

**ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL IMPACTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE
ESTRATEGIAS URE EN ILUMINACIÓN Y CLIMATIZACIÓN EN EL EDIFICIO DE
ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES A PARTIR DE LA
HERRAMIENTA eQUEST**

**JESÚS DAVID ROA ALARCÓN
BRAYAN SNEIDER ROA LUGO
MARLON ANDRÉS PINTO PINZÓN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2015**

**ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL IMPACTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE
ESTRATEGIAS URE EN ILUMINACIÓN Y CLIMATIZACIÓN EN EL EDIFICIO DE
ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES A PARTIR DE LA
HERRAMIENTA eQUEST.**

**JESÚS DAVID ROA ALARCÓN
BRAYAN SNEIDER ROA LUGO
MARLON ANDRÉS PINTO PINZÓN**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electricista

Director:

Msc. GERMÁN ALFONSO OSMA PINTO

Codirectores:

Dr. GABRIEL ORDOÑEZ PLATA.

Ing. JORGE LUIS CARDENAS RANGEL

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2015

DEDICATORIA

A mi hermana Angélica, Gracias por tanto...

*A mi familia por su amor y comprensión
durante todos estos años. Los amo inmensamente.*

*A mi novia, por su amor infinito y apoyo incondicional
en los momentos difíciles, ya sabes, gracias por darle tantas alegrías
a mi corazón.*

Es tan lindo saber que ustedes existen, uno se siente vivo
David Roa

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	14
1.1 EFICIENCIA ENERGÉTICA	15
1.1.1 Análisis energético	16
1.1.2 Particularidades del software eQUEST	16
1.2 DESCRIPCIÓN PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN	18
1.2.1 Formulación y declaración del problema	18
1.3 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL REPORTE DE INVESTIGACIÓN	21
1.4 EXPECTATIVA DE CAMBIOS DE AMBIENTES ACADÉMICOS Y ZONAS COMUNES DEL EDIFICIO	23
2. CREACIÓN, CALIBRACIÓN Y SINTONIZACIÓN DEL MODELO VIRTUAL	24
2.1 MODELADO ARQUITECTÓNICO DEL EEEIE	24
2.1.1 Descripción del sistema eléctrico del EEEIE	25
2.1.2 Creación de los cerramientos y definición de zonas térmicas	28
2.1.3 Materiales constructivos del EEEIE	30
2.1.4 Cargas térmicas en el EEEIE	31
2.1.5 Asignación del sistema HVAC	39
2.2 CALIBRACIÓN Y SINTONIZACIÓN DEL MODELO	47
2.2.1 Configuración y ajuste del modelo virtual	47
2.2.2 Calibración del modelo virtual	48
2.2.3 Fases del proceso de sintonización	49
2.3 ESTIMACIÓN DE DIFERENCIAS DEL MODELO	50
2.3.1 Estimación del porcentaje de diferencias entre los resultados de la simulación virtual y los datos de consumo del edificio real	51
2.4 ANÁLISIS DE DIFERENCIAS ENTRE EL MODELO VIRTUAL Y REAL	51
3. ESTRATEGIAS URE EN ILUMINACIÓN Y CLIMATIZACIÓN	53
3.1.1 Clima en Bucaramanga	54
3.1.2 Confort Térmico	54
3.1.3 Estrategias pasivas para mitigar el consumo energético en edificaciones	54

3.1.4 Estrategias activas para reducir el consumo energético en edificaciones	56
3.1.5 Estrategias no aplicadas en la herramienta de simulación eQUEST	57
4. DESCRIPCIÓN RESULTADOS EDIFICIO BASE	58
4.1 DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO DEL EDIFICIO BASE	60
5. APLICACIÓN DE ESTRATEGIAS URE EN LA ENVOLVENTE DEL EEEIE	65
5.1 ESTRATEGIAS FACTIBLES EN eQUEST	65
5.2 RESULTADOS DE LAS VARIACIONES	79
5.3 VARIABLES HIPOTÉTICAS	80
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Metodología para el análisis energético de edificaciones a partir del software eQUEST. Elaboración propia.	17
Figura 2. Estructura del documento. Elaboración propia.	23
Figura 3. Descripción de la metodología del capítulo. Elaboración propia.	24
Figura 4. Edificio de Estudios Industriales y Empresariales de la UIS.	25
Figura 5. Características del EEEIE. Elaboración propia.	25
Figura 6. Datos de placa del transformador 1.	26
Figura 7. Transformador para las unidades manejadoras de aire acondicionado	27
Figura 8. Datos de placa del transformador 3.	28
Figura 9. Definición de zonas térmicas en eQUEST.	30
Figura 10. Modelo en tres dimensiones del EEEIE.	31
Figura 11. Perfil de ocupación para el primer del EEEIE.	35
Figura 12. Creación de zonas condicionadas e incondicionadas en eQUEST.	41
Figura 13. Asignación de espacios a zonas condicionadas e incondicionadas.	42
Figura 14. Asistente para la creación del sistema HVAC.	43
Figura 15. Temperatura de termostatos y flujos de aire.	43
Figura 16. Toneladas refrigerantes.	44
Figura 17. Potencia de los ventiladores.	45
Figura 18. Horario de uso de los sistemas HVAC.	45
Figura 19. Economizadores de aire acondicionado.	46
Figura 20. Reajuste de temperatura.	47
Figura 21. Alternativas para el diseño de un edificio eficiente energéticamente. Elaboración propia.	53
Figura 22. Asistente de medición de eficiencia energética. Elaboración propia.	58
Figura 23. Asistente de simulación.	60
Figura 24. Porcentaje de consumo energético del Edificio Base.	60
Figura 25. Consumo energético anual del EEEIE.	61
Figura 26. Costo estimado en Dólares de energía anual en EEEIE.	63
Figura 27. Resultados de la implementación de cortasoles.	69
Figura 28. Resultados de la implementación de persianas.	70
Figura 29. Resultados con la implementación de tubos solares.	71
Figura 30. Resultados con la implementación de aislamiento térmico en muros.	73
Figura 31. Resultados para la ventilación natural.	74
Figura 32. Resultados de la implementación de lámparas LED.	75

Figura 33. Temperatura mínima de punto de rocío.	76
Figura 34. Resultados de la implementación del economizador.	77
Figura 35. Resultados de la variación del termostato.	78
Figura 36. Resultados de la simulación global de estrategias.	78
Figura 37. Resultados del cambio de orientación del EEEIE.	80
Figura 38. Implementación de ventanas.	81
Figura 39. Resultados del cambio de orientación y aprovechamiento de ventilación natural.	82

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Antecedentes de simulaciones energéticas en el Edificio de Estudios Industriales y Empresariales.	19
Tabla 2. Alcances.	20
Tabla 3. Descripción de las zonas térmicas para el sótano del edificio.	29
Tabla 4. Componentes que inciden en las cargas de enfriamiento.	32
Tabla 5. Número de personas en el aula 101 del EEEIE por cada día.	33
Tabla 6. Profesores y personal administrativos en la edificación.	34
Tabla 7. Cálculo de densidad de iluminación por zonas en el piso 1.	36
Tabla 8. Cálculo de densidad de iluminación por zonas en el piso 1 introducidos en eQUEST.	36
Tabla 9. Equipos eléctricos utilizados en el EEEIE.	37
Tabla 10. Carga por equipos misceláneos en las zonas para el primer piso.	38
Tabla 11. Configuración y ajustes preliminares del modelo virtual.	48
Tabla 12. Información necesaria para la recopilación de datos.	48
Tabla 13. Limitaciones del software para realizar el modelo geométrico.	51
Tabla 14. Estrategias pasivas aplicadas en eQUEST.	55
Tabla 15. Estrategias activas aplicadas en eQUEST.	56
Tabla 16. Estrategias no aplicadas en eQUEST.	57
Tabla 17. Resultados mensuales simulación anual del edificio base en MWh.	62
Tabla 18. Estrategias constructivas aplicables en eQUEST.	65
Tabla 19. Consideraciones para el acristalamiento del edificio.	66
Tabla 20. Resultados de consumo energético para los acristalamientos.	67
Tabla 21. Consideraciones para aletas y voladizos.	68
Tabla 22. Resultados de consumo energético para la consideración de aletas y voladizos.	68
Tabla 23. Consideraciones para la implementación de cortasoles.	69
Tabla 24. Consideraciones para la implementación de persianas.	70
Tabla 25. Consideraciones para la aplicación de tubos solares.	71
Tabla 26. Consideraciones de aislamiento para paredes.	72
Tabla 27. Comparación de luminarias convencionales y LED. Tomada de [28].	74
Tabla 28. Cálculos de consumo de iluminación por zona.	75
Tabla 29. Límite máximo de los sistemas HVAC.	76
Tabla 30. Recopilación de resultados de consumo energético de las variaciones.	79

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS TÉRMICO DEL EDIFICIO EN eQUEST	93
ANEXO B. DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ARQUITECTÓNICAS DEL EEEIE	98
ANEXO C. CONSTRUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS TÉRMICAS	106
ANEXO D. MATERIALES DEL EEEIE EN eQUEST	115
ANEXO E. OCUPACIÓN EN EL EDIFICIO DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES	119
ANEXO F. CARGAS POR ILUMINACIÓN PARA EL EEEIE	129
ANEXO G. CARGAS POR EQUIPOS MISCELANEOS	144
ANEXO H. CREACIÓN DE LOS SISTEMAS HVAC	156
ANEXO I. ESTRATEGIAS URE EN ILUMINACIÓN Y CLIMATIZACIÓN SIMULADAS EN LA HERRAMIENTA eQUEST	163

RESUMEN

TÍTULO: ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL IMPACTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS URE EN ILUMINACIÓN Y CLIMATIZACIÓN EN EL EDIFICIO DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES A PARTIR DE LA HERRAMIENTA eQUEST*

AUTORES: JESÚS DAVID ROA ALARCÓN
BRAYAN SNEIDER ROA LUGO
MARLON ANDRÉS PINTO**

PALABRAS CLAVES: Simulación energética, estrategias de Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE), eQUEST, climatización, iluminación, edificaciones tropicales.

Este trabajo de grado permitió la estimación de potenciales impactos de alternativas de uso racional y eficiente de la energía en el consumo energético del Edificio de Estudios Industriales y Empresariales de la UIS. Se analizó el comportamiento del consumo energético al aplicar estrategias simuladas en el software eQUEST y consideradas en el Reglamento Técnico de Construcción Sostenible de Agua y Energía en Colombia.

Inicialmente, se estableció el modelo virtual del edificio por medio de la herramienta de simulación energética eQUEST, con base en las características arquitectónicas, eléctricas y sus características operativas. Posteriormente, el modelo fue calibrado y sintonizado, a partir de la recolección de información de la edificación real.

Se llevaron a cabo simulaciones de estrategias aplicables en la edificación y que fueran compatibles con el software eQUEST. A partir de lo cual se establecieron las variaciones del consumo de energía eléctrica del edificio. Finalmente, en la simulación de elementos de sombreado, tales como aletas y voladizos; así como el cambio a iluminación LED en la edificación, se logró obtener resultados de ahorro energético anual de un 4,63% y 11,08% respectivamente. Estos ahorros de consumo se reflejaron en equipos de climatización e iluminación.

A su vez, esta investigación pudo establecer cuáles estrategias pasivas y activas no ocasionaron variación en el consumo energético del edificio. No obstante, su análisis puede determinar un punto de partida en futuras implementaciones que apunten a lograr un potencial ahorro, ganancias en eficiencia energética y minimización de impactos ambientales.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director del proyecto MSc. Germán Alfonso Osma Pinto. Codirector PhD. Gabriel Ordoñez Plata. Ing. Jorge Luis Cárdenas Rangel

ABSTRACT

TITLE: POTENTIAL IMPACT ESTIMATION OF THE IMPLEMENTATION OF URE STRATEGIES FOR LIGHTNING AND AIR CONDITIONING SYSTEMS IN THE INDUSTRIAL AND BUSINESS STUDIES BUILDING, THROUGH THE USE OF eQUEST SOFTWARE*

AUTHORS: JESÚS DAVID ROA ALARCÓN
BRAYAN SNEIDER ROA LUGO
MARLON ANDRÉS PINTO**

KEY WORDS: Energy simulation, Rational and Efficient Energy Use strategies, eQUEST, air conditioning systems, lightning, tropical buildings.

This degree project allowed the potential impact estimation of rational and efficient energy use alternatives in the energy consumption of the Industrial and Business Studies Building from UIS, in order to analyze the variations through implementing simulable strategies in eQUEST, considered the Technical Colombian Regulation for sustainable building of water and energy.

Initially, the virtual building model was designed through the use of the energy simulation tool called eQUEST, based on its architectural, electrical, and its operating characteristics. Subsequently, such model was calibrated and tuned from the data collection of the real structure.

Strategies that were applicable to the building, and compatible with the eQUEST software, were conducted to analyze the variations in the electric energy consumption of the building. Finally, by simulating shading elements, such as fins and overhangs, as well as changing to building to LED lightning, annually energy saving results from a 4,63% and 11,8% in lightning and air conditioning systems accordingly, were obtained.

Furthermore, this research study could establish the active and passive strategies that do not imply any variation in the building's energy consumption. Nevertheless, their analysis can determine a starting point in future implementations that aim at achieving potential saving, gains in energy efficiency, and a minimization in environmental impacts.

* Degree project

** Department of Physical – Mechanical Engineering. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Director MSc. Germán Alfonso Osma Pinto. Codirector PhD. Gabriel Ordoñez Plata. Ing. Jorge Luis Cárdenas Rangel

1. INTRODUCCIÓN

Las edificaciones son un espacio esencial para el desarrollo las actividades humanas. Éstas demandan cantidades considerables de energía, esto se debe a que son diseñadas sin considerar criterios de sostenibilidad; es decir, contribuyen a generar importantes emisiones de CO_2 ; específicamente, por sistemas de aire acondicionado e iluminación. Es por esto que surge la necesidad de adoptar estrategias que reduzcan el impacto ambiental que mejoren la construcción y operación de edificaciones más sostenibles que involucren sistemas capaces de distribuir de manera eficiente la energía térmica y la energía eléctrica [1].

El Edificio de Estudios Industriales y Empresariales de la Universidad Industrial de Santander, se seleccionó debido a que este cuenta con sistemas de aire acondicionado en más del 90% del área total del edificio [2]. Por tal razón, el objetivo de este trabajo consistió en estimar el impacto de la implementación de estrategias de uso racional de energía en iluminación y climatización a partir de las simulaciones en el software eQUEST.

El modelo virtual fue calibrado a través de la recolección de datos constructivos y del comportamiento de las propiedades operativas del edificio. posteriormente se alimentó el software para llevar a cabo las simulaciones preliminares, determinando una diferencia del 11,63 % entre el modelo real y el modelo virtual propuesto, estos valores se compararon con la lectura de los medidores de energía eléctrica del edificio [3]. Después del proceso de calibración, se sintonizó el modelo, realizando ajustes a los perfiles de ocupación de personas, iluminación y uso de equipos eléctricos, estos cambios se realizaron teniendo como base el calendario académico de la UIS correspondiente al año 2014.

Una vez establecido el modelo virtual, se seleccionaron estrategias constructivas propuestas en el Reglamento Técnico de Construcción Sostenible de Agua y Energía en Colombia, aplicadas al clima de Bucaramanga, y que además se pudieran simular en eQUEST.

Con la selección de estas estrategias se realizaron simulaciones en eQUEST, consiguiendo un ahorro del 19,49 %, con la propuesta del cambio de lámparas LED, variación del termostato en los sistemas HVAC, elementos de sombreado, entre otros.

1.1 EFICIENCIA ENERGÉTICA

La eficiencia energética tiene como objetivo disminuir el consumo de energía primaria en la edificación, y consecuentemente las emisiones de CO₂ a la atmósfera debido a la actividad, al uso y explotación de la construcción [1].

Para alcanzar este objetivo de disminución de consumo energético, es necesario entender una concepción en donde el edificio supera su papel de consumidor de energía para transformarse en una infraestructura energética urbana, capacitada para generar, recibir, almacenar y distribuir energía térmica y eléctrica de forma inteligente, mitigando el impacto energético y ambiental causado por el hecho de construir. Es importante resaltar que todo esto es posible sin renunciar a la estética, ni al resto de requisitos técnicos, estructurales y formales particulares de la Arquitectura [1].

La eficiencia energética en la edificación requiere estrategias donde el confort en su mayoría se logre a través de la forma, la proporción, los materiales y la orientación escogidos; en menor relevancia, pero de forma decidida, a los

sistemas pasivos, que utilizan las condiciones climáticas del ambiente; y finalmente, a los sistemas activos de elevada eficiencia generados con energías renovables [1].

1.1.1 Análisis energético

El propósito del análisis energético es realizar una estimación del consumo total de energía en un periodo de tiempo determinado de los edificios para adoptar alternativas eficientes desde el punto de vista energético [4]. El análisis energético toma en consideración una extensa variedad de factores relacionados con: las características arquitectónicas, la localización del edificio, cerramientos, ocupación, emisiones de dióxido de carbono entre otras.

1.1.2 Particularidades del software eQUEST

Para llevar a cabo el trabajo de grado, se utilizó la herramienta de simulación energética eQUEST, empleada para la realización de simulaciones orientadas a la estimación el análisis del gasto de energético en edificaciones [5].

Esta herramienta consta de dos asistentes, el primero se encarga del diseño de la edificación y sus instalaciones, y la segunda efectúa un estudio de la eficiencia energética utilizando resultados gráficos que facilitan el análisis [5].

Es indispensable plantear una metodología que garantice un correcto análisis de la simulación. Por consiguiente es necesario obtener la información necesaria, que permita diseñar la edificación con mayor exactitud. **La Figura 1** muestra la metodología para el análisis energético de edificaciones a partir del software eQUEST. Para mayor información de la metodología del trabajo de investigación ver el Anexo A.

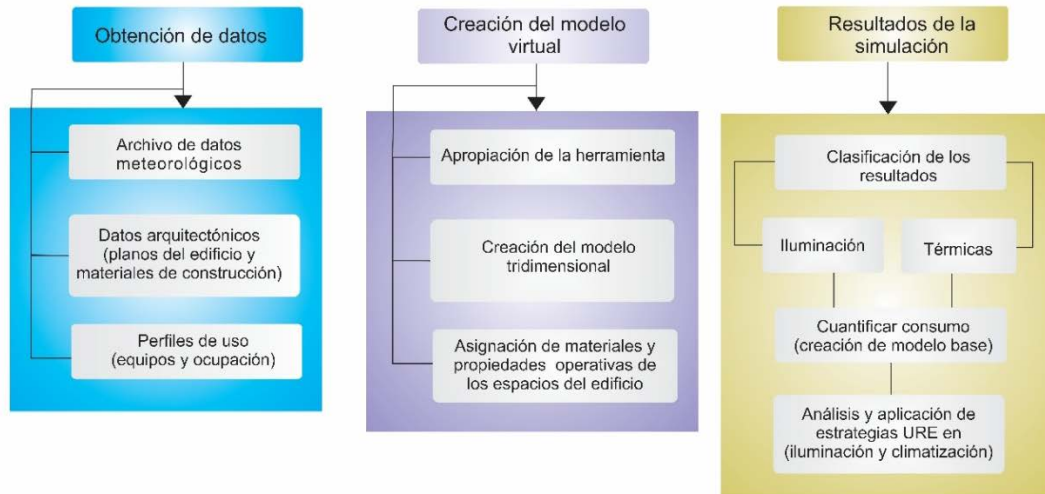


Figura 1. Metodología para el análisis energético de edificaciones a partir del software eQUEST.
Elaboración propia.

Para facilitar la simulación, eQUEST cuenta con un asistente de creación de edificio que guía a través del proceso de generación de un modelo energético de edificaciones eficientes. Para lograr esto se debió cumplir una serie de pasos que ayudaron a describir las características de su diseño que generan impacto en el uso de energía; tales como el diseño arquitectónico, equipos *Heating, Ventilating, and Air Conditioning (HVAC)*, el tipo y tamaño del edificio, los materiales de construcción, el uso de área y ocupación de la misma así como el sistema de iluminación [5].

Después de compilar los datos que permiten la descripción de la edificación, eQUEST ejecuta una simulación del edificio, que brinda una estimación de la cantidad de energía eléctrica que se utiliza en el modelo virtual.

El software ofrece formatos gráficos para observar los resultados de la simulación, presentando el gráfico de la energía eléctrica total de la edificación simulado en

forma anual o mensual. Igualmente, presenta un resumen ejecutivo de los resultados de costos de las cargas de operación, incluyendo la comparación de los resultados de variaciones realizadas al modelo base.

La versión 3.65 del 2014 disponible por el motor de cálculo llamado *DOE- 2.2*, cuenta con la posibilidad de tener una vista tridimensional de la geometría de la edificación, así como diagramas del sistema de control de climatización (HVAC) [5].

1.2 DESCRIPCIÓN PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

A continuación se presenta una descripción de la propuesta de investigación, presentando el problema a solucionar, los objetivos por cumplir para su solución y un esbozo del documento.

1.2.1 Formulación y declaración del problema

Actualmente, la aplicación de estrategias de uso racional y eficiente de energía (URE) es un tema de preferencia que centra la atención de múltiples investigaciones entre las cuales se encuentra su implementación en edificaciones con miras a reducir el consumo [6].

Los avances en los sistemas de información y el software ofrecen oportunidades para fortalecer el diseño de edificaciones, otorgando la posibilidad de realizar estudios y análisis URE en iluminación y climatización, permitiendo así tener una visión particular del comportamiento energético de una edificación [6].

La selección del Edificio de Estudios Industriales y Empresariales radica en que el Grupo de Investigación de Sistemas de Energía Eléctrica (GISEL) de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander han desarrollado

trabajos de grado observados en la Tabla 1 cuyo objetivo es determinar los factores relacionados con el diseño y el clima que tienen impacto en el consumo energético. La **Tabla 1** describe la temática de los trabajos de grado de simulaciones energéticas desarrollados en el Edificio de Estudios Industriales y Empresariales.

Tabla 1. Antecedentes de simulaciones energéticas en el Edificio de Estudios Industriales y Empresariales.

Título del Trabajo	Temática
ANÁLISIS ENERGÉTICO DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES SEGÚN LINEAMIENTOS DEL SISTEMA LINEAMIENTOS DEL SISTEMA LEED A PARTIR DEL USO DE LA HERRAMIENTA AUTODESK ECOTECT ANALYSIS: Creación del modelo de información de la edificación (BIM) e identificación preliminar de puntos críticos de potencial consumo.	El proyecto propone Establecer el modelo virtual del Edificio de Estudios Industriales y Empresariales, crear el archivo de datos climáticos para simulación, y una guía para simulación energética en Autodesk Ecotect analysis.
ANÁLISIS ENERGÉTICO DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES SEGÚN LINEAMIENTOS DEL SISTEMA LEED A PARTIR DEL USO DE LA HERRAMIENTA AUTODESK ECOTECT ANALYSIS: Calibración del Building Information Model(BIM)	Proyecto dedicado a la calibración del modelo virtual del Edificio de Estudios Industriales y Empresariales a partir de la elección en primer lugar del método adecuado de calibración y la realización de la monitorización de variables micro climática para realizar la calibración definitiva del modelo de la edificación.

El modelo del Edificio de Estudios Industriales y Empresariales ya había sido calibrado y sintonizado anteriormente en el software Autodesk Ecotect Análisis, lo que hacía viable la realización de las estrategias URE; sin embargo, éste ha sido discontinuado debido a la evolución del portafolio Autodesk en integrar la funcionalidad en la familia de productos Revit; programa para el diseño, construcción de edificios con mayor calidad y eficiencia energética [7].

La ejecución de este trabajo de grado permitió la cuantificación del potencial impacto de estrategias URE sobre el consumo energético de la edificación. Para la solución del problema descrito se propuso como objetivo general: *Estimar el potencial impacto de la implementación de estrategias de Uso Racional de la Energía en iluminación y climatización en el Edificio de Estudios Industriales y Empresariales de la Universidad Industrial de Santander a partir de simulaciones energéticas en la herramienta eQUEST.*

Para el cumplimiento del objetivo general se plantearon cuatro (4) objetivos específicos:

- Establecer y calibrar el modelo virtual del Edificio de Estudios Industriales y Empresariales en la herramienta de simulación energética eQUEST.
- Identificar estrategias URE que impacten sobre el consumo energético en iluminación y climatización del Edificio de Estudios Industriales y empresariales.
- Realizar simulaciones del comportamiento energético del Edificio de Estudios Industriales y Empresariales, teniendo en cuenta las estrategias URE aplicables asociadas a iluminación y climatización.
- Cuantificar el potencial impacto de estrategias URE en iluminación y climatización sobre el consumo energético del Edificio de Estudios Industriales y Empresariales.

La **Tabla 2** presenta los alcances del trabajo de investigación a partir de cada objetivo específico.

Tabla 2. Alcances.

Objetivo	Alcance
Establecer y calibrar el modelo virtual del Edificio de Estudios Industriales y Empresariales en la herramienta de simulación	A partir de la recolección de información sobre manejo y modelado se procederá al establecimiento del modelo virtual del Edificio de Estudios Industriales y Empresariales en eQUEST, teniendo en cuenta las características

Objetivo	Alcance
energética eQUEST.	arquitectónicas, eléctricas y de operación. Posteriormente se realizará la calibración de dicho modelo a través de la recolección de información teniendo en cuenta las variables que afecten el análisis energético y posteriormente sintonizar el modelo simulado con los datos recolectados.
Identificar estrategias de Uso racional de la Energía que impacten sobre el consumo energético en iluminación y climatización del Edificio de Estudios Industriales y Empresariales	Teniendo en cuenta la ubicación, y las características propias del Edificio de Estudios Industriales y Empresariales, así como las limitaciones propias del software eQUEST, se hará una búsqueda bibliográfica de estrategias URE orientadas a la disminución del consumo y se identificarán estrategias aplicables que impacten el consumo energético de la edificación en iluminación y climatización.
Realizar simulaciones del comportamiento energético del Edificio de Estudios Industriales y Empresariales, teniendo en cuenta las estrategias URE aplicables asociadas a iluminación y climatización	Se realizarán un plan simulaciones, una definición de los parámetros de simulación y así realizar simulaciones del comportamiento energético.
Cuantificar el potencial impacto de estrategias URE en iluminación y climatización sobre el consumo energético del Edificio de Estudios Industriales y Empresariales.	Se procederá a cuantificar el potencial impacto de las estrategias URE identificadas aplicables a la edificación por medio del análisis de las simulaciones organizando los resultados y así estableciendo cuantitativamente un resultado.

1.3 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL REPORTE DE INVESTIGACIÓN

Para el cumplimiento de los objetivos el documento se distribuyó de la siguiente forma: el Capítulo 2 incluye la creación, calibración y sintonización del modelo virtual del Edificio de Estudios Industriales y Empresariales en la herramienta de simulación energética eQUEST.

El Capítulo 3 presenta la identificación y descripción de estrategias de uso racional de la energía que impactan sobre el consumo energético en iluminación y climatización del Edificio de Estudios Industriales y empresariales aplicables en el software eQUEST.

El Capítulo 4 describe la información de las simulaciones del comportamiento energético del Edificio de Estudios Industriales y Empresariales; con sus propiedades operativas y de funcionamiento.

El Capítulo 5 presenta los resultados de las simulaciones de estrategias URE asociadas a iluminación y climatización, donde se estima y cuantifica el impacto sobre el consumo energético del Edificio de Estudios Industriales y Empresariales con sus respectivos análisis de resultados.

Por último, el capítulo 6 presenta las conclusiones y recomendaciones de los resultados obtenidos en el trabajo. La **Figura 2** describe la estructura del documento.



Figura 2. Estructura del documento. Elaboración propia.

1.4 EXPECTATIVA DE CAMBIOS DE AMBIENTES ACADÉMICOS Y ZONAS COMUNES DEL EDIFICIO

Se tuvo como expectativa reducir el consumo energético en la edificación manteniendo el confort térmico y lumínico de las personas que ocupan el EEEIE. Asimismo, se realizó el análisis con las estrategias factibles para un clima tropical como el de la ciudad de Bucaramanga, determinando cuáles de estas estrategias significaban un cambio en el consumo de energía eléctrica del EEEIE. Las que no ocasionaron un cambio considerable en el consumo de energía, servirán como punto de partida para implementarse en la construcción de edificaciones futuras.

2. CREACIÓN, CALIBRACIÓN Y SINTONIZACIÓN DEL MODELO VIRTUAL

Este capítulo describe el proceso del modelado virtual de la edificación. Inicialmente, se explica cómo se generó el modelo arquitectónico en la herramienta eQUEST; posteriormente, se expone el proceso para la calibración y sintonización del modelo. Asimismo, se presenta un análisis comparativo para la estimación de diferencias entre el comportamiento del modelo virtual y real, lo que permitió la confiabilidad del modelo. Igualmente, se tuvo en cuenta las limitaciones del programa, con el fin de explicar las diferencias entre del modelo virtual y la edificación real. La **Figura 3** describe la estructura del capítulo.

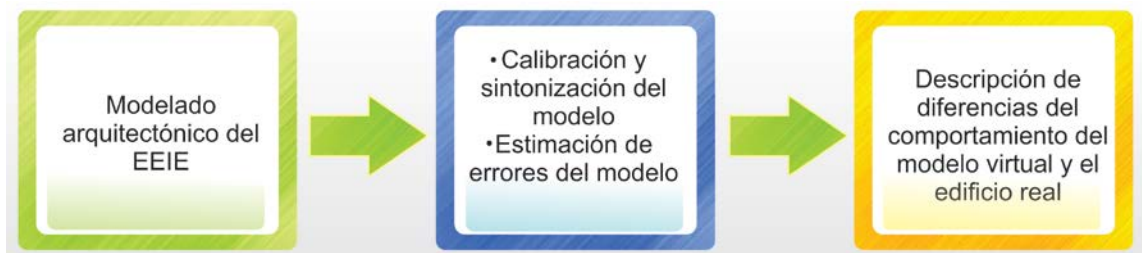


Figura 3. Descripción de la metodología del capítulo. Elaboración propia.

2.1 MODELADO ARQUITECTÓNICO DEL EEIE¹

El EEIE fue remodelado y puesto en servicio nuevamente en el año 2011. Actualmente, la edificación cuenta con seis plantas en las que se encuentra el sótano, el piso uno, dos, tres, cuatro y piso cinco. En dichas plantas se distribuyen un total de treinta y siete aulas de clase, dos auditorios, un centro de estudios, dos salas de cómputo, una cafetería, diez y nueve oficinas para profesores, trece

¹ Edificio de Estudios Industriales y Empresariales de la Universidad Industrial de Santander.

oficinas administrativas y catorce baños. En la **Figura 4** se observa la fachada principal del EEEIE.



Figura 4. Edificio de Estudios Industriales y Empresariales de la UIS.

En la **Figura 5** se presentan de forma resumida las características técnicas del edificio [3].

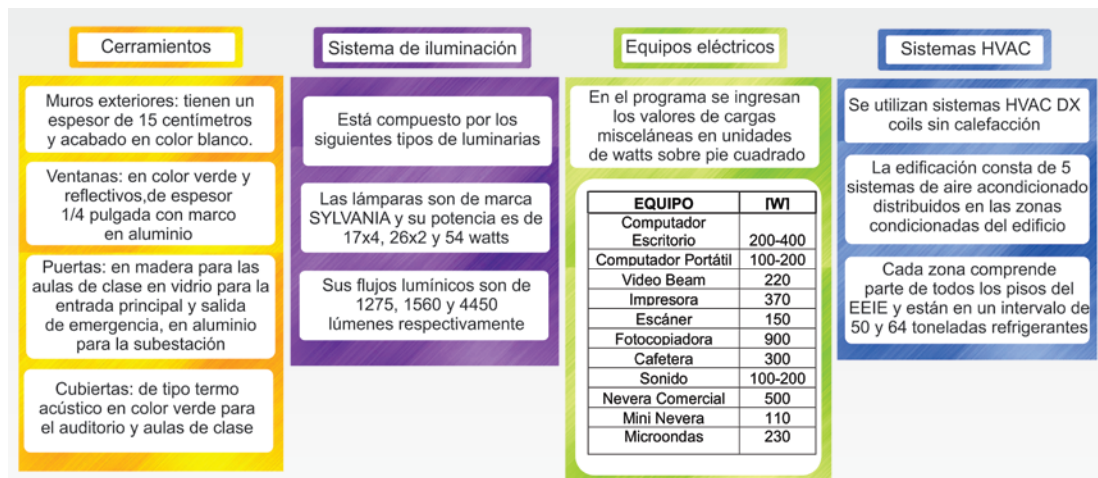


Figura 5. Características del EEEIE. Elaboración propia.

2.1.1 Descripción del sistema eléctrico del EEEIE

El EEEIE está conectado a la acometida derivada del Edificio de Eléctrica antigua. Dicha acometida tiene dos derivaciones en las que se encuentran conectados dos transformadores principales que alimentan las cargas del edificio. El transformador 1 tiene las siguientes especificaciones 300 KVA, 13200 – 3*440/254 V conexión

Dyn5, éste se utiliza para alimentar las unidades condensadoras de aire acondicionado. Del tablero al que se conecta el transformador 1, se enlaza el transformador 2 con las siguientes especificaciones 15 kVA, 440/220 V y que alimenta las unidades manejadoras de aire acondicionado (UMAs), es por esto que se utiliza el transformador reductor. El transformador 3 con especificaciones de 225 KVA, 13200-3*220/127 V conexión Dyn5 se utiliza para alimentar las cargas por iluminación, equipos de cómputo, equipos de la cafetería, además de una unidad condensadora de aire ubicada en el auditorio. De la **Figura 6 a la Figura 8** se observa los datos de placa de los tres transformadores mencionados anteriormente.

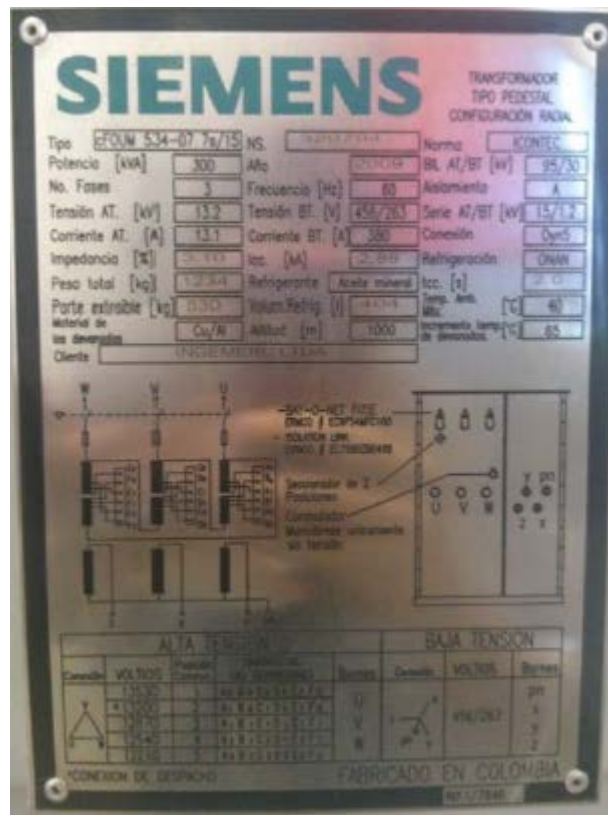


Figura 6. Datos de placa del transformador 1.



Figura 7. Transformador para las unidades manejadoras de aire acondicionado

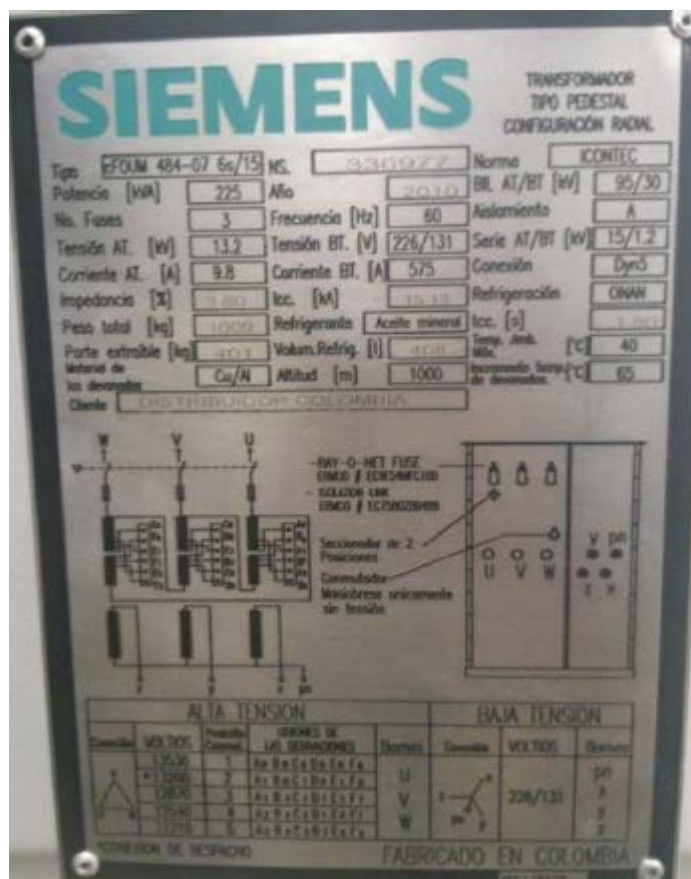


Figura 8. Datos de placa del transformador 3.

2.1.2 Creación de los cerramientos y definición de zonas térmicas

Para el modelado virtual del Edificio fue necesario apoyarse en los planos de diseño en formato CAD², permitiendo generar una plantilla de apoyo en donde también se tomó la ubicación del edificio. Posteriormente, se crearon las zonas térmicas, teniendo en cuenta los criterios para la definición de las mismas que según el programa se asignan de la siguiente forma: para zonas condicionadas deben encontrarse equipos de aire acondicionado o equipos que alteren la temperatura al interior de la zona, de lo contrario es una zona incondicionada es decir en estas zonas no existen equipos de climatización. En el Anexo B se

² Formato de los planos arquitectónicos del edificio reproducidos en AutoCAD

encuentran la información para la creación de la envolvente en el asistente de eQUEST.

En la **Tabla 3** se muestra cómo se definieron las zonas térmicas del sótano del Edificio y el porcentaje de área de las zonas con respecto al piso. El área total del EEEIE es 73034,78 [ft^2] estos datos se tomaron de los planos de diseño de la estructura y fueron proporcionados por División de Planta Física de la UIS. Es preciso aclarar que el software trabaja en Unidades del Sistema Inglés y no es posible realizar el cambio a Unidades del Sistema Internacional [8].

Tabla 3. Descripción de las zonas térmicas para el sótano del edificio.

Zona	Tipo de zona	Área de la zona [ft^2]	% Área con respecto al piso	% Área con respecto al edificio
Subestación	Incondicionada	913,413	21,784	1,251
Escaleras sótano	Incondicionada	73,040	1,742	0,100
Laboratorios	Condicionada	2151,247	51,305	2,946
Baño sótano	Incondicionada	102,450	2,443	0,140
Bodega	Incondicionada	952,929	22,726	1,305
Total		4193,079	100,00	5,742

En la **Figura 9** se observa el resultado de la inclusión de dichas zonas en eQUEST. Para llenar estos datos se tuvo en cuenta la Tabla 3.

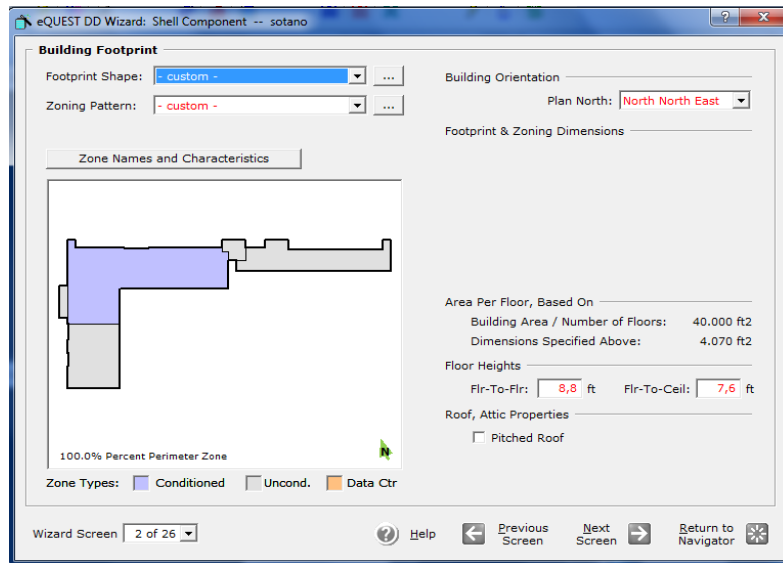


Figura 9. Definición de zonas térmicas en eQUEST.

Para el piso 1 se definieron un total de 19 zonas entre las que se encuentran un 68,55% de zonas condicionadas por equipos de climatización y un 31,45% de zonas incondicionadas. El piso 2 hay un 67,67% de zonas condicionadas y un 32,33% de zonas incondicionadas. El piso 3 cuenta con un 64,38 de zonas condicionadas y un 35,62% de zonas incondicionadas. El piso 4 cuenta con un 85,15% de zonas condicionadas y un 14,85% de zonas incondicionadas, finalmente el piso 5 cuenta con un 75,84% de zonas condicionadas y un 24,16% de zonas incondicionadas.

Las especificaciones completas de las zonas térmicas para cada planta del edificio definidas en eQUEST se encuentran en el Anexo C.

2.1.3 Materiales constructivos del EEEIE

Con el propósito de simular la edificación de la mejor manera, se tomaron los datos de los materiales de construcción de la licitación pública No. 012 titulada “Adecuaciones Civiles, Arquitectónicas, Eléctricas y de Comunicaciones para la

modernización y ampliación de la planta física del Edificio de Estudios Industriales y Empresariales” disponible en el catálogo bibliográfico de la página de la UIS [9].

Es importante que los materiales de los muros, placas, ventanas y puertas, entre otros, se asignen en forma correcta, ya que existen variables como la conductividad y densidad, que afectan en la transferencia de calor entre éstos. En el Anexo D se encuentran las especificaciones de los materiales del EEEIE.

Al finalizar el proceso de modelado, se obtuvo el modelo mostrado en la **Figura 10** en la cual se observa la vista en tres dimensiones que ofrece eQUEST.

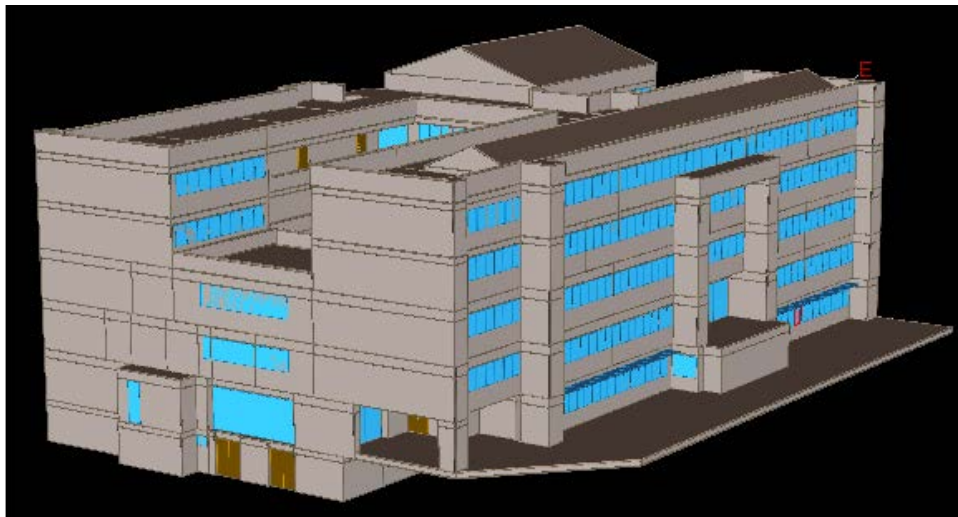


Figura 10. Modelo en tres dimensiones del EEEIE.

2.1.4 Cargas térmicas en el EEEIE

El software eQUEST permite dividir cada piso del edificio en zonas térmicas, las cuales presentan diferentes valores de cargas, debido a iluminación, cantidad de equipos misceláneos y ocupación.

Éstas son el resultado de transferencia de calor por medio de la conducción, convección y radiación que depende de la envolvente del edificio, así como los

parámetros internos y externos. En la **Tabla 4** se muestran los componentes que inciden en las cargas de enfriamiento.

Tabla 4. Componentes que inciden en las cargas de enfriamiento.

Externa	Interna	Infiltración	Sistemas
Paredes, pisos, techos, ventanas, claraboyas, puertas, tabiques, cielo raso.	Iluminación, flujo de personas, electrodomésticos, equipos.	Fugas de aire y migración de humedad	Aire exterior, fugas y ganancias de calor en los ductos, recalentamiento, energía de ventiladores y bombas, y recuperación de calor.

- **Infiltración por aberturas**

El interior y exterior de una edificación presenta diferentes temperaturas, debido a la diferencia entre ellas, se desarrolla un flujo de aire constante por medio de las grietas o las juntas entre materiales, etc. La superficie total de estas aberturas discriminará el volumen de aire infiltrado de un edificio, también el nivel de exposición de viento que tendrá la fachada y el gradiente térmico.

En un clima frío es conveniente tapar al máximo las aberturas y tener control de las renovaciones de aire a través de sistemas mecánicos de flujo constante con el propósito de moderar las pérdidas de calor, al controlar estas infiltraciones se puede lograr un ahorro energético en la edificación. Sin embargo este tema no es tan importante en la eficiencia energética de los climas suaves incluso en climas húmedos y cálidos se supone una dicha ventaja el hecho de intensificar la tasa de ventilación del edificio [10].

No obstante en climas tropicales este valor se desprecia, en el caso de la simulación del modelo virtual estos valores no se tuvieron en cuenta. Además se aclara que en proyectos anteriormente realizados con el simulador de análisis

energético Autodesk Ecotect Analysis³, estos valores fueron totalmente despreciados [3].

- **Ocupación de personas en el EEEIE**

Se obtuvieron los horarios de ocupación semanal por salón para todos los pisos de la edificación. La **Tabla 5** muestra la ocupación del salón 101 del EEEIE, estos valores se estimaron de acuerdo a los datos suministrados por la División de Planeación de la UIS, en las áreas sombreadas de la Tabla, se encuentra un promedio de 39 personas que ocupan el salón en cada hora del día.

Tabla 5. Número de personas en el aula 101 del EEEIE por cada día.

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
6-7						
7-8						
8-9						
9-10						
10-11						
11-12						
12-13						
13-14						
14-15						
15-16						
16-17						
17-18						
18-19						
19-20						
20-21						
21-22						

Además se suministraron los datos relacionados con profesores cátedra, planta y personal administrativo, con el objetivo de ser más exactos entre las personas que hacen parte de la ocupación del edificio. La **Tabla 6** muestra la cantidad de profesores y personal administrativo presente en la edificación, éste personal se

³ Software que permite a crear, visualizar y simular diseños de edificaciones

especifica aparte debido a que ocupan la mayor parte del día dentro del edificio; los datos fueron suministrados por la División de Planeación de la UIS.

Tabla 6. Profesores y personal administrativos en la edificación.

Profesores		Administrativos	
Planta	16	Planta	18
Cátedra	43	Empleados temporales	9

La norma ASHRAE⁴ en su versión 90.1 ofrece unas tasas representativas a las cuales el calor sensible y la humedad son emitidos por las personas en diferentes estados de actividad. En espacios de alta densidad, como auditorios, estas ganancias de calor sensible y latente comprenden una gran fracción de la carga total. Incluso para la ocupación a corto plazo, el calor sensible extra, y la humedad introducida por las personas puede ser significativa [11].

En eQUEST se ingresa la cantidad máxima de personas que pueden fluir por un espacio determinado [$ft^2/personas$], además se especifica la ventilación por flujo de cada persona, [$CFM/personas$], las unidades CFM⁵ indica los pies cúbicos por minuto, es decir es una medida del aire que fluye en un espacio por minuto, éste se utiliza para calcular el calor sensible emitido en el edificio, teniendo en cuenta la asignación de los perfiles de ocupación de personas.

Con base en los datos de ocupación del EEEIE suministrados por la División de Planeación de la UIS, se estimó que el 60% de la cantidad total de personas que ocupan el EEEIE por piso, es el valor máximo de acuerdo a los horarios de clase que hay en el edificio, es decir, el edificio nunca estará totalmente lleno de personas. En la **Figura 11** se observa el perfil de ocupación de la edificación para

⁴ *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*: Asociación comprometida con el avance de las artes y ciencia de la calefacción, ventilación, aire acondicionado y la refrigeración

⁵ Las siglas en inglés son : *Cubic feet per minute*

el día lunes. En donde se observa que a las 6:00 am se empieza a llenar el edificio en un 45% de las personas, a las 9:00 am los salones y zonas de edificio están llenas en un 60%, la demanda de personas al medio día disminuye a un 40% y a las 3:00pm el porcentaje vuelve a aumentar. Finalmente después de las 6:00pm se observa que el edificio se va desocupando.

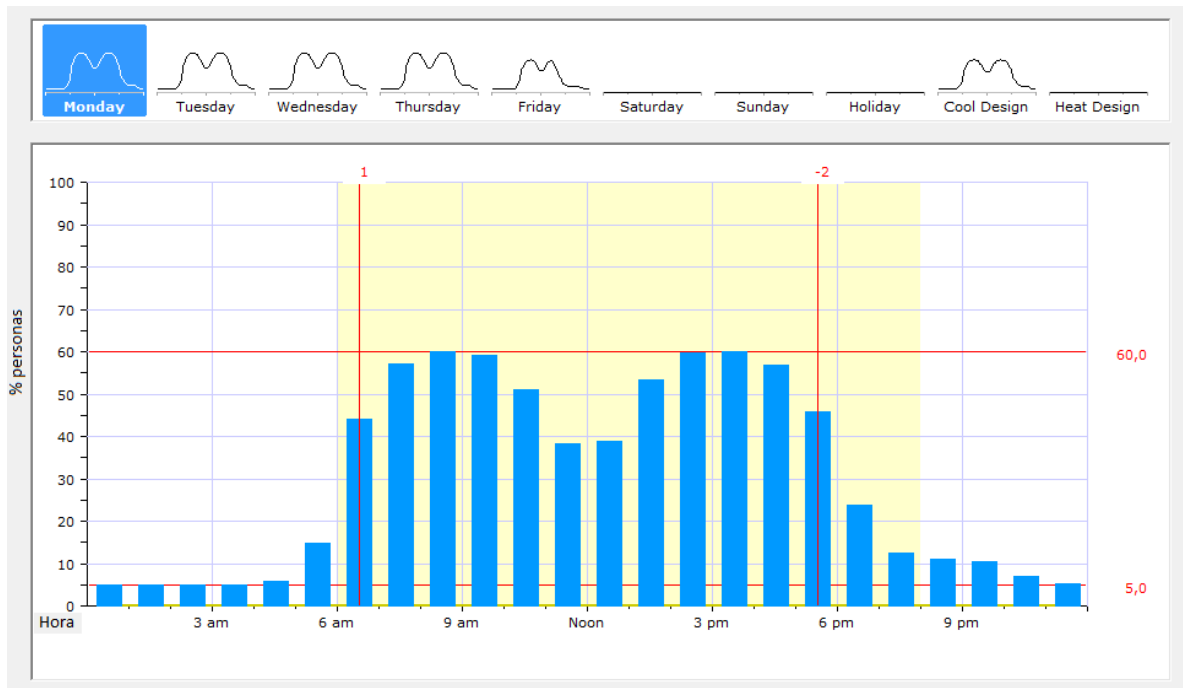


Figura 11. Perfil de ocupación para el primer del EEEIE.

Para los perfiles de las demás plantas se debe tener en cuenta la hora de ocupación de personas aproximada durante el día, estos perfiles varían de acuerdo al día y la planta que se esté definiendo los valores de ocupación. En el Anexo E se encuentra en su totalidad las Tablas de ocupación máxima en cada piso de la edificación.

- **Carga térmica por iluminación**

La iluminación es uno de los componentes que genera calentamiento al interior de una zona y afecta la carga de climatización del espacio, se necesita una

estimación cercana de la ganancia de calor que esta impone. Para hallar el valor de la potencia total de las lámparas se realizó el respectivo conteo de las luminarias que están instaladas en el edificio, los resultados se compararon con los planos eléctricos facilitados por la División de Planta Física.

En la edificación se encuentran tres tipos de configuraciones de marca Sylvania y su potencia es de 17x4W, 26X2W y 54W. Sus flujos lumínicos son de 1275, 1560 y 4450 lúmenes respectivamente. Se hizo el cálculo de la carga de iluminación por piso como observa en la **Tabla 7**.

Tabla 7. Cálculo de densidad de iluminación por zonas en el piso 1.

Zona	Densidad de Iluminación [W/ft ²]	Zona	Densidad de Iluminación [W/ft ²]
Salón excelencia	0,42	Sala de computo 12	0,53
ACEII	0,46	Escaleras sótano	1,6
Salón Fundadores	0,41	Baño auditorio hombres	0,63
Escaleras 1	0,17	Baño auditorio mujeres	1,07
Salón emprendedores	0,65	Lobby	0,89
Profesores cátedra	1,14	Escaleras auditorio	N/A
Sala de reuniones	1,2	Información	1,71
Baños, Corredores	0,77	Auditorio	0,06
Sala de computo 11	0,51	Cafetería	0,6

Las zonas anteriormente mencionadas fueron clasificadas de acuerdo a las zonas especificadas en el software. En la **Tabla 8** se especificó la carga por iluminación del primer piso de la edificación.

Tabla 8. Cálculo de densidad de iluminación por zonas en el piso 1 introducidos en eQUEST.

Zona	Densidad de Iluminación [W/ft ²]	Zona	Densidad de Iluminación [W/ft ²]
Corredores	0,71	Computador servidor	0,41
Salones	0,48	Laboratorio de computadores	0,43
Auditorios	0,05	Salón de conferencias	0,96

Baños	0,66	Vestíbulo	0,72
Oficinas privadas	1,37	Cafetería	0,48
Oficinas abiertas	0,91		

En el Anexo F se encuentran las tablas de cargas por iluminación para cada piso de la edificación además de las fórmulas utilizadas para el cálculo de los diferentes componentes de la tabla, como son la carga de enfriamiento sensible en Watts, su factor de asignación de balastro, el factor de uso de las lámparas, entre otros.

- **Carga térmica por equipos de potencia**

En esta etapa se presenta la carga por equipos misceláneos que generan consumo de electricidad en la edificación. Para calcular las cargas de cada equipo, se comienza por la determinación de la ganancia de calor debido a los computadores de escritorio, así como otros equipos tales como impresora, escáner y fotocopiadoras entre otros. En eQUEST se ingresan el dato de las cargas de los equipos misceláneos en $[W/ft^2]$, según la zona que se esté analizando.

En la **Tabla 9** se encuentran los equipos eléctricos con su potencia que están dentro del edificio.

Tabla 9. Equipos eléctricos utilizados en el EEEIE.

EQUIPO	[W]
Computador Escritorio	200-400
Computador Portátil	100-200
Video Beam	220
Impresora	370
Escáner	150
Fotocopiadora	900
Cafetera	300

Sonido	100-200
Nevera Comercial	500
Mini Nevera	110
Microondas	230

Para hallar la cantidad de equipos que hay por piso y zona, así como su potencia, se realizó una visita de inspección al edificio. Después de determinar los equipos que hay en cada zona del edificio, se dividió la potencia de los equipos que se usan en cada zona, sobre el área. En la **Tabla 10** se observa la carga por equipos misceláneos en las zonas del piso 1 como se ingresaron a eQUEST.

Tabla 10. Carga por equipos misceláneos en las zonas para el primer piso.

Zona	Densidad de carga [W/ft ²]
Corredor	N/A
Salones	0,36
Auditorio	0,21
Cuarto de Aseo	N/A
Oficina privada	N/A
Oficina abierta	0,23
Computador servidor	6,39
Laboratorio computadores	3,77
Salón de conferencias	1,62
Pasillos	N/A
Cafetería	3,21

En los demás pisos del edificio se realizó la misma operación de dividir la potencia del equipo entre el área que se encontraba instalado.

En el Anexo G se muestra la carga por equipos misceláneos de cada piso y datos de consumo de los equipos.

2.1.5 Asignación del sistema HVAC

Los datos técnicos de los sistemas de aire acondicionado fueron tomados del *Manual del Aire Acondicionado del Edificio de Industrial*, facilitado por la División de Planta Física; de acuerdo a las especificaciones se seleccionó un sistema HVAC DX coils sin calefacción que tiene como característica utilizar un refrigerante para incrementar la temperatura en un recinto. Este sistema sirve para acondicionar áreas pequeñas y cumple con la capacidad demandada para la climatización; la calefacción no se tuvo en cuenta por ser una zona tropical.

Todos los sistemas comprenden un *Packaged DX series Fan-Powered VAV*, que es un sistema con unidad de enfriamiento de expansión directa sin capacidad de calefacción. El sistema incluye un volumen variable, sistema de conducto de ventilación y distribución única que sirve a múltiples zonas, cada una con unidades terminales de ventilador con motor en serie y control termostático.

Cada sistema está conformado por cuatro (4) sistemas de refrigerante variable y a su vez por cuatro (4) “tandems⁶” de unidades condensadoras exteriores conectadas por medio de redes de refrigeración y cableado a unidades acondicionadoras evaporadoras interiores ubicadas en cada recinto a acondicionar en el Edificio. Los 4 sistemas de refrigerante variable acondicionan los 4 primeros pisos del Edificio y se complementan con un quinto sistema de las mismas características que sirve para acondicionar únicamente el piso 5.

Estos sistemas de acondicionamiento de refrigerante variable cuentan con su correspondiente control central simple, ubicado en la Dirección de EEEIE, tiene conexión con la interface para monitoreo remoto a través de la ETHERNET⁷ del

⁶ Se refieren a la instalación en paralelo de las unidades refrigerantes.

⁷ Es un estándar de redes de área local para computadores con acceso al medio por detección de la onda portadora y con detección de colisiones.

edificio y Gestión a través del sistema de monitoreo y control central que se adopte en la Universidad.

De igual forma cada una de las unidades acondicionadoras interiores cuenta con un control remoto alámbrico o inalámbrico dependiendo si se trata de un aula o una oficina respectivamente. Dicho control estará de todos modos sujetado a la programación central del sistema.

Los sistemas de aire acondicionado por refrigerante variable se han denominado SRV-01/02/03/04/05:

- **El sistema SRV-01**, está conformado por un tándem de unidades exteriores y 41 unidades interiores (evaporadoras), este sistema cubre la Zona Nor-Occidental en los pisos 1, 2, 3, 4 y sótano, con 4 unidades condensadoras de 64 TR de capacidad (volumen variable).
- **El sistema SRV-02**, está conformado por un tándem de unidades exteriores y 33 unidades interiores (evaporadoras), este sistema cubre la Zona Nor-Oriental en los pisos 1, 2, 3, y 4, con 4 unidades condensadoras de 58 TR de capacidad (volumen variable).
- **El sistema SRV-03**, está conformado por un tándem de unidades exteriores y 19 unidades interiores (evaporadoras), este sistema cubre la Zona Sur-Occidental en los pisos 1, 2, 3, y 4, con 4 unidades condensadoras de 56 TR de capacidad (volumen variable).
- **El sistema SRV-04**, está conformado por un tándem de unidades exteriores y 23 unidades interiores (evaporadoras), este sistema cubre la Zona Sur-Oriental en los pisos 1, 2, 3, y 4, con 4 unidades condensadoras de 62 TR de capacidad (volumen variable)

El sistema SRV5 complementa los 4 sistemas anteriores y cubre sólo el piso 5. Cada sistema de refrigerante variable permite acondicionar un sector de la edificación por medio de sus unidades condensadoras exteriores y las unidades acondicionadoras evaporadoras interiores que se encuentran conectadas a través su respectiva red de refrigeración. Cada recinto de cada sector del edificio, cuenta con una o varias unidades evaporadoras interiores que permiten el acondicionamiento independiente del mismo, de esta manera las unidades condensadoras exteriores que conforman cada sistema trabajan a carga parcial o total dependiendo del número de unidades acondicionadoras interiores que requieran enfriamiento, enviando una mayor o menor cantidad de refrigerante al sistema gracias a la tecnología MULTI V (refrigerante variable), esto permite un funcionamiento completamente proporcional a la carga requerida con trabajo a carga parcial o total y con el respectivo ahorro energético.

- **Definición y creación de las zonas condicionadas e incondicionadas**

En la **Figura 12** se observa los cuatro sistemas que están en el piso 2. El sistema SRV1 cubre las zonas sombreadas en color verde, la zona llamada *incon2*, indica las zonas que no están condicionadas por aire.

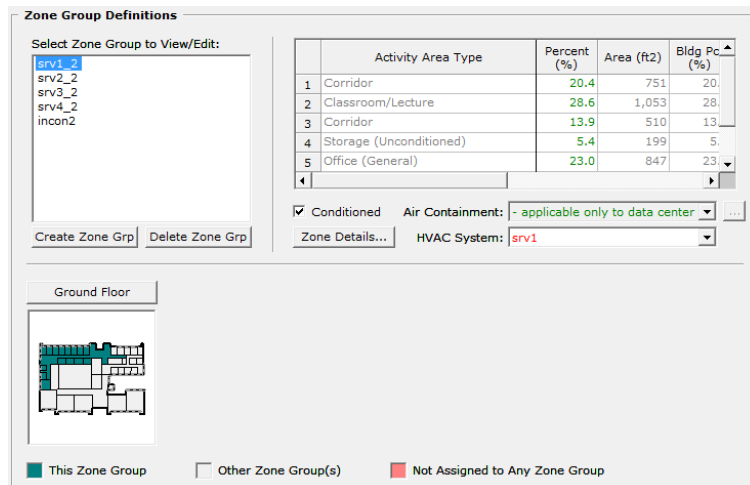


Figura 12. Creación de zonas condicionadas e incondicionadas en eQUEST.

En la **Figura 13** se observa la definición de las zonas a cada espacio de edificio según sea condicionada o incondicionada.

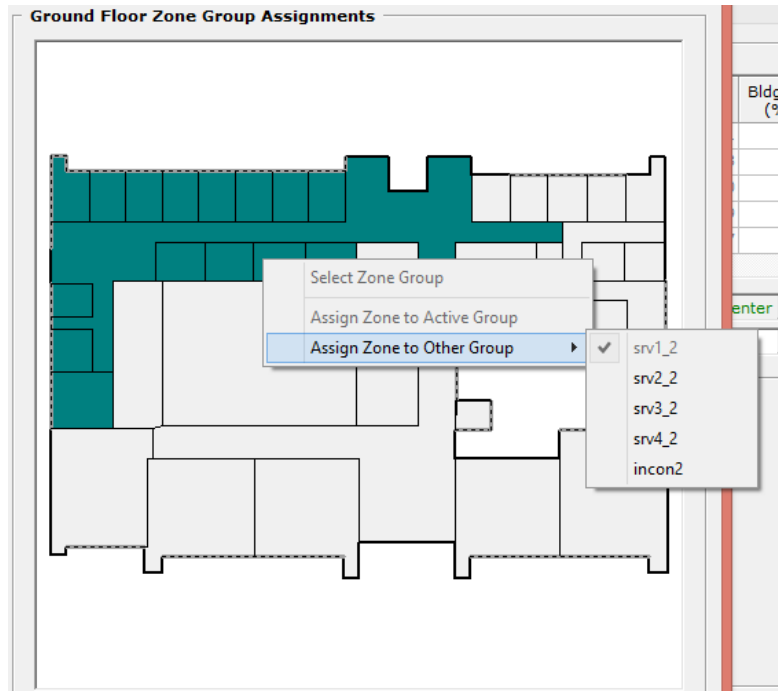


Figura 13. Asignación de espacios a zonas condicionadas e incondicionadas.

- **Creación del sistema HVAC con el asistente de eQUEST**

Se indicaron las características generales del sistema y las zonas en donde está en funcionamiento. Los datos suministrados por esta interfaz se tomaron del *Manual del Aire Acondicionado del EEEIE*.

En la opción de sistema por área, se selecciona un sistema por zona para que cumplan las zonas creadas anteriormente. En la **Figura 14** se observa que el sistema 1, debe estar en todas las zonas seleccionadas y en cada piso.

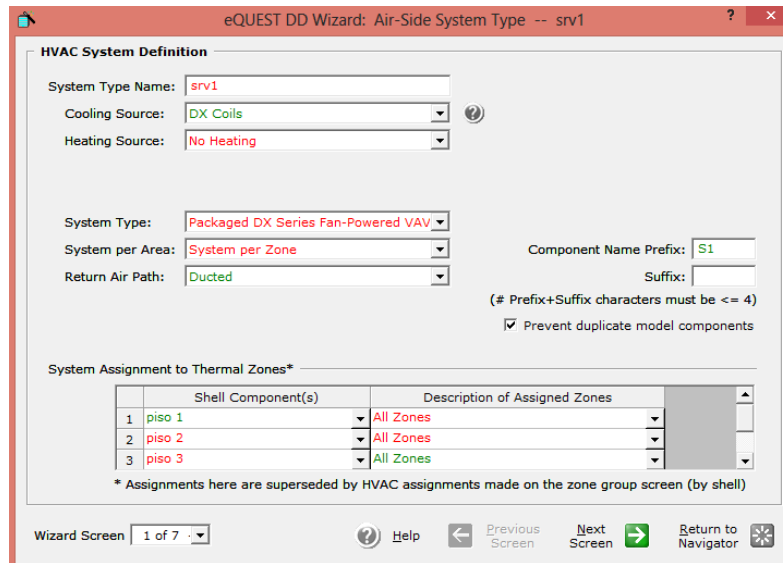


Figura 14. Asistente para la creación del sistema HVAC.

- **Temperaturas de termostatos y flujos de aire**

En la **Figura 15** se observa las opciones que se pueden modificar como los termostatos, las temperaturas de diseño y el flujo de aire, en este caso se seleccionaron las temperaturas indicadas en la interfaz de eQUEST.

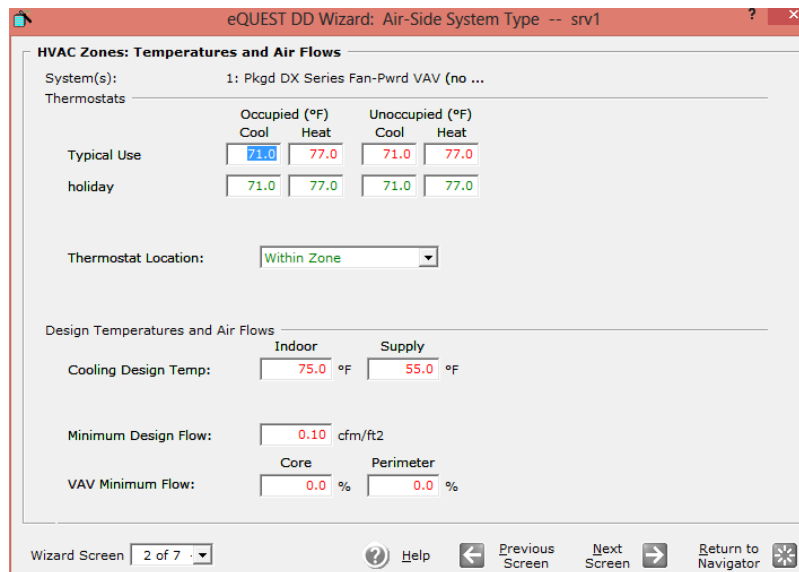


Figura 15. Temperatura de termostatos y flujos de aire.

- **Especificaciones de toneladas refrigerantes y potencia de los ventiladores**

Estas opciones se introdujeron de acuerdo al *Manual de los Sistemas de aire acondicionado del ENEC*, en donde se describe la capacidad de enfriamiento del sistema visto en la **Figura 16** Además se define como la cantidad de calor latente absorbida por la fusión de una tonelada corta de hielo sólido puro en 24 horas y la potencia por unidad de [in. WG] ver **Figura 17** para las especificaciones de los ventiladores.

The screenshot shows the 'Packaged HVAC Equipment' configuration window in the eQUEST DD Wizard. The window title is 'eQUEST DD Wizard: Air-Side System Type -- srv1'. The main content area is titled 'Packaged HVAC Equipment' and contains the following settings:

- HVAC System 1: Pkgd DX Series Fan-Pwrd VAV (no reheat)
- Cooling section:
 - Overall Size: Specify (dropdown) | 64.0 tons
 - Typical Unit Size: > 760 kBtuh or 63 tons (dropdown)
 - Condenser Type: Evap Cooled (dropdown)
 - Efficiency: EER (dropdown) | 9.600

At the bottom of the window, there is a 'Wizard Screen' indicator showing '3 of 7', a 'Help' button, and navigation buttons for 'Previous Screen', 'Next Screen', and 'Return to Navigator'.

Figura 16. Toneladas refrigerantes.

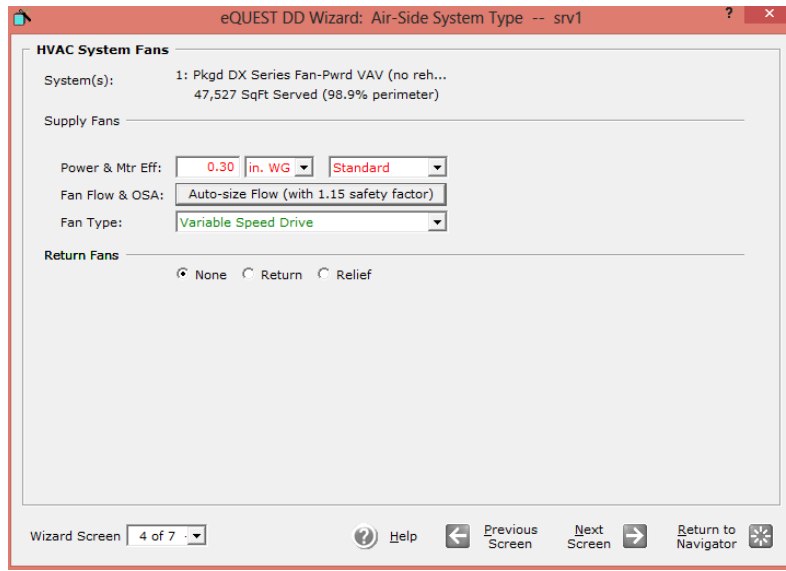


Figura 17. Potencia de los ventiladores.

- **Horario de uso sistema HVAC**

Se definieron los horarios de operación del aire acondicionado, en el uso típico del edificio y en vacaciones, ver **Figura 18**. Igualmente, se especificó si los ventiladores estuvieron en funcionando antes y después de la operación normal del sistema.

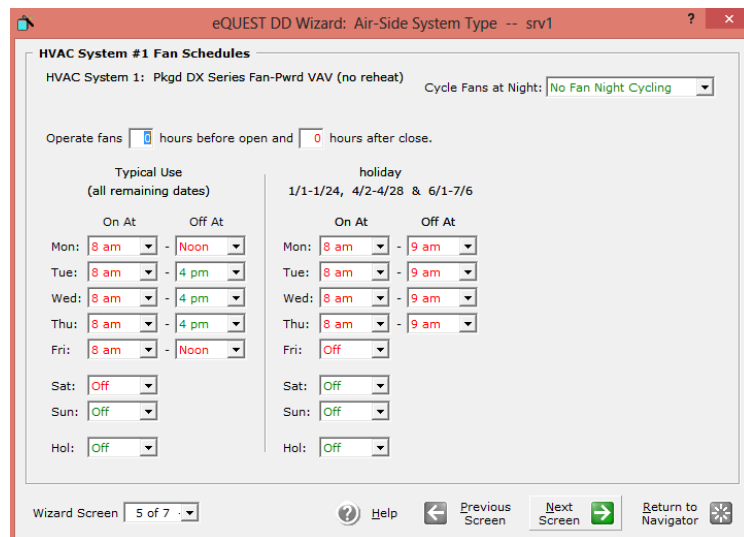


Figura 18. Horario de uso de los sistemas HVAC.

- **Economizador en los sistemas HVAC**

Aunque el sistema ajustado en el edificio no tiene economizadores, eQUEST presenta la opción de incluirlos. En la **Figura 19** se observa los tipos de economizadores

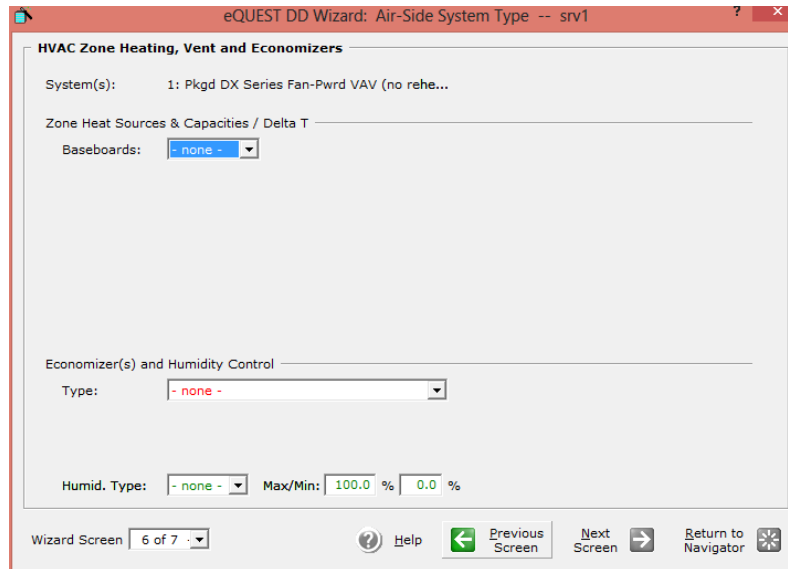


Figura 19. Economizadores de aire acondicionado.

- **Reajuste de la temperatura**

En la **Figura 20** se observa el parámetro *Cold Deck Reset*, que describe la temperatura de cubierta fría aplicada a sistemas de conductos duales y sistemas de climatización multi-zona. Cuando ya se está a una temperatura muy fría, el sistema se puede resetear y aumentar la temperatura para el confort del ambiente.

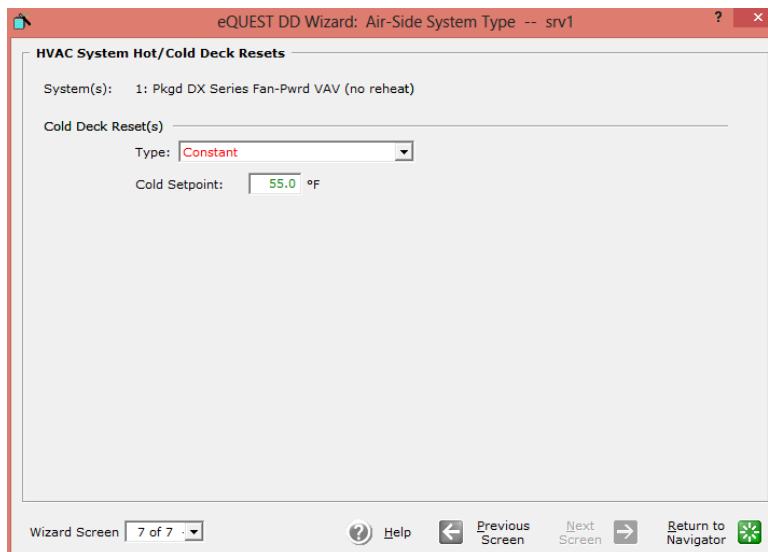


Figura 20. Reajuste de temperatura.

En el anexo H se describe el inventario de las zonas de uno de los seis pisos del edificio, así como su respectivo sistema de climatización.

2.2 CALIBRACIÓN Y SINTONIZACIÓN DEL MODELO

Terminada la construcción del modelo arquitectónico del edificio en eQUEST, se procedió a calibrar y sintonizar dicho modelo realizando variaciones y ajustes, con el propósito de obtener una aproximación cercana al comportamiento real del EEEIE, ésto se logró visualizar con la ayuda de las simulaciones en el programa.

2.2.1 Configuración y ajuste del modelo virtual

Se realiza el proceso de configuración y ajuste del software a fin de lograr que el modelo se aproxime al edificio real, teniendo en cuenta la información de actividad del edificio, características de los cerramientos, aberturas, iluminación artificial, y la utilización del sistema de aire acondicionado. La **Tabla 11** muestra los detalles de configuración y ajuste del modelo virtual.

Tabla 11. Configuración y ajustes preliminares del modelo virtual.

Configuración	Ajustes
Cerramientos y acristalamientos	Se ajustan los materiales del modelo, así como el tipo de acristalamiento.
Ubicación	Se ajusta la ubicación en eQUEST, según los planos suministrados.
Tiempo de uso	Se ajustan los perfiles de uso del edificio durante el día.
Iluminación artificial	Se ajustan los perfiles de iluminación artificial según el uso del edificio.
Sistemas de aire acondicionado	Se ajustan los sistemas HVAC de acuerdo a los perfiles de uso.

2.2.2 Calibración del modelo virtual

Para la recopilación de estos datos que ayudaron a alimentar el modelo geométrico creado, se hicieron visitas a la edificación, se solicitó documentación existente de planos arquitectónicos y especificaciones técnicas del edificio a la División de Planeación de la UIS, División de Planta Física, y a la Secretaría del EEEIE. En la **Tabla 12** se presenta la información para introducirse en eQUEST.

Tabla 12. Información necesaria para la recopilación de datos.

INFORMACIÓN	OBSERVACIÓN
Equipos eléctricos	Planos arquitectónicos que contengan información de la fachada, además de la presencia de pórticos, miradores o balcones o cualquier tipo de configuración que haga parte de la estructura externa del edificio.
Estructura arquitectónica	Constituye los elementos del edificio, como paredes, ventanas, puertas y huecos de ventilación con sus dimensiones, esta información se buscará de los planos que visualicen estos detalles.
Materiales	Se tienen en cuenta los manuales de construcción del edificio donde se visualicen los materiales constructivos, así como sus propiedades térmicas.
Ocupación de las zonas	Se muestra en número máximo de ocupación de personas, así como la actividad y tipo de zona donde se realiza.
Tipo de sistema de climatización	Manuales de los equipos de aire, así como el funcionamiento general de los sistemas HVAC.
Equipos eléctricos	Manuales en donde se detalle los datos de placa equipos eléctricos, la cantidad de equipos, zona de uso, y el tiempo de funcionamiento.

Obstrucciones aledañas	Planos globales de la universidad, donde se muestren las obstrucciones aledañas al edificio, que impidan que la radiación solar y los vientos incidan sobre la estructura.
------------------------	--

Teniendo en cuenta los datos necesarios mencionados para el modelo virtual, se procedió a ingresar en cada plantilla de eQUEST; en esta etapa se tuvo como objetivo calibrar el modelo geométrico y ajustarlo con las propiedades reales de funcionamiento del edificio.

2.2.3 Fases del proceso de sintonización

Después de introducir en el modelo los datos de calibración, se debe sintonizar. A continuación se expone la metodología de sintonización del modelo virtual desarrollado en eQUEST.

- **Fase 1. Simulaciones preliminares**

Posterior a la elaboración del modelo y el llenado de datos, se ejecutó la primera simulación obteniendo resultados predictivos en el comportamiento del edificio. Más adelante, en la etapa de diferencias del modelo virtual y real, se encuentran los resultados.

- **Fase 2. Archivo meteorológico**

Se obtuvo el archivo climatológico elaborado con datos de la estación meteorológica de la E3T⁸ se aclara que estos datos corresponden a un periodo de tiempo diferente al que transcurría cuando se realizó las simulaciones del modelo virtual del EEEIE. Se decidió utilizar este archivo debido que al crear otro para el año exacto de las simulaciones en eQUEST, requiere de tiempo para su elaboración.

⁸ Se refiere a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones.

- **Fase 3. Análisis de resultados de la simulación**

Se realizó una comparación de los resultados que brinda el programa con los datos de consumo suministrados por los medidores de energía eléctrica del edificio, haciendo énfasis en la clasificación de las cargas, tiempo de duración de las medidas, puntos de ubicación de los equipos de medición, y por último el tipo de medida que se puede comparar, En el caso de eQUEST no permite sintonizar el modelo virtual a partir de variables como la temperatura y humedad, sólo lo realiza la comparación en consumo de energía eléctrica.

- **Fase 4. Variación de parámetros para obtención del caso base**

En esta etapa se ajustaron los perfiles de iluminación, ocupación y perfiles de cargas por equipos misceláneos, así como las propiedades operativas del edificio, haciendo énfasis en la temporada de vacaciones donde todas las cargas no están funcionando de forma continua; para ajustar estos parámetros se utilizó como soporte el calendario académico de la Universidad Industrial de Santander correspondiente al año 2014.

2.3 ESTIMACIÓN DE DIFERENCIAS DEL MODELO

Para el proceso de estimación de diferencias se tuvo en cuenta la el proceso de calibración y sintonización del modelo virtual.

2.3.1 Estimación del porcentaje de diferencias entre los resultados de la simulación virtual y los datos de consumo del edificio real

De la primera simulación se compararon los resultados con los datos históricos de los medidores de energía eléctrica situados en los transformadores del edificio, con el fin de ajustar el modelo base. El medidor de energía es un ELGAMA ELEKTRONIKA EMS 142.41.4 con una incertidumbre de 0,2%, clase 1 [12]; mostrando un promedio anual de $242,78 \pm 0,49$ MWh, mientras que el modelo calibrado tuvo un consumo anual de 271,02 MWh, resultando una diferencia del 11,63%, tomando como base los datos de los equipos medidores de energía.

Al realizar el proceso de sintonización, los resultados del consumo anual del modelo virtual dieron 259,72 MWh, se observa que al modificar el modelo propuesto inicialmente, el porcentaje se redujo al 6,97%. Finalmente, se dio por terminado el caso base para la aplicación de las estrategias URE en iluminación y climatización.

2.4 ANÁLISIS DE DIFERENCIAS ENTRE EL MODELO VIRTUAL Y REAL

En esta etapa se analizó las diferencias que existen entre el modelo virtual y el edificio real, ya que existen limitaciones. En la **Tabla 13** se expone las limitaciones del software.

Tabla 13. Limitaciones del software para realizar el modelo geométrico.

LIMITACIONES	CONSECUENCIAS
Al modelar las partes internas del edificio	Genera un error debido a que no se puede especificar los valores de los muros internos de cada piso del edificio.
Al definir la ubicación exacta del edificio	No existe la opción para agregar las coordenadas exactas de la ubicación, generando un error en distintas variables que inciden en el edificio, como el viento y la radiación solar.

LIMITACIONES	CONSECUENCIAS
Para definir las ventanas que se encuentran entre muro y muro.	Generan un error en el modelo, debido a que no es posible tener con exactitud la posición real de todas las ventanas.
Para definir las obstrucciones por naturaleza en el contorno del edificio	No es posible modelarlas en el software, igualmente, no existen programas asociados para modelar dichas obstrucciones, lo que implica tener un porcentaje de error en el modelo virtual.
Para definir muros en forma diagonal	No es posible modelar la rampa de acceso al edificio, ocasionando un error, debido a la obstrucción que genera a la envolvente por ventilación e incidencia de radiación.
Por ajuste de los horarios de operación del edificio	No es posible modificar los horarios de operación por zona del edificio, se cambian por piso, generando un error ya que todos los espacios no tienen el mismo horario de operación.
En los perfiles de temporada de vacaciones no se pueden modificar	Generan un error por un mínimo consumo por ocupación, debido a que eQUEST, deja un valor de ocupación mínimo por defecto
Dificultades para la calibración y sintonización del modelo virtual	Sólo se puede comparar los resultados del modelo virtual y el edificio real por medio del consumo energía eléctrica, existen otras variables como la temperatura y humedad que no se pueden comparar.

Otras limitaciones que implicaron un error en el modelo virtual, fue la estimación al definirse los perfiles de cargas misceláneas, iluminación y ocupación durante el periodo de simulación del modelo, no es posible definir con exactitud en eQUEST cómo es el comportamiento real de dichos perfiles del EEEIE.

3. ESTRATEGIAS URE EN ILUMINACIÓN Y CLIMATIZACIÓN

Este capítulo tiene como objetivo describir estrategias URE en iluminación y climatización en climas tropicales, que permitan mantener el confort térmico y lumínico en el EEEIE, a fin de obtener un ahorro energético, ayudando a mitigar los impactos negativos hacia el medio ambiente [13].

En la **Figura 21** se ilustra la propuesta de estrategias consideradas en el borrador del Reglamento Técnico de Construcción sostenible en Uso Eficiente de Agua y Energía de Colombia. El desarrollo de dicho reglamento se basó en simulaciones realizadas en los programas de análisis energético, eQUEST y TAS⁹, implicando su impacto en el confort y viabilidad que representan dichas estrategias [14].



Figura 21. Alternativas para el diseño de un edificio eficiente energéticamente. Elaboración propia.

⁹ *Thermal Analysis Simulation*. Software enfocado al análisis energético de edificaciones.

3.1.1 Clima en Bucaramanga

El clima en la ciudad de Bucaramanga está clasificado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) del siguiente modo: en las partes de menor altitud, se denomina cálido seco, mientras que en las partes de mayor altitud se denomina templado, caracterizado por sus temperaturas moderadas; sin embargo, ocurren variaciones de calor en algunas temporadas del año [15], [16].

3.1.2 Confort Térmico

La norma ISO 7730 la define como *“aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico”* [15]. Las personas que ocupan un edificio deben tener un ambiente adecuado, ya que sin éste se produce un impacto perjudicial, afectando su salud y calidad de vida, así como su rendimiento en la realización de actividades laborales o académicas, entre otras.

La sensación de confort térmico en el clima de Bucaramanga, se obtiene en un rango de temperaturas entre 22°C a 26°C [17].

3.1.3 Estrategias pasivas para mitigar el consumo energético en edificaciones

Estas estrategias pasivas se refieren a los cambios que se puedan hacer en la envolvente de la estructura que ayuden a reducir el consumo energético; específicamente, el aislamiento de las paredes, cambio de acristalamientos, puertas, implementación de cortasoles y tubos solares, entre otras.

De esta manera se minimizan las pérdidas energéticas de la estructura, generadas en particular por aires acondicionados, además que ayudan a reducir el ruido exterior. Éstas no requieren de ningún equipo que utilice energía eléctrica, es decir, son en su mayoría independientes de implementaciones artificiales de sistemas de enfriamiento, calefacción, o iluminación [15]. En la **Tabla 14** se observan las estrategias que son aplicables en la herramienta eQUEST.

Tabla 14. Estrategias pasivas aplicadas en eQUEST.

ESTRATEGIA	DEFINICIÓN	POTENCIAL BENEFICIO
Vidrios para la protección solar	Estos vidrios ayudan a reducir el exceso de calor dentro de una envolvente. Los valores que afectan en los cristales son el coeficiente de transferencia de calor U y el factor de ganancia solar SHGC.	Permiten un ahorro de energía entre el 4% y el 9%, para esto se recomienda que los valores de ganancia de calor SHGC ¹⁰ , sean menores a 0,4 [18].
Aislamiento de paredes	El aislamiento de paredes se basa en aplicar una capa de material aislante en los muros de la edificación, de esta forma se aumenta la transmitancia térmica que ayuda a mitigar el paso del calor dentro del edificio.	Un aislante térmico de poliestireno ayuda a reducir hasta un 30% el consumo energético por equipos de climatización [19].
Ventilación natural	Consiste en crear aberturas opuestas en la edificación para que el aire pueda circular.	Ayuda a reducir el consumo de energía eléctrica por equipos de climatización [15].
Cortasoles	Es un elemento de sombreado que se instala en la fachada del edificio, para atenuar la radiación del sol; están diseñados para dejar pasar la ventilación natural al interior de la edificación.	Permiten el ingreso de luz natural, evitando acumular calor; lo cual brinda confort y visibilidad a las personas dentro de la estructura [20].
Aletas y voladizos	Son salientes verticales y horizontales que pueden ser de diferentes materiales como el concreto, policarbonato, entre otros.	Controlan la temperatura de una edificación, de esta forma se reduce el consumo por equipos de climatización [21].
Persianas	Consiste en instalar persianas translúcidas que ayuden a impedir la incidencia de la radiación solar, sin afectar la iluminación al interior de la edificación.	El uso de esta estrategia, ayuda a reducir hasta en un 10% el consumo por equipos de climatización [22].

¹⁰ Solar Heat Gain coefficient

ESTRATEGIA	DEFINICIÓN	POTENCIAL BENEFICIO
Tubos solares	Es un sistema de iluminación natural que transporta la luz exterior al interior de una edificación.	Ayuda a reducir el consumo por iluminación; se recomienda que tengan filtros solares para no generar consumos por equipos de climatización [23].
Cambio de orientación del edificio	En climas tropicales se recomienda que las fachadas de los edificios de mayor ventanería, se construyan en dirección norte- sur, de esta forma se disminuye la radiación solar directa durante el día en las ventanas.	Se disminuye la radiación solar directa que incide en las fachadas de mayor número de vidrios, en consecuencia, ayuda a reducir los consumos por equipos de climatización [15].

3.1.4 Estrategias activas para reducir el consumo energético en edificaciones

A continuación se presentan las estrategias que dependen de la utilización de tecnologías eficientes de iluminación y climatización, que ayuden a reducir cargas de electricidad con mínimos costos y cortos periodos de recuperación de la inversión. En la **Tabla 15** se aprecian las estrategias activas que se pueden implementar en eQUEST.

Tabla 15. Estrategias activas aplicadas en eQUEST.

ESTRATEGIA	DEFINICIÓN	POTENCIAL BENEFICIO
Iluminación LED	Es un sistema de iluminación eficiente respecto a los demás sistemas convencionales como las lámparas fluorescentes.	Permiten reducir el consumo energético por iluminación en un 50%, al no producir exceso de calor como las fluorescentes [24].
Dispositivo economizador para el aire acondicionado	Este equipo permite aprovechar las temperaturas frías del ambiente para introducirlas al interior de la edificación, ayudando a minimizar el uso de bombas o compresores.	En diferentes temporadas del año la temperatura disminuye, por tal razón dichas temperaturas pueden ayudar a minimizar hasta en un 50% el consumo por equipos de climatización [25].
Ajuste del termostato de los sistemas HVAC	Se utiliza para definir la eficiencia de enfriamiento de los sistemas de aire acondicionado. Es la relación entre la	Las calificaciones de climatización superiores a 10 se consideran más rentables.

	capacidad de refrigeración de un aire acondicionado y la entrada de potencia eléctrica total en condiciones de uso.	Cuanto mayor sea la relación, menor es el costo de operación [26].
--	---	--

En el Anexo I se encuentra más información de las estrategias mencionadas anteriormente.

3.1.5 Estrategias no aplicadas en la herramienta de simulación eQUEST

En la **Tabla 16** se presentan las estrategias que no se tuvieron en cuenta debido a que no fue posible simularlas en la herramienta eQUEST, así como estrategias que se recomiendan en el Reglamento Técnico de Construcción Sostenible para Agua y Energía y que sólo significan un cambio en climas fríos.

Tabla 16. Estrategias no aplicadas en eQUEST.

Estrategia	Observación
Relación ventana pared	No es factible en eQUEST
Reflectividad de pared	No es factible en eQUEST
Reflectividad de la cubierta	No es factible en eQUEST
Coficiente de desempeño	No sirve para climas tropicales
Controladores de velocidad variable en torres de enfriamiento	No factibles en eQUEST.
Eficiencia de ascensores y escaleras mecánicas	No factibles en eQUEST.
Correctores de factor de potencia	No factibles en eQUEST.

4. DESCRIPCIÓN RESULTADOS EDIFICIO BASE

La simulación del edificio base es el punto de partida porque se obtiene un resultado que se puede comparar con el rendimiento del edificio al aplicar las estrategias URE, y así poder lograr un efectivo ahorro energético. A continuación se presentan los resultados obtenidos con respecto al caso inicial.

El asistente de medición de eficiencia energética fijado en eQUEST es el encargado de calcular el consumo energético del edificio, a partir del cual se realizaron los cambios que requiere la implementación de las estrategias URE, con el propósito de comparar la variación en el consumo energético. En la **Figura 22** se observa los componentes del asistente de medición de eficiencia energética de eQUEST.

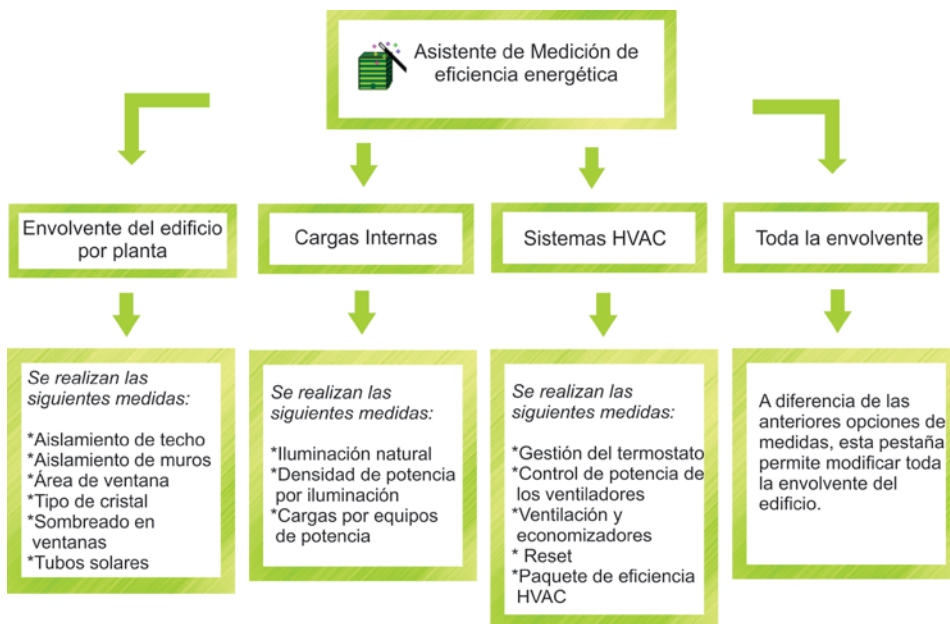


Figura 22. Asistente de medición de eficiencia energética. Elaboración propia.

Básicamente, en el asistente se selecciona la categoría a la cual se desea hacer la medición de energía, para después escoger de una lista el componente a ajustar y por último el tipo de medición. Es posible aplicar la medición a una categoría previamente definida o al edificio base según desee el usuario.

Este asistente es usado principalmente para definir las características del edificio, que se pueden variar, y realiza una simulación que determina el consumo energético real. Para este capítulo se utiliza la interfaz de medición de eficiencia energética únicamente con el objetivo de simular los resultados del consumo energético presentado por el edificio real, es decir, no se realiza ningún cambio a las características del edificio y la categoría seleccionada corresponde a *whole site/Building*; esta categoría es la general, es decir, desde ahí se pueden hacer variaciones de cualquier tipo en el edificio.

Al momento de presentar los resultados de las simulaciones configuradas en el asistente de medición de la eficiencia energética, se debe ingresar en el asistente llamado *Simulate Building Performance* el cual inmediatamente abre una ventana que permite visualizar todas las categorías establecidas en el asistente anterior y se selecciona la requerida para obtener los resultados. La **Figura 23** muestra la interfaz de selección de simulaciones paralelas entre estrategias URE y el modelo base.

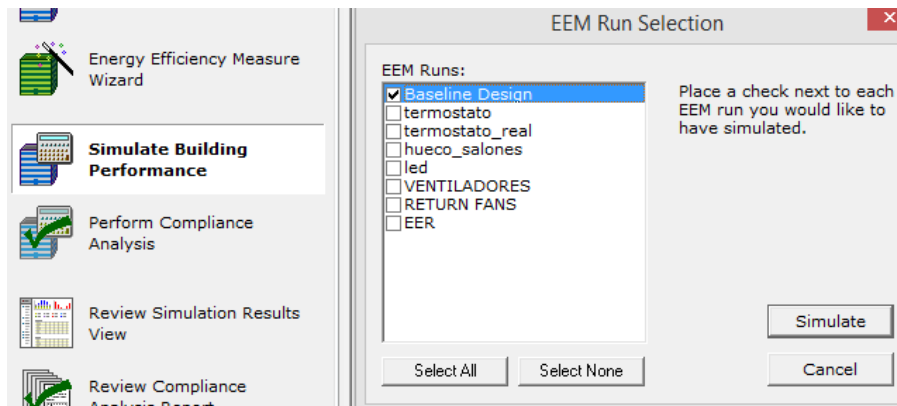


Figura 23. Asistente de simulación.

4.1 DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO DEL EDIFICIO BASE

La simulación energética del edificio se realiza para el caso base de acuerdo a la información descrita en el Capítulo 2 referente a la creación del edificio. Las **Figuras 24 y 25** presentan los resultados en diagramas de barras y circular de esta simulación respectivamente.

Para mostrar los valores obtenidos en la simulación, eQUEST utiliza un sistema de gráficas y tablas donde representa el consumo energético mensual correspondiente a los campos de Espacio refrigerado, Ventiladores, Iluminación, Equipos misceláneos, evaluados en todos los meses del año 2014.

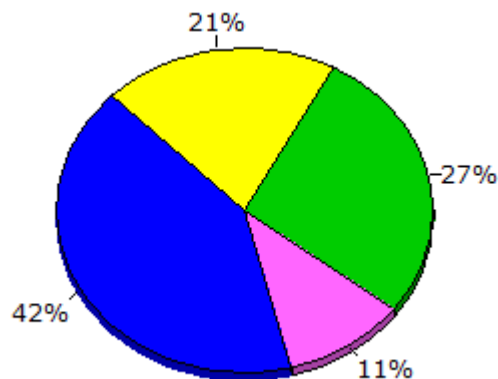


Figura 24. Porcentaje de consumo energético del Edificio Base.

En la **Figura 24** se observa que el mayor consumo energético del edificio está relacionado con el consumo de equipos de climatización en un 42% y 11% por los ventiladores de los sistemas HVAC que distribuyen al aire. El 27% se debe al consumo por cargas misceláneas, por último se observa que el 21% del consumo se relaciona a la iluminación artificial.

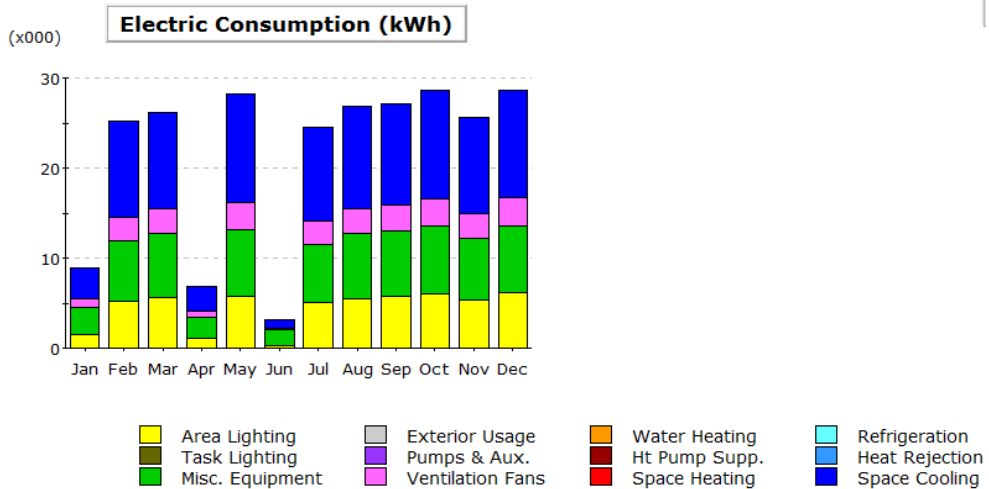


Figura 25. Consumo energético anual del EEEIE.

En la **Figura 25** se observa el comportamiento de las cargas durante todos los meses del año 2014, donde los meses enero, abril y junio se tienen los menores consumo de energía eléctrica, debido a que el edificio no se encontraba en pleno funcionamiento debido a los periodos de vacaciones establecidos por el calendario académico del año 2014 de la UIS, los demás meses, el consumo de energía se mantiene en la misma proporción debido a que el edificio se encontraba operando normalmente.

En la **Tabla 17** se observa la variación en los comportamientos mensuales del EEEIE, esto se debe a que el uso del edificio no es constante durante el año. En el calendario académico del año 2014 se presentan tres temporadas de vacaciones en donde el consumo energético del edificio disminuye considerablemente debido

a la poca ocupación de personas.

Tabla 17. Resultados mensuales simulación anual del edificio base en MWh.

Consumo en MWh	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total MWh
Aire acondicionado	3,4	10,66	10,57	2,71	12,07	0,92	10,36	11,32	11,24	12,01	10,71	11,95	107,93
Ventiladores aire acondicionado	0,87	2,67	2,77	0,69	2,94	0,24	2,62	2,79	2,91	3,05	2,7	3,06	27,3
Equipos misceláneos	3,01	6,66	7,19	2,38	7,4	1,68	6,49	7,16	7,24	7,51	6,89	7,53	71,12
Iluminación	1,56	5,25	5,58	1,04	5,79	0,31	5,02	5,54	5,8	6,05	5,32	6,1	53,37
Total	8,84	25,24	26,11	6,81	28,19	3,15	24,49	26,82	27,19	28,62	25,62	28,64	259,72

Igualmente, se observan consumos sin mayor variación durante el año, esto se debe a que el consumo energético relacionado a equipos eléctricos y de iluminación, tienen un comportamiento similar durante la mayor parte del año, ya que en eQUEST se realiza una aproximación del uso durante vacaciones y durante la temporada de estudio.

Con respecto a los sistemas de aire acondicionado se observa una variación mensual de los resultados, esto se debe al cambio de clima que se presenta en la región. Así la zona tropical no tenga estaciones, mes a mes no se tiene un comportamiento totalmente idéntico y se exponen temporadas más secas respecto a otras, la variación en la humedad y la sensación térmica implican cambios en el ambiente. Estas variaciones en el clima generan mayor o menor consumo en los equipo de climatización artificial para mantener la temperatura de confort térmico.

Dado que el software realiza un estudio del consumo energético con su respectivo costo, es conveniente introducir las tarifas del servicio de energía para el edificio en estudio. Estas tarifas fueron entregadas por la División de Planta Física.

Se realiza un promedio estimativo anual del precio en kWh resultando un valor de 287,87 pesos, ya que en eQUEST se manejan cargas uniformes.

En el software se ingresara el valor en dólares ya que se usan los precios con la unidad representativa de los Estados Unidos; en el 2014 tuvo un valor promedio de 2000,33 pesos [27].

Finalmente se calcula el dólar por kilovatio hora de la siguiente forma:

$$\frac{\$}{Kwh} = \frac{287,87}{2000,33} = 0,143911$$

Donde el valor del numerador es el precio del kilovatio hora en pesos y el valor del denominador es el valor promedio del dólar en el año 2014.

En la **Figura 26** se muestra el valor del costo estimado en dólares del consumo de energía anual del EEEIE representado en 37.377 U\$ equivalente a 74'766.334,41 COP anuales.

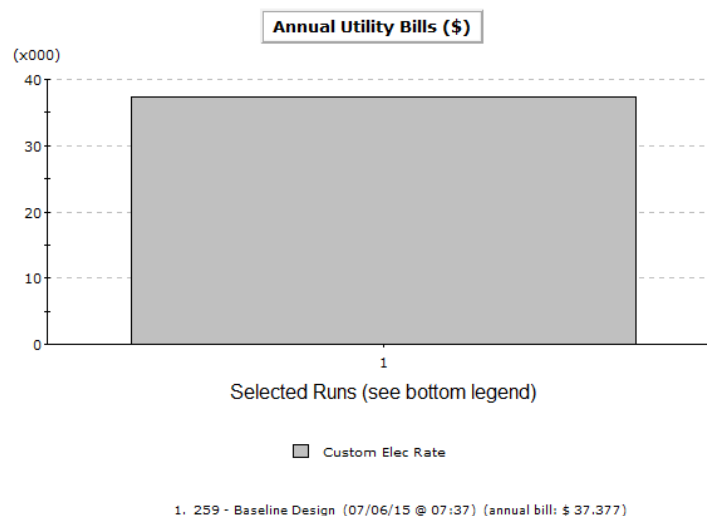


Figura 26. Costo estimado en Dólares de energía anual en EEEIE.

El EEEIE a comparación de las demás edificaciones del mismo uso en la UIS, demanda un consumo de energía superior, debido a su gran carga de aires acondicionado, responsables del mayor consumo, cargas misceláneas y de iluminación.

Durante el proceso de creación calibración y sintonización del modelo se realizaron un total de tres (3) simulaciones, que dieron paso al modelo base. Seguidamente se realizaron catorce (14) simulaciones en la aplicación de estrategias factibles en eQUEST.

5. APLICACIÓN DE ESTRATEGIAS URE EN LA ENVOLVENTE DEL EEEIE

Este capítulo tuvo como finalidad aplicar estrategias URE en iluminación y climatización, para realizar cambios en la envolvente del edificio. Igualmente se cuantificó el consumo energético de las nuevas implementaciones en eQUEST, permitiendo evaluar la posibilidad de su ejecución.

5.1 ESTRATEGIAS FACTIBLES EN eQUEST

Las estrategias que se simularon constituyen cambios que se pueden realizar a la edificación de forma física; Igualmente, se determinó su consumo energético para establecer su impacto al implementarse al edificio. El criterio para definir las variaciones a la envolvente, se debe a las opciones que presenta eQUEST. Las estrategias que son factibles y se pueden simular en el programa se presentan en la **Tabla 18**.

Tabla 18. Estrategias constructivas aplicables en eQUEST.

Estrategias	
Cambio de vidrios de la envolvente	Cortinas y persianas
Adición de aletas y voladizos en las ventanas	Tubos solares
Ventilación natural	Cambio de orientación de edificio
Cortasoles	Iluminación LED
Aletas y voladizos	Economizador de aire acondicionado
Aislamiento de paredes	Índice de eficiencia energética

- **Criterios para el cambio de vidrio de las ventanas**

Se debe tener en cuenta que las ventanas pueden ganar o perder calor a través de la conducción directa por el cristal, o el marco; esta radiación de calor normalmente se produce por el sol, personas, equipos o paredes, ubicadas al interior del edificio.

Finalmente, para climas tropicales se recomienda tener un vidrio con el coeficiente global de transferencia de calor U y el factor de ganancia de calor solar SHGC bajo, el cual permita reducir el consumo energético por equipos de aire acondicionado. El factor VT debe mantener un punto medio el cual no afecte el consumo por iluminación y aires acondicionados.

En el programa se simularon diferentes opciones de vidrios para ventanas, en las que se especificaron los valores de los coeficientes U, SHGC y VT que inciden en el ahorro energético de la edificación. A continuación se muestra la **Tabla 19** que especifica los tipos de cristales propuestos.

Tabla 19. Consideraciones para el acristalamiento del edificio.

Vidrio edificio real			Vidrio edificio propuesto		
Categoría vidrio	Tipo de vidrio	Marco	Categoría vidrio	Tipo de vidrio	Marco
Vidrio sencillo de color verde	Espesor de 1/4 de pulgada (U=1,09; SHGC= 0,61; VT= 0,75)	Aluminio	Vidrio color bronce	Espesor 1/4 [pul] (U= 1,09; SHGC= 0,61; VT= 0,53;)	Aluminio
			Vidrio color gris	Espesor 1/4 [pul] (U= 1,09; SHGC= 0,59; VT= 0,53;)	
			Vidrio color azul	Espesor 1/4	

Vidrio edificio real			Vidrio edificio propuesto		
Categoría vidrio	Tipo de vidrio	Marco	Categoría vidrio	Tipo de vidrio	Marco
				[pu] (U= 1,09; SHGC= 0,61; VT= 0,57;)	
			Vidrio reflectivo	Espesor 1/4 [pu] (U= 0,86; SHGC= 0,19; VT= 0,08;)	

La **Tabla 20** muestra los resultados simulados en eQUEST en donde se observa que el Cristal reflectivo es el que tiene mejores resultados en ahorro de energía eléctrica por equipos de climatización, reduciendo su consumo anual en 0,75%, y representando un ahorro anual de 564.230,77 pesos, esta estrategia no representa un cambio considerable, pero se recomienda aplicar para edificaciones que se piensen construir en un futuro.

Tabla 20. Resultados de consumo energético para los acristalamientos.

Tipo de vidrio	Iluminación [MWh]	Cargas misceláneas [MWh]	Aires acondicionados [MWh]	Ventiladores [MWh]	Total año [MWh]	%
Caso base	53,38	71,12	107,93	27,30	259,72	100,00
Tinte bronce	60,15	71,12	108,08	27,29	266,65	102,67
Tinte gris	60,64	71,12	107,99	27,19	266,94	102,78
Tinte azul	58,09	71,12	108,02	27,26	264,48	101,83
Reflectivo	59,44	71,12	105,42	21,78	257,76	99,25

- **Adición de aletas y voladizos en las ventanas**

Actualmente, el EEEIE no cuenta con estos tipos de salientes. Esta estrategia beneficia principalmente a las fachadas sur y norte, donde se encuentra el mayor número de ventanas. En la **Tabla 21** se realiza una propuesta con diferentes

dimensiones de las aletas y voladizos en todas las orientaciones del edificio, a fin de revisar cuál es la más eficaz.

Tabla 21. Consideraciones para aletas y voladizos.

Edificio real		Edificio propuesto			
Voladizos	Aletas	Voladizos		Aletas	
No se encuentran en ninguna ventana del EEEIE		Profundidad de sombra en las ventanas del EEEIE			
		Norte, sur, oriente, occidente	3, 4, 5 [ft]	Norte, sur, oriente, occidente	3, 4, 5 [ft]

La **Tabla 22** muestra los resultados en eQUEST donde se puede apreciar que los resultados de consumo energético más bajos son los de 3 pies para aletas y voladizos. Resultando un ahorro anual del 4,63% viéndose reflejado en el consumo de equipos de climatización. Otro aspecto que es importante resaltar es que la configuración de menor longitud es la más eficiente debido a que permite el paso de la luz natural a través de sus ventanas, reflejando un ahorro de energía por iluminación y un ahorro anual de 3'045.694,66 pesos.

Tabla 22. Resultados de consumo energético para la consideración de aletas y voladizos.

Longitud ft / m	Iluminación [MWh]	Cargas misceláneas [MWh]	Aires acondicionados [MWh]	Ventiladores [MWh]	Total año [MWh]	%
Caso base	53,38	71,12	107,93	27,30	259,72	100,00
3 / 0,91	54,94	71,16	105,06	16,54	247,69	95,37
4 / 1,22	56,79	71,14	104,90	16,22	249,05	95,89
5 / 1,52	57,14	71,14	104,81	16,05	249,14	95,93

- **Adición de cortasoles en el EEEIE**

Esta solución arquitectónica permite reducir el calor y el resplandor ayudando a disminuir el consumo generado por aires acondicionados. Los cortasoles se

implementan en la fachada norte, oriente y occidente como se muestra en la **Tabla 23**.

Tabla 23. Consideraciones para la implementación de cortasoles.

Edificio real	Edificio propuesto		
	Orientación	Ocupadas %	Desocupadas %
Se encuentran en la fachada principal	Norte, oriente, occidente	100	100

En la **Figura 27** se observa que al implementar cortasoles, el consumo energético total se reduce en a 254,42 MWh es decir un ahorro anual de 2,04%, este ahorro se ve reflejado en equipos de climatización. Por ser un elemento de sombreado, el consumo por iluminación tiende a subir. El ahorro anual es de 1'525.726,06 pesos.

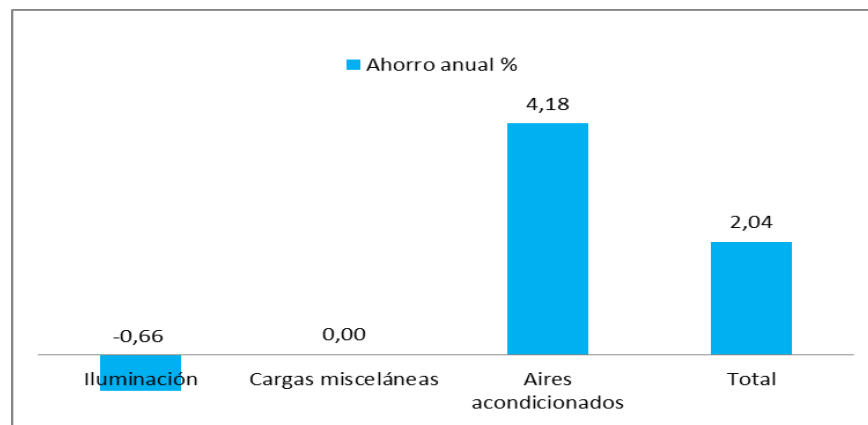


Figura 27. Resultados de la implementación de cortasoles.

- **Adición de persianas traslucidas**

Se seleccionó en eQUEST el tipo de persiana enrollable traslucida y se simularon en las fachadas de mayor número de ventanas del edificio. En la **Tabla 24** se describe el tipo de persiana y su ubicación.

Tabla 24. Consideraciones para la implementación de persianas.

Edificio real	Edificio propuesto		
	Persiana enrollable traslucida		
No se encuentran en la mayoría de ventanas	Orientación	Ocupadas %	Desocupadas %
	Norte, sur, oeste, occidente	100	100

En la **Figura 28** se observa que las persianas traslucidas ayudan a reducir el consumo de energía total anual de 254,95 MWh es decir un ahorro de 1,84 %. Los ahorros se ven reflejados en consumos por sistemas de climatización; se resalta que al ser un elemento de sombreado, el consumo por iluminación tiende a incrementarse. El ahorro anual es de 1'373.153,45 pesos.

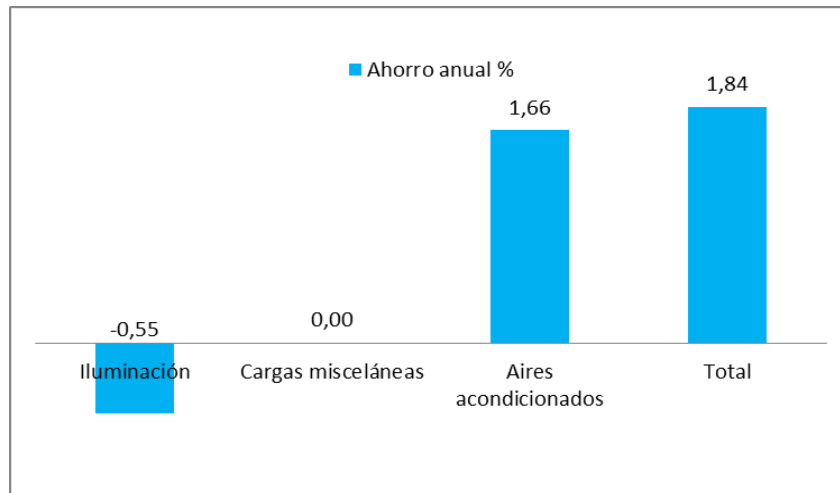


Figura 28. Resultados de la implementación de persianas.

- **Adición de tubos solares**

Existen varios tipos de configuraciones con el propósito de utilizar la radiación solar, permitiendo utilizar un sistema de reflexión interna, transmitiéndola al interior

para ayudar a ahorrar energía que se consume por iluminación artificial. Las configuraciones que mejor se adaptan a las necesidades del EEEIE se muestran en la **Tabla 25**.

Tabla 25. Consideraciones para la aplicación de tubos solares.

Configuración	Tipo de acristalamiento	Profundidad ft / m	Reflectancia interior	Distribución	Cantidad
Domo con marco de aluminio	Policarbonato con filtro, SHGC = 0,4 U = 0,55	2,8 / 0,85	70%	4 [ft] en sentido vertical y horizontal	19

En la **Figura 29** se observa que al implementar los tubos solares el consumo por iluminación disminuye sin afectar el consumo por equipos de climatización en un 1,49%. El consumo energético anual con esta estrategia es de 255,84 MWh, representando un ahorro anual de 1'116.946,63 pesos.

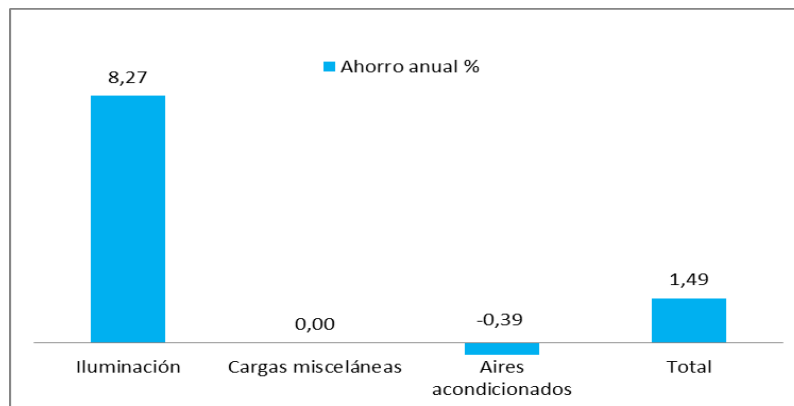


Figura 29. Resultados con la implementación de tubos solares.

- **Aislamiento de paredes exteriores**

El poliestireno es un material aislante usado en construcciones y caracterizado por su alta resistencia térmica, ayuda a reducir el consumo por equipos de aire acondicionado, ya que por su gran resistencia permite aislar el calor entre dos medios. La **Tabla 26** describe las especificaciones del material que se seleccionó en los muros de la edificación.

Tabla 26. Consideraciones de aislamiento para paredes.

Edificio real				
Categoría	Material	Espesor in / m	Resistencia ($m^2 * k/W$)	Aislamiento
Muro	Concreto HW	6,00 / 15,24	0,116	N/A
Edificio propuesto				
Categoría	Material	Espesor [in(m)]	Resistencia	Aislamiento
Muro	Concreto HW	6,00 / 15,24	0,116	S/A
	Poliestireno	1,25 / 3,18	0,918	
Resistencia total			1,034	

En la **Figura 30** se observa que el resultado con la inclusión del aislamiento térmico se reduce el consumo de energía eléctrica anual a 255,67 MWh es decir un ahorro del 1,56 % este ahorro se ve reflejado en equipos por climatización y representa un ahorro de 1'165.885 pesos.

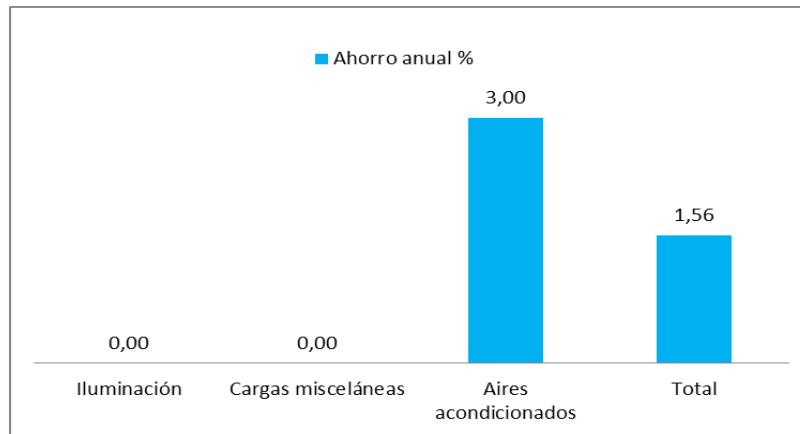


Figura 30. Resultados con la implementación de aislamiento térmico en muros.

- **Aprovechamiento de ventilación natural**

La Escuela EEEIE cuenta con una buena fuente de ventilación natural en su fachada norte, ya que se ve beneficiada en su ubicación cercana al bosque de la UIS, por este motivo es indispensable su aprovechamiento para la reducción del consumo de energía por equipos de climatización. Se planeó suspender los equipos de aire acondicionado en los salones de la zona noroccidental en el piso 3, que corresponde al sistema 1 y en el piso 5 se suspende el sistema 5.

En la **Figura 31** se observa los resultados, teniendo una reducción anual de 1,99%, que representa un ahorro anual de 1'484.244,86 pesos. El consumo por equipos de climatización disminuye en 3,82% debido a la suspensión de los equipos de aire acondicionado.

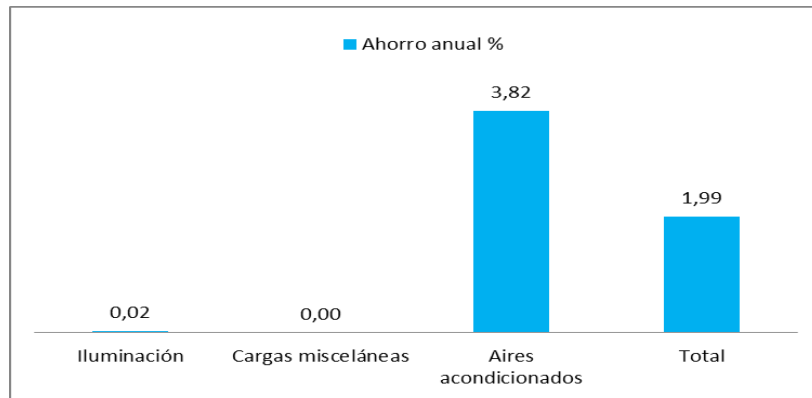


Figura 31. Resultados para la ventilación natural.

- **Sistema de iluminación artificial con lámparas LED**

Para reemplazar las lámparas fluorescentes existentes, se empleó la **Tabla 27** que propone la Unidad de Planeación minero Energética, donde se observa los cambios de luminarias oportunos para el ahorro de energía eléctrica por iluminación.

Tabla 27. Comparación de luminarias convencionales y LED. Tomada de [28].

	Luminaria instalada en EEEIE	Equivalente LED	Cantidades instaladas	Ahorro [W]	Porcentaje ahorro [%]
	Lámpara E27 26W 1560 lm	Lámpara E27 LED 10W 1050 lm	278	4448	61,54
	Tubo fluorescente T8 17W 1275 lm	Tubo LED 8W 810 lm	676	6084	52,95
	Tubo fluorescente T5 54W 4450 lm	Tubo LED 22W 2200 lm	344	11008	59,26

En eQUEST se ingresaron los nuevos cálculos de potencia de iluminación por pie cuadrado [W/Ft^2]. En la **Tabla 28** se exponen los datos calculados de consumo de iluminación en cada zona predeterminada por eQUEST.

Tabla 28. Cálculos de consumo de iluminación por zona.

	Corredores [W/Ft ²]	Salones [W/Ft ²]	Auditorio [W/Ft ²]	Baños [W/Ft ²]	Oficinas [W/Ft ²]	Salón de computadores [W/Ft ²]	Salón de conferencias [W/Ft ²]	Otros [W/Ft ²]
Piso 1	0,29	0,20	0,02	0,28	0,51	0,18	0,18	0,34
Piso 2	0,38	0,17	N/A	0,52	0,49	N/A	0,69	0,67
Piso 3	0,17	0,15	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0,15
Piso 4	0,37	0,24	N/A	0,28	0,82	N/A	0,20	0,36
Piso 5	0,09	0,16	0,14	0,27	N/A	N/A	N/A	0,17
Sótano	0,55	0,16	N/A	0,20	N/A	N/A	N/A	0,29

En la **Figura 32** se observa que el consumo de iluminación se redujo en 11,08% con respecto al diseño base, y representa un ahorro anual de 8'283.366,53 pesos.

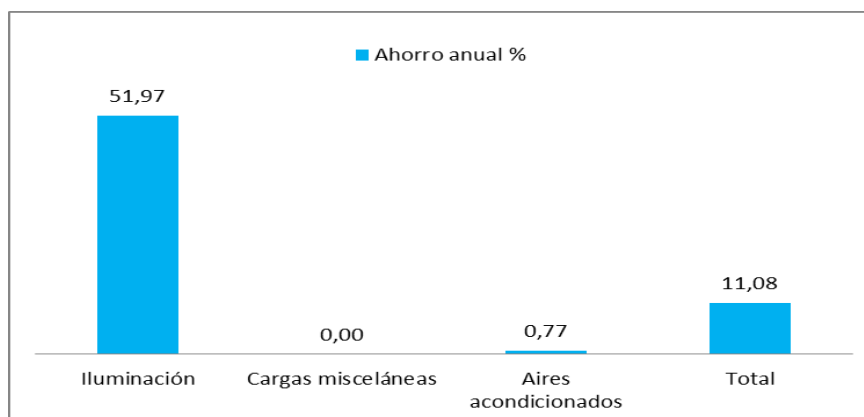


Figura 32. Resultados de la implementación de lámparas LED.

- **Economizador de aire acondicionado**

El economizador de aire acondicionado se recomienda con controles de entalpía diferenciales en climas cálidos, por lo que en eQUEST se aplicó el entálpico en cada uno de los 5 sistemas de aire acondicionado de la edificación.

Los datos de los sistemas de climatización suministrados por el Manual de operación y mantenimiento Ingeniería Industrial. En la **Tabla 29** se muestra el límite máximo de cada sistema de aire acondicionado en kBTU [29].

Tabla 29. Límite máximo de los sistemas HVAC.

Sistema	Límite máximo [kBTU]
SRV1	613,50
SRV2	546,19
SRV3	478,62
SRV4	580,89
SRV5	586,53

El siguiente paso en la aplicación de la estrategia fue el ingreso de la temperatura mínima de punto de Rocío, necesaria en el economizador para conocer a qué temperatura se condensa el vapor de agua. En la **Figura 33** se observa que el valor es aproximadamente 15,55°C, la Figura se tomó del archivo climático ingresado a eQUEST.

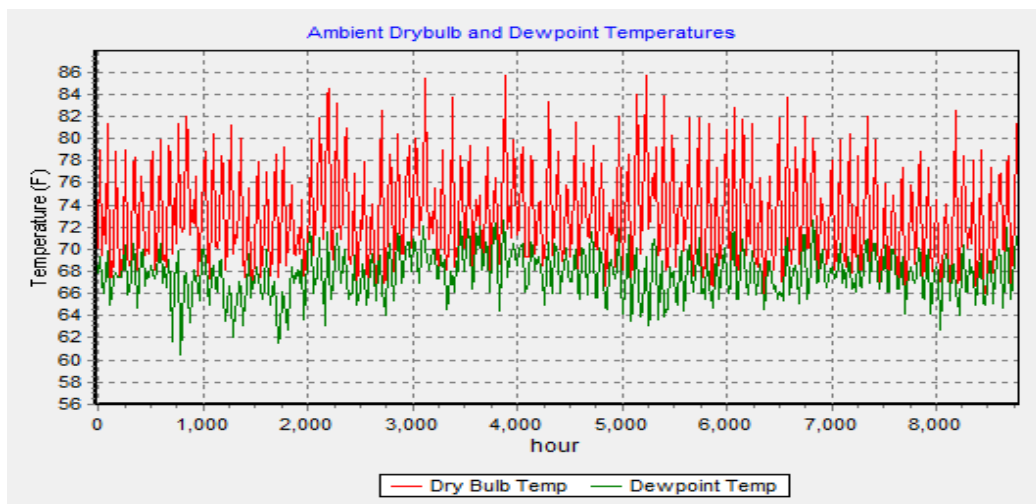


Figura 33. Temperatura mínima de punto de rocío.

La humedad máxima y mínima ambiente en que se verán expuestos los sistemas, están en un rango entre 50% a 85%.

En la **Figura 34** se muestra que el consumo se reduce un 0,38% que representa un ahorro de 280.046,2 pesos. Esta estrategia no se recomienda implementar en climas tropicales debido a que se necesita de corrientes de aires frías para ser ingresadas al interior del sistema HVAC.

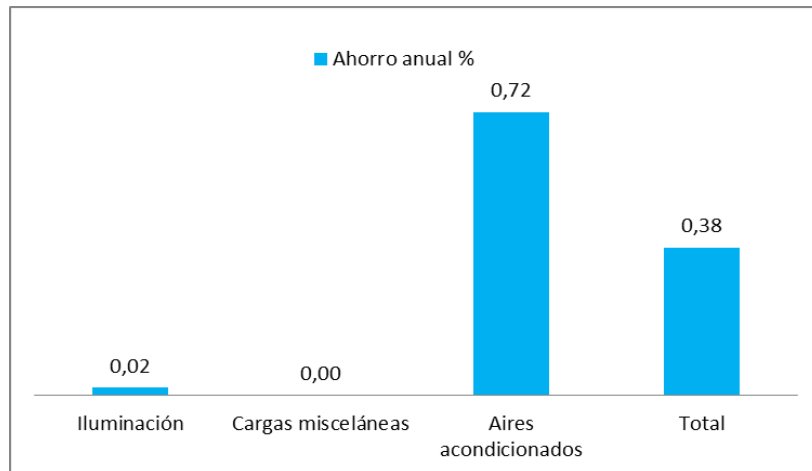


Figura 34. Resultados de la implementación del economizador.

- **Variación del termostato**

El índice de eficiencia energética de los sistemas de climatización artificial va ligado a su eficiencia propia y al ajuste del valor de temperatura con el termostato en que trabajará.

El modelo base trabaja con un EER de 9,6 se varió el termostato sin afectar el confort de los ocupantes de la edificación, en consecuencia se disminuyó la temperatura en un grado centígrado. El valor base es de 21°C, al subir la temperatura a 22°C representa aproximadamente el 4,9% de aumento en temperatura, lo que afecta en la potencia eléctrica aplicada disminuyendo al 95,1%. Según la fórmula del EER presentada en el Capítulo 3, la nueva eficiencia del sistema fue:

$$EER = 9,6/0,951 = 10,01$$

En la **Figura 35** se observa una reducción de consumo de energía anual del 2,85% representado en un ahorro anual de 2'130.259,03 pesos. La variación del consumo ocurre en los equipos de climatización, debido a que se gasta menos energía al incrementar la temperatura.

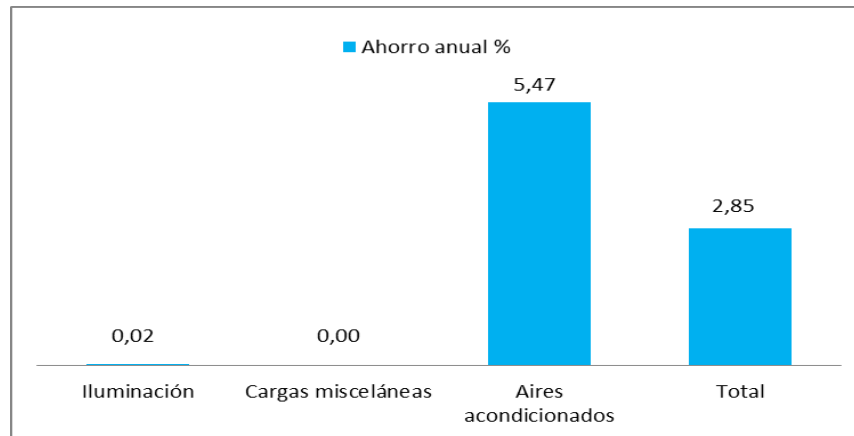


Figura 35. Resultados de la variación del termostato.

- **Simulación global de las estrategias de mayor impacto**

Se simularon las estrategias de mayor impacto en el consumo energético, como el aislamiento en muros, aletas y voladizos, cortasoles, ventilación natural, lámparas LED y variación del termostato. Los resultados de la simulación de este conjunto de estrategias se muestran en la **Figura 36**.

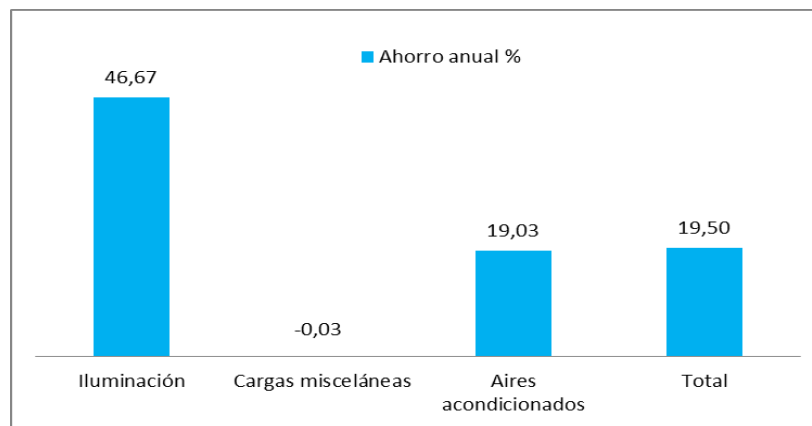


Figura 36. Resultados de la simulación global de estrategias.

Se observa que el consumo de energía anual se reduce en 19,50% respecto al caso base. El mayor ahorro se ve reflejado en iluminación debido a la

implementación de lámparas LED en todo el edificio. El ahorro anual es de 14'572.123,24 pesos.

5.2 RESULTADOS DE LAS VARIACIONES

Finalmente, en la Tabla 30 se aprecia el consumo energético anual de las estrategias implementadas al caso base. Se aclara que las flechas hacia arriba y abajo indican el incremento y reducción de las variables de iluminación y climatización respectivamente, el signo igual indica que dichas variables se mantienen constantes.

Tabla 30. Recopilación de resultados de consumo energético de las variaciones.

Componente	Variable que afecta		Total [MWh]	Porcentaje%
	Iluminación	climatización		
Caso base			259,72	100
Vidrios				
Ventana sencilla reflectiva	↑	↓	257,76	99,24
Aletas y voladizos				
Aletas y Voladizos 3[ft]	↑	↓	247,69	95,37
Cortasoles y persiana traslucida				
Cortasoles	↑	↓	254,42	97,96
Persiana traslucida	↑	↓	254,95	98,16
Tubos solares				
Policarbonato con filtro	↓	≈	255,85	98,51
Aislamiento para muros exteriores				
Poliestireno	≈	↓	255,67	98,44
Aprovechamiento de ventilación natural				
Salones zona noroccidental pisos 3,4,5 sin climatización artificial	≈	↓	254,56	98,01
Sistema de iluminación artificial				
Lámparas LED	↓	≈	230,95	88,92
Economizador de aire acondicionado				
Economizador Entálpico	≈	↓	258,74	99,62
Índice de eficiencia energética de aires acondicionados				
EER	≈	↓	252,32	97,15

5.3 VARIABLES HIPOTÉTICAS

En este caso se toman a consideración las variaciones que no se puedan hacer de forma física pero que sería interesante realizar el análisis para verificar su comportamiento energético.

- **CAMBIO DE ORIENTACIÓN**

La orientación del edificio real es de norte-norte-este, el Reglamento Técnico de Construcción Sostenible en Uso Eficiente del Agua y Energía, recomienda que en climas cálidos seco y templados como en la ciudad de Bucaramanga, los edificios estén con sus fachadas principales de mayor cantidad de ventanas situados en dirección norte o sur, y los pasillos y áreas de accesos en posición este-oeste o viceversa. En la **Figura 37** se observa los resultados de la variación de la orientación del edificio en sentido norte.

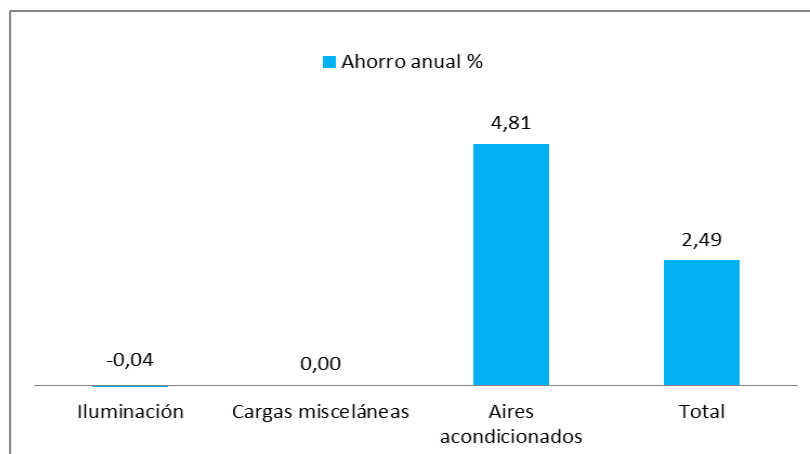


Figura 37. Resultados del cambio de orientación del EEEIE.

Se observa que al realizar dicho cambio, el edificio ahorra un 2,6% en el consumo anual, este ahorro se ve reflejado en cargas por equipos de refrigeración debido a

que durante el día, las fachadas principales que son las de mayor número de ventanas, están mayormente aisladas de la incidencia directa de los rayos del sol.

- **CAMBIO DE ORIENTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE VENTILACIÓN NATURAL.**

Se recomienda que para climas templados donde haya corrientes de aire natural, abrir aberturas opuestas en los edificios para aprovechar la ventilación cruzada. Para el caso del EEEIE se realizó aberturas en la fachada sur de los salones ubicados al noroeste del piso 3 y piso 5, las ventanas de la fachada norte se dejan igual. La **Figura 38** muestra los cambios realizados en eQUEST. Esta estrategia es similar al igual que en el Edificio aldeaño E3T, donde también se aprovecha la ventilación natural.

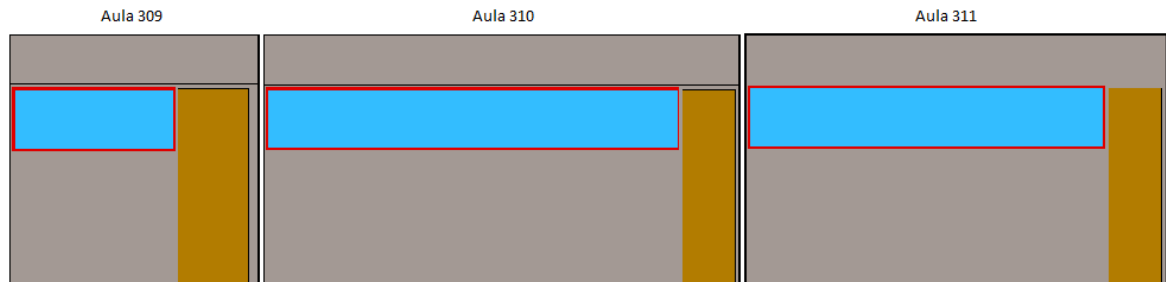


Figura 38. Implementación de ventanas.

En la **Figura 39** se observa que al aplicar esta variación el consumo de energía anual se reduce en 4,32 %. El ahorro se ve reflejado en equipos de climatización.

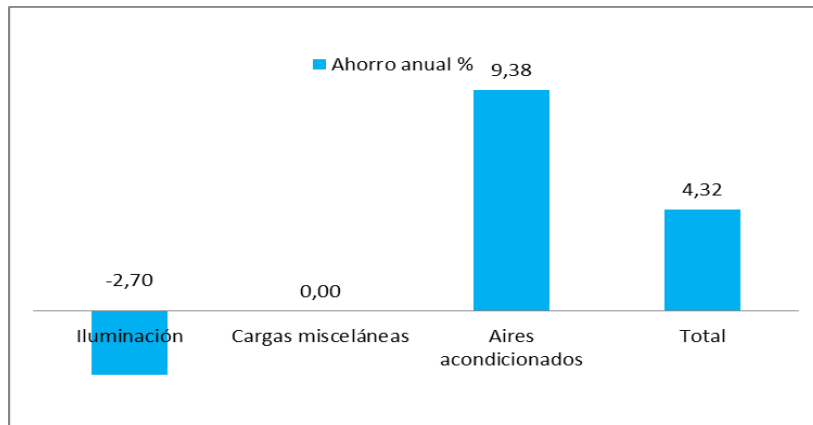


Figura 39. Resultados del cambio de orientación y aprovechamiento de ventilación natural.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este capítulo resalta las conclusiones y recomendaciones más relevantes en el proceso y realización del trabajo de grado.

- Se realizó la simulación del modelo virtual del Edificio de estudios Industriales y Empresariales de la UIS, considerando sus características arquitectónicas y perfiles de operación de forma real para determinar su comportamiento, Con el fin de estimar el potencial impacto de estrategias URE en iluminación y climatización.
- Se realizaron tres simulaciones durante el proceso de creación, calibración y sintonización del modelo virtual. Después de determinar el modelo base, se efectuaron un total de catorce simulaciones referentes a las estrategias factibles en eQUEST.
- Se estableció el consumo energético del edificio teniendo en cuenta el proceso de calibración y sintonización del modelo virtual, de acuerdo con las cargas internas por iluminación, equipos misceláneos, sistemas de aire acondicionado, materiales de construcción de la envolvente y en general las características operativas de los espacios del edificio.
- Los resultados del consumo energético obtenidos durante la simulación fueron de 259,72 MWh en promedio anual; éstos fueron comparados con la lectura de los medidores de consumo real del edificio, que tiene un promedio anual de $242,78 \pm 0,49$ MWh, cuya relación de error tiene un promedio de 6,97%, lo cual se considera aceptable debido a los limitantes que presenta el software en el ajuste de los perfiles de iluminación, ocupación y de los sistemas de aire acondicionado, entre otras.

- Se encontró que al aplicar la estrategia que sugiere el cambio de cristales de la envolvente del edificio, el consumo se reduce en 0,75% con respecto al caso base, haciendo uso de vidrios reflectivos; este ahorro se tiene en el consumo generado por equipos de climatización. Aunque esta estrategia no genere un cambio considerable, se recomienda implementarse en edificaciones que se piensen construir en un futuro.
- En la implementación de elementos de sombreado como las aletas y voladizos en las fachadas principales del edificio, se obtuvo un ahorro anual del 4,63%, el cual se reflejó en los equipos de climatización; sin embargo, el consumo de iluminación se incrementó en un 3%, debido a la ausencia de luz natural por el sombreado.
- Se pudo establecer que adicionar cortasoles en la fachada norte del edificio se obtuvo un ahorro del 2% en el consumo de energía eléctrica; de igual manera se determinó que el uso de persianas traslucidas ayudan a minimizar el consumo en un 1,84%. Estas estrategias pasivas ayudan a reducir los consumos por equipos de climatización.
- Con el propósito de aprovechar la luz natural en el interior del edificio, se realizó la simulación de implementación de tubos solares, los cuales dieron un ahorro del 1,5% reflejados en consumos de iluminación. Se recomienda que este tipo de tubos solares tengan filtro solar para no aumentar la carga por climatización.
- Se observó que la implementación de material aislante como el poliestireno para las paredes del edificio, ayuda a aumentar la resistencia térmica, resultando un ahorro del 11,18%. Esta estrategia es viable para edificios ya construidos y en zonas donde se encuentre equipos de climatización.

- Siguiendo las recomendaciones del Reglamento Técnico de Construcción Sostenible en Agua y Energía en Colombia sobre la orientación de los edificios, se simuló la edificación en sentido norte-sur para minimizar la radiación solar en sus fachadas de mayor número de ventanas, resultando un ahorro de consumo de energía anual del 2,49% con respecto al caso base.
- Se halló que la estrategia de uso racional de energía más relevante en el ahorro energético es el uso de lámparas LED, ya que con su utilización el consumo anual de la edificación se reduce un 11,08%, con respecto al caso base, mejorando la iluminación en la construcción, sin afectar el confort de los ocupantes.
- En la variación del termostato del sistema HVAC, se encontró que se reduce el gasto energético anual en 2,8%. Esta estrategia no implica alguna inversión económica, lo cual la hace favorable, ya que el único tópico que se interviene es el incremento de temperatura en el termostato del sistema en un (1) grado centígrado, quedando en el rango de confort de temperatura para la zona de Bucaramanga.
- Se estableció que al aplicar la estrategia de uso del equipo economizador para el sistema de aire acondicionado, sólo se percibe una baja en el consumo energético de 0,38% respecto al caso base. Esta estrategia no es viable en climas cálidos debido a que se necesitan temperaturas frías para ser introducidas al sistema de aire acondicionado logrando reducir el consumo por bombas y compresores.
- De acuerdo al Reglamento de Construcción Sostenible en Agua y Energía en Colombia se puede concluir que la edificación no tiene un adecuado uso racional de energía, ya que solo cuenta con dos de las estrategias sugeridas,

la reflectividad en paredes y techos y la ubicación de sensores de presencia; por eso se sugiere en nuevas edificaciones aplicar las estrategias abordadas que impactan en el clima tropical.

- En eQUEST se puede simular únicamente el consumo total en una edificación fraccionado en iluminación, cargas misceláneas y aires acondicionados, lo que limita otros análisis como puntos críticos de transferencia de calor, análisis de niveles de iluminación o de humedad.
- El aprovechamiento de la ventilación natural es de importante aplicación debido a que reduce el consumo en la edificación en un 1,98% con respecto al caso base. Se recomienda mantener las ventanas y puertas abiertas en estas zonas y suspender el sistema de climatización.
- La simulación global de las estrategias URE de mayor impacto, resulta un ahorro del 19,49% con respecto al consumo de toda la edificación.
- En la simulación del caso global se observó que con la aplicación de estrategias que mitiguen el consumo de iluminación se proporciona un porcentaje de ahorro del 46,67% con respecto al consumo de iluminación en el caso base. Igualmente, se observó que el consumo por climatización es del 19,03% con respecto al consumo de climatización artificial en el caso base.
- Para edificaciones nuevas que se pretendan construir en la Universidad Industrial de Santander se recomienda tener en cuenta las estrategias de uso racional de energía propuestas en este proyecto de grado.
- El análisis LEED en eQUEST, no se puede realizar en lugares fuera de los EE.UU y Canadá, debido a que el software no está automatizado para zonas

diferentes a las mencionadas. De igual forma eQUEST permite cargar el archivo climático de la ciudad de Bucaramanga.

- Para un rendimiento óptimo en la aplicación del economizador de aire acondicionado se recomienda que las unidades de aire acondicionado no se expongan a altas temperaturas, ya que hacen que la entalpía de aire exterior sea más alta que la del aire de retorno.
- Se recomienda el uso de eQUEST con respecto a otras herramientas de simulación energética ya que tiene la ventaja de mostrar resultados clasificados en iluminación, climatización artificial y cargas misceláneas; se hacen análisis de costos de consumo energético y su interfaz de resultados es en tablas lo que facilita su entendimiento.
- No se recomienda el uso de eQUEST con respecto a otras herramientas de simulación energética debido a que presenta la desventaja de no importar ni exportar modelos a otros programas de simulación; no hace análisis de confort térmico, humedad, exposición solar.
- En la simulación de edificios con fines de estudio, se recomienda esta herramienta debido a que se utilizó para el análisis del comportamiento energético de edificaciones en el Reglamento Técnico de Construcción Sostenible para Agua y energía en Colombia.
- Comparando los resultados de simulación con eQUEST del Edificio Álvaro Beltrán Pinzón y el EEEIE, el primero muestra una diferencia del 14% respecto al comportamiento de consumo energético del edificio real, mientras que el EEEIE presenta una diferencia del 6,97%, lo que indica una mayor aproximación al comportamiento general del Edificio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. Manteca, "Diseño de edificios de elevada eficiencia energetica en Construcción sostenible," 2012. [Online]. Available: http://www.eoi.es/wiki/index.php/Dise%C3%B1o_de_edificios_de_elevada_eficiencia_energetica_en_Construcci%C3%B3n_sostenible.
- [2] E. Arenas Salgado and A. Gonzales Navarro, "Caracterización del Edificio de Ingenieria Industrial aplicando la metodologia del Sistema de Gestion Integral de la Energia (SGIE)," Universidad Industrial de Santander, 2014.
- [3] M. A. López Castellanos, Á. M. Rojas Herrera, and I. A. Ruiz Maldonado, "Análisis Energético del Edificio de Estudios Industriales y Empresariales según Lineamientos del Sistema de Certificación Leed a partir del uso de la Herramienta Autodesk Ecotect Analysis: Creación del Modelo de Información de la Edificación (BIM)," Universidad Industrial de Santander, 2012.
- [4] Onyx Green, "Análisis energetico de edificios.," 2011. [Online]. Available: <http://www.asesoresgreenbuilding.com/analisis-energetico-de-edificios.html>.
- [5] KAI - GIEN, "Eficiencia en sistemas de climatización." [Online]. Available: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/climatizacion>.
- [6] UPME, "EL USO RACIONAL Y EFICIENTE DE LA ENERGIA -URE- Y LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA -FNCE," pp. 2–25.
- [7] Autodesk, "Autodesk is discontinuing Ecotect Analysis.," 2015. [Online]. Available: http://images.autodesk.com/adsk/files/Ecotect_Frequently_asked_questions.pdf.
- [8] J. Hirsch, "Introductory Tutorial, version 3.63," 2009. [Online]. Available: http://doe2.com/download/equest/eQ-v3-63_Introductory-Tutorial.pdf.

- [9] DIRECCIÓN DE CONTRATACIÓN Y PROYECTOS DE INVERSIÓN, “PLIEGOS DE CONDICIONES PRELIMINARES LICITACIÓN PÚBLICA No. 012 DE 2009 ADECUACIONES CIVILES, ARQUITECTÓNICAS, ELÉCTRICAS Y DE COMUNICACIONES PARA LA MODERNIZACIÓN Y AMPLIACIÓN DE LA PLANTA FÍSICA DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL,” no. 012, pp. 9–144, 2009.
- [10] F. Manteca, “Innovación Tecnológica para la Rehabilitación Energética en edificios colectivos del segmento LIH,” pp. 4–42, 2013.
- [11] Environmental Health Commite, “Environmental Health Committee (EHC) Minutes, Winter Meeting,” pp. 30–70, 2014.
- [12] ELGAMA ELEKTRONIKA, “Manual medidor electrónico de energía eléctrica-EMS,” 2007. [Online]. Available: http://www.elgama.eu/templates/files/tiny_mce/Usermanuals/EMS_SP_5.0.pdf.
- [13] Sistema Gestion Ambiental, “Programa uso racional de la energía (ure),” 2011. [Online]. Available: <http://www.uis.edu.co/webUIS/es/gestionAmbiental/documentos/programasAmbientales/URE.PDF>.
- [14] CAMACOL, “Reglamento técnico de construcción sostenible en uso eficiente de agua y energía,” pp. 2–136, 2014.
- [15] CAMACOL, “Anexo Técnico. Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones,” 2013.
- [16] Wikipedia, “Bucaramanga,” 2014. [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Bucaramanga>.
- [17] M. Millan and R. Mantilla, “Herramientas computacionales para análisis energético de viviendas de interés social,” 2013.
- [18] Sol-arq, “Características de las ventanas y unidades de acristalamiento.” [Online]. Available: <http://www.sol-arq.com/index.php/acristalamiento/ventanas>.
- [19] A. Fernandez, “Aislante térmico en edificios para ahorrar energía,” 2008. [Online]. Available: http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2008/05/19/177050.php.

- [20] Construction Specialties Inc, “Cortasoles,” 2013. [Online]. Available: http://www.c-sgroup.com/files/literature/esp_cortasoles.pdf.
- [21] DesingBuilder, “Local Shading Components.” [Online]. Available: http://www.designbuilder.co.uk/helpv3/Content/Local_Shading_Components.htm.
- [22] Medio ambiente, “Persianas y cortinas para ahorrar energía.” [Online]. Available: <http://medio-ambiente.com/blog/persianas-y-cortinas-para-ahorrar-energia/>.
- [23] Manuj, “Tubos de luz solar para iluminar interiores.” [Online]. Available: <http://aparejadorencoruna.com/2015/01/14/tubo-luz-solar/>.
- [24] Reunión técnica de expertos CMNUCC-ADP, “Nobel de Física a la eficiencia energética de los LED,” 2014. [Online]. Available: <http://newsroom.unfccc.int/es/energ%C3%ADa-limpia/premio-nobel-a-la-eficiencia-energetica-de-los-led/>.
- [25] EMERSON Network Power, “Soluciones con economizadores de aire,” 2015. [Online]. Available: <http://www.emersonnetworkpower.com/es-CALA/Products/PrecisionCooling/EconomizerCoolingSolutions/Pages/LiebertEconomizerSolutions.aspx>.
- [26] F. Baños Gil, “AIRE ACONDICIONADO Y SU NIVEL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA (EER y COP).,” 2013. [Online]. Available: <http://arquitectnide.blogspot.com/2013/07/aire-acondicionado-y-su-nivel-de.html>.
- [27] Banco de la República de Colombia, “Listado por meses del Dólar Histórico del Año 2014 en Colombia,” 2014. [Online]. Available: <http://dolar.wilkinsonpc.com.co/dolar-historico/dolar-historico-2014.html>.
- [28] Ledbox, “Tabla de equivalencias LED,” 2013. [Online]. Available: <http://blog.ledbox.es/ahorro-eficiencia-energetica/tabla-de-equivalencias-de-las-bombillas-led>.
- [29] J. C. Camargo, “Ingeniería Industrial Manual de Operación y Mantenimiento,” pp. 2–52, 2011.
- [30] PILKINGTON, “Control solar,” 2015. [Online]. Available: <http://www.pilkington.com/es-cl/cl-->.

- [31] PladurGirona, “Aislamiento térmico en paredes.” [Online]. Available: <http://www.pladurgirona.es/>.
- [32] Fenosa, “Sistemas de ventilación natural,” 2015. [Online]. Available: <http://www.empresaeficiente.com/es/catalogo-de-tecnologias/sistemas-de-ventilacion#ancla>.
- [33] G. A. Osma Pinto, “Uso racional de la energía a partir del diseño de aplicaciones sostenibles en el Complejo E3T de la Universidad Industrial de Santander,” UIS, 2011.
- [34] TELEUIS, “Edificio de Estudios Industriales y Empresariales-UIS.” [Online]. Available: <http://radio.uis.edu.co/uis-am/itemlist/date/2015/1.html?start=10>.
- [35] W. Gish, “Cálculo para techo voladizo y latitud.” [Online]. Available: http://www.ehowenespanol.com/calculos-techo-voladizo-latitud-info_237046/.
- [36] Vanguardia Liberal, “Complejo E3T, otro proyecto EME Ingeniería S.A.,” 2013. [Online]. Available: <http://www.emeingeneria.com.co/noticias/leer/id/34>.
- [37] Mundo LED, “Ventajas LED.” [Online]. Available: <http://www.mundoled.com.do/ventajas-led/>.
- [38] IVI, “Luminarias de alto desempeño interior,” 2015. [Online]. Available: <http://www.ivi.com.ve/catalogo-luminarias-interiores.php>.
- [39] J. Jimenez, “Eficiencia energética en instalaciones de aire acondicionado,” 2010. [Online]. Available: http://todoproductividad.blogspot.com/2010/08/eficiencia-energetica-en-instalaciones_06.html.
- [40] The Engineering Toolbox, “How to convert between kW/ton, COP and EER.” [Online]. Available: http://www.engineeringtoolbox.com/cop-eer-d_409.html.

ANEXOS

ANEXO A. METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS TÉRMICO DEL EDIFICIO EN eQUEST

Para el desarrollo del trabajo de grado se planteó una metodología que garantizara un correcto análisis de la simulación. Por consiguiente, fue necesario obtener la información que permitiera diseñar la edificación con mayor exactitud.

Este anexo describe la secuencia de pasos a desarrollar para la ejecución del análisis térmico de la edificación a partir de la herramienta eQUEST.

En primer lugar, se presentan las fases para llevar a cabo este trabajo, las cuales incluyen la recopilación de datos, la creación del modelo virtual a partir de la herramienta eQUEST, la simulación energética de la edificación y el análisis de resultados, para dar paso a la aplicación de estrategias de uso racional de la energía, en iluminación y climatización.

- **Obtención de datos**

Es importante recopilar los datos con la información detallada del edificio real, que ayude a la creación del modelo virtual en eQUEST, la Tabla A.1 describe dichos datos.

Tabla A. 1. Datos para la construcción del modelo virtual.

Forma de la edificación	Se tiene en cuenta el contorno de la edificación, es decir los muros exteriores, tipos de ventanas, puertas, balcones y cualquier tipo de estructura que haga parte de la fachada.
Datos arquitectónicos	Describe los elementos que constituyen el edificio, como paredes, ventanas, puertas. Es decir, planos que contengan información de las dimensiones de la estructura
Materiales	Se encuentran los materiales de los muros, puertas, ventanas y todos los elementos que hacen parte de la edificación. Estos materiales fueron tomados de la licitación del año 2009, en donde se encuentra en detalle los materiales
Perfiles de ocupación de las zonas	Se tiene en cuenta el número de personas que hacen uso del edificio y el tiempo de actividad que permanece.
Sistemas de aire acondicionado	Describe los sistemas HVAC que se encuentran en el edificio así como los planos de ubicación en la zonas térmicas
Cargas misceláneas	Se halla los manuales de consumo energético de las cargas conectadas en el edificio, asimismo sus perfiles uso
Obstrucciones	Planos que contengan la localización de obstrucciones vecinas al edificio, que impidan ya sea por la radiación solar o vientos que incidan directamente sobre la estructura

- **Creación del modelo virtual**

Para la creación de esta fase es esencial la completa realización de la etapa anterior, teniendo en cuenta que se hará uso de los datos para el diseño del modelo arquitectónico del edificio.

- **Cambio de formato del archivo climático DOE-2 BIN**

Este archivo tiene como objetivo definir el comportamiento meteorológico de la zona donde se está trabajando; para la introducción de este archivo en eQUEST,

se utiliza el programa eQWthproc, proporcionado por DOE2, donde se realiza el cambio de formato.

- **Creación del modelo arquitectónico**

En esta etapa se crea el modelo arquitectónico del edificio, en el cual se caracterizan las áreas y alturas de las plantas además de los materiales constructivos. Debido a la forma de la fachada del edificio, fue necesario utilizar la opción personalizada para la construcción de la envolvente que ofrece eQUEST, en donde se generaron las plantillas de cada piso, con la ayuda de los planos dispuestos en formato dwg.

- **Definición de zonas térmicas**

Finalizado el modelo arquitectónico, se establecen las zonas térmicas, definidas como condicionadas o incondicionadas, caracterizándose según su uso y ocupación de sistemas de aire acondicionado que se encuentren implementados en dichas zonas.

- **Definición de cargas térmicas**

En esta etapa se introducen los valores de cargas térmicas que se generan por el consumo de iluminación, equipos de potencia y cargas misceláneas; igualmente, se define la ocupación de personas en las zonas térmicas. Se deben estimar con la mayor exactitud los porcentajes de trabajo de las cargas, así como sus perfiles de funcionamiento, debido a que este comportamiento puede variar durante el periodo de análisis.

- **Definición de los sistemas HVAC**

Esta etapa introduce los datos de los sistemas que funcionan en la edificación, en donde se debe describir el sistema de climatización y las características de los aires acondicionados que operan en las zonas; en el software se debe definir el número de plantillas de acuerdo a los sistemas que se encuentren operando en la estructura. Finalmente el modelo estará creado para ser simulado.

- **Simulación y resultados**

Por último, se encuentra la fase de simulación del modelo virtual que permite mostrar los resultados de consumo energético, estos se clasifican de acuerdo a las cargas situadas en el edificio.

- **Calibración del modelo virtual**

Esta etapa da inicio a la primera simulación, donde se verifican los resultados del modelo virtual con los datos de consumo energético del edificio real. La calibración de dicho modelo se llevará a través de la recolección de información, como datos históricos de los medidores de energía eléctrica, permitiendo comparar los resultados.

- **Aplicación de estrategias**

Teniendo en cuenta la ubicación, y las características propias del Edificio de Estudios Industriales y Empresariales, así como las limitaciones propias del software eQUEST, se hace una búsqueda bibliográfica de estrategias URE orientadas a la disminución del consumo energético, aplicables a entornos tropicales, seguidamente se identifican las estrategias aplicables que impacten el consumo energético de la edificación en iluminación y climatización.

- **Simulación y análisis**

Teniendo en cuenta las simulaciones realizadas sobre el comportamiento energético del EEEIE, se cuantifica el impacto de las estrategias URE identificadas y aplicadas a la edificación, permitiendo organizar los resultados a partir de tablas y gráficos, que faciliten la comparación entre cada una de las estrategias con el modelo base calibrado.

ANEXO B. DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ARQUITECTÓNICAS DEL EEEIE

A continuación se describe los detalles de construcción del edificio en la herramienta eQUEST. En la Tabla B.1 se observan los valores de áreas para cada planta del edificio.

Tabla B. 1. Información arquitectónica del EEEIE.

	Área ft ²	Altura ft
Sótano	4193,08	8,80
Piso 1	14832,85	10,70
Piso 2	14499,84	10,40
Piso 3	14909,82	10,50
Piso 4	12629,49	9,80
Piso 5	11969,69	9,80

- **Información preliminar de equest**

Para empezar la creación del edificio, es necesario saber cómo funciona el programa. El navegador de eQUEST cuenta con cuatro asistentes, los cuales tienen diferentes propósitos como se muestra en la Figura B.1.





 Building Creation Wizard	Asistente de creación del edificio.
 Energy Efficiency Measure Wizard	Asistente para proponer diferentes estrategias, que ayuden a reducir el consumo energético
 Simulate Building Performance	Asistente que sirve para generar las simulaciones propuestas.
 Review Simulation Results View	Asistente que sirve para mostrar los resultados de las diferentes propuestas

Figura B.1. Asistentes de navegación en eQUEST.

En este proceso de construcción de la envolvente sólo se tuvo en cuenta el asistente de creación del edificio, el cual nos permitió dar paso al modelo virtual y por consiguiente la generación de la simulación.

Al ingresar al asistente donde se construyó el proyecto, *Building Creation Wizard*, se despliega una interfaz, donde se encuentran tres pestañas. La Figura B.2, muestra el esquema de la información que se debe completar para cada pestaña.

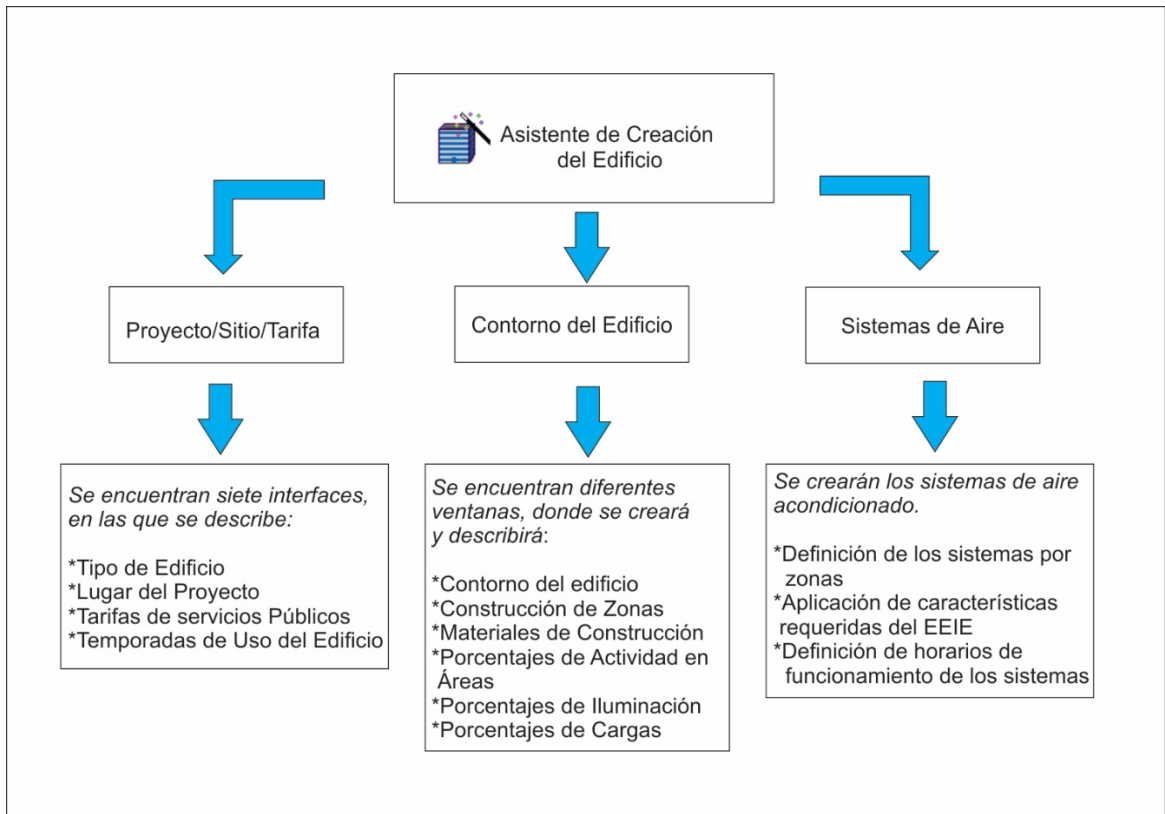


Figura B.2. Asistente de creación del modelo virtual del edificio en eQUEST.

- **Información general del proyecto**

Para dar el primer paso en el análisis energético en eQUEST, se debe completar la información general del proyecto. La Figura B.3 muestra el nombre del proyecto, el tipo de construcción que se debe escoger, el código de análisis, la tasa de servicios públicos, el archivo climático, y el año en que se efectuará el análisis.

El tipo de construcción que se seleccionó, fue el personalizado, debido a la complejidad de la geometría del edificio. Esta opción nos brindó la facilidad de modelar el edificio creándolo planta por planta, además definiendo el ingreso de diferentes alturas de los pisos, mientras que las otras opciones no permiten hacerlo.

El código de análisis escogido para evaluar la edificación fue el LEED, aunque se aclara que esta opción actualmente no se encuentra automatizada como las otras dos que se plantean, *california title 24* y (*t-24*), las cuales al ser seleccionadas, automáticamente escogen los valores de ubicación y archivo climático para las zonas de Estados Unidos y Canadá. Por tal motivo se seleccionó el código LEED, que aunque no realiza un análisis con dicho código, permitió cargar el archivo climático, correspondiente a la ciudad de Bucaramanga. El análisis energético está presidido por la norma ASHRAE 90.1.

The screenshot shows the 'eQUEST DD Wizard: Project and Site Data' window. It is divided into several sections:

- General Information:** Project Name: EEEIE; Building Type: Unknown, Custom or Mixed Use; Code Analysis: LEED-NC (Appendix G); Code Vintage: version 3.0.
- Building Location and Jurisdiction:** Location Set: User Selected; Weather File: TMY2\Colombia-Bucaramanga; Jurisdiction: ASHRAE 90.1.
- Utilities and Rates:** Utility: Electric: - custom -; Gas: - none -; Rate: (empty).
- Other Data:** Analysis Year: 2014; Usage Details: Hourly Enduse Profile.

At the bottom, there is a checkbox for 'Prevent duplicate model components' which is checked. The window also includes a 'Wizard Screen 1 of 7' indicator and navigation buttons: Help, Previous Screen, Next Screen, and Return to Navigator.

Figura B.3. Información general del proyecto.

- **Definición de las temporadas de uso del EEEIE**

En el software eQUEST, permite dividir el año hasta en tres temporadas y cada uno de éstas hasta en tres períodos; se definieron dos temporadas, la primera para cuando el edificio está en funcionamiento de clase, llamado Typical use; la

segunda describe las vacaciones que se tienen durante el año, llamada en eQUEST Holiday.

La temporada Holiday está constituida por tres períodos, fundamentados en el calendario académico que se encuentra en la página web de la Universidad Industrial de Santander del año 2014 y en los días festivos impuestos, teniendo un aproximado de 86 días de descanso. Estos se separaron de tal forma que los tres segmentos de vacaciones en el año fueron: enero (vacaciones de comienzo de año), abril (incluida semana santa) y mitad de año (final de junio principio de julio). En la Figura B.4 se observa los días específicos estipulados en el software para la respectiva simulación.

The screenshot shows the 'Number of Seasons' set to 3. Season #1 has a label 'Typical Use'. Season #2 has a label 'holiday' and is configured with three date periods: 'mié., ene. 01 thru vie., ene. 24', 'mié., abr. 02 thru lun., abr. 28', and 'dom., jun. 01 thru dom., jul. 06'.

Figura B 4. Definición de las temporadas.

- **Definición de tarifa del servicio de energía eléctrica**

Teniendo en cuenta que el software realiza un estudio del consumo energético con su respectivo costo, es conveniente introducir las tarifas del servicio de energía para el edificio en estudio. Estas tarifas fueron entregadas por la División de

Planta Física. La tarifa varía mensualmente, por lo cual se hizo un promedio anual del precio en kW/h, ya que en eQUEST se manejan cargas uniformes. El precio del kilo-watt hora en pesos será de 287,87\$. En el software se ingresará el valor en dólares ya que se manejan los precios con la unidad representativa de los Estados Unidos. En la Figura B.5 se observa la definición de la tarifa en eQUEST.

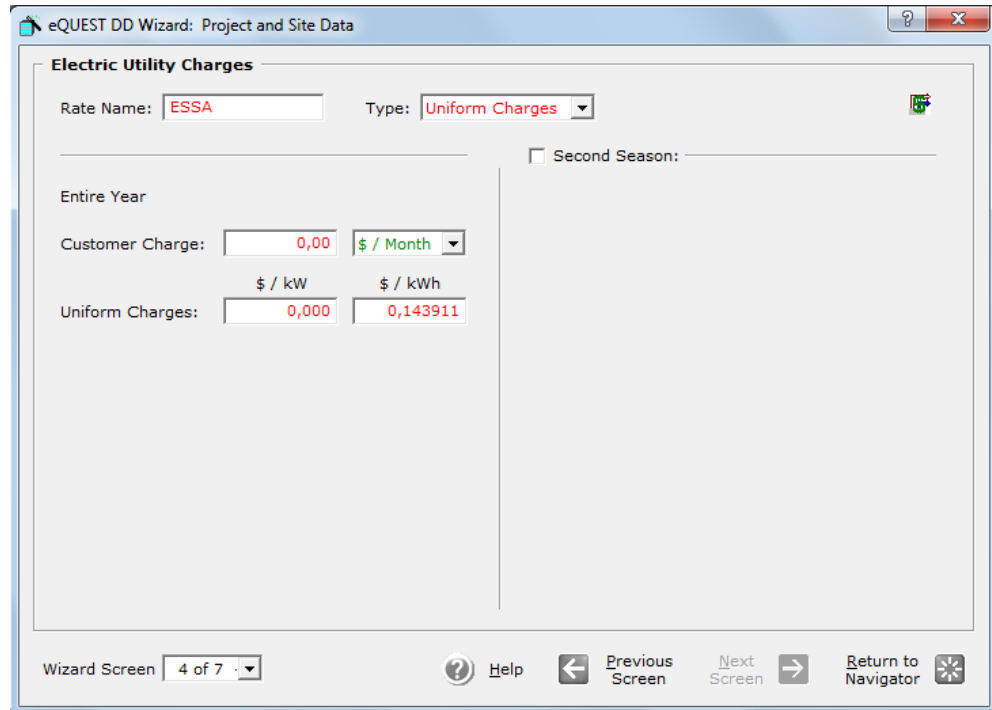


Figura B.5. Definición de tarifa de energía eléctrica.

El valor promedio anual del dólar se calculó a partir del comportamiento del dólar en el año 2014, resultado un promedio de 2000,33 pesos.

Finalmente se calculó el $\frac{\$}{Kwh}$ (dólar por kilovatio hora) de la siguiente forma:

$$\frac{\$}{Kwh} = \frac{287,87}{2000,33} = 0,143911$$

Donde el valor del numerador es el precio del kilovatio hora en pesos y el valor del denominador es el valor promedio del dólar en el año 2014. Este dato se utilizó para calcular el costo de la energía anual o mensual en la edificación.

- **Construcción de la estructura del EEEIE en eQUEST**

Para el desarrollo de la construcción del edificio, se utilizaron los planos de diseño en formato CAD. Donde además se tuvo en cuenta la orientación del edificio para la construcción. El programa cuenta con dos alternativas para la generación de la estructura, la primera muestra una interfaz donde se puede crear la plantilla del edificio sin apoyo de un plano, como se muestra en la Figura B.6; la ubicación de cada línea se puede especificar o modificar en la parte izquierda de la pantalla, variando los valores de X o Y. Esta opción no se recomienda en estructuras que sean complejas en su forma geométrica.

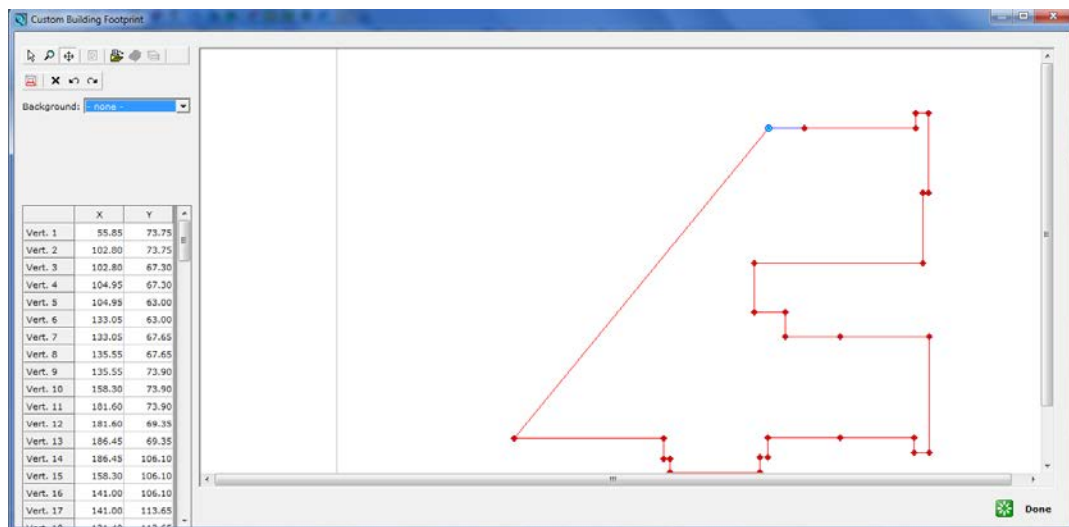


Figura B.6. Creación de la plantilla del edificio en blanco.

la segunda alternativa consiste en importar los planos de diseño en formato CAD, al software eQUEST, esta opción sirve de gran ayuda ya que de forma sencilla se sigue el contorno de apoyo utilizando los planos, esto se puede observar en la

Figura B.7, donde el perímetro que se encuentra en color azul, representa los planos cargados previamente, mientras que el contorno rojo describe el lazo que generará la plantilla.

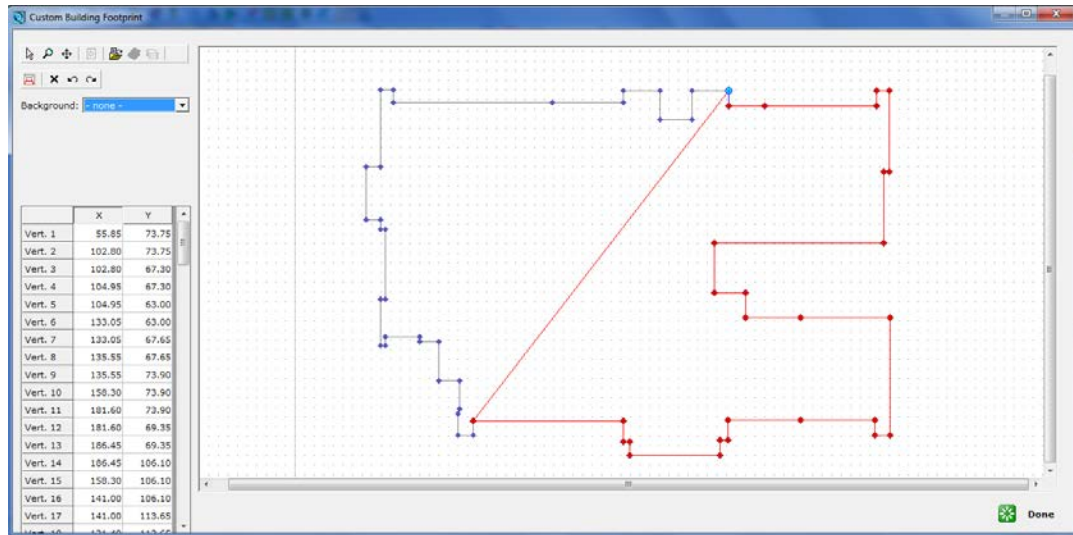


Figura B 7. Creación plantilla del edificio con ayuda de planos.

Es importante precisar que las demás plantas del EEEIE se crearon de igual forma, como se indicada en la Figura B.7, sin embargo se debe cambiar las coordenadas de altura, según sea el piso que se esté modelando, a continuación se muestra la Tabla B.2 que describe las alturas de cada piso.

Tabla B.2. Descripción de la altura piso a piso y piso a techo.

Altura de pisos [ft]		
	Piso a piso	Piso a techo
Sótano	7,6	8,8
Piso 1	8,9	10,7
Piso 2	8,4	10,4
Piso 3	8,5	10,5
Piso 4	8,5	9,8
Piso 5	8,5	9,8

ANEXO C. CONSTRUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS TÉRMICAS

Una vez terminada la plantilla del edificio, se construyeron las zonas con el fin de caracterizarlas. En la siguiente interfaz se construyeron las zonas, como se muestra en la Figura C.1 donde la parte observada en color verde, son las zonas ya caracterizadas, mientras que la parte en color amarillo falta por asignarse. Se debe precisar que la forma de construcción de cada zona, se efectúa en sentido contrario a las manecillas del reloj, de lo contrario, el programa lo reconoce como un error.

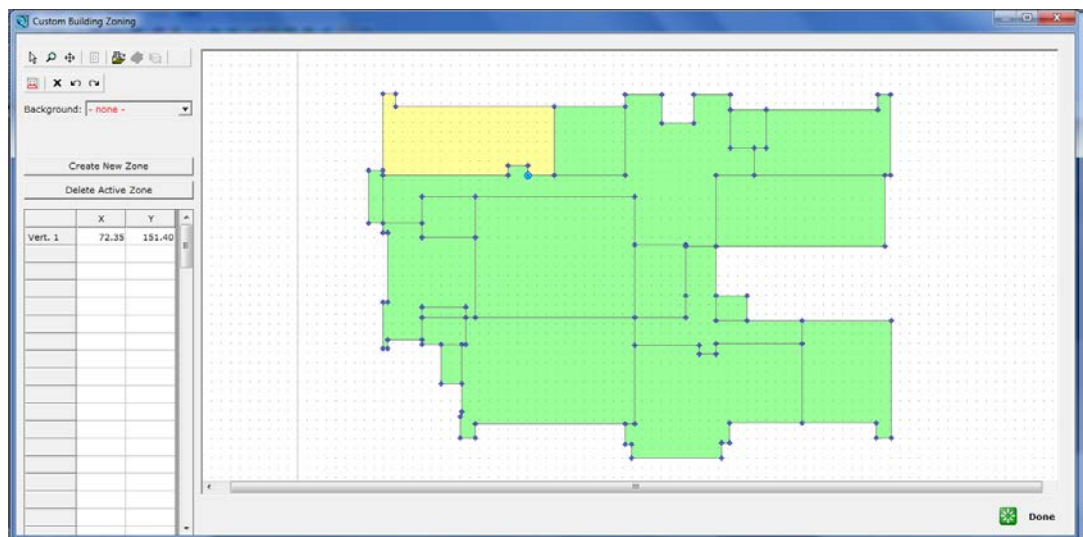


Figura C. 1. Construcción de las zonas térmicas.

Terminada la construcción de las zonas, se procedió a definir las. En la Figura C.2 se observa cada zona de la planta 1; además en esta interfaz se asignó la orientación del edificio. La opción para ajustar la orientación del edificio se

modificó en la pestaña Plan North, y se escogió la flecha de ubicación de los planos arquitectónicos del EEEIE.

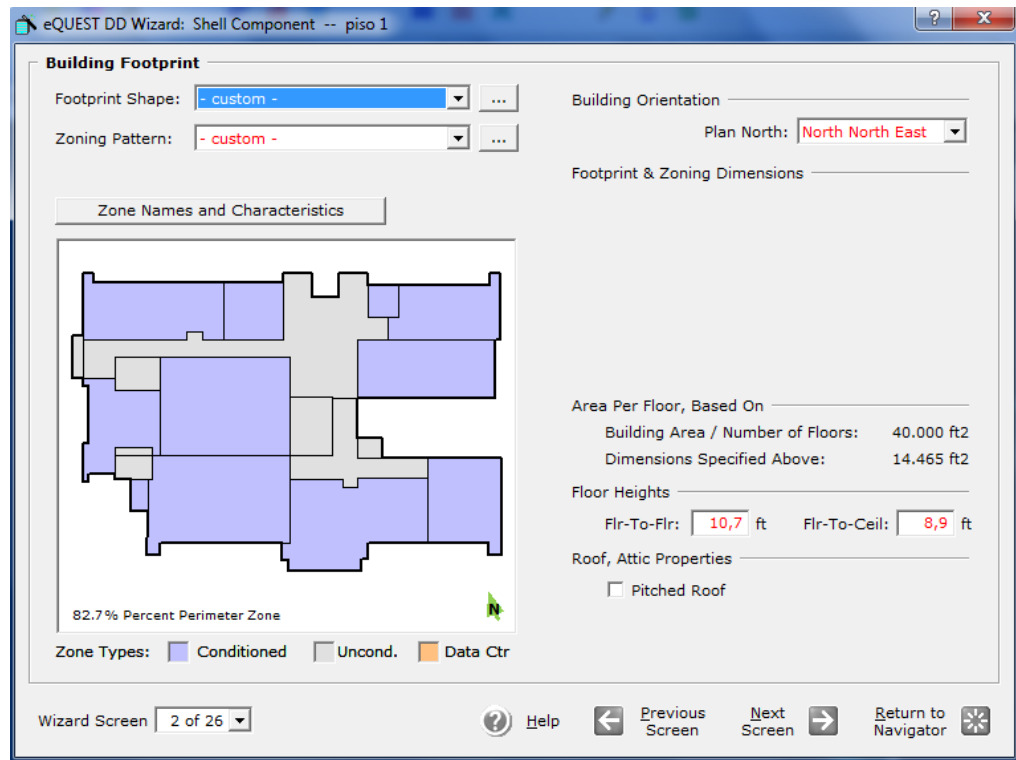


Figura C.2. Caracterización de las zonas térmicas para el piso 1.

En las siguientes Figuras y Tablas se muestra cómo se definieron las zonas para cada planta del edificio.

Tabla C.1. Definición de las zonas térmicas para el primer piso.

Piso 1				
Zona	Tipo de zona	Área de la zona [ft ²]	% Área con respecto al piso	% Área con respecto al edificio
Salón excelencia	Condicionada	1817,05	12,25	2,49
ACEII	Condicionada	1663,84	11,22	2,28
Salón fundadores	Condicionada	927,45	6,25	1,27
Ascensor	Incondicionada	70,66	0,48	0,10
Escaleras 1	Incondicionada	355,55	2,40	0,49
Salón emprendedores	Condicionada	1165,44	7,86	1,60
Profesores cátedra	Condicionada	858,38	5,79	1,18
Sala de reuniones	Condicionada	135,97	0,92	0,19

Piso 1				
Zona	Tipo de zona	Área de la zona [ft ²]	% Área con respecto al piso	% Área con respecto al edificio
Baños, corredores	Incondicionada	2647,22	17,85	3,62
Sala de computo 11	Condicionada	1159,85	7,82	1,59
Sala de computo 12	Condicionada	482,73	3,25	0,66
Escaleras sótano	Incondicionada	77,77	0,52	0,11
Baño auditorio hombres	Incondicionada	205,27	1,38	0,28
Baño auditorio mujeres	Incondicionada	120,49	0,81	0,16
Lobby	Incondicionada	792,49	5,34	1,09
Escaleras auditorio	Condicionada	45,47	0,31	0,06
Información	Incondicionada	75,66	0,51	0,10
Auditorio	Condicionada	1910,72	12,88	2,62
Cafetería	Incondicionada	320,87	2,16	0,44
Total		14832,85	100	20,31

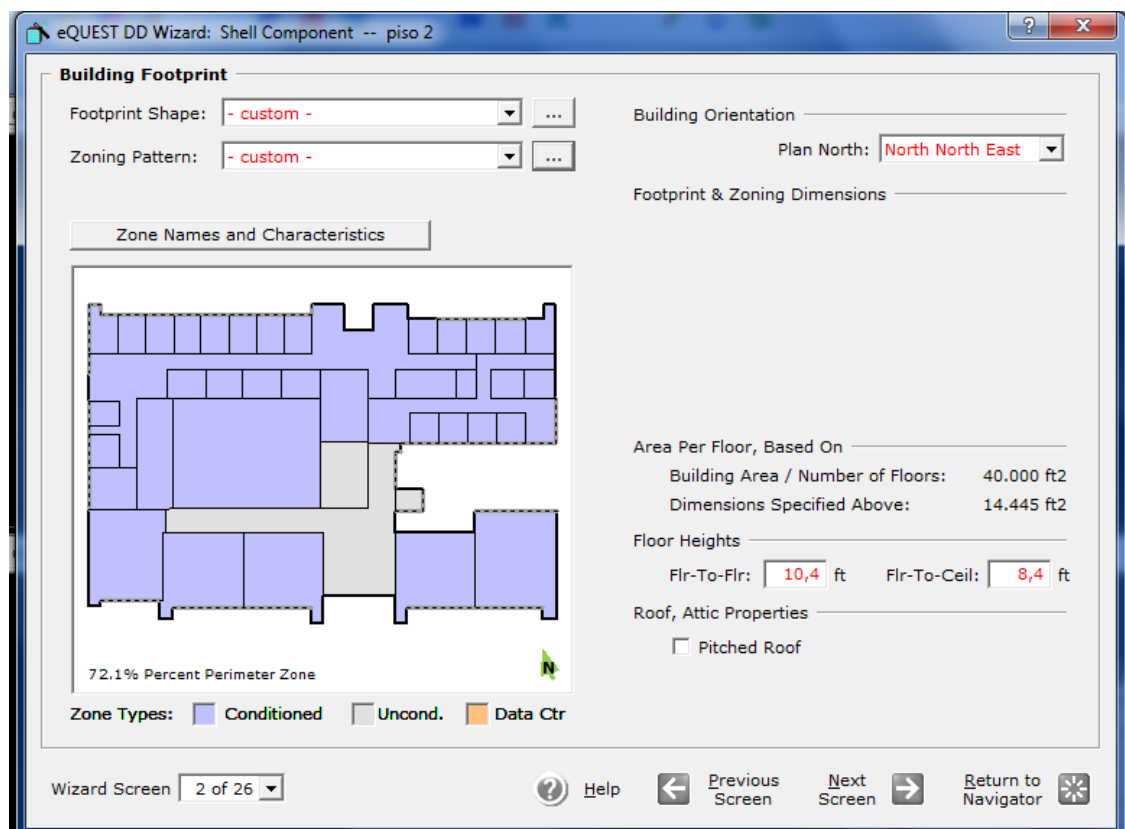


Figura C.3. Caracterización de las zonas térmicas para el piso 2.

Tabla C.2. Definición de las zonas térmicas para el segundo piso.

Piso 2				
Zona	Tipo de zona	Área de la zona [ft²]	% Área con respecto al piso	% Área con respecto al edificio
Aula 201	Condicionada	929,91	6,41	1,27
Aula 202	Condicionada	703,50	4,85	0,96
Aula 204	Condicionada	706,07	4,87	0,97
Aula 205	Condicionada	726,12	5,01	0,99
Aula 206	Condicionada	794,75	5,48	1,09
Oficinas de profesores	Condicionada	465,61	3,21	0,64
Sala de reuniones 21	Condicionada	234,14	1,61	0,32
Sala de reuniones 22	Condicionada	207,56	1,43	0,28
Sala de reuniones 23	Condicionada	216,22	1,49	0,30
Oficina c1	Condicionada	156,99	1,08	0,21
Oficina c2	Condicionada	143,03	0,99	0,20
Oficina c3	Condicionada	143,03	0,99	0,20
Oficina c4	Condicionada	143,03	0,99	0,20
Oficina c5	Condicionada	143,03	0,99	0,20
Oficina c6	Condicionada	143,03	0,99	0,20
Oficina c7	Condicionada	143,03	0,99	0,20
Oficina c8	Condicionada	143,03	0,99	0,20
Oficina c9	Condicionada	139,97	0,97	0,19
Oficina c10	Condicionada	139,97	0,97	0,19
Oficina c11	Condicionada	139,97	0,97	0,19
Oficina c12	Condicionada	139,97	0,97	0,19
Oficina c13	Condicionada	90,37	0,62	0,12
Oficina c14	Condicionada	144,14	0,99	0,20
Oficina c15	Condicionada	120,81	0,83	0,17
Oficina c16	Condicionada	120,81	0,83	0,17
Oficina c17	Condicionada	120,81	0,83	0,17
Oficina c18	Condicionada	120,81	0,83	0,17
Oficina c19	Condicionada	146,57	1,01	0,20
Baños, pasillo profesores	Incondicionada	1720,42	11,87	2,36
Auditorio	condicionada	1910,72	13,18	2,62
Bodega	Incondicionada	164,19	1,13	0,22
Cabina de sonido	Condicionada	336,90	2,32	0,46
Corredor 21	Incondicionada	2101,87	14,50	2,88
Corredor 22	Incondicionada	373,38	2,58	0,51
Pasillo 2	Incondicionada	185,44	1,28	0,25

Piso 2				
Zona	Tipo de zona	Área de la zona [ft ²]	% Área con respecto al piso	% Área con respecto al edificio
Cafetería	Incondicionada	70,05	0,48	0,10
Ascensor	Incondicionada	70,66	0,49	0,10
Total		14499,84	100,00	19,85

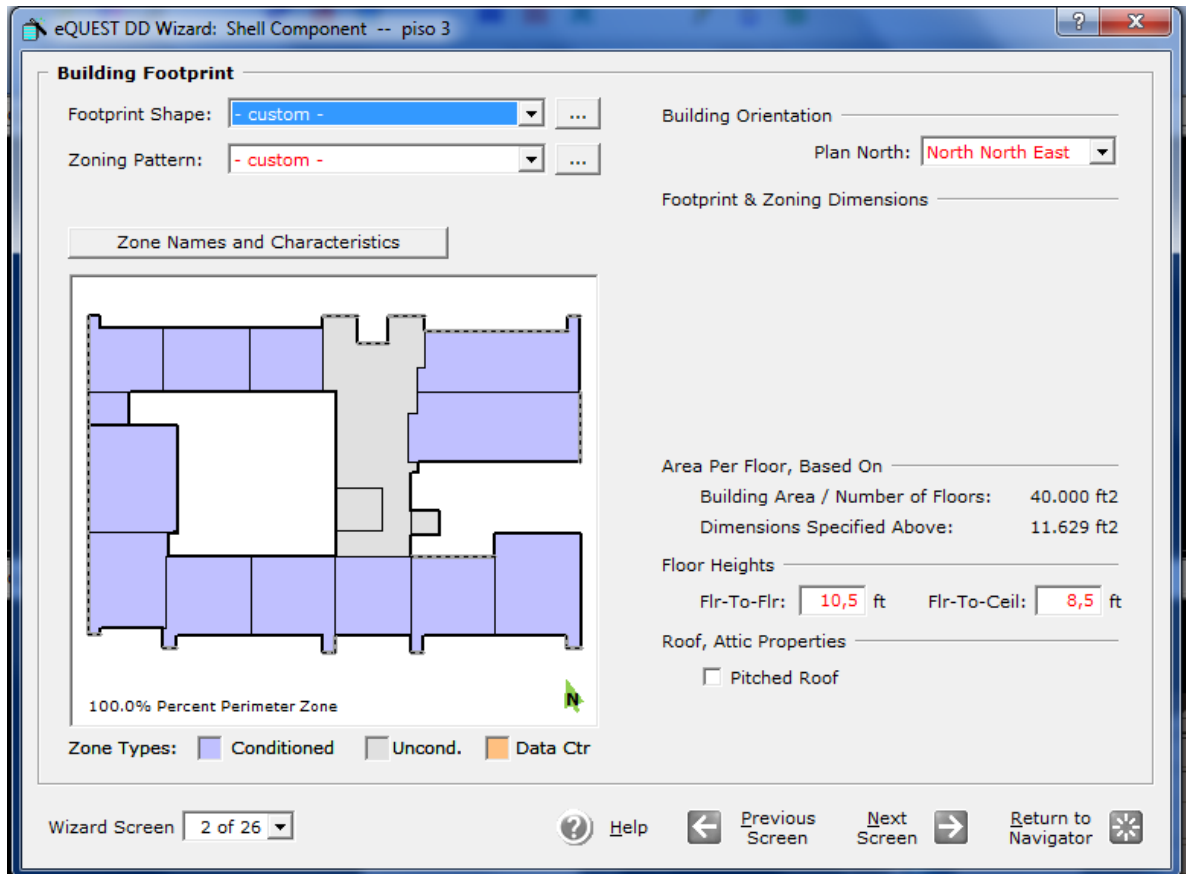


Figura C.4. Caracterización de las zonas térmicas para el piso 3.

Tabla C.3. Definición de las zonas térmicas para el tercer piso.

Piso 3				
Zona	Tipo de zona	Área de la zona [ft ²]	% Área con respecto al piso	% Área con respecto al edificio
Aula 301	Condicionada	923,87	6,20	1,26
Aula 302	Condicionada	703,50	4,72	0,96
Aula 303	Condicionada	635,32	4,26	0,87
Aula 304	Condicionada	706,27	4,74	0,97

Aula 305	Condicionada	726,12	4,87	0,99
Aula 306	Condicionada	788,53	5,29	1,08
Aula 307	Condicionada	1024,00	6,87	1,40
Aula 309	Condicionada	562,74	3,77	0,77
Aula 310	Condicionada	634,05	4,25	0,87
Aula 311	Condicionada	542,28	3,64	0,74
Aula 316	Condicionada	1030,67	6,91	1,41
Aula 317	Condicionada	1322,50	8,87	1,81
Corredores 3	Incondicionada	2953,15	19,81	4,04
Escaleras 3	Incondicionada	227,59	1,53	0,31
Bodega 3	Incondicionada	147,88	0,99	0,20
Auditorio 3	Incondicionada	1910,72	12,82	2,62
Ascensor 3	Incondicionada	70,66	0,47	0,10
Total		14909,82	100,00	20,41

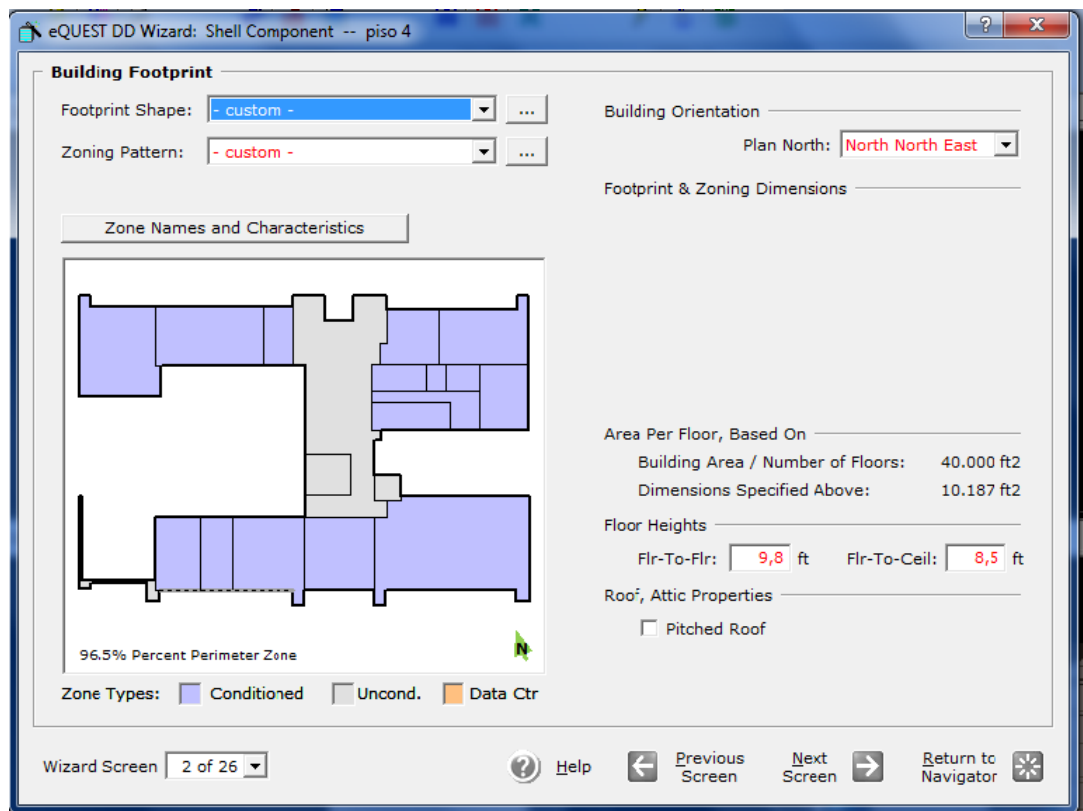


Figura C.5. Caracterización de las zonas térmicas para el piso 4.

Tabla C.4. Definición de las zonas térmicas para el cuarto piso.

Piso 4				
Zona	Tipo de zona	Área de la zona [ft²]	% Área con respecto al piso	% Área con respecto al edificio
Investigaciones	Condicionada	1803,61	14,28	2,47
Aula 401	Condicionada	633,87	5,02	0,87
Aula 402	Condicionada	635,37	5,03	0,87
Posgrado 41	Condicionada	394,31	3,12	0,54
Posgrado 42	Condicionada	956,50	7,57	1,31
Corredor 41	Condicionada	1348,46	10,68	1,85
Corredor 42	Condicionada	424,99	3,37	0,58
Maestría	Condicionada	942,21	7,46	1,29
Posgrado	Condicionada	864,98	6,85	1,18
Dirección	Condicionada	250,64	1,98	0,34
Baños y corredor 4	Incondicionada	1577,01	12,49	2,16
Secretaría	Condicionada	377,32	2,99	0,52
Dirección	Condicionada	630,94	5,00	0,86
Archivo	Condicionada	186,65	1,48	0,26
Coordinador asistente	Condicionada	112,10	0,89	0,15
Cafetería	Condicionada	67,02	0,53	0,09
Auxiliatura	Condicionada	421,41	3,34	0,58
Corredor 43	Condicionada	277,14	2,19	0,38
Coordinador	Condicionada	311,99	2,47	0,43
Revista	Condicionada	114,75	0,91	0,16
Escalera 4	Incondicionada	227,59	1,80	0,31
Ascensor 4	Incondicionada	70,66	0,56	0,10
Total		12629,49	100,00	17,29

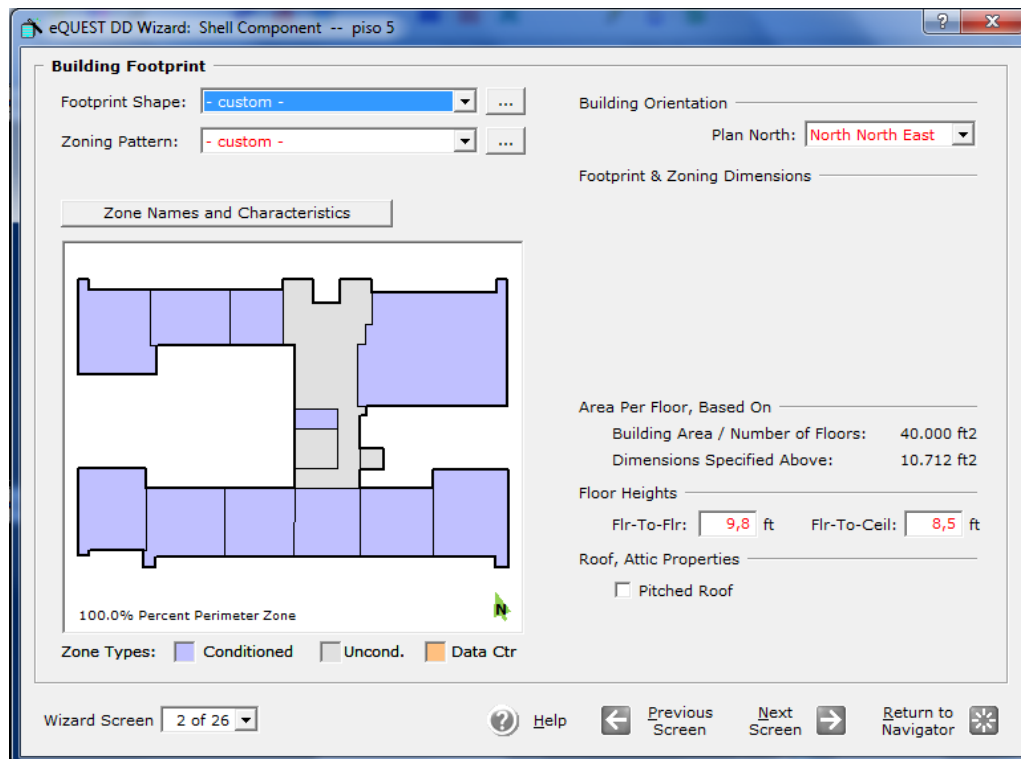


Figura C.6. Caracterización de las zonas térmicas para el piso 5.

Tabla C.5. Definición de las zonas térmicas para el quinto piso.

Piso 5				
Zona	Tipo de zona	Área de la zona [ft ²]	% Área con respecto al piso	% Área con respecto al edificio
Aula 501	Condicionada	923,87	7,72	1,26
Aula 502	Condicionada	703,50	5,88	0,96
Aula 503	Condicionada	675,32	5,64	0,92
Aula 504	Condicionada	706,27	5,90	0,97
Aula 505	Condicionada	726,12	6,07	0,99
Aula 506	Condicionada	788,53	6,59	1,08
Aula 508	Condicionada	862,46	7,21	1,18
Aula 509	Condicionada	663,89	5,55	0,91
Aula 510	Condicionada	451,73	3,77	0,62
Baños y corredor 5	Incondicionada	2479,21	20,71	3,39
Auditorio	Condicionada	2575,81	21,52	3,53
Cafetería	Incondicionada	114,75	0,96	0,16
Escaleras 5	Incondicionada	227,59	1,90	0,31
Ascensor 5	Incondicionada	70,66	0,59	0,10
Total		11969,69	100,00	16,39

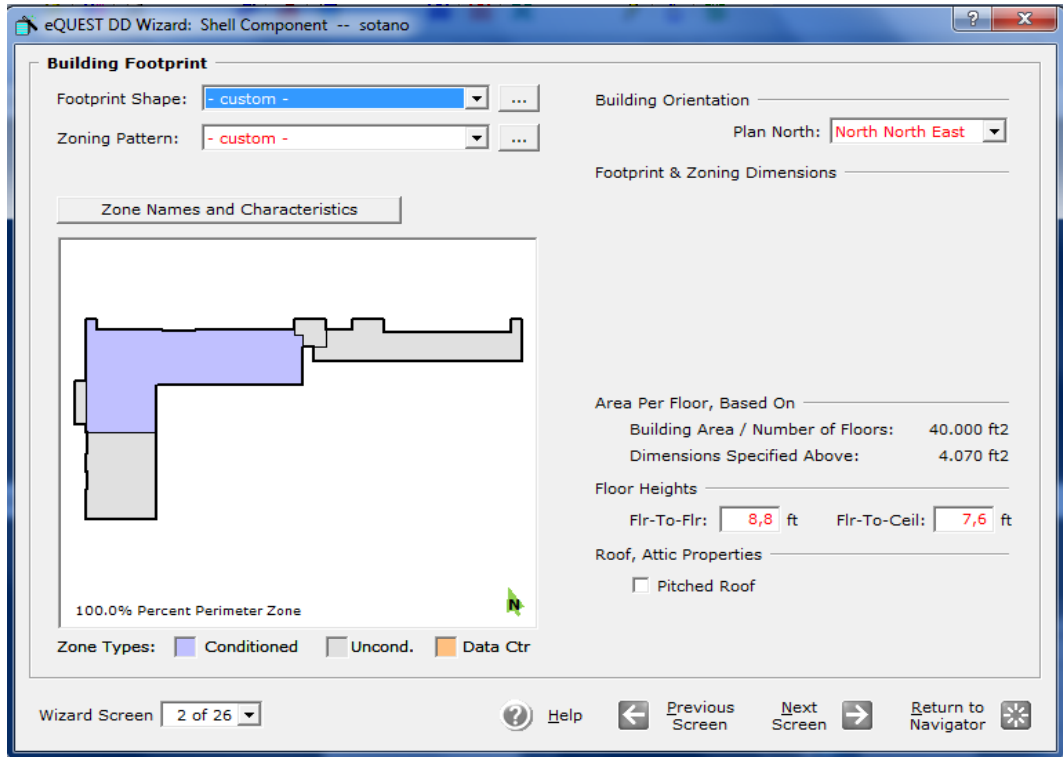


Figura C.7. Caracterización de las zonas térmicas para el sótano.

Tabla C.6. Definición de las zonas térmicas para el sótano.

Zona	Tipo de zona	Área de la zona [ft ²]	% Área con respecto al piso	% Área con respecto al edificio
Subestación	Incondicionada	913,41	21,78	1,25
Escaleras sótano	Incondicionada	73,04	1,74	0,10
Laboratorios	Condicionada	2151,25	51,30	2,95
Baño sótano	Incondicionada	102,45	2,44	0,14
Bodega	Incondicionada	952,93	22,73	1,30
Total		4193,08	100,00	5,74

ANEXO D. MATERIALES DEL EEEIE EN eQUEST

A continuación se presentan los materiales seleccionados en el software eQUEST para la creación del EEEIE.

- **Materiales utilizados para las placas del EEEIE**

Las placas están construidas con concreto de 3500 psi, los materiales para generar una resistencia de dicha compresión se detallan en la Tabla D.1.

Tabla D.1. Definición de materiales para las placas entre piso y piso.

	N°	Materiales	Espesor <i>ft / m</i>	Densidad <i>(kg/m³)</i>	Resistencia total <i>(m² * k/W)</i>
Sótano, piso 1, 2, 3	1	Mortero de cemento	0,08 / 0,025	116	3,39
	2	Concreto de 140 libras	0,83 / 0,25	140	
	1	Cemento plástico (Yeso)	0,08 / 0,025	116	
	Total			1,82 / 0,55	
piso 4, 5	1	Mortero de cemento	0,08 / 0,025	116	2,51
	2	Concreto de 140 libras	0,50 / 0,15	140	
	1	Cemento plástico (Yeso)	0,08 / 0,025	116	
	Total			1,16 / 0,35	

- **Materiales utilizados en la construcción de los pisos**

Los materiales definidos en la construcción de los pisos fueron: mortero de cemento de dos pulgadas de espesor en donde se obtiene una relación 1:3 entre el cemento y la arena; de esta forma se obtiene una resistencia de 3800 psi, y de

densidad de 140 $[lb/ft^3]$. Para los acabados se utilizaron baldosas de vinilo color blanco. La Tabla D.2 muestra la descripción de los materiales en eQUEST.

Tabla D.2. Definición de materiales de los pisos.

Número	Materiales	Espesor <i>ft / m</i>	Resistencia total $(m^2 * k/W)$
1	Mortero de cemento	0,15 / 0,01	2,32
1	Concreto de 140 libras	1,00 / 0,30	
1	Loza de vinilo	0,03 / 0,01	
Total		1,18 / 0,32	

- **Materiales utilizados en la construcción de los muros**

La configuración para las paredes comprende la construcción de los muros en ladrillo de referencia H-10 con terminaciones en estuco y cemento plástico, como se observa en la Tabla D.3.

Tabla D.3. Configuración de materiales para paredes.

Número	Materiales	Espesor <i>ft / m</i>	Resistencia total $(m^2 * k/W)$
1	Estuco	0,08 / 0,025	0,4
1	ladrillo H-10	0,33 / 0,10	
1	Cemento plástico	0,08 / 0,025	
Total		0,49 / 0,15	

- **Materiales utilizados en la cubierta exterior del EEEIE**

Existen dos cubiertas exteriores ubicadas en la última planta del edificio, una para el auditorio y la otra que cubre los salones ubicados en dirección a la fachada principal. Los materiales se describen en la Tabla D.4.

Tabla D.4. Materiales para las cubiertas exteriores e interiores en eQUEST.

Materiales	Ubicación
Teja termo acústica verde	Exterior
Tipo de paredes: macizo	Exterior e interior
Baldosas livianas acústicas	Interior

- **Disposición para puertas y ventanas**

El Edificio cuenta con tres tipos de puertas, las cuales se diferencian por su material disposición y tamaño. Los materiales de las puertas son en aluminio madera y vidrio. Las puertas en aluminio sólo se utilizaron para el sótano donde se encuentra la subestación, mientras que las puertas en madera se emplearon para las aulas de clase. Finalmente, las puertas en vidrio están situadas a la entrada del edificio y en los accesos a las escaleras de emergencia. La Tabla D.5 muestra los materiales que se introdujeron en el programa.

Tabla D.5. Configuración para las puertas del edificio.

	Tipo de puerta	Categoría	Tipo de marco	Espesor del marco [in]
Sótano	Vidrio	Tinte verde, espesor 1/4 in	Aluminio	1,3
	Acero/Opaca	Acero con núcleo hueco	N/A	N/A
	Madera/Opaca	Madera con núcleo hueco 1-3/8 in	N/A	N/A
Piso 1,2,3,4, 5	Vidrio	Tinte verde, espesor 1/4 in	Aluminio	1,5
	Madera/Opaca	Madera con núcleo hueco plana 1-3/8 in	N/A	N/A

- **Materiales utilizados para las ventanas**

El Edificio cuenta con dos tipos de ventanas, en las que se diferencian por su categoría y tipo de vidrio. La Tabla D.6 muestra las especificaciones.

Tabla D.6. Materiales utilizados para la construcción de las ventanas.

Categoría	Tipo de vidrio	Tipo de marco	Espesor del marco [in]
Color /Tinte	Tinte verde, espesor 1/4 in (1203)	Aluminio-Movible	1,3
Reflectiva	Tinte reflectiva 1/4 in (1414)	Aluminio-Movible	1,3

Finalmente, se eligió el tipo de persiana que se sitúa en la fachada principal del edificio, estas se determinan por medio de un porcentaje de las ventanas que contienen dicha persiana, como se observa en la Figura D.1 tomada de eQUEST.

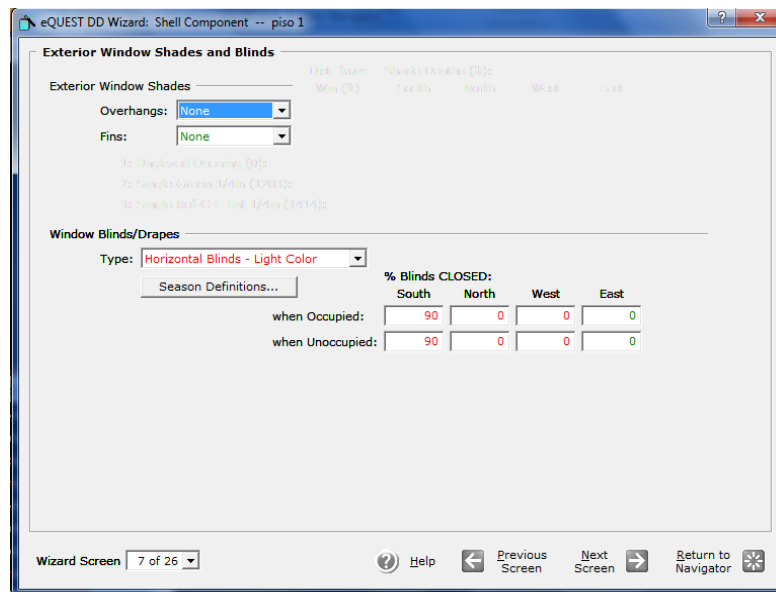


Figura D.1. Porcentaje de persianas situadas en la fachada.

Al finalizar el proceso de modelado, se obtuvo el modelo mostrado en la Figura 6, el cual se observa la vista en tres dimensiones que ofrece eQUEST.

ANEXO E. OCUPACIÓN EN EL EDIFICIO DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES

A continuación se presenta el proceso de recopilación para el ingreso de los datos de ocupación en el EEEIE. En la Figura E.1 se aprecian los datos ingresados en el software para el piso 1.

Activity Areas Allocation		Design	Design	Assign First To...	Zone(s):	
Area Type	Percent Area (%)	Max Occup (sf/person)	Ventilation (CFM/per)		Cor	Per
1: Corridor	20.4	100	15.00		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2: Classroom/Lecture	28.6	20	7.60		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3: Corridor	13.9	99	15.00		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4: Storage (Unconditioned)	5.4	125	50.00		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5: Office (General)	23.0	45	15.00		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6: Conference Room	6.5	20	7.46		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7: Dining Area	2.2	15	7.46		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8: - select another -						
Percent Area Sum:		100.0	404	0.294	<input checked="" type="checkbox"/> Show Zone Group Screen	

Figura E.1. Máxima Ocupación, porcentaje de zonas en piso 1.

Los datos en la casilla *Design Ventilation [CFM/person]*, fueron llenados de forma predeterminada por eQUEST con la norma ASHRAE 90.1.

Con respecto a la ocupación en la edificación se recopiló la información de ocupación hora a hora en cada salón y oficina, en la Tabla E.1 a la Tabla E.4 se muestran la ocupación hora a hora en el cada piso en el transcurso de una semana en temporada de clases.

Tabla E.1. Ocupación semanal en piso 1.

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
6-7	64	64	118	103	0	0
7-8	139	64	193	103	103	75
8-9	75	157	193	39	103	193
9-10	36	103	100	39	103	193
10-11	103	157	39	193	64	193
11-12	103	193	103	193	64	193
12-13	103	193	157	157	39	75
13-14	103	157	93	157	39	75
14-15	100	90	36	90	139	75
15-16	100	90	36	90	75	75
16-17	103	36	0	54	129	75
17-18	103	36	0	54	129	75
18-19	157	157	154	103	193	75
19-20	157	157	154	103	193	75
20-21	0	0	0	0	75	0
21-22	0	0	0	0	39	0

Tabla E.2. Ocupación semanal en piso 2.

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
6-7	35	35	35	35	74	74
7-8	74	74	74	74	74	74
8-9	74	74	113	113	74	74
9-10	74	74	113	74	74	74
10-11	74	74	113	74	113	74
11-12	74	113	113	113	74	74
12-13	74	78	39	78	74	74
13-14	39	39	39	39	74	74
14-15	35	35	74	35	74	74
15-16	35	35	74	35	74	74
16-17	39	39	113	39	74	74
17-18	78	39	117	78	74	74
18-19	152	113	152	113	74	74
19-20	152	113	152	113	74	74
20-21	39	39	39	0	35	0
21-22	0	0	0	0	0	0

Tabla E.3. Ocupación semanal en piso 3.

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
6-7	112	151	230	156	76	0
7-8	223	297	226	258	120	0
8-9	222	297	297	253	261	262
9-10	111	297	262	253	217	262
10-11	39	218	297	297	217	225
11-12	39	253	214	297	178	225
12-13	195	107	151	119	230	186
13-14	195	75	151	119	191	186
14-15	177	226	111	150	258	186
15-16	177	265	146	150	258	186
16-17	120	115	187	150	297	186
17-18	120	118	120	118	297	186
18-19	195	158	117	198	265	186
19-20	156	156	156	235	265	186
20-21	0	117	112	81	221	39
21-22	0	0	0	44	0	0

Tabla E.4. Ocupación semanal en piso 4.

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
6-7	40	40	40	0	32	40
7-8	40	72	72	32	32	40
8-9	0	32	72	32	0	72
9-10	0	72	72	72	0	72
10-11	40	72	72	32	0	72
11-12	40	0	40	0	0	72
12-13	0	0	0	40	0	40
13-14	0	0	0	0	0	40
14-15	0	0	0	0	40	40
15-16	0	0	0	0	40	40
16-17	40	40	40	40	40	40
17-18	40	40	40	40	40	40
18-19	72	72	72	40	72	40
19-20	72	72	72	40	72	40
20-21	0	32	32	0	72	0
21-22	0	0	0	0	32	0

Para el piso 5 no se suministró exactamente la ocupación semanal en los salones; sin embargo, según la secretaría de la escuela de la edificación se estima que la

ocupación es del 70% para el piso 3, ya que el uso del piso 5 se destinó a estudiantes de primer nivel.

Para los datos de la cantidad máxima de personas en el piso 1 se ingresó el área de cada zona y se dividió en el número de personas que en promedio ocupan el lugar.

En la Tabla E.5 a la Tabla E.10 se muestran los datos de ocupación máxima en cada zona de la edificación.

Tabla E.5. Ocupación máxima en el sótano.

Zona	Ocupación máxima [ft ² /persona]
Subestación	228.35
Escaleras sótano	36.52
Laboratorios	53.78
Baño sótano	51.22
Bodega	190.58

Tabla E.6. Datos de ocupación máxima en piso 1.

Zona	Ocupación Máxima [ft ² /persona]
Salón excelencia	28.39
ACEEI	27.73
Salón Fundadores	23.78
Escaleras 1	59.25
Salón emprendedores	21.58
Profesores cátedra	24.52
Sala de reuniones	11.33
Baños, Corredores	264.72
Sala de computo 11	32.21
Sala de computo 12	40.22
Escaleras sótano	38.88
Baño auditorio hombres	68.42

Zona	Ocupación Máxima [ft ² /persona]
Baño auditorio mujeres	40.16
Lobby	79.24
Escaleras auditorio	15.15
Información	37.82
Auditorio	19.10
Cafetería	64.17

Tabla E.7. Datos de ocupación máxima en piso 2.

Zona	Ocupación máxima [ft ² /persona]
Aula 201	23.84
Aula 202	18.03
Aula 204	18.10
Aula 205	18.61
Aula 206	20.37
Oficinas de profesores	46.56
Sala de reuniones 21	19.51
Sala de reuniones 22	20.75
Sala de reuniones 23	21.62
Oficina C1	52.32
Oficina C2	47.67
Oficina C3	47.67
Oficina C4	47.67
Oficina C5	47.67
Oficina C6	47.67
Oficina C7	47.67
Oficina C8	47.67
Oficina C9	46.65
Oficina C10	46.65
Oficina C11	46.65
Oficina C12	46.65
Oficina C13	30.12
Oficina C14	48.04
Oficina C15	40.26
Oficina C16	40.26
Oficina C17	40.26

Zona	Ocupación máxima [ft ² /persona]
Oficina C18	40.26
Oficina C19	48.85
Baños, pasillo profesores	172.04
Bodega	82.09
Cabina de sonido	168.44
Corredor 21	300.26
Corredor 22	53.33
Pasillo 2	30.90
Cafetería	70.05

Tabla E.8. Datos de ocupación máxima en piso 3.

Zona	Ocupación máxima [ft ² /persona]
Aula 301	23.68
Aula 302	18.03
Aula 303	17.17
Aula 304	22.07
Aula 305	20.74
Aula 306	21.90
Aula 307	23.27
Aula 309	16.07
Aula 310	18.11
Aula 311	18.07
Aula 316	26.42
Aula 317	30.05
Corredores 3	421.87
Escaleras 3	32.51
Bodega 3	73.93

Tabla E.9. Datos de ocupación máxima en piso 4.

Zona	Ocupación máxima [ft ² /persona]
Investigaciones	72.14
Aula 401	19.80
Aula 402	19.85
Posgrado 41	19.71
Posgrado 42	21.73
Corredor 41	192.63
Corredor 42	60.71
Maestría	21.41
Posgrado	22.17
Director	62.65
Baños y corredor 4	157.70
Secretaría	75.46
Dirección	78.86
Archivo	93.32
Coordinador asistente	56.04
Cafetería	67.01
Auxiliatura	42.14
Corredor 43	39.59
Coordinador	77.99
Revista	57.37
Escalera 4	32.51

Tabla E.10. Datos de ocupación máxima en piso 5.

Zona	Ocupación máxima [ft ² /persona]
Aula 501	23.68
Aula 502	21.98
Aula 503	21.10
Aula 504	22.07
Aula 505	20.74
Aula 506	20.21
Aula 508	22.11
Aula 509	18.96
Aula 510	15.05

Baños y corredor 5	247.92
Auditorio	36.79
Cafetería	57.37
Escaleras 5	32.51

En eQUEST se clasificaron las zonas de manera general, en la Tabla E.11 a la Tabla E.16 se muestran los valores de ocupación por zona como se ingresaron al software.

Tabla E.11. Datos de ocupación máxima en sótano ingresados a eQUEST.

Zona	Ocupación máxima [ft ² /persona]
Corredores	0.10
Salones	53.78
Baños	51.22
Bodegas condicionada	190.58
Bodegas incondicionada	228.35

Tabla E.12. Datos de ocupación máxima en piso 1 ingresados a eQUEST.

Zona	Ocupación máxima [ft ² /persona]
Corredores	37.76
Salones	25.37
Auditorios	19.10
Baños	124.43
Oficinas privadas	37.82
Oficinas abiertas	24.52
Computador servidor	32.21
Laboratorio de computadores	40.22
Salón de conferencias	11.33
Vestíbulo	79.24
Cafetería	64.17

Tabla E.13. Datos de ocupación máxima en piso 2 ingresados a eQUEST.

Zona	Ocupación máxima [ft ² /persona]
Corredores	128.17
Salones	19.79
Baños	172.04
Bodega incondicionada	125.27
Oficina abierta	45.36
Salón de conferencias	20.63
Cafetería	70.05

Tabla E.14. Datos de ocupación máxima en piso 3 ingresados a eQUEST.

Zona	Ocupación máxima [ft ² /persona]
Corredores	55.15
Salones	21.30
Bodega incondicionada	73.93
Baños	172.04

Tabla E.15. Datos de ocupación máxima en piso 4 ingresados a eQUEST.

Zona	Ocupación máxima [ft ² /persona]
Corredores	81.36
Salones	20.78
Baños	157.70
Oficinas privadas	76.73
Oficinas abiertas	63.94
Salón de conferencias	78.86
Cafetería	67.01

Tabla E.16. Datos de ocupación máxima en piso 5 ingresados a eQUEST.

Zona	Ocupación máxima [ft ² /persona]
Corredores	32.51
Salones	20.66
Auditorio	36.79
Baños	247.92
Cafetería	57.37

ANEXO F. CARGAS POR ILUMINACIÓN PARA EL EEEIE

A continuación se presenta la forma en que se calcularon y se ingresaron los datos de cargas en iluminación para el EEEIE.

Debido a que la iluminación es a menudo uno de los principales componentes de la carga de consumo del espacio, se necesita una estimación precisa de la ganancia de calor que esta impone.

- **Ganancia de calor instantánea debida a la iluminación**

Para el cálculo de la carga térmica por iluminación se tuvo en cuenta la siguiente expresión matemática obtenida del manual de cálculo de cargas térmicas de la ASRHAE.

$$q_s = q_i * F_u * F_s * CLF$$

Dónde:

q_s = Es la carga de enfriamiento sensible en [W]

q_i = Potencia total de la lámpara

F_u = Factor de *q_i* en uso

F_s = Factor de asignación de balastro

CLF = Factor de carga de enfriamiento tabla

Nota: *CLF* = 1. El sistema de enfriamiento es operado solo cuando las luces están encendidas o cuando la iluminación lleva encendida más de 16 horas. Con base

en esta ecuación se realiza el procedimiento para encontrar el valor de la carga producida por iluminación por área de la zona, previamente definidas, con el fin de introducirlas en el software. Se efectuó el cálculo para cada zona designada y se explicó el procedimiento paso a paso.

- **Recopilación de los dispositivos de iluminación**

Para hallar el valor de la potencia total de las lámparas se realizó el respectivo conteo de la luminaria del edificio, los resultados se compararon con los planos eléctricos.

En la edificación se encuentran dos tipos de configuraciones, que vienen en grupos de 4 o 2 lámparas, que suman un total de 52 y 68 [W] respectivamente.

Factor de uso (F_u)

Ahora se definen los factores que acompañan al valor de la potencia. El factor de uso el cual se define como:

$$F_u = \frac{\text{número de lámparas encendidas}}{\text{número total de lámparas}}$$

Para este caso se estima que todas las lámparas se encuentran en constante funcionamiento con base en el seguimiento realizado al edificio, por lo tanto el $F_u = 0.8$.

- **Factor de Balastro (F_s)**

Para definir este factor se utiliza la Tabla F.1 del manual de ASHRAE. Este determina el aumento en la potencia del dispositivo fluorescente al estar acompañado de balastro. El usuario debe poner atención a las especificaciones

del fabricante, debido a que en el mercado se pueden encontrar equipos especiales de balastro los cuales ahorran energía u otros sistemas de luces que generan significativas diferencias en los resultados de este apartado.

Tabla F.1. Factor de asignación de balastro para luces fluorescentes.

Potencia de la lámpara [W]	N° de lámparas por dispositivo	F _s
35	1	1,30
40		
35	2	1,20
40		
60	1	1,30
75		
60	2	1,20
75		
110	1	1,25
110	2	1,07
160	1	1,15
160	2	1,08
185	1	1,08
215		
185	2	1,06
215		

En este caso son dos luces fluorescentes de 52[W se tomó el de 60[W] con dos fluorescentes, y cuando la suma dio la configuración da 68 [w], se escogió el de 75 [w], el cual es el valor más aproximado al real. Para estas condiciones el factor de balastro $F_s = 1.2$. En la Tabla F.2 a la Tabla F.7 se presentan los valores de la densidad de iluminación en cada piso para cada zona.

Tabla F.2. Valores de densidad de iluminación en zonas sótano

Zona	Densidad de iluminación [W/ft ²]
Subestación	0.49
Escaleras sótano	1.70
Laboratorios	0.48
Baño sótano	0.61
Bodega	0.39

Tabla F.3. Valores de densidad de iluminación en zonas piso 1.

Zona	Densidad de Iluminación[W/ft2]
Salón excelencia	0,42
ACEEI	0,46
Salón Fundadores	0,41
Escaleras 1	0,17
Salón emprendedores	0,65
Profesores cátedra	1,14
Sala de reuniones	1,20
Baños, Corredores	0,77
Sala de computo 11	0,51
Sala de computo 12	0,53
Escaleras sótano	1,60
Baño auditorio hombres	0,63
Baño auditorio mujeres	1,07
Lobby	0,89
Escaleras auditorio	N/A
Información	1,71
Auditorio	0,06
Cafetería	0,60

Tabla F.4. Valores de densidad de iluminación en zonas piso 2.

Zona	Densidad de iluminación [W/ft ²]
Aula 201	0.41
Aula 202	0.55
Aula 204	0.55
Aula 205	0.53
Aula 206	0.48
Oficinas de profesores	1.75
Sala de reuniones 21	1.39
Sala de reuniones 22	2.35
Sala de reuniones 23	1.51
Oficina C1	1.04
Oficina C2	1.14
Oficina C3	1.14
Oficina C4	1.14
Oficina C5	1.14
Oficina C6	1.14
Oficina C7	1.14
Oficina C8	1.14
Oficina C9	1.16
Oficina C10	1.16
Oficina C11	1.16
Oficina C12	1.16
Oficina C13	1.80
Oficina C14	1.13
Oficina C15	1.35
Oficina C16	1.35
Oficina C17	1.35
Oficina C18	1.35
Oficina C19	1.11
Baños, pasillo profesores	1.54
Auditorio(hueco)	N/A
Bodega	0.78
Cabina de sonido	0.96
Corredor 21	0.18
Corredor 22	1.04
Pasillo 2	2.09
Cafetería	0.89

Tabla F.5. Valores de densidad de iluminación en zonas piso 3.

Zona	Densidad de iluminación [W/ft ²]
Aula 301	0.42
Aula 302	0.55
Aula 303	0.40
Aula 304	0.36
Aula 305	0.35
Aula 306	0.49
Aula 307	0.37
Aula 309	0.46
Aula 310	0.40
Aula 311	0.47
Aula 316	0.50
Aula 317	0.39
Corredores 3	0.73
Escaleras 3	0.28
Bodega 3	0.43

Tabla F.6. Valores de densidad de iluminación en zonas piso 4.

Zona	Densidad de iluminación [W/ft ²]
Investigaciones	1.13
Aula 401	0.40
Aula 402	0.40
Posgrado 41	0.49
Posgrado 42	0.20
Corredor 41	0.64
Corredor 42	1.34
Maestría	1.03
Posgrado	1.32
Director	0.45
Baños y corredor 4	0.82
Secretaría	1.14
Dirección	0.51
Archivo	1.31
Coordinador asistente	1.45
Cafetería	0.93
Auxiliatura	1.16
Corredor 43	1.78
Coordinador	1.04
Revista	1.08
Escalera 4	0.27

Tabla F.7. Valores de densidad de iluminación en zonas piso 5.

Zona	Densidad de iluminación [W/ft ²]
Aula 501	0.42
Aula 502	0.55
Aula 503	0.48
Aula 504	0.36
Aula 505	0.35
Aula 506	0.49
Aula 508	0.45
Aula 509	0.39

Zona	Densidad de iluminación [W/ft ²]
Aula 510	0.57
Baños y corredor 5	0.85
Auditorio	0.40
Cafetería	0.54
Escaleras 5	0.27

El software eQUEST divide cada zona de forma general, los datos fueron ingresados como se muestra en la Tabla F.8 a la Tabla F.13 presentando los valores de la densidad de iluminación en cada piso para cada zona.

Tabla F.8. Valores de densidad de iluminación en zonas del sótano ingresados a eQUEST.

Zona	Densidad de Iluminación [W/ft ²]
Corredores	1.37
Salones	0.39
Baños	0.49
Bodegas condicionada	0.31
Bodegas incondicionada	0.40

Tabla F.9. Valores de densidad de iluminación en zonas del piso 1 ingresados a eQUEST.

Zona	Densidad de Iluminación [W/ft ²]
Corredores	0.71
Salones	0.48
Auditorios	0.05
Baños	0.66
Oficinas privadas	1.37
Oficinas abiertas	0.91
Computador servidor	0.41
Laboratorio de computadores	0.43
Salón de conferencias	0.96
Vestíbulo	0.72

Cafetería	0.48
-----------	------

Tabla F.10. Valores de densidad de iluminación en zonas del piso 2 ingresados a eQUEST.

Zona	Densidad de Iluminación [W/ft ²]
Corredores	0.89
Salones	0.41
Baños	1.24
Bodega incondicionada	0.70
Oficina abierta	1.00
Salón de conferencias	1.40
Cafetería	0.71

Tabla F.11. Valores de densidad de iluminación en zonas del piso 3 ingresados a eQUEST.

Zona	Densidad de Iluminación [W/ft ²]
Corredores	0.41
Salones	0.35
Bodega incondicionada	0.35
Baños	0.87

Tabla F.12. Valores de densidad de iluminación en zonas del piso 4 ingresados a eQUEST.

Zona	Densidad de Iluminación [W/ft ²]
Corredores	0.81
Salones	0.52
Baños	0.66
Oficinas privadas	0.88
Oficinas abiertas	0.88
Salón de conferencias	0.41
Cafetería	0.74

Tabla F.13. Valores de densidad de iluminación en zonas del piso 5 ingresados a eQUEST.

Zona	Densidad de Iluminación [W/ft ²]
Corredores	0.22
Salones	0.36
Auditorio	0.32
Baños	0.68
Cafetería	0.44

En la Figura F.1 se aprecian los resultados de los cálculos de la densidad de iluminación y cómo se introdujeron en eQUEST. Para esto se ingresan los valores de [W/ft²] dependiendo del área de cada piso analizado, calculándose como se describe anteriormente.

Interior Lighting Loads and Profiles		
Area Type	Percent Area (%)	Lighting (W/SqFt)
1: Corridor	20.4	0.88
2: Classroom/Lecture	28.6	0.40
3: Corridor	13.9	0.50
4: Storage (Unconditioned)	5.4	0.70
5: Office (General)	23.0	0.99
6: Conference Room	6.5	0.90
7: Dining Area	2.2	0.71
Multipliers on above intensities:		1.00

Figura F.1. Carga por iluminación

En la Figura F.2 se observan los perfiles de iluminación ambiente, donde ese perfil indica la cantidad de iluminación natural que incide durante el día, en los espacios del edificio.

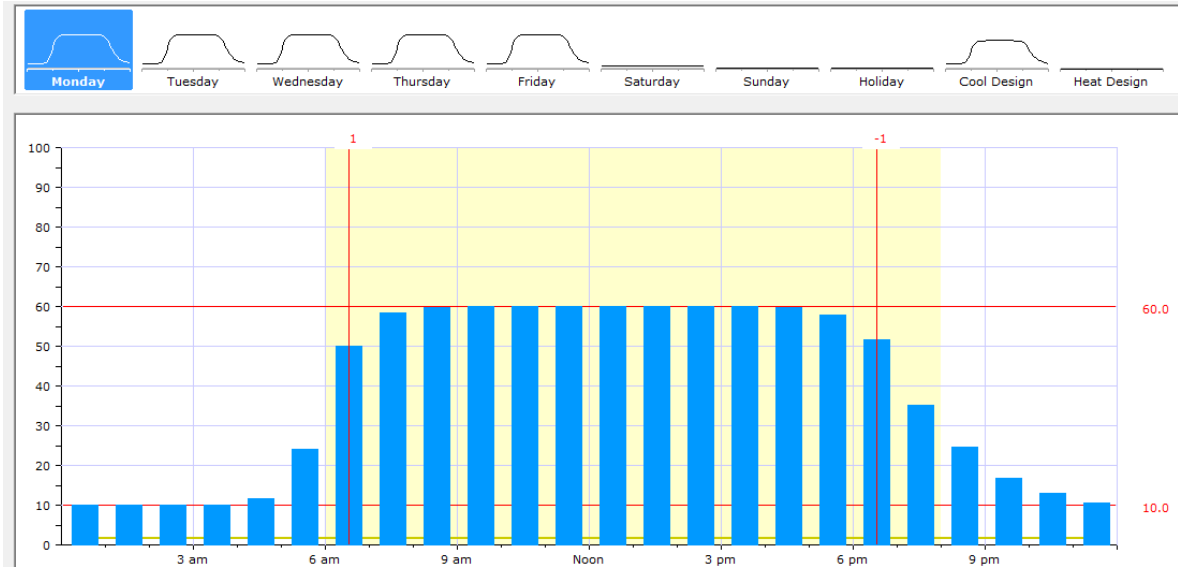


Figura F.2. Perfil de iluminación

El perfil de iluminación trata del porcentaje de luz que brinda el ambiente al edificio en el transcurso del día, se estimó que la edificación está iluminada naturalmente en un sesenta por ciento durante el día.

- **Inventario de sistemas de iluminación**

El EEEIE consta de 3 tipos de lámparas de marca SYLVANIA de consumos 17, 26 y 54 vatios con flujos lumínicos de 1275, 1560 y 4450 lúmenes respectivamente. En la Tabla F.14 a la Tabla F.19 se presenta la cantidad de las diferentes lámparas instaladas en el EEEIE.

Tabla F.14. Inventario de iluminación en sótano.

Zona	Iluminación artificial		
	17 [W]	26 [W]	54 [w]
Subestación	0	0	7
escaleras sótano	0	4	0
Laboratorios	0	0	16
baño sótano	0	2	0
Bodega	0	12	0
Totales	0	18	23

Tabla F.15. Inventario de iluminación en piso 1.

Zona	Iluminación artificial		
	17 [W]	26 [W]	54 [w]
Salón excelencia	0	0	12
Aceii	0	0	12
Salón fundadores	0	0	12
escaleras 1	0	2	0
Salón emprendedores	0	8	8
Profesores cátedra	48	0	0
Sala de reuniones	8	0	0
Baños, corredores	0	66	0
Sala de computo 11	4	0	8
Sala de computo 12	0	0	4
Escaleras sótano	0	4	0
Baño auditorio hombres	0	0	2
Baño auditorio mujeres	0	0	2
Lobby	0	0	11
Escaleras auditorio	0	0	0
Información	0	0	2
Auditorio	0	0	14
Cafetería	0	0	3
Totales	60	80	90

Tabla F.16. Inventario de iluminación en piso 2.

Zona	Iluminación artificial		
	17 [W]	26 [W]	54 [w]
Aula 201	0	0	6
Aula 202	0	0	6
Aula 204	0	0	6
Aula 205	0	0	6
Aula 206	0	0	6
Oficinas de profesores	40	0	0
Sala de reuniones 21	16	0	0
Sala de reuniones 22	24	0	0
Sala de reuniones 23	16	0	0
Oficina c1	8	0	0
Oficina c2	8	0	0
Oficina c3	8	0	0
Oficina c4	8	0	0
Oficina c5	8	0	0
Oficina c6	8	0	0
Oficina c7	8	0	0
Oficina c8	8	0	0
Oficina c9	8	0	0
Oficina c10	8	0	0
Oficina c11	8	0	0
Oficina c12	8	0	0
Oficina c13	8	0	0
Oficina c14	8	0	0
Oficina c15	8	0	0
Oficina c16	8	0	0
Oficina c17	8	0	0
Oficina c18	8	0	0
Oficina c19	8	0	0
Baños, pasillo profesores	0	0	41
Bodega	0	0	2
Cabina de sonido	8	0	0
Corredor 21	0	0	6
Corredor 22	0	0	6
Pasillo 2	0	0	6
Cafetería	0	2	0
Totales	256	2	91

Tabla F.17. Inventario de iluminación en piso 3.

Zona	Iluminación artificial		
	17 [W]	26 [W]	54 [w]
Aula 301	0		6
Aula 302	0	0	6
Aula 303	0	0	4
Aula 304	0	0	4
Aula 305	0	0	4
Aula 306	0	0	6
Aula 307	0	0	6
Aula 309	0	0	4
Aula 310	0	0	4
Aula 311	0	0	4
Aula 316	0	0	8
Aula 317	0	0	8
Corredores 3	0	70	0
Escaleras 3	0	0	1
Bodega 3	0	0	1
Totales	0	70	66

Tabla F.18. Inventario de iluminación en piso 4.

Zona	Iluminación artificial		
	17 [W]	26 [W]	54 [w]
Investigaciones	100	0	0
Aula 401	0	0	4
Aula 402	0	0	4
Posgrado 41	0	0	3
Posgrado 42	0	0	3
Corredor 41	24	12	0
Corredor 42	28	0	0
Maestría	48	0	0
Posgrado	56	0	0
Director	4	0	0
Baños y corredor 4	0	0	0
Secretaría	12	6	0

Dirección	16	0	0
Archivo	12	0	0
Coordinador asistente	8	0	0
Cafetería	0	2	0
Auxiliatura	24	0	0
Corredor 43	12	8	0
Coordinador	16	0	0
Revista	0	4	0
Escalera 4	0	2	0
Totales	360	34	14

Tabla F.19. Inventario de iluminación en piso 5.

Zona	Iluminación artificial		
	17 [W]	26 [W]	54 [w]
Aula 501	0	0	6
Aula 502	0	0	6
Aula 503	0	0	4
Aula 504	0	0	4
Aula 505	0	0	4
Aula 506	0	0	6
Aula 508	0	0	6
Aula 509	0	0	4
Aula 510	0	0	4
Baños y corredor 5	0	68	0
Auditorio	0	0	16
Cafetería	0	2	0
Escaleras 5	0	2	0
Totales	0	72	60

ANEXO G. CARGAS POR EQUIPOS MISCELANEOS

A continuación se describe los cálculos y los datos ingresados para las cargas de equipos misceláneos piso a piso en la edificación.

Para el cálculo de las cargas por equipos misceláneos, en eQUEST se ingresan los datos en unidades de $[w/ft^2]$. El cálculo de la cantidad de equipos con sus datos de potencia se observan la Tabla G.1.

Tabla G.1. Datos de potencia de los equipos situados en el EEEIE.

EQUIPO	[W]
Computador Escritorio	200-400
Computador Portátil	100-200
Video Beam	220
Impresora	370
Escáner	150
Fotocopiadora	900
Cafetera	300
Sonido	100-200
Nevera Comercial	500
Mini Nevera	110
Microondas	230

En la Figura G.1 se observa los datos de carga, éstos dependen del tipo de área y la cantidad de cargas que haya en una zona específica. Según la cantidad de equipos en un lugar, se van sumando progresivamente y al final se divide por los $[ft^2]$ que contiene. El parámetro sensible Ht (Frac) es el factor de utilización de la carga.

Area Type	Percent Area (%)	----- Electric -----	
		Load (W/SqFt)	Sensible Ht (frac)
1: Corridor	20.4	0.00	1.00
2: Classroom/Lecture	28.6	0.55	0.80
3: Corridor	13.9	0.00	1.00
4: Storage (Unconditioned)	5.4	0.29	0.30
5: Office (General)	23.0	0.76	0.80
6: Conference Room	6.5	1.00	0.50
7: Dining Area	2.2	4.28	0.10

Figura G.1. Cargas misceláneas en la interfaz de eQUEST.

En la Tabla G.2 a la Tabla G.7 se muestra la densidad de cargas para cada zona piso a piso en la edificación.

Tabla G.2. Valores de densidad de carga para zonas sótano.

Zona	Consumo [W]	Densidad cargas [W/ft ²]
Subestación	N/A	N/A
Escaleras sótano	N/A	N/A
Laboratorios	200	0.04
Baño sótano	N/A	N/A
Bodega	N/A	N/A

Tabla G.3. Valores de densidad de carga para zonas piso 1.

Zona	Consumo [W]	Densidad de Cargas [W/ft ²]
Salón excelencia	420	0,17
ACEEI	680	0,8
Salón Fundadores	420	0,34
Escaleras 1	N/A	N/A
Salón emprendedores	420	0,27

Profesores cátedra	200	0,06
Sala de reuniones	220	1,61
Baños, Corredores	N/A	N/A
Sala de computo 11	7420	3,29
Sala de computo 12	1820	2,11
Escaleras sótano	N/A	N/A
Baño auditorio hombres	N/A	N/A
Baño auditorio mujeres	N/A	N/A
Lobby	N/A	N/A
Escaleras auditorio	N/A	N/A
Información	N/A	N/A
Auditorio	420	0,16
Cafetería	1030	1,86

Tabla G.4. Valores de densidad de carga para zonas piso 2.

Zona	Consumo [W]	Densidad cargas [W/ft ²]
Aula 201	420	0.34
Aula 202	420	0.45
Aula 204	420	0.45
Aula 205	420	0.44
Aula 206	420	0.40
Oficinas de profesores	500	0.32
Sala de reuniones 21	220	0.93
Sala de reuniones 22	220	1.05
Sala de reuniones 23	220	1.01
Oficina C1	100	0.19
Oficina C2	100	0.20
Oficina C3	100	0.20
Oficina C4	100	0.20
Oficina C5	100	0.20
Oficina C6	100	0.20
Oficina C7	100	0.20
Oficina C8	100	0.20
Oficina C9	100	0.21

Oficina C10	100	0.21
Oficina C11	100	0.21
Oficina C12	100	0.21
Oficina C13	100	0.33
Oficina C14	100	0.20
Oficina C15	100	0.24
Oficina C16	100	0.24
Oficina C17	100	0.24
Oficina C18	100	0.24
Oficina C19	100	0.20
Baños, pasillo profesores	N/A	N/A
Auditorio(hueco)	N/A	N/A
Bodega	N/A	N/A
Cabina de sonido	100	0.08
Corredor 21	N/A	N/A
Corredor 22	N/A	N/A
Pasillo 2	N/A	N/A
Cafetería	300	0.71

Tabla G.5. Valores de densidad de carga para zonas piso 3.

Zona	Consumo [W]	Densidad cargas [W/ft²]
Aula 301	420	0.34
Aula 302	420	0.45
Aula 303	420	0.50
Aula 304	420	0.45
Aula 305	420	0.44
Aula 306	420	0.40
Aula 307	420	0.31
Aula 309	420	0.56
Aula 310	420	0.50
Aula 311	420	0.59
Aula316	420	0.31
Aula 317	420	0.24
Corredores 3	N/A	N/A
Escaleras 3	N/A	N/A
Bodega 3	N/A	N/A

Tabla G.6. Valores de densidad de carga para zonas piso 4.

Zona	Consumo [W]	Densidad cargas [W/ft ²]
Investigaciones	6590	1.94
Aula 401	420	0.50
Aula 402	420	0.50
Posgrado 41	420	0.81
Posgrado 42	420	0.33
Corredor 41	N/A	N/A
Corredor 42	N/A	N/A
Maestría	420	0.33
Posgrado	2274	1.47
Director	537	1.34
Baños y corredor 4	N/A	N/A
Secretaría	537	0.89
Dirección	220	0.34
Archivo	100	0.16
Coordinador asistente	200	0.89
Cafetería	300	0.74
Auxiliatura	1000	1.18
Corredor 43	N/A	N/A
Coordinador	400	0.64
Revista	200	0.87
Escalera 4	N/A	N/A

Tabla G.7. Valores de densidad de carga para zonas piso 5.

Zona	Consumo [W]	Densidad cargas [W/ft ²]
Aula 501	420	0.34
Aula 502	420	0.45
Aula 503	420	0.47
Aula 504	420	0.43
Aula 505	420	0.44
Aula 506	420	0.40
Aula 508	420	0.37
Aula 509	420	0.48
Aula 510	420	0.70

Baños y corredor 5	N/A	N/A
Auditorio	220	0.08
Cafetería	300	0.43
Escaleras 5	N/A	N/A

El software eQUEST divide cada zona de forma general, los datos fueron ingresados como se muestra en la Tabla G.8 a la Tabla G.13 presentando los valores de la densidad de carga en cada piso para cada zona.

Tabla G.8. Valores de densidad de carga para zonas del sótano ingresados a eQUEST.

Zona	Densidad de Carga [W/ft ²]
Corredores	N/A
Salones	0.09
Baños	N/A
Bodegas condicionada	N/A
Bodegas incondicionada	N/A

Tabla G.9. Valores de densidad de carga para zonas del piso 1 ingresados a eQUEST.

Zona	Densidad de Carga [W/ft ²]
Corredores	N/A
Salones	0.36
Auditorios	0.22
Baños	N/A
Oficinas privadas	N/A
Oficinas abiertas	0.23
Computador servidor	6.4
Laboratorio de computadores	3.77
Salón de conferencias	1.61
Vestíbulo	N/A
Cafetería	3.21

Tabla G.10. Valores de densidad de carga para zonas del piso 2 ingresados a eQUEST.

Zona	Densidad de Carga [W/ft²]
Corredores	N/A
Salones	0.55
Baños	N/A
Bodega incondicionada	0.29
Oficina abierta	0.76
Salón de conferencias	1
Cafetería	4.28

Tabla G.11. Valores de densidad de carga para zonas del piso 3 ingresados a eQUEST.

Zona	Densidad de Carga [W/ft²]
Corredores	N/A
Salones	0.56
Bodega incondicionada	N/A
Baños	N/A

Tabla G.12. Valores de densidad de carga para zonas del piso 4 ingresados a eQUEST.

Zona	Densidad de Carga [W/ft²]
Corredores	N/A
Salones	0.98
Baños	N/A
Oficinas privadas	1.35
Oficinas abiertas	2.03
Salón de conferencias	0.34
Cafetería	4.47

Tabla G.13. Valores de densidad de carga para zonas del piso 5 ingresados a eQUEST.

Zona	Densidad de Carga [W/ft²]
Corredores	N/A
Salones	0.6
Auditorio	0.085
Baños	N/A
Cafetería	2.61

En la Figura G.2 se observa el perfil de cargas misceláneas, se asumió en el perfil que el máximo valor de funcionamiento de la cantidad de los equipos previamente inspeccionados, es el 60% de éstos durante el día que son las horas de actividad usual. Se aclara que no se conoce con exactitud el comportamiento del uso de las cargas misceláneas en el transcurso de un día. Con el porcentaje propuesto el modelo tomó la aproximación más cercana al modelo real.

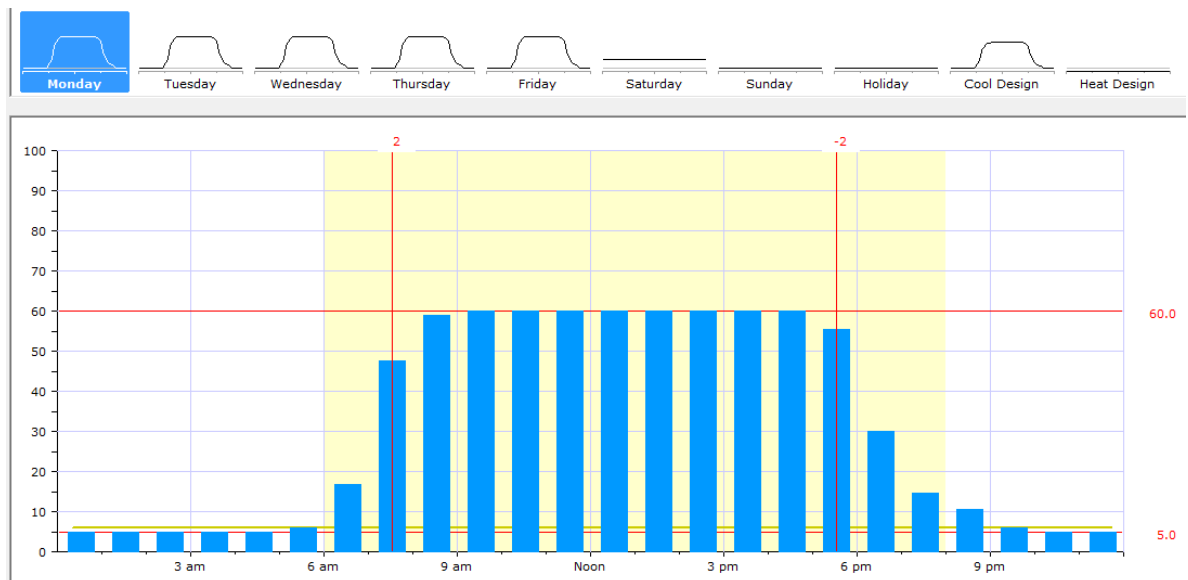


Figura G.2. Perfil de cargas misceláneas.

- **Inventario de cargas misceláneas**

En la Tabla G.14 a la Tabla G.19 se presenta el inventario de equipos de potencia instalados en el EEEIE clasificados por zonas en cada piso de la edificación.

Tabla G.14. Inventario de cargas misceláneas en sótano

Zona	Cargas misceláneas
Subestación	N/A
Escaleras sótano	N/A
Laboratorios	1 computador
Baño sótano	N/A
Bodega	N/A

Tabla G.15. Inventario de cargas misceláneas en el piso 1.

Zona	Cargas misceláneas
Salón excelencia	1 computador, 1 videobeam
Aceii	1 computador, 1 mini-nevera, 1 impresora
Salón fundadores	1 computador, 1 videobeam
Escaleras 1	N/A
Salón emprendedores	1 computador, 1 videobeam
Profesores cátedra	2 portatiles
Sala de reuniones	1 videobeam
Baños, corredores	N/A
Sala de computo 11	36 computadores, 1 videobeam
Sala de computo 12	8 computadores, 1 videobeam
Escaleras sótano	N/A
Baño auditorio hombres	N/A
Baño auditorio mujeres	N/A
Lobby	N/A
Escaleras auditorio	N/A
Información	N/A
Auditorio	1 computador, 1 videobeam
Cafetería	1 nevera comercial, 1 cafetera, 1 microondas

Tabla G.16. Inventario de cargas misceláneas en el piso 2.

Zona	Cargas misceláneas
Aula 201	1 computador, 1 videobeam
Aula 202	1 computador, 1 videobeam
Aula 204	1 computador, 1 videobeam
Aula 205	1 computador, 1 videobeam

Aula 206	1 computador, 1 videobeam
Oficinas de profesores	5 portátiles
Sala de reuniones 21	1 videobeam
Sala de reuniones 22	1 videobeam
Sala de reuniones 23	31videobeam
Oficina c1	1 portátil
Oficina c2	1 portátil
Oficina c3	1 portátil
Oficina c4	1 portátil
Oficina c5	1 portátil
Oficina c6	1 portátil
Oficina c7	1 portátil
Oficina c8	1 portátil
Oficina c9	1 portátil
Oficina c10	1 portátil
Oficina c11	1 portátil
Oficina c12	1 portátil
Oficina c13	1 portátil
Oficina c14	1 portátil
Oficina c15	1 portátil
Oficina c16	1 portátil
Oficina c17	1 portátil
Oficina c18	1 portátil
Oficina c19	1 portátil
baños, pasillo profesores	N/A
Bodega	N/A
cabina de sonido	1 sonido
corredor 21	N/A
corredor 22	N/A
pasillo 2	N/A
Cafetería	1 cafetera

Tabla G.17. Inventario de cargas misceláneas en el piso 3.

Zona	Cargas misceláneas
Aula 301	1 computador, 1 videobeam
Aula 302	1 computador, 1 videobeam

Aula 303	1 computador, 1 videobeam
Aula 304	1 computador, 1 videobeam
Aula 305	1 computador, 1 videobeam
Aula 306	1 computador, 1 videobeam
Aula 307	1 computador, 1 videobeam
Aula 309	1 computador, 1 videobeam
Aula 310	1 computador, 1 videobeam
Aula 311	1 computador, 1 videobeam
Aula 316	1 computador, 1 videobeam
Aula 317	1 computador, 1 videobeam
Corredores 3	N/A
Escaleras 3	N/A
Bodega 3	N/A

Tabla G.18. Inventario de cargas misceláneas en el piso 4.

Zona	Cargas misceláneas
Investigaciones	31 computadores, 2 impresoras, 1 escáner
Aula 401	1 computador, 1 videobeam
Aula 402	1 computador, 1 videobeam
Posgrado 41	1 computador, 1 videobeam
Posgrado 42	1 computador, 1 videobeam
Corredor 41	N/A
Corredor 42	N/A
Maestría	1 computador, 1 videobeam
Posgrado	10 computadores, 1 escáner, 1 impresora
Director	2 computadores, 1 impresora
Baños y corredor 4	N/A
Secretaría	2 computadores, 1 impresora
Dirección	1 videobeam
Archivo	1 portátil
Coordinador asistente	1 computador
Cafetería	1 cafetera
Auxiliatura	5 computadores
Corredor 43	N/A

Coordinador	2 computadores
Revista	1 computador
Escalera 4	N/A

Tabla G.19. Inventario de cargas misceláneas en el piso 5.

Zona	Cargas misceláneas
Aula 501	1 computador, 1 videobeam
Aula 502	1 computador, 1 videobeam
Aula 503	1 computador, 1 videobeam
Aula 504	1 computador, 1 videobeam
Aula 505	1 computador, 1 videobeam
Aula 506	1 computador, 1 videobeam
Aula 508	1 computador, 1 videobeam
Aula 509	1 computador, 1 videobeam
Aula 510	1 computador, 1 videobeam
Baños y corredor 5	N/A
Auditorio	1 videobeam
Cafetería	1 cafetera
Escaleras 5	N/A

ANEXO H. CREACIÓN DE LOS SISTEMAS HVAC

En esta etapa se crearon y definieron los sistemas de aire acondicionado en las zonas del edificio, se aplicaron las características requeridas del EEEIE y se asignaron los horarios de funcionamiento de los sistemas.

- **Inventario sistemas de climatización artificial**

A continuación se presenta las cantidades totales de cada tipo de las unidades evaporadoras de los aires acondicionado en cada sistema HVAC de la edificación.

- El sistema SRV-01 consta de 41 unidades interiores de tipo cassette de 4 vías, cassette de 1 vía, cassette de 2 vías; que se ajustan dependiendo el área de la zona.
- El sistema SRV-02 consta de 33 unidades interiores de tipo cassette de 4 vías, cassette de 1 vía, cassette de 2 vías y de ducto oculto; que se ajustan dependiendo el área de la zona.
- El sistema SRV-03 consta de 19 unidades interiores de tipo cassette de 4 vías, cassette de 1 vía y de ducto oculto; que se ajustan dependiendo el área de la zona.
- El sistema SRV-04 consta de 23 unidades interiores de tipo cassette de 4 vías; que se ajustan dependiendo el área de la zona.
- El sistema SRV-05 consta de 20 unidades interiores de tipo cassette de 4 vías y de ducto oculto; que se ajustan dependiendo el área de la zona.

En la Figura H.10 a la Figura H.13 se muestra los 4 tipos de unidades interiores que conforman los sistemas del aire acondicionado.



Figura H.10. Cassette 1 vía



Figura H.11. Cassette 2 vías



Figura H.12. Cassette 4 vías



Figura H.13. Ducto oculto

En la Tabla H.1 a la Tabla H.6 se presenta el inventario de equipos de aires acondicionados por piso en la edificación.

Tabla H.1. Inventario de equipos de climatización artificial en sótano.

Zona	Climatización artificial			
	Cassette 1 vía	Cassette 2 vías	Cassette 4 vías	Ducto
Subestación	0	0	0	0
Escaleras sótano	0	0	0	0
Laboratorios	0	0	3	0
Baño sótano	0	0	0	0
Bodega	0	0	0	0
Totales	0	0	3	0

Tabla H.2. Inventario de equipos de climatización artificial en piso 1.

Zona	Climatización artificial			
	Cassette 1 vía	Cassette 2 vías	Cassette 4 vías	Ducto
Salón excelencia	0	0	0	2
ACEII	0	0	3	0
Salón fundadores	0	0	2	0
Escaleras 1	0	0	0	0
Salón emprendedores	0	0	0	2
Profesores cátedra	0	0	2	0
Sala de reuniones	1	0	0	0

Baños, corredores	0	0	0	0
Sala de computo 11	1	0	2	0
Sala de computo 12	0	0	1	0
Escaleras sótano	0	0	0	0
Baño auditorio hombres	0	0	0	0
Baño auditorio mujeres	0	0	0	0
Lobby	0	0	0	0
Escaleras auditorio	0	0	0	0
Información	0	0	0	0
Auditorio	0	0	0	0
Cafetería	0	0	0	0
Totales	2	0	10	4

Tabla H.3. Inventario de equipos de climatización artificial en piso 2.

Zona	Climatización artificial			
	Cassette 1 vía	Cassette 2 vías	Cassette 4 vías	Ducto
Aula 201	0	0	2	0
Aula 202	0	0	2	0
Aula 204	0	0	2	0
Aula 205	0	0	2	0
Aula 206	0	0	2	0
Oficinas de profesores	4	0	0	0
Sala de reuniones 21	0	1	0	0
Sala de reuniones 22	1	0	0	0
Sala de reuniones 23	1	0	0	0
Oficina c1	1	0	0	0
Oficina c2	1	0	0	0
Oficina c3	1	0	0	0
Oficina c4	1	0	0	0
Oficina c5	1	0	0	0
Oficina c6	1	0	0	0
Oficina c7	1	0	0	0
Oficina c8	1	0	0	0
Oficina c9	1	0	0	0
Oficina c10	1	0	0	0
Oficina c11	1	0	0	0
Oficina c12	1	0	0	0
Oficina c13	1	0	0	0
Oficina c14	1	0	0	0

Oficina c15	1	0	0	0
Oficina c16	1	0	0	0
Oficina c17	1	0	0	0
Oficina c18	1	0	0	0
Oficina c19	1	0	0	0
Baños, pasillo profesores	0	3	3	0
Bodega	1	0	0	0
Cabina de sonido	0	0	0	0
Corredor 21	0	0	0	0
Corredor 22	0	0	0	0
Pasillo 2	0	0	0	0
Cafetería	0	0	0	0
Totales	26	4	13	0

Tabla H.4. Inventario de equipos de climatización artificial en piso 3.

Zona	Climatización artificial			
	Cassette 1 vía	Cassette 2 vías	Cassette 4 vías	Ducto
Aula 301	0	0	2	0
Aula 302	0	0	2	0
Aula 303	0	0	2	0
Aula 304	0	0	2	0
Aula 305	0	0	2	0
Aula 306	0	0	2	0
Aula 307	0	0	2	0
Aula 309	0	0	2	0
Aula 310	0	0	2	0
Aula 311	0	0	2	0
Aula 316	0	0	0	2
Aula 317	0	0	0	2
Corredores 3	0	0	0	0
Escaleras 3	0	0	0	0
Bodega 3	0	0	0	0
Totales	0	0	20	4

Tabla H.5. Inventario de equipos de climatización artificial en piso 4.

Zona	Climatización artificial			
	Cassette 1 vía	Cassette 2 vías	Cassette 4 vías	Ducto
Investigaciones	0	0	6	0
Aula 401	0	0	2	0
Aula 402	0	0	2	0
Posgrado 41	1	0	0	0
Posgrado 42	1	0	0	0
Corredor 41	0	0	0	0
Corredor 42	0	0	0	0
Maestría	0	0	2	0
Posgrado	0	0	2	0
Director	2	0	0	0
Baños y corredor 4	0	0	0	0
Secretaría	2	0	0	0
Dirección	0	0	2	0
Archivo	0	0	0	0
Coordinador asistente	1	0	0	0
Cafetería	0	0	0	0
Auxiliatura	0	0	1	0
Corredor 43	0	0	0	0
Coordinador	2	0	0	0
Revista	0	0	1	0
Escalera 4	0	0	0	0
Totales	9	0	18	0

Tabla H.6. Inventario de equipos de climatización artificial en piso 5.

Zona	Climatización artificial			
	Cassette 1 vía	Cassette 2 vías	Cassette 4 vías	Ducto
Aula 501	0	0	2	0
Aula 502	0	0	2	0
Aula 503	0	0	2	0
Aula 504	0	0	2	0
Aula 505	0	0	2	0
Aula 506	0	0	2	0
Aula 508	0	0	2	0
Aula 509	0	0	2	0

Aula 510	0	0	2	0
Baños y corredor 5	0	0	0	0
Auditorio	0	0	0	4
Cafetería	0	0	0	0
Escaleras 5	0	0	0	0
Totales	0	0	18	4

ANEXO I. ESTRATEGIAS URE EN ILUMINACIÓN Y CLIMATIZACIÓN SIMULADAS EN LA HERRAMIENTA eQUEST

A continuación se describen las estrategias pasivas y activas que se simularon en el software eQUEST.

- **Vidrios de protección solar**

Es recomendable que para climas cálidos como la ciudad de Bucaramanga se instale el vidriado en las fachadas norte y sur del edificio, de esta forma se reduce la luz solar directa. En consecuencia, se aconseja que los espacios de circulación de personas se ubiquen en la orientación este-oeste [14].

Los valores que afectan en la selección eficiente de la ventanearía son: el coeficiente global de transferencia de calor U y el factor de ganancia de calor solar SHGC, entre más bajos sean estos valores, menor será el flujo de calor admitido [30], [18]. El Reglamento Técnico de Construcción Sostenible de Agua y Energía, recomiendan tener valores por debajo de 0,4 para el SHGC, debido a que tiene un ahorro de energía entre el 4% y el 9%, dependiendo del clima y la forma arquitectónica del edificio [14].

- **Aislamiento de paredes**

Existen diferentes tipos de materiales aislantes, tales como la fibra de vidrio, el poliestireno extruido, y el poliuretano; encargados de aumentar la transmitancia térmica de los cerramientos de un espacio. Un buen aislante permite reducir hasta un 30% de energía eléctrica [19]. Por tal motivo, es importante que las nuevas

edificaciones cumplan con los mínimos requisitos de eficiencia energética, al igual que con la implementación de estos aislantes en estructuras ya construidas [14]. En la Figura I.1 se observa la implementación del aislante térmico en una superficie ya construida.



Figura I.1. Aislante térmico en muros edificados. Tomado de [31].

- **Mejoramiento de las condiciones de ventilación natural del edificio y de los espacios bajo cubierta**

Una adecuada ventilación al interior del edificio ayuda a reducir el consumo de energía por sistemas de aire acondicionado. Consiste en diseñar aberturas estratégicamente posicionadas, permitiendo la entrada y salida del aire en los espacios interiores de los edificios. Se debe considerar particularmente la dirección de los vientos dominantes implicando una mayor eficiencia en el confort térmico de las personas [18], [32]. Asimismo, es necesario tener conocimiento de las condiciones climáticas del lugar, teniendo en cuenta la orientación, las dimensiones de la estructura y ubicación de las aberturas [14].

En la Figura I.2 se ilustra un edificio con obstrucciones opuestas

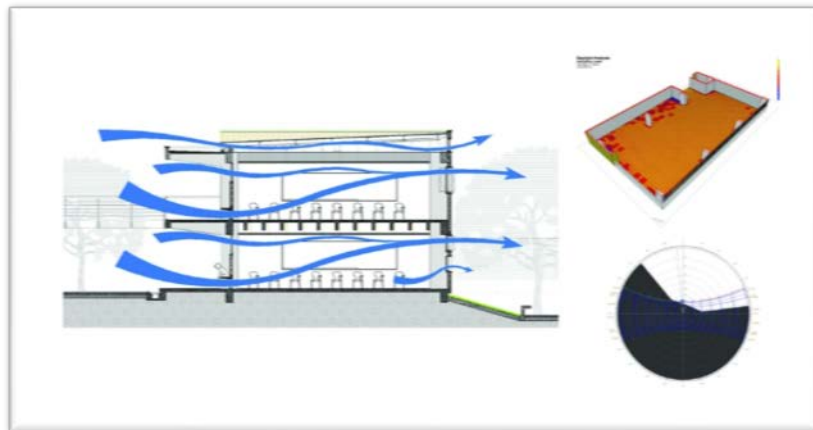


Figura I.2. Edificio con aberturas opuestas. Tomado de [32].

- **Elementos para bloquear la radiación solar**

Este aspecto resalta los componentes efectivos para bloquear la incidencia directa del sol en una edificación; comúnmente se conoce como elementos de sombreado de tipo horizontal, vertical, o combinados, los cuales proveen un ahorro significativo de energía. Cuando los sombreados combinados se implementan en un clima cálido húmedo, la disminución del consumo de energía varía entre el 11% y 17% de acuerdo con el tipo de estructura [15].

La Figura I.3 se describe el desempeño de un elemento de sombreado respecto al diagrama solar.

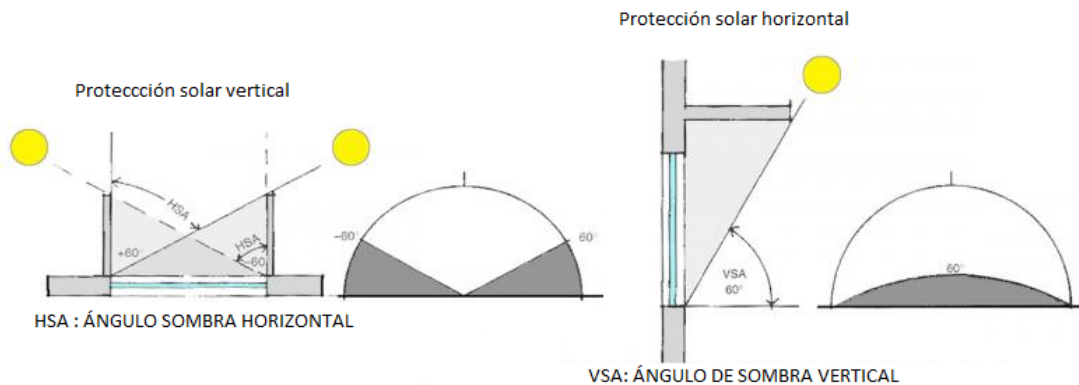


Figura I.3. Elementos de sombreado respecto al diagrama solar [15]

- **Cortasoles**

Estos diseños en construcciones ahorran energía; igualmente permiten el ingreso de luz natural, evitando acumular calor; lo cual brinda confort y visibilidad a las personas dentro de la estructura. Esta aplicación proporciona un ahorro en el consumo por equipos de aire acondicionado.

De acuerdo con la norma ASHRAE, la implementación de cortasoles mejora el rendimiento de construcciones hasta en un 48%, aumentando la productividad laboral y el rendimiento académico; además de minimizar los índices de ausentismo [20].

La efectividad de los cortasoles horizontales se determina de acuerdo con el espacio entre hoja y hoja, el descenso de la parte superior o inferior, inclinación de las hojas, y otros aspectos como la orientación de la edificación. Debido a los cambios de estas variables y la incidencia de la radiación solar, es impredecible mantener un control total del sombreado [33], [14].

La Figura I.4 se ilustra la implementación de cortasoles en el Edificio de Ingeniería Eléctrica.



Figura I.4. Implementación de cortasoles. Tomada de [34]

- **Aletas y voladizos**

Son salientes verticales y horizontales como se observa en la Figura I.5. Éstos pueden ser de diferentes materiales como el concreto, policarbonato, que sirven para controlar la temperatura de una edificación, además de ayudar a mantener bajos costos de energía. Existen variables que afectan en los cálculos del voladizo como la longitud, inclinación, asimismo, el ángulo del sol y la orientación de la estructura [35].

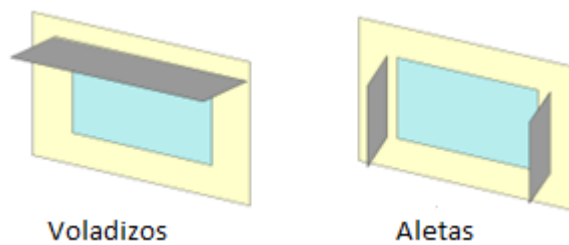


Figura I.5. Ilustración de Aletas y voladizos. Tomado de [21].

- **Cortinas y persianas**

El uso eficiente de esta estrategia, ayuda a economizar un hasta un 10% del consumo energético por equipos de refrigeración. Se recomiendan materiales para las cortinas claros en climas trópicos, y persianas con materiales aislantes; así como de tipo enrollable para ser recogidas en intervalos durante el día en que no incide el sol [22].

- **Tubos solares**

Es un sistema de iluminación natural que transporta la luz exterior hacia el interior de una estructura. Existen varios tipos de configuraciones en forma de domo, pirámide, con el propósito de aprovechar la radiación solar, permitiendo utilizar un sistema de reflexión interna, transmitiéndola al interior para ayudar a ahorrar energía que se consume por iluminación artificial. Es importante la escogencia de

éstos ya que si no están correctamente aislados térmicamente pueden incrementar el consumo de energía por aires acondicionados [23].

En la Figura I.6 se observa la implementación de tubos solares en el Edificio de Ingeniería Eléctrica.



Figura I.6. Implementación de tubos solares. Tomado de [36].

- **Iluminación eficiente de bajo consumo**

Entre las lámparas más eficientes se encuentran las fluorescentes compactas (CFL), que permiten ahorrar energía entre un 5% y 25%. A su vez, las lámparas T5 y T8 son las más usadas en edificaciones por su potencial para ayudar a disminuir el uso de energía en más del 65% con respecto a las lámparas incandescentes. Finalmente, las lámparas LED se categorizan entre las más amigables con el medio ambiente, al no contener mercurio y minimizar la contaminación lumínica [24].

Adicionalmente, al cambiar las luminarias incandescentes o fluorescentes por lámparas LED, se contribuye a reducir desde un 50% a un 90% el gasto de

energía por iluminación, puesto que están diseñadas para funcionar con voltajes y corrientes muy bajas con respecto a las lámparas tradicionales [37].

En la Figura I.7 se muestra la implementación de lámparas LED en configuración similar a los balastros fluorescentes comúnmente utilizados en edificaciones



Figura I.7. Aplicación de lámpara LED. Tomado de [38].

- **Economizadores de aire acondicionado**

La implementación de este equipo en los sistemas de aire acondicionado, permite aprovechar las temperaturas frías del entorno para ofrecer ciclos de aire al interior de recintos que ayuden a reducir el funcionamiento de las bombas y compresores del sistema acondicionado. El uso de éstos reduce el consumo energético en un 50 %, dependiendo de las condiciones de temperatura y humedad del lugar [25].

Se dice que el 75% de las unidades de aire acondicionado ubicadas en los techos, conducen a un mal funcionamiento del economizador, originando consumos de energía incluso más altos de los que se obtendría si no se tuviera instalado; un ejemplo de estos, ocurre cuando el aire exterior con altas temperaturas es llevado de forma errónea, causando un gasto de energía mayor para ser refrigerado. En

algunos casos la energía que se pierde es 10 veces mayor al ahorro energético [39].

- **Variación del termostato del sistema HVAC**

Es un término general utilizado para definir la eficiencia de enfriamiento de los sistemas de aire acondicionado, se calcula como la relación entre la capacidad de refrigeración de un acondicionador de aire (E_c) en unidades térmicas británicas (BTU) por hora, a la entrada eléctrica total P_a en vatios, bajo su condición de uso [26].

La expresión (2) muestra la relación del índice de eficiencia donde se relaciona la cantidad de potencia que consume un equipo en una hora [40].

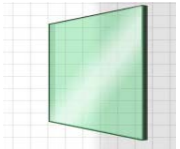



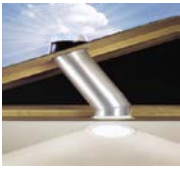



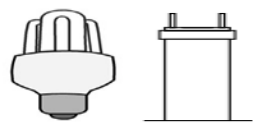
$$IEE = E_c / P_a \quad (2)$$

Las calificaciones de climatización IEE superiores a 10 se consideran más rentables. Cuanto mayor sea la relación, menor es el costo de operar.

- **Soluciones comerciales**

En la tabla I.1 se presentan las alternativas comerciales para la implementación de las estrategias de uso racional de energía aplicadas en el EEEIE.

Tabla I.1. Soluciones comerciales de las estrategias URE que impactan en Bucaramanga.

Estrategia	Marca	Especificaciones	Imagen	Página en línea
Cambio de vidrio	Pilkinton Optifloat disponible en Chile	Tinte verde, espesor (6mm) SHGC = 0,20; U=0,7		https://www.pilkinton.com/es-cl/cl
Aletas y voladizos	N/A	Los materiales son: ladrillo H-10, cemento gris, arena fina, acabado en yeso y pintura blanca		N/A
Aislamiento de paredes	Intropol	Material: poliuretano		http://www.intropol.es/
Cortasoles	CS cortasoles	Material: aluminio		http://ypasa.com.mx/iframe.php?nombre=hunter%20douglas%20productos%20arquitectonicos
Tubos solares	Solatube	Tubo de material policarbonato, con aislamiento para rayos ultravioleta.		www.TuboSolar.com
Persianas	LUTRON	Persiana en material de aluminio y color blanco.		http://www.lutron.com/es-LA/Residential-Commercial-Solutions/Paginas/Commercial-Solutions/ShadingSolutions.aspx
Economizador de aire acondicionado	JADE	Economizador de aire acondicionado con control entálpico		https://customer.honeywell.com/resources/TechLit/TechLitDocuments/63-0000s/63-2700S.pdf
Ventilación natural	Aluskin	Celosia metálica		http://www.grupobasica.com/material-es/fachadas/aluskin/galeria/26-materiales/celosas
Iluminación con lámparas LED	Philips	Lámparas led (17 W, 26 W, 54 W)		http://images.philips.com/is/content/PhilipsConsumer/PDFDownloads/Mexico/ODL120150604_001-UPD-es_MX-