



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Estudio y Simulación Energética del Edificio de la FIEC con
Energy Plus”

TESINA DE SEMINARIO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Richard Manuel Briceño Maldonado

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2013

AGRADECIMIENTO

Al Ph.D. Paulo Peña Toro
por darme la oportunidad de
desarrollar este tema, por su
guía y dedicación a lo largo
de esta tesina.

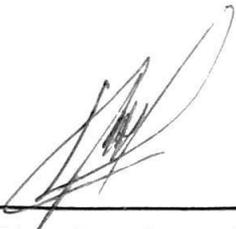
Richard Briceño.

DEDICATORIA

A MIS PADRES Y
HERMANAS, ellas son
quienes me han motivado a
llegar hasta acá, esto es
para ellos.

Richard Briceño M.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Dr. Kléber Barcia V., Ph.D
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Dr. Paulo Peña T., Ph.D
DIRECTOR



Ing. Jorge Duque R.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesina de Graduación, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Richard Manuel Briceño Maldonado

RESUMEN

En este documento se presenta el estudio energético y análisis de cargas térmicas del edificio de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC).

El principal objetivo es realizar recomendaciones para disminuir la demanda de energía eléctrica debido a la excesiva carga térmica generada por los lucernarios de policarbonato alveolar que incrementan la temperatura, en el interior de los pasillos del edificio, provocando que los equipos de aire acondicionado instalados no logren climatizar aún trabajando a la máxima potencia.

Se analizaron varias herramientas informáticas, para realizar simulaciones energéticas, que se encuentran en el mercado y, mediante matriz de decisión, se escogió a la denominada Energy Plus.

Se realizaron seis comparaciones a través de simulaciones de modelos diferentes, o casos, donde las especificaciones técnicas de construcción (1) y las características de uso del edificio (2) son iguales en todos los modelos. Las variaciones hacen referencia a las características de los lucernarios (3),

su tamaño o color, para contar con varias alternativas cuando se realiza la comparación de los valores de consumo energético, carga térmica y costo.

El modelo sexto es el que genera menor carga térmica por radiación solar directa a través de los lucernarios pero, a la vez, genera mayor consumo de energía debido al aumento por iluminación.

Se eligió el modelo quinto, el cual, implica incorporar a los lucernarios dos capas de policarbonato alveolar de opal e incoloro separadas a 10 centímetros, ya que, es el segundo modelo que muestra valores con menor carga térmica y menor consumo energético aunque, es el tercero en lo que a costos de implementación significa.

Para éste modelo se estima que gracias al ahorro energético, debido al consumo de energía eléctrica, la inversión se recuperará a mediano plazo.

El estudio pone de manifiesto que hay que redimensionar los equipos de climatización, rediseñar su distribución y, para el modelo 5 que es el más favorable, se estima que se deberá aumentar la potencia con un equipo de 17.58 kW en el área de pasillo central.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS	VII
SIMBOLOGÍA	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE PLANOS.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. INFORMACIÓN GENERAL	4
1.1. Objetivos	4
1.1.1 Objetivo General.....	4
1.1.2 Objetivos Específicos.....	4
1.2. Alcance	5
CAPÍTULO 2	
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS PROGRAMAS DE SIMULACIÓN.....	9
2.1. Definición de Simulación	9
2.2. Programas de simulación térmica.....	11

2.3. Características de los programas de simulación.....	12
2.4. Selección de programa de simulación	32

CAPÍTULO 3

3. PRESENTACIÓN DEL PROGRAMA DE SIMULACIÓN ENERGY PLUS	35
3.1. Descripción general del programa	35
3.2. Características del programa	37
3.3. Modelos físicos utilizados en el programa.....	40

CAPÍTULO 4

4. DESCRIPCIÓN DEL CASO A ESTUDIAR.....	53
4.1. Localización y clima.....	53
4.2. Forma del edificio	56
4.3. Uso del edificio.....	57

CAPÍTULO 5

5. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL MODELO EN EL PROGRAMA EN EL SOFTWARE.....	35
5.1. Elaboración del modelo	69
5.2. Estudios de simulación	78

5.3 Resultados de la simulación.....	84
--------------------------------------	----

CAPÍTULO 6

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	120
--------------------------------	-----

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	132
---	-----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

ASHRAE:	Sociedad Americana de Ingenieros En Calefacción Refrigeración y Aire Acondicionado.
ASTM:	Sociedad Americana de Pruebas de Materiales.
Btu:	Unidad Térmica Inglesa.
CAD:	Diseño Asistido por ordenador.
CFD:	Dinámica de Fluidos Computacionales.
CTE:	Código Técnico de Edificaciones.
ESRU:	Unidad de Investigación de Sistemas de Energía.
FIEC:	Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación.
hrs:	Horas.
HVAC:	Calefacción, Ventilación y Aire acondicionado.
ppm:	Partes por millón.
R.H:	Humedad Relativa.
SHGC:	Coeficiente de Ganancias de Calor Solar.

SIMBOLOGÍA

A:	Área.
A_z :	Dirección cardinal en la que apunta la normal a la superficie receptora.
C_p :	Calor Específico del Aire.
Clo:	Aislamiento Térmico necesario para mantener a una persona a temperatura estable y cómoda a la piel durante 8 horas cuando una persona está en reposo a una temperatura de 20°C, con una humedad relativa del 50% y sin influencia de la radiación sola.
e:	Emisividad de Stefan-Boltzman.
f_{1-2} :	Factor de forma entre 2 cuerpos.
h:	Hora.
h_{suelo} :	Coefficiente Convectivo.
K:	Coefficiente conductivo del elemento.
kWh:	Es la unidad de energía expresada en forma de unidades de potencia por tiempo.
L/s:	Litros por segundo.
m:	Metros.
\dot{m} :	Flujo Másico de Aire.
Met:	Es la unidad de medida del índice metabólico. Cantidad de calor emitido por una persona sentada por metro cuadrado de piel.
Pa:	Unidad de Presión del Sistema Internacional. Se define como la presión que ejerce una fuerza de 1 newton sobre una superficie de un 1 metro cuadrado normal a la misma.
Q:	Energía en forma de calor.
R_{eq} :	Resistencia equivalente del sistema.
T:	Temperatura.
U:	Coefficiente de transmisión de Calor.
W:	Vatios.
σ :	Constante de Stefan-Boltzman.

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 3.1. EnergyPlus estructura simplificada.....	40
Figura 4.1. Ábaco psicométrico donde se representa la zona de confort de ASHRAE (rayado en gris) y la temperatura efectiva (líneas punteadas), Fuente Universidad de Kansas.....	56
Figura 4.2. Fachada Principal Edificio FIEC.....	56
Figura 4.3. Vista Lateral Edificio FIEC.....	56
Figura 4.4. Vista del Edificio de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación en el programa Design Builder.....	56
Figura 5.1. Ganancias Caloríficas Modelo.....	85
Figura 5.2. Consumo Energético Modelo 1.....	88
Figura 5.3. Ganancias Caloríficas Modelo 2.....	91
Figura 5.4. Consumo Energético Modelo 2.....	93
Figura 5.5. Ganancias Caloríficas Modelo 3.....	96
Figura 5.6. Consumo Energético Modelo 3.....	99
Figura 5.7. Ganancias Caloríficas Modelo 4.....	102
Figura 5.8. Consumo Energético Modelo 4.....	105
Figura 5.9. Ganancias Caloríficas Modelo 5.....	107
Figura 5.10. Consumo Energético Modelo 5.....	110
Figura 5.11. Ganancias Caloríficas Modelo 6.....	113
Figura 5.12. Consumo Energético Modelo 6.....	116
Figura 6.1. Áreas Planta baja Edificio FIEC.....	123
Figura 6.2. Comparación de Cargas Térmicas del Pasillo Central.....	124
Figura 6.3. Comparación de Cargas Térmicas del Pasillo 1.....	123
Figura 6.4. Comparación de Cargas Térmicas del Pasillo.....	124
Figura 6.5. Comparación de Carga Térmica de cada modelo.....	125
Figura 6.6. Comparación del Consumo Eléctrico.....	129
Figura 6.7. Comparación de Gasto Eléctrico.....	130
Figura 6.8. Costo de Construcción de cada modelo.....	130

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Calificación de Programas.....	34
Tabla 2	Datos Climáticos de la Ciudad de Guayaquil, Basado en la página Web clima-Tiempo (16).	55
Tabla 3	Densidad en Aulas, Basado en Ansi/Ashrae Standard 62.1-2004, Tablas 6-1 y 6-4 (18).....	59
Tabla 4	Horarios de Atención de Oficinas y Unidades Educativas, basado en ASHRAE "Commercial and Public Buildings" (19).....	60
Tabla 5	Densidad en Oficinas, basado en ASHRAE "Commercial and Public Buildings" (19).....	61
Tabla 6	Cargas de Iluminación y otros Equipos Eléctricos Basados en ASHRAE "Commercial and Public Buildings" (19).....	62
Tabla 7	Humedad y Temperatura Recomendada para Escuelas y Universidades Basado en Ashrae Estandar 55-2004 (18), para Personas con Ropa Típica y Actividad Sedentaria en Invierno y Verano.....	64
Tabla 8	Criterio de Diseño para Ventilación de Unidades Educativas, basado en Ansi/Ashrae Standard 62.1-2004 Tablas 6-1 y 6-4 (18).....	64
Tabla 9	Cargas Internas Debido a Personas y Equipos	70
Tabla 10	Horarios de Uso de Instalaciones y Equipos de Oficina en los meses de clases (Mayo-Septiembre y Octubre-Febrero.....	72
Tabla 11	Ganancia de Calor Por Persona de Acuerdo al Tipo de Actividad. Fuente Une-en ISO 7730 (20).....	73
Tabla 12	Aislamiento basado en Fuente UNE-en ISO 4430 según tipo de ropa (20).....	73
Tabla 13	Datos de Ventilación, basados en Ansi/Ashrae Estandar 62.1-2004 Tablas 6-1 y 6-4 (18).....	74
Tabla 14	Especificación de las Paredes, basados en Especificaciones del Constructor (1).....	75
Tabla 15	Especificación Técnicas de los Materiales, utilizados para la Construcción de las Paredes según Biblioteca de Design Builder (6).....	75
Tabla 16	Datos Seleccionados de Potencia Lumínica para cada Área, basados en Norma Ashrae "Educational Facilities" (18).....	76

Tabla 17	Horario de uso de Luz en los meses de Clases (Mayo-Septiembre y Octubre-Febrero).....	77
Tabla 18	Datos Seleccionados para la Simulación.....	78
Tabla 19	Características de los Lucernarios Modelo 1, Basado en las Especificaciones Técnicas del Fabricante (3).....	79
Tabla 20	Características de los Lucernarios Modelo 2, Basado en las Especificaciones Técnicas del Fabricante (3).....	80
Tabla 21	Características de los Lucernarios Modelo 3, Basado en las Especificaciones Técnicas del Fabricante (3).....	81
Tabla 22	Características de los Lucernarios Modelo 4, Basado en las Especificaciones Técnicas del Fabricante (3).....	82
Tabla 23	Características de los Lucernarios Modelo 5, Basado en las Especificaciones Técnicas del Fabricante (3).....	83
Tabla 24	Análisis de la Carga Térmica del Edificio.....	87
Tabla 25	Consumo Energético Anual Modelo 1.....	90
Tabla 26	Análisis de Carga Térmica del Edificio.....	92
Tabla 27	Consumo Energético Anual Modelo 2.....	93
Tabla 28	Análisis de Carga Térmica del Edificio Modelo 3.....	98
Tabla 29	Consumo Energético Anual Modelo 3.....	101
Tabla 30	Análisis de Carga Térmica del Edificio Modelo 4.....	104
Tabla 31	Consumo Energético Anual Modelo 4.....	107
Tabla 32	Análisis de carga Térmica del Edificio Modelo 5.....	109
Tabla 33	Consumo Energético Anual Modelo 5.....	112
Tabla 34	Análisis de carga Térmica del Edificio Modelo 6.....	115
Tabla 35	Consumo Energético Anual Modelo 6.....	118
Tabla 36	Tabla de Resultados.....	118
Tabla 37	Consumo Energético Anual y Gasto Mensual en Dólares de cada modelo.....	119

ÍNDICE DE PLANOS

Ver en Apéndices

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha acentuado el interés por el ahorro de energía, esto se debe en gran medida a los problemas de cambio climático que está sufriendo el planeta, además, a la creciente demanda y uso indebido de la energía.

En los países desarrollados la matriz energética que hace referencia al uso final de energía es diferente a la del Ecuador. En estos países el principal consumidor de energía final es el sector residencial (4), mientras que, en Ecuador es el sector transporte (5).

En Ecuador, el tercer mayor consumo de energía final en edificios residenciales y oficinas se debe a los sistemas de climatización, especialmente, en la costa debido uso de aire acondicionado (5).

En los países en vías de desarrollo la mayoría de los edificios no son diseñados utilizando conceptos de demanda energética. La principal razón para que esto suceda se debe a la falta de una normativa y/o código de eficiencia energética en la edificación que sirva de referencia.

Otro factor importante es la falta de profesionales con conocimientos sobre diseño de edificaciones utilizando conceptos de eficiencia energética, esto se observa en edificios con un alto porcentaje de ventanas que reciben incidencia directa de radiación solar, lo cual, aumentan las carga térmicas y demanda mayor consumo energético para climatizar el edificio.

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 en Electricidad 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 Energy Plus 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, como 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.

CAPÍTULO 1

1. INFORMACIÓN GENERAL.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

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

1.1.2. Objetivos Específicos.

- Describir de manera general los programas de simulación energética para edificios.
- Describir las características y el funcionamiento del programa Energy Plus.

- 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.
- Analizar y comparar los resultados.
- Recomendar la mejor solución encontrada para alcanzar el objetivo de reducir la demanda de energía eléctrica.
- Escribir un artículo científico.

1.2 Alcance

El trabajo de investigación abarca los siguientes temas.

Una auditoría energética para recopilar una serie de datos referentes a la edificación, verificar las instalaciones, hacer una estimación de las cargas térmicas y poder contar con el consumo real de energía eléctrica del edificio para comparar con las simulaciones.

Análisis de artículos científicos o “Papers” similares que sirven de guía para realizar los modelos.

En el paper “Simulación dinámica y térmica de una habitación de acuerdo con el código técnico de la edificación” (7), se diseñó y simuló una habitación con el programa STAR_CCM+, basándose en las especificaciones técnicas del código técnico de la edificación (CTE), con el que se regulan las exigencias básicas de calidad que deben de cumplir los edificios. El trabajo muestra que el programa de simulación utilizado permite, por un lado, diseñar la disposición más adecuada de las aberturas en una habitación en particular, y de una vivienda en general, y, por otro lado, hacer un estudio cualitativo y cuantitativo de los parámetros de confort en diferentes situaciones meteorológicas, de acuerdo con el CTE, incluso antes de que la vivienda esté construida.

En el paper “*Análisis de comportamiento Térmico de edificios de oficina en comunas de la región metropolitana de Chile*” (8), muestra el caso de dos edificios de oficinas, ubicados en la zona urbana de Santiago, con características representativas de los edificios construidos en los últimos 5 años. En base a la simulación computacional, con el software TAS, se puede ver que estos edificios sufren sobrecalentamiento en su interior. Por otro lado, se puede estimar sus demandas de energía para refrigeración y calefacción, para mantener condiciones de confort térmico al interior

de las oficinas en verano e invierno, respectivamente. Si se combina la utilización de diversas técnicas como protección solar, vidriado doble selectivo, aislación térmica en muros y/o ventilación nocturna en verano se puede alcanzar una disminución en la demanda de energía para refrigeración de 50% y cerca de 68% para calefacción con respecto a lo que ocurre en la actualidad.

Luego se generan los modelos que representan las características geométricas del edificio, obtenidas de las especificaciones técnicas proporcionados por el constructor (1), las características térmicas de los materiales, en el caso de las paredes los valores son proporcionados la Biblioteca Design Builder (6), para los lucernarios son proporcionadas por el fabricante PALPLASTIC (3) y las características de uso del edificio fueron tomadas de ASHRAE (2).

Identificación de las condiciones iniciales y de contorno para configurar en los modelos de simulación del edificio.

Realización del estudio del comportamiento energético del edificio mediante simulaciones con la ayuda de una herramienta informática llamada Energy Plus.

Estimación de la demanda energética del edificio y se compara con los valores reales de consumo del edificio.

Propuesta de soluciones para reducir la demanda de energía eléctrica que involucre también criterios de factibilidad económica.

Finalmente se escogerá la mejor solución como recomendación.

CAPÍTULO 2

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS PROGRAMAS DE SIMULACIÓN.

En este capítulo se describen los aspectos más relevantes de una simulación energética, se habla sobre los diversos programas de simulación que hay en el mercado. También, se analiza la funcionalidad de los mismos y se explica por qué se seleccionó una determinada herramienta informática para el estudio.

2.1 Definición de simulación.

Simulación implica hacer un modelo que se aproxima a cierto aspecto de un sistema real y que puede ser usado para generar predicciones de comportamiento del sistema.

En particular, usar programas computacionales con modelos matemáticos previamente definidos para imitar comportamientos del sistema evaluando numéricamente un modelo del mismo. Estas evaluaciones numéricas son las que permiten generar las predicciones de comportamiento.

Simulación térmica de edificaciones

Es la revisión del comportamiento térmico que tendrá una edificación, mediante la elaboración de un modelo. Permitiendo verificar la condición de confort interior y tamaño de equipos.

Para facilitar los cálculos que determinan este fenómeno, actualmente, existen programas computacionales que se utilizan durante el proceso de diseño de la edificación y permiten evaluar cada una de las propuestas constructivas.

Entre los principales beneficios que existen en la simulación térmica se menciona el estudio del comportamiento energético que tendría la edificación, antes de que sea construida, o el análisis de acciones concretas para incrementar la eficiencia en el uso final de energía en edificaciones ya construidas.

2.2 Programas de Simulación Térmica.

Con el propósito de mejorar el rendimiento de la calefacción, ventilación y aire acondicionado, “Heating, Ventilation and Air conditioning” cuya sigla en inglés es HVAC, se han desarrollado una serie de programas que sirven para modelar y simular el desempeño térmico.

Desde ya hace 50 años se han desarrollando una vasta cantidad de herramientas informáticas que buscan replicar la realidad y modelarla (9). Los programas más utilizados en esta área del uso final de la energía son:

Bsim®, creado por el instituto de Investigación de Edificios de Dinamarca. (2004).

Ecotect®, desarrollado por la compañía Británica Autodesk. (1996).

EnergyPlus®, desarrollado por el ministerio de energía (DOE) de EEUU. (2004)

Equest®, es la versión más reciente de un programa de simulación desarrollado en los últimos 20 años por el Departamento de Energía de EE.UU.

ESP-r®, ha sido desarrollado por la Unidad de Investigación de Sistemas de Energía (ESRU) en la universidad de Strathclyde, UK. (2001)

HAP®, creado por los fabricantes de equipos de climatización Carrier. (2003)

HEED®, desarrollado por la Universidad de California, Los Angeles, (UCLA) en EEUU. (2004)

IDA-ICE®, desarrollado por el Instituto Sueco de Matemáticas Aplicadas. (2003)

Sunrel®, La actualización de la presente serie de SUNREL fue completado por el estado de Colorado.

TRNSYS®, desarrollado por la Universidad de Wisconsin, EEUU. (2004).

La mayoría de estos programas son capaces de resolver aplicaciones de transferencia de calor, radiación solar y sistemas de climatización.

2.3 Características de los Programas de Simulación

De forma general se puede decir que los programas de simulación tienen las siguientes características: cargas de zona, la envolvente del edificio, iluminación natural, la infiltración, ventilación y flujo de aire multizona, sistemas de energía renovable, sistemas eléctricos, sistemas de aire acondicionado, equipos de climatización, emisiones ambientales, evaluación económica, la disponibilidad de

datos climáticos, la comunicación de resultados, validación, la interfaz de usuario, enlaces a otros programas, y disponibilidad.

BSIM®

BSIM proporciona facilidad al usuario para realizar simulaciones higrotérmicas de edificios y construcciones. El paquete comprende varios módulos: SimView (editor gráfico), tsbi5 (edificio - 231 - simulación), SimLight (luz de día), XSun (luz solar directa y la sombra), SimPV (energía fotovoltaica), NatVent (ventilación natural) y SimDxf (importación desde CAD).

BSIM se ha utilizado ampliamente en los últimos 20 años, anteriormente con el nombre tsbi3. Hoy BSIM es la herramienta más utilizada en Dinamarca, y con un creciente interés en el extranjero, para el diseño energético de los edificios y para el análisis de la humedad (6).

ECOTECT®

Ecotect es un diseñador arquitectónico muy visual y herramienta de análisis que vincula a un modelador 3D completo con una amplia gama de funciones de análisis de rendimiento que abarca la energía térmica, iluminación, sombras, la acústica y los aspectos de costos.

Su modelo y capacidad de análisis puede manejar la geometría de cualquier tamaño y complejidad, su principal ventaja es un enfoque en la retroalimentación en las primeras etapas del proceso de diseño del edificio. Esto incluye la visualización de los resultados de los análisis volumétricos y espaciales, incluidos los importados en 3D de datos de CFD. Funciones en tiempo animación real se proporcionan junto con acústica interactiva y solar, trazado de rayos que se actualiza en tiempo real con cambios en la geometría y propiedades de los materiales de construcción (6).

EnergyPlus®

EnergyPlus es un código modular, estructurado sobre la base de las características más populares y las capacidades de BLAST y DOE-2.1E. Es un motor de simulación con entrada y salida de archivos de texto. El sistema de simulación módulo de edificio se encarga de calcular calefacción y refrigeración del sistema y la respuesta del sistema eléctrico. Esta solución integrada predice la temperatura del espacio más exacto para sistema de varios tamaños, proporcionando confort y cálculos que sean saludables para los ocupantes .La simulación integral también permite a los usuarios evaluar los controles reales del sistema, la humedad de absorción y

desorción en los elementos de construcción, calefacción radiante y sistemas de refrigeración, y el flujo de aire entre zonas (6).

EQUEST®

EQUEST es un programa fácil de calcular la energía de la construcción, el uso de herramientas de análisis proporciona resultados de alta calidad mediante la combinación de un asistente de creación de capacidad, una medida de eficiencia energética (EEM) y la asistente de un módulo de pantalla.

Dentro de EQUEST, el DOE-2.2 realiza una simulación en base horaria de la construcción a base de muros, ventanas, vidrios, las personas, las cargas de enchufe, y la ventilación.

DOE-2.2 también simula el funcionamiento de los ventiladores, bombas, refrigeradores, calderas y otros aparatos que consumen energía. EQUEST permite a los usuarios crear múltiples simulaciones y ver los resultados en gráficos de lado a lado. Ofrece la estimación de costo de energía, iluminación natural y la iluminación del sistema de control, y la aplicación automática de medidas de eficiencia energética (mediante la selección de las medidas preferidas de una lista).

Esta herramienta gratuita fue diseñada para permitir llevar a cabo un análisis detallado de la más moderna tecnología de diseño de construcción que hay hoy en día. Utiliza las más sofisticadas técnicas de simulación de uso de energía en construcción, pero, sin necesidad de una amplia experiencia en el “arte” de la construcción de modelos.

Para la creación de un edificio en Equest primeramente el asistente solicita la información más general sobre el diseño de su edificio, y luego se adentra en detalles cada vez más profundo. En total, el proceso de descripción edificio consta de 23 pasos de entrada de datos-cada uno representado por un “asistente” en pantalla.

Después de compilar una descripción del edificio, Equest, produce una simulación detallada de su edificio, así como, una estimación de la cantidad de energía que usaría. A pesar de que, estos resultados se generan con rapidez, son muy precisos ya que este programa utiliza todas las capacidades de DOE-2 (6).

ESP-r ®

ESP-r permite una evaluación en profundidad de los factores que influyen en el rendimiento energético y medioambiental de los edificios. El sistema ESP-R ha sido el tema de la evolución sostenida desde el año 1974 con el objetivo de simular el

rendimiento del edificio de manera que: a) sea una medida realista y se adhiera estrechamente a los sistemas físicos reales; b) sea compatible con las primeras evaluaciones detalladas a través de la etapa de diseño.

ESP-r intenta simular el mundo real lo más rigurosamente posible y un nivel que es consistente con las mejores prácticas actuales. Al abordar todos los aspectos al mismo tiempo, el ESP-r permite a los diseñadores explorar las complejas relaciones entre la forma de un edificio, la tela, el flujo de aire, las plantas y sistemas de control.

ESP-r tiene una potente capacidad para simular muchas tecnologías de punta innovadoras, incluyendo la utilización de la luz del día, la ventilación natural, la distribución de contaminantes, producción combinada de calor y generación de energía eléctrica y fachadas fotovoltaicas, adaptable 3D transitorios CFD, multi-grillado (conducción en 2D y 3D), y sistemas de control (6).

HAP de Carrier®

Programa de Análisis de Datos por hora (HAP) proporciona dos herramientas en un solo paquete: HVAC y la simulación de rendimiento por hora de energía del edificio para obtener el consumo de energía anual y los costos de energía. Los datos de entrada y los resultados de los cálculos de diseño del sistema

pueden ser utilizados directamente en los estudios de energía. HAP está diseñado para el ingeniero diseñador, para facilitar el trabajo diario de cargas, sistemas de estimación de diseñar y evaluar el funcionamiento de la energía. Informes de resultados tabulares y gráficas ofrecen resúmenes de los dos e información detallada acerca de la construcción, el sistema y el rendimiento del equipo.

HAP es adecuado para una amplia gama de nuevos diseños y aplicaciones de modificación. Ofrece varias características de configuración y el control del caudal del aire de los sistemas HVAC y equipos terminales (6).

HEED®

HEED gestiona automáticamente hasta 9 sistemas para un máximo de 25 proyectos diferentes. Las fortalezas son la facilidad de uso, simplicidad de los datos de entrada, una amplia gama de pantallas de salida de gráficos, la velocidad de cálculo, y la posibilidad de comparar rápidamente múltiples alternativas de diseño. Ayuda de contexto específico, Consejo, y un archivo de preguntas frecuentes se incluyen (6).

IDA INDOOR CLIMATE AND ENERGY 4®

IDA ICE incluye cientos de nuevas características y mejoras en comparación con su predecesor, una de las más importantes mejoras de la nueva versión es un entorno detallado en tiempo real en 3D. Ahora es posible ilustrar los parámetros de entrada y se animan los resultados, incluidos los gráficos y el sombreado solar.

El entorno 3D también agrega una visión general durante todas las etapas del proyecto y proporciona impresionantes gráficos de presentación, además, una visión completa de los parámetros individuales de modelos complejos. Puede ver y editar todos los datos importantes de entrada y ver, por ejemplo, totales útiles para las zonas del suelo, u-valores, área de paredes exteriores, etc.

Tiene un procedimiento sencillo para calcular y excelente presentación de informes de refrigeración, calefacción, aire y la demanda de energía, junto con una nueva versión de manipulación, hace que sea fácil y eficiente poder comparar los diferentes sistemas y resultados (6).

SUNREL

SUNREL es una programa de simulación de energía de edificio por hora, ayuda en el diseño de pequeños edificios eficientes

energéticamente, donde, las cargas están dominados por las interacciones dinámicas entre la cubierta del edificio, su entorno, y sus ocupantes.

La actualización de la presente serie de SUNREL fue completado por el estado de Colorado. El primer elemento que cambió fue la estructura de entrada, que se basa en el formato de lista de nombres de FORTRAN. Este formato hace flexible al programa para futuras actualizaciones y ofrece un excelente puente de archivo para las interfaces gráficas de usuario. La segunda modificación fue incluir un modelo más sofisticado para los sistemas de ventanas avanzados. SUNREL lee propiedades ópticas y térmicas de la ventana de un archivo de datos creado por VENTANA-4.1 (Arasteh et al., 1994). La tercera mejora fue incluir algoritmos para manejar la sombra proyectada por los voladizos. Estos algoritmos abarcan también el sombreado de la radiación y reflexiones difusas de los dispositivos de sombreado. La adición final fue una amplia rutina para la infiltración y ventilación natural, impulsado por la temperatura y el efecto de viento. Un diseño adecuado es esencial para comodidad y facilidad de uso. SUNREL puede ayudar en el diseño de estos edificios por el modelado de las siguientes estrategias de eficiencia energética de diseño: muebles,

aislamiento, el control de persianas interiores, ventanas de eficiencia energética, vidrios termocromáticos, paredes (6).

TRNSYS

TRNSYS es un programa de simulación de sistemas transitorios con una estructura modular que fue diseñado para resolver los complejos problemas del sistema de energía al dividir el problema en una serie de componentes más pequeños. Los componentes de TRNSYS **llamados TYPES** (tipos) pueden ser tan simples como una bomba o tubería, o tan complicado como un modelo de construcción de varias zonas. Los componentes se configuran y se confeccionan con una interfaz totalmente integrada visual conocida como el Estudio de simulación TRNSYS y la construcción de los datos de entrada se accede a través de una interfaz visual (TRNBuild). El motor de simulación resuelve el sistema de ecuaciones diferenciales y algebraicas que representan todo el sistema. En la construcción de las simulaciones, todos los componentes del sistema de climatización se resuelven al mismo tiempo que la envolvente de equilibrio térmico y la red de aire en cada paso de tiempo.

TRNSYS incluye componentes para sistemas solares térmicos y fotovoltaicos, edificios de baja energía y los sistemas HVAC, sistemas de energía renovable, cogeneración, pilas de combustible, etc. La naturaleza modular de TRNSYS facilita la adición de nuevos modelos matemáticos para el programa. Además de la capacidad de desarrollar nuevos componentes en cualquier lenguaje de programación, el programa permite incorporar directamente los componentes implementados usando otro programa (por ejemplo, Matlab / Simulink, Excel / VBA y EEE).

TRNSYS® permite diseñar y optimizar sistemas energéticos (en particular, sistemas basados en energías renovables) y edificios de bajo consumo de energía (6).

Ventajas y desventajas de los programas de simulación

BSIM

VENTAJAS

- ✓ Los modelos son exportables a RADIANCE para hacer un estudio con este programa pormenorizado de la iluminación si fuera necesario.
- ✓ La geometría y los flujos de calor por paredes son exportables a ficheros de texto para ser usados por programas CFD para estudios pormenorizados de difusión de aire.

- ✓ Permite la visión en 3D.
- ✓ Las propiedades de la envolvente se pueden exportar al programa danés oficial BV98 para ver si cumple su normativa.
- ✓ Los dibujos en CAD pueden ser grabados en DXF para que BSIM importe la geometría.
- ✓ Los ficheros binarios de EnergyPlus se pueden convertir al formato BSIM.
- ✓ Realiza diseño energético de los edificios y análisis de la humedad.
- ✓ Análisis de ventilación natural.

DESVENTAJAS

- ✓ La aplicación no considera el fenómeno de la estratificación.
- ✓ El método resuelve el balance energético asociado a cada volumen de aire desprendiendo la capacidad calorífica de éste afectando al balance los siguientes términos:
 - Transferencia de energía a través de las superficies constructivas en contacto con el aire (muros, forjados, cubiertas, etc.).
 - Flujos de energía a través de las ventanas y las puertas.
 - Radiación solar a través de las ventanas, muros mäsicos y muros trombe.

- Cargas internas y sistemas de acondicionamiento.
- Infiltración de aire y ventilación.
- Transferencia de masas de aire entre zonas (10).

ECOTECH

VENTAJAS

- ✓ Interfaz amigable.
- ✓ Modelado de geometrías complejas (importación de ficheros 3D).
- ✓ Cálculos de sombreado y radiación muy visibles.
- ✓ Exportación a otras herramientas: Energyplus, Radiance, gbxml, etc.
- ✓ Cálculos térmicos muy rápidos.
- ✓ Funciones de análisis de rendimiento que abarca la energía térmica, iluminación, sombras, la acústica y los aspectos de costos.
- ✓ Capacidad de análisis puede manejar la geometría de cualquier tamaño y complejidad.
- ✓ Visualización de los resultados de los análisis volumétricos y espaciales
- ✓ Funciones en tiempo animación real se proporcionan junto con acústica interactiva y solar

DESVENTAJAS

- ✓ Aunque la interfaz gráfica es muy agradable y de fácil uso, no se deben tomar los resultados en términos absolutos.
- ✓ Soporte técnico muy limitado (11).

ENERGYPLUS

VENTAJAS

- ✓ Simulación térmica y energética de un edificio.
- ✓ Este programa es usado por diversos programas como motor de simulación, tales como Design Builder.
- ✓ EnergyPlus es de licencia Gratuita.
- ✓ Permite la conexión con otro programa para simular sistemas dinámicos en general llamado SPARK. La intención de los desarrolladores es poder simular instalaciones complejas.
- ✓ Tiene versiones compiladas para Windows y para Linux.
- ✓ Permite modelar en 3D desde la interfaz amigable de Sketchup.

DESVENTAJAS

- ✓ La desventaja hasta hace poco radicaba en que era la complicación para realizar un modelo del edificio, ya que se realizaba a partir de coordenadas numéricas (10).

EQUEST

VENTAJAS

- ✓ Es un programa fácil de calcular la energía de la construcción
- ✓ Realiza una simulación en base horaria de la construcción a base de muros, ventanas, vidrios, las personas, las cargas de enchufe, y la ventilación”.
- ✓ También simula el funcionamiento de los ventiladores, bombas, refrigeradores, calderas y otros aparatos que consumen energía.
- ✓ Ofrece la estimación de costo de energía, iluminación natural y la iluminación del sistema de control, y la aplicación automática de medidas de eficiencia energética.

DESVENTAJAS

- ✓ Difícil aprendizaje
- ✓ Difícil adquisición de fichero de climas de todos los países.
- ✓ No grafica edificaciones complejas (10).

HEED

VENTAJAS

- ✓ Simplicidad para ingresar los datos de entrada.
- ✓ Una amplia gama de pantallas de salida de gráficos.
- ✓ Velocidad de cálculo, y la posibilidad de comparar rápidamente

múltiples alternativas de diseño.

- ✓ Requiere sólo cuatro insumos del proyecto: superficie, número de pisos, la ubicación (código postal), y el tipo de edificio.
- ✓ Gestiona automáticamente hasta 9 sistemas para un máximo de 25 proyectos diferentes.

DESVENTAJAS

- ✓ Es muy complejo de utilizar.
- ✓ Es un simulador que está orientado para simulaciones de casas, no para edificios.
- ✓ Difícil adquisición de los datos climáticos de todos los países.
- ✓ No se actualiza continuamente con los códigos y normas de construcción (12).

IDA-ICE

VENTAJAS

- ✓ Fácil adquisición de tutoriales para auto aprendizaje.
- ✓ Proporciona información de diagnóstico sobre la simulación.
- ✓ Representación gráfica de los sistemas de aire (circuitos de aire) y de agua.

DESVENTAJAS

- ✓ No tiene soporte comercial en español.
- ✓ Presentación de resultados en forma compleja
- ✓ No se tiene facilidad para importar o exportar hacia otros programas (10).

ESP-r

VENTAJAS

- ✓ Definición en formato fijo y libre del modelo-D.
- ✓ Importa y exporta a programas de CAD.
- ✓ Programa libre. Hecho en fortran. Código fuente abierto.
- ✓ Análisis detallado de los sistemas y redes eléctricas.
- ✓ Potente capacidad para simular muchas tecnologías de punta innovadoras o de liderazgo.
- ✓ Análisis incluye utilización de la luz del día, la ventilación natural, la distribución de contaminantes, producción combinada de calor y generación de energía eléctrica y fachadas fotovoltaicas.

DESVENTAJAS

- ✓ Características especializadas requieren un conocimiento del tema en particular.

- ✓ Carece de las amplias bases de datos asociadas a las herramientas comerciales.
- ✓ Diálogos y mensajes de ayuda contextual es un poco pesado de aprendizaje
- ✓ Es mucho mejor aprender a través de interacciones con un mentor que por la auto-instrucción.

HAP de Carrier

VENTAJAS

- ✓ El programa es una poderosa herramienta para el diseño de sistemas y dimensionamiento de los componentes del sistema.

HAP puede manejar fácilmente proyectos referidos a:

- Pequeños y medianos edificios comerciales.
- Sistemas que incluyen techos y suelos radiantes y mucho más.
- Sistemas de caudal de agua o de aire constante y caudal variable.
- Pequeños edificios de oficinas, tiendas minoristas, supermercados, escuelas, iglesias, restaurantes, grandes edificios de oficinas, hoteles, centros comerciales, hospitales, fábricas y edificios de usos múltiples.

- Nuevo diseño, remodelación o trabajo de conservación de energía.

DESVENTAJAS

- ✓ Presentación de resultados muy poco ilustrativa y detallada.
- ✓ Carece de las amplias bases de datos asociadas a las herramientas comerciales.
- ✓ No permite importación de archivos CAD.
- ✓ No permite cálculos de edificaciones grandes (10).

SUNREL

VENTAJAS

- ✓ Los cálculos de los equipos y las cargas se resuelven simultáneamente.
- ✓ El programa es flexible para futuras actualizaciones y ofrece un excelente puente de archivo para las interfaces gráficas de usuario.
- ✓ Incluye algoritmos para manejar la sombra proyectada por los voladizos.
- ✓ Análisis de infiltración y ventilación natural, impulsado por la temperatura y el efecto de viento.

DESVENTAJAS

- ✓ Solo diseña pequeños edificios eficientes energéticamente, donde las cargas están dominados por las interacciones dinámicas entre la cubierta del edificio, su entorno, y sus ocupantes”.
- ✓ No modela la distribución de la radiación solar entrante.
- ✓ Intercambio de radiación de onda larga entre las superficies interiores tampoco es analizado de manera explícita.
- ✓ Transferencia de calor de las paredes subterráneas o losas, es un problema difícil y no bien entendido todavía (10).

TRNSYS

VENTAJAS

- ✓ Los componentes se pueden programar en cualquier lenguaje compilándolos como DLL y respetando ciertas interfases.
- ✓ COMIS programa para analizar el movimiento del aire entre las zonas, se encuentra integrado en TRNFLOW.
- ✓ Puede hacer estudios paramétricos en TRNEdit.
- ✓ La biblioteca de TRNSYS® incluye componentes para sistemas solares térmicos y fotovoltaicos, edificios de baja energía y los sistemas HVAC, sistemas de energía renovable, cogeneración, pilas de combustible, etc.

- ✓ El programa permite incorporar directamente los componentes implementados usando otro programa (por ejemplo, Matlab / Simulink, Excel / VBA y EEE).

DESVENTAJAS

- ✓ Dificultad en el aprendizaje del programa.
- ✓ No se puede exportar o importar la geometría desde otros programas.
- ✓ No se puede graficar edificaciones con cualquier forma.
- ✓ No realiza análisis de CFD.
- ✓ No tiene un asistente para optimizar sombras.

2.4 Selección de Programa de Simulación

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

Balance de calor: Se 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.

Envolvente 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: Se califica la simulación de la iluminación interior con luz natural.

Temperatura de las superficies: Se califica la facilidad que tiene el usuario para conocer la temperatura de las distintas superficies, ya sean muros, ventanas, techos o pisos.

Facilidad de adquisición.- Se califica el grado de dificultad que tiene cada programa para ser conseguido.

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

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

Datos climatológicos: Se califica la variedad de los datos climatológicos que tienen los programas de simulación en su base de datos, o la facilidad que existe para conseguirlos..

Generación de reportes: Se califica lo detallado y didáctico que los programas de simulación presentan los resultados (13).

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

TABLA 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 aire	Sistemas HVAC	Datos Climatológicos	Generación de reportes
EnergyPlus®	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
Bsim®	1	1	0	0	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
ECOTECH®	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

ELABORADO POR: RICHARD BRICEÑO. 2012.

CAPÍTULO 3

3. PRESENTACIÓN DEL PROGRAMA DE SIMULACIÓN ENERGY PLUS

3.1. Descripción General del Programa

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).

El Método Detallado de Convección Natural (Natural Convection Detailed Method), utilizado en este programa, correlaciona los coeficientes de transferencia de calor con la orientación de la superficie y con la diferencia de temperatura entre la superficie y el aire. El algoritmo es tomado del manual ASHRAE (15). En él se detallan coeficientes de convección para placas verticales u horizontales en régimen turbulento.

El calor metabólico producido por una persona incluye componentes convectivas, radiactivas y latentes. Un algoritmo interno determina la fracción que corresponde a calor sensible y a calor latente. Luego, el calor sensible es dividido en partes iguales entre calor

radiativo y convectivo. Los datos sobre generación de calor metabólico son obtenidos del manual ASHRAE (15).

La radiación solar incluye la radiación solar directa y difusa que inciden en las zonas creadas para el estudio. Se asume que toda la radiación directa es absorbida por el piso de la zona de acuerdo a las propiedades de este. Nada de lo reflejado en el piso es añadido a la radiación difusa transmitida, la cual, se asume uniformemente distribuida en las superficies interiores.

3.2. Características del Programa

Energy Plus puede llevar a cabo dos diferentes tipos de análisis: diseño de calefacción/refrigeración y simulación dinámica. Los cálculos de diseño de calefacción y refrigeración funcionan en régimen estacionario y permiten estimar la capacidad necesaria de esos sistemas para mantener unas condiciones de confort adecuadas.

Muchas de las características de simulación han sido heredadas de los programas BLAST y DOE-2. A continuación se listan algunas de las características de Energy Plus. Si bien esta lista no es

exhaustiva, se pretende dar la idea y la aplicabilidad de EnergyPlus a la simulación:

- ✓ **Solución integrada y simultánea**, donde la respuesta del edificio y los sistemas primario y secundario están fuertemente acoplados (lleva a cabo iteraciones cuando es necesario).
- ✓ **Muestras Temporales**, el usuario puede definir intervalos de tiempo para la interacción entre las zonas térmicas, temperatura ambiente, y de los sistemas.
- ✓ **Texto ASCII** tanto el archivo de tiempo meteorológico, entradas, y archivos de salida, que incluyen las condiciones, la norma y los informes definibles por el usuario, respectivamente.
- ✓ **Balance Térmico**, técnico de solución de base para la construcción de cargas térmicas que permite el cálculo simultáneo de los efectos de radiación y convección, tanto en la superficie interior y exterior.
- ✓ **Conducción de calor transitorio** a través de elementos de construcción tales como paredes, techos, pisos, etc., utilizando funciones de conducción.
- ✓ **Mejora de la transferencia de calor** de modelado a través del enlace al modelo tridimensional y la simplificación de las técnicas analíticas.

- ✓ **Modelos de confort térmico** Basado en la actividad, humedad, etc.
- ✓ **Cálculos de acristalamientos avanzado**, incluyendo persianas controlables, cristales múltiples capa por capa, balances térmicos que permiten la asignación adecuada de la energía solar absorbida por los cristales de las ventanas, y una biblioteca (datasheet) de numerosas ventanas disponibles en el mercado.
- ✓ **Control del “Daylighting”**, cálculos de la iluminación interior, simulación y control de luminarias, y el efecto de la iluminación artificial en la reducción de la calefacción y la refrigeración.
- ✓ **Lazos configurables basado en los sistemas HVAC (convencional y radiante)** que permite un modelo de sistemas típicos y los sistemas ligeramente modificados sin tener que recompilar el código fuente del programa.
- ✓ Cálculos de la contaminación atmosférica (9).

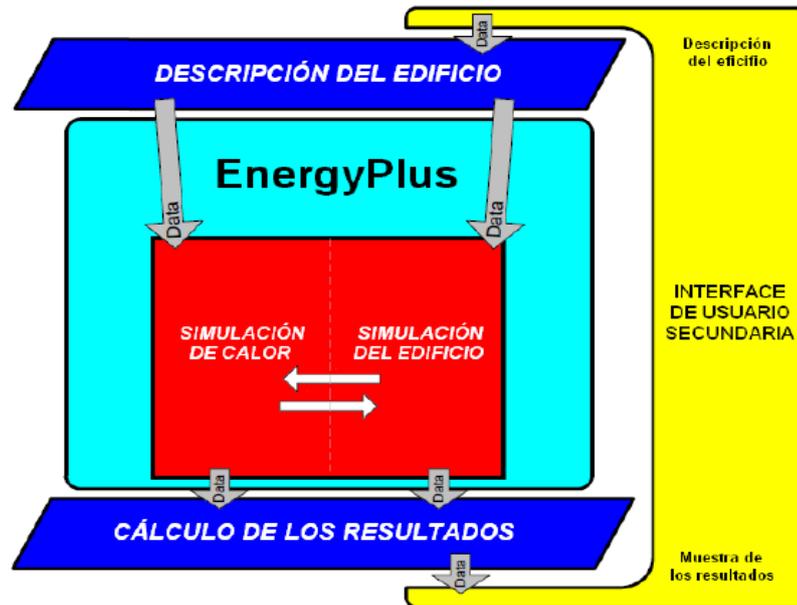


FIGURA 3.1. ENERGYPLUS ESTRUCTURA SIMPLIFICADA

Energy Plus no tiene un interfaz de usuario. Su objetivo es ser el motor de simulación en torno a una interfaz secundaria. Sus entradas y salidas son simple texto, claramente descrito. Los diseñadores de interfaz gráfica crean herramientas de calidad para poder interactuar con Energy Plus según las demandas del mercado (14).

3.3. Modelos Físicos Utilizados en el Programa

Los programas simulan siguiendo distintos métodos y/o modelos para los fenómenos de transferencia de calor y masa en condiciones estáticas y dinámicas. Estos modelos han sido

desarrollados por las universidades, centros de investigación y empresas. Además de estas instituciones la “American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers” (ASHRAE), publica cada cierto tiempo métodos tendientes a modelar los fenómenos antes nombrados. A continuación se presenta una breve descripción de los modelos más utilizados.

Balance De Calor “Heat Balance Method”

El método de balance de calor se basa en la primera ley de la termodinámica (principio de conservación de la energía) y en el álgebra matricial. Este método requiere de menos suposiciones pero requiere más cálculos sobre cada punto de la simulación y por ende mayor tiempo de simulación. Aunque no es necesario, la linealización es utilizada comúnmente para simplificar la formulación de la transferencia por radiación.

En general, se escribe una ecuación de balance de calor para cada superficie, además de, una ecuación para el aire de la habitación. Este conjunto de ecuaciones es resuelto para las superficies desconocidas y la temperatura del aire. Una vez conocidas estas

temperaturas, se utilizan para calcular el flujo de calor por convección desde o hacia la masa de aire (15).

Transferencia de Calor en un Edificio

a) Conducción.

Transferencia de calor de un cuerpo a otro mediante el contacto directo, sin flujo neto de masa.

Presente en sólidos y líquidos. En un cuerpo isotrópico en que existe un campo de temperaturas $T(x, t)$, el calor transferido por unidad de área es:

$$q_x = -k \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)$$

Ecuación 3. 1.

Donde k [W/mK] corresponde a la conductividad térmica del material. Luego el calor transferido por una pared plana de espesor e y área A , será:

$$Q = kA \left[\frac{T_1 - T_2}{e} \right]$$

Ecuación 3. 2.

Donde $T_1 - T_2$ es la diferencia de temperatura de las superficies interna y externa de la pared.

En este caso existe conducción al interior del edificio por muros interiores, columnas de edificación, pisos o losas del edificio, además de la conducción de calor entre el edificio y el terreno donde esta cimentado (15).

b) Convección Natural.

Transferencia mediante un fluido que lleva el calor de una zona a otra de menor temperatura.

Se define que la transferencia de calor mediante esta forma sigue la siguiente ecuación:

$$Q = h \cdot A \cdot (T_1 - T_2)$$

Ecuación 3. 3.

Donde h [$W/m^2 K$] se denomina coeficiente convectivo del fluido participante.

En un edificio existen distintos tipos de convección interna entre los ambientes y el aire que rodea al edificio. Para espacios interiores se tiene una convección moderada donde los coeficientes varían en suelo, muro y cielo:

$$h_{suelo} = 8,29 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$h_{muro} = 9,26 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$h_{cielo} = 6,13 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

En el caso de la convección externa, esta es mayor debido al viento que circula en el exterior. El valor del coeficiente convectivo es:

$$h_{exterior} = 11,354 + 0,938 \cdot v \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Ecuación 3. 4.

Donde v corresponde a la velocidad del viento medido en [km/h] (15).

Para Guayaquil se considera una velocidad constante del viento de 12 [km/h] (16).

c) Coeficiente Global de Transferencia.

Para unir estos 2 tipos de transferencia, conductiva y convectiva, se ha creado el coeficiente global de transferencia. Este término permite calcular de manera más directa la cantidad de calor que se transfiere linealmente a través de un elemento tomando en cuenta también el aire que rodea al elemento. Se define la resistencia

equivalente tomando en cuenta estos 2 fenómenos de la siguiente manera (15):

$$R_{eq} = \sum R_i = \frac{1}{h_1 A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_2 A}$$

Ecuación 3. 5.

Donde:

R_{eq} = Resistencia equivalente del sistema.

h_1 = Coeficiente Convectivo exterior.

A= Área del elemento.

L= Espesor del elemento.

k = Coeficiente conductivo del elemento.

h_2 = Coeficiente Convectivo interior.

Según esto el coeficiente global de transferencia se define como:

$$U = \frac{1}{R_{eq} A}$$

Ecuación 3. 6.

De esta manera la transferencia de calor global quedará expresada de la forma:

$$Q = U \cdot A \cdot (T_1 - T_2)$$

Ecuación 3. 7.

d) Radiación.

Se diferencian 2 tipos de radiación, la onda corta y la de onda larga.

La radiación de onda corta corresponde a la energía aportada por el sol sobre el edificio. Esta depende de la intensidad de la radiación directa así como del ángulo de incidencia y de la radiación difusa que impacta al edificio. Esta energía es de alta frecuencia y de mayor densidad. La radiación incidente en un ángulo θ , sobre el plano inclinado y orientado esta dado por (15):

$$R_{Total} = I \cdot \cos(\theta) \cos(A_z) + D$$

Ecuación 3. 8.

Donde:

I [$k/m^2 K$]: Radiación directa incidente.

D [$k/m^2 k$]: Radiación difusa.

θ : Ángulo de incidencia de la radiación solar sobre el plano.

A_z : Dirección cardinal en la que apunta la normal a la superficie receptora.

$A_z = 0$ Corresponde al Norte.

La radiación de onda larga proviene del calentamiento del edificio, el cual emite radiación hacia la bóveda celeste. La transferencia de

calor debido a la diferencia de temperaturas entre el edificio y su entorno se determina utilizando la ley Stefan-Boltzman como sigue:

$$Q_{1-2} = A_1 \cdot f_{1-2} \cdot \epsilon \cdot \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

Ecuación 3. 9.

Donde:

A_1 : Área de la superficie radiante.

f_{1-2} : Factor de forma entre 2 cuerpos. El factor de forma entre un cuerpo y la bóveda celeste es 1.

ϵ : Emisividad de la superficie radiante.

σ : **Constante de Stefan – Boltzman**.

La temperatura utilizada para la bóveda celeste será 6° C menor a la temperatura ambiente.

Todos los materiales poseen la capacidad de dejar pasar solo cierta cantidad de energía solar de una cara a la otra. En particular, en las ventanas se ha definido el coeficiente de ganancia solar (“Solar Heat Gain Coefficient”, SHGC), que representa la porción de radiación solar que traspasa la ventana y efectivamente ingresa al interior de una zona determinada.

De esta manera la energía transmitida por radiación solar al edificio será (15).

$$Q = R.A.SHGC$$

Ecuación 3. 10.

e) Inercia Térmica de un Cuerpo.

La inercia térmica es la capacidad que tiene un cuerpo de conservar la energía térmica recibida e ir liberándola progresivamente, disminuyendo de esta forma el aporte de climatización.

La inercia térmica o capacidad de almacenar energía de un material depende de su masa, su densidad, su calor específico y homogeneidad. Los edificios de gran inercia térmica tienen variaciones más estables ya que el calor acumulado durante el día se libera en el periodo nocturno, esto quiere decir que a mayor inercia térmica mayor estabilidad térmica.

La inercia térmica conlleva dos fenómenos, uno de ellos es el de la amortiguación en la variación de las temperaturas y otro es el retardo de la temperatura interior respecto a la exterior.

En régimen dinámico (cuando las condiciones son función del tiempo) se definen las siguientes propiedades para los materiales:

Admitancia térmica: relación entre la oscilación del flujo de calor que atraviesa una cara de un elemento y la oscilación de temperatura

que provoca en el ambiente adyacente. Representa la potencia energética necesaria para hacer oscilar un grado la temperatura, presenta las mismas unidades que la transmitancia o coeficiente global de transferencia.

Factor de amortiguación: indica la relación entre la oscilación de la temperatura exterior y la oscilación de la temperatura interior. Factores altos indican temperatura interiores muy estables.

Factor de desfase: indica en régimen dinámico el tiempo transcurrido entre las máximas temperaturas en cada una de las caras, exterior e interior, del material (15).

f) Generación del Calor Metabólico.

El ser humano genera calor debido a la actividad metabólica que produce. Este calor ha sido definido mediante una unidad llamada met donde 1 met equivale a $58,2 \text{ [W/m}^2 \text{ de piel]}$ y corresponde al calor generado por una persona que permanece quieta o en reposo. A partir de esto todas las actividades humanas se han dimensionado con cierta cantidad de met. Caminar está catalogado como 2 met, o bien, 116.4 W. Para describir a las personas que ocupan el edificio se utilizó un met de 1.7 o lo que es equivalente a 100 W debido a que sus actividades están dentro de las 2 actividades mencionadas anteriormente.

El aislamiento que la ropa provee al ser humano se ha estudiado y medido. La unidad de medida se llama “clo” y equivale a $0.155 [m^2 K/W]$. Esta es un aislamiento base y se refiere a la ropa tradicional que utiliza una persona, es decir zapatos, pantalón y camisa. Para distintas configuraciones de vestimenta este valor se modifica. El aislamiento provoca que el calor emitido por una persona se retarde en llegar al ambiente provocando una sensación de calor en la persona (15).

g) Generación de Calor Por Otros Equipos.

Se reconoce que todos los equipos que utilizan electricidad se calientan debido a su uso. Esto sucede en equipos de iluminación, computación, electrodomésticos, etc. Todo ese calor es emitido al ambiente a través de convección o radiación. Esta energía afectada por el sistema de climatización provoca una mayor carga sobre este en los meses estivales y alivia la carga en los meses de invierno.

La generación de calor por parte de la iluminación esta directamente ligada a la cantidad de la luz que se necesite en un ambiente. El nivel de iluminación se mide en lux. Así, por ejemplo, un escritorio de una oficina de trabajo necesita entre 400 y 500 [lux] para tener un nivel de iluminación adecuado a las tareas que ahí se desarrollan. Otro punto a considerar es que existen distintos tipos de iluminarias.

Es decir, la misma lámpara puede estar incluida en distintos tipos de luminaria. Los principales tipos de iluminarias son: suspendida del techo, montada en el techo, incrustada en el techo. Además se diferencian luminarias reflectantes y luminarias difusoras, siendo las primeras más eficientes (15).

i. Ventilación e Infiltraciones.

La ventilación controlada en un edificio debe aportar aire fresco suficiente para mantener un ambiente adecuado, es decir, una concentración de CO_2 menor a las 1.000 [ppm]. Una ventilación de 8[l/s] por ocupante es recomendable para una aplicación típica de oficina.

Además, existe una renovación natural del aire debido a la apertura de puertas y ventanas. Si un espacio permanece con sus puertas y ventanas cerradas, también tiene renovación de aire debido a fisuras en los marcos de las ventanas y puertas o grietas en los muros. A todas estas renovaciones de aire no controladas se les denomina infiltraciones.

El calor removido por ventilación e infiltraciones de aire queda dado por (15):

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Ecuación 3. 11.

Donde:

\dot{m} : Flujo másico de aire.

C_p : Calor específico del aire.

ΔT : Diferencia de temperatura entre el aire interior y el exterior.

Esta relación puede modificarse a términos de fácil cálculo. Así el flujo másico y el calor específico del aire son reemplazados por N: cantidad de renovaciones de aire y V: Volumen del recinto. Estas nuevas variables se multiplican por 1/3 para llegar a la ecuación 3.12:

$$Q = \frac{1}{3} \cdot N \cdot V \cdot \Delta T \text{ [W]}$$

Ecuación 3. 12.

CAPÍTULO 4

4. DESCRIPCIÓN DEL CASO A ESTUDIAR

En este capítulo se hará la descripción del edificio de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC), el cual, es el caso de estudio de esta tesis. Se detallará la localización, clima, forma y uso del edificio, debido a que estos son parámetros iniciales que necesita el programa Energy Plus para hacer el análisis de energía y carga térmica.

4.1. Localización y Clima

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.

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 % RH

Las condiciones interiores de diseño consideradas son las siguientes:

Temperatura de Bulbo seco:	22 °C
Humedad Relativa:	50 % RH

Índices ASHRAE

Con los mayores requerimientos para el confort, sobre todo con la aparición del aire acondicionado, se comenzaron a elaborar índices que pudieran predecir el comportamiento humano frente a las distintas acciones a la que esté sometido por su entorno (2).

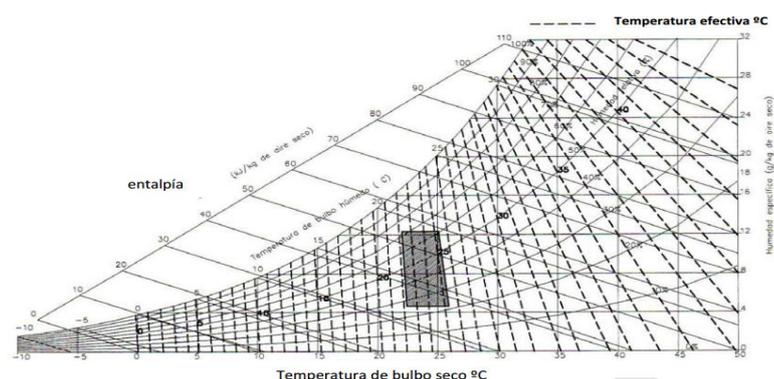


FIGURA 4.1. ÁBACO PSICOMÉTRICO DONDE SE REPRESENTA LA ZONA DE CONFORT DE ASHRAE (RAYADO EN GRIS) Y LA TEMPERATURA EFECTIVA (LÍNEAS PUNTEADAS), FUENTE UNIVERSIDAD DE KANSAS.

El clima en Guayaquil es cálido, un clima tropical que hace que prácticamente todo el año tenga buenas temperaturas, si bien las corrientes marinas del Niño y la de Humboldt hacen que haya dos temporadas, una calurosa, húmeda y lluviosa, que va de diciembre a abril, y otra más agradable, más seco y menos húmedo que va de mayo a diciembre.

TABLA 2
DATOS CLIMÁTICOS DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL,
BASADOS EN LA PÁGINA WEB CLIMA-TIEMPO (16).

	Latitud: -2°15			Altura: 5m		Longitud:-079°88	
	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Media (°C)	Precipitación Mensual (mm)	Velocidad media del viento (Km/h)		
Enero	32.9	21.8	26.4	156.4	8.75		
Febrero	32.7	22.2	26.7	396.7	7.56		
Marzo	34.5	22.4	27.9	232.1	10.83		
Abril	34.4	23.4	28.2	219.7	7.23		
Mayo	34.1	22.9	28.3	25.9	6.35		
Junio	34.5	21.8	27.9	2	7.9		
Julio	32.9	20.2	26.9	0	10.61		
Agosto	32.1	19.9	25.7	0	9.06		
Septiembre	33.8	20.7	26.2	0	6.46		
Octubre	33	19.3	25.4	0	11.53		
Noviembre	34.5	20.2	27.4	0	12.02		
Diciembre	34.8	20.7	28.4	1	7.47		

4.2. Forma del Edificio

En la siguiente figura se muestra la forma que tiene el edificio FIEC, el cual ya se encuentra construido, por lo que no es susceptible de cambios. La forma del edificio ayuda para calcular el área, la cantidad de ventanales y lucernarios que aportan carga térmica.

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



FIGURA 4. 2. FACHADA PRINCIPAL EDIFICIO FIEC.



FIGURA 4. 3. VISTA LATERAL EDIFICIO FIEC

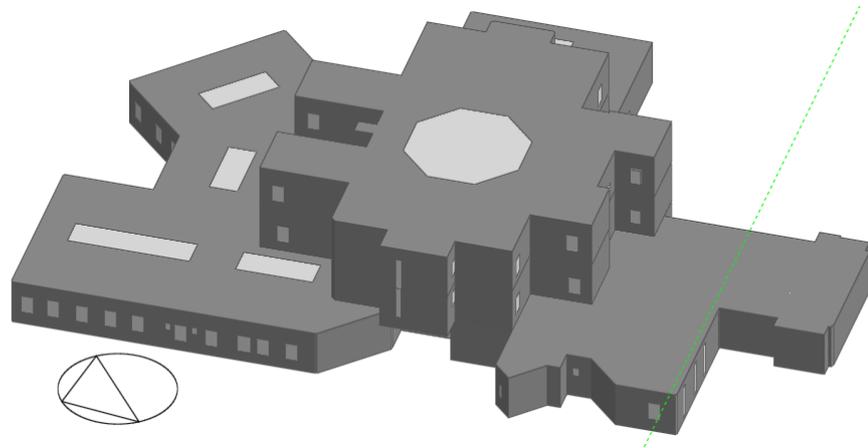


FIGURA 4. 4. VISTA DEL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN EN EL PROGRAMA DESIGN BUILDER.

4.3. Uso del Edificio

El edificio es utilizado como laboratorio de computación, aulas de clases, oficinas administrativas y de profesores y su horario de utilización es de 12 horas diarias.

Siguiendo las recomendaciones del manual de ASHRAE (18) las instalaciones de las universidades son similares a las de escuelas intermedias y secundarias (Tipo K-12), con la diferencia que, las universidades tienen más bloques dispersos en el campus.

Las universidades requieren de eficiencia en el control del ambiente para tener un apropiado lugar de aprendizaje. Esto involucra la

selección de la calefacción, ventilación, sistemas de aire acondicionado, equipos y controles para proveer una adecuada ventilación, calidad dentro de la habitación, confort.

Las siguientes son las consideraciones generales de diseño para cada una de las áreas que se encuentran típicamente en escuelas K-12:

Aulas.- Las aulas suelen oscilar entre 80 y 100 m² y están diseñadas normalmente para 20 a 30 estudiantes. Cada aula debe tener, como mínimo, calefacción y ventilación. El aire acondicionado debe ser considerado seriamente para los distritos escolares que tienen clases todo el año en climas cálidos y húmedos. En los climas húmedos, se deberá considerar seriamente la posibilidad de deshumidificación durante el verano, aunque la escuela no está ocupada, para evitar el moho (18).

TABLA 3.
DENSIDAD EN AULAS, BASADO EN ANSI/ASHRAE
STANDARD 62.1-2004, TABLAS 6-1 Y 6-4 (18).

AULAS	
ÁREA (m2)	ESTUDIANTES
80	20
100	30

Laboratorios de computación.- Estas habitaciones tienen alta carga de calor sensible debido a los equipos informáticos. Se pueden requerir un equipo de refrigeración adicional, tal como, pequeñas unidades de refrigeración “in situ” para compensar la carga adicional (18).

Áreas administrativas - La zona de oficinas requiere de un control individual, ya que, suelen estar ocupadas durante y después del horario de clases. Adicionalmente estas áreas se utilizan en períodos no escolares.

Los edificios de oficinas por lo general incluyen los espacios de la zona, tanto periféricos como interiores. Las zonas periféricas tienen

cargas variables debido a los cambios de posición y el tiempo. Sin embargo, los espacios interiores de la zona por lo general requieren volver a una velocidad de enfriamiento bastante uniforme durante todo el año debido a que sus cargas térmicas se derivan casi exclusivamente de las luces, equipo de oficina, y las personas.

La mayoría de los edificios de oficinas están ocupadas a partir de las 8:00 h a 18:00 h, y muchos están ocupados por algunos miembros del personal desde tan temprano como las 5:30 hasta tan tarde como las 19:00 h (19).

TABLA 4.
HORARIOS DE ATENCIÓN DE OFICINAS Y UNIDADES
EDUCATIVAS, BASADO EN ASHRAE “COMMERCIAL AND
PUBLIC BUILDINGS” (19).

	Según ASHRAE (19)	Utilizado en la simulación
Horario de oficina	DE 8:00 h A 18:00 h	DE 8:30 h A 17:00 h
Horario de clases	DE 5:30 h A 19:00 h	DE 7:30 h A 20:00 h
Horarios especiales	Horario nocturno no más de 22:00 h	-

Los edificios de oficinas pueden contener plantas de impresión, estudios de radiodifusión, y centros de cómputo, que podría

funcionar 24 horas al día. Por lo tanto, para la economía del diseño del aire acondicionado, los usos previstos de un edificio de oficinas deben estar bien establecidos antes del desarrollo del diseño (19).

La ocupación varía considerablemente en las secciones donde se realiza el trabajo de oficina, la densidad máxima es de aproximadamente una persona por 7 m² de superficie. Donde hay oficinas privadas, la densidad puede ser tan poco como una persona por 19 m². En otros casos como las salas de espera, salas de conferencias, o salas de directores la ocupación puede ser tan alta como una persona por cada 2 m² (19).

TABLA 5
DENSIDAD EN OFICINAS, BASADO EN ASHRAE
“COMMERCIAL AND PUBLIC BUILDING” (19).

ÁREA	PERSONAS/M ²
Contabilidad	0.14
Oficinas privadas	0.05
Salas de conferencias	0.50

La carga de iluminación en un edificio de oficinas es una parte significativa de la carga total de calor. Cargas de iluminación y de

otros equipos eléctricos promedio 10 a 50 W/m², pero puede ser considerablemente mayor, dependiendo del tipo de iluminación y la cantidad de equipo. Los edificios con sistemas informáticos de otros equipos electrónicos pueden tener cargas eléctricas tan altas como 50 a 110 W/m² (19).

TABLA 6
CARGAS DE ILUMINACIÓN Y OTROS EQUIPOS
ELÉCTRICOS BASADOS EN ASHRAE “COMMERCIAL AND
PUBLIC BUILDINGS” (19).

Áreas	Carga de iluminación y otros equipos (W/m ²)
Edificio de oficinas	10 a 50
Edificios con sistemas informáticos	50 a 110

La forma del edificio y la orientación son a menudo determinadas por la estructuración del sitio pero ciertas variaciones en estos factores pueden aumentar la carga de refrigeración de 10 a 15%. Forma y orientación, por lo tanto, debe ser analizado cuidadosamente en las primeras etapas del diseño (19).

Bibliotecas - Las bibliotecas deben tener aire acondicionado para preservar los libros y materiales almacenados en ellos. Véanse los capítulos 3 y 21 de Manual ASHRAE para información adicional.

Auditorios - Estas instalaciones requieren un ambiente tranquilo, así como de calefacción, ventilación y, en algunos casos, el aire acondicionado. Auditorios, no se utilizan a menudo, a excepción de las asambleas, la práctica de programas, y eventos especiales. Para otras consideraciones, véase el Capítulo 4 del manual ASHRAE.

En las universidades y escuelas es importante controlar la humedad y temperatura en distintas áreas.

TABLA 7

**HUMEDAD Y TEMPERATURA RECOMENDADA PARA ESCUELAS
Y UNIVERSIDADES BASADO EN ASHRAE ESTÁNDAR 55-2004
(18), PARA PERSONAS CON ROPA TÍPICA Y ACTIVIDAD
SEDENTARIA EN INVIERNO Y VERANO.**

Criterio de humedad	Temperatura (°C)	
	Verano	Invierno
Aulas, Laboratorios, bibliotecas, auditorios y oficinas		
30% rh	20.3 a 24.2	23.3 a 26.7
40%rh	20.0 a 23.9	23.1 a 26.7
50%rh	20.3 a 23.6	22.8 a 26.1
60%rh	19.7 a 23.3	22.8 a 25.8
Shops		
20 a 60 % rh	20.3 a 23.3	23.3 a 25.8
Cafetería		
20 a 30 % rh	21.1 a 23.3	28.9 a 31.1

Todas las escuelas necesitan aire exterior para ventilación. El aire exterior se introduce en las zonas ocupadas y luego es extraído por los ventiladores o aberturas de escape, la eliminación de contaminantes del aire interior generados por los ocupantes y de otras fuentes relacionadas con el edificio.

ANSI / ASHRAE 62.1-2004 se utiliza como la base para muchos códigos de construcción. Para definir los criterios de diseño de la ventilación, consulte la ventilación local aplicable y las normas de gases de escape. Tabla 8. Proporciona recomendaciones para el diseño de ventilación basados en el método de ventilación a tipo de interés y los criterios de filtración para las instalaciones educativas.

TABLA 8
CRITERIO DE DISEÑO PARA VENTILACIÓN DE UNIDADES
EDUCATIVAS, BASADO EN ANSI/ASHRAE STANDARD 62.1-2004
TABLA 6-1 Y 6-4 (18).

Categoría	Cambios de aire, L/s por persona	Densidad (Personas/100 m ²)
Aulas		
Edad de 5 a 8	7.4	25
Más de 9	6.7	35
Laboratorio de computación	7.4	25
Auditorio	2.7	150
Oficinas y áreas administrativas	8.5	5
Cafetería	4.7	100

Características de la carga de refrigeración, calefacción, deshumidificación, humidificación y los cálculos de carga y el equipo de tamaño adecuado son fundamentales para la eficiencia energética y la rentabilidad. Muchos programas de computación y

las metodologías de cálculo, tal como se describe en el capítulo 30 del 2005 ASHRAE Manual-Fundamentos, se pueden utilizar para estas tareas.

Los supuestos y los datos utilizados sobre la infiltración, la iluminación, cargas de equipos, de ocupación, etc., son fundamentales para los cálculos de carga adecuados. Aunque, el equipo tiene un tamaño máximo de un enfriamiento y calefacción, es muy importante analizar las ocurrencias de los picos de carga de enfriamiento latente y sensible.

En muchos casos, la carga máxima de enfriamiento sensible no coincide con carga máxima de enfriamiento latente. Ignorando este fenómeno puede resultar en humedad interior inaceptable.

Los picos de las cargas de enfriamiento generalmente ocurren al final de la jornada escolar. El máximo de temperatura por lo general ocurre temprano en la mañana, cuando las clases empiezan a ser ocupadas e ingresa cantidad al aire libre se introducirá en la zona.

Por lo general, las cargas de enfriamiento dominantes en las aulas son los ocupantes, sistemas de ventilación y el techo para la

calefacción. Dado el predominio de las cargas de ventilación, el esfuerzo especial debe hacerse para tratar con eficacia el aire exterior antes de su introducción en el espacio, como se discute con más detalle en la sección de Sistemas y selección de equipos de control de Humedad en edificios escolares.

El capítulo 18 del Manual ASHRAE está dedicado a las escuelas. Aulas requieren control de humedad para proporcionar confort y prevenir problemas relacionados con la humedad, por ejemplo, el crecimiento de los ácaros del polvo y hongos, que producen alérgenos e incluso subproductos tóxicos).

La baja humedad, por otro lado, favorece la longevidad de los virus infecciosos y, por lo tanto, su transmisión entre los ocupantes. Mantener los niveles de punto de rocío entre -1 y $15,5$ ° C satisface casi todas las personas casi todo el tiempo. Sin embargo, el diseñador debe discutir las expectativas de confort con el propietario, para evitar malos entendidos.

Las bibliotecas requieren control de humedad para proporcionar comodidad a los ocupantes humanos y también para proteger los libros y registros electrónicos. Mantener los niveles de punto de

rocío entre -1 y $15,5$ ° C proporciona un ambiente cómodo para los ocupantes de la biblioteca

Por lo general, el libro toma rápidamente la humedad, pero la pierden poco a poco. Para evitar el crecimiento de moho y hongos, se recomienda un punto de rocío por encima de -1 ° C con una humedad relativa máxima de 55% (17).

CAPÍTULO 5

5. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS MODELOS

En este capítulo se elaborara el modelo que tendrá como variable la carga total de enfriamiento. La carga variará dependiendo de los datos de entrada que serán modificados al ingresar en el programa para este caso de estudio.

5.1. Elaboración del Modelo

El edificio a analizar es de uso estudiantil, tiene aulas, laboratorios de computación, sala de profesores, auditorio, oficinas de administración y de profesores. El área administrativa es la más pequeña y es la que se mantendrá en uso todo el año, por el contrario, las aulas, auditorio y laboratorios solo se las usará en dos épocas del año, una comienza en mayo y termina en septiembre y, la segunda, empieza en octubre y termina en febrero.

Algunos de los datos de entrada ya se los nombró en el capítulo anterior, como es el área del edificio, la ubicación, clima, cargas internas debido a personas, infiltración, ventilación y luces. Estos datos de entrada son constantes y serán descritos a continuación.

Cargas internas debido a personas y equipos.- Este edificio es de uso estudiantil y oficina, que de acuerdo a la norma ASHRAE (18) tiene los siguientes valores:

TABLA 9
CARGAS INTERNAS DEBIDO A PERSONAS Y EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	ÁREA (m ²)	DENSIDAD (PERSONA/m ²)	EQUIPOS DE OFICINA(W/m ²)
AUDITORIO	342.86	1.5	3
OFICINA DE PROFESORES	1082.31	0.11	34
SALA DE REUNIONES	303.94	0.50	50
AULAS	748.65	0.35	60
PASILLOS	2915.39	0.07	0
OFICINAS GENERALES	215.35	0.15	34

ELABORADO POR RICHARD BRICENO 2012.

Los horarios de uso de instalaciones y equipos de oficinas en los meses de clases (Mayo-Septiembre y Octubre-Febrero) son los siguientes:

Las oficinas generales se asume que se mantienen funcionando al 100 %, debido a que sus ocupantes tienen horario y labores de oficina que deben cumplir.

En las oficinas de profesores se asume que son utilizadas en promedio un 15%, debido a que algunos profesores solo vienen en el horario de clases.

El auditorio y sala de reuniones son áreas de poco uso, para eventos, reuniones, conferencias, etc.; por lo que se asume que su horario de uso será al menos 1 vez al mes por ocho horas siendo utilizada al 100%.

Normalmente el pasillo central y sureste (Apéndice-10) es el que más se utiliza, debido a que este conecta a todas las aulas y oficinas generales, por lo que se asume que el porcentaje de uso de esta área es de 55%.

Las aulas y laboratorios no son utilizadas todas al mismo tiempo, por lo que su uso según los horarios de clases en promedio es de 45% entre semana y los fines de semana 25%.

Los horarios de los meses de vacaciones y diciembre se encuentran en Apéndice.

TABLA 10
HORARIO DE USO DE INSTALACIONES Y EQUIPOS DE OFICINA
EN LOS MESES DE CLASES (MAYO-SEPTIEMBRE Y OCTUBRE-
FEBRERO).

DESCRIPCIÓN	HORARIO	% USO
OFICINAS GENERALES	Lunes a Viernes De 8:30 hrs a 17:00 hrs.	100%.
OFICINAS DE PROFESORES	Lunes a Viernes De 9:30 hrs a 20:00 hrs.	15%.
AUDITORIO Y SALA DE REUNIONES	1 vez al mes por 8 horas.	100%
PASILLOS	Lunes a Viernes De 7:30 hrs a 20:00 hrs.	55%.
	Sábado De 9:00 hrs a 13:00 hrs.	35%.
AULAS	Lunes a Viernes De 7:30 hrs a 8:00 hrs.	45 %.
	Sábados De 9:00 hrs a 13:00 hrs.	25%.

ELABORADO POR RICHARD BRICENO 2012.

TABLA 11
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 12
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.

Infiltración.- para caso del estudio, se idealiza y se dice que va haber un ambiente completamente sellado, sin infiltraciones.

Ventilación.- como en los ambientes cerrados se generan olores, algunas veces por comidas o por olores mismos de las personas, la norma recomienda los siguientes valores dependiendo de las diferentes áreas para diluir esos olores.

TABLA 13
DATOS DE VENTILACIÓN, BASADOS EN ANSI/ASHRAE
ESTÁNDAR 62-1-2004. TABLA 6-1 Y 6-4 (18).

DATOS SELECCIONADOS PARA LA SIMULACIÓN		
DESCRIPCIÓN	ÁREA (m²)	VENTILACIÓN (L/S POR PERSONA)
AUDITORIO	342.86	2.7
OFICINA DE PROFESORES	1082.31	8.5
SALA DE REUNIONES	303.94	8.5
AULAS	748.65	6.7
PASILLOS	2915.39	4
OFICINAS GENERALES	215.35	8.5

Ventanas.- Los vidrios de las ventanas son claros y tienen 6 mm. de espesor. Tiene una transmitancia térmica de 5.778 W/m²K. Datos proporcionados por (3).

Lucernarios.- Los lucernarios serán de 10 mm. de espesor. Los lucernarios varían las características para cada modelo a analizar (3).

Paredes exteriores e interiores y losa con tumbado.- Las paredes exteriores tienen espesor de 19 cm., las interiores 15 cm. y la losa

con tumbado de 30 cm. Fueron elaboradas con bloques PL-9, PL-14 o PL 19 “ROCAFUERTE” .La arena utilizada es gruesa, libre de impurezas y debidamente cernida.

TABLA 14
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 15
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

Luces.- la potencia lumínica para edificios de uso estudiantil, según la norma ASHRAE (18):

TABLA 16
DATOS SELECCIONADOS DE POTENCIA LUMÍNICA PARA CADA
ÁREA, BASADOS EN NORMA ASHRAE “EDUCATIONAL
FACILITIES” (18).

DESCRIPCIÓN	ÁREA (m ²)	LUZ (W/m ²)
AUDITORIO	342.86	10
OFICINA DE PROFESORES	1082.31	20
SALA DE REUNIONES	303.94	20
AULAS	748.65	20
PASILLOS	2915.39	12
OFICINAS GENERALES	215.35	20

Los horarios de uso de luz artificial en los meses de clases (Mayo-Septiembre y Octubre-Febrero) son los siguientes:

En las oficinas generales se asume que la luz artificial se utiliza al 100 % durante el horario de uso de las oficinas.

En las oficinas de profesores, auditorios, aulas y sala de reuniones se asume que la luz artificial se utiliza en el mismo porcentaje que son utilizadas estas áreas Tabla 10.

Los pasillos utilizan luz artificial al 100 % en la noche, ya que en el día tienen luz natural debido a los lucernarios.

Los horarios de los meses de vacaciones y diciembre se encuentran en Apéndice.

TABLA 17
HORARIO DE USO DE LUZ ARTIFICIAL EN LOS MESES DE CLASES (MAYO-SEPTIEMBRE Y OCTUBRE-FEBRERO).

DESCRIPCIÓN	HORARIO	% USO
OFICINAS GENERALES	Lunes a Viernes De 8:30 hrs a: 17:00 hrs.	100%.
OFICINAS DE PROFESORES	Lunes a Viernes De 9:30 hrs a: 20:00 hrs.	15%.
AUDITORIO Y SALA DE REUNIONES	Lo tome en cuenta como si se utilizara estas áreas 1 vez al mes por 8 horas.	100%
PASILLOS	Lunes a Viernes De 6:00 hrs a: 20:00 hrs.	100%.
AULAS	Lunes a Viernes De 7:30 hrs a: 20:00 hrs.	45 %.
	Sábados De 9:00 hrs a 13:00 hrs.	20%.

ELABORADO POR RICHARD BRICENO 2012.

La Tabla 18 muestra un resumen de los datos seleccionados para realizar la simulación del edificio de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación.

TABLA 18
DATOS SELECCIONADOS PARA LA SIMULACIÓN.

DESCRIPCIÓN	ÁREA (m ²)	LUZ (W/m ²)	DENSIDAD (PERSONA/m ²)	VENTILACIÓN (L/S POR PERSONA)	EQUIPOS DE OFICINA(W/m ²)
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

ELABORADO POR RICHARD BRICENO 2012.

5.2 Estudios de Simulación.

Para determinar las medidas más adecuadas de eficiencia energética es necesario realizar 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. Se estudia el consumo real de energía del edificio.

TABLA 19
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 20
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 21.
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 22
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 23
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.

5.3 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 en Electricidad 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 5.1. 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.

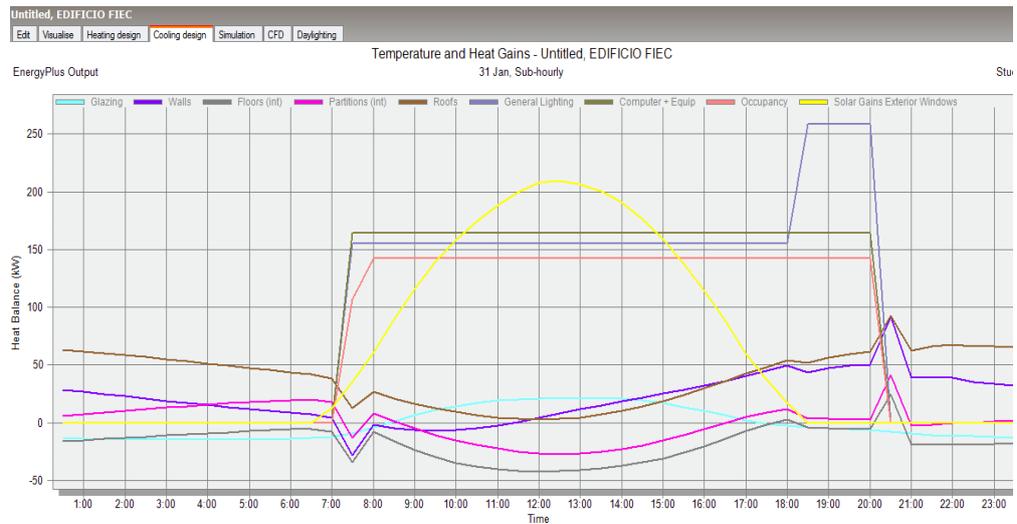


FIGURA 5. 1. GANANCIAS CALORÍFICAS MODELO 1

El máximo calor generado por ventanas es de 21.20 kW a las 13:00 hrs.

El máximo calor generado por las paredes es de 92.87 kW a las 20:30 hrs.

El máximo calor generado por el piso es de 41.46 kW a las 8:30 hrs.

El máximo calor generado por las paredes internas es de 41.46 kW a las 8:30 hrs.

El máximo calor generado por techo es de 92.87 kW a las 20:30 hrs.

El calor máximo generado por las luces es de 258.15 kW, en todo el día desde las 18:30 hrs hasta las 20:00 hrs.

El calor generado por computadoras y equipos eléctricos es 164.57 kW desde las 7:30 hrs hasta 20:00 hrs.

El calor generado por ocupantes es de 142.23 kW de 8:00 hrs a 20:00 hrs.

El máximo calor generado por lucernarios de 209.27 kW a las 12:30 hrs.

La Tabla 24. Muestra un resumen del cálculo de carga térmica en kW que tiene el edificio en el día más caluroso del año.

TABLA 24
ANÁLISIS DE CARGA TÉRMICA DEL EDIFICIO MODELO 1.

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	20.08	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 5.2 muestra la variación del consumo eléctrico del edificio de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Co para los equipos de aire acondicionado, iluminación general, computadoras y equipos eléctricos en todo el año.

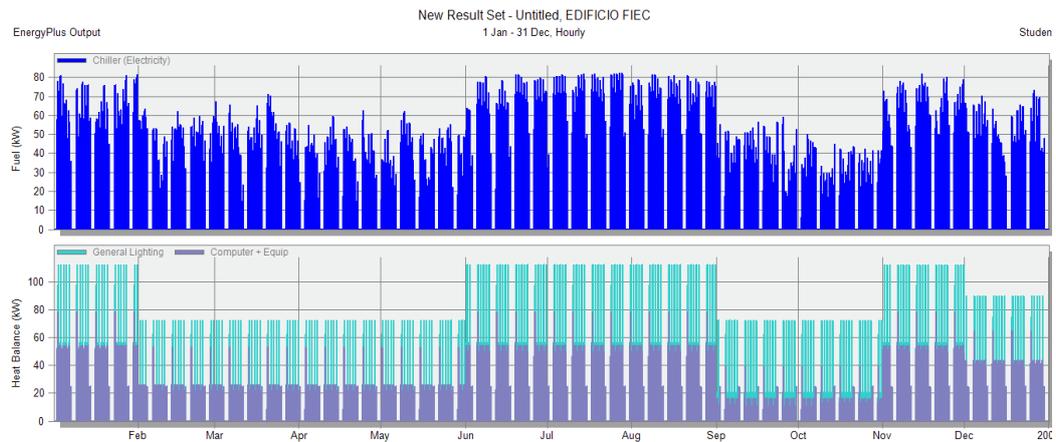


FIGURA 5. 2. CONSUMO ENERGÉTICO MODELO 1.

CONSUMO ELÉCTRICO DE LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO

Días normales de clases (Enero, Junio, julio agosto, Noviembre) tiene un consumo promedio de 63.67 kWh.

Días de vacaciones en los meses de febrero, marzo, abril y mayo tiene un consumo promedio de 50.77 kWh.

Días de vacaciones en los meses de septiembre y octubre tiene un consumo promedio de 41.41 kWh.

En el mes de diciembre el consumo promedio es de 57.14 kWh.

CONSUMO ELÉCTRICO DEL ALUMBRADO DEL EDIFICIO

Días normales de clases (Enero, Junio, Agosto, Noviembre) tiene un consumo promedio de 112.57 kWh.

Días de vacaciones en los meses de febrero, marzo, abril, mayo tiene un consumo de 72.34 kWh.

Días de vacaciones en los meses de septiembre y octubre tiene un consumo promedio de 72.34 kWh.

En el mes de Diciembre el consumo promedio es de 90.22 kWh.

CONSUMO ELÉCTRICO DE COMPUTADORAS Y EQUIPOS ELECTRÓNICOS DEL EDIFICIO.

Días normales de clases (Enero, Junio, Agosto, Noviembre) tiene un consumo promedio de 51.72 kWh.

Días de vacaciones en los meses de febrero, marzo, abril, mayo tiene un consumo promedio de 23.86 kWh.

Días de vacaciones en los meses de septiembre y octubre tiene un consumo promedio de 15.91 kWh.

En el mes de Diciembre el consumo promedio es de 41.27 kWh.

La Tabla 25. Muestra un resumen del consumo energético del edificio de la FIEC en todo el año.

TABLA 25

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.

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 5.3. 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.

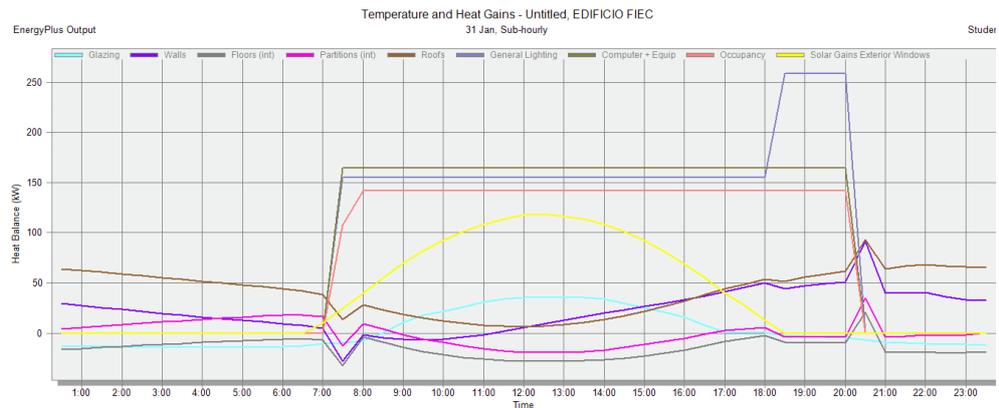


FIGURA 5. 3. GANANCIAS CALORÍFICAS MODELO 2

El máximo calor generado por ventanas es de 36.14 kW a 13:00 hrs.

El máximo calor generado por las paredes es de 92.74 kW a las 20:30 hrs.

El máximo calor generado por el piso es de 21.17 kW a las 20:30 hrs.

El máximo calor generado por las paredes internas es de 35 kW a las 8:30 hrs.

El máximo calor generado por techo es de 92.74 kW a las 20:30 hrs.

El calor máximo generado por las luces es de 258.15 kW , en todo el día desde las 18:30 hrs hasta las 20:00 hrs.

El calor generado por computadoras y equipos eléctricos es 164.57 kW desde las 7:30 hrs hasta 20:00 hrs.

El calor generado por ocupantes es de 142.23 kW de 8:00 hrs a 20:00 hrs.

El máximo calor generado por lucernarios es de 118.20 kW a las 12:30 hrs.

La Tabla 26. Muestra un resumen del cálculo de carga térmica en kW que tiene el edificio en el día más caluroso del año.

TABLA 26
ANÁLISIS DE CARGA TÉRMICA DEL EDIFICIO MODELO 2.

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 5.4 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.

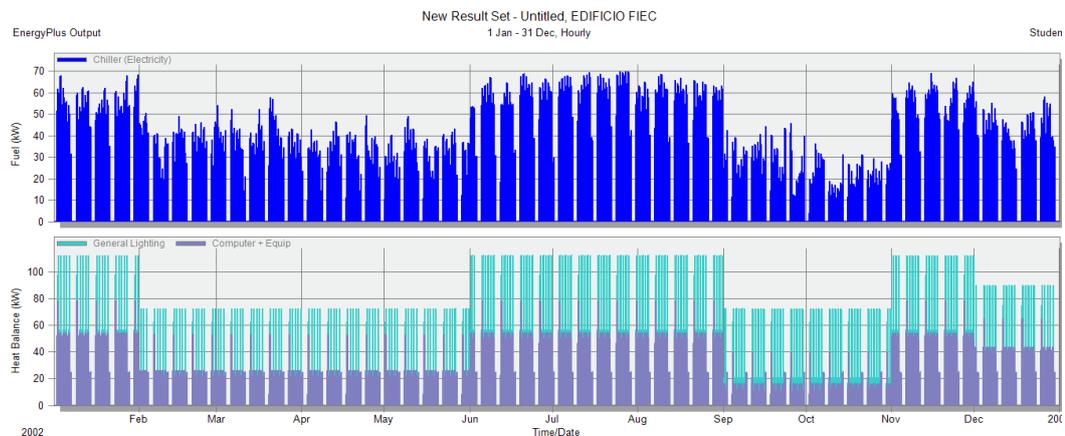


FIGURA 5. 4. CONSUMO ENERGÉTICO MODELO 2.

CONSUMO ELÉCTRICO DE LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO

Días normales de clases (Enero, Junio, julio agosto, Noviembre) tiene un consumo promedio de 55.06 kWh.

Días de vacaciones en los meses de febrero, marzo, abril y mayo tiene un consumo promedio de 43.17 kWh.

Días de vacaciones en los meses de septiembre y octubre tiene un consumo promedio de 32.75 kWh.

En el mes de diciembre el consumo promedio es de 46.24 kWh.

CONSUMO ELÉCTRICO DEL ALUMBRADO DEL EDIFICIO

Días normales de clases (Enero, Junio, Agosto, Noviembre) tiene un consumo promedio de 112.57 kWh.

Días de vacaciones en los meses de febrero, marzo, abril, mayo, tiene un consumo promedio de 72.34 kWh.

Días de vacaciones en los meses de septiembre y octubre tiene un consumo promedio de 72.34 kWh.

En el mes de Diciembre el consumo promedio es de 90.22 kWh.

CONSUMO ELÉCTRICO DE COMPUTADORAS Y EQUIPOS ELECTRÓNICOS DEL EDIFICIO.

Días normales de clases (Enero, Junio, Agosto, Noviembre) tiene un consumo promedio de 52.40 kWh.

Días de vacaciones en los meses de febrero, marzo, abril y mayo tiene un consumo promedio de 23.86 kWh

Días de vacaciones en los meses de septiembre y octubre tiene un consumo promedio de 16.65 kWh.

En el mes de Diciembre el consumo promedio es de 41.27 kWh.

La Tabla 27. Muestra un resumen del consumo energético del edificio de la FIEC de todo el año.

TABLA 27
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 5.5. Muestra las ganancias térmicas que tiene la edificación como son: las ganancias que ingresan por las paredes, por las ventanas, lucernarios de policarbonato alveolar incoloro, techo, iluminación, computadoras y equipos eléctricos, calor generado por las personas que laboran dentro del edificio.

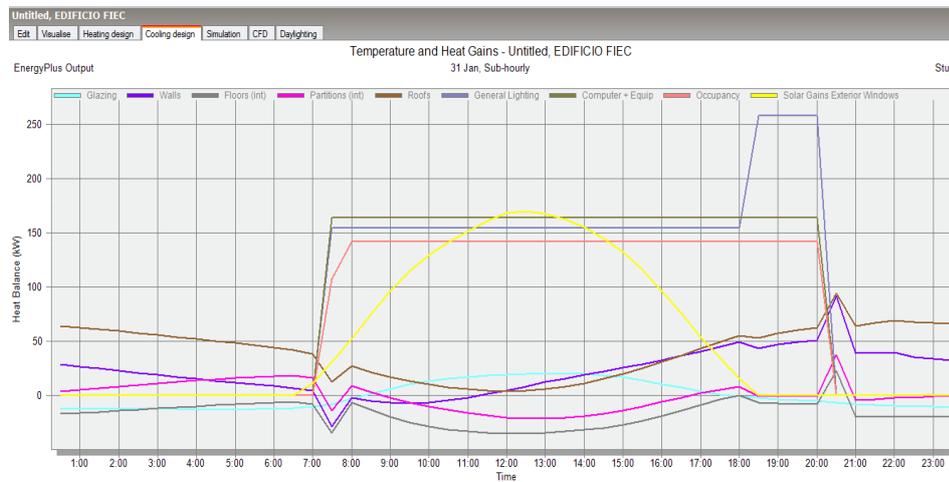


FIGURA 5.5. GANANCIAS CALORÍFICAS MODELO 3

El máximo calor generado por ventanas es de 20.06 kW a 13:00 hrs.

El máximo calor generado por las paredes es de 91.91 kW a las 20:30 hrs.

El máximo calor generado por el piso es de 22.85 kW a las 20:30 hrs.

El máximo calor generado por las paredes internas es de 37.83 kW a las 8:30 hrs.

El máximo calor generador por techo es de 94.58 kW a las 20: 30 hrs.

El calor máximo generado por las luces es de 258.15 kW , en todo el día desde las 18:30 hrs hasta las 20:00 hrs.

El calor generado por computadoras y equipos eléctricos es 164.57 kW desde las 7:30 hrs hasta 20:00 hrs.

El calor generado por ocupantes es de 142.23 kW de 8:00 hrs a 20:00 hrs.

El máximo calor generado por lucernarios de 170.09 kW a las 12:30 hrs.

La Tabla 28. Muestra un resumen del cálculo de carga térmica en kW que tiene el edificio en el día más caluroso del año.

TABLA 28
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 5.6. Muestra la variación del consumo eléctrico del edificio de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación para los equipos de aire acondicionado, iluminación general, computadoras y equipos eléctricos en todo el año.

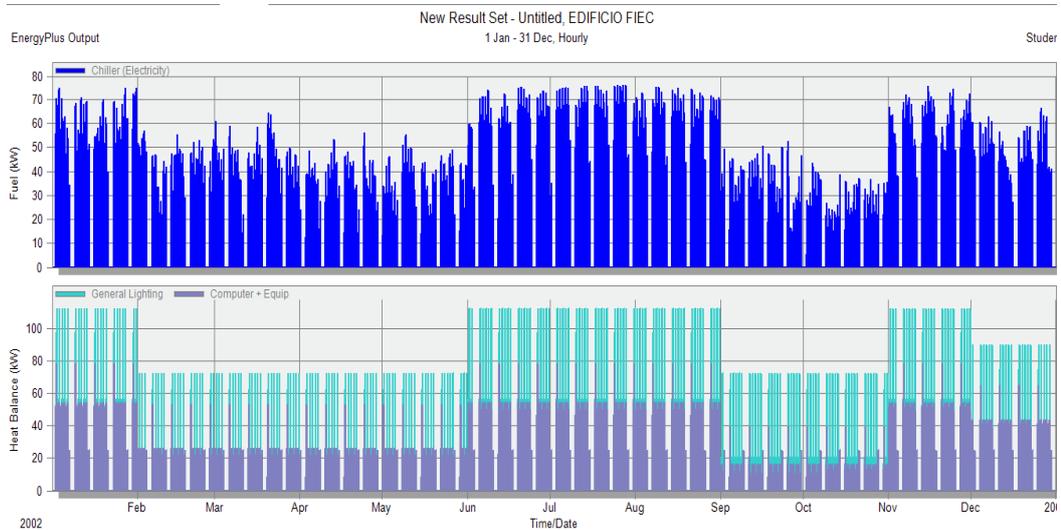


FIGURA 5. 6. CONSUMO ENERGÉTICO MODELO 3

CONSUMO ELÉCTRICO DE LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO

Días normales de clases (Enero, Junio, julio agosto, Noviembre) tiene un consumo promedio de 58.70 kWh.

Días de vacaciones en los meses de febrero, marzo, abril y mayo tiene un consumo promedio de 45.42 kWh.

Días de vacaciones en los meses de septiembre y octubre tiene un consumo promedio de 40.84 kWh.

En el mes de diciembre el consumo promedio es de 50.75 kWh.

CONSUMO ELÉCTRICO DEL ALUMBRADO DEL EDIFICIO

Días normales de clases (Enero, Junio, Agosto, Noviembre) tiene un consumo promedio de 112.57 kWh.

Días de vacaciones en los meses de febrero, marzo, abril, mayo tiene un consumo de 72.34 kWh.

Días de vacaciones en los meses de septiembre y octubre tiene un consumo promedio de 72.34 kWh.

En el mes de Diciembre el consumo promedio es de 90.22 kWh.

CONSUMO ELÉCTRICO DE COMPUTADORAS Y EQUIPOS ELECTRÓNICOS DEL EDIFICIO.

Días normales de clases (Enero, Junio, Agosto, Noviembre) tiene un consumo promedio de 52.41 kWh.

Días de vacaciones en los meses de febrero, marzo, abril, mayo tiene un consumo promedio de 23.86 kWh.

Días de vacaciones en los meses de septiembre y octubre tiene un consumo promedio de 16.65 kWh.

En el mes de Diciembre el consumo promedio es de 41.27 kWh.

Tabla 29. Muestra un resumen del consumo energético del edificio de la FIEC en todo el año.

TABLA 29
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 es un 20% menos y se supone que se instala Policarbonato alveolar tipo Opal.

En la Figura 5.7. Muestra las ganancias térmicas que tiene la edificación como son: las ganancias que ingresan por las paredes, por las ventanas, lucernarios de policarbonato alveolar opal, techo, iluminación, computadoras y equipos eléctricos, calor generado por las personas que laboran dentro del edificio.

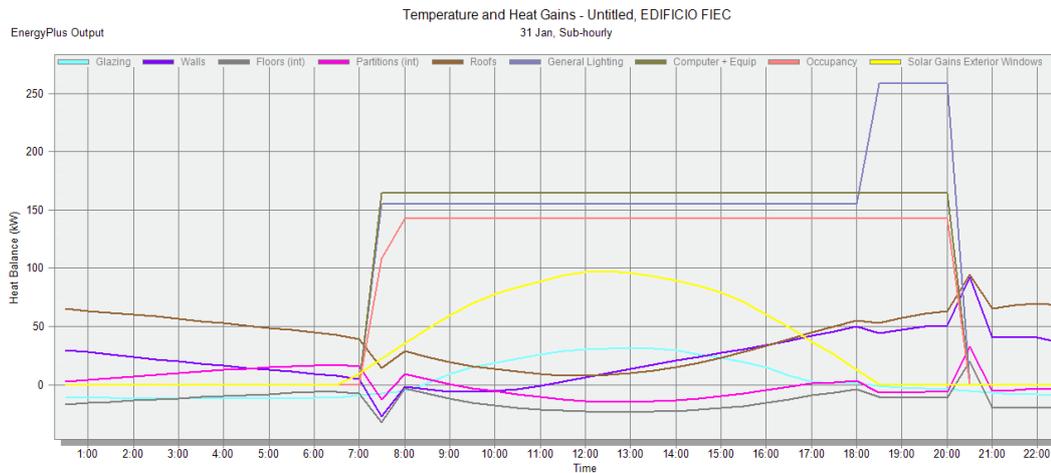


FIGURA 5. 7. GANANCIAS CALORÍFICAS MODELO 4

El máximo calor generado por ventanas es de 31.15 kW a 13:00 hrs.

El máximo calor generado por las paredes es de 91.97 kW a las 20:30 hrs.

El máximo calor generado por el piso es de 19.92 kW a las 20:30 hrs.

El máximo calor generado por las paredes internas es de 32.51 kW a las 8:30 hrs.

El máximo calor generador por techo es de 94.45 kW a las 20: 30 hrs.

El calor máximo generado por las luces es de 258.15 kW , en todo el día desde las 18:30 hrs hasta las 20:00 hrs.

El calor generado por computadoras y equipos eléctricos es 164.57 kW desde las 7:30 hrs hasta 20:00 hrs.

El calor generado por ocupantes es de 142.23 kW de 8:00 hrs a 20:00 hrs.

El máximo calor generado por lucernarios de 97.20 kW a las 12:30 hrs.

La Tabla 30. Muestra un resumen del cálculo de carga térmica en kW que tiene el edificio en el día más caluroso del año.

TABLA 30.
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 5.8 Muestra la variación del consumo eléctrico del edificio de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación para los equipos de aire acondicionado, iluminación general, computadoras y equipos eléctricos en todo el año.

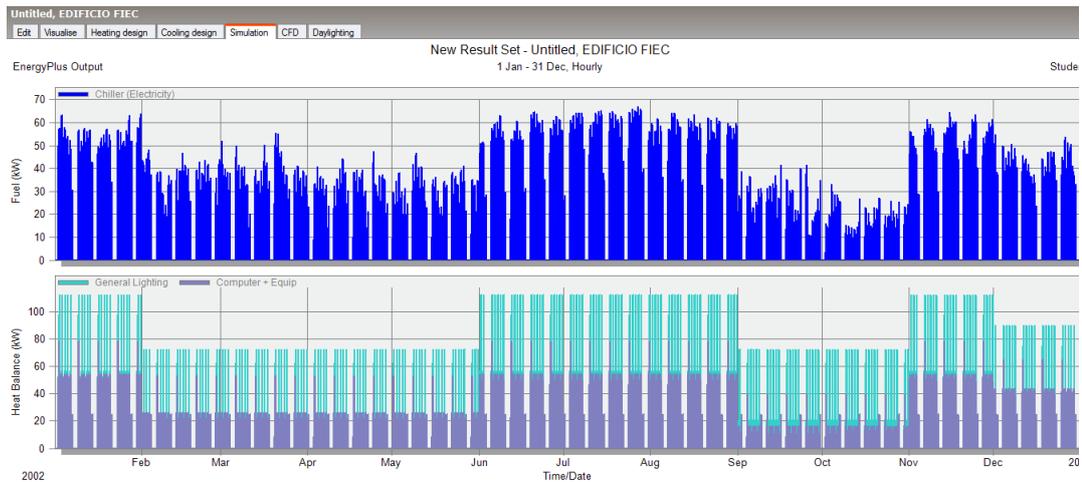


FIGURA 5. 8. CONSUMO ENERGÉTICO MODELO 4.

CONSUMO ELÉCTRICO DE LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO

Días normales de clases (Enero, Junio, julio agosto, Noviembre) tiene un consumo promedio de 53.64 kWh.

Días de vacaciones en los meses de febrero, marzo, abril y mayo tiene un consumo promedio de 41.07 kWh.

Días de vacaciones en los meses de septiembre y octubre tiene un consumo promedio de 29.09 kWh.

En el mes de diciembre el consumo promedio es de 44.44 kWh.

CONSUMO ELÉCTRICO DEL ALUMBRADO DEL EDIFICIO

Días normales de clases (Enero, Junio, Agosto, Noviembre) tiene un consumo promedio de 112.57 kWh.

Días de vacaciones en los meses de febrero, marzo, abril, mayo tiene un consumo de 72.34 kWh.

Días de vacaciones en los meses de septiembre y octubre tiene un consumo promedio de 72.34 kWh.

En el mes de Diciembre el consumo promedio es de 90.22 kWh.

CONSUMO ELÉCTRICO DE COMPUTADORAS Y EQUIPOS ELECTRÓNICOS DEL EDIFICIO.

Días normales de clases (Enero, Junio, Agosto, Noviembre) tiene un consumo promedio de 51.72 kWh.

Días de vacaciones en los meses de febrero, marzo, abril, mayo tiene un consumo promedio de 23.86 kWh.

Días de vacaciones en los meses de septiembre y octubre tiene un consumo promedio de 16.65 kWh.

En el mes de Diciembre el consumo promedio es de 41.27 kWh.

La Tabla 31. Muestra un resumen del consumo energético del edificio de la FIEC en todo el año.

TABLA 31

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 (APÉNDICE A-10) .

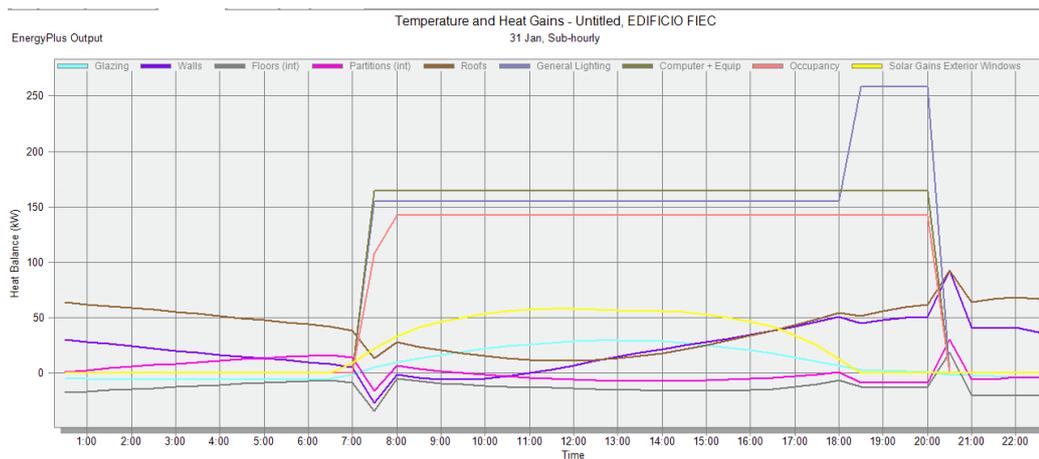


FIGURA 5. 9. GANANCIAS CALORÍFICAS MODELO 5.

En la Figura 5.9. 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.

El máximo calor generado por ventanas es de 29.03 kW a 13:00 hrs.

El máximo calor generado por las paredes es de 92.37 kW a las 20:30 hrs.

El máximo calor generado por el piso es de 18.29 kW a las 20:30 hrs.

El máximo calor generado por las paredes internas es de 29.98 kW a las 8:30 hrs.

El máximo calor generado por techo es de 92.37 kW a las 20: 30 hrs.

El calor máximo generado por las luces es de 258.15 kW , en todo el día desde las 18:30 hrs hasta las 20:00 hrs.

El calor generado por computadoras y equipos eléctricos es 164.57 kW desde las 7:30 hrs hasta 20:00 hrs.

El calor generado por ocupantes es de 142.23 kW de 8:00 hrs a 20:00 hrs.

El máximo calor generado por lucernarios de 57.73 kW a las 12:00 hrs.

La Tabla 32. Muestra un resumen del cálculo de carga térmica en kW que tiene el edificio en el día más caluroso del año.

TABLA 32
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 5.10. Muestra la variación del consumo eléctrico del edificio de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computaciones para los equipos de aire acondicionado, iluminación general, computadoras y equipos eléctricos en todo el año.

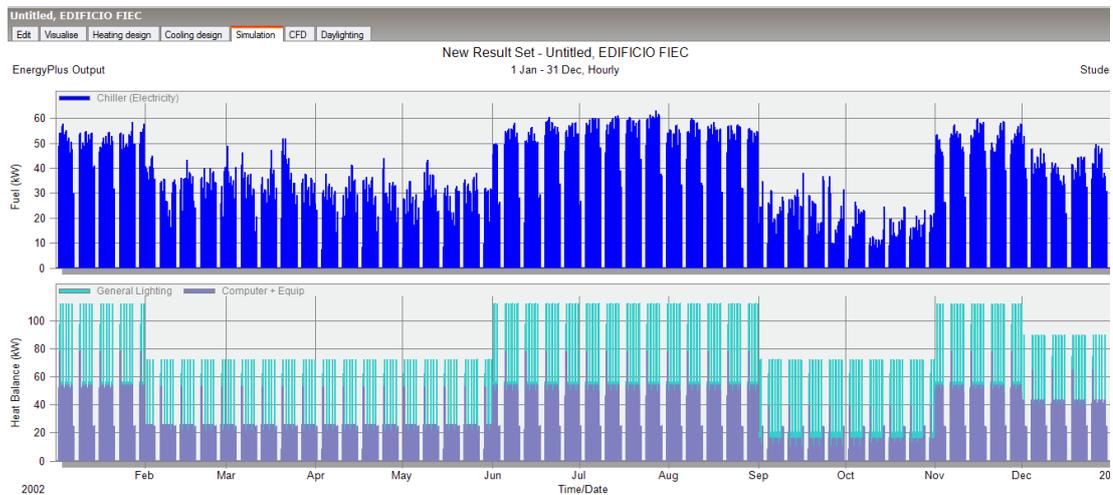


FIGURA 5. 10. CONSUMO ENERGÉTICO MODELO 5.

CONSUMO ELÉCTRICO DE LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO

Días normales de clases (Enero, Junio, julio agosto, Noviembre) tiene un consumo promedio de 52.17 kWh.

Días de vacaciones en los meses de febrero, marzo, abril y mayo tiene un consumo promedio de 37.79 kWh.

Días de vacaciones en los meses de septiembre y octubre tiene un consumo promedio de 23.60 kWh.

En el mes de diciembre el consumo promedio es de 39.94 kWh.

CONSUMO ELÉCTRICO DEL ALUMBRADO DEL EDIFICIO

Días normales de clases (Enero, Junio, Agosto, Noviembre) tiene un consumo promedio de 112.57 kWh.

Días de vacaciones en los meses de febrero, marzo, abril, mayo tiene un consumo de 72.34 kWh.

Días de vacaciones en los meses de septiembre y octubre tiene un consumo promedio de 72.34 kWh.

En el mes de Diciembre el consumo promedio es de 90.22 kWh.

CONSUMO ELÉCTRICO DE COMPUTADORAS Y EQUIPOS ELECTRÓNICOS DEL EDIFICIO.

Días normales de clases (Enero, Junio, Agosto, Noviembre) tiene un consumo promedio de 52.41 kWh.

Días de vacaciones en los meses de febrero, marzo, abril, mayo tiene un consumo promedio de 23.86 kWh.

Días de vacaciones en los meses de septiembre y octubre tiene un consumo promedio de 16.65 kWh.

En el mes de Diciembre el consumo promedio es de 41.27 kWh.

La Tabla 33. Muestra un resumen del consumo energético del edificio de la FIEC en todo el año.

TABLA 33
CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL MODELO 5.

DESCRIPCIÓN	CONSUMO ENERGÉTICO (Kw Anual)
MODELO 5	1197316.70

MODELO 6

En el modelo 6, se procede 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 5.11. 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.

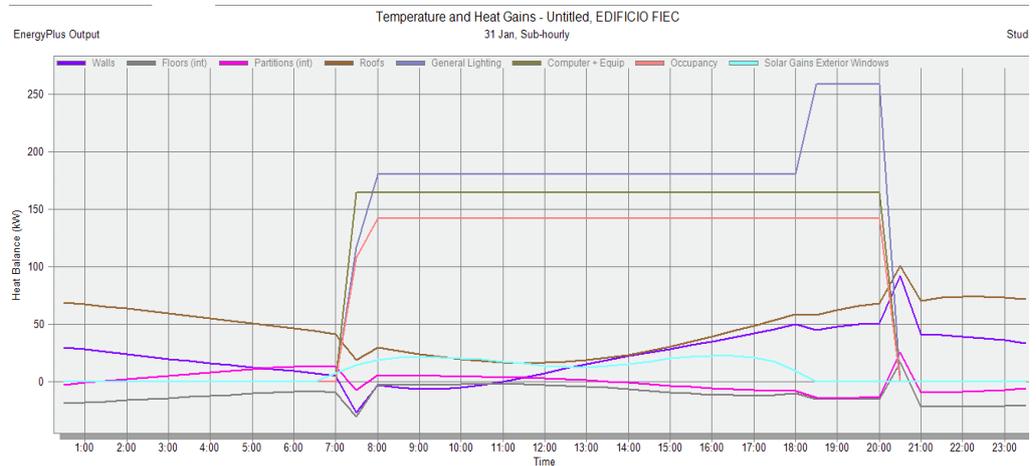


FIGURA 5. 11. GANANCIAS CALORÍFICAS MODELO 6

El máximo calor generado por ventanas es de 22.72 kW a 16:00 hrs.

El máximo calor generado por las paredes es de 92.17 kW a las 20:30 hrs.

El máximo calor generado por el piso es de 16.33 kW a las 20:30 hrs.

El máximo calor generado por las paredes internas es de 25.23 kW a las 8:30 hrs.

El máximo calor generador por techo es de 100.74 kW a las 20: 30 hrs.

El calor máximo generado por las luces es de 258.15 kW , en todo el día desde las 18:30 hrs hasta las 20:00 hrs.

El calor generado por computadoras y equipos eléctricos es 164.57 kW desde las 7:30 hrs hasta 20:00 hrs.

El calor generado por ocupantes es de 142.23 kW de 8:00 hrs a 20:00 hrs.

La Tabla 34. Muestra un resumen del cálculo de carga térmica en kW que tiene el edificio en el día más caluroso del año.

TABLA 34
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

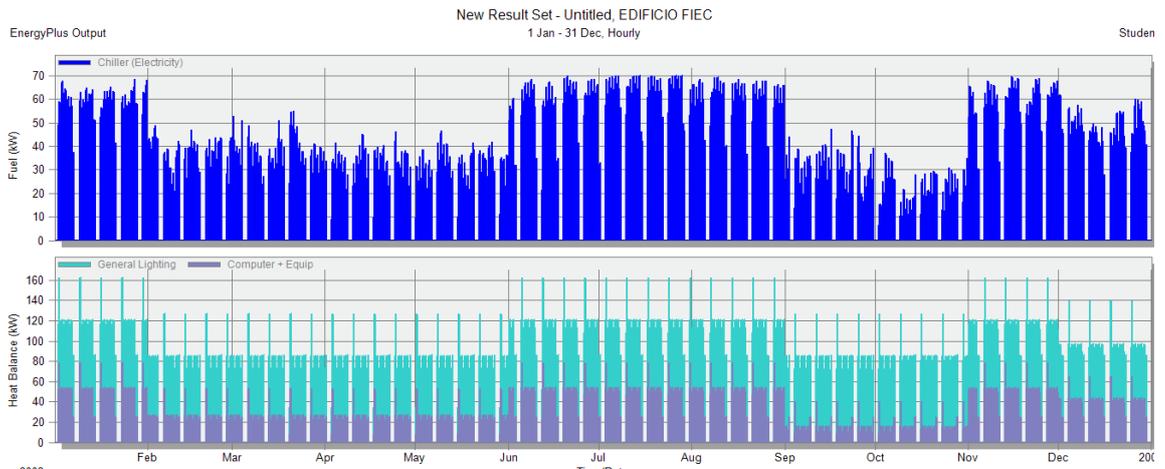


FIGURA 5. 12. CONSUMO ENERGÉTICO MODELO 6.

La Figura 5.12. Muestra la variación del consumo eléctrico del edificio de la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación para los equipos de aire acondicionado, iluminación general, computadoras y equipos eléctricos en todo el año.

CONSUMO ELÉCTRICO DE LOS EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO

Días normales de clases (Enero, Junio, julio agosto, Noviembre) tiene un consumo promedio de 63.46 kWh.

Días de vacaciones en los meses de febrero, marzo, abril y mayo tiene un consumo promedio de 38.29 kWh.

Días de vacaciones en los meses de septiembre y octubre tiene un consumo promedio de 34.44 kWh.

En el mes de diciembre el consumo promedio es de 48.13 kWh.

CONSUMO ELÉCTRICO DEL ALUMBRADO DEL EDIFICIO

Días normales de clases (Enero, Junio, Agosto, Noviembre) tiene un consumo promedio de 116.51 kWh.

Días de vacaciones en los meses de febrero, marzo, abril, mayo tiene un consumo de 80.75 kWh.

Días de vacaciones en los meses de septiembre y octubre tiene un consumo promedio de 80.75 kWh.

En el mes de Diciembre el consumo promedio es de 93.35 kWh.

CONSUMO ELÉCTRICO DE COMPUTADORAS Y EQUIPOS ELECTRÓNICOS DEL EDIFICIO.

Días normales de clases (Enero, Junio, Agosto, Noviembre) tiene un consumo promedio de 54.22 kWh.

Días de vacaciones en los meses de febrero, marzo, abril, mayo tiene un consumo promedio de 23.36 kWh.

Días de vacaciones en los meses de septiembre y octubre tiene un consumo promedio de 13.41 kWh.

En el mes de Diciembre el consumo promedio es de 43.77 kWh.

La Tabla 35. Muestra un resumen del consumo energético del edificio de la FIEC en todo el año.

TABLA 35
CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL MODELO 6.

DESCRIPCIÓN	CONSUMO ENERGÉTICO (kW Anuales)
MODELO 6	1854449.39

La Tabla 36. Muestra un resumen de la carga térmica de cada modelo.

TABLA 36
TABLA DE RESULTADOS.

DESCRIPCIÓN	ÁREA LUCERNARIOS (m ²)	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

La Tabla 37. Muestra un resumen del consumo energético anual y gasto mensual en dólares en cada modelo.

TABLA 37
CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL Y GASTO MENSUAL EN
DÓLARES DE CADA MODELO.

DESCRIPCIÓN	CONSUMO ENERGÉTICO (kW Anuales)	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

CAPÍTULO 6

6. 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 caloríficas y consumo de energía eléctrica de todos los modelos se toma como ejemplo la Figura 5.1 y Figura 5.2.

La Figura 5.1. 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 a lo largo del 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 finalizan las clases.

La Figura 5.2 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 período 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 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 6.1. Muestra la ubicación de cada pasillo.

HORARIO Teaching Areas

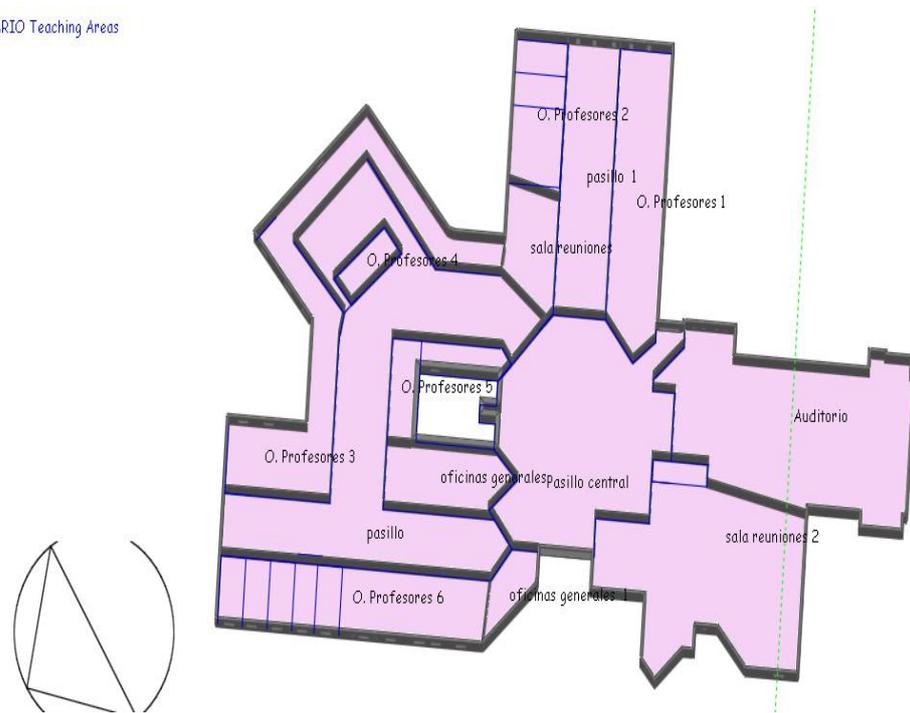


FIGURA 6. 1. ÁREAS PLANTA BAJA EDIFICIO FIEC

En la Figura 6.1. Se observa que el área de pasillos está separada en 3 espacios:

-Pasillo: ubicado en el área noreste. Es el área común entre las oficinas de profesores.

-Pasillo 1: ubicado en el área Sureste. Es el área común entre algunas oficinas de profesores y la sala de reuniones.

-Pasillo central: Es el área común de las aulas de clases.

En la Figura 6.2. se observa la carga térmica para el pasillo central, donde, el modelo 6 es el que tiene menor valor con 79.59 kW. Esto se

debe a que en 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 el 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.

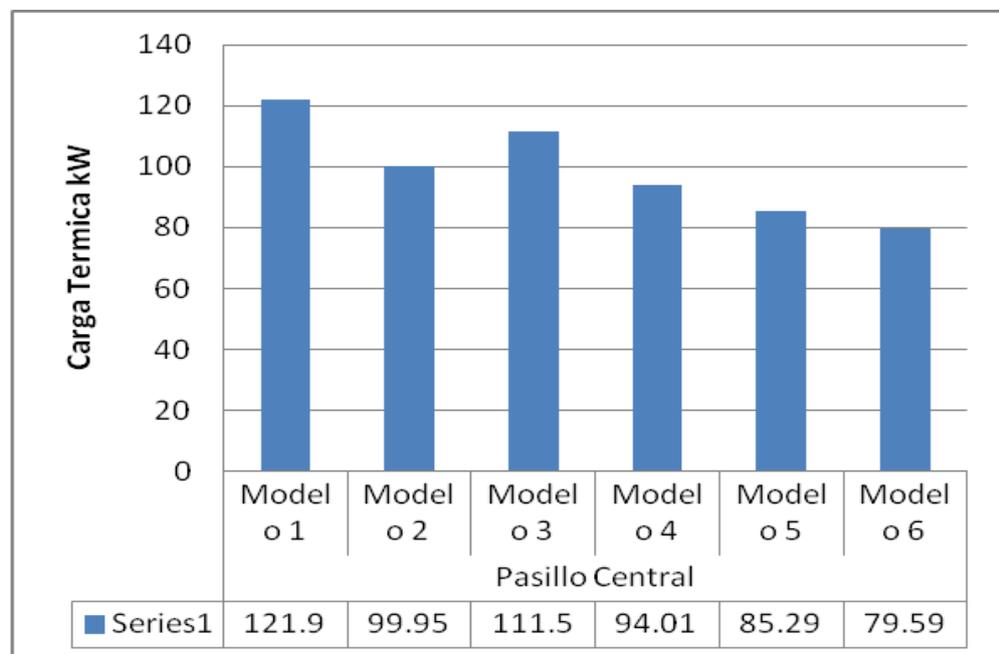


FIGURA 6. 2. COMPARACIÓN DE CARGAS TÉRMICAS DEL PASILLO CENTRAL

En la Figura 6.3. se observan 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.

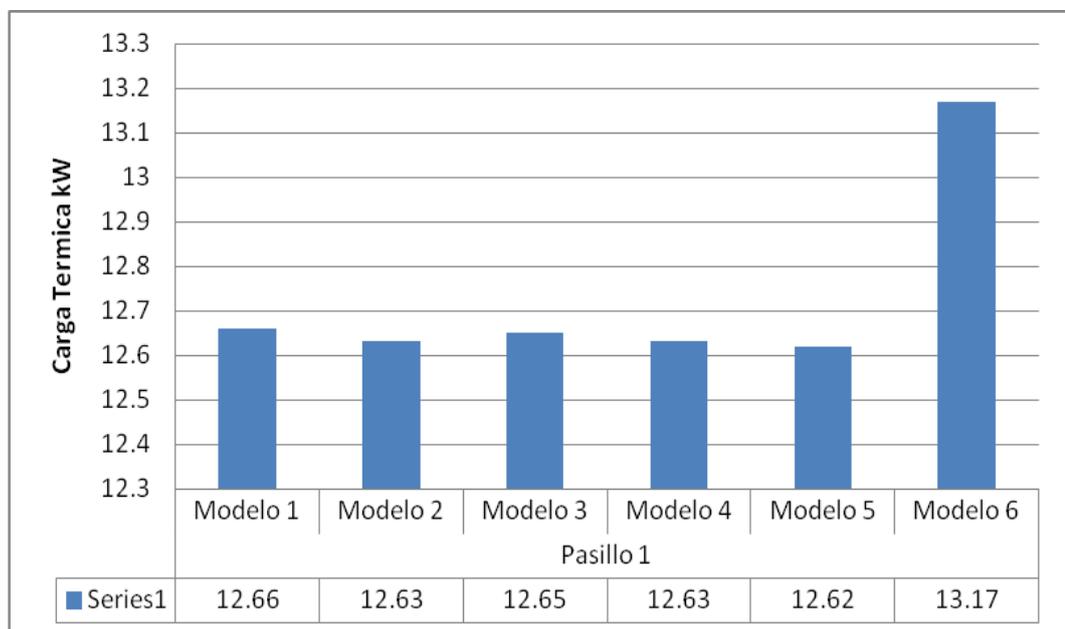


FIGURA 6. 3. COMPARACIÓN DE CARGAS TÉRMICAS DEL PASILLO 1

En la Figura 6.4. 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.

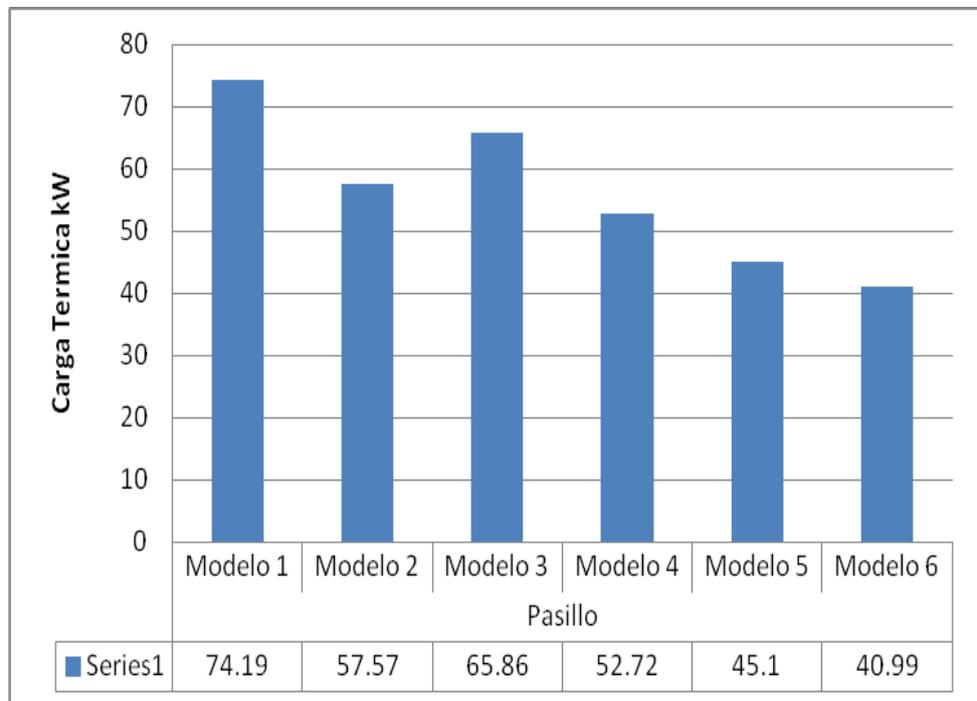


FIGURA 6. 4. COMPARACIÓN DE CARGAS TÉRMICAS DEL PASILLO

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

En la Figura 6.5 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 permiten 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.

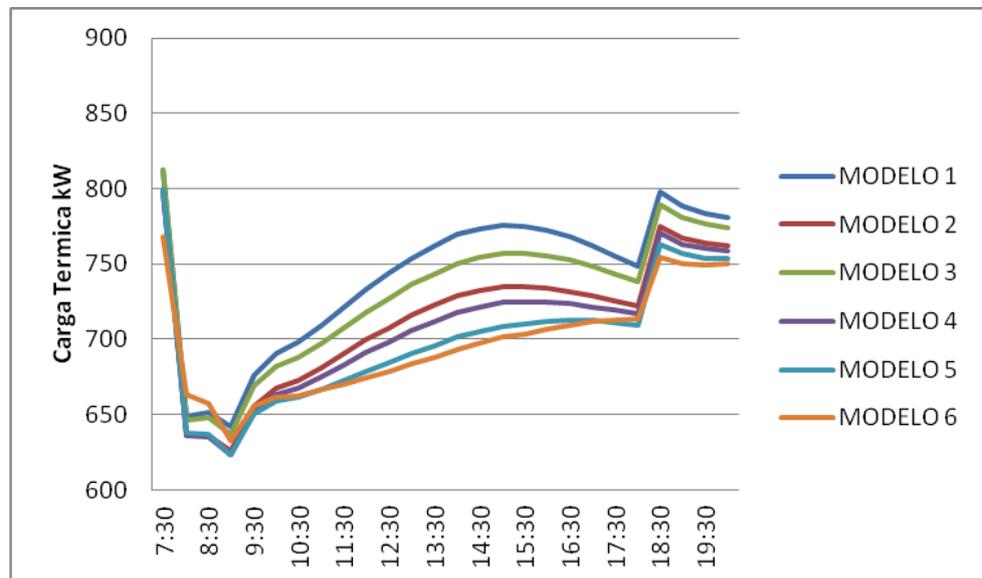


FIGURA 6. 5. COMPARACIÓN DE CARGA TÉRMICA DE CADA MODELO

La Figura 6.6 y 6.7 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 de base o modelo 1.

Lo anterior se relaciona al hecho de que la auditoría energética se realizó durante dos semanas y, en ese período de tiempo, los hábitos de consumo no fueron 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.

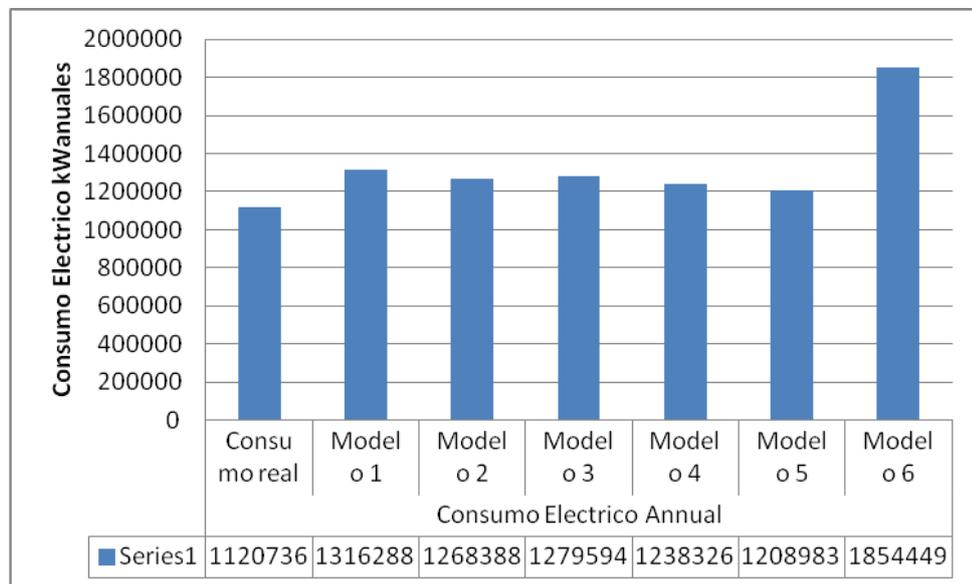


FIGURA 6.6. COMPARACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO

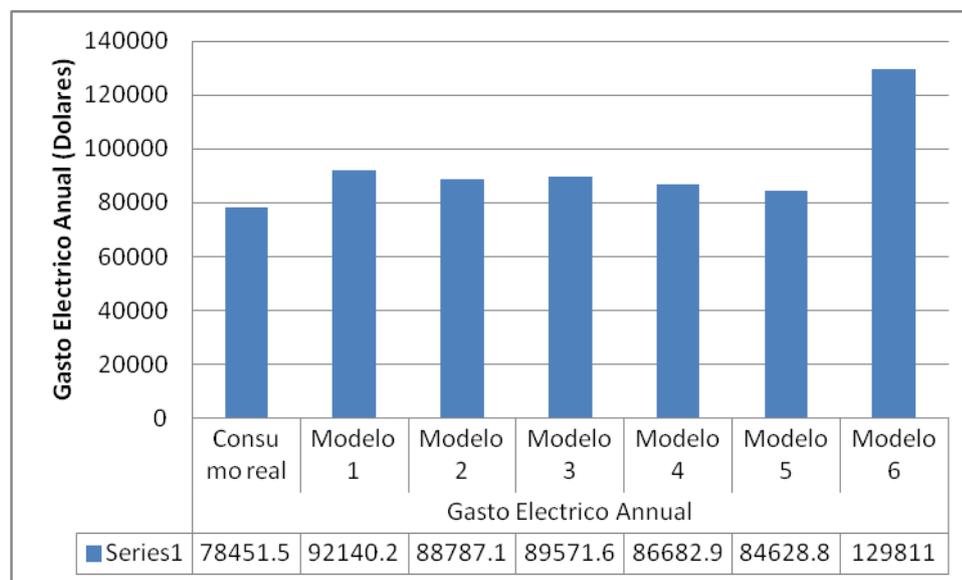


FIGURA 6. 7 COMPARACIÓN DE GASTO ELÉCTRICO.

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

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

FIGURA 6. 8 COSTO DE CONSTRUCCIÓN DE CADA MODELO

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 más 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.

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

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

APÉNDICES

APÉNDICE A- 1

Humedad y temperatura recomendada para escuelas y universidades, basado en ASHRAE estándar 55-2004 (18), para personas con ropa típica y actividad sedentaria en invierno y verano.

Category/Humidity Criteria	Indoor Design Conditions		
	Temperature, °C		Comments
	Winter	Summer	
Classrooms, Laboratories, Libraries, Auditoriums, Offices^{a, e}			
30% rh	20.3 to 24.2	23.3 to 26.7	
40% rh	20.0 to 23.9	23.1 to 26.7	
50% rh	20.3 to 23.6	22.8 to 26.1	
60% rh	19.7 to 23.3	22.8 to 25.8	
Gymnasiums			
30 to 60% rh	20.3 to 23.3	23.3 to 25.8	For gym with wooden floor, 35 to 50% humidity recommended at all times
Shops			
20 to 60% rh	20.3 to 23.3	23.3 to 25.8	
Cafeteria^b			
20 to 30% (winter), 50% (summer) rh	21.1 to 23.3	25.8	
Kitchen^b			
No humidity control	21.1 to 23.3	28.9 to 31.1	
Locker/Shower Rooms			
No humidity control	26.7		Usually not conditioned
Toilets			
No humidity control	22.2		Usually not conditioned
Storage			
No humidity control	17.8		
Mechanical Rooms			
No humidity control	16.1		Usually not conditioned
Corridors			
No humidity control	20.0		Frequently not conditioned
Natorium^c			
50 to 60% rh	26.7 to 28.9	26.7 to 28.9	Based on recreational pool
Ice Rink^d			
1.7 to 7.2°C dp (maximum)	10.0 (minimum)	18.3 (maximum)	Minimum 5.5 K temperature difference between dew point and dry bulb to prevent fog and condensation

Notes:

^aBased on EPA (2000) with reference to ASHRAE *Standard 55-2004* for people wearing typical summer and winter clothing, at mainly sedentary activity.

^bBased on [Chapter 3](#).

^cBased on [Chapter 4](#).

^dBased on Harriman et al. (2001).

^eFor libraries, keep minimum humidity of -1.1°C dp and maximum of 55% rh.

APÉNDICE A- 2

Criterio de diseño para ventilación y filtraciones para universidades, basado en ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2004, Tablas 6-1 y 6-4 (18).

Category	Ventilation and Exhaust ^a			Minimum Filtration Efficiency, MERV ^c
	Combined Outdoor Air, L/s per Person	Occupant Density, ¹ per 100 m ²	Outdoor Air	
			L/(s·m ²) L/s per Unit	
Classrooms, Ages 5 to 8	7.4	25		6 to 8
Ages 9 and over	6.7	35		6 to 8
Lecture	4.3	65		6 to 8
Art	9.5	20		6 to 8
Lecture Halls (fixed seats)	4.0	150		6 to 8
Science Laboratories ^f	8.6	25		6 to 8
Computer Lab	7.4	25		6 to 8
Media Center	7.4	25		6 to 8
Music/Theatre/ Dance	5.9	35		6 to 8
Multiuse Assembly	4.1	100		6 to 8
Libraries	8.5	10		6 to 8
Auditorium	2.7	150		9 to 10 ^g
Administrative/ Office Areas	8.5	5		6 to 8
Gymnasium (playing floors)			1.5	6 to 8
Wood/Metal Shops	9.5	20		6 to 8
Locker Rooms			2.5 (exhaust)	1 to 4
Cafeteria	4.7	100		6 to 8
Kitchen ^{d, e}			3.5 (exhaust)	NA
Toilets				35 (exhaust) NA
Storage			0.6	1 to 4
Corridors			0.3	6 to 8
Natoriums (pool and deck)			2.4	6 to 8
Ice Rinks (spectator areas) ^h	4.0	150		6 to 8

Notes:

^aBased on ANSI/ASHRAE *Standard* 62.1-2004, Tables 6-1 and 6-4. For systems serving multiple zones, apply multiple zone calculations procedure. See the section on Demand Control Ventilation (DCV) when DCV is considered.

^bThis table should not be used as the only source for design criteria. Governing local codes, design guidelines, ANSI/ASHRAE *Standard* 62.1-2004 and user's manual (ASHRAE 2004a) *must* be consulted.

^cMERV = minimum efficiency reporting values, based on ASHRAE *Standard* 52.2-

APÉNDICE A- 3

Horario de Uso de instalaciones y equipos de oficina en los meses de vacaciones (Marzo-Mayo y Septiembre - Octubre).

DESCRIPCIÓN	HORARIO	% USO
OFICINAS GENERALES	Lunes a Viernes De 8:30 hrs a 17:00 hrs	100%.
OFICINAS DE PROFESORES	Lunes a Viernes De 9:30 hrs a 20:00 hrs.	15%.
AUDITORIO Y SALA DE REUNIONES	1 vez al mes por 8 horas.	100%
PASILLOS	Lunes a Viernes De 7:30 hrs a 20:00 hrs.	15%.
AULAS	Lunes a Viernes De 7:30 hrs a 20:00 hrs.	10%.

En los meses de vacaciones no se labora los fines de semana y entre semana las aulas se las utiliza solo para cursos esporádicos que se dictan en vacaciones.

APÉNDICE A- 4

Horario de uso de instalaciones y equipos oficinas en los meses de Diciembre.

DESCRIPCIÓN	HORARIO	% USO
OFICINAS GENERALES	Lunes a Viernes De 8:30 hrs a 17:00 hrs.	90%.
OFICINAS DE PROFESORES	Lunes a Viernes De 9:30 hrs a 20:00 hrs.	15%.
AUDITORIO Y SALA DE REUNIONES	1 vez al mes por 8 horas.	100%
PASILLOS	Lunes a Viernes De 7:30 hrs a 20:00 hrs.	45%.
	Sábado De 9:00 hrs a 13:00 hrs.	30%.
AULAS	Lunes a Viernes De 7:30 hrs a 8:00 hrs.	35 %.
	Sábados De 9:00 hrs a 13:00 hrs.	20%.

En los meses de diciembre las clases y asistencias son irregulares porque es un mes festivo.

APÉNDICE A- 5

Horario de Uso luz artificial en los meses de vacaciones (Marzo-Mayo y Septiembre - Octubre).

DESCRIPCIÓN	HORARIO	% USO
OFICINAS GENERALES	Lunes a Viernes De 8:30 hrs a: 17:00 hrs.	100%.
OFICINAS DE PROFESORES	Lunes a Viernes De 9:30 hrs a: 20:00 hrs.	15%.
AUDITORIO Y SALA DE REUNIONES	Lo tome en cuenta como si se utilizara estas áreas 1 vez al mes por 8 horas.	100%
PASILLOS	Lunes a Viernes De 6:00 hrs a: 17:00 hrs.	0%.
AULAS	Lunes a Viernes De 7:30 hrs a: 20:00 hrs.	10 %.

En los meses de vacaciones no se labora los fines de semana y entre semana las aulas se las utiliza solo para cursos esporádicos que se dictan en vacaciones.

APÉNDICE A- 6

HORARIO DE USO DE LUZ ARTIFICIAL LOS MESES DE DICIEMBRE.

DESCRIPCIÓN	HORARIO	% USO
OFICINAS GENERALES	Lunes a Viernes De 8:30 hrs a: 17:00 hrs.	100%.
OFICINAS DE PROFESORES	Lunes a Viernes De 9:30 hrs a: 20:00 hrs.	15%.
AUDITORIO Y SALA DE REUNIONES	Lo tome en cuenta como si se utilizara estas áreas 1 vez al mes por 8 horas.	100%
PASILLOS	Lunes a Viernes De 6:00 hrs a: 20:00 hrs.	100%.
AULAS	Lunes a Viernes De 7:30 hrs a: 20:00 hrs.	35 %.
	Sábados De 9:00 hrs a 13:00 hrs.	20%.

En los meses de diciembre las clases y asistencias son irregulares porque es un mes festivo.

APÉNDICE A- 7.

Producción de Energía Metabólica. Fuente UNE-EN ISO 7730 (20).

PRODUCCIÓN DE ENERGÍA METABÓLICA			
Actividad	Valor		
	met	W/m ²	kcal/h·m ²
Tendido y en reposo	0,8	46,5	40
Sentado y en reposo	1	58,2	50
Actividad ligera, sentado (oficina, hogar, escuela, laboratorio)	1,2	69,8	60
Actividad ligera, de pie (de compras, laboratorio, industria ligera)	1,6	93	80
Actividad media, de pie (vendedor, tareas domésticas, trabajo con máquinas)	2	116,3	100
Marcha en llano a 2 km/h	1,9	110,5	95
Marcha en llano a 3 km/h	2,4	139,6	120
Marcha en llano a 4 km/h	2,8	162,8	140
Marcha en llano a 5 km/h	3,4	197,7	170

APÉNDICE A- 8

Valores del aislamiento de la ropa en clo, baso en Fuente UNE-EN ISO 7730 según tipo de ropa (20).

Tipo de ropa	Aislamiento (clo.)
Desnudo	0 clo.
Ropa Ligera (ropa de verano)	0,5 clo.
Ropa Media (traje completo)	1 clo.
Ropa Pesada (traje completo con campera)	1,5 clo.

APÉNDICE A- 9.

Características de los Lucernarios, basado en las especificaciones técnicas del fabricante (3).

DANPALON MULTICEL 8/10/12

COLOR	LT%	ST%	SR%	SHGC
INCOLORO	71	60	36	0.61
BRONCE	25	26	18	0.37
OPAL	35	38	40	0.42
HIELO	60	54	32	0.57
VERDE	60	52	32	0.55
AZUL	50	57	27	0.6
GRIS	30	35	22	0.44
GRIS REFLECTIVO	20	18	33	0.28

CONTROLES TRANSMISION LUZ

LT%: Transmisión de la luz visible(400-700nm)

ST%: Transmisión de radiación solar (300-2800 nm)

SR%: Total reflexión solar solar (300-2800nm)

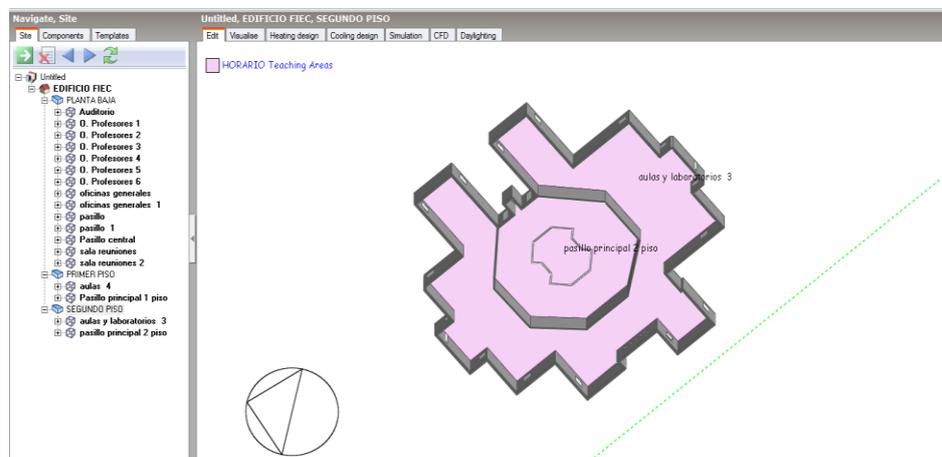
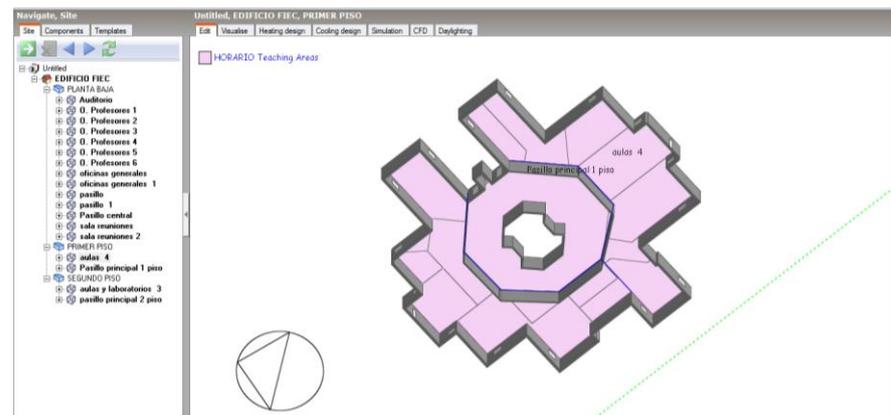
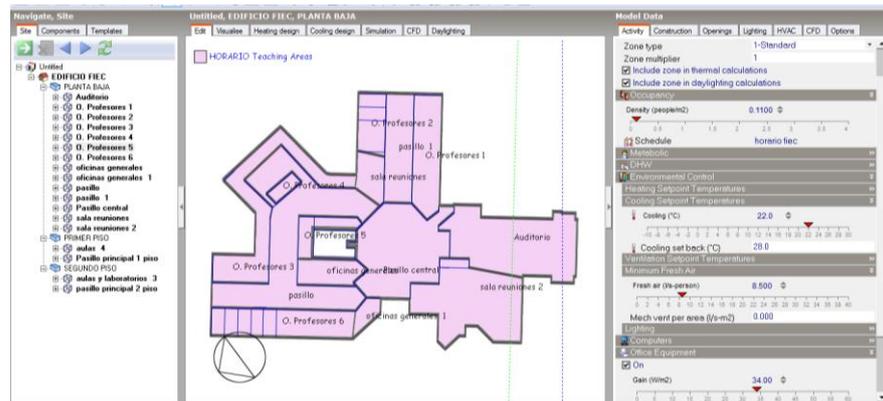
SHGC: Total energía solar transmitida. Coef. Incremento calor solar: $ST+0.2[1-(ST+SR)]$

Geometría	Cámaras	Espesor mm	Anchura mm	Peso kg/m ²	k	Radio mínimo curvado en frío
	1	8	600	1,83	3,30	1,8m
	2	10	600	2,50	2,86	2,5m
	3	8	600	1,95	2,46	1,8m
		10		2,65	2,11	2,5m
		12		2,80	1,84	2,6m
	5	16	600 1040	3,42	1,53	2,9m

■ Longitudes máximas: 12m

APÉNDICE A-10

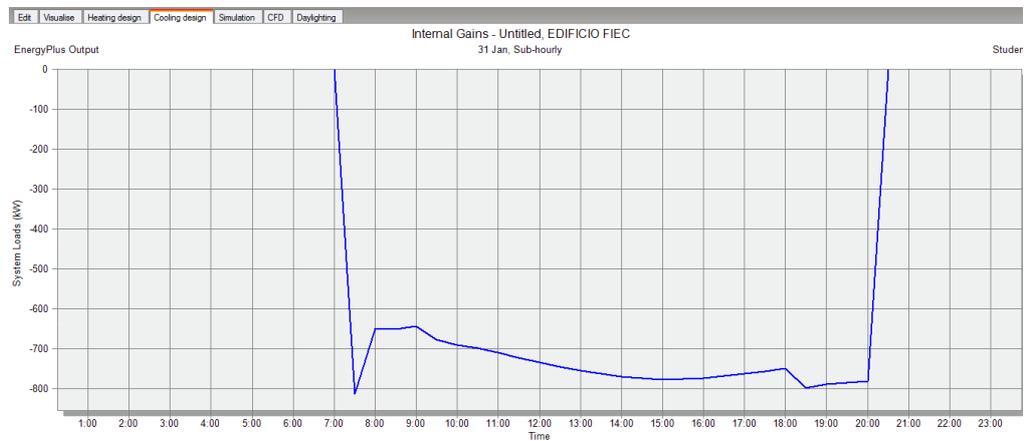
Design Builder



MODELO 1

Untitled, EDIFICIO FIEC										
Zone	Design Capacity (kW)	Design Flow Rate (m ³ /s)	Total Cooling Load (kW)	Sensible (kW)	Latent (kW)	Air Temperature (°C)	Humidity (%)	Time of Max Cool...	Max Op Temp in Day (°C)	Floor Area (m ²)
- EDIFICIO FIEC Total Design Cooling Requirement = 879 170 (kW)										
- PLANTA BAJA Total Design Cooling Requirement = 461 060 (kW)										
sala reuniones 2	76.48	4.90	72.84	56.54	16.30	22.0	60.0	20.00	27.7	427.0
oficinas generales 1	5.38	0.37	5.12	4.22	0.90	22.0	58.1	20.00	27.0	39.4
O. Profesores 6	32.32	2.22	30.78	25.56	5.23	22.0	58.0	20.00	27.8	252.8
O. Profesores 3	43.55	3.03	41.47	34.97	6.50	22.0	57.5	19.30	27.9	313.7
O. Profesores 2	13.16	0.90	12.54	10.35	2.19	22.0	58.2	20.00	27.0	106.1
pasillo 1	12.66	0.72	12.06	8.95	3.71	22.0	63.3	18.30	25.3	195.3
O. Profesores 1	25.59	1.74	24.37	20.08	4.29	22.0	58.2	20.00	27.2	207.9
sala reuniones	13.71	0.85	13.05	9.85	3.20	22.0	60.5	18.30	25.8	79.1
Pasillo central	25.89	1.41	24.65	16.23	8.43	22.0	65.0	18.30	24.3	455.9
Auditorio	112.77	5.93	107.40	68.31	39.09	22.0	66.9	20.00	28.3	476.2
oficinas generales	12.32	0.81	11.74	9.95	2.38	22.0	59.0	19.00	25.7	104.6
O. Profesores 5	9.05	0.62	8.62	7.17	1.45	22.0	57.9	20.00	26.4	70.1
pasillo	74.19	5.09	70.66	58.72	11.94	22.0	57.9	14.30	26.8	640.7
O. Profesores 4	3.99	0.28	3.80	3.18	0.62	22.0	57.8	19.30	26.6	30.1
- PRIMER PISO Total Design Cooling Requirement = 180 170 (kW)										
aulas 4	151.12	10.29	143.92	118.61	25.31	22.0	58.2	20.00	29.0	798.2
Pasillo principal 1 piso	29.05	1.95	27.67	22.48	5.18	22.0	58.6	16.00	28.2	281.2
- SEGUNDO PISO Total Design Cooling Requirement = 237 940 (kW)										
aulas y laboratorios 3	170.98	11.91	162.84	137.28	25.55	22.0	57.5	20.00	31.7	798.2
pasillo principal 2 piso	66.96	4.96	63.78	57.23	6.54	22.0	55.8	14.00	31.9	334.8

En esta gráfica muestra un resumen del cálculo de carga térmica en kW que tiene el edificio en el día más caluroso del año, y también por áreas, donde cada área representa un conjunto de oficinas similares. La tabla muestra la división del calor latente y calor sensible, temperatura del aire, humedad y área de cada piso.



Esta gráfica muestra la carga térmica del edificio en el transcurso de un día.

Values gathered over 8760.00 hours

Site and Source Energy

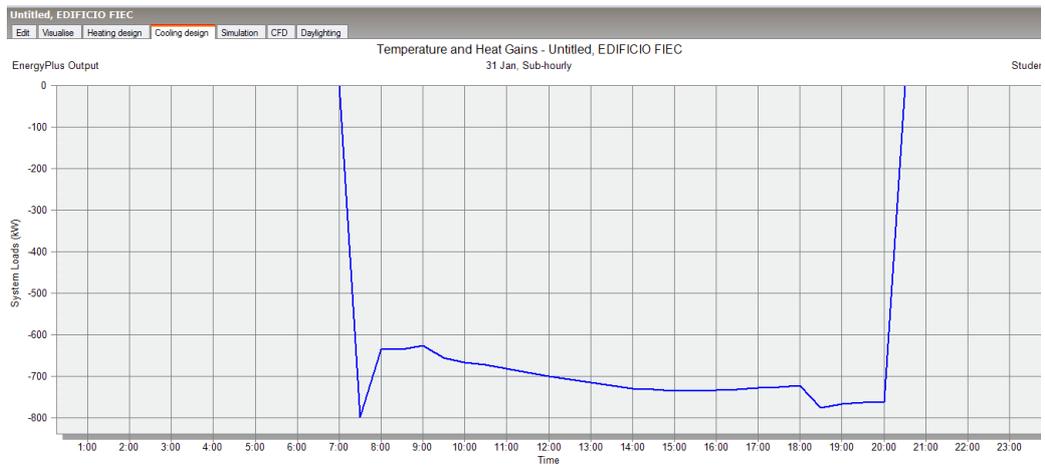
	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m2]
Total Site Energy	704037.64	125.47	152.10
Net Site Energy	704037.64	125.47	152.10
Total Source Energy	1316287.86	234.59	284.37
Net Source Energy	1316287.86	234.59	284.37

Esta tabla muestra un resumen del consumo energético anual del edificio de la FIEC. Las dos primeras filas muestran el consumo energético que tiene solo los equipos de aire acondicionado, las dos filas siguientes es el consumo energético de todos los equipos eléctricos del edificio, incluyendo los equipos de aire acondicionado. Las otras dos columnas muestran cuanto kW se está consumiendo anualmente por metro cuadrado.

MODELO 2

Untitled, EDIFICIO FIEC											
Edit	Visualize	Heating design	Cooling design	Simulation	CFD	Daylighting					
Zone	Design Capacity (kW)	Design Flow Rate (m3/s)	Total Cooling Load (kW)	Sensible (kW)	Latent (kW)	Air Temperature (°C)	Humidity (%)	Time of Max Cool.	Max Op Temp in Day (°C)	Floor Area (m2)	
EDIFICIO FIEC Total Design Cooling Requirement = 636.100 (kW)											
- PLANTA BAJA Total Design Cooling Requirement = 441.590 (kW)											
sala reuniones 2	76.44	4.90	72.80	56.50	16.29	22.0	60.0	20:00	27.8	427.0	
oficinas generales 1	5.32	0.36	5.07	4.17	0.90	22.0	59.2	20:00	27.0	39.4	
O. Profesores 6	31.94	2.19	30.42	25.20	5.22	22.0	59.1	20:00	27.8	252.8	
O. Profesores 3	42.72	2.97	40.69	34.19	6.49	22.0	57.6	19:30	27.8	313.7	
O. Profesores 2	13.16	0.90	12.53	10.35	2.19	22.0	59.2	20:00	27.1	106.1	
pasillo 1	12.63	0.72	12.03	8.33	3.71	22.0	63.3	18:30	25.4	195.3	
O. Profesores 1	25.55	1.74	24.34	20.05	4.29	22.0	59.2	20:00	27.3	207.9	
sala reuniones	13.62	0.85	12.97	9.77	3.20	22.0	60.6	18:30	25.7	79.1	
Pasillo central	25.35	1.37	24.14	15.74	8.40	22.0	65.4	18:30	24.1	455.9	
Auditorio	112.74	5.92	107.37	68.28	39.09	22.0	66.9	20:00	28.4	476.2	
oficinas generales	12.01	0.79	11.44	9.14	2.30	22.0	59.1	19:30	25.5	104.6	
O. Profesores 5	8.78	0.60	8.36	6.91	1.44	22.0	59.1	20:00	26.2	70.1	
pasillo	57.57	3.73	54.83	42.96	11.86	22.0	59.6	14:00	25.9	640.7	
O. Profesores 4	3.76	0.26	3.58	2.96	0.62	22.0	59.1	20:00	26.1	30.1	
- PRIMER PISO Total Design Cooling Requirement = 175.120 (kW)											
aulas 4	150.23	10.22	143.08	117.77	25.30	22.0	59.2	20:00	29.1	798.2	
Pasillo principal 1 piso	24.89	1.59	23.71	18.35	5.35	22.0	59.9	18:30	27.4	281.2	
- SEGUNDO PISO Total Design Cooling Requirement = 219.390 (kW)											
aulas y laboratorios 3	169.68	11.80	161.60	136.05	25.55	22.0	57.6	20:00	31.8	798.2	
pasillo principal 2 piso	49.71	3.55	47.34	40.91	6.43	22.0	56.8	14:00	29.9	334.8	

En esta gráfica muestra un resumen del cálculo de carga térmica en kW que tiene el edificio en el día más caluroso del año, y también por áreas, donde cada área representa un conjunto de oficinas similares. La tabla muestra la división del calor latente y calor sensible, temperatura del aire, humedad y área de cada piso.



Esta gráfica muestra la carga térmica del edificio en el transcurso de un día.

Values gathered over 8760.00 hours

Site and Source Energy

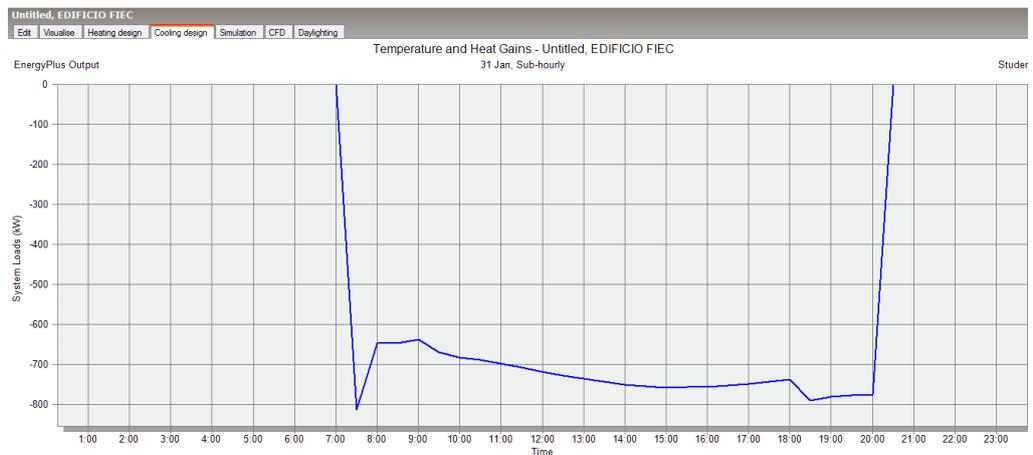
	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m2]
Total Site Energy	626203.90	111.60	135.28
Net Site Energy	626203.90	111.60	135.28
Total Source Energy	1234121.38	219.94	266.62
Net Source Energy	1234121.38	219.94	266.62

Esta tabla muestra un resumen del consumo energético anual del edificio de la FIEC. Las dos primeras filas muestran el consumo energético que tiene solo los equipos de aire acondicionado, las dos filas siguientes es el consumo energético de todos los equipos eléctricos del edificio, incluyendo los equipos de aire acondicionado. Las otras dos columnas nos muestran cuanto kW se está consumiendo anualmente por metro cuadrado.

MODELO 3

Untitled, EDIFICIO FIEC										
Edit Visualise Heating design Cooling design Simulation CFD Daylighting										
Zone	Design Capacity (kW)	Design Flow Rate (m ³ /s)	Total Cooling Load (kW)	Sensible (kW)	Latent (kW)	Air Temperature (°C)	Humidity (%)	Time of Max Cool...	Max Op Temp in Day (°C)	Floor Area (m ²)
EDIFICIO FIEC Total Design Cooling Requirement = 858.450 (kW)										
PLANTA BAJA Total Design Cooling Requirement = 451.390 (kW)										
sala reuniones 2	76.46	4.90	72.02	56.53	16.29	22.0	60.0	20:00	27.7	427.0
oficinas generales 1	5.35	0.36	5.10	4.20	0.90	22.0	58.2	20:00	27.0	38.4
O. Profesores 5	32.15	2.20	30.62	25.29	5.23	22.0	58.0	20:00	27.7	252.8
O. Profesores 3	43.16	3.00	41.11	34.61	6.50	22.0	57.6	19:30	27.8	313.7
O. Profesores 2	13.16	0.90	12.54	10.35	2.19	22.0	58.2	20:00	27.0	106.1
pasillo 1	12.65	0.72	12.05	8.34	3.71	22.0	63.3	18:30	25.3	195.3
O. Profesores 1	25.57	1.74	24.36	20.07	4.29	22.0	58.2	20:00	27.2	207.9
sala reuniones	13.67	0.85	13.02	9.81	3.20	22.0	60.6	18:30	25.7	79.1
Pasillo central	25.66	1.39	24.44	16.03	8.42	22.0	65.2	18:30	24.2	455.9
Auditorio	112.76	5.92	107.39	68.30	39.09	22.0	66.9	20:00	28.2	476.2
oficinas generales	12.14	0.80	11.56	9.25	2.31	22.0	59.1	19:30	25.6	104.6
O. Profesores 5	8.92	0.61	8.50	7.05	1.45	22.0	58.0	20:00	26.3	70.1
pasillo	65.86	4.41	62.73	50.89	11.84	22.0	58.6	14:30	26.5	640.7
O. Profesores 4	3.88	0.27	3.70	3.07	0.62	22.0	58.0	20:00	26.3	30.1
PRIMER PISO Total Design Cooling Requirement = 177.790 (kW)										
sala 4	150.79	10.26	143.61	118.30	25.31	22.0	58.2	20:00	29.0	798.2
Pasillo principal 1 piso	27.00	1.78	25.71	20.57	5.14	22.0	59.1	16:00	27.8	281.2
SEGUNDO PISO Total Design Cooling Requirement = 229.270 (kW)										
salas y laboratorios 3	170.43	11.86	162.31	136.76	25.55	22.0	57.6	20:00	31.7	798.2
pasillo principal 2 piso	58.84	4.30	56.04	49.54	6.50	22.0	56.2	14:00	30.6	334.8

En esta gráfica muestra un resumen del cálculo de carga térmica en kW que tiene el edificio en el día más caluroso del año, y también por áreas, donde cada área representa un conjunto de oficinas similares. La tabla nos muestra la división del calor latente y calor sensible, temperatura del aire, humedad y área de cada piso.



Esta gráfica muestra la carga térmica del edificio en el transcurso de un día.

Values gathered over 8760.00 hours

Site and Source Energy

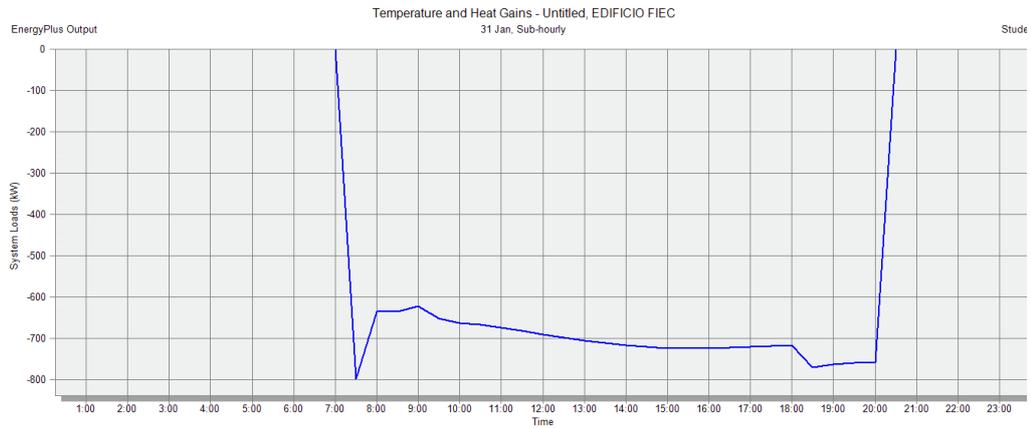
	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m2]
Total Site Energy	669278.67	119.28	144.59
Net Site Energy	669278.67	119.28	144.59
Total Source Energy	1279593.97	228.05	276.44
Net Source Energy	1279593.97	228.05	276.44

Esta tabla muestra un resumen del consumo energético anual del edificio de la FIEC. Las dos primeras filas muestran el consumo energético que tiene solo los equipos de aire acondicionado, las dos filas siguientes es el consumo energético de todos los equipos eléctricos del edificio, incluyendo los equipos de aire acondicionado. Las otras dos columnas nos muestran cuanto kW se está consumiendo anualmente por metro cuadrado.

MODELO 4

Zone	Design Capacity [kW]	Design Flow Rate [m3/s]	Total Cooling Load [kW]	Sensible [kW]	Latent [kW]	Air Temperature [°C]	Humidity [%]	Time of Max Cool.	Max Op Temp in Day [°C]	Floor Area [m2]
- EDIFICIO FIEC Total Design Cooling Requirement = 824.190 [kW]										
- PLANTA BAJA Total Design Cooling Requirement = 436.000 [kW]										
sala reuniones 2	76.43	4.90	72.79	56.50	16.29	22.0	60.0	20:00	27.8	427.0
oficinas generales 1	5.31	0.36	5.06	4.16	0.90	22.0	58.2	20:00	27.0	39.4
O. Profesores 6	31.83	2.18	30.32	25.10	5.22	22.0	58.1	20:00	27.7	262.6
O. Profesores 3	42.48	2.95	40.46	33.97	6.49	22.0	57.7	19:30	27.7	313.7
O. Profesores 2	13.16	0.90	12.53	10.35	2.19	22.0	58.2	20:00	27.1	106.1
pasillo 1	12.63	0.72	12.03	8.32	3.71	22.0	63.3	18:30	25.4	195.3
O. Profesores 1	25.55	1.74	24.33	20.04	4.29	22.0	58.2	20:00	27.3	207.9
sala reuniones	13.60	0.85	12.95	9.75	3.20	22.0	60.6	18:30	25.7	73.1
Pasillo central	25.22	1.36	24.02	15.63	8.39	22.0	65.4	18:30	24.0	465.9
Auditorio	112.73	5.92	107.36	68.27	39.09	22.0	66.9	20:00	28.4	476.2
oficinas generales	11.95	0.79	11.38	9.08	2.30	22.0	59.2	19:30	25.5	104.6
O. Profesores 5	8.70	0.59	8.28	6.84	1.44	22.0	58.2	20:00	26.1	70.1
pasillo	52.72	3.34	50.21	38.50	11.70	22.0	60.2	14:00	25.8	640.7
O. Profesores 4	3.69	0.25	3.51	2.90	0.62	22.0	58.2	20:00	25.9	30.1
- PRIMER PISO Total Design Cooling Requirement = 174.020 [kW]										
aulas 4	150.05	10.20	142.91	117.60	25.30	22.0	58.3	20:00	29.1	798.2
Pasillo principal 1 piso	23.97	1.52	22.83	17.47	5.36	22.0	60.3	18:30	27.2	281.2
- SEGUNDO PISO Total Design Cooling Requirement = 214.170 [kW]										
aulas y laboratorios 3	169.35	11.77	161.28	135.74	25.55	22.0	57.6	20:00	31.8	798.2
pasillo principal 2 piso	44.82	3.15	42.68	36.30	6.38	22.0	57.2	14:00	29.1	334.8

En esta gráfica muestra un resumen del cálculo de carga térmica en kW que tiene el edificio en el día más caluroso del año, y también por áreas, donde cada área representa un conjunto de oficinas similares. La tabla muestra la división del calor latente y calor sensible, temperatura del aire, humedad y área de cada piso.



Esta gráfica muestra la carga térmica del edificio en el transcurso de un día.

Values gathered over 8760.00 hours

Site and Source Energy

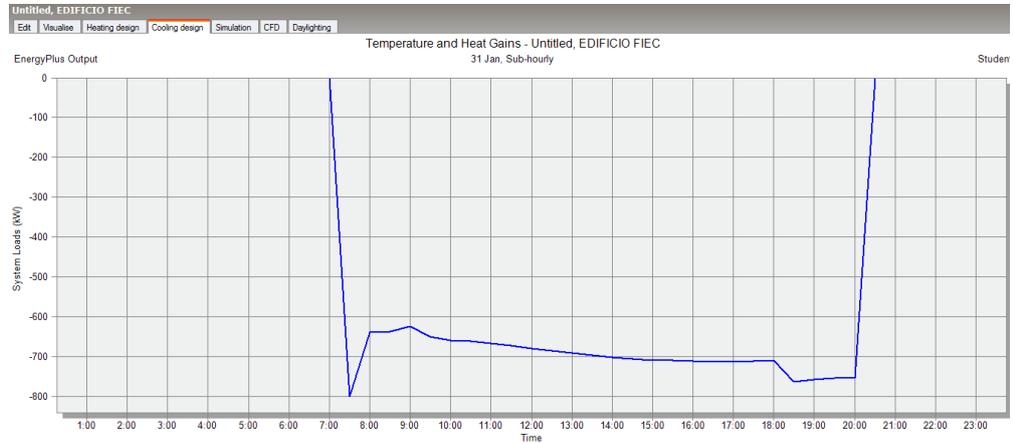
	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m ²]
Total Site Energy	610620.99	108.82	131.92
Net Site Energy	610620.99	108.82	131.92
Total Source Energy	1217671.01	217.01	263.06
Net Source Energy	1217671.01	217.01	263.06

Esta tabla muestra un resumen del consumo energético anual del edificio de la FIEC. Las dos primeras filas muestran el consumo energético que tiene solo los equipos de aire acondicionado, las dos filas siguientes es el consumo energético de todos los equipos eléctricos del edificio, incluyendo los equipos de aire acondicionado. Las otras dos columnas muestran cuanto kW se está consumiendo anualmente por metro cuadrado.

MODELO 5

Untitled, EDIFICIO FIEC											
Edit Visualise Heating design Cooling design Simulation CFD Daylighting											
Zone	Design Capacity (kW)	Design Flow Rate (m3/s)	Total Cooling Load (kW)	Sensible (kW)	Latent (kW)	Air Temperature (°C)	Humidity (%)	Time of Max Cool.	Max Op Temp in Day (°C)	Floor Area (m2)	
- EDIFICIO FIEC Total Design Cooling Requirement = 806.430 (kW)											
- PLANTA BAJA Total Design Cooling Requirement = 427.430 (kW)											
sala reuniones 2	76.42	4.90	72.78	56.49	16.29	22.0	60.0	20:00	27.8	427.0	
oficinas generales 1	5.29	0.36	5.04	4.14	0.90	22.0	58.2	20:00	26.9	39.4	
O. Profesores 6	31.70	2.17	30.19	24.97	5.22	22.0	58.1	20:00	27.7	252.8	
O. Profesores 3	42.18	2.92	40.17	33.68	6.49	22.0	57.7	19:30	27.7	313.7	
O. Profesores 2	13.16	0.90	12.53	10.35	2.19	22.0	58.2	20:00	27.1	106.1	
pasillo 1	12.62	0.72	12.02	8.31	3.71	22.0	63.3	18:30	25.4	195.3	
O. Profesores 1	25.54	1.74	24.32	20.03	4.29	22.0	58.2	20:00	27.3	207.9	
sala reuniones	13.57	0.84	12.92	9.72	3.20	22.0	60.6	18:30	25.6	79.1	
Pasillo central	25.05	1.34	23.86	15.48	8.38	22.0	65.6	18:30	24.0	495.9	
Auditorio	112.72	5.92	107.35	68.27	39.09	22.0	66.9	20:00	28.4	476.2	
oficinas generales	11.87	0.78	11.30	9.00	2.30	22.0	59.2	19:30	25.4	104.6	
O. Profesores 5	8.60	0.59	8.19	6.75	1.44	22.0	58.2	20:00	26.0	70.1	
pasillo	45.10	2.75	42.95	31.72	11.23	22.0	61.5	14:30	25.6	640.7	
O. Profesores 4	3.61	0.24	3.44	2.82	0.62	22.0	58.4	20:00	25.7	30.1	
- PRIMER PISO Total Design Cooling Requirement = 172.600 (kW)											
aulas 4	149.75	10.18	142.62	117.32	25.30	22.0	58.3	20:00	29.1	798.2	
Pasillo principal 1 piso	22.85	1.42	21.76	16.38	5.38	22.0	60.7	18:30	26.9	281.2	
- SEGUNDO PISO Total Design Cooling Requirement = 206.400 (kW)											
aulas y laboratorios 3	169.01	11.75	160.96	135.41	25.55	22.0	57.6	20:00	31.7	798.2	
pasillo principal 2 piso	37.39	2.55	35.61	29.40	6.21	22.0	58.1	14:30	29.3	334.8	

En esta gráfica muestra un resumen del cálculo de carga térmica en kW que tiene el edificio en el día más caluroso del año, y también por áreas, donde cada área representa un conjunto de oficinas similares. La tabla muestra la división del calor latente y calor sensible, temperatura del aire, humedad y área de cada piso.



Esta gráfica muestra la carga térmica del edificio en el transcurso de un día.

Values gathered over 8760.00 hours

Site and Source Energy

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m2]
Total Site Energy	591339.98	105.39	127.75
Net Site Energy	591339.98	105.39	127.75
Total Source Energy	1197316.70	213.38	258.67
Net Source Energy	1197316.70	213.38	258.67

Esta tabla muestra un resumen del consumo energético anual del edificio de la FIEC. Las dos primeras filas muestran el consumo energético que tiene solo los equipos de aire acondicionado, las dos filas siguientes es el consumo energético de todos los equipos eléctricos del edificio, incluyendo los equipos de aire acondicionado. Las otras dos columnas muestran cuanto kW se está consumiendo anualmente por metro cuadrado.

Cálculo U-value de la cámara ventilada de policarbonato alveolar

The screenshot displays the 'Glazing Data' software interface. The 'Layers' tab is selected, and the 'Calculated' sub-tab is active. The window configuration is as follows:

- General:**
 - Name: opal+10cm aire+incoloro
 - Description: [Empty]
 - Source: EnergyPlus dataset
 - Category: Double
 - Region: General
- Definition method:** 1-Capas de materiales
- Layers:** 4
- Outermost pane:**
 - Pane type: opal
 - Flip layer: [Unchecked]
- Window gas 1:** AIR 6MM
- Pane 2:**
 - Pane type: opal
 - Flip layer: [Unchecked]
- Window gas 2:** AIR 100MM
- Pane 3:**
 - Pane type: dapalon incoloro
 - Flip layer: [Unchecked]
- Window gas 3:** AIR 6MM
- Innermost pane:**
 - Pane type: dapalon incoloro

Glazing Data

Layers Calculated

Calculated Values

Total solar transmission (SHGC)	0.19
Direct solar transmission	0.133
Light transmission	0.071
U-value (ISO 10292/ EN 673) (W/m2-K)	0.872
U-Value (W/m2-K)	0.883

Help

Info Data

[Update data](#)

The U-value is determined by doing a heat balance calculation on the glazing layers for the following standard ASHRAE winter conditions:

- Inside air temperature = 21.1C (70F)
- Outside air temperature = -17.8C (0F)
- Wind speed = 6.71 m/s (15 mph)
- Outside convective air film conductance = 25.47 W/m2-K (4.486 Btu/h-ft2-F)
- Inside convective air film conductance: calculated by EnergyPlus
- No solar radiation

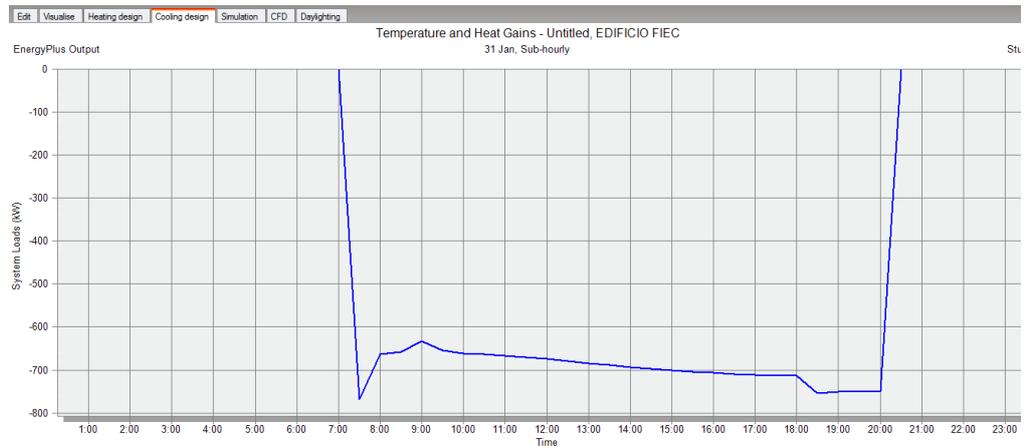
The 'Total solar transmission (SHGC) (Solar Heat Gain Coefficient)' is the fraction of incident beam solar radiation that enters the zone. This includes the transmitted solar radiation and the inward flowing heat from the solar radiation that is absorbed by the glazing. SHGC applies only to the center of the glazed part of a window construction; it does not include the effect of beam solar radiation absorbed by a window frame or divider. SHGC is calculated for the following standard summer condition:

- Inside air temperature = 23.9C (75F)
- Outside air temperature = 31.7C (89F)
- Wind speed = 3.35 m/s (7.5 mph)
- Incident beam solar radiation normal to glazing = 783 W/m2 (248 Btu/h-ft2)

MODELO 6

titled, EDIFICIO FIEC											
Sit	Visualise	Heating design	Cooling design	Simulation	CFD	Daylighting					
Zone	Design Capacity (kW)	Design Flow Rate (m3/s)	Total Cooling Load (kW)	Sensible (kW)	Latent (kW)	Air Temperature (°C)	Humidity (%)	Time of Max Cook...	Max Op Temp in Day (°C)	Floor Area (m2)	
EDIFICIO REC Total Design Cooling Requirement = 795.670 (kW)											
- PLANTA BAJA Total Design Cooling Requirement = 424.500 (kW)											
Recepciones 2	73.17	1.83	72.83	56.64	16.30	22.0	60.0	20.00	27.7	427.0	
oficinas generales 1	5.28	0.36	5.03	4.13	0.90	22.0	58.2	20.00	26.8	39.4	
O. Profesores 6	31.49	2.15	29.99	24.77	5.22	22.0	58.2	20.00	27.5	252.8	
O. Profesores 3	41.73	2.88	39.74	33.26	6.48	22.0	57.8	19.30	27.5	313.7	
O. Profesores 2	13.20	0.90	12.57	10.39	2.19	22.0	58.2	20.00	27.1	106.1	
pasillo 1	13.17	0.79	12.55	9.15	3.39	22.0	62.0	15.00	25.5	195.3	
O. Profesores 1	25.64	1.75	24.42	20.12	4.29	22.0	58.2	20.00	27.2	207.9	
sala reuniones	13.56	0.84	12.91	9.71	3.20	22.0	60.6	18.30	25.6	79.1	
Pasillo central	26.50	1.52	25.23	17.57	7.66	22.0	63.6	15.00	24.1	455.9	
Auditorio	112.77	5.93	107.40	68.31	39.09	22.0	66.9	20.00	28.3	476.2	
oficinas generales	11.78	0.77	11.22	8.92	2.30	22.0	59.3	19.30	25.3	104.6	
O. Profesores 5	8.46	0.57	8.06	6.62	1.44	22.0	58.3	20.00	25.8	70.1	
pasillo	40.99	2.43	39.04	28.04	11.00	22.0	62.5	17.00	25.5	640.7	
O. Profesores 4	3.48	0.23	3.32	2.70	0.62	22.0	58.6	20.00	25.4	30.1	
- PRIMER PISO Total Design Cooling Requirement = 171.670 (kW)											
salas 4	149.83	10.18	142.69	117.40	25.30	22.0	58.3	20.00	28.9	798.2	
Pasillo principal 1 piso	21.84	1.37	20.80	15.82	4.98	22.0	60.6	15.00	26.5	281.2	
- SEGUNDO PISO Total Design Cooling Requirement = 199.480 (kW)											
salas y laboratorios 3	168.23	11.68	160.22	134.68	25.55	22.0	57.6	20.00	31.5	798.2	
pasillo principal 2 piso	31.25	1.92	29.77	22.13	7.63	22.0	59.0	08.30	29.3	334.8	

En esta gráfica muestra un resumen del cálculo de carga térmica en kW que tiene el edificio en el día más caluroso del año, y también por áreas, donde cada área representa un conjunto de oficinas similares. La tabla muestra la división del calor latente y calor sensible, temperatura del aire, humedad y área de cada piso.



Esta gráfica muestra la carga térmica del edificio en el transcurso de un día.

Values gathered over 8760.00 hours

Site and Source Energy

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m2]
Total Site Energy	837145.37	149.19	180.86
Net Site Energy	837145.37	149.19	180.86
Total Source Energy	1854449.39	330.50	400.63
Net Source Energy	1854449.39	330.50	400.63

Esta tabla muestra un resumen del consumo energético anual del edificio de la FIEC. Las dos primeras filas muestran el consumo energético que tiene solo los equipos de aire acondicionado, las dos filas siguientes es el consumo energético de todos los equipos eléctricos del edificio, incluyendo los equipos de aire acondicionado. Las otras dos columnas muestran cuanto kW se está consumiendo anualmente por metro cuadrado.

APÉNDICE A- 11

DUE DILIGENCE CHECKLIST

DUE DILIGENCE CHECKLIST			
EDIFICIO : FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y COMUNICACION			
ENCARGADO DEL EDIFICIO: Gianfranco Di Mattia			
NOMBRE DE PERSONA ENCUESTADA: Jorge Falconi			
LUGAR DE TRABAJO: Mantenimiento			
PARTE 1: ¿El empleado mantiene un registro de los siguientes documentos?			
Manual de mantenimiento del edificio	x	Registros de formación que muestre la fecha, de los trabajadores los nombres de los asistentes y los temas	x
Inspeccion de reportes de acciones correctivas tomadas para resolver probleas	x	Reportes de investigacion de accidentes y acciones correctivas tomadas para resolverlos	
Se examinaron los registros de las reuniones y conversaciones sobre cuestiones de seguridad		registros que muestran el uso de disciplina progresiva para hacer cumplir las normas de seguridad y procedimientos de	
reunión del Comité de prevención de riesgos laborales conjunto informes mostrando las medidas adoptadas para abordar cuestiones de seguridad y salud		libros de registro de equipo y registros de mantenimiento	x
registros de primeros auxilios, certificados médicos, pruebas de audición	x	Estadística de frecuencia de accidentes	
Plan de emergencia			
PARTE 2: ¿Los registros del empleado muestran un programa efectivo de prevención de riesgos laborales?			
Los documentos indican que el gerente:			
1. Asigna responsabilidades y recursos para la implementacion de programas de seguridad			Si No
2. Pide a los contratistas cumplir con las normas de prevencion de riesgos laborales			Si No
3. Obliga que mantengan los registros			Si No
4. Revisa las estadísticas sobre la frecuencia y la gravedad de los accidentes, así como lesiones y tendencias de la enfermedad con			Si No
5. Asigna la responsabilidad para identificar peligros y realizar evaluaciones de riesgo			Si No
6. Implementar controles adecuados (ingeniería, trabajo práctica administrativas) para peligros identificados (caídas de elevaciones, riesgos químicos, lesiones por esfuerzos repetitivos			Si No
7. Implementar un cronograma de mantenimiento preventivo como requiere el constructor			Si No
8.Revisar anualmente el programa de actividades del programa de prevencion de riesgos laborales y hacer mejoras.			Si No
Los documentos indican que el empleado:			
9. Recibe la informacion			
10. Recibe instrucciones de trabajo			Si No
11. Recibe orientacion sobre prevencion de riesgos laborales			Si No
12. Demuestra las habilidades y conocimiento necesario para realizar sus labores con seguridad			Si No
13. Reporta danos y accidentes			Si No
14. Participa en inspecciones			Si No
15. Participa en investigacion de accidentes			Si No
Cuando se trata con procedimientos disciplinarios para los trabajadores, supervisores y gerentes que no siguen las reglas de seguridad o procedimientos seguros			
16. Reciben su procedimientos disciplinario			Si No
17. Estan los trabajadores advertidos de esto			Si No
18. Se utilizan con eficacia los procedimientos disciplinarios			Si No
19. Se mantienen buenos registros de disciplina progresiva utilizado para hacer cumplir las normas de seguridad y procedimientos de trabajo seguro			Si No
Equipos			
Lamparas (3 fluorescente)	Total	348	
Focos		370	
Numero de Computadoras	Total	331	
In-focus	Total	22	
Oficinas			
Numero de oficinas de profesores	Total	44	
Numero de oficinas	Total	7	
Auditorio	Total	1	
Sala de reuniones	Total	4	
Aulas	Total	17	
Consumo electrico			
(KWh)			
	128		

CÁLCULO DE LA DEMANDA

PANEL PD-FIEC-AL1			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
Ojo de buey 2x26	179	0.052	9.31
Ojo de buey 2x15	37	0.030	1.11
Lámpara Fl. 3x32	134	0.096	12.86
Lámpara HQI 70W	2	0.070	0.14
Lámpara HQI 400W	9	0.400	3.60
KW (CD):			27.02
Factor de Coincidencia (FC):			0.80
Demanda (D = KW * FC):			21.62

PANEL PD-FIEC-TC1			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
Tomacorriente 120V	181	0.150	27.15
MW	2	1.000	2.00
Sanduchera	2	0.500	1.00
Refrigeradora	2	0.800	1.60
Secador de mano	4	2.400	9.60
KW (CD):			41.35
Factor de Coincidencia (FC):			0.80
Demanda (D = KW * FC):			33.08

PANEL PD-FIEC-P2			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
Ojo de buey 2x26	32	0.052	1.66
Ojo de buey 2x15	30	0.030	0.90
Lámpara 3x32	79	0.096	7.58
Lámpara 2x32	10	0.064	0.64
Tomacorriente 120V	53	0.150	7.95
Secador de mano	2	2.400	4.80
KW (CD):			23.54
Factor de Coincidencia (FC):			0.80
Demanda (D = KW * FC):			18.83

PANEL PD-FIEC-P3			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
Ojo de buey 2x26	32	0.052	1.66
Ojo de buey 2x15	15	0.030	0.45
Lámpara 3x32	77	0.096	7.39
Lámpara 2x32	2	0.064	0.13
Tomacorriente 120V	37	0.150	5.55
Secador de mano	2	2.400	4.80

KW (CD):	19.98
Factor de Coincidencia (FC):	0.80
Demanda (D = KW * FC):	15.99

PANEL PD-FIEC-AUDI			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
Ojo de buey 2x26	6	0.052	0.31
Ojo de buey 2x32	5	0.064	0.32
Ojo de Buey 150W	20	0.150	3.00
Appliques	8	0.100	0.80
Tomacorriente 120V	21	0.150	3.15
KW (CD):	7.58		
Factor de Coincidencia (FC):	0.80		
Demanda (D = KW * FC):	6.07		

PANEL PD-FIEC-S			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
Ojo de buey 2x15	2	0.030	0.06
Lámpara 3x32	28	0.096	2.69
Tomacorriente 120V	11	0.150	1.65
Tomacorriente 120V EVENTOS	24	0.300	7.20

KW (CD):	11.60
Factor de Coincidencia (FC):	0.80
Demanda (D = KW * FC):	9.28

PANEL PD-FIEC-BAR			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
Ojo de buey 2x15	5	0.030	0.15
Lámpara 3x32	11	0.096	1.06
Tomacorriente 120V	5	0.150	0.75
MW	1	1.000	1.00
Sanduchera	1	0.500	0.50
Refrigeradora	1	0.800	0.80
Juguera	1	0.300	0.30
KW (CD):	4.56		
Factor de Coincidencia (FC):	0.80		
Demanda (D = KW * FC):	3.68		

PANEL PD-FIEC-IN			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
Tomacorriente INFOCUS 120V	16	0.500	8.00
KW (CD):	8.00		

Factor de Coincidencia (FC):	1.00
Demanda (D = KW * FC):	8.00

PANEL PD-FIEC- UPS1-A			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
Tomacorriente UPS 120V	44	0.200	8.80
KW (CD):			8.80
Factor de Coincidencia (FC):			1.00
Demanda (D = KW * FC):			8.80

PANEL PD-FIEC- UPS1-B			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
Tomacorriente UPS 120V	46	0.200	9.20
Tomacorriente UPS 120V Rack	2	0.200	0.40
KW (CD):			9.60
Factor de Coincidencia (FC):			1.00
Demanda (D = KW * FC):			9.60

PANEL PD-FIEC-UPS2			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
Tomacorriente UPS 120V	38	0.200	7.60
Tomacorriente UPS 120V Rack	1	0.200	0.20
KW (CD):			7.80
Factor de Coincidencia (FC):			1.00
Demanda (D = KW * FC):			7.80

PANEL PD-FIEC-LAB1			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
Tomacorriente UPS 120V	42	0.200	8.40
KW (CD):			8.40
Factor de Coincidencia (FC):			1.00
Demanda (D = KW * FC):			8.40
PANEL PD-FIEC-LAB2			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
Tomacorriente UPS 120V	42	0.200	8.40
KW (CD):			8.40

Factor de Coincidencia (FC):	1.00
Demanda (D = KW * FC):	8.40

PANEL PD-FIEC- LAB MM			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
Tomacorriente UPS 120V	43	0.200	8.60
KW (CD):			8.60
Factor de Coincidencia (FC):			1.00
Demanda (D = KW * FC):			8.60

PANEL PD-FIEC- LAB MS			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
Tomacorriente UPS 120V	41	0.200	8.20
Tomacorriente RACK 120V	3	0.200	0.60
KW (CD):			8.80
Factor de Coincidencia (FC):			1.00
Demanda (D = KW * FC):			8.80

PANEL PD-FIEC-LAB			
DS			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
Tomacorriente UPS 120V	41	0.200	8.20
KW (CD):			8.20
Factor de Coincidencia (FC):			1.00
Demanda (D = KW * FC):			8.20

PANEL PD-FIEC-LAB			
MP			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
Tomacorriente UPS 120V	20	0.200	4.00
KW (CD):			4.00
Factor de Coincidencia (FC):			1.00
Demanda (D = KW * FC):			4.00

PANEL PD-FIEC-LAB			
MC			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
Tomacorriente UPS 120V	22	0.200	4.40
KW (CD):			4.40
Factor de Coincidencia (FC):			1.00
Demanda (D = KW * FC):			4.40

PANEL PD-FIEC-LAB SD			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
Tomacorriente UPS 120V	23	0.200	4.60
KW (CD):			4.60
Factor de Coincidencia (FC):			1.00
Demanda (D = KW * FC):			4.60

PANEL PD-FIEC-LAB SITC			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
Tomacorriente UPS 120V	21	0.200	4.20
KW (CD):			4.20
Factor de Coincidencia (FC):			1.00
Demanda (D = KW * FC):			4.20

PANEL PD-FIEC-LAB STC			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
Tomacorriente UPS 120V	22	0.200	4.40
KW (CD):			4.40

Factor de Coincidencia (FC):	1.00
Demanda (D = KW * FC):	4.40

PANEL TD-FIEC-AA 1			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
Paquete 60000 BTUH	1	8.000	8.00
Central 36000 BTUH	3	4.800	14.40
Consola 18000 BTUH	5	2.400	12.20
Consola 24000 BTUH	1	3.200	3.20
KW (CD):			37.60
Factor de Coincidencia (FC):			0.80
Demanda (D = KW * FC):			30.08

PANEL TD-FIEC-AA 2			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
Paquete 60000 BTUH	3	8.000	24.00
Central 60000 BTUH	4	8.000	32.00
Consola 9000 BTUH	15	1.200	18.00
Consola 12000 BTUH	2	1.600	3.20
Consola 18000 BTUH	3	2.400	7.20
Consola 24000 BTUH	1	3.200	3.20

KW (CD):	87.60
Factor de Coincidencia (FC):	0.80
Demanda (D = KW * FC):	70.08

PANEL TD-FIEC-AA 3			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
Paquete 60000 BTUH	3	8.000	24.00
Consola 36000 BTUH	1	4.800	4.80
Consola 48000 BTUH	1	6.400	6.40
Consola 9000 BTUH	7	1.200	8.40
Consola 18000 BTUH	10	2.400	24.00
Consola 24000 BTUH	3	3.200	9.60
KW (CD):			87.20
Factor de Coincidencia (FC):			0.80
Demanda (D = KW * FC):			61.76

PANEL TD-FIEC-AA 4			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
Consola 36000 BTUH	3	4.800	14.40
Consola 48000 BTUH	3	6.400	19.20
Consola 60000 BTUH	8	8.000	64.00
Consola 12000 BTUH	1	1.600	1.60
Consola 18000 BTUH	2	2.400	4.80
Consola 24000 BTUH	1	3.200	3.20
KW (CD):			107.20
Factor de Coincidencia (FC):			0.80
Demanda (D = KW * FC):			85.76

PANEL TD-FIEC-AA			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
PANEL TD-FIEC-AA-1	1	30.08	30.08
PANEL PD-FIEC-AA-2	1	70.08	70.08
PANEL PD-FIEC-AA-3	1	61.76	61.76
PANEL PD-FIEC-AA-4	1	85.76	85.76
UP-8	1	24.00	24.00
UP-9	1	24.00	24.00
UP-10	1	32.00	32.00

UC-1	1	32.00	32.00
UC-8	1	20.00	20.00
UC-9	1	12.00	12.00
KW (CD):			391.68
Factor de Coincidencia (FC):			1.00
Demanda (D = KW * FC):			391.68

SUMATORIA TOTAL DE LOS UPS

PANEL TD-FIEC-UPS			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
PANEL PD-FIEC-UPS1-A	1	8.80	8.80
PANEL PD-FIEC-UPS1-B	1	9.60	9.60
PANEL PD-FIEC-UPS2	1	7.80	7.80
PANEL PD-FIEC-UPS-LAB1	1	8.40	8.40
PANEL PD-FIEC-UPS-LAB2	1	8.40	8.40
PANEL PD-FIEC-UPS-LAB MM	1	8.60	8.60
PANEL PD-FIEC-UPS-LAB MS	1	8.80	8.80
PANEL PD-FIEC-UPS-LAB DS	1	8.20	8.20
PANEL PD-FIEC-UPS-LAB MP	1	4.00	4.00
PANEL PD-FIEC-UPS-LAB MC	1	4.40	4.40
PANEL PD-FIEC-UPS-LAB SD	1	4.60	4.60

PANEL PD-FIEC-UPS-LAB SITC	1	4.20	4.20
PANEL PD-FIEC-UPS-LAB STC	1	4.40	4.40
KW (CD):			90.20
Factor de Coincidencia (FC):			1.00
Demanda (D = KW * FC):			90.20

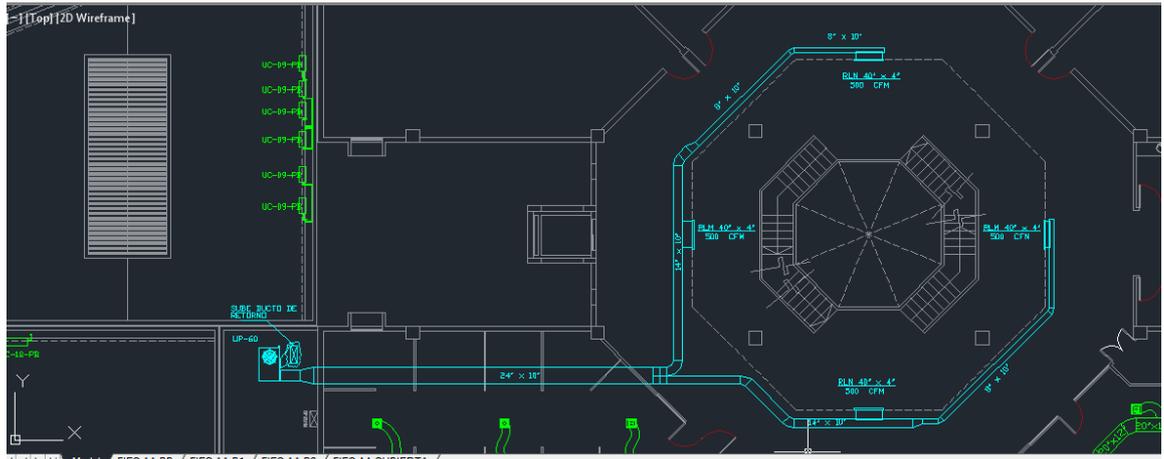
SUMATORIA TOTAL DE LOS PANELES

PANEL TD-FIEC			
Descripción	# Pts.	KW/Pto.	KW
PANEL PD-FIEC-AL1	1	21.62	21.62
PANEL PD-FIEC-TC1	1	33.08	33.08
PANEL PD-FIEC-P2	1	18.83	18.83
PANEL PD-FIEC-P3	1	15.99	15.99
PANEL PD-FIEC-AUDI	1	6.07	6.07
PANEL PD-FIEC-S	1	9.28	9.28
PANEL PD-FIEC-BAR	1	3.64	3.64
PANEL PD-FIEC-INF	1	8.00	8.00
TD-FIEC-UPS	1	90.20	90.20
TD-FIEC-AA	1	391.68	391.68
KW (CD):			598.39
Factor de Coincidencia (FC):			0.85
Demanda (D = KW * FC):			508.63

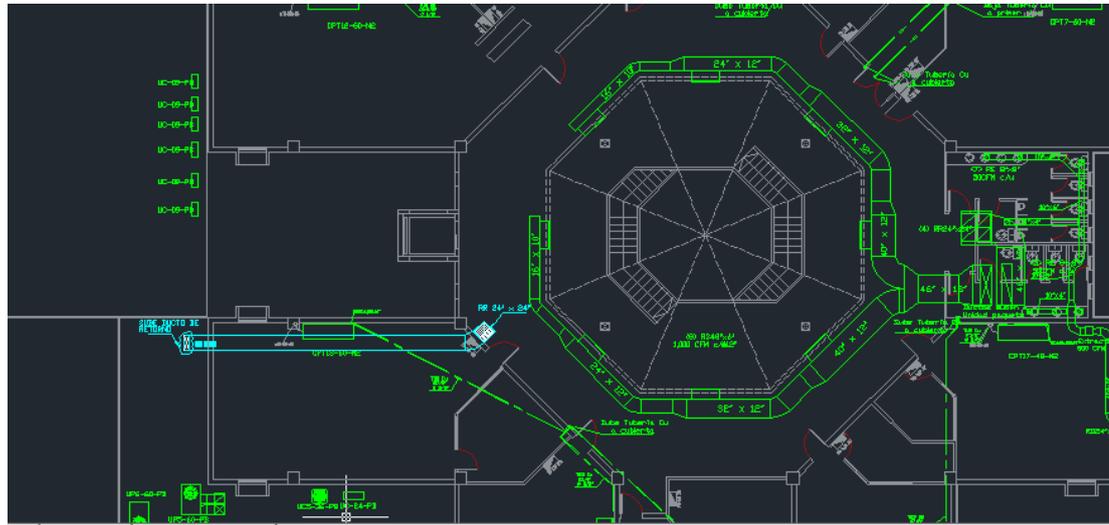
APÉNDICE A- 12

RESIDENÓ DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓ DEL PASILLO CENTRAL.

REDISEÑO DE AIRE ACONDICIONADO PRIMER PISO (MANDO)



REDISEÑO DE AIRE ACONDICIONADO SEGUNDO PISO (RETORNO)



REDISEÑO DE AIRE ACONDICIONADO FACHADA NORESTE



BIBLIOGRAFÍA

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 Occupancy. [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, Tendero 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/strathprints006555.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.** *Comercial 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]