulador solo posee un sistema de ingreso y salida de datos sin una interfaz gráfica para crear la geometría del edificio e ingresar los datos relevantes de ocupación, iluminación, etc.

Es por este motivo que se utilizó Design Builder para aprovechar la versatilidad de su interfaz gráfica.

EnergyPlus utiliza como motor de cálculo el método de balance de Calor (“Heat Balance Method”), el cual, será detallado en este capítulo.

Este método modela los siguientes componentes de la transferencia de calor: a) Conducción a través de los materiales del edificio, b) convección del aire, c) absorción y reflexión de la radiación de onda corta, y d) intercambio radiante de onda larga. La radiación de onda corta incidente proviene de la radiación solar que llega a las zonas a través de las ventanas y de fuentes internas de luz. El intercambio de radiación de onda larga incluye el grado de absorción y de emisión de fuentes de baja temperatura, de otras fuentes como el equipamiento y las personas, entre otras (14).

4. Simulación

4.1. Datos del edificio

El edificio está ubicado en la ciudad de Guayaquil dentro del campus “Prosperina” ESPOL, con una latitud de 2.15° S, longitud 79.88° W, presión atmosférica 101.22 kPa y elevación de 5 metros. La fachada principal se encuentra orientada a 37° N-O.

El edificio consta de 3 pisos con un área total de 5608.5 m^2 .

Las condiciones exteriores de diseño para la ciudad de Guayaquil, son las siguientes (17):

Temperatura de Bulbo seco: 35°C

Temperatura de Bulbo húmedo: 27°C

Humedad relativa de Guayaquil: $50\% \text{ RH}$

Las condiciones interiores de diseño consideradas son las siguientes:

Temperatura de Bulbo seco: 22°C

Humedad Relativa: $50\% \text{ RH}$

Figura 1. Vista del Edificio de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y comunicación en el programa Design Builder.

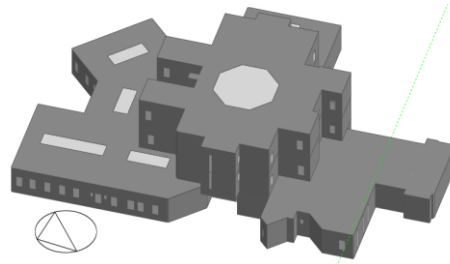


Figura 2. Vista Lateral Edificio FIEC.



Figura 3. Fachada Principal Edificio FIEC.



Este edificio es de uso estudiantil y oficinas, que de acuerdo a la norma ASHRAE tiene los siguientes valores:

Véase Anexo 2.

4.2. Estudios de simulación

Para determinar las medidas más adecuadas de eficiencia energética son necesarias algunas comparaciones.

En la auditoría energética realizada en el edificio se detectó que se generan grandes cantidades de carga térmica, debido a la radiación solar directa, a través de los lucernarios en el área de pasillos, lo que dificulta el alcanzar temperaturas de confort térmico.

Por tanto, los modelos de simulación se plantean como casos de estudio de alternativas a los lucernarios instalados actualmente.

El primer paso es determinar la línea base, en cuanto al rendimiento energético, que indicará cual es la situación más aproximada a la realidad del consumo de energía del edificio.

MODELO 1

El modelo 1 representa la línea base de comparación. Estudia el consumo real de energía del edificio.

Tabla 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS LUCERNARIOS MODELO 1, basado en las especificaciones técnicas del fabricante (3).

CARATERÍSTICAS DE LUCERNARIOS INCOLORO	
COEFICIENTE INCREMENTO CALOR SOLAR SHGC	0,67
TRANSMISIÓN DE LUZ	80%
Coefficiente de transmisión de calor [W/m ² °C]	2,86

MODELO 2

En este análisis se varía el parámetro que hace referencia al color de los lucernarios. Ya que, el coeficiente de incremento de calor solar y la transmisión de luz solar es menor. Permitiendo transferir menor calor por radiación solar directa a los pasillos.

El material de los lucernarios es policarbonato alveolar de color opal.

Tabla 2. CARACTERÍSTICAS DE LOS LUCERNARIOS MODELO 2, basado en las especificaciones técnicas del fabricante (3).

CARATERÍSTICAS DE LOS LUCERNARIOS	
ÁREA	355.08 m ² (100%)
TIPO	POLICARBONATO ALVEOLAR OPAL 10 mm
COEFICIENTE INCREMENTO CALOR SOLAR SHGC	0,41
TRANSMISIÓN DE LUZ	33%

MODELO 3

En este modelo se disminuye el tamaño de los lucernarios en un 20 %. Mientras menor área de lucernarios exista, menor será la transferencia de calor por radiación solar directa. Ya que la transmitancia térmica (U-value) de una losa de 20 cm es menor que la del policarbonato alveolar, permitiendo transferir menor cantidad de calor que el policarbonato alveolar.

Tabla 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS LUCERNARIOS MODELO 3, basado en las especificaciones técnicas del fabricante (3).

CARATERÍSTICAS DE LOS LUCERNARIOS	
ÁREA	284.06 m ² (80%)
TIPO	POLICARBONATO ALVEOLAR INCOLORO
COEFICIENTE INCREMENTO CALOR SOLAR SHGC	0,67
TRANSMISIÓN DE LUZ	80%

MODELO 4

Este modelo es una combinación de los modelos 2 y 3. Se busca una mayor disminución de la carga térmica y se analiza si la combinación da resultados favorables.

Tabla 4. CARACTERÍSTICAS DE LOS LUCERNARIOS MODELO 4, basado en las especificaciones técnicas del fabricante (3).

CARATERÍSTICAS DE LOS LUCERNARIOS	
ÁREA	284.06 m ² (80%)
TIPO	POLICARBONATO ALVEOLAR OPAL 10 mm
COEFICIENTE INCREMENTO CALOR SOLAR SHGC	0,41
TRANSMISIÓN DE LUZ	33%

MODELO 5

En este modelo se estudia la colocación de otra cubierta traslúcida con película de color opal a 10 cm sobre el ya utilizado, formando una cámara ventilada o cubierta ventilada. El planteamiento de este modelo se basa en investigaciones científicas como “Doble Fachada en edificios: Conceptos y aplicación para Argentina” (21), en el que se construye dos sistemas o “pieles” separados por un espacio intermedio ventilado. La fachada exterior es totalmente vidriada, permitiendo pasar la luz solar y protegiendo los agentes climáticos, en cambio la fachada interior puede ser total o parcialmente vidriada. Con este sistema se consigue disminuir las ganancias solares.

Tabla 5. CARACTERÍSTICAS DE LOS LUCERNARIOS MODELO 5, basados en especificaciones técnicas del fabricante (3).

CARATERÍSTICAS DE LOS LUCERNARIOS	
PRIMERA CUBIERTA	
ÁREA	355.08 m ² (100%)
TIPO	POLICARBONATO ALVEOLAR OPAL 10 mm
COEFICIENTE INCREMENTO CALOR SOLAR SHGC	0,41

TRANSMISIÓN DE LUZ	33%
DISTANCIA DE SEPARACIÓN ENTRE CUBIERTA (10 CM)	
SEGUNDA CUBIERTA	
ÁREA	355.08 m ² (100%)
TIPO	POLICARBONATO ALVEOLAR INCOLORO
COEFICIENTE INCREMENTO CALOR SOLAR SHGC	0,67
TRANSMISIÓN DE LUZ	80%

MODELO 6

Este modelo surge como necesidad de solución a problemas que los otros modelos no han tratado. Se simula el caso más extremo quitando todos los lucernarios, tomando en cuenta que el horario de las luces de los pasillos sería de 7:30 hrs a 20:00 hrs y sábados de 9:00 hrs a 13:00 hrs. Con esto se verifica si la dimensión del equipo instalado es suficiente para esta área.

4.3. Resultados de la simulación

Ingresando las condiciones iniciales y de contorno en cada uno de los modelos propuestos se obtuvieron los siguientes datos:

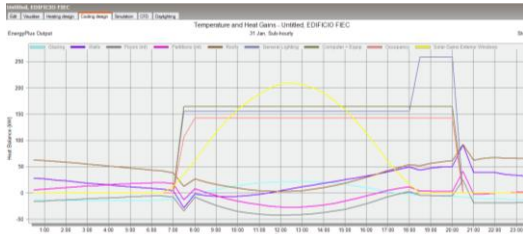
MODELO 1

En este modelo se simuló el edificio de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y computación bajo condiciones reales.

Los resultados de esta simulación sirven para comparar con los datos de consumo real de edificio, ajustar los mismos y establecer una línea base.

En la figura 4. Se muestra las ganancias térmicas que tiene la edificación como son: las ganancias que ingresan por las paredes, por las ventanas, lucernarios de policarbonato alveolar incoloro, techo, iluminación, computadoras y equipos eléctricos, calor generado por las personas que laboran dentro del edificio.

Figura 4. Ganancias de Calor Modelo 1.



La Tabla 6. Muestra un resumen del cálculo de carga térmica en kW que tiene el edificio en el día más caluroso del año.

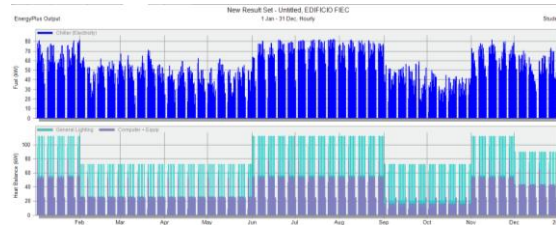
Tabla 6. Análisis de Carga Térmica del Edificio.

MODELO 1	Q_L (kW)	Q_S (kW)	Q_T (kW)	F.S (%)	CARGA TOTAL (kW)
PLANTA BAJA					
O. PROFESORES 1	4.29	20.08	24.37	5	25.59
O. PROFESORES 2	2.19	10.35	12.54	5	13.16
O. PROFESORES 3	6.50	34.97	41.47	5	43.55
O. PROFESORES 4	0.62	3.18	3.80	5	3.99
O. PROFESORES 5	1.45	7.17	8.62	5	9.05
O. PROFESORES 6	5.23	25.56	30.78	5	32.32
SALA REUNIONES	3.20	9.85	13.05	5	13.71
SALA REUNIONES 2	16.30	56.54	72.84	5	76.48
PASILLO CENTRAL	8.43	16.26	24.65	5	25.89
PASILLO	11.94	58.72	70.66	5	74.19
PASILLO 1	3.71	8.35	12.06	5	12.66
OFICINAS GENERALES	2.38	9.35	11.74	5	12.32
OFICINAS GENERALES 1	0.90	4.22	5.12	5	5.38
AUDITORIO	39.09	68.31	107.40	5	112.77
PRIMER PISO					
AULAS	25.31	118.61	143.92	5	151.12
PASILLO CENTRAL PRIMER PISO	5.18	22.48	27.67	5	29.05
SEGUNDO PISO					

AULAS	25.55	137.28	162.84	5	170.98
PASILLO CENTRAL SEGUNDO PISO	6.54	57.23	63.78	5	66.96
					879.17

La Figura 5. muestra la variación del consumo eléctrico del edificio de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Comunicaciones para los equipos de aire acondicionado, iluminación general, computadoras y equipos eléctricos en todo el año.

Figura 5. Consumo Energético Modelo 1.



La Tabla 7. Muestra un resumen del consumo energético del edificio de la FIEC en todo el año.

Tabla 7. Consumo Energético Anual Modelo 1.

DESCRIPCIÓN	CONSUMO ENERGÉTICO (kW Anuales)
MODELO 1	1316287.86

El consumo energético del modelo base comparado con los valores obtenidos por la auditoría energética realizada, son diferentes debido a que los horarios y factores de uso de las instalaciones fueron basados en la auditoría. Por lo que para obtener un valor más real se debería realizar una auditoría más extensa de por lo menos un año.

El resultado de los demás modelos se encuentra en anexos 3.

La Tabla 8. Muestra un resumen de la carga térmica de cada modelo.

DESCRIPCIÓN	C.ENERGÉTICO (KW/Anual)	GASTO ANUAL (DOLARES)
CONSUMO REAL	1120736.29	78451.54
MODELO 1	1316287.86	92140.15
MODELO 2	1268387.66	88787.14
MODELO 3	1279593.97	89571.58
MODELO 4	1238326.45	86682.85
MODELO 5	1208983.44	84628.84
MODELO 6	1854449.39	129811.46

Tabla 8. Tabla de Resultados.

La Tabla 9. Muestra un resumen del consumo energético anual y gasto mensual en dólares en cada modelo.

Tabla 9. Consumo Energético Anual y gasto mensual en dólares de cada modelo.

DESCRIPCIÓN	ÁREA LUCERNARIOS (m2)	TIPO DE LUCERNARIO	CARGA TÉRMICA (KW)
MODELO 1	355.08	POLICARBONATO ALVEOLAR INCOLORO	879.17
MODELO 2	355.08	POLICARBONATO ALVEOLAR OPAL	836.10
MODELO 3	284.06	POLICARBONATO ALVEOLAR INCOLORO	858.45
MODELO 4	284.06	POLICARBONATO ALVEOLAR OPAL	824.19
MODELO 5	355.08	DOBLE CAPA DE POLICARBONATO ALVEOLAR (OPAL E INCOLORO) CON 10 cm DE SEPARACIÓN.	806.43
MODELO 6	0	Sin lucernarios	795.67

5. Análisis de Resultados

En el capítulo anterior se presentaron 6 casos de estudio con el objetivo de determinar el consumo energético del edificio de la FIEC. En

este capítulo se realiza un análisis y se comparan los resultados.

Para explicar las ganancias de calor y consumo eléctrico de todos los modelos, se toma como ejemplo la Figura 4. y Figura 5.

La Figura 4. Muestra como el aporte de calor, debido a la radiación solar incidente, a través de las ventanas y lucernarios se incrementa en las horas de la mañana a partir de las 7:00 hrs y alcanza su mayor aporte a la 13:00 hrs. A medida que el sol se va ocultando, el aporte disminuye hasta ser nulo en la noche.

La envolvente del edificio, cubierta y paredes externas, acumulan energía, debido a la incidencia de radiación solar, y también son un aporte de cargas térmicas, tanto, por el día, como, por la noche.

En la gráfica se observa un aumento de energía, en el interior del edificio, desde 20:30 hrs cuando se apagan los equipos. Este es un resultado claro de que las paredes emiten calor en forma de radiación térmica al interior del edificio.

El aporte de cargas térmicas debido a las luminarias es constante a partir de las 7:30 hrs. Se encienden algunas luminarias de las oficinas y aulas hasta las 18:00 hrs pero, principalmente, el incremento notable se tiene cuando se encienden las luces de pasillos, oficinas, baños, etc.

El aporte de calor debido a equipos electrónicos y personas es constante en todo el día comenzado a las 7:30 hrs, a esa hora, llegan las personas a clases o a laborar, y termina a las 20:00 hrs cuando terminan las clases.

La Figura 5. Muestra que los meses de más alto consumo energético en equipos de aire acondicionado son enero, junio, julio, agosto y noviembre debido a que, en esos meses hay asistencia y uso continuo del edificio.

En septiembre y octubre se observa que el consumo eléctrico es menor debido a que en estos meses la universidad se encuentra en vacaciones, por lo que, solo el área de oficinas y pasillos es utilizada.

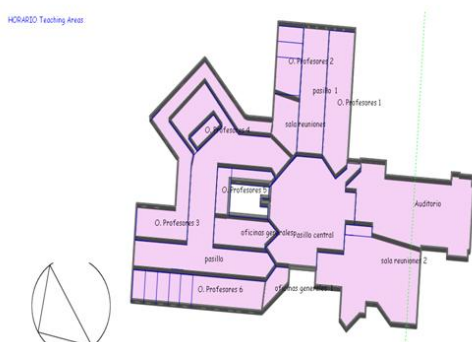
Los meses de febrero marzo, abril y parte de mayo también son de periodo vacacional pero el consumo eléctrico muestra un valor mayor a los meses de septiembre y octubre, debido a que, es más frecuente tener cursos y, por tanto, uso de algunas aulas. Se debe acotar que, estos meses son los más calurosos del año en Ecuador, en la región de la costa, y el consumo de energía dedicada a la climatización aumenta.

El mes de diciembre el consumo eléctrico es un poco menor que los otros meses de clases, debido a la ocupación irregular de los espacios.

Gracias a la auditoría energética y al análisis de cargas térmicas de la FIEC, se determinó que los lucernarios generan cargas térmicas considerables en los lugares en los cuales se encuentran ubicados, en este caso, en los pasillos. Por tanto, se realizó un estudio más detallado de los mismos.

La Figura 6. Muestra la ubicación de cada pasillo.

FIGURA 6. ÁREAS PLANTA BAJA EDIFICIO FIEC



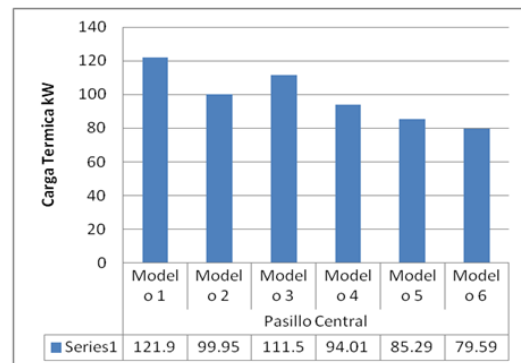
En la Figura 6. Se observa que el área de pasillos está separada en 3:

- Paseo: ubicado en el área noreste. Es el área común entre las oficinas de profesores.
- Paseo 1: ubicado en el área Sureste. Es el área común entre algunas oficinas de profesores y la sala de reuniones.
- Paseo central: Es el área común de las aulas de clases.

En la Figura 7. Se observa la carga térmica para el pasillo central, el modelo 6 es el que tiene menor valor con 79.59 kW. Esto se debe a que este modelo se simuló un cambio de los lucernarios por una losa de 20 centímetros de espesor con transmitancia térmica menor (U-value) que el policarbonato alveolar.

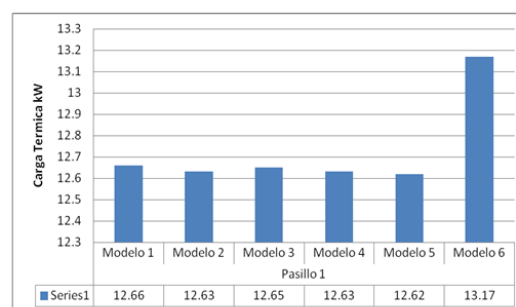
Por lo contrario, el modelo 1 es el de mayor carga térmica con 121.90 kW debido a que el lucernario es de policarbonato alveolar incoloro y permite transferir mayor cantidad de calor por radiación solar directa.

FIGURA 7. COMPARACIÓN DE CARGAS TÉRMICAS DEL PASILLO CENTRAL



En la Figura 8. Se observa las cargas térmicas del Pasillo 1 que se encuentra en el área Sureste del edificio. El modelo 6 es el que tiene el mayor aporte de calor con 13.17 kW; en esta área solo existe un lucernario y su aporte de calor es mínimo con respecto al aumento de calor debido a las cargas térmicas que generan las luminarias. Es decir, en este caso al cerrar todo el lucernario se pierde la posibilidad de tener luz natural y, por tanto, entran a funcionar las luminarias.

FIGURA 8. COMPARACIÓN DE CARGAS TÉRMICAS DEL PASILLO 1

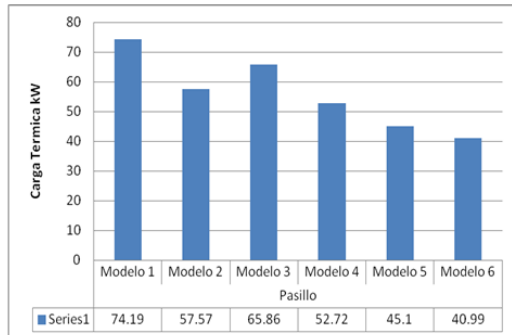


En la Figura 9. Se observan las cargas térmicas del Pasillo ubicado en el área Noreste del edificio que corresponde al área común de las oficinas de los profesores. El modelo 6 es el que tiene menor carga térmica 40.99 kW, debido a que, se cambiaron los lucernarios por una losa de 20 centímetros de espesor que tiene transmitancia térmica menor (U-value) que el policarbonato alveolar.

En el caso opuesto, el modelo 1 es el de mayor carga térmica con 74.19 kW debido a que el

lucernario es de policarbonato alveolar incoloro y permite transferir mayor cantidad de calor por radiación solar directa.

FIGURA 9. COMPARACIÓN DE CARGAS TÉRMICAS DEL PASILLO



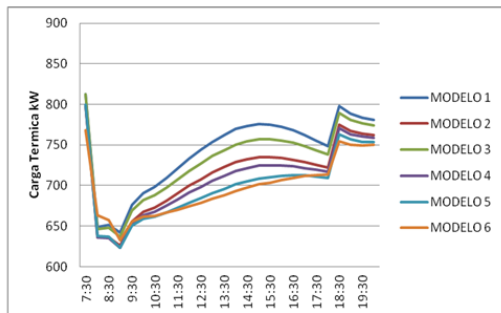
Para hacer un análisis global del edificio se estudiaron las siguientes figuras que muestran cómo cambia el consumo eléctrico y las cargas térmicas en cada modelo.

En la Figura 10. se puede observar el comportamiento de las cargas térmicas en cada modelo o caso estudiado para el edificio.

El modelo 1 es el de mayor carga térmica, debido a que los lucernarios son de policarbonato alveolar incoloro y permite el paso de mayor cantidad de radiación solar directa.

El modelo 6 es el de menor carga térmica aunque es muy similar al modelo 5, esto quiere decir que, al incorporar una cubierta ventilada en el modelo disminuyó la transferencia de calor por radiación solar directa de manera notable.

FIGURA 10. COMPARACIÓN DE CARGA TÉRMICA DE CADA MODELO



La Figura 11. y 12 muestra que el consumo real medido con un amperímetro en el transformador del edificio de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, es menor que el estimado en la simulación base o modelo 1.

Lo anterior se relaciona al hecho de que la auditoría energética se realizó durante dos semanas y, en ese periodo de tiempo, los hábitos de consumo no fueron los que representan los que representan a los de consumo promedio, es decir hubo una ocupación más baja de la habitual.

Se realizó una segunda auditoría, se determinó que el funcionamiento de los equipos varía constantemente y que existen ciertas salas que tiene un uso menor al que se había estimado.

Se observa que en el caso del modelo 6 no se reduce considerablemente el consumo de energía como se estimaba. Esto se debe a que se disminuyen las cargas térmicas por la incidencia de radiación solar, a través del lucernario, pero el consumo de energía aumenta gracias a la implementación de luminarias para suplir la falta de iluminación natural.

FIGURA 11. COMPARACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO

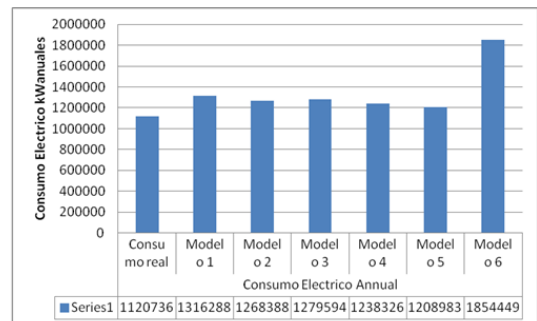
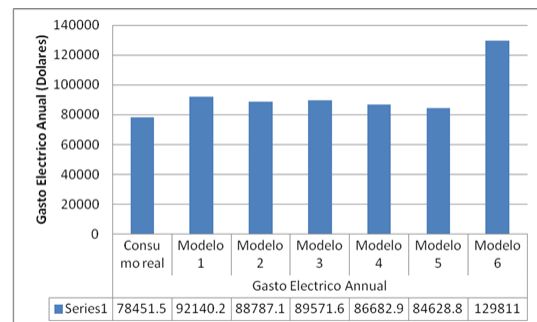


FIGURA 12. COMPARACIÓN DE GASTO ELÉCTRICO.



También se realizó un análisis de costo/beneficio de la implementación de las soluciones propuestas en cada modelo.

TABLA 10. COSTO DE CONSTRUCCIÓN DE CADA MODELO

Modelo 2	\$20675.2
Modelo 3	\$6533.84
Modelo 4	\$23860.66
Modelo 5	\$21304.8
Modelo 6	\$32665.52

El rubro del modelo 2 incluye el desmontaje, instalación del nuevo policarbonato.

El valor del modelo 3 incluye la disminución del área de lucernarios por una losa de 20 centímetros impermeabilizada.

El valor del modelo 4 incluye el desmontaje, instalación del nuevo policarbonato mas la disminución del área de lucernarios por una losa de 20 centímetros impermeabilizada.

El valor del modelo 5 incluye la base e instalación de una capa de policarbonato alveolar opal a 20 centímetros de la que ya se encuentra instalada.

El valor del modelo 6 incluye el cambio total del área de lucernarios por una losa de 20 centímetros impermeabilizada.

6. Conclusiones

La herramienta de simulación energética para edificios (EnergyPlus) brinda mucha versatilidad dentro del grupo de programas analizados.

Los resultados presentados por la simulación y la auditoría energética denotan que los lucernarios que se encuentran en el área de pasillos transfieren una cantidad considerable de calor por radiación solar directa, provocando que los equipos de aire acondicionado trabajen ineficientemente.

El sistema de aire acondicionado instalado necesita ser redimensionado. Los resultados de los casos analizados así lo demuestran. La menor carga térmica es la del modelo 6, 79.59

kW, y la potencia instala del equipo es de 70.33 kW.

Para solucionar la problemática del confort térmico en el pasillo central se plantea un rediseño y redimensionamiento del sistema de climatización (APÉNDICE A-12).

Se considera implementar el modelo 5 por las siguientes razones:

-Es el de menor consumo eléctrico (1208983 kWAnuales).

-Es el segundo de menor carga térmica en el área de pasillos (143.01 kW).

-Es el tercer mejor modelo referente al costo de construcción del proyecto (21304.8 Dólares Americanos).

-Aunque el modelo 6 genera menor carga térmica (133.75 kW), por el contrario, tiene alto consumo eléctrico anual (1854449 kWAnual) debido a que las luces del pasillo se deben encender durante el día para suplir la falta de iluminación natural.

-Otra ventaja del modelo 5 sobre el 6 es que el alto costo de construcción del proyecto (32665.52 Dólares Americanos) de este último.

-Con respecto a los modelos de menor costo de implementación, el modelo 5 recuperará la inversión a mediano plazo con el ahorro por reducción del consumo energético.

-La implementación de una cámara ventilada, reduce la transferencia de calor notablemente y sería una buena alternativa para los diseñadores que prefieren las fachadas de vidrios en edificios.

Si se desea realizar un diseño de un edificio de mayor tamaño que necesite un análisis más detallado por áreas, se recomienda utilizar otro programa simular debido a que este no lo permite.

Para diseños de edificios con lucernarios no se recomienda utilizar vidrios o policarbonatos claros, sino con alguna película o cámara ventilada que disminuya la transferencia de calor por radiación solar directa.

9. Referencias

1. **Barilla, Arquitecto. Hendrick.** *Especificaciones Técnicas para la construcción del Edificio de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación.*
2. **ASHRAE.** Standard 55- Thermal Environmental Conditions for human

Ocupancy. [aut. libro] ASHRAE Inc. Atlanta : s.n.

3. **DAPALON. PALPLASTIC.** [En línea] http://www.palplastic.es/datos/Documentos/Documentos_de_Productos/Danpalon/-%20MANUAL%20DANPALON%20FACHADA.pdf.

4. **Sector, Energy Consumption Estimates by.** U.S Energy Information Administration. [En línea] 2011. www.eia.doe.gov/aer.

5. **Plan maestro de electrificación 2011-2012. Renovable, Ministerio de Electricidad y Energía.**

6. Datos proporcionados por la biblioteca Design Builder, basados en Manual de Carrier.

7. **Rodríguez Sanchez, Vinas Arrebola, Tendo Caballero.** *Simulación Dinámica y Térmica de una habitación de acuerdo con el Código Técnico de la Edificación.*

8. **Chile, Análisis de comportamiento térmico de edificios de oficina en comunas de la región metropolitana de.** Alan Pino Araya, Waldo Bustamante, Rodrigo Escobar.

9. **Drury B. Crawley, Jon W. Hand, Michael Kummert.** Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. [En línea] 2005. http://strathprints.strath.ac.uk/6555/1/strathprint_s006555.pdf.

10. **Asociación Técnica Española de climatización y Refrigeración.** Guía técnica de procedimientos y aspectos de las simulación de instalaciones térmicas en edificios.

11. **Campos, Germán.** Artículo Herramientas para prever el comportamiento energético de edificios.

12. **Milne, Profesor Murray.** Diseño Urbano y arquitectura.

13. **Gower, Joaquín Elías Reyes.** Contraste de las capacidades de diferentes programas de

modelamiento térmico, a partir de la modelación del edificio ubicado en Blanco Encalada. Chile : s.n.

14. **NEW CAPABILITIES IN A WHOLE-BUILDING ENERGY SIMULATION PROGRAM.** Drury B.Crawley, US Department of Energy:Linda K. Lawrie, US Army Construction Engineering Research Laboratory.

15. **ASHRAE.** *Fundamentals Handbook, chapter 19, Energy Estimating Methods.* 2009.

16. **Clima tiempo (Clima de Guayaquil).** [En línea] <http://clima.tiempo.com/clima-en-guayaquil+aeropuerto-842030.html>.

17. **Hidrología, Instituto Nacional de Meteorología e.** *Datos mensuales climáticos de la ciudad de Guayaquil.*

18. **ASHRAE.** *Educational Facilities ASHRAE Handbook Fundamentals.*

19. **ASHRAE-2007.** *Commercial and Public buildings Handbook-Fundamentals.*

20. **República, Facultad de Arquitectura Universidad de la.** Farq. [En línea] 2010. [http://www.farq.edu.uy/joomla/images/stories/termico/Cap1_confort%20Termico\(1\).pdf](http://www.farq.edu.uy/joomla/images/stories/termico/Cap1_confort%20Termico(1).pdf).

21. **Leandro G. Heine, Guillermo D. Marshall.** Doble Fachada en edificios: Conceptos y aplicación para Argentina. <http://www.estudiommarshall.com/resources/Doble+Fachada+en+Edificios+-+Conceptos+y+aplicaci%C3%B3n+para+Argentina.pdf>. [En línea].

Anexo 1

Tabla A-1. Calificación de Programas.

	Balance de calor	Absorción de Humedad	Envolvente del Edificio y Luz Natural	Iluminación interior	Temperatura de las superficies	Facilidad de adquisición	Infiltración, Ventilación, Movimiento de	Sistemas HVAC	Datos climatológicos	Generación de reportes
ENERGYPLUS®	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bsim®	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
IDA-ICE®	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1
EQUEST®	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1
ESP-r®	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1
SUNREL®	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1
ECOTECT®	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1
HAP®	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1
HEED®	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
TRNSYS®	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1

Anexo 2

Tabla A-2. Ganancia de Calor por persona de acuerdo al tipo de actividad.

Fuente UNE-EN ISO 7730 (20).

ACTIVIDAD	Met	W/m2
Sentado y en reposo	1	58.2

Tabla A-3. Aislamiento baso en Fuente UNE-EN ISO 7730 según tipo de ropa (20).

Tipo de ropa	Aislamiento (clo.)
Ropa Ligera (ropa de verano)	0.5 clo.

Tabla A-4 ESPECIFICACIÓN DE LAS PAREDES, basados en Especificaciones del constructor (1).

TIPO DE PARED	DESCRIPCIÓN
EXTERNA	2.5 Centímetros de enlucido interno y externo, bloque de 15 centímetros
INTERNA	3 centímetros de enlucido interno y externo, bloque de 9 centímetros.
LOSA CON TUMBADO	Enlucido exterior 2.5 cm, bloque de 19 cm, enlucido interior 2.5 cm, espacio de aire de 30 cm y gypsum de 1 cm.

Tabla A-5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS PAREDES, según biblioteca de Design Builder (6).

DESCRIPCIÓN	U-value (w/m2K)
Paredes Externas	2.046
Paredes internas	2.043
Losa con tumbado	1.278

Tabla A-6. Datos Seleccionados para la simulación.

DESCRIPCIÓN	AREA (m2)	LUZ (W/m2)	DENSIDAD (PERSONA/m2)	VENTILACIÓN (L/S POR PERSONA)	EQUIPOS DE OFICINA(W/m2)
AUDITORIO	342.86	10	1.5	2.7	3
OFICINA DE PROFESORES	1082.31	20	0.11	8.5	34
SALA DE REUNIONES	303.94	20	0.50	8.5	50

AULAS	748.65	20	0.35	6.7	60
PASILLOS	2915.39	12	0.07	4	0
OFICINAS GENERALES	215.35	20	0.15	8.5	34

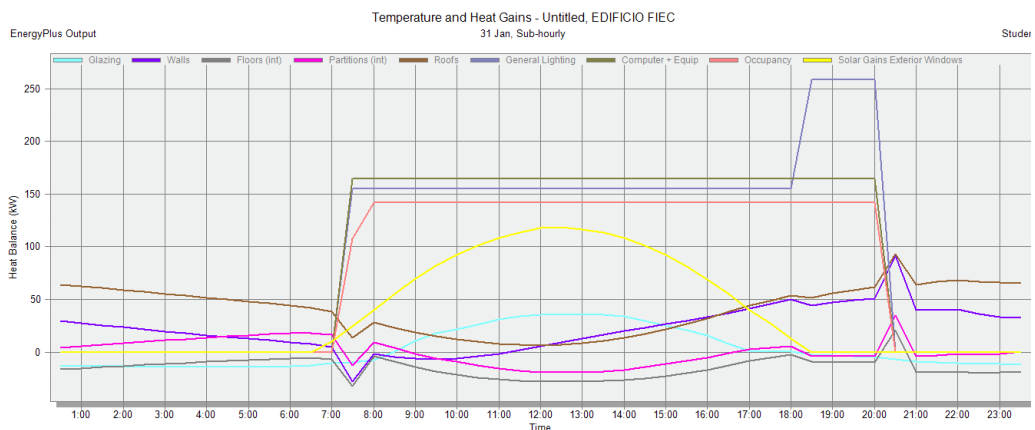
Anexo 3

MODELO 2

En el modelo 2, se procede a realizar la simulación haciendo un cambio en las características de los lucernarios, ya que, se los cambió por lucernarios incoloros a lucernarios color Opal.

En la Figura A-1. muestran las ganancias térmicas que tiene la edificación como son: las ganancias que ingresan por las paredes , por las ventanas, lucernarios de policarbonato alveolar Opal , techo, iluminación ,computadoras y equipos eléctricos , calor generado por las personas que laboran dentro del edificio.

Figura A-1. Ganancias Caloríficas Modelo 2.



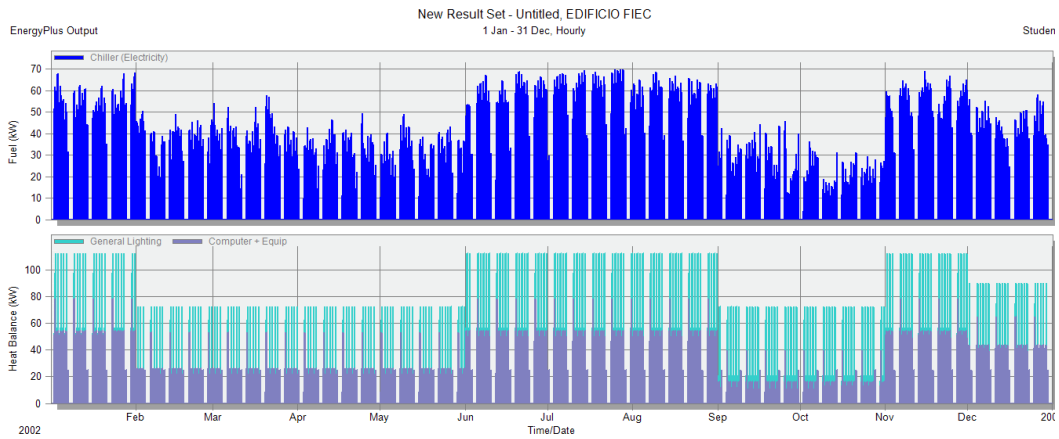
La Tabla A-7. Muestra un resumen del cálculo de carga térmica en kW que tiene el edificio en el día más caluroso del año.

Tabla A-7. Análisis de Carga Térmica del Edificio.

MODELO 2	CALOR LATENTE (kW)	CALOR SENSIBLE (kW)	CARGA TOTAL (kW)	F.S (%)	CARGA TOTAL DE ENFRIAMIENTO (kW)
PLANTA BAJA					
O. PROFESORES 1	4.29	20.05	24.34	5	25.55
O. PROFESORES 2	2.19	10.35	12.53	5	13.16
O. PROFESORES 3	6.49	34.19	40.69	5	42.72
O. PROFESORES 4	0.62	2.96	3.58	5	3.76
O. PROFESORES 5	1.44	6.91	8.36	5	8.78
O. PROFESORES 6	5.22	25.20	30.42	5	31.94
SALA REUNIONES	3.20	9.77	12.97	5	13.62
SALA REUNIONES 2	16.29	56.50	72.80	5	76.44
PASILLO CENTRAL	8.40	15.74	24.14	5	25.35
PASILLO	11.86	42.96	54.83	5	57.57
PASILLO 1	3.71	8.33	12.03	5	12.63
OFICINAS GENERALES	2.30	9.14	11.44	5	12.01
OFICINAS GENERALES 1	0.90	4.17	5.07	5	5.32
AUDITORIO	39.09	68.28	107.37	5	112.74
PRIMER PISO					
AULAS	25.30	117.77	143.08	5	150.23
PASILLO CENTRAL PRIMER PISO	5.35	18.35	23.71	5	24.89
SEGUNDO PISO					
AULAS	25.55	136.05	161.60	5	169.68
PASILLO CENTRAL SEGUNDO PISO	6.43	40.91	47.34	5	49.71
					836.10

La Figura A-2 Muestra como es el crecimiento en el consumo eléctrico del edificio de la FIEC de los equipos de aire acondicionado, iluminación general, computadoras y equipos eléctricos en todo el año.

Figura A-2. Consumo Energético Modelo 2.



La Tabla A-8. Muestra un resumen del consumo energético del edificio de la FIEC de todo el año.

Tabla A-8. Consumo Energético Anual Modelo 2.

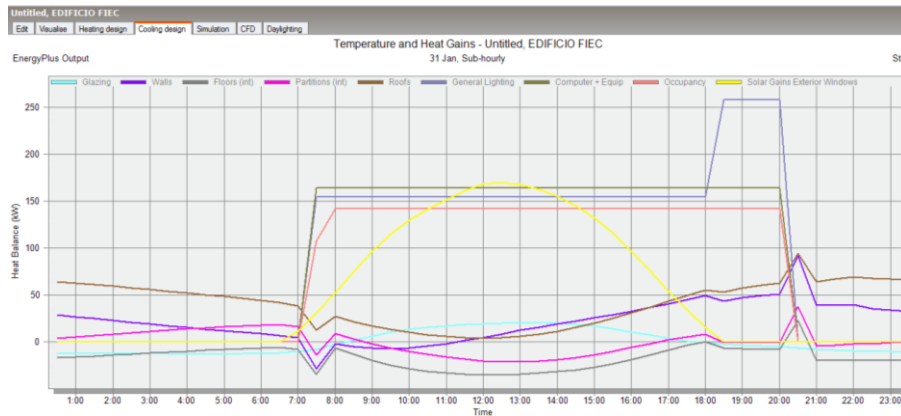
DESCRIPCIÓN	CONSUMO ENERGÉTICO (Kw Anuales)
MODELO 2	1234121.38

MODELO 3

En el modelo 3, se procede a realizar la simulación disminuyendo el área de los lucernarios un 20% y utilizando policarbonato alveolar incoloro.

En la Figura A-3. Muestra las ganancias térmicas que tiene la edificación como son: las ganancias que ingresan por las paredes, por las ventanas, lucernarios de policarbonato alveolar incoloro, techo, iluminación, computadoras y equipos eléctricos, calor generado por las personas que laboran dentro del edificio.

Figura A-3. Ganancias Caloríficas Modelo 3.



La Tabla A-9. Muestra un resumen del cálculo de carga térmica en kW que tiene el edificio en el día más caluroso del año.

Tabla A-9. Análisis de Carga Térmica del Edificio Modelo 3.

MODELO 3	CALOR LATENTE (kW)	CALOR SENSIBLE (kW)	CARGA TOTAL (kW)	F.S (%)	CARGA TOTAL DE ENFRIAMIENTO (kW)
PLANTA BAJA					
O. PROFESORES 1	4.29	20.07	24.36	5	25.57
O. PROFESORES 2	2.19	10.35	12.54	5	13.16
O. PROFESORES 3	6.50	34.61	41.11	5	43.16
O. PROFESORES 4	0.62	3.07	3.70	5	3.88
O. PROFESORES 5	1.45	7.05	8.50	5	8.92
O. PROFESORES 6	5.23	25.39	30.62	5	32.15
SALA REUNIONES	3.20	9.81	13.02	5	13.67
SALA REUNIONES 2	16.29	56.53	72.82	5	76.46
PASILLO CENTRAL	8.42	16.03	24.44	5	25.66
PASILLO	11.84	50.89	62.73	5	65.86
PASILLO 1	3.71	8.34	12.05	5	12.65
OFICINAS GENERALES	2.31	9.25	11.56	5	12.14
OFICINAS GENERALES 1	0.90	4.20	5.10	5	5.35
AUDITORIO	39.09	68.30	107.39	5	112.76
PRIMER PISO					
AULAS	25.31	118.30	143.61	5	150.79
PASILLO CENTRAL PRIMER PISO	5.14	20.57	25.71	5	27.00
SEGUNDO PISO					

AULAS	25.55	136.76	162.31	5	170.43
PASILLO CENTRAL SEGUNDO PISO	6.50	49.54	56.04	5	58.84
					858.45

La Figura A-4. Muestra la variación del consumo eléctrico del edificio de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Comunicaciones para los equipos de aire acondicionado, iluminación general, computadoras y equipos eléctricos en todo el año.

Figura A-4. Consumo Energético Modelo 3.

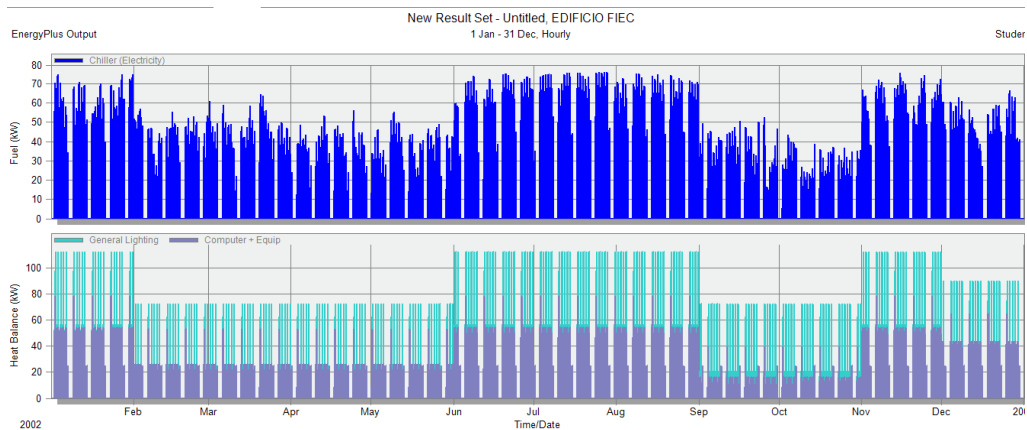


Tabla A-10. Muestra un resumen del consumo energético del edificio de la FIEC en todo el año.

Tabla A-10. Consumo Energético Anual Modelo 3.

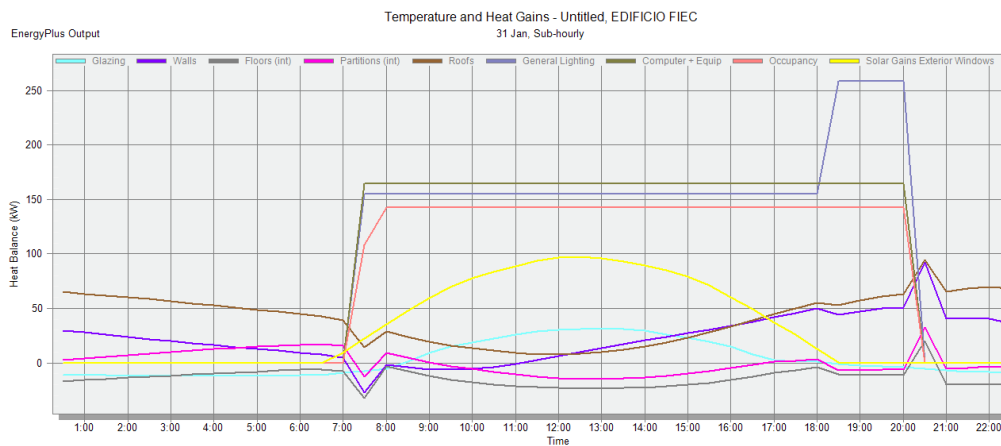
DESCRIPCIÓN	CONSUMO ENERGÉTICO (kW Anuales)
MODELO 3	1279593.97

MODELO 4

En el modelo 4, se procede a realizar la simulación combinando el modelo 2 y 3. El área de lucernarios con un 20% menos y se supone que se instala policarbonato alveolar tipo Opal.

En la Figura A-5. Muestra las ganancias térmicas que tiene la edificación como son: las ganancias que ingresan por las paredes, por las ventanas, lucernarios de policarbonato alveolar opal, techo, iluminación, computadoras y equipos eléctricos, calor generado por las personas que laboran dentro del edificio.

Figura A-5. Ganancias Caloríficas Modelo 4.



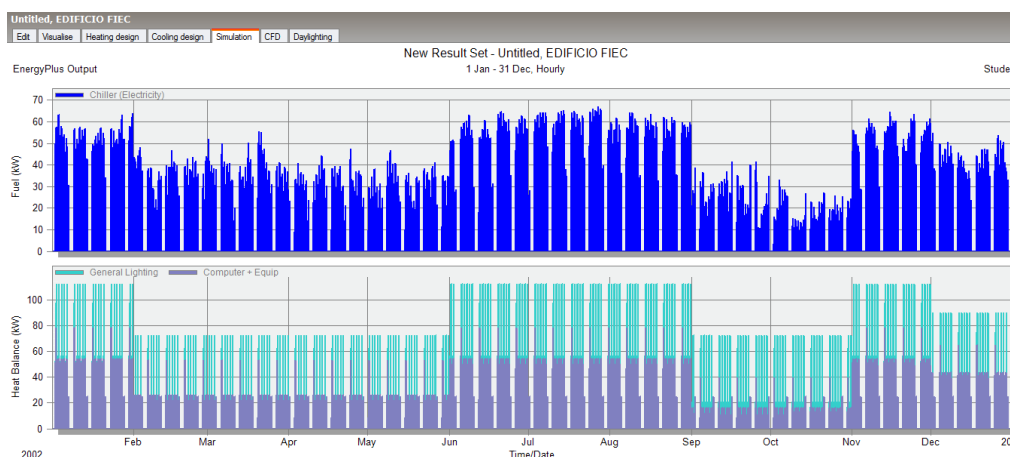
La Tabla A-11. Muestra un resumen del cálculo de carga térmica en kW que tiene el edificio en el día más caluroso del año.

Tabla A-11. Análisis de carga Térmica del Edificio Modelo 4.

MODELO 4	CALOR LATENTE (kW)	CALOR SENSIBLE (kW)	CARGA TOTAL (kW)	F.S (%)	CARGA TOTAL DE ENFRIAMIENTO (kW)
PLANTA BAJA					
O. PROFESORES 1	4.29	20.04	24.33	5	25.55
O. PROFESORES 2	2.19	10.35	12.53	5	13.16
O. PROFESORES 3	6.49	33.97	40.46	5	42.48
O. PROFESORES 4	0.62	2.90	3.51	5	3.69
O. PROFESORES 5	1.44	6.84	8.28	5	8.70
O. PROFESORES 6	5.22	25.10	30.32	5	31.83
SALA REUNIONES	3.20	9.75	12.95	5	13.60
SALA REUNIONES 2	16.29	56.50	72.79	5	76.43
PASILLO CENTRAL	8.39	15.63	24.02	5	25.22
PASILLO	11.70	38.50	50.21	5	52.72
PASILLO 1	3.71	8.32	12.03	5	12.63
OFICINAS GENERALES	2.30	9.08	11.38	5	11.96
OFICINAS GENERALES 1	0.90	4.16	5.06	5	5.31
AUDITORIO	39.09	68.27	107.36	5	112.73
PRIMER PISO					
AULAS	25.30	117.60	142.91	5	150.05
PASILLO CENTRAL PRIMER PISO	5.36	17.47	22.83	5	23.97
SEGUNDO PISO					
AULAS	25.55	135.74	161.28	5	169.35
PASILLO CENTRAL SEGUNDO PISO	6.38	36.30	42.68	5	44.82
					824.19

La Figura A-6. Muestra la variación del consumo eléctrico del edificio de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Comunicaciones para los equipos de aire acondicionado, iluminación general, computadoras y equipos eléctricos en todo el año.

Figura A-6. Consumo Energético Modelo 4.



La Tabla A-12. Muestra un resumen del consumo energético del edificio de la FIEC en todo el año.

Tabla A-12. Consumo Energético Anual Modelo 4.

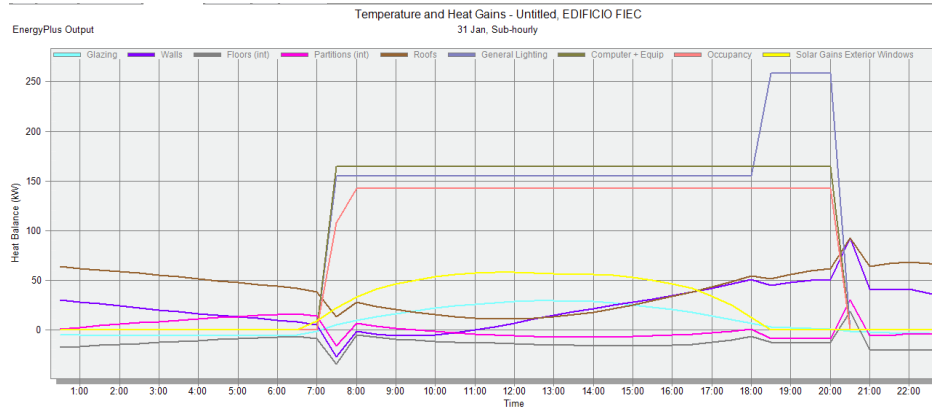
DESCRIPCIÓN	CONSUMO ENERGÉTICO (Kw Anual)
MODELO 4	1217671.01

MODELO 5

En el modelo 5, se simulará como si el edificio con cubierta ventilada de policarbonato alveolar separadas una de la otra por 10 cm, la primera cubierta tendrá una cubierta de policarbonato color Opal y la segunda cubierta será de policarbonato alveolar incoloro.

En la Figura A-7. Muestra las ganancias térmicas que tiene la edificación como son: las ganancias que ingresan por las paredes, por las ventanas, lucernarios de policarbonato alveolar, techo, iluminación, computadoras y equipos eléctricos, calor generado por las personas que laboran dentro del edificio.

Figura A-7. Ganancias Caloríficas Modelo 5.



La Tabla A-13. Muestra un resumen del cálculo de carga térmica en kW que tiene el edificio en el día más caluroso del año.

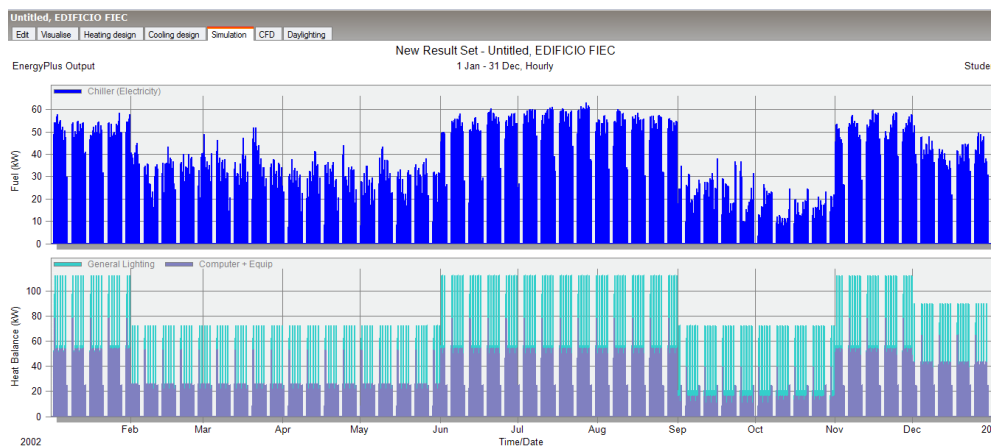
Tabla A-13. Análisis de Carga Térmica del Edificio Modelo 5.

MODELO 1	CALOR LATENTE (kW)	CALOR SENSIBLE (kW)	CARGA TOTAL (kW)	F.S (%)	CARGA TOTAL DE ENFRIAMIENTO (kW)
PLANTA BAJA					
O. PROFESORES 1	4.29	20.03	24.32	5	25.54
O. PROFESORES 2	2.19	10.35	12.53	5	13.16
O. PROFESORES 3	6.49	33.68	40.17	5	42.18
O. PROFESORES 4	0.62	2.82	3.44	5	3.61
O. PROFESORES 5	1.44	6.75	8.19	5	8.60
O. PROFESORES 6	5.22	24.97	30.19	5	31.70
SALA REUNIONES	3.20	9.72	12.92	5	13.57
SALA REUNIONES 2	16.29	56.49	72.78	5	76.42
PASILLO CENTRAL	8.38	15.48	23.86	5	25.05
PASILLO	11.23	31.72	42.95	5	45.10
PASILLO 1	3.71	8.31	12.02	5	12.62
OFICINAS GENERALES	2.30	9.00	11.30	5	11.87
OFICINAS GENERALES 1	0.90	4.14	5.04	5	5.29
AUDITORIO	39.09	68.27	107.35	5	112.72
PRIMER PISO					
AULAS	25.30	117.32	142.62	5	149.75

PASILLO CENTRAL PRIMER PISO	5.38	16.38	21.76	5	22.85
SEGUNDO PISO					
AULAS	25.55	135.41	160.96	5	169.01
PASILLO CENTRAL SEGUNDO PISO	6.21	29.40	35.61	5	37.39
					806.43

La Figura A-8. Muestra la variación del consumo eléctrico del edificio de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Comunicaciones para los equipos de aire acondicionado, iluminación general, computadoras y equipos eléctricos en todo el año.

Figura A-8. Consumo Energético Modelo 5.



La Tabla A-14. Muestra un resumen del consumo energético del edificio de la FIEC en todo el año.

Tabla A-14. Consumo Energético Anual Modelo 5.

DESCRIPCIÓN	CONSUMO ENERGÉTICO (Kw Anual)
MODELO 5	1197316.70

MODELO 6

En el modelo 6, procedemos a simular el edificio como sin ningún lucernario en la cubierta, pero tomando en cuenta que los horarios de encendido de las luces en pasillos serán los siguientes:

Lunes a Viernes

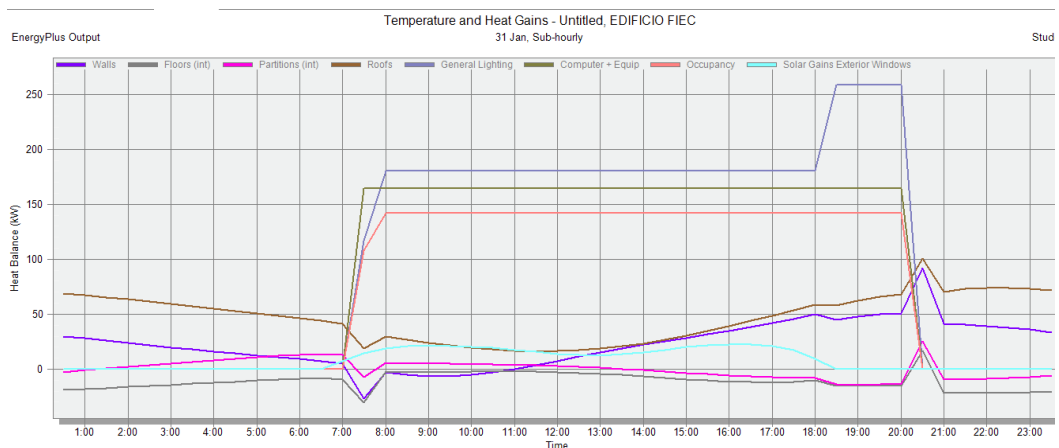
De 7:30 hrs a 8:00 hrs.

Sábados

De 9:00 hrs a 1:00 hrs.

En la Figura A-9. Muestra las ganancias térmicas que tiene la edificación como son: las ganancias que ingresan por las paredes, por las ventanas, techo, iluminación, computadoras y equipos eléctricos, calor generado por las personas que laboran dentro del edificio.

Figura A-9. Ganancias Caloríficas Modelo 6.



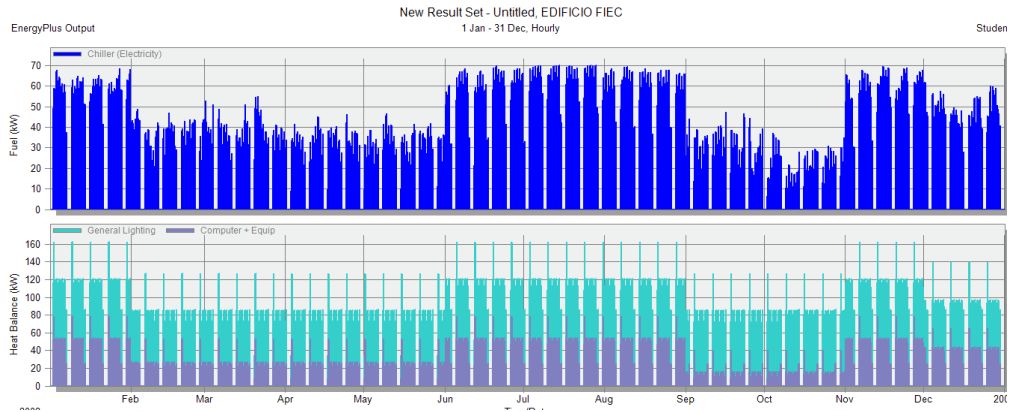
La Tabla A-15. Muestra un resumen del cálculo de carga térmica en kW que tiene el edificio en el día más caluroso del año.

Tabla A-15. Análisis de Carga Térmica del Edificio Modelo 6.

MODELO 6	CALOR LATENTE (kW)	CALOR SENSIBLE (kW)	CARGA TOTAL (kW)	F.S (%)	CARGA TOTAL DE ENFRIAMIENTO (kW)
PLANTA BAJA					
O. PROFESORES 1	4.29	20.12	24.42	5	25.64
O. PROFESORES 2	2.19	10.39	12.57	5	13.20
O. PROFESORES 3	6.48	33.26	39.74	5	41.73
O. PROFESORES 4	0.62	2.70	3.32	5	3.48
O. PROFESORES 5	1.44	6.62	8.06	5	8.46
O. PROFESORES 6	5.22	24.77	29.99	5	31.49
SALA REUNIONES	3.20	9.71	12.91	5	13.56
SALA REUNIONES 2	16.30	56.54	72.83	5	76.47
PASILLO CENTRAL	7.66	17.57	25.23	5	26.50
PASILLO	11.00	28.04	39.04	5	40.99
PASILLO 1	3.39	9.15	12.55	5	13.17
OFICINAS GENERALES	2.30	8.92	11.22	5	11.78
OFICINAS GENERALES 1	0.90	4.13	5.03	5	5.28
AUDITORIO	39.09	68.3	107.40	5	112.77
PRIMER PISO					
AULAS	25.30	117.40	142.69	5	149.83
PASILLO CENTRAL PRIMER PISO	4.98	15.82	20.80	5	21.84
SEGUNDO PISO					
AULAS	25.55	134.68	160.22	5	168.23
PASILLO CENTRAL SEGUNDO PISO	7.63	22.13	29.77	5	31.25
					824.19

La Figura A-10. Muestra la variación del consumo eléctrico del edificio de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Comunicaciones para los equipos de aire acondicionado, iluminación general, computadoras y equipos eléctricos en todo el año.

Figura A-10. Consumo Energético Modelo 6.



La Tabla A-16. Muestra un resumen del consumo energético del edificio de la FIEC en todo el año.

Tabla A-16. Consumo Energético Anual Modelo 6.

DESCRIPCIÓN	CONSUMO ENERGÉTICO (kW Anuales)
MODELO 6	1854449.39