

**ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LAS INSTALACIONES DEL COMPLEJO DE
LABORATORIOS PROYECTADO A CONSTRUIR EN LA ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA USANDO LA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN
ENERGÉTICA EQUEST**

**ERICK FABIAN TRUJILLO AGUILAR
YUSCY DAVID PANTOJA TAMAYO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2014

**ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LAS INSTALACIONES DEL COMPLEJO DE
LABORATORIOS PROYECTADO A CONSTRUIR EN LA ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA USANDO LA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN
ENERGÉTICA EQUEST**

**ERICK FABIAN TRUJILLO AGUILAR
YUSCY DAVID PANTOJA TAMAYO**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
David A. Fuentes Díaz
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2014

DEDICATORIA

A Dios por su compañía.

*A mi padre Diomedes Trujillo por ser mi ejemplo a seguir y
mi madre María Edith Aguilar por su amor y comprensión.*

A mis hermanos por creer en mí y siempre apoyarme.

Erick Fabián Trujillo Aguilar

DEDICATORIA

A mi madre, María Tamayo, quién vive con incansable esfuerzo por sacar nuestra familia adelante.

A mi padre, Alejandro, porque en sus años de vida me lleno de valores y enseñanzas, que hoy me hacen más humano y más sabio.

A Elemileth, por su apoyo, su grata compañía y felicidad brindada todo este tiempo.

Yuscy David Pantoja Tamayo

AGRADECIMIENTOS

A Dios por esta vida que me ha regalado para cumplir el propósito que él tiene para mí.

A mi familia por ayudarme con todo aquello que necesitaba.

A todos los docentes de la Universidad Industrial de Santander por aportarme el conocimiento para poder desarrollar mi proyecto de grado y terminar mis estudios profesionales, especialmente a las siguientes personas ing. Omar Armando Gelvez Arocha, ing David Alfredo Fuentes y el ing. Juan Francisco Maradey Charris.

Erick Fabián Trujillo Aguilar

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por hacer posible cumplir la meta de ser un profesional.

A mis compañeros y amigos con quienes compartí conocimientos y buenas anécdotas.

Al cuerpo docente de la Universidad Industrial de Santander que cumplen con su admirable labor, en especial, por su gran aporte de motivación y experiencias académicas a David A. Fuentes, Omar A. Gélvez, Jorge Meneses y Juan F. Maradey.

Al ingeniero Oscar R. Gómez y los compañeros de la División de publicaciones de la UIS por la agradable experiencia en la Tienda U.

Yuscy David Pantoja Tamayo

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	22
1. IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS ENERGÉTICO EN EDIFICIOS.....	25
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO DE INTERÉS PARA LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA.....	30
1.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE DISEÑO DEL EDIFICIO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES ARQUITECTÓNICAS Y TECNOLÓGICAS	30
1.3. MODELAMIENTO DEL EDIFICIO Y SIMULACIÓN.....	31
1.4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y ELABORACIÓN DE ESTRATEGIAS DE OPTIMIZACIÓN A TRAVÉS DE LA PROPUESTA DE NUEVOS ESCENARIOS.	31
1.5. SIMULACIÓN DE ESCENARIOS PROPUESTOS	32
2. CONCEPTOS GENERALES	34
2.1. FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	34
2.1.1. CONDUCCIÓN.....	34
2.1.2. CONVECCIÓN	35
2.1.3. RADIACIÓN	36
2.2. PSICROMETRÍA Y CONFORT TÉRMICO	41
2.2.1. COMPOSICIÓN DEL AIRE SECO Y HÚMEDO.....	41
2.2.2. ATMÓSFERA ESTÁNDAR	42
2.2.3. PARÁMETROS BÁSICOS DE HUMEDAD	44
2.2.4. PARÁMETROS DE HUMEDAD QUE INVOLUCRAN SATURACIÓN.	45
2.2.5. RELACIÓN DE GAS PERFECTO PARA AIRE SECO Y AIRE HÚMEDO	46

2.2.6.	TERMODINÁMICA DE LA TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO Y PUNTO DE ROCÍO.....	50
2.2.7.	CARTAS PSICROMÉTRICAS	52
2.3.	NORMATIVIDAD DEL URE EN COLOMBIA LEY 697 de 2001	52
2.4.	NORMA INTERNACIONAL DE EFICIENCIA ENERGETICA EN EDIFICACIONES USADA POR eQUEST LEED	54
3.	CÁLCULO DE CARGAS DE ENFRIAMIENTO EN EDIFICACIONES NO RESIDENCIALES	56
3.1.	PRINCIPIOS DEL CÁLCULO DE CARGAS DE ENFRIAMIENTO	56
3.1.1.	PERSONAS	57
3.1.2.	ILUMINACIÓN.....	58
3.1.3.	MOTORES ELÉCTRICOS	61
3.1.4.	EQUÍPO MISCELÁNEO DE OFICINA, COCINA, Y ELECTRODOMÉSTICOS.....	62
3.1.5.	GANANCIAS DE CALOR DEBIDO A LA INFILTRACIÓN Y MIGRACIÓN DE HUMEDAD.....	66
4.	MODELAMIENTO DEL COMPLEJO DE LABORATORIOS	70
4.1.	PRELIMINARES PROYECTO EN eQUEST.....	70
4.2.	ARCHIVO CLIMÁTICO.....	72
4.3.	CREACIÓN DEL EDIFICIO	73
4.4.	DISEÑO CAD DEL EDIFICIO EN EQUEST	74
4.4.1.	PLANOS PRIMER PISO	77
4.4.2.	PLANOS SEGUNDO Y TERCER PISO.....	81
4.4.3.	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	82
4.4.4.	EDIFICIO EN 3D	87

4.4.5.	CÁLCULO DE INFILTRACIONES.....	87
5.	SIMULACIÓN DE LAS CARGAS Y USO DEL COMPLEJO DE LABORATORIOS.....	89
5.1.	HORARIOS DE OPERACIÓN	89
5.2.	ZONAS TÉRMICAS EN EL COMPLEJO DE LABORATORIOS PROYECTADO A CONSTRUIR EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	90
5.2.1.	DEFINICIÓN DE LOS GRUPOS DE ZONAS.....	93
5.2.2.	CARGAS DIFERENTES A HVAC A SIMULAR EN EL MODELO	94
5.2.3.	DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO DEL CASO BASE	101
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PROPUESTAS DE NUEVOS ESCENARIOS	105
6.1.	SELECCIÓN DEL AIRE ACONDICIONADO	105
6.2.	DIMENSIONAMIENTO DEL AIRE ACONDICIONADO.	115
6.3.	INSTALACIÓN DE CLARABOYAS EN EL EDIFICIO.....	118
6.4.	CONTROL DE LA LUZ NATURAL	122
6.5.	CAMBIO DE LA GEOMETRÍA Y ORIENTACIÓN DEL EDIFICIO	126
6.6.	COSTO ANUAL DEL CONSUMO ENERGÉTICO DEL EDIFICIO EN LOS DIFERENTES ESCENARIOS.....	131
7.	CÁLCULO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL EDIFICIO.....	133
8.	CONCLUSIONES	137
9.	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES	138
	REFERENCIAS	140
	BIBLIOGRAFIA	143
	ANEXOS	146

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Diagrama de flujo para los programas de simulación energética de edificaciones.	33
Figura 2. Latitud, ángulo horario y declinación del sol	41
Figura 3. Tasa de flujo de aire vs la diferencia de presión para la prueba de presurización de un edificio completo.	69
Figura 4. Interfaz de información general.	71
Figura 5. Información general de la estructura	74
Figura 6. Interfaz plantilla del edificio.....	75
Figura 7. Formas de plantillas predeterminadas.	75
Figura 8. Interfaz plantilla personalizada.	76
Figura 9. Interfaz de plantilla en blanco.	77
Figura 10. Plantilla terminada primer piso laboratorios.	78
Figura 11. Patrón de zonificación.....	79
Figura 12. Interfaz de zonificación.	79
Figura 13. Zonificación de la planta laboratorios.....	80
Figura 14. Información general de la segunda estructura.....	81
Figura 15. Importar archivo CAD	82
Figura 16. Interfaz de materiales para techo, paredes y piso.	84
Figura 17. Interfaz de puertas exteriores.	85
Figura 18. Interfaz de ventanas exteriores.....	86
Figura 19. Interfaz Custom Windows/Door.	86
Figura 20. Visualización 3D del edificio	87
Figura 21. Horarios de operación del complejo de laboratorios.....	89
Figura 22. Perfiles de carga	90
Figura 23. Asignación de actividades por áreas.	91
Figura 24. Actividades por área de eQUEST.	92

Figura 25. Definición de los grupos de zonas.	94
Figura 26. Cargas diferentes a sistemas HVAC en el segundo piso del edificio....	95
Figura 27. Carga de iluminación ambiente interior para el segundo piso.	97
Figura 28. Equipos de oficina en el segundo piso.....	98
Figura 29. Perfil de uso de los equipos de cómputo del segundo piso.	99
Figura 30. Carga de equipos misceláneos del segundo piso.....	100
Figura 31. Cargas de motores y compresores en el segundo piso.	101
Figura 32. Perfil de uso de los equipos con motores eléctricos (a) y compresores (b) del segundo piso.	101
Figura 33. Consumo anual de energía para el caso base según el uso final de esta.	102
Figura 34. Costo estimado del consumo anual para el caso base según eQUEST.	104
Figura 35. Sistema HVAC 1	106
Figura 36. Asistente para la creación del sistema HVAC.....	107
Figura 37. Temperaturas y flujos de aire.	109
Figura 38. Horarios de uso de ventiladores.	110
Figura 39. Economizador.....	110
Figura 40. Porcentajes de ahorro para cada escenario propuesto.	114
Figura 41. Zonas a acondicionar en el Primer, Segundo y tercer piso del edificio.	116
Figura 42. Asistente de creación de claraboyas.	119
Figura 43. Claraboyas tercer piso.	121
Figura 44. Porcentaje de ahorro con claraboyas.	122
Figura 45. Asistente del control de luz natural.	123
Figura 46. Porcentajes de ahorro para las simulaciones con claraboyas y control de luz.	126
Figura 47. Efecto de la geometría y orientación de un edificio en el flujo de aire externo.....	127
Figura 48. Voladizo y exposición solar de una pared.....	128

Figura 49. Porcentaje de ahorro energético rotando el edificio.....	130
Figura 50: Descargando la aplicación eQ_WthProc	147
Figura 51. Interfaz de la aplicación eQ_WthProc.....	148
Figura 52: Configuración regional y de idioma.....	149
Figura 53: Personalizando el formato de entrada/salida de datos.	150
Figura 54: Interfaz de la pestaña 2.	151
Figura 55. Diligenciando los campos.	152
Figura 56. Field Specifications.	153
Figura 57. Datos formateados a manera de tabla en la aplicación.	153
Figura 58. Pestaña para revisión de los datos convertidos.....	155

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Metodología	29
Tabla 2: Valores típicos de coeficiente de convección.....	36
Tabla 3: Atmósfera estándar para alturas de hasta 10000 m.	43
Tabla 4: Tabla de puntos LEED.....	55
Tabla 5. Tasas representativas a las cuales el calor y la humedad son emitidas por el cuerpo humano en diferentes estados de actividades.	57
Tabla 6. Densidades de potencia de iluminación según Norma ASHRAE 90.1-2007.....	59
Tabla 7. Eficiencia nominal mínima para motores de propósitos generales de Diseño A y B*	62
Tabla 8. Ganancia de calor recomendada para equipos de cómputo comunes. ...	63
Tabla 9. Ganancia de calor recomendado para impresoras, escáneres y fotocopiadoras.	63
Tabla 10. Ganancia de calor recomendado para equipo misceláneo de oficina. ...	64
Tabla 11. Cargas de enfriamiento estimadas para varias densidades de cargas en oficinas.....	65
Tabla 12. Tasas recomendadas de ganancias de calor radiante y convectivo de electrodomésticos comunes.	65
Tabla 13. Coeficientes C_s para el modelo simplificado.	67
Tabla 14. Clases de alrededores del edificio.	67
Tabla 15. Coeficiente de viento para el modelo simplificado.	68
Tabla 16. Tarifas de consumo de los servicio de electricidad y gas	71
Tabla 17. Descripción de las zonas primer piso.....	80
Tabla 18 Materiales usados en los edificios de ingeniería Industrial e ingeniería Eléctrica y Electrónica.....	83
Tabla 19. Infiltraciones	88
Tabla 20. Zona según el tipo de actividad	92

Tabla 21. Cargas en el segundo piso del complejo de laboratorios de la EIM.....	96
Tabla 22. Consumo anual de energía [kWh] para el caso base.	103
Tabla 23. Simulaciones paramétricas en busca del sistema HVAC adecuado....	111
Tabla 24. Resultado de las simulaciones en busca del mejor sistema HVAC para el edificio.....	113
Tabla 25. Comparación del consumo energético de los diferentes escenarios según el uso final de la energía.	115
Tabla 26. Carga de enfriamiento por zona acondicionada.....	116
Tabla 27. Comparación del calor total de cada zona bajo el criterio de la regla de Thumb.....	117
Tabla 28. Propuesta de inserción de claraboyas.	119
Tabla 29. Simulación de nuevos escenarios con claraboyas.....	121
Tabla 30. Escenarios propuestos con claraboyas y control de luz natural.....	124
Tabla 31. Resultados de las simulaciones con claraboyas y control de iluminación.	125
Tabla 32. Propuesta de rotación del edificio frente a otros escenarios.....	128
Tabla 33. Resultados de las simulaciones para el escenario cambiando la orientación y ventanas adicionales.	130
Tabla 34. Costo anual del consumo energético para el edificio en los diferentes escenarios.....	131
Tabla 35. Comparación de los consumos del edificio con las recomendaciones de benchmarking.	134
Tabla 36. Porcentaje de diferencia entre valores simulados y los recomendados.	135
Tabla 37. Eficiencia energética para los escenarios especificados.	135
Tabla38: Repositorio de la DOE2 “Weather data & weather data processing utility programs”	146

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A.	UTILIZANDO LA HERRAMIENTA EXTERNA eQ_WthProc (eQUEST WEATHER PROCESSOR)	146
ANEXO B.	CARTA PSICOMÉTRICA PARA ATMÓSFERA ESTÁNDAR SEGÚN LA AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS	156
ANEXO C.	INFORMACIÓN GENERAL DEL MODELAMIENTO DEL EDIFICIO	157
ANEXO D.	CARGAS EN EL EDIFICIO.....	158

RESUMEN

TÍTULO DEL PROYECTO:

ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LAS INSTALACIONES DEL COMPLEJO DE LABORATORIOS PROYECTADO A CONSTRUIR EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA USANDO LA HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA EQUEST*

AUTORES:

Erick Fabián Trujillo Aguilar**

Yuscy David Pantoja Tamayo

PALABRAS CLAVE: Análisis energético de edificaciones, eficiencia energética, eQUEST, consumo energético, simulación energética.

DESCRIPCIÓN:

Un edificio visto desde el punto de vista energético, es un local que interactúa con el ambiente y a su vez con las cargas que puedan existir en su interior, en el caso de la mayoría de edificios las cargas más significativas las aportan los seres humanos, el medio ambiente y los equipos que se usan en su interior. La problemática que todo edificio tiene está en la comodidad térmica de quienes habitan en él, mantener esta comodidad térmica da como resultado alternativas como sistemas HVAC, arquitectura bioclimática y climatización de espacios, pero a su vez hay que tener en cuenta el consumo energético, su optimización y uso racional que este confort requiere.

Con las exigencias del uso racional de la energía, este proyecto propone la realización de un análisis energético del complejo de laboratorios proyectado a construir en la escuela de ingeniería mecánica de la UIS, con el fin de realizar un análisis energético y con base en este generar propuestas para la optimización energética y asegurar el confort de las zonas que lo requieran.

Para el análisis energético, se ha utilizado el software eQUEST en el cual se ha desarrollado la simulación del edificio y su respuesta ante distintos escenarios propuestos, todo esto buscando el ahorro en el consumo energético anual que tendría su uso en la ciudad de Bucaramanga con los datos climáticos actuales.

* Proyecto de grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director ing. David Alfredo Fuentes Díaz

ABSTRACT

TITLE:

ENERGETIC ANALYSIS TO THE PLANNED TO BUILD BUILDING- LABS IN THE MECHANICAL ENGINEERING SCHOOL, USING THE ENERGY SIMULATION TOOL EQUEST*

AUTHORS:

Erick Fabián Trujillo Aguilar
Yuscy David Pantoja Tamayo**

KEYWORDS: Buildings energy analysis, energy efficiency, eQUEST, energy simulation tool, buildings energy consumption, buildings energy simulation.

DESCRIPTION:

A building viewed from energetic viewpoint, is an object that interacting thermally with the external environment and with the existent internal thermal load. For most buildings, the meaningful thermal loads are people, external environment and the equipments, as lighting, motors, refrigeration equipment or others miscellaneous. All buildings should ensure the thermal comfort for occupant people. The idea of implement actions as HVAC systems, bioclimatic architecture, or air conditioning spaces is for this. Not only should to have on mind the energy consumption, but its optimization and energy's rational use (URE, for Spanish short) required for this thermal comfort; because now day is a obligatory request in some countries effort to reduce the electrical consumption, and with this, the CO2 emissions and contribute with the environment preserving.

With the URE exigencies, this project raises do an energetic analysis to the Mechanical Engineering School's future building labs, and from this, propose new settings for the energetic optimization and ensure the required space's thermal comfort.

Was used the software eQUEST to perform the energetic analysis, modeling and simulating a baseline building-design and later, obtaining the energetic consumption performance for many settings, ever searching the energetic consumption-yearly savings in Bucaramanga, Colombia; using recent climatic files to this location.

* Thesis

** Physical-Mechanical Engineer Faculty, Mechanical Engineer School, Director: Eng. David Alfredo Fuentes Díaz.

INTRODUCCIÓN.

En la actualidad, con el avance tecnológico, se han venido implementando medidas orientadas al aprovechamiento óptimo de la energía, desde la mejora del funcionamiento de un motor de combustión interna, el control continuo de los sistema de refrigeración y acondicionamiento de locales, la incursión al uso de energías alternativas, hasta el uso eficiente de la energía en edificaciones; preocupándose por el costo y las repercusiones al medio ambiente que implica producirla , haciendo del Uso Racional de la Energía (URE) una prioridad a la hora de encaminar cualquier proyecto. En la industria de la construcción, actualmente se incentiva a los proyectos que promuevan el URE, ya que anteriormente no se tenía en cuenta esta práctica dado que carecía de herramientas para sus cálculos y análisis. Con el creciente uso de las herramientas computacionales y la utilización de la ingeniería concurrente, los nuevos proyectos de construcción son posibles de simular en diferentes escenarios, con la modificación de la estructura y geometría, los materiales, sistemas HVAC e iluminación; dando lugar a maneras confiables de comparar si procuran o no el URE.

El interés de realizar un proyecto de edificación en el cual la prioridad sea el URE, tiene antecedentes en países como España y Estados Unidos. En España está basado en la certificación obligatoria según el Real decreto 235/2013 que otorgan entidades especializadas en este tema, mientras que para Estados Unidos la certificación es un mérito que se le da a las edificaciones que cumplen con diferentes requisitos como lo son Sitios Sustentables (SS), Ahorro de Agua (WE), Energía y Atmósfera (EA), Materiales y Recursos (MR) y Calidad Ambiental de los Interiores (IEQ) (véase la sección 2.4). Para estas certificaciones los mismos gobiernos facilitan las herramientas computacionales que permiten realizar el análisis energético necesario para la certificación, en el caso de los Estados Unidos el Departamento de Energía recomienda el uso del software eQUEST, el cual permite un análisis detallado del consumo de la energía y también de las

medidas de eficiencia que se pueden tomar para su mejora, entre otros aspectos. Por su parte España utiliza el programa Calener, que atiende a las especificaciones anteriormente mencionadas de eQUEST pero con la modificación que al final se obtiene una calificación energética según el Real decreto.

Uno de los problemas que conlleva un proyecto de edificación, son las múltiples propuestas que este puede tener a la hora de buscar su optimización, cada propuesta que se puede sugerir se debe mostrar en un escenario diferente en los cuales puede estar expuesto el edificio, esto requiere un alto costo económico si no se cuenta con las herramientas necesarias, pero gracias a la simulación que las herramientas computacionales ofrecen se logra realizar un análisis de propuestas de una manera confiable y rápida, en donde crear un escenario no produce costos elevados y se pueden comparar entre más de uno, gracias a la modificación de un escenario base, y así escoger entre varias opciones la más eficiente; a esto se le llama la medida de eficiencia energética (EEM por sus siglas en inglés) en la cual se desea mostrar las diferencias entre cada escenario y poder visualizar la que mejor se adapte, esta ventaja de trabajo la posee el software eQUEST, abriendo la posibilidad a mejorar proyectos ya existentes como también dar las mejores opciones a los proyectos venideros.

El motivo de realizar un **ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LAS INSTALACIONES DEL COMPLEJO DE LABORATORIOS PROYECTADO A CONSTRUIR EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA** surge tanto de la necesidad de conocer el estado del arte de las prácticas del URE en este proyecto de construcción como de la intención de promover el método y la herramienta utilizada para el desarrollo del presente proyecto. Para ello se comenzará por identificar a continuación de manera global las partes y parámetros importantes a considerar a la hora de realizar un análisis energético de edificaciones, su metodología y manejo en el software eQUEST.

Capítulo 1. Se presenta la importancia del análisis energético para la solución del problema y la metodología usada para desarrollar el proyecto.

Capítulo 2. Se presenta el marco teórico sobre temas tratados para el desarrollo de la simulación además de temas que utiliza el motor de funcionamiento de eQUEST.

Capítulo 3. Se presenta el análisis de la carga térmica en edificaciones no residenciales.

Capítulo 4. Se presenta el modelamiento de la edificación, la definición de las zonas térmicas, materiales, cargas térmicas, horarios de operación y simulación del caso base.

Capítulo 5. Se presenta la simulación de las cargas y las actividades del uso del edificio.

Capítulo 6. Se presentan el análisis de resultados de la edificación en sus distintos escenarios.

Capítulo 7. Se presenta el cálculo de eficiencia energética para el complejo de laboratorios.

1. IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS ENERGÉTICO EN EDIFICIOS

Un edificio visto desde el punto de vista energético, es un local que interactúa con el ambiente y a su vez con las cargas que puedan existir en su interior, en el caso de la mayoría de edificios las cargas más significativas las aportan los seres humanos, el medio ambiente y los equipos que se usan dentro de él, la problemática que todo edificio tiene está en la comodidad térmica de quienes habitan en él y en la manera en la que se produce la energía que este confort requiere, para mantener esta comodidad térmica se han usado diferentes alternativas como lo son los sistemas HVAC, la arquitectura bioclimática y la climatización de espacios.

La comodidad térmica, importante para el bienestar, está sujeta a varios factores:

- El factor humano: La actividad que realiza en un espacio determinado, el tiempo durante el cual las personas realizan esta actividad y la vestimenta y equipos que se usan.
- El aire: Su temperatura, velocidad y humedad relativa.
- El espacio: La temperatura radiante media de los parámetros del local considerado.

El cambio de la manera de construir los edificios, los métodos de trabajo, y los niveles de ocupación han creado nuevos parámetros a los que los diseñadores ahora deben prestar atención. Los edificios modernos sufren cargas térmicas por varios motivos:

- La temperatura exterior: los elementos separadores del interior de los edificios con el exterior no son impermeables al paso del calor, aunque pueden aislarse convenientemente. El calor pasa desde el ambiente más cálido al ambiente más frío como lo determina la transferencia de calor donde influyen los materiales y la diferencia de temperaturas de forma considerada.
- La radiación solar: Con el desarrollo de los nuevos edificios, las nuevas técnicas han favorecido el empleo del cristal y el incremento térmico es

considerable en verano cuando la radiación solar los atraviesa (efecto invernadero), pero es favorable en invierno, disminuyendo las necesidades de calefacción. El acristalamiento excesivo no es deseable en climas cálidos, aunque puede serlo en climas fríos. Incluso en cerramientos opacos, no acristalados, en verano, el sol calienta la superficie exterior aumentando el salto térmico exterior interior y, por lo tanto el paso del calor por los cerramientos opacos.

- La ventilación: La necesaria introducción de aire exterior en el edificio, para ventilación, puede modificar la temperatura interna de éste, lo cual puede suponer un problema cuando el aire exterior está a temperaturas alejadas de las requeridas en el interior.
- La ocupación: El número de ocupantes aumenta en los edificios, generando cada uno entre 80 y 150 W de carga térmica, según la actividad realizada.
- La ofimática: La proliferación de aparatos electrónicos, ordenadores, impresoras, y fotocopiadoras, que forman parte de las oficinas modernas, generan cargas térmicas importantes.
- La iluminación: la iluminación es un factor de calentamiento importante. Se estima en una carga de entre 15 a 25 W/m². Muchos Grandes Almacenes modernos pueden calentarse en invierno gracias únicamente a su sistema de iluminación y al calor producido por los usuarios. Esta situación es bastante frecuente en Europa.

Evidentemente, muchas de estas cargas son favorables en tiempos de clima frío. Todas ellas deben ser compensadas si se desea obtener un ambiente confortable en verano. El medio de asegurar esta comodidad es la climatización, la cual depende de muchos factores como lo son:

- **Geometría y Orientación.** Es importante la consideración de estos dos factores debido a la alta influencia que ejercen en el cálculo de pérdidas y ganancias de carga térmica en un edificio. La orientación, por ejemplo, se establece a partir de la ubicación geográfica y las condiciones climáticas de dirección del viento y ángulos de incidencia solar durante el día con el fin de

aprovechar estos recursos que influyen en la carga térmica; mientras que la geometría juega un papel importante en cuanto al aprovechamiento óptimo de estos recursos naturales ya sea dimensionando y posicionando cámaras de aire, diseñando techos y paredes salientes colocando salientes en puertas y ventanas.

- **Materiales de paredes, techos, pisos, ventanas, puertas.** Los materiales de construcción de edificios en su mayor parte están estandarizados bajo las normas civiles de cada país, ya que estos están condicionados por el clima y la región en la que se encuentre. Para citar algunos ejemplos en los países con las 4 estaciones, se recomienda el uso de ventanas de doble vidrio y hasta triple, para las condiciones de invierno, en otros países sobre la línea del ecuador estas no son de gran necesidad ya que las temporadas más comunes son de lluvia y sequía y los vidrios dobles solo se usan en estaciones de frío, a la hora de escoger los materiales se debe pensar en el confort tanto térmico como acústico además de su costo y su resistencia, datos que son necesarios al realizar el análisis energético por su influencia sobre la transferencia de calor.
- **Localización y clima.** La ubicación de la edificación es quizá el factor más importante al momento de realizar un análisis energético. Los factores anteriores deberán escogerse de acuerdo a la localización climática, ya que como es de esperarse, algunos materiales tendrán mejor rendimiento en una zona climática específica que en cualquier otra; y la orientación del frente de la edificación variará también de acuerdo a la localización geográfica.
- **Sistemas HVAC:** Los sistemas de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire (HVAC por sus siglas en inglés) hacen parte esencial en el análisis energético de edificaciones ya que gran porcentaje del consumo energético de estas está vinculado directamente con la configuración y funcionamiento de los sistemas de HVAC ya que como se cita en Technology Roadmap, Energy efficient building envelopes. International Energy Agency, IEA. Paris, Francia. 2014.”*en la mayoría de las regiones del mundo, las cargas de calefacción y*

refrigeración representan el mayor uso final de la energía en el sector de las edificaciones”.

Ocupa especial interés el estudio de estos sistemas en el campo de aplicación de la ingeniería mecánica, permitiendo la concurrencia de ésta área en la industria de la construcción; en este caso, para la selección adecuada y optimización de la distribución de zonas térmicas correspondientes a cada uno de los laboratorios y salones del complejo de laboratorios proyectado a construir en la EIM.

El tema de la eficiencia energética en edificaciones se viene tratando desde los 80's cuando el problema en todos los países era el de establecer una política de protección del hombre y del medio ambiente, con el creciente cambio climático, el efecto invernadero y el aumento en la demanda del confort. Muchos países tomaron la iniciativa de investigar la eficiencia energética y su optimización, uno de los casos sobresalientes se dio en Rusia, en la república de Komi sobre el tema de la conservación de energía y la eficiencia energética en los edificios, el gobierno de la República de Komi aprobó un plan de acción para conservación de energía y la eficiencia energética en la región. Para esta actividad se creó el Centro de Eficiencia Energética, el cual tenía como objetivo, la reducción de los indicadores de consumo de energía en un 40% del 2007 al 2020, en los próximos cinco años se logró la reducción de los volúmenes de las instituciones que consumen calor y electricidad en un 15%, dando pie a que otros países les vieran como ejemplo.

Según la Agencia Internacional de Energía (IEA por sus siglas en inglés) en el informe del 2013 sobre la Eficiencia Energética de Edificios¹, “los edificios representan el sector con mayor consumo energético en la economía, siendo este más de un tercio de toda la energía y donde se consume la mitad de la electricidad a nivel mundial”. Por tal motivo es un deber de las nuevas tecnologías proponer nuevas formas de optimizar el uso de la energía en edificaciones. En el mercado

¹International Energy Agency, IEA. Technology Roadmap, Energy efficient building envelopes. Paris, Francia. 2014.

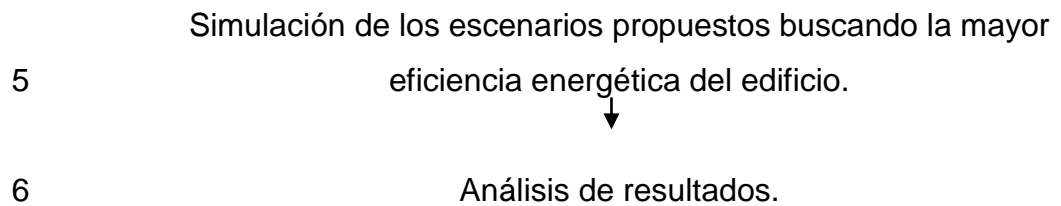
actualmente se encuentran herramientas que facilitan esta tarea, cuyo funcionamiento se basa en el diagrama de flujo de los programas de simulación energética para edificios propuesto por Ayres & Stamper 1995² (Figura 1). Este es el caso de eQUEST, herramienta computacional utilizada para desarrollar el análisis energético de las instalaciones del complejo de laboratorios proyectado a construir en la escuela de ingeniería mecánica, y cuya secuencia metodológica utilizada se presenta a continuación.

La metodología usada se establece en la **Tabla 1** donde se muestra la secuencia del procedimiento que se implementará para el análisis energético del proyecto y sus diferentes fases.

Tabla 1. Metodología

Secuencia	Descripción de la fase
1	Identificar el edificio de interés para realizar la evaluación energética.
	↓
2	Análisis de la información de diseño del edificio para evaluar las propiedades arquitectónicas y tecnológicas (por ejemplo, sistemas HVAC, iluminación, producción de agua caliente, información de los equipos, entre otros)
	↓
3	Modelamiento energético y simulación para un año del edificio en su escenario base (condición inicial del edificio)
	↓
4	Análisis de la información y elaboración de la estrategia de optimización a través de la propuesta de nuevos escenarios.
	↓

² American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Manual de fundamentos (2009), capítulo 19: ENERGY ESTIMATING AND MODELING METHODS.



Fuente: Autores.

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO DE INTERÉS PARA LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA

El análisis energético se realiza sobre el complejo de laboratorios proyectado a construir en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UIS con sede en la ciudad de Bucaramanga, ubicada geográficamente 07°08''N 73°08''O de latitud norte con respecto al Meridiano de Bogotá y de longitud al Oeste de Greenwich respectivamente, en el departamento de Santander, con el fin de calcular la eficiencia energética del edificio a construir, comparar soluciones para asegurar el confort térmico de los ocupantes y equipos y estimar el costo del consumo energético anual que tendría los diferentes **escenarios propuestos**³. El edificio consta de un primer piso de laboratorios en forma de L, un segundo y tercer piso en forma de rectángulo que se ubican en la base de la L con orientación hacia el oeste. Este edificio tiene un uso académico, consta de varios laboratorios que albergarán a un número promedio de 40 estudiantes, además una amplia zona de laboratorios los cuales estarán en la capacidad de prestar el servicio de practica industrial, con los equipos necesarios que van desde mecanismos y diseños básicos, hasta bombas y motores de gran potencia; haciendo de este el principal escenario de análisis.

1.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE DISEÑO DEL EDIFICIO PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES ARQUITECTÓNICAS Y TECNOLÓGICAS

La información con la que se cuenta para evaluar las propiedades arquitectónicas y tecnológicas se tomarán a partir de los planos de diseño del complejo de

³Véase capítulo 6, Escenarios Propuestos para mejorar la eficiencia energética del complejo de laboratorios proyectado a construir en la EIM-UIS.

laboratorios que posee la Escuela de Ingeniería Mecánica EIM y del modelo predecesor de cada una de las zonas respectivamente; es decir, para la zona de Laboratorios de Sistemas Térmicos, rotulada en los planos del nuevo complejo de laboratorios, se tendrá en cuenta los mismos equipos del laboratorio actual a manera de asumir que se contarán con los mismos bancos. Así, para cada una de las zonas térmicas del edificio que corresponden a cada uno de los laboratorios de la EIM se tendrá la información de los equipos, iluminación, horarios y densidad ocupacional.

1.3. MODELAMIENTO DEL EDIFICIO Y SIMULACIÓN

Para modelar el edificio se requiere crear una plantilla de la geometría de cada piso, para esto eQUEST cuenta con su propio asistente que permite no solo la modificación de la plantilla si no su respectiva zonificación, también se puede implementar la importación de un archivo CAD a eQUEST, programas como Solidworks, y AutoCAD son compatibles con el modo importación, lo que permite un modelamiento diferente desde la metodología de creación en otro programa. La simulación se puede realizar en eQUEST gracias a sus diferentes opciones que permiten personalizar el edificio con mayor detalle, eQUEST cuenta con un asistente de simulación, el cual guía al usuario para detallar el edificio y al final tienes las opciones de realizar el análisis energético bajo la simulación de cargas internas y externas.

1.4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y ELABORACIÓN DE ESTRATEGIAS DE OPTIMIZACIÓN A TRAVÉS DE LA PROPUESTA DE NUEVOS ESCENARIOS.

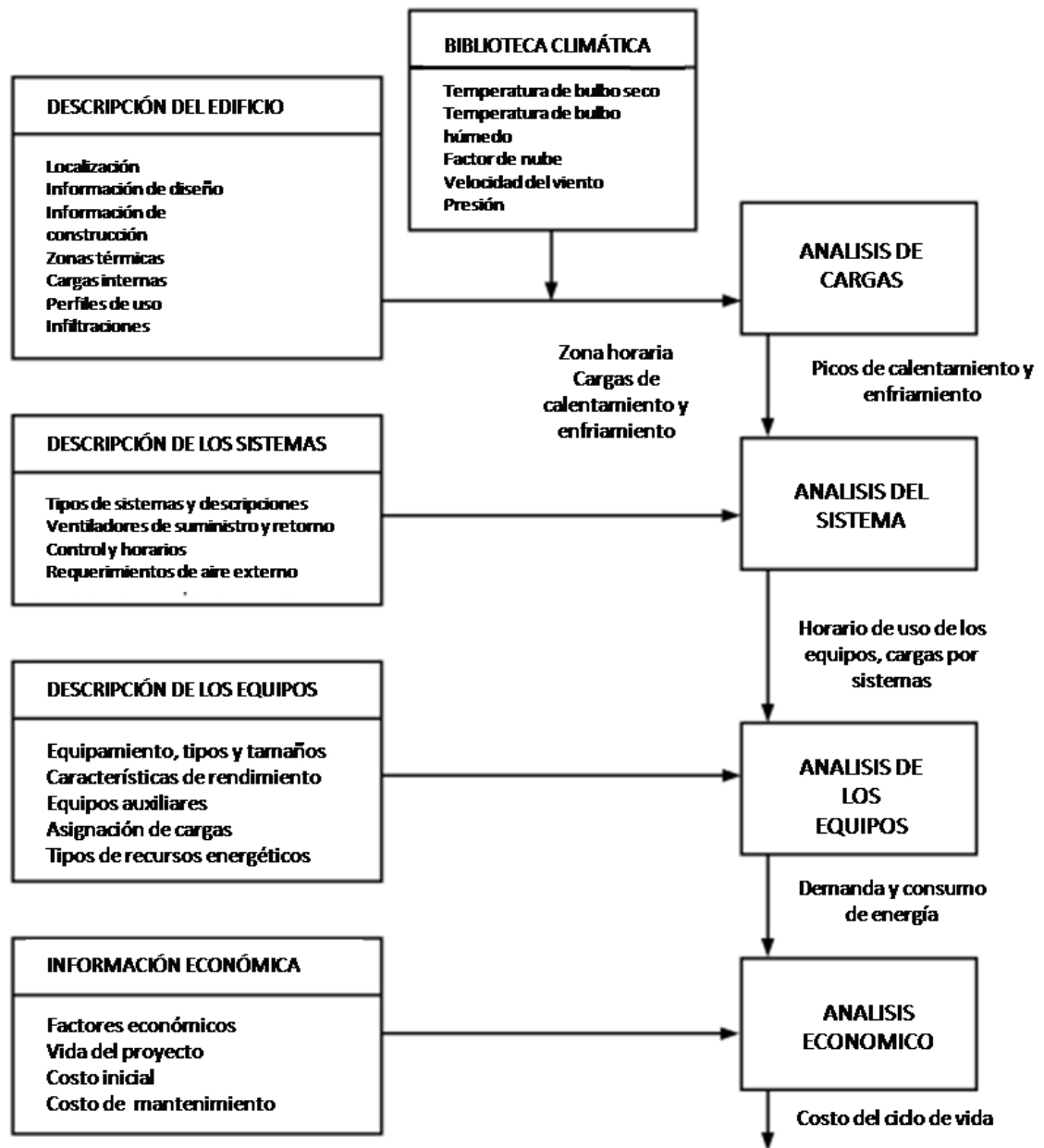
Seguido de la primera simulación de la línea base del edificio (simulación inicial del edificio tal cual como se encuentra en las condiciones de diseño), el análisis e interpretación de los resultados obtenidos de ésta conllevará a la generación de propuestas en un intento por mejorar el aprovechamiento de la energía en el edificio. Esto se hace primero sugiriendo cambios de características individuales

en el diseño del edificio, ya sea desde la instalación de claraboyas hasta el cambio de orientación del edificio; y posteriormente realizando nuevas simulaciones con cada propuesta generada.

1.5. SIMULACIÓN DE ESCENARIOS PROPUESTOS

En esta fase se implementa el asistente de Medida de eficiencia energética de eQUEST, EEM por sus siglas en inglés; el cual permite una modificación completa del edificio, orientación, materiales, tipos de ventana, sistemas HVAC usados, etc. Con cada cambio realizado el asistente simula nuevamente las cargas internas y externas dando como resultado varios informes con los que se pueden comparar el edificio en sus diferentes escenarios, el objetivo de esta fase es encontrar la mayor eficiencia energética posible en el edificio.

Figura 1. Diagrama de flujo para los programas de simulación energética de edificaciones.



Fuente: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Manual de fundamentos (2009), capítulo 19: ENERGY ESTIMATING AND MODELING METHODS.

2. CONCEPTOS GENERALES

2.1. FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor es la ciencia que trata de la determinación de las Tasas a las que ocurre el tránsito de energía térmica de un sistema a otro, debido a la diferencia de temperaturas entre los dos sistemas. Los modos de transferencia de esta energía se clasifican en: Conducción, convección y radiación.

2.1.1. CONDUCCIÓN

La conducción es el modo de transferencia de calor en el cual las partículas con mayor potencial energético transfieren la energía a las de menos potencial debido a la interacción entre ambas, por medio de las interacciones entre ellas. Este fenómeno se puede dar en sólidos, líquidos y gases. En los sólidos es realizado por las vibraciones de las moléculas en una red y por el transporte de energía por los electrones libres, mientras que en los gases y los líquidos la conducción se debe a los movimientos internos de rotación y vibración de las moléculas.

Es posible cuantificar los procesos de transferencia de calor por conducción en términos de las ecuaciones o modelos apropiados, la ecuación o modelo que permite dichos cálculos es la *ley de Fourier* expresada como:

$$q_{\text{cond}} = -k * \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

Es la tasa con la que se transfiere el calor en la dirección x por área unitaria perpendicular a la dirección de transferencia, y es proporcional al gradiente de temperatura, dT/dx en esta dirección. La constante de proporcionalidad, k , es una propiedad de transporte conocida como conductividad térmica y es una característica del material de la pared, el signo menos es una consecuencia del hecho de que el calor se transfiere en la dirección de la temperatura decreciente.

2.1.2. CONVECCIÓN

La convección es el modo de transferencia de calor compuesta por dos mecanismos, uno debido al movimiento molecular aleatorio (difusión), y el otro debido al movimiento global de un fluido sobre superficie sólida y un gas o líquido adyacente en movimiento. A más rapidez del fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. La convección se denomina forzada si el fluido es obligado a fluir sobre una superficie mediante medios como un ventilador, una bomba etc. Por el contrario, si el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje inducidas por las diferencias de densidades debidas a la variación de temperatura en el fluido, la convección es natural.

La aparición de burbujas de vapor en la ebullición y la caída de las gotas en la condensación se consideran procesos de transferencia de calor por convección debido al movimiento del fluido.

Es posible cuantificar los procesos de transferencia de calor por convección, sabiendo que el flujo de calor es proporcional a la diferencia entre las temperaturas de la superficie y el fluido, T_s y T_∞ , respectivamente y se expresa mediante la ley de enfriamiento de Newton como:

$$q_{conv} = h * A_s * (T_s - T_\infty) \quad (2.2)$$

La constante de proporcionalidad h se denomina coeficiente de transferencia de calor por convección. Esta depende de las condiciones en la capa límite, en las que influyen la geometría de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido y una variedad de propiedades termodinámicas del fluido y de transporte, en la **Tabla 2**, se muestra el rango de valores que toma el coeficiente de transferencia de calor.

Tabla 2: Valores típicos de coeficiente de convección.

Proceso	h (W/m ² *K)
Convección libre	
Gases	2-25
Líquidos	50-1000
Convección forzada	
Gases	25-250
Líquidos	50-20000
Convección cambio de fase	
Ebullición o condensación	2500-100000

Fuente: INCROPERA, Frank P.; DEWITT, David P. Fundamentos de transferencia de calor 4ta edición. Prentice Hall, México, 1999.

2.1.3. RADIACIÓN

La radiación térmica es la energía emitida por un cuerpo debido a su temperatura finita. Sin importar la forma de la materia, la radiación se puede atribuir a cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivas. La radiación a diferencia de la conducción y la convección no requiere un medio material para propagarse por lo que puede transmitirse en el vacío absoluto. La radiación es un fenómeno superficial y todos los sólidos, líquidos y gases emiten absorben y transmiten energía.

La radiación máxima que puede emitir una superficie a una temperatura T_s (temperatura de superficie) se expresa por la ley de Stefan-Boltzmann como:

$$Q_{emitido} = \sigma * A_s * T_s^4 \quad (2.3)$$

Dónde:

σ : constante de Stefan-Boltzmann, $5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$ o $0.1714 \cdot 10^{-8} \frac{Btu}{ft^2 \cdot R^4}$

A_s : Área superficial a través de la cual se da la transferencia de calor, m^2 o ft^2 .

T_s : Temperatura de la superficie, °C o K.

La tasa a la cual todas las superficies reales emiten radiación térmica es menor a la idealizada por un cuerpo negro y se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$Q_{emitida} = \epsilon * \sigma * A_s * T_s^4 \quad (2.4)$$

Dónde:

ϵ : Emisividad de la superficie ($0 \leq \epsilon \leq 1$ para superficies reales y $\epsilon = 1$ para cuerpo negro).

Además de la radiación emitida por un cuerpo, también es importante la cantidad de calor radiante absorbida por éste en su superficie para lo cual se define otra propiedad denominada absorptividad, σ , la cual es la fracción de la energía radiante incidente que absorbe dicha superficie.

La tasa a la cual una superficie absorbe energía radiante se obtiene mediante:

$$Q_{absorbida} = \alpha * Q_{incidente} \quad (2.5)$$

Dónde:

α : Absortividad de la superficie ($0 \leq \alpha \leq 1$ para superficies reales y $\alpha = 1$ para un cuerpo negro).

La diferencia entre la radiación emitida y la radiación absorbida por una superficie es la transferencia neta de calor por radiación. Si la diferencia es positiva se dice que el cuerpo está perdiendo energía por radiación.

Si una superficie con absorptividad σ y emisividad ϵ está completamente encerrada por una superficie mucho más grande o negra a una temperatura T_{alr} y están

separados por un gas que no interfiere en la radiación la razón de transferencia de calor hacia la superficie es:

$$Q_{rad} = \varepsilon * \sigma * A_s * (T_s^4 - T_{alr}^4) \quad (2.6)$$

2.1.3.1 RADIACIÓN SOLAR

La radiación solar influye en la ganancia de calor de un recinto, esta ganancia depende de la ubicación del sol en el cielo, de la claridad de la atmosfera, la ubicación y orientación del recinto, entre otros factores.

Para estimar el aporte de calor debido a la radiación solar se hace necesario predecir la ubicación del Sol en el cielo durante el día, y al paso por las estaciones del año. Conociendo esta ubicación se puede obtener la radiación solar incidente sobre una superficie para cada momento, dato necesario para el cálculo de las cargas térmicas que afectan cualquier recinto.

2.1.3.2 ANGULOS SOLARES

Para describir la dirección de los rayos solares que inciden sobre un lugar se deben conocer estos tres datos fundamentales:

- Ubicación sobre la superficie terrestre.
- Hora del día.
- Día del año.

2.1.3.3 Radiación solar normal directa

Para medir la componente normal directa de la radiación solar (B_N) se supone una superficie imaginaria frente al sol, de tal manera que esta seguirá durante todo el día la trayectoria descrita por el sol, por lo cual, la dirección de la radiación incidente siempre es normal, los angulos se muestran en la

Figura 2.

La radiación solar normal directa se calcula a partir de la ecuación:

$$B_N = \frac{B_H}{\cos(90 - h)} \quad (5)$$

Dónde: B_H : Radiación solar horizontal directa.

h : Altura solar [°].

La radiación solar horizontal global (G_H) es la adición de la radiación solar directa horizontal (B_H) y difusa horizontal (D_H). Despejando la radiación solar horizontal directa se calcula de la siguiente manera:

$$B_H = G_H - D_H \quad (6)$$

Los ángulos que determinan la posición solar en el sistema de coordenadas polares son la altura solar (h) junto con el azimut (γ). La altura solar es el ángulo que se genera entre el horizonte del observador y el sol y se calcula con la siguiente ecuación:

$$h = \text{sen}^{-1}(\text{sen}\delta * \text{sen}\varphi + \text{cos}\delta * \text{cos}\varphi * \text{cos}\omega)(7)$$

Dónde: δ : Declinación[rad]

$\varphi = \text{Latitud [rad]}$

$\omega = \text{Ángulo horario.}$

- Declinación (δ): Es la posición angular del sol con respecto al ecuador. Esta se considera positiva cuando el ángulo se sitúa en el hemisferio sur y negativa cuando se sitúa en el hemisferio norte. Se determina mediante la siguiente expresión:

$$\delta = 23.45 * \sin\left(360 * \frac{284+n}{365}\right) \quad (8)$$

Donde n corresponde al día del año en que se desea calcular la declinación.

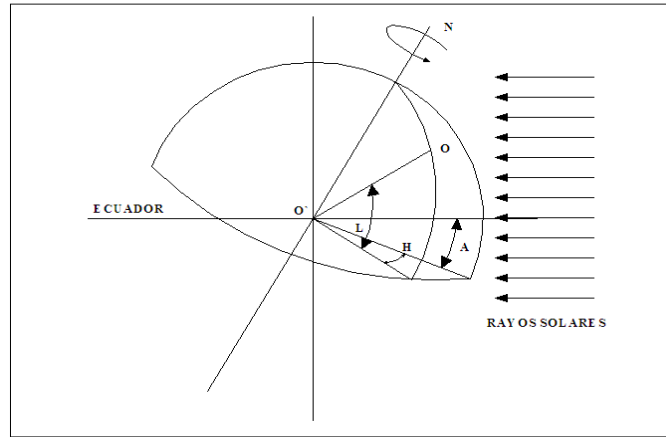
- Azimut (γ_s): Es el desplazamiento angular sobre la proyección del rayo en el plano horizontal.
- Ángulo Horario (ω): Es el desplazamiento angular del sol este u oeste del meridiano local debido a la rotación. Este: positivo, oeste: negativo. Este se puede determinar mediante la hora solar y la hora local del lugar:

$$hora\ solar = 180 - 15 * hora\ local \quad (9)$$

$$\omega = (hora\ solar - 12) * 15^\circ \quad (10)$$

Finalmente para conocer el valor de la radiación solar normal directa de forma manual, se requiere que la estación meteorológica suministre el valor de la radiación difusa horizontal y de esta manera sería posible calcular todas las variables indirectas. Como se mencionó anteriormente se desconoce la forma como el programa realiza internamente estos cálculos, por lo tanto no se puede asegurar que la forma descrita anteriormente corresponda a la forma de cálculo del programa.

Figura 2. Latitud, ángulo horario y declinación del sol



Fuente: MCQUISTON-PARKER-SPITLER. “*Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado: Análisis y Diseño*”. 1 ed. México, D.F: Editorial Limusa, S.A. 2003 p 166.

2.2. PSICROMETRÍA Y CONFORT TÉRMICO

Un propósito de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC, por sus siglas del inglés Heating, Ventilating and Air Conditioning) es asegurar el confort térmico, “esa condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico” –ASHRAE, Estándar 55-. Esta definición deja abierto el significado de “condición mental” o “satisfacción”, pero enfatiza el juicio del confort como un proceso cognitivo que envuelve muchas variables influenciado por lo físico, fisiológico, psicológico y otros procesos.

La psicrometría, por su parte, usa las propiedades termodinámicas para analizar las condiciones y procesos que envuelven el aire húmedo; y gran cantidad de ese esfuerzo es usado para estudiar el confort térmico de las personas.

En este capítulo se hará un tratado sobre psicrometría, con el propósito de relacionar los términos usados posteriormente como variables en la herramienta de simulación energética eQUEST.

2.2.1. COMPOSICIÓN DEL AIRE SECO Y HÚMEDO.

El aire atmosférico contiene muchos componentes gaseosos como lo son el vapor

de agua y una variedad de contaminantes, tales como el humo, polen y gases contaminantes que normalmente no están presentes en el aire libre lejos de las fuentes de contaminación.

El Aire Seco es el mismo aire atmosférico pero sin vapor de agua y sin contaminantes. Su composición es relativamente constante, pero pequeñas variaciones en la cantidad de los componentes individuales ocurren con el tiempo, localización geográfica y la altitud. Harrison (1965) listó los porcentajes aproximados de la composición del aire seco por unidad de volumen así: Nitrógeno: 78.084; Oxígeno: 20.9476; Argón: 0.934; Neón: 0.001818; Helio: 0.000524; Metano: 0.00015; Dióxido de azufre: 0-0.0001; Hidrogeno: 0.00005; y otros componentes menores, tales como el Kriptón, Xenón y Ozono: 0.0002. La constante de gas para el aire seco usando el actual valor de la constante universal de los gases de Mor y Taylor (2005) es ():

$$R_{da} = \frac{8314.472}{28.966} = 287.042 \text{ [J/kg}_{da}\text{K]} \quad (2.7)$$

Por otra parte, el Aire húmedo es una mezcla binaria de aire y vapor de agua, donde la cantidad de vapor de agua varía desde cero (aire seco) a un máximo, que depende de la temperatura y presión. A este estado del aire se le denomina saturación. Es un estado de equilibrio neutral entre al aire húmedo y el agua en su fase condensada (solida o líquida). La constante de gas para el vapor de agua se toma como:

$$R_w = \frac{8314.472}{18.015268} = 416.524 \text{ [J/kg}_w\text{K]} \quad (2.8)$$

2.2.2. ATMÓSFERA ESTÁNDAR

La temperatura y presión barométrica del aire atmosférico varía considerablemente con la altura, así como también de la localización geográfica y condiciones climáticas. La atmósfera estándar da una referencia para estimar las propiedades del aire atmosférico a distintas alturas. A la altura del nivel del mar, la

temperatura estándar es 15°C y la presión barométrica estándar es 101.325 kPa. Se asume que la temperatura decrece linealmente con el incremento de altura a través de la tropósfera (atmósfera más baja) y permanece constante en los tramos inferiores de la estratósfera. Se supone que la tropósfera consiste de aire seco que se comporta como un gas ideal. La gravedad también se supone constante en su valor estándar, 9.80665 m/s². Para conocer la presión de algún lugar cuya altura es diferente a la del nivel del mar se aplica la siguiente ecuación:

$$P = 101.325 * (1 - 2.25577 * 10^{-5} * Z)^{5.2559} [\text{kPa}] \quad (2.9)$$

La ecuación para la temperatura en función de la altura está dada por:

$$T = 15 - 0.0065 * Z [^{\circ}\text{C}] \quad (2.10)$$

Donde Z= Altura, m; P= presión barométrica, kPa y T= temperatura, °C.

El rango de alturas para las cuales aplican las ecuaciones anteriores va desde -5000m a 11000m. En la Tabla 3 se calculan las temperaturas y presión para un rango de alturas aplicando las ecuaciones anteriores.

Tabla 3: Atmósfera estándar para alturas de hasta 10000 m.

Altura [m]	Temperatura [°C]	Presión [kPa]
-500	18.25	107.478
0	15	101.325
500	11.75	95.461
1000	8.5	89.875
1500	5.25	84.556
2000	2	79.495
2500	-1.25	74.682
3000	-4.5	70.108
4000	-11	61.640
5000	-17.5	54.020

6000	-24	47.181
7000	-30.5	41.061
8000	-37	35.600
9000	-43.5	30.742
10000	-50	26.436

Fuente: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Manual de fundamentos (2009), capítulo 01: PSYCROMETRICS.

2.2.3. PARÁMETROS BÁSICOS DE HUMEDAD

2.2.3.1 PROPORCIÓN DE HUMEDAD [W]

La humedad absoluta W de una muestra de aire húmedo dado está definida por la fracción de masa de vapor de agua con la masa de aire seco:

$$W = M_w/M_{da} \quad (2.11)$$

Esto es equivalente a la relación de fracciones molares x_w/x_{da} multiplicado por la relación de las masas moleculares ($18.015\ 268/28.966 = 0.621\ 945$):

$$W = 0.621\ 945 * x_w/x_{da} \quad (2.12)$$

HUMEDAD ESPECÍFICA [Y]

La humedad específica γ es la fracción de masa de vapor de agua entre la masa total de are húmedo:

$$\gamma = M_w/(M_w + M_{da}) \quad (2.13)$$

En términos de humedad relativa:

$$\gamma = W/(1 + W) \quad (2.14)$$

HUMEDAD ABSOLUTA [d_v]

Es la relación entre la masa del vapor de agua entre el volumen total de la muestra:

$$d_v = M_w/V \quad (2.15)$$

DENSIDAD [ρ]

Es la relación entre la masa total de la muestra y el volumen total:

$$\rho = (M_{da} + M_w)/V = (1/v)(1 + W) \quad (2.16)$$

Donde v es el volumen específico del aire húmedo, m^3/kg_{da} , como se define más adelante.

2.2.4. PARÁMETROS DE HUMEDAD QUE INVOLUCRAN SATURACIÓN.

Las siguientes definiciones de parámetros de humedad involucran el concepto de saturación del aire húmedo:

RELACIÓN DE HUMEDAD DE SATURACIÓN [$W_s(t, p)$]

Es la proporción de humedad (W) del aire húmedo saturado con respecto al agua (o hielo) a la misma temperatura t y presión p .

GRADO DE SATURACIÓN [μ]

Es la relación de la proporción de humedad (W) con la proporción de humedad (W_s) del aire húmedo saturado a la misma temperatura y presión:

$$\mu = \frac{W}{W_s} \Big|_{t,p} \quad (2.17)$$

HUMEDAD RELATIVA [φ]

Es la relación entre la fracción molar del vapor de agua (x_w) en una muestra de aire húmedo dada con la fracción molar (x_{ws}) en una muestra saturada a la misma temperatura y presión:

$$\varphi = \frac{x_w}{x_{ws}} \Big|_{t,p} \quad (2.18)$$

Combinando las ecuaciones 8, 12 y 13:

$$\mu = \frac{\varphi}{1 + (1 - \varphi) * \frac{W_s}{0.622}} \quad (2.19)$$

TEMPERATURA DEL PUNTO DE ROCÍO [t^*]

Es la temperatura a la cual el agua (líquida o sólida), por evaporación en el aire húmedo a la temperatura de bulbo seco t y proporción de humedad W , puede brindar al aire una saturación adiabática a la misma temperatura T^* mientras la presión total p es constante. Este parámetro es considerado por aparte en la sección 2.2.6.

2.2.5. RELACIÓN DE GAS PERFECTO PARA AIRE SECO Y AIRE HÚMEDO

Cuando el aire húmedo es considerado una mezcla de gases ideales independientes (Vapor de agua y aire seco), se asume que cada uno obedece la ecuación de estado de los gases ideales como sigue:

$$\textit{Aire seco: } p_{da} * V = n_{da} * R * T \quad (2.20)$$

$$\textit{Vapor de agua: } p_w * V = n_w * R * T \quad (2.21)$$

Dónde:

p_{da} = presión parcial del aire seco.

p_w = presión parcial del vapor de agua.

V = volumen total de la mezcla.

n_{da} = número de moles del aire seco.

n_w = número de moles del vapor de agua

R = Constante universal de los gases, $8314.472 \text{ [J/(kmol} \cdot \text{K)]}$.

T = temperatura absoluta, [K].

La mezcla también obedece a la ecuación de gas ideal:

$$P * V = n * R * T \quad (2.22)$$

O

$$(p_{da} + p_w) * V = (n_{da} + n_w) * R * T \quad (2.23)$$

Donde $p = p_{da} + p_w$ es la presión total de la mezcla y $n = n_{da} + n_w$ es el número total de moles en la mezcla.

Para las ecuaciones de la 2.20 a la 2.23, la fracción molar de aire seco y vapor de agua son, respectivamente:

$$x_{da} = p_{da}/(p_{da} + p_w) = p_{da}/p \quad (2.24)$$

Y

$$x_w = p_w/(p_{da} + p_w) = p_w/p \quad (2.25)$$

A partir de las ecuaciones 2.12, 2.24 y 2.25, la humedad absoluta W es:

$$W = 0.622 * \frac{p_w}{p - p_w} \quad (2.26)$$

El grado de saturación W_s está definido en la ecuación 2.17, donde

$$W_s = 0.622 * \frac{p_{ws}}{p - p_{ws}} \quad (2.27)$$

El término p_{ws} representa la presión de saturación del vapor de agua en ausencia de aire a la temperatura t dada. Esta presión p_{ws} es función sólo de la temperatura y difiere ligeramente para la presión de vapor del agua en el aire húmedo saturado.

La humedad relativa ϕ está definida en la ecuación 2.18. Sustituyendo en la ecuación 2.25 por x_w y x_{ws} :

$$\phi = \frac{p_w}{p_{ws}} \Big|_{t,p} \quad (2.28)$$

Sustituyendo la ecuación 2.27 por W_s en la ecuación 2.19:

$$\phi = \frac{\mu}{1 - (1 - \mu) * (p_w/p)} \quad (2.29)$$

ϕ y μ son cero para el aire seco y equivale a uno para aire húmedo saturado. Para un estado intermedio, sus valores difieren considerablemente a altas temperaturas.

El volumen específico v de una mezcla de aire húmedo está expresada en términos de unidad de masa de aire seco como:

$$v = V/M_{da} = V/(28.97 * n_{da}) \quad (2.30)$$

Donde V es el volumen total de la mezcla, M_{da} es la masa total de aire seco y n_{da} es el número de moles de aire seco. De las ecuaciones 2.20 y 2.30 con la relación $p = p_{da} + p_w$,

$$v = R * \frac{T}{28.97 * (p - p_w)} = \frac{R_{da} * T}{p - p_w} \quad (2.31)$$

Usando la ecuación 2.27:

$$v = \frac{R * T * (1 + 1.61 * W)}{28.97 * p} = \frac{R_{da} * T * (1.61 * W)}{p} \quad (2.32)$$

En las ecuaciones 2.31 y 2.32, v es el volumen específico, T es la temperatura absoluta, p es la presión total, p_w es la presión parcial del vapor de agua y W es la proporción de humedad. En unidades específicas, la ecuación anterior puede ser expresada como:

$$v = 0.287 * \frac{(T + 273.15) * (1 + 1.61 * W)}{p} \quad (2.33)$$

Donde v es el volumen específico, [m^3/kg_{da}]

T = temperatura de bulbo seco, [$^{\circ}C$]

W = proporción de humedad, [kg_w/kg_{da}]

p = presión total, [kPa]

La entalpía de una mezcla de gases ideales equivale a la sumatoria de las entalpías parciales individuales de los componentes. Por lo tanto, la entalpía específica del aire húmedo puede ser escrita así:

$$h = h_{da} + W * h_g \quad (2.34)$$

Donde h_{da} es la entalpía específica para el aire seco [$\frac{kJ}{kg_{da}}$] y h_g es la entalpía específica para el vapor de agua saturado [$\frac{kJ}{kg_w}$] a la temperatura de la mezcla. A manera de aproximación:

$$h_{da} \approx 1.006 * T \quad (2.35)$$

$$h_w \approx 2501 + 1.86 * T \quad (2.36)$$

Donde T es la temperatura de bulbo seco en $^{\circ}C$. La entalpía específica del aire en [$\frac{kJ}{kg_{da}}$] equivale entonces a:

$$h = 1.006 * T + W * (2501 + 1.86 * T) \quad (2.37)$$

2.2.6. TERMODINÁMICA DE LA TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO Y PUNTO DE ROCÍO

Para cualquier estado del aire húmedo, existe una temperatura T^* a la cual el agua líquida (o sólida) se evapora en el aire para llevarlo hasta la saturación precisamente a la misma temperatura y presión total.

- La proporción de humedad incrementa desde el valor inicial W hasta W_s^* , a la temperatura de saturación T^* correspondiente.
- La entalpía incrementa desde un valor inicial h hasta h_s^* , a la temperatura de saturación T^* correspondiente.
- La masa de agua añadida por unidad de aire seco es $(W_s^* - W)$, la cual agrega energía a la cantidad de aire húmedo $(W_s^* - W) * h_w^*$, donde h_w^* denota la entalpía específica en kJ/kg_w de agua añadida a la temperatura T^* .

Por lo tanto, si el proceso es estrictamente adiabático, la conservación de entalpía a la presión total constante requiere que:

$$h + (W_s^* - W) * h_w^* = h_s^* \quad (2.38)$$

W_s^* , h_w^* y h_s^* son funciones solo de la temperatura t^* para valores de presión fijos. El valor de T^* que satisface la ecuación 2.38 para valores de h , W y p dados corresponde a la temperatura termodinámica de bulbo húmedo.

Un **psicrómetro** consiste en dos termómetros; el bulbo de un termómetro está cubierto por una mecha que se moja completamente con agua. Cuando el bulbo húmedo es colocado al aire libre, el agua se evapora de la mecha, como consecuencia de esto, el termómetro medirá una temperatura de equilibrio llamada **Temperatura de bulbo húmedo**. Este no es un proceso de saturación adiabática, pero sí es un proceso de transferencia de masa y calor simultáneamente desde el bulbo húmedo el que define la temperatura termodinámica de bulbo húmedo.

Como se definió, la temperatura termodinámica de bulbo húmedo es una propiedad única de una muestra de aire húmedo dada independientemente de la técnica de medición empleada. Sustituyendo la relación aproximada de los gases

ideales (Ecuación 2.37) por h , la expresión correspondiente para h_s^* , y la relación aproximada para agua líquida saturada:

$$h_w^* \approx 4.186 * T^* \quad (2.39)$$

Para la ecuación 2.38, y resolviendo para la proporción de humedad,

$$W = \frac{(2501 - 2.326 * T^*) * W_s^* - 1.006 * (T - T^*)}{2501 + 1.86 * T - 4.186 * T^*} \quad (2.40)$$

Donde T y T^* están en °C. Debajo del enfriamiento, las ecuaciones correspondientes son:

$$h_w^* \approx -333.4 + 2.1 * T^* \quad (2.41)$$

$$W = \frac{(2830 - 0.24 * T^*) * W_s^* - 1.006 * (T - T^*)}{2830 + 1.86 * T - 2.1 * T^*} \quad (2.42)$$

La temperatura del punto de rocío T_d del aire húmedo con proporción de humedad W y presión p se define como la solución $t_d(p, w)$ de $W_s(p, t_d)$. Para gases ideales, esto se reduce a:

$$p_{ws}(T_d) = p_w = (p * W) / (0.621945 + W) \quad (2.43)$$

Donde p_w es la presión parcial del vapor de agua para la muestra de aire húmedo; y $p_{ws}(T_d)$ es la presión de saturación del vapor a la temperatura T_d . La presión de saturación del vapor se obtiene de las tablas de vapor saturado. Alternativamente, la temperatura del punto de rocío se puede calcular directamente por una de las siguientes ecuaciones propuestas por Peppers (1988):

Para temperaturas de punto de rocío entre 0 y 93°C

$$T_d = C_{14} + C_{15} * \alpha + C_{16} * \alpha^2 + C_{17} * \alpha^3 + C_{18} * (p_w)^{0.1984} \quad (2.44)$$

Por debajo de 0°C:

$$T_d = 6.09 + 12.608 * \alpha + 0.4959 * \alpha^2 \quad (2.45)$$

Donde T_d = temperatura del punto de rocío, °C

$\alpha = \ln(p_w)$

p_w = presión parcial del vapor de agua, kPa

$$C_{14} = 6.54$$

$$C_{15} = 14.526$$

$$C_{16} = 0.7389$$

$$C_{17} = 0.09486$$

$$C_{18} = 0.4569$$

2.2.7. CARTAS PSICROMÉTRICAS

Una carta psicrométrica representa gráficamente las propiedades termodinámicas del aire húmedo. La escogencia de coordenadas para una carta psicrométrica es arbitraria. Una carta psicrométrica con coordenadas de entalpía y proporción de humedad provee la solución gráfica conveniente para muchos problemas con un mínimo de aproximaciones termodinámicas.

Se adjunta en el **Apéndice 2** la Carta psicrométrica No. 1 desarrollada por la ASHRAE de cinco cartas en total, las cuales se diferencian en la altura sobre el nivel del mar para la cuál tiene validez, y por ende las presiones atmosféricas correspondientes a esas alturas.

2.3. NORMATIVIDAD DEL URE EN COLOMBIA LEY 697 de 2001

En Colombia la ley que rige el uso racional y eficiente de la energía, es la ley 697 de 2001 la cual promueve la utilización de energías alternativas y el consumo racional de la energía. Esta decreta lo siguiente:

Artículo 1°. Declárase el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, fundamental para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales.

1. URE: Es el aprovechamiento óptimo de la energía en todas y cada una de las cadenas energéticas, desde la selección de la fuente energética, su producción, transformación, transporte, distribución, y consumo incluyendo su reutilización cuando sea posible, buscando en todas y cada una de las actividades, de la cadena el desarrollo sostenible.
2. Uso eficiente de la energía: Es la utilización de la energía, de tal manera que se obtenga la mayor eficiencia energética, bien sea de una forma original de energía y/o durante cualquier actividad de producción, transformación, transporte, distribución y consumo de las diferentes formas de energía, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables.
3. Desarrollo sostenible: Se entiende por desarrollo sostenible el que conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de la vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades.
4. Aprovechamiento óptimo: Consiste en buscar la mayor relación beneficio-costos en todas las actividades que involucren el uso eficiente de la energía, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables.
5. Fuente energética: Todo elemento físico del cual podemos obtener energía, con el objeto de aprovecharla. Se dividen en fuentes energéticas convencionales y no convencionales.
6. Cadena Energética: Es el conjunto de todos los procesos y actividades tendientes al aprovechamiento de la energía que comienza con la fuente energética misma y se extiende hasta su uso final.
7. Eficiencia Energética: Es la relación entre la energía aprovechada y la total utilizada en cualquier proceso de la cadena energética, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre medio ambiente y, los recursos naturales renovables.

2.4. NORMA INTERNACIONAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES USADA POR eQUEST LEED (Leadership in Energy & Environmental Design)

LEED es un sistema de certificación de edificios sostenibles, desarrollado por el Consejo de Construcción Verde de Estados Unidos (U.S. Green Building Council) compuesto de un conjunto de normas sobre la utilización de estrategias encaminadas a la sostenibilidad en todo tipo de edificios y cuyo diseño permite el uso eficiente de los recursos naturales.

La certificación LEED está disponible para todos los tipos de construcción incluyendo: las construcciones nuevas y las remodelaciones de gran magnitud, edificios existentes, los interiores comerciales, estructura y fachada, escuelas, centros de salud, establecimientos comerciales y el desarrollo de vecindades.

LEED es un sistema de puntos los cuales se obtienen por satisfacer criterios específicos de construcción sustentable. En cada una de las siete categorías de créditos LEED, los proyectos deben satisfacer determinados pre-requisitos y ganar puntos.

Las cinco categorías incluyen Sitios Sustentables (SS), Ahorro de Agua (WE), Energía y Atmósfera (EA), Materiales y Recursos (MR) y Calidad Ambiental de los Interiores (IEQ). Una categoría adicional, Innovación en el Diseño (ID). El número de puntos obtenidos por el proyecto determina el nivel de certificación LEED que el proyecto recibirá. La Certificación LEED está disponible en cuatro niveles progresivos de acuerdo con la siguiente escala:

Existe una base de 100 puntos; además de 6 posibles puntos en Innovación en el Diseño y 4 puntos en Prioridad Regional.

4: Tabla de puntos LEED

Certified (Certificado)	40 - 49 puntos
Silver (Plata)	50 - 59 puntos
Gold (Oro)	60 - 79 puntos
Platinum (Platino)	80 puntos o más

FUENTE: U.S Green Building Council, USGBC. Leadership in Energy & Environmental Design, LEED. Estados Unidos 2014.

La certificación LEED es la validación por parte de terceros del rendimiento de una construcción. Los proyectos certificados LEED combinan el rendimiento ambiental, económico y el rendimiento orientado a los ocupantes. Estas construcciones son menos costosas de operar y mantener y ahorran agua y energía. Además, tienen tasas más altas de arrendamiento que los edificios convencionales en sus mercados, son más saludables y seguras para los ocupantes y son una representación física de los valores de las organizaciones que las poseen y las ocupan.

3. CÁLCULO DE CARGAS DE ENFRIAMIENTO EN EDIFICACIONES NO RESIDENCIALES

El cálculo de las cargas de enfriamiento y calentamiento hacen parte fundamental del diseño primario para la mayoría de los sistemas de calefacción y acondicionamiento de aire. Estos cálculos afectan el dimensionamiento de tuberías, ductos, difusores, unidades manejadoras de aire, calderas, chiller, compresores, ventiladores y todo tipo de componentes de los sistemas que acondicionan los ambientes internos. El cálculo de estas cargas puede afectar significativamente el costo inicial de una construcción de un edificio, el confort y la productividad de los ocupantes, además de los costos de operación y consumo de energía. Dicho de otra manera, las cargas de enfriamiento y calentamiento son las tasas de energía que debe suministrarse (calefacción) o removerse (enfriamiento) requeridos para mantener un ambiente interno a las condiciones de temperatura y humedad deseados. En este capítulo se hará un breve tratado sobre el cálculo de las cargas de enfriamiento concernientes a las requeridas por el programa de simulación energética eQUEST. Para una ampliación de la información se recomienda leer el Capítulo 18 del Manual de Fundamentos de la ASHRAE (2009), *Non residential cooling and heating load calculations*.

3.1. PRINCIPIOS DEL CÁLCULO DE CARGAS DE ENFRIAMIENTO

Las cargas de enfriamiento son el resultado de los procesos de transferencia de calor a través de conducción, convección y radiación a través de la envolvente del edificio y desde fuentes internas y componentes de los sistemas. Los componentes que pueden afectar la carga de enfriamiento están incluidos en los siguientes parámetros:

- Externa: Paredes, pisos, techos, ventanas, claraboyas, puertas, tabiques y cielo raso.
- Interna: Iluminación, personas, electrodomésticos y equipos.
- Infiltración: Fugas de aire y migración de humedad.

- Sistemas: Aire exterior, fugas y ganancias de calor en los ductos, recalentamiento, energía de los ventiladores y bombas; y recuperación de calor.

Debido a que la funcionalidad de eQUEST permite de manera autónoma al cálculo y evaluación de las ganancias de calor externas mediante la introducción de toda la información requerida para tal fin (materiales de techos, pisos, paredes; condición climática, configuración de geometría, orientación y arquitectura, entre otros); a continuación éste capítulo se enfocará al cálculo de las cargas internas y de infiltración que son necesarias introducir manualmente al programa de acuerdo a las condiciones específicas de cada zona.

3.1.1. PERSONAS

La **Tabla 5** 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.

Tabla 5. Tasas representativas a las cuales el calor y la humedad son emitidas por el cuerpo humano en diferentes estados de actividades.

Degree of Activity		Total Heat, W		Sensible Heat, W	Latent Heat, W	% Sensible Heat that is Radiant ^b	
		Adult Male	Adjusted, M/F ^a			Low V	High V
		Seated at theater	Theater, matinee	115	95	65	30
Seated at theater, night	Theater, night	115	105	70	35	60	27
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	130	115	70	45		
Moderately active office work	Offices, hotels, apartments	140	130	75	55		
Standing, light work; walking	Department store; retail store	160	130	75	55	58	38
Walking, standing	Drug store, bank	160	145	75	70		
Sedentary work	Restaurant ^c	145	160	80	80		
Light benchwork	Factory	235	220	80	140		
Moderate dancing	Dance hall	265	250	90	160	49	35
Walking 4.8 km/h; light machine work	Factory	295	295	110	185		

Bowling ^d	Bowling alley	440	425	170	255		
Heavy work	Factory	440	425	170	255	54	19
Heavy machine work; lifting	Factory	470	470	185	285		
Athletics	Gymnasium	585	525	210	315		

Notes:

1. Tabulated values are based on 24°C room dry-bulb temperature. For 27°C room dry bulb, total heat remains the same, but sensible heat values should be decreased by approximately 20%, and latent heat values increased accordingly.

2. Also see Table 4, Chapter 9, for additional rates of metabolic heat generation.

3. All values are rounded to nearest 5 W.

An adjusted heat gain is based on normal percentage of men, women, and children for the application listed, and assumes that gain from an adult

female is 85% of that for an adult male, and gain from a child is 75% of that for an adult male.

B Values approximated from data in Table 6, Chapter 9, where V is air velocity with limits shown in that table.

C Adjusted heat gain includes 18 W for food per individual (9 W sensible and 9 W latent).

D Figure one person per alley actually bowling, and all others as sitting (117 W) or standing or walking slowly (231 W).

Fuente: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Manual de fundamentos (2009), capítulo 18: NONRESIDENTIAL COOLING AND HEATING LOAD CALCULATIONS.

3.1.2. ILUMINACIÓN

Debido a que la iluminación es a menudo uno de los principales componentes de la carga de refrigeración del espacio, se necesita una estimación precisa de la ganancia de calor que esta impone. El cálculo de este componente no es tan sencillo; la tasa de carga de enfriamiento por iluminación en algún momento dado puede ser muy diferente a su equivalente térmico de la potencia suministrada instantáneamente a estas luces debido al almacenamiento de calor.

Ganancia de calor instantánea debida a la iluminación

La fuente principal de calor de las iluminarias proviene de los elementos emisores de luz o lámparas, sin embargo un calor adicional significativo puede ser generado por los balastos y otros dispositivos anexos a las iluminarias. Generalmente la tasa de ganancia de calor sensible proveniente de la iluminación eléctrica puede ser calculada por la siguiente ecuación:

$$q_{el} = W * F_{ul} * F_{sa} \quad (3.1)$$

Donde q_{el} es la ganancia de calor [W], W es el vatiaje del total de las luces [W], F_{ul} es el factor de uso de iluminación y F_{sa} es el factor especial de reducción de iluminación.

La potencia total de las luces es obtenida de las especificaciones de las lámparas instaladas. Los balastos no están incluidos, por eso se direcciona un factor por aparte. La potencia de los balastos magnéticos es significativa; mientras que la energía consumida por los balastos electrónicos de alta eficiencia puede ser insignificante comparado con el de las lámparas.

El factor de uso de las iluminarias es la relación de la potencia en uso sobre las condiciones bajo la cual se hace la estimación de la carga para una potencia total instalado. Para aplicaciones comerciales, como almacenes de cadena este factor generalmente es 1.

El factor especial de reducción de iluminación es la relación del consumo de potencia de los accesorios de iluminación, incluyendo lámparas y balastos, con el consumo de potencia nominal de las lámparas. Para luces incandescentes este factor es 1. Para las luces fluorescentes, representa la energía consumida por el balastro, así como el efecto del balastro en el consumo de energía de la lámpara. Este factor puede ser menor de 1 para balastos electrónicos que reducen el consumo de electricidad por debajo del consumo de potencia nominal de la lámpara. Utilice los valores de los fabricantes para el sistema (lámparas +balastro) de potencia, cuando esté disponible.

Una forma alternativa es estimar la ganancia de calor en una base por metro cuadrado. Se puede recurrir a este enfoque cuando no están disponibles los planes de iluminación. La **Tabla 6** muestra la máxima densidad de potencia de iluminación (LPD, por sus siglas en inglés, en unidades de ‘ganancia de calor por iluminación por cada metro cuadrado’); avalado por la Norma ASHRAE 90.1-2007 para varios tipos de espacios.

Tabla 6. Densidades de potencia de iluminación según Norma ASHRAE 90.1-2007.

CommonSpaceTypes*	LPD,W/m ²	Building-SpecificSpaceTypes	LPD,W/m ²
Office—enclosed	12	Gymnasium/exercisecenter	
Office—openplan	12	PlayingArea	15
Conference/meeting/multipurpose	14	ExerciseArea	10
Classroom/lecture/training	15	Courthouse/policestation/penitentiary	

Forpenitentiary	14	Courtroom	20
Lobby	14	Confinementcells	10
Forhotel	12	Judges' chambers	14
Forperformingartstheater	36	FireStations	
Formotionpicturetheater	12	Engineroom	9
Audience/seatingArea	10	Sleepingquarters	3
Forgymnasium	4	Postoffice—sortingarea	13
Forexercisecenter	3	Conventioncenter—exhibitspace	14
Forconventioncenter	8	Library	
Forpenitentiary	8	Cardfileandcataloging	12
Forreligiousbuildings	18	Stacks	18
Forsportsarena	4	Readingarea	13
Forperformingartstheater	28	Hospital	
Formotionpicturetheater	13	Emergency	29
Fortransportation	5	Recovery	9
Atrium—firstthreefloors	6	Nurses' station	11
Atrium—eachadditionalfloor	2	Exam/treatment	16
Lounge/recreation	13	Pharmacy	13
Forhospital	9	Patientroom	8
DiningArea	10	Operatingroom	24
Forpenitentiary	14	Nursery	6
Forhotel	14	Medicalsupply	15
Formotel	13	Physicaltherapy	10
Forbarlounge/leisuredining	15	Radiology	4
Forfamilydining	23	Laundry—washing	6
Foodpreparation	13	Automotive—service/repair	8
Laboratory	15	Manufacturing	
Restrooms	10	Lowbay(<7.6mfloortoceilingheight)	13
Dressing/locker/fittingroom	6	Highbay(≥7.6mfloortoceilingheight)	18
Corridor/transition	5	Detailedmanufacturing	23
Forhospital	11	Equipmentroom	13
Formanufacturingfacility	5	Controlroom	5
Stairs—active	6	Hotel/motelguestrooms	12
Activestorage	9	Dormitory—livingquarters	12
Forhospital	10	Museum	
Inactivestorage	3	Generalexhibition	11
Formuseum	9	Restoration	18
Electrical/mechanical	16	Bank/office—bankingactivityarea	16
Workshop	20	Religiousbuildings	
Salesarea[foraccentlighting, seeSection9.6.2(B)of ASHRAEStandard90.1]	18	Worshipulpit,choir	26
		Fellowship hall	10
		Retail	
		Sales area for accent lighting, see Section 9.6.3(C) of ASHRAE Standard 90.1]	18
		Mall concourse	18
		Sports arena	
		Ring sports area	29
		Courtsportsarea	25
		Indoorplayingfieldarea	15
		Warehouse	
		Finematerialstorage	15
		Medium/bulkymaterialstorage	10
		Parkinggarage—garagearea	2
		Transportation	
		Airport—concourse	6
		Air/train/bus—baggagearea	11
		Terminal—ticketcounter	16

Source: ASHRAE Standard 90.1-2007.

*In cases where both a common space type and a building-specific type are listed, the building-specific space type applies.

Fuente: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Manual de fundamentos (2009), capítulo 18: NONRESIDENTIAL COOLING AND HEATING LOAD CALCULATIONS.

3.1.3. MOTORES ELÉCTRICOS

La ganancia instantánea de calor sensible en un espacio acondicionado debido a los equipos operados por motores eléctricos se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$q_{em} = \left(\frac{P}{E_M} \right) * F_{UM} * F_{LM} \quad (3.2)$$

Donde q_{em} es el calor equivalente de operación del equipo [W], P es el rango de potencia de operación, [W]; E_M Eficiencia del motor, es una fracción decimal menor a 1; F_{UM} Factor de uso del motor, equivale a 1 o menor a 1 y F_{LM} Factor de carga del motor, equivale a 1 o menor a 1.

El factor de uso del motor puede ser aplicado cuando se sabe que el uso del motor es intermitente, con un periodo de desuso significativo durante todas las horas de operación. Para aplicaciones convencionales este factor equivale a 1.

El factor de carga del motor es la fracción de la tasa de carga entregada bajo las condiciones de carga de enfriamiento estimada.

En la Ecuación 5.2 se considera que el motor y el equipo impulsado por este se encuentran en el espacio acondicionado. La ecuación 5.3 considera el motor fuera por fuera, mientras que la ecuación 5.4 considera el equipo por fuera.

$$q_{em} = P * F_{UM} * F_{LM} \quad (3.3)$$

$$q_{qm} = P * \left(\frac{1.0 - E_M}{E_M} \right) * F_{UM} * F_{EM} \quad (3.4)$$

La ecuación 5.4 también aplica para un ventilador o bomba en el espacio acondicionado utilizado para impulsar fluidos fuera del espacio.

La **Tabla 7** ofrece unas eficiencias mínimas y datos representativos de motores típicos de la Norma ASHRAE 90.1-2007.

Tabla 7. Eficiencia nominal mínima para motores de propósitos generales de Diseño A y B*

Number of Poles ⇒	Minimum Nominal Full-Load Efficiency, %					
	Open Motors			Enclosed Motors ⁴		
	2	4	6	2	6	
Synchronous Speed (RPM) ⇒	3600	1800	1200	3600	1800	1200
Motor Kilowatts						
0.8	—	82.5	80.0	75.5	82.5	80.0
1.1	82.5	84.0	84.0	82.5	84.0	85.5
1.5	84.0	84.0	85.5	84.0	84.0	86.5
2.2	84.0	86.5	86.5	85.5	87.5	87.5
3.7	85.5	87.5	87.5	87.5	87.5	87.5
5.6	87.5	88.5	88.5	88.5	89.5	89.5
7.5	88.5	89.5	90.2	89.5	89.5	89.5
11.1	89.5	91.0	90.2	90.2	91.0	90.2
14.9	90.2	91.0	91.0	90.2	91.0	90.2
18.7	91.0	91.7	91.7	91.0	92.4	91.7
22.4	91.0	92.4	92.4	91.0	92.4	91.7
29.8	91.7	93.0	93.0	91.7	93.0	93.0
37.3	92.4	93.0	93.0	92.4	93.0	93.0
44.8	93.0	93.6	93.6	93.0	93.6	93.6
56.0	93.0	94.1	93.6	93.0	94.1	93.6
74.6	93.0	94.1	94.1	93.6	94.5	94.1
93.3	93.6	94.5	94.1	94.5	94.5	94.1
111.9	93.6	95.0	94.5	94.5	95.0	95.0
149.2	94.5	95.0	94.5	95.0	95.0	95.0

Source: ASHRAE Standard 90.1-2007.

*Nominal efficiencies established in accordance with NEMA Standard MG1. Designs A and B are National Electric Manufacturers Association (NEMA) design class designations for fixed-frequency small and medium AC squirrel-cage induction motors.

Fuente: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Manual de fundamentos (2009), capítulo 18: NONRESIDENTIAL COOLING AND HEATING LOAD CALCULATIONS.

3.1.4. EQUIPO MISCELÁNEO DE OFICINA, COCINA, Y ELECTRODOMÉSTICOS.

A continuación se muestra la información en la que se basó este proyecto para cuantificar la carga de cada uno de estos equipos al momento de ingresarlos al programa de simulación energética eQUEST; comenzando por la determinación de la ganancia de calor debido a los equipos de cómputos comunes (**Tabla 8**), luego con los equipos de impresora, escáner y fotocopiadoras (**Tabla 9**), siguiendo con los equipos misceláneos de oficina, tales como cafeteras eléctricas, trituradoras de papel, entre otras (**Tabla 10**) Después con la determinación de un

criterio de densidades de cargas en oficinas (Tabla 11) y finalizando con los electrodomésticos más comunes en edificaciones no residenciales (Tabla 12).

Tabla 8. Ganancia de calor recomendada para equipos de cómputo comunes.

Equipment	Description	Nameplate Power Consumption, W	Average Power Consumption, W
Desktop computer ^a	Manufacturer A (model A); 2.8GHz processor, 1GBRAM	480	73
	Manufacturer A (model B); 2.6GHz processor, 2GBRAM	480	49
	Manufacturer B (model A); 3.0GHz processor, 2GBRAM	690	77
	Manufacturer B (model B); 3.0GHz processor, 2GBRAM	690	48
Laptop computer ^b	Manufacturer A (model C); 2.3GHz processor, 3GBRAM	1200	97
	Manufacturer 1; 2.0GHz processor, 2GBRAM, 430mm screen	130	36
	Manufacturer 1; 1.8GHz processor, 1GBRAM, 430mm screen	90	23
	Manufacturer 1; 2.0GHz processor, 2GBRAM, 355mm screen	90	31
	Manufacturer 2; 2.13GHz processor, 1GBRAM, 355mm screen, tablet PC	90	29
	Manufacturer 2; 366MHz processor, 130MBRAM, 355mm screen	70	22
Flat-panel monitor ^c	Manufacturer 3; 900MHz processor, 256MBRAM (265mm)	50	12
	Manufacturer X (model A); 760mm screen	383	90
	Manufacturer X (model B); 560mm screen	360	36
	Manufacturer Y (model A); 480mm screen	288	28
	Manufacturer Y (model B); 430mm screen	240	27
	Manufacturer Z (model A); 430mm screen	240	29
	Manufacturer Z (model C); 380mm screen	240	19

Source: Hosni and Beck (2008).

^aPower consumption for newer desktop computers in operational mode varies from 50 to 100W, but a conservative value of about 65W may be used. Power consumption in sleep mode is negligible. Because of cooling fan, approximately 90% of load is by convection and 10% is by radiation. Actual power consumption is about 10 to 15% of nameplate value.

^bPower consumption of laptop computers is relatively small; depending on processor speed and screen size, it varies from about 15 to 40W. Thus, differentiating between radiative and convective parts of the cooling load is unnecessary and the entire load may be classified as convective. Otherwise, a 75/25% split between convective and

radiative components may be used. Actual power consumption for laptops is about 25% of nameplate values.

^cFlat-panel monitors have replaced cathode ray tube (CRT) monitors in many workplaces, providing better resolution and being much lighter. Power consumption depends on size and resolution, and ranges from about 20W (for 380mm size) to 90W (for 760mm). The most common sizes in workplaces are 480 and 560mm, for which an average 30W power consumption value may be used. Use 60/40% split between convective and radiative components. In idle mode, monitors have negligible power consumption. Nameplate value should not be used.

Fuente: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Manual de fundamentos (2009), capítulo 18: NONRESIDENTIAL COOLING AND HEATING LOAD CALCULATIONS.

Tabla 9. Ganancia de calor recomendado para impresoras, escáneres y fotocopiadoras.

Equipment	Description	Nameplate Power Consumption, W	Average Power Consumption, W
Laser printer, typical desktop,	Printing speed up to 10 pages per minute	430	137
	Printing speed up to 35 pages per minute	890	74
small-office type ^a	Printing speed up to 19 pages per minute	5	88
	Printing speed up to 17 pages per minute	508	98
	Printing speed up to 19 pages per minute	635	110
	Printing speed up to 24 pages per minute	1	130
	Small, desktop type	600	30

Multifunction		40	15
(copy, print, scan) ^b	Medium,desktoptype	700	135
Scanner ^b	Small,desktoptype	19	16
Copymachine ^c	Large,multiuser,officetype	1750	800(idle260 W)
		1440	550(idle135W)
		1850	1060(idle305W)
Fax machine	Medium	936	90
	Small	40	20
Plotter	ManufacturerA	400	250
	ManufacturerB	456	140

Source: Hosni and Beck (2008).

^aVarious laser printers commercially available and commonly used in personal offices were tested for power consumption in print mode, which varied from 75 to 140 W, depending on model, print capacity, and speed. Average power consumption of 110 W may be used. Split between convection and radiation is approximately 70/30%.

^bSmall multifunction (copy, scan, print) systems use about 15 to 30 W; medium sized ones use about 135 W. Power consumption in idle mode is negligible.

Nameplate values do not represent actual power consumption and should not be used. Small, single-sheet scanners consume less than 20 W and do not contribute significantly to building cooling load.

^cPower consumption for large copy machines in large offices and copy centers ranges from about 550 to 1100 W in copy mode. Consumption in idle mode varies from about 130 to 300 W. Count idle-mode power consumption as mostly convective in cooling load calculations.

Fuente: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Manual de fundamentos (2009), capítulo 18: NONRESIDENTIAL COOLING AND HEATING LOAD CALCULATIONS.

Tabla 10. Ganancia de calor recomendado para equipo misceláneo de oficina.

Equipment	Maximum Input Rating, W	Recommended Rate of Heat Gain, W
Mail-processing equipment		
Folding machine	125	80
Inserting machine, 3600 to 6800 pieces/h	600 to 3300	390 to 2150
Labeling machine, 1500 to 30 000 pieces/h	600 to 6600	390 to 4300
Postagemeter	230	150
Vending machines		
Cigarette	72	72
Cold food/beverage	1150 to 1920	575 to 960
Hot beverage	1,725	862
Snack	240 to 275	240 to 275
Other		
Bar code printer	440	370
Cash registers	60	48
Check processing workstation, 12 pockets	4800	2470
Coffeemaker, 10 cups	1500	1050 sens., 450 latent
Microfilm reader	85	85
Microfilm reader	520	520
Microfilm reader/printer	1150	1150
Microwave oven, 28L	600	400

Papershredder
Watercooler,30L/h

250to3000
700

200to2420
350

Fuente: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Manual de fundamentos (2009), capítulo 18: NONRESIDENTIAL COOLING AND HEATING LOAD CALCULATIONS.

Tabla 11. Cargas de enfriamiento estimadas para varias densidades de cargas en oficinas.

LoadDensity*	Num-ber	Each, W	Total, W	Diver-sity	Load, W
Light					
Computers	6	55	330	0.67	220
Monitors	6	55	330	0.67	220
Laserprinter—smalldesktop	1	130	130	0.33	43
Faxmachine	1	15	15	0.67	10
TotalAreaLoad					494
Recommended equipment load factor = 5.4 W/m ²					
Medium					
Computers	8	65	520	0.75	390
Monitors	8	70	560	0.75	420
Laserprinter—desk	1	215	215	0.5	108
Faxmachine	1	15	15	0.75	11
TotalAreaLoad					929
Recommended equipm					
Medium/Heavy					
Computers	10	65	650	1	650
Monitors	10	70	700	1	700
Laserprinter—smalloffice	1	320	320	0.5	160
Facsimilemachine	1	30	30	0.5	15
TotalAreaLoad					1525
Recommended equipment load factor = 16.1 W/m ²					
HeavyLoadDensity^a					
Computers	12	75	900	1	900
Monitors	12	80	960	1	960
Laserprinter-smalloffice	1	320	320	0.5	160
Facsimilemachine	1	30	30	0.5	15
TotalAreaLoad					2035
Recommended equipment load factor = 21.5 W/m ²					

Source: Wilkins and Hosni (2000).

Fuente: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Manual de fundamentos (2009), capítulo 18: NONRESIDENTIAL COOLING AND HEATING LOAD CALCULATIONS.

Tabla 12. Tasas recomendadas de ganancias de calor radiante y convectivo de electrodomésticos comunes.

Appliance	Energ Rate,W		RateofHeatGain,W				UsageFactorF _U	Radiation FactorF _r
	Rated	Standb	Sensibl eRadia	Sensibl eConvect	Latent	Total		
Cabinet:hotserving(large),insulated*	1993	352	117	234	0	352	0.18	0.33
Cabinet:hotserving(large),uninsulate	1993	1026	205	821	0	1026	0.51	0.2

d

Cabinet:proofing(large)*	5099	410	352	0	59	410	0.08	0.86
Cabinet:proofing(small-15shelf)	4191	1143	0	264	879	1143	0.27	0
Coffeebrewingurn	3810	352	59	88	205	352	0.08	0.17
Drawerwarmers,2-drawer(moistholding)*	1202	147	0	0	59	59	0.12	0
Eggcooker	3194	205	88	117	0	205	0.06	0.43
Espressomachine*	2403	352	117	234	0	352	0.15	0.33
Foodwarmer:steamtable(2-well-type)	1495	1026	88	176	762	1026	0.69	0.08
Freezer(small)	791	322	147	176	0	322	0.41	0.45
Hotdogroller*	996	703	264	440	0	703	0.71	0.38
Hotplate:singleburner,highspeed	1114	879	264	615	0	879	0.79	0.3
Hot-foodcase(dryholding)*	9115	733	264	469	0	733	0.08	0.36
Hot-foodcase(moistholding)*	9115	967	264	528	176	967	0.11	0.27
Microwaveoven:commercial(heavyduty)	3194	0	0	0	0	0	0	0
Oven:countertopconveyorizedbake/finishing*	6008	3693	645	3048	0	3693	0.61	0.17
Panini*	1700	938	352	586	0	938	0.55	0.38
Popcornpopper*	586	59	29	29	0	59	0.1	0.5
Rapid-cookoven(quartz-halogen)*	12016	0	0	0	0	0	0	0
Rapid-cookoven(microwave/convection)*	7297	1202	293	909	0	293	0.16	0.24
Reach-inrefrigerator*	1407	352	88	264	0	352	0.25	0.25
Refrigeratedpretable*	586	264	176	88	0	264	0.45	0.67
Steamer(bun)	1495	205	176	29	0	205	0.14	0.86
Toaster:4-slicepopup(large):cooking	1788	879	59	410	293	762	0.49	0.07
Toaster:contact(vertical)	3312	1553	791	762	0	1553	0.47	0.51
Toaster:conveyor(large)	9613	3019	879	2139	0	3019	0.31	0.29
Toaster:smallconveyor	1700	1084	117	967	0	1084	0.64	0.11
Waffleiron	909	352	234	117	0	352	0.39	0.67

Source: Swierczuna et al. (2008, 2009)

Fuente: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Manual de fundamentos (2009), capítulo 18: NONRESIDENTIAL COOLING AND HEATING LOAD CALCULATIONS.

3.1.5. GANANCIAS DE CALOR DEBIDO A LA INFILTRACIÓN Y MIGRACIÓN DE HUMEDAD.

A continuación se especifica el método usado para calcular los valores de infiltraciones por cada piso en el edificio proyectado a construir en la EIM, necesarios para introducir en el programa de simulación energética eQUEST. Se hace la aclaración que para cuestiones de la simulación en eQUEST sólo se tiene

en cuenta la cantidad de aire infiltrado por cada piso en CFM/ft^2 ; ya que los cálculos de ganancias de calor debido a estos factores lo hace de manera implícita en la simulación. Se recomienda leer el Capítulo 18 de la ASHRAE ya que es de allí donde se fundamenta el cálculo de las ganancias de calor debido a la infiltración y migración de humedad en eQUEST.

Según el modelo simplificado de Sherman and Grimsrud (1980), la tasa del flujo de aire se calcula usando:

$$Q = \frac{A_L}{1000} * \sqrt{C_s * \Delta t + C_w * U^2} \quad (3.5)$$

Donde:

Q = Tasa del flujo de aire, m^3/s

A_L = Área efectiva de las fugas, cm^2

C_s = Coeficiente acumulado, $(\frac{L}{s})^2 / (cm^4 \cdot K)$ (**Tabla 13**)

ΔT = Diferencia de temperatura entre el ambiente interno y externo durante un intervalo de estudio, K

C_w = Coeficiente del viento, $(\frac{L}{s})^2 / [cm^4 \cdot (\frac{m}{s})^2]$

U = Velocidad promedio del viento medido por la estación meteorológica local durante el intervalo de estudio, m/s .

Tabla 13. Coeficientes C_s para el modelo simplificado.

Stackcoefficient	HouseHeight(Stories)		
	One	Two	Three
	0.000145	0.000290	0.000435

Fuente: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Manual de fundamentos (2009), capítulo 16: VENTILATION AND INFILTRATION.

El coeficiente C_w depende de la clase de los alrededores del edificio, considerado en la **Tabla 14**; y la altura del edificio (**Tabla 15**).

Tabla 14. Clases de alrededores del edificio.

ShelterClass	Description
1	No obstructions or local shielding
2	Typical shelter for an isolated rural house
3	Typical shelter caused by other buildings across street from building under study.
4	Typical shelter for urban buildings on larger lots where sheltering obstacles are more than one building height away
5	Typical shelter produced by buildings or other structures immediately adjacent (closer than one house height): e.g., neighboring houses on same side of street, trees, bushes, etc.

Fuente: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Manual de fundamentos (2009), capítulo 16: VENTILATION AND INFILTRATION.

Tabla 15. Coeficiente de viento para el modelo simplificado.

Shelter Class	House Height (Stories)		
	One	Two	Three
1	0.000319	0.000420	0.000494
2	0.000246	0.000325	0.000382
3	0.000174	0.000231	0.000271
4	0.000104	0.000137	0.000161
5	0.000032	0.000042	0.000049

Fuente: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Manual de fundamentos (2009), capítulo 16: VENTILATION AND INFILTRATION.

Para realizar los cálculos de las tablas

Tabla 13 y **Tabla 15** se tuvo en cuenta las siguientes suposiciones:

- Los datos de información de velocidad del viento son aquellos correspondientes al área rural que carece de obstáculos.
- $R=0.5$ (la mitad de las fugas en las paredes del edificio)
- $X=0$ (cantidad nula de fugas en el piso y techo)
- Las alturas del primer, segundo y tercer piso son respectivamente 2.5, 5.0 y 7.5 m.

Para el cálculo del área efectiva de fugas se utiliza la siguiente ecuación cuando un test de presurización no es factible:

$$A_L = 10000 * Q_r * \frac{\sqrt{\rho/2 * \Delta p_r}}{C_D} \quad (3.6)$$

Dónde:

A_L = Área de fugas equivalente, cm^2

Q_r = Flujo de aire previsto a Δp_r (del ajuste de la curva de presurización Figura), m^3/s

ρ = Densidad del aire, kg/m^3

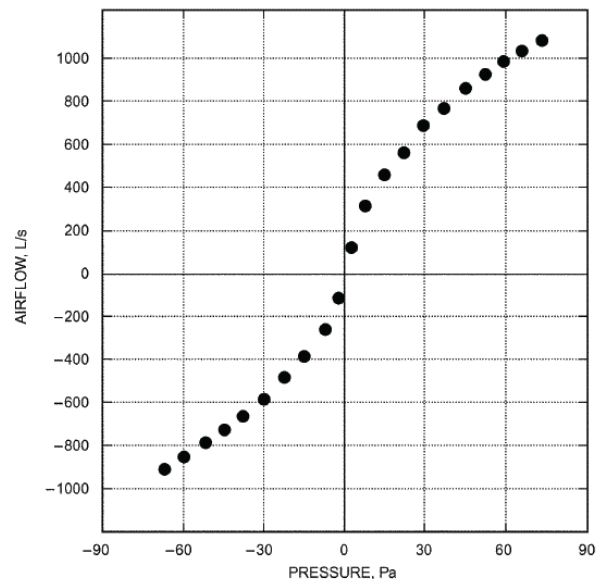
Δp_r = Diferencia de presión de referencia, Pa

C_D = Coeficiente de descarga

Algunas pruebas estandarizadas de hermeticidad consideran el área eficaz de fugas a una diferencia de presión de referencia de $4 Pa$ y un coeficiente de descarga $C_D = 1$ (Sherman and Grimsrud 1980); mientras que cuando se considera $\Delta p_r = 10 Pa$, $C_D = 0.611$ (CGSB Standard 149.10).

Cuando la prueba de hermeticidad se hace a $\Delta p_r = 50 Pa$, la tasa de flujo de aire resultante, dividida por el volumen del edificio resulta en las unidades de cambio de aire por hora (ACH, por sus siglas en inglés) (Blomsterbergand Harrje 1979).

Figura 3. Tasa de flujo de aire vs la diferencia de presión para la prueba de presurización de un edificio completo.



Fuente: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Manual de fundamentos (2009), capítulo 16: VENTILATION AND INFILTRATION.

4. MODELAMIENTO DEL COMPLEJO DE LABORATORIOS

A continuación se desarrollará la metodología planteada en el capítulo y se mostrará un paso a paso del proceso de creación del edificio en el software de simulación energética eQUEST.

4.1. PRELIMINARES PROYECTO EN eQUEST

El primer paso para realizar el análisis energético en eQUEST, es completar la información general del Proyecto, en la **Figura 4** se muestra la interfaz de información general, en la cual es importante definir el nombre del proyecto, el tipo de edificación, el código que se desea evaluar, ya sea la Tittle 24 o la LEED (ambas disponibles para las localidades contenidas en las librerías de eQUEST para Estados Unidos y Canadá), las normas que se tendrán en cuenta a la hora del análisis, las tasas de consumo según las empresas de gas y electricidad y otros detalles como la dirección del edificio, nombre de los autores y año del análisis. Los parámetros usados para el proyecto se muestran en la **Figura 4** se escogió un tipo de edificio personalizado, pues las opciones de EQUSET no cumplían con lo deseado para el complejo de laboratorios no hay un código de análisis, ya que no se pretende evaluar el edificio bajo las normas LEED o California Tittle 24, el tipo de archivo climático se creó con anterioridad (ver sección 6.2) y se importa con la opción *custom*, todo el análisis energético está regido por la norma de la ASHRAE.

Figura 4. Interfaz de información general.

The screenshot shows a software interface titled "General Information" with the following fields and values:

- Project Name:** Analisis Energetico eQuest
- Code Analysis:** - none -
- Building Type:** Unknown, Custom or Mixed Use
- Building Location and Jurisdiction:**
 - Location Set:** User Selected
 - Weather File:** SKBG_2012_hist.bin
 - Jurisdiction:** ASHRAE 90.1
- Utilities and Rates:**
 - Electric:** - custom -
 - Gas:** - custom -
- Other Data:**
 - Analysis Year:** 2014
 - Usage Details:** Hourly Enduse Profile
- Prevent duplicate model components

Fuente: Autores

Las tasas de consumo de gas y electricidad se muestran en la **Tabla 16** cada uno de ellas se tomó del consumo en la ciudad de Bucaramanga, los proveedores de energía eléctrica y gas natural se prestan por la ESSA y GasOriente.

Tabla 16. Tarifas de consumo de los servicio de electricidad y gas

Servicio	Tasas de consumo	Descripción
Electricidad	0.0975 [US\$/kWh]	Esta tarifa se obtuvo de las tarifas de consumo para el año 2014 de la ESSA.
Gas	1.29 [US\$/Therm]	Esta tarifa se obtuvo de las tarifas de consumo para el año 2014 de GasOriente.

Fuente: Electrificadora de Santander S.A. ESP. (ESSA) y GasOriente S.A., ESP; Tarifas de consumo para el 2014.

4.2. ARCHIVO CLIMÁTICO

Para el desarrollo del presente proyecto se necesitó información climática correspondiente a la localidad de Bucaramanga. Los requerimientos de esta información que exige el programa de simulación energética eQUEST corresponden a un historial de los siguientes parámetros medidos cada hora durante un año:

- Temperatura de bulbo seco [$^{\circ}F, ^{\circ}C$]
- Temperatura de bulbo húmedo (o alternativamente la temperatura del punto de rocío o la humedad relativa del aire ambiente) [$^{\circ}F, ^{\circ}C$]
- Radiación solar horizontal [$W/m^2, btu/hr - ft^2$]
- Radiación solar total (horizontal +difusa) (o alternativamente el porcentaje de cielo cubierto) [$W/m^2, btu/hr - ft^2$]
- Velocidad del viento [$mph, m/s, knots$]
- Dirección del viento [deg]
- Opcionales:
 - Indicador de nieve
 - Indicador de lluvias
 - Tipo de nube

Se necesita de un archivo en formato '.bin' para personalizar las condiciones climáticas y tener una mayor aproximación a la realidad en cuanto a la localización del edificio a simular.

El formato típico en que se consiguen los historiales climáticos es '.csv' (Valores separados por comas). Por tal motivo eQUEST posee una herramienta externa para procesar este archivo y convertirlo al formato que se necesita: eQ_WthProc, disponible para descargar desde la página oficial del programa eQUEST.

El archivo de historial climático usado para desarrollar el proyecto fue adquirido de una base de datos de estaciones meteorológicas a nivel global llamada

WeatherAnalytics©⁴, donde es posible comprar información de hasta treinta y cuatro años de historia climática. La estación meteorológica de donde se extrajeron los datos corresponde a la del Aeropuerto Internacional Palonegro de Bucaramanga, ubicado en el municipio de Lebrija, Santander; con código OACI 'SKBG' y los datos correspondientes para el periodo de enero 01 hasta diciembre 31 del 2013.

En el 0A se explica detalladamente el proceso para convertir el archivo de historial climático desde un archivo '.csv' al requerido por eQUEST, '.bin'.

4.3. CREACIÓN DEL EDIFICIO

La primera ventana que se debe especificar es la de la información general de la estructura (**Figura 5**). En esta ventana se puede editar el nombre de la estructura, el tipo de construcción que puede ser entre salas de conferencias, hospitales, oficinas, colegios, universidades y una variedad que eQUEST mostrará al desplegar la lista de opciones. Lo siguiente a especificar es la posición en donde se encontrará esta primera estructura, se recomienda dejar la posición por defecto, eQUEST permitirá la selección del área de la construcción para sugerir luego las medidas predeterminadas, también permite la creación de pisos superiores e inferiores duplicando la estructura actual en la opción *number of floor* ya sea que esté por encima o por debajo, por último, en *other data*, permite la opción de elegir, el control de luces, prevenir duplicado de los componentes y modificar los sufijos y prefijos que llevará cada componente, estas opciones se recomiendan como predeterminadas.

⁴Weather Analytics© Copyright 2014.Disponible online desde la página web oficial: <http://www.weatheranalytics.com/>

Figura 5. Información general de la estructura

General Shell Information

Shell Name:

Building Type:

Specify Exact Site Coordinates X: ft Y: ft Z: ft

Area and Floors

Bldg Shell Area: ft2 Number of Floors: Above Grade: Below Grade:

Other Data

Shell Multiplier: Daylighting Controls: Usage Details:

Prevent duplicate model components Component Name Prefix: Suffix:

(# of Prefix + Suffix characters must be <= 4)

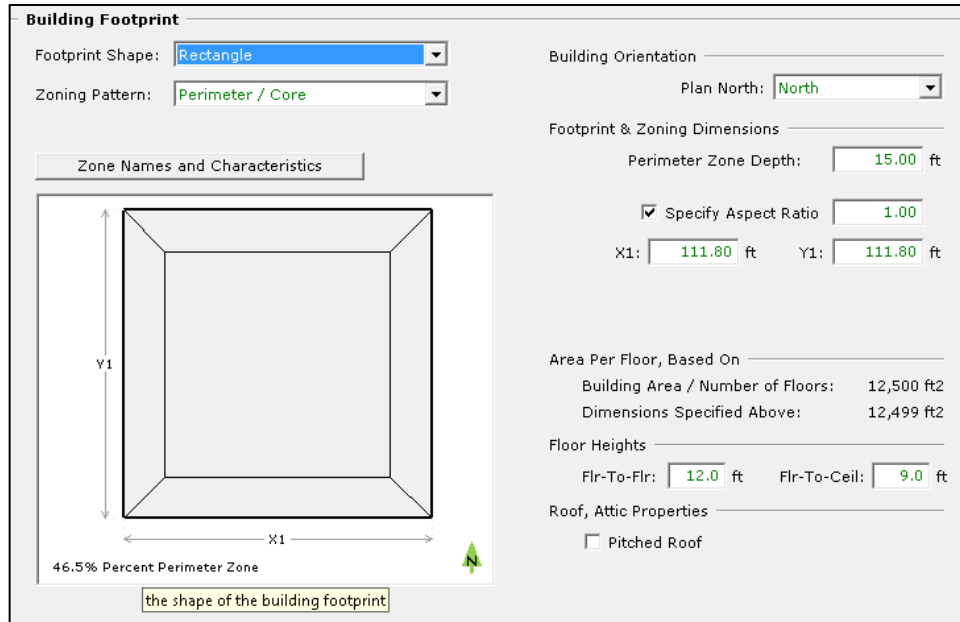
Fuente: Autores

4.4. DISEÑO CAD DEL EDIFICIO EN EQUEST

Para realizar el análisis energético del edificio, eQUEST cuenta con su propia interfaz de diseño CAD, en el cual se puede crear un edificio desde cero en sus opciones **custom**, o bien escoger una plantilla ya creada por el programa.

En la **Figura 6** se muestra la interfaz de eQUEST que trata de la plantilla del edificio, aquí se encuentran varias opciones que pueden ser editadas por el usuario, eQUEST por defecto recomienda algunas como son la orientación, tamaño de las plantillas, y altura del edificio, esto se denota con color verde, al momento de hacer un cambio por el usuario el parámetro cambia a color rojo para identificar que es personalizado.

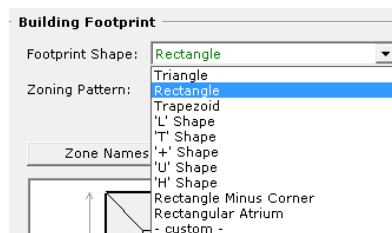
Figura 6. Interfaz plantilla del edificio.



Fuente: Autores

Las formas predeterminadas en las cuales se puede ubicar el edificio se muestran en la **Figura 7** se muestra una breve descripción, al oprimir una opción esta será la forma que tendrá el edificio, eQUEST permite cambiar las dimensiones, por último, la opción *forma personalizada*, para la creación de edificio más detallados, eQUEST da posibilidad a la opción **custom**.

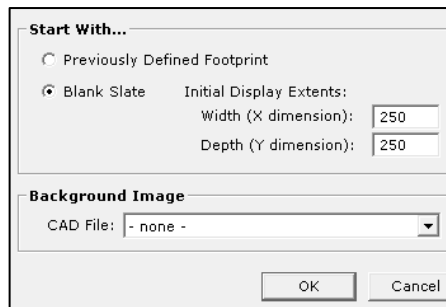
Figura 7. Formas de plantillas predeterminadas.



Fuente: Autores

El proyecto cuenta con planos detallados del edificio, este no tiene una forma predeterminada así que se debe elegir la opción **custom** para la creación, al darle clic en esta opción se abre la interfaz de la plantilla personalizada, **Figura 8**.

Figura 8. Interfaz plantilla personalizada.

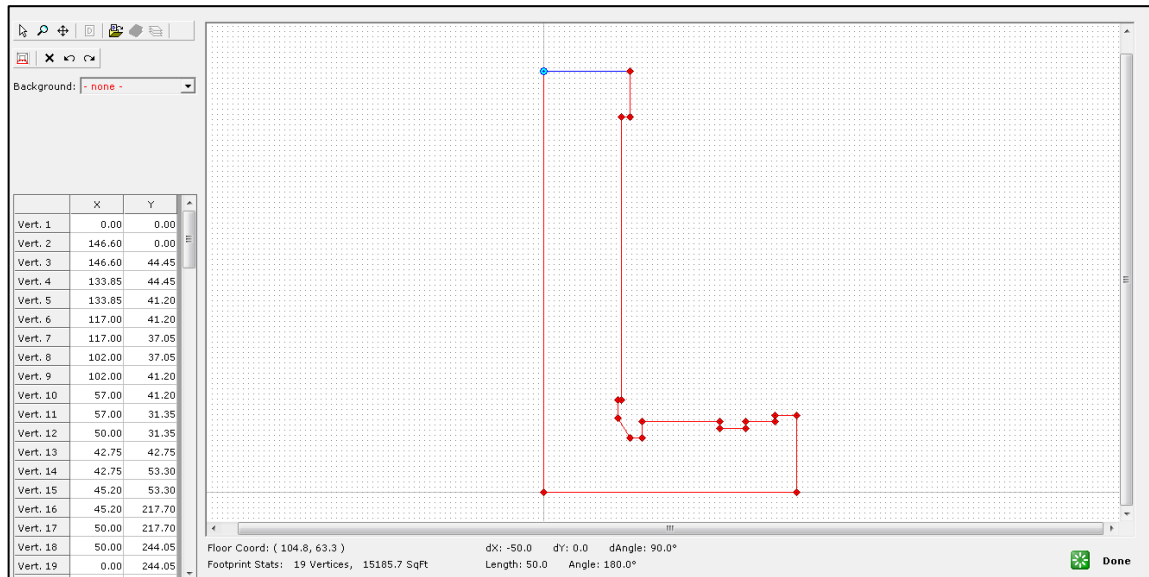


Fuente: Autores

En la interfaz de plantilla personalizada se muestran tres opciones, la primera “Previously Defined Footprint” es crear la plantilla desde una plantilla ya existente, esto es bueno a la hora de crear pisos secundarios, pues se puede guiar desde la plantilla creada del primer piso, la segunda “Blank Slate”. Es crear la plantilla desde blanco, en el cual se dan opciones de tamaño de ventana para trabajar sobres las márgenes del edificio, como una última opción eQUEST permite cargar un archivo CAD ya existente para usar como plantilla, estos archivos son compatibles con software como AutoCAD y Solidworks entre otros.

Al oprimir ok inmediatamente se abrirá la interfaz de creación de plantilla en la cual se trabaja para darle forma al edificio según los planos disponibles (**Figura 9**). Para el proyecto se trabajarán las dos opciones: Para el plano del primer piso se hará mediante la creación de la plantilla desde cero, y para el segundo y tercer piso se cargará de un archivo CAD para desarrollar las dos opciones.

Figura 10. Plantilla terminada primer piso laboratorios.

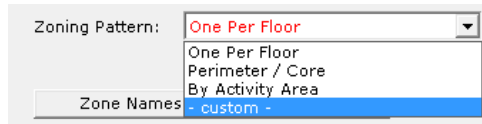


Fuente: Autores

4.4.1.1 ZONAS PRIMER PISO

Una vez se ha llevado a cabo la creación de la plantilla se continua con la creación de las zonas, esta cuenta con tres opciones como muestra la **Figura 11**. La primera opción “One Per Floor” es la creación de una sola zona por piso, esta toma todo el perímetro como una sola zona, esta es ideal para locales de almacenamiento de alimentos en la cual solo haya una habitación, la segunda opción “Perimeter/Core” crea zonas teniendo en cuenta cada vértice y un núcleo similar al perímetro, esta opción es ideal para cuartos con pasillos, la tercera opción “By Activity Area” permitirá crear las zonas dependiendo de la actividad y el área que se lleve a cabo en estas, puede tener una variedad de opciones y ser editado desde la interfaz de “By Activity Area”. El interés de este proyecto se basa en la última opción la opción **custom**, la cual permite que el usuario cree las zonas desde la plantilla de edificio, como muestra la **Figura 12**.

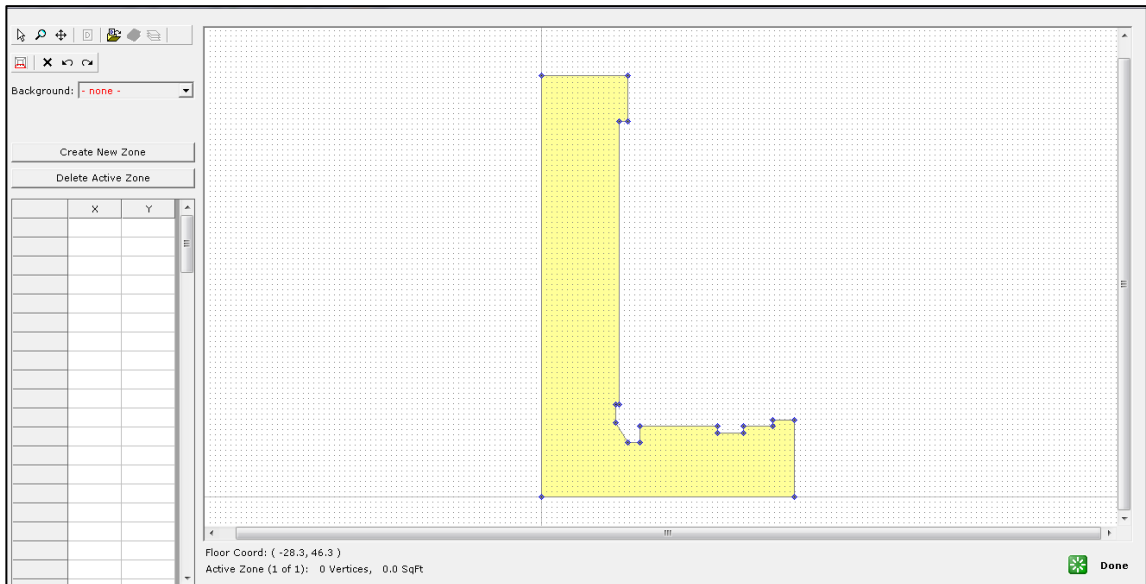
Figura 11. Patrón de zonificación.



Fuente: Autores

En la interfaz de zonas se cuenta con dos opciones nuevas, en las cuales se puede crear una nueva zona o borrar una existente como muestra la **Figura 12**. Nuevamente el asistente funciona de manera similar al de creación de plantilla, en el cual se debe crear un vértice y con este en sentido anti-horario la zona, luego que una zona este lista, se procede a crear una zona nueva, y así hasta terminar las zonas existentes.

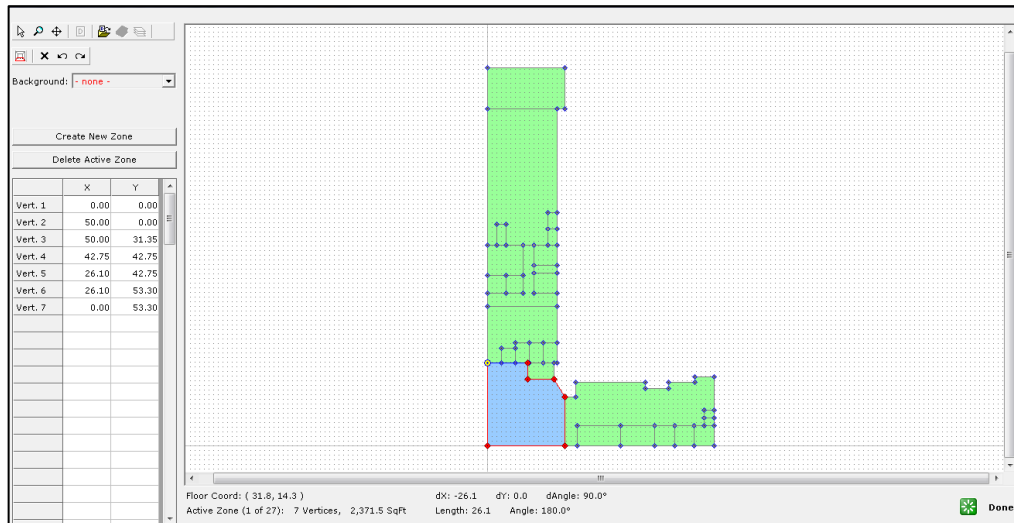
Figura 12. Interfaz de zonificación.



Fuente: Autores

Para el proyecto se han creado 27 zonas cada uno representa un laboratorio del primer piso del complejo de laboratorios, como muestra la **Figura 13**. Estas zonas se en listan en la **Tabla 17**, la creación de las zonas es importante para darles descripciones específicas a cada lugar, estas opciones se verán más adelante.

Figura 13. Zonificación de la planta laboratorios.



Fuente: Autores

Cada una de estas zonas significa un laboratorio u oficina del edificio, un área específica que tiene una descripción específica, en la **Tabla 17** se muestra la descripción de cada zona.

Tabla 17. Descripción de las zonas primer piso

Zona	Descripción
1	Laboratorio de oleo neumática
2	Modelo de ensayos
3	Espacio ambiente controlado
4	Almacén
5	Centro de diagnóstico y mantenimiento
6	Baños
7	Sala de pruebas
8	Laboratorios de motores e instrumentación
9	Cámara de pintura
10	Taller máquinas herramientas

Fuente: Autores.

4.4.2. PLANOS SEGUNDO Y TERCER PISO

Como primera fase para la creación del segundo y tercer piso se debe crear una nueva estructura en el navegador, una vez hecho esto se procede a editar la información general, con un cambio que ahora el asistente permitirá posicionar la nueva edificación tomando en cuenta las edificaciones creadas anteriormente, esto es conveniente, ya que se puede posicionar con mayor facilidad el edificio. Esta opción se muestra en la **Figura 14**.

Figura 14. Información general de la segunda estructura

General Shell Information

Shell Name:

Building Type:

Shell Location within Site

Position this Shell: of Reference Shell:

Distance from Reference Shell: ft

Specify Exact Site Coordinates X: ft Y: ft Z: ft

Area and Floors

Bldg Shell Area: ft² Number of Floors: Above Grade: Below Grade:

Other Data

Shell Multiplier: Daylighting Controls: Usage Details:

Prevent duplicate model components

Component Name Prefix: Suffix:

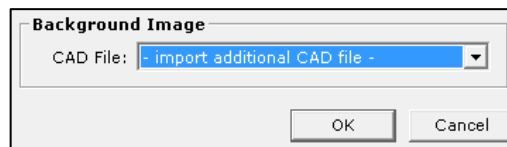
(# of Prefix + Suffix characters must be <= 4)

Fuente: Autores

Como un cambio en la metodología, el segundo y tercer piso se desarrollan por medio de un archivo CAD creado en formato DWG, compatible con eQUEST. Se selecciona en la opción *CAD File* en la interfaz de plantilla personalizada, para importar un archivo CAD al asistente y trabajar desde este como muestra la **Figura 15**. Con esto se abrirá el asistente de creación y se debe escoger el

archivo CAD a trabajar. Este se creará como una nueva plantilla de fondo, pero para crear la plantilla con la que trabaja eQUEST se debe calcar la plantilla importada, con el método de los puntos o de las coordenadas. Cabe aclarar que la opción de importar un archivo CAD solo sirve como una guía para la creación de plantilla o la creación de zonas.

Figura 15. Importar archivo CAD



Fuente: Autores

4.4.3. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Un edificio básicamente se compone de una estructura, paredes, puertas y ventanas, cada uno de estos con una clase diferente de material, como se vio en los fundamentos de transferencia de calor, estos materiales influyen en la interacción con el ambiente y las cargas a las que se somete el edificio. Cada país tiene su manera de recomendar los materiales que se necesitan para la construcción de una edificación, para el proyecto del complejo de laboratorios se ha previsto de información sobre otras edificaciones en la UIS como lo son el edificio de Ingeniería Industrial y el edificio de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, los cuales fueron remodelados recientemente. Se han tomado los materiales de paredes, ventanas, puertas y la estructura principal, ya que del complejo de laboratorio no se tiene esta información, aun así los materiales especificados en las licitaciones de estos dos edificios son dato suficiente para poder elegir los materiales de la construcción de análisis y así poder trabajar bajo el supuesto de realizarlos con los mismo materiales. Los materiales de las construcciones analizadas se muestran en la **Tabla 18**, donde podemos encontrar similitudes entre los dos edificios y así poder elegir los materiales adecuados para la simulación, para la ampliación de este tema se recomienda ver 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, Capítulo 5 Mampostería. Capítulo 13. Carpintería en aluminio y en la LICITACIÓN PÚBLICA No. 016 DE 2011 OBRAS CIVILES, ARQUITECTÓNICAS, ELÉCTRICAS Y DE COMUNICACIONES PARA LA MODERNIZACIÓN Y AMPLIACIÓN DE LA PLANTA FÍSICA DEL EDIFICIO DE INGENIERIA ELECTRICA, ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES en Capítulo 5. Mampostería y Capítulo 11 Carpintería en aluminio.

Tabla 18 Materiales usados en los edificios de ingeniería Industrial e ingeniería Eléctrica y Electrónica

Edificación	Muros	Puertas	Ventanas
Ingeniería Industrial	Ladrillo tipo H-10 y H-15	PUERTA EN ALUMINIO Y VIDRIO TEMPLADO 5 mm	Ventana proyectante modelo 3831
Ingeniería Eléctrica y Electrónica	Ladrillo tipo H-10 y H-7	PUERTA EN LAMINA COLD ROLLED TIPO P-10	semipesado en perfil 5020 plus color blanco mate

Fuente: Universidad Industrial de Santander, Licitaciones públicas de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Telecomunicaciones y Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.

Con la información de la **Tabla 18**, Se decidió tomar la mampostería de ladrillo tipo H-10 ya que esta es común en los dos edificios, se tomarán en cuenta solo las puertas exteriores puesto que las internas no son analizadas por el programa, dichas puertas serán tomadas como opacas de acero y las ventanas de cristal verde de 5 mm de espesor que corresponden al modelo 3831 presentes en su mayoría en el edificio de Ingeniería Industrial.

4.4.3.1 MATERIALES DE LA EDIFICACION EN eQUEST

Para colocar los materiales el asistente de creación de la cubierta del edificio permite varias opciones como muestra la **Figura 16**, en donde se aprecian tres importantes aspectos

1. Materiales de techo: en Roof Surfaces se eligen las opciones para el techo de primer piso, estas opciones se toman de acuerdo a los materiales antes previstos. El techo no tiene aislamiento térmico, se supone en color blanco y completamente en concreto.
2. Materiales de muros: Los muros se toman de acuerdo al valor del Ladrillo H-10, el más acorde a este valor es el 4in. HW, los muros son de concreto, de color blanco semi-brillante, sin ningún aislamiento térmico.
3. Materiales y especificaciones de piso: Se especifica para el primer piso que este está en contacto con la tierra, eQUEST tiene otras opciones como en contacto a zonas adiabáticas, zonas incondicionadas, garaje, etc. Se especifica la construcción de concreto, el acabado en cerámica y el aislamiento que se tomó con base en las licitaciones.
4. Infiltraciones: este tema se mostrará en detalle en la sección 6.4.5.

Figura 16. Interfaz de materiales para techo, paredes y piso.

Roof Surfaces		Above Grade Walls		
Construction:	4 in. Concrete	4 in. HW Concrete		
Ext Finish / Color:	Concrete (no ext fini)	White, semi-	Concrete (no ext fini)	White, semi-
Exterior Insulation:	- no ext board insulation -		- no ext board insulation -	
Add'l Insulation:	no LtWt Conc Cap		- no integral insul -	
Interior Insulation:			- no furred insul -	

Ground Floor			
Exposure:	Earth Contact	Interior Finish:	Ceramic/Stone Tile
Construction:	4 in. Concrete		
Ext/Cav Insul.:	horz int bd, R-8, 2ft wide		

Infiltration (Shell Tightness):	Perim: 0.015 CFM/ft2 (floor area) Core: 0.000 CFM/ft2 (floor area)
---------------------------------	--

Fuente: Autores

Lo siguiente a tratar, son los materiales de las puertas y ventanas, en la **Figura 17**, se muestra el asistente de puertas, el cual permite seleccionar el tipo de puertas, el número de puertas según su orientación, las dimensiones de la puerta y su respectivo material. Para el proyecto se escoge una puerta opaca, de acero y se dan las cantidades según los planos del complejo de laboratorios, las dimensiones se dejan predeterminadas, pero estas se pueden modificar con el asistente custom Windows/door de la **Figura 19**.

Figura 17. Interfaz de puertas exteriores.

Exterior Doors

Describe Up To 3 Door Types

Door Type	# Doors by Orientation:				
	South	North	East	West	N.W.
1: Opaque	0	5	0	2	1
2: - select another -					

Door Dimensions and Construction / Glass Definitions

Ht (ft)	Wd (ft)	Construction -or- Glass Category and Glass Type
1: 7.0	6.0	Steel Hollow core w/o Brk

Fuente: Autores.

Una vez las puertas estén detalladas se prosigue a detallar las ventanas, la interfaz de ventanas exteriores **Figura 18** es similar a la de las puertas exteriores, con la diferencia, que la cantidad de ventanas y su ubicación, se dan en porcentaje, es decir se toma el área de la ventana sobre el área total de la pared, y se escribe en las opciones de porcentaje de ventana, nuevamente se dejan los valores predeterminados de los tamaños de ventana, ya que estos son modificados con el asistente *custom Windows/door*.

Figura 18. Interfaz de ventanas exteriores.

Exterior Windows

Window Area Specification Method: Percent of Net Wall Area (floor to ceiling)

Describe Up To 3 Window Types

	Glass Category	Glass Type	Frame Type	Frame Wd (in)
1:	Single Clr/Tint	Single Green 1/4in (1203)	ASHRAE - Alum w/o Brk	1.30
2:	Unglazed Opening	Unglazed Opening (0)	ASHRAE - Alum w/o Brk	1.30
3:	- select another -			

Window Dimensions, Positions and Quantities

	Typ Window Width (ft)*	Window Ht (ft)	Sill Ht (ft)	% Window (floor to ceiling, including frame):					N.W.
				South	North	East	West		
1:	0.00	5.22	3.00	0.0	23.5	0.0	15.2	0.0	
2:	0.00	5.22	3.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

Estimated shell-wide gross (flr-to-flr) % window is 9.3% and net (flr-to-ceiling) is 9.8%.

* - A window width of 0 results in one long window per facet (check adjoining box if window width is to take precedence over % window)

Custom Window/Door Placement...

Fuente: Autores

Por último, se deben posicionar las ventanas en cada una de las paredes. Para esto se necesita el asistente Custom Windows/Door. Que se muestra en la **Figura 19**, donde se puede crear una nueva ventana, dando sus medidas, posicionamiento, tipo de ventana, esto funciona de la misma forma para las puertas.

Figura 19. Interfaz Custom Windows/Door.

Ground

Selected Window/Door

X: Width:

Y: Height:

Frame Width:

Glass Type: Is Opaque

Create New Window/Door

Delete Selected Window/Door

Elevation View Options:

Fit Window Fit Height Fit Width

Prev Next

Fuente: Autores.

4.4.4. EDIFICIO EN 3D

Una vez se han seguido los pasos del asistente CAD, se puede dar como finalizada la creación del edificio con sus puertas, ventanas y los 3 pisos, el edificio terminado se muestra en la **Figura 20** se puede ver que el asistente en 3D permite girar el edificio para asegurar que todo esté acorde con los planos, además se puede hacer un acercamiento, todo esto permaneciendo oprimida la tecla Ctrl y haciendo uso del mouse.

Figura 20. Visualización 3D del edificio



Fuente: Autores

4.4.5. CÁLCULO DE INFILTRACIONES

El cálculo de las infiltraciones se basó en el Capítulo 3 bajo las siguientes consideraciones:

- La diferencia de presión para la prueba de presurización es $4 Pa$.
- El coeficiente de descarga ligado a la diferencia de presión es 1.
- De la Figura 3, con la diferencia de presión, se obtiene $Q_r = 200 \frac{l}{s} = 0.2 m/s$

- La densidad del aire de Bucaramanga, utilizando las ecuaciones concernientes a la psicrometría del aire húmedo (Capítulo 2.2) es $\rho_{aireBucar} = 1.0479 \text{ kg/m}^3$.

Con eso se obtuvo un área efectiva de fugas de:

$$A_L = 10000 * 0.2 * \frac{\sqrt{1.04/(2 * 4)}}{1} = 723.84 \text{ cm}^2$$

Este valor es constante para todos los pisos del edificio. Por lo tanto, la tasa de flujo de aire infiltrado al interior del edificio se calcula para el segundo piso de la siguiente forma bajo las siguientes consideraciones:

Se obtiene el parámetro $C_s = 0.00029$ de la **Tabla 13**.

- Aproximando el tipo de alrededores del edificio con el Tipo 5 de la **Tabla 14**, se obtiene $C_w = 0.000042$ de la **Tabla 15**.
- La diferencia de temperatura en el interior-exterior se calcula a partir de la temperatura de confort =20°C en el interior y 25°C la temperatura ambiente de Bucaramanga.

Reemplazando:

$$Q = \frac{723.84}{1000} * \sqrt{0.00029 * (25 - 20) + (2.06)^2 * 0.000042} = 0.0292 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \approx 62 \text{ CFM}$$

La información a introducir a eQUEST será dada en $\frac{\text{CFM}}{\text{ft}^2}$; por tanto, se divide la tasa de flujo de aire infiltrado para cada piso por su respectiva área, obteniendo los resultados de la **Tabla 19**.

Tabla 19. Infiltraciones $[\frac{\text{CFM}}{\text{ft}^2}]$

Piso	Tasa de aire infiltrado [CFM]	Área [ft^2]	Infiltraciones eQUEST $[\frac{\text{CFM}}{\text{ft}^2}]$
Primer piso	44.92	15186	0.015
Segundo piso	61.87	6697	0.00923846
Tercer piso	74.86	6031	0.01241254

Fuente: Autores

5. SIMULACIÓN DE LAS CARGAS Y USO DEL COMPLEJO DE LABORATORIOS

En este capítulo se presenta los parámetros que definen las actividades de la edificación, además se presentan los horarios de uso y definiciones de las zonas térmicas.

5.1. HORARIOS DE OPERACIÓN

Uno de los puntos más sobresalientes al realizar un análisis energético a una edificación, es su horario de operación, este se define como el tiempo en el cual está en uso el edificio, desde su apertura, hasta su cierre, no obstante esto depende del tipo de edificio y las horas laborales, en algunos países se trabajan 6 horas diarias por lo que varía con nuestro país, en el cual normalmente se trabajan 8 horas, pero hay que tener en cuenta que el edificio no está en su máximo uso desde la hora de apertura, por esto se debe realizar los perfiles de cada carga, buscando una aproximación a la realidad, en la **Figura 21** se muestra el horario de operación acorde al complejo de laboratorios, estos datos fueron tomados de los actuales laboratorios que están en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UIS.

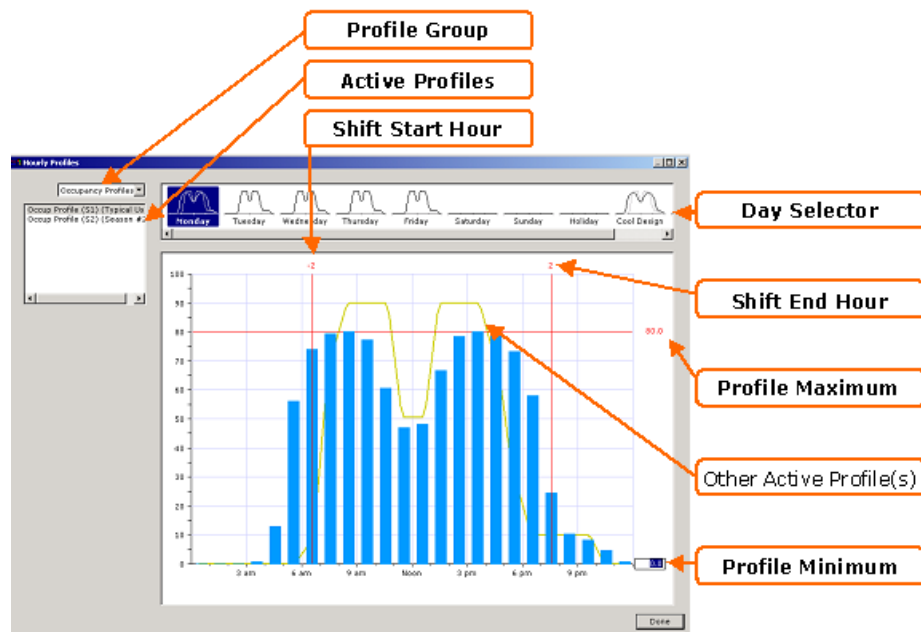
Figura 21. Horarios de operación del complejo de laboratorios

Day	Opens At	Closes At
Mon:	8 am	8 pm
Tue:	8 am	8 pm
Wed:	8 am	8 pm
Thu:	8 am	8 pm
Fri:	8 am	8 pm
Sat:	9 am	2 pm
Sun:	Closed	
Hol:	Closed	

FUENTE: Autores

A la hora de definir las cargas, es importante su cuantificación pero además lo es su perfil de operación, puesto que de este depende el consumo como tal, las cargas producidas por equipos ofimáticos, tendrán un perfil diferente a las cargas producidas por los motores de los laboratorios, por ende el asistente de perfiles de carga, permite modificar cada uno, a manera de encontrar el que más se adapte a la realidad, la **Figura 22** muestra el perfil de carga para los equipos ofimáticos, esta interfaz se maneja de acuerdo a los límites de uso, eQUEST tiene por predeterminados todos los perfiles, pero estos se puede modificar, cambiando los las horas de inicio respecto a las horas de operación, y también los mínimos y máximos de los perfiles.

Figura 22. Perfiles de carga



Fuente: James J. Hirsch & Associates. Tutorial introductorio de eQUEST v3.65. 2012.

5.2. ZONAS TÉRMICAS EN EL COMPLEJO DE LABORATORIOS PROYECTADO A CONSTRUIR EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Para realizar la simulación energética usando la herramienta computacional eQUEST, es necesario establecer las zonas térmicas para cada piso; lo cual

consiste en identificar los sectores de la edificación que pueden estar a las mismas condiciones de acondicionamiento (temperatura y humedad relativa) y agruparlas posteriormente bajo un único sistema HVAC por zona térmica.

Se muestra a continuación cómo se hizo este proceso para el segundo piso. Primero se comienza por asignar las áreas según las actividades que se desempeñen allí (esto se hace en la ventana Activity Areas Allocation del asistente de edición del edificio, **Figura 23**).

Figura 23. Asignación de actividades por áreas.

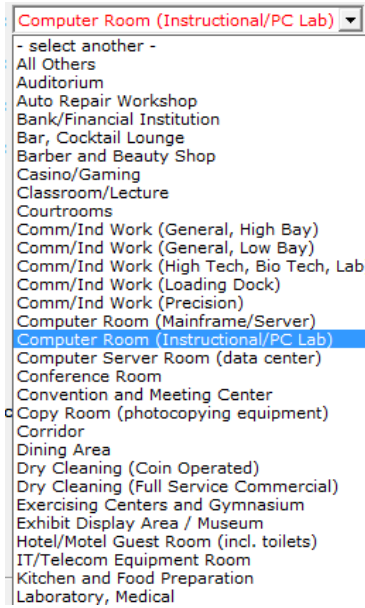
Area Type	Percent Area (%)	Design Max Occup (sf/person)	Design Ventilation (CFM/per)	Assign First To...
1: Computer Room (Instructional/PC Lab)	12.6	20	7.60	
2: Office (Executive/Private)	4.3	100	15.00	
3: Comm/Ind Work (General, Low Bay)	83.1	100	15.00	
4: - select another -				
Percent Area Sum:		100.0	100	0.178

Occupancy Profiles by Season
2014
EL2 Occup Profile (S1)

Fuente: Autores

Se debe conocer previamente qué uso tendrá cada área dentro del piso, para esto se consultan los planos y de acuerdo al nombre del laboratorio y/o espacio individual, se relaciona con una de las actividades que posee eQUEST en su librería (**Figura 24**). De esta forma, se establece por defecto un criterio de diseño de la ventilación que tendrá el local y la densidad de espacio por persona permitida.

Figura 24. Actividades por área de eQUEST.



Fuente: Autores

Por otra parte, el porcentaje de área de la **Figura 23** hace referencia al porcentaje del área total del piso al cual corresponde la actividad señalada. Para el caso específico del segundo piso, la información a introducir en eQUEST se muestra en la **Tabla 20**.

Tabla 20. Zona según el tipo de actividad

		Actividad relacionada al área	Área [ft2]	% Área
SEGUNDO PISO	Lab. De STAF	Trabajos industriales comunes (generalmente de piso bajo)	2,515.00	38.3%
	Puestos de trabajo del lab. De STAF	Sala de computadores	472.3	7.2%
	Lab. Diseño de máquinas	Trabajos industriales comunes (generalmente de piso bajo)	1,580.30	24.1%
	Oficina del profesor del lab. De diseño de maquinas	Oficina privada	284.1	4.3%
	Sala de computo	Sala de computadores	355.7	5.4%
	Lab. De dinámica y robótica	Trabajos industriales comunes (generalmente de	1,363.40	20.7%

		piso bajo)		
	TOTAL	-	6,570.80	100%

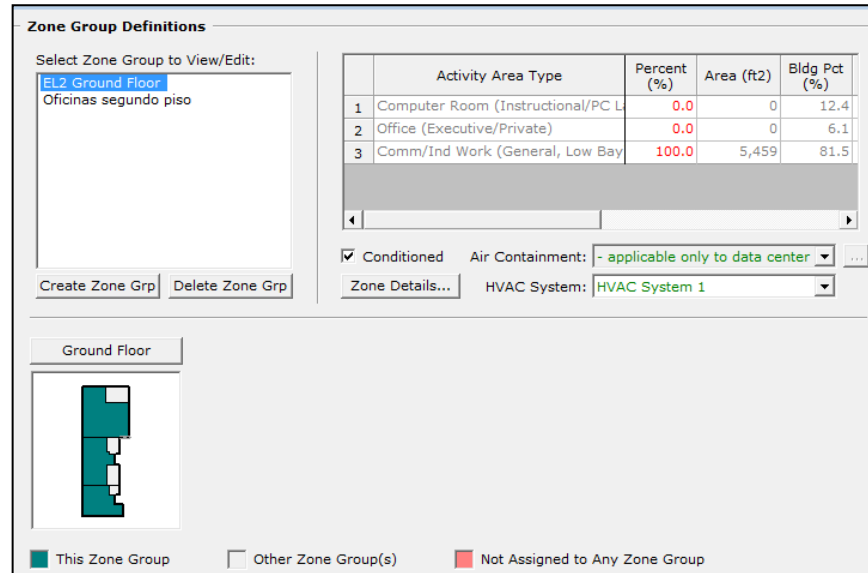
Fuente: Autores

Finalmente, luego de introducir la sumatoria de los porcentajes de áreas según la actividad que se realice en ésta, se modifica el perfil ocupacional diario, como se mostró en la sección 5.1.

5.2.1. DEFINICIÓN DE LOS GRUPOS DE ZONAS

En la siguiente ventana del asistente (ventana Zone Group Definition, **Figura 25**) se establecen los sectores que conforman cada zona térmica, así como el respectivo sistema HVAC que las acondicionará. En la tabla de la parte superior derecha de la ventana se debe especificar el porcentaje de área de los sectores que conforman la zona térmica seleccionada con base en únicamente el área total de estos, ya que es posible que áreas de diferentes actividades conformen un mismo grupo de zona, como es el caso del Segundo piso, donde sólo hay dos zonas térmicas: **Zona de oficinas**, que abarca las salas de computo, puestos de trabajo del laboratorio de STAF y la oficina del profesor del laboratorio de diseño de máquinas; y la **Zona EL2 ground floor**, que integran los laboratorios de STAF, diseño de máquinas y el laboratorio de dinámica y robótica. Como se ve, dos áreas de actividades diferentes se encuentran en la misma zona de oficinas, ya que el sistema HVAC para estas será el mismo y estarán a las mismas condiciones de confort.

Figura 25. Definición de los grupos de zonas.



Fuente: Autores.

5.2.2. CARGAS DIFERENTES A HVAC A SIMULAR EN EL MODELO

Una de las características que posee la herramienta de simulación energética eQUEST es su capacidad de simular, además del funcionamiento con una configuración específica de sistemas HVAC, varios tipos de cargas más, responsables de quizá la mayor parte del consumo energético y en el aporte de carga térmica al edificio. Estas cargas corresponden básicamente a las que se observan en la **Figura 26** y se clasifican según sea interna o externa:

Cargas internas:

- Iluminación interna (ambientación)
- Iluminación interna (de actividades)
- Equipo de oficina
- Equipo de cocina
- Equipo misceláneo

Cargas externas

- Iluminación externa
- Refrigeración remota
- Calefacción de agua para uso doméstico

- Equipo auto-refrigerante
- Cargas de proceso
- Motores
- Compresores de aire
- Servidores de computadores

Figura 26. Cargas diferentes a sistemas HVAC en el segundo piso del edificio.

Non-HVAC Enduses to Model

Interior Enduses (contributing to space loads)

<input checked="" type="checkbox"/> Interior (ambient) Lighting	<input type="checkbox"/> Self-Contained Refrigeration
<input type="checkbox"/> Interior (task) Lighting	<input type="checkbox"/> Process Loads
<input checked="" type="checkbox"/> Office Equipment	<input checked="" type="checkbox"/> Motors
<input type="checkbox"/> Cooking Equipment	<input checked="" type="checkbox"/> Air Compressors
<input checked="" type="checkbox"/> Miscellaneous Equipment	<input type="checkbox"/> Computer Servers

Exterior Enduses (not contributing to space loads)

<input type="checkbox"/> Exterior Lighting
<input type="checkbox"/> Remote Refrigeration
<input type="checkbox"/> Domestic Hot Water

Fuente: Autores

De acuerdo a las condiciones de carga del edificio se seleccionará y establecerá en los siguientes cuadros de diálogos restantes del asistente de creación del edificio los tipos de cargas a simular por cada piso.

Para el caso específico del Segundo piso del complejo de laboratorios proyectado a construir en la EIM se conoce la carga actual de los laboratorios (que comprenden los bancos y equipos misceláneos) y oficinas. Esta información se recopila en la **Tabla 21** y se introduce al programa como se explica a continuación.

Tabla 21. Cargas en el segundo piso del complejo de laboratorios de la EIM

	Equipo	Cant.	Potencia [Hp]	Eq. de oficina [W]	Motore s [W]	Miscelan eo [W]	
Segundo piso	Laboratorio de STAF	Banco de impacto de chorro	1	2.00	-	1493.4	-
						560.02	
		Banco de venturi	1	0.75	-	5	-
		Flujo a través de un orificio	1	0.50	-	373.35	-
		Flujo incompresible	1	0.50	-	373.35	-
		Banco de pérdidas	2	1.00	-	1493.4	-
		Flujo laminar	2	0.25	-	373.35	-
		Viscosidad	1	0.25	-	186.75	-
			1	2.00	-	1493.4	-
		Miscelaneo 1. Ventilador	1	0.06	44.80	-	-
		Miscelaneo 2. Ventilador					
		Weather Works	1	0.12	-	-	89.604
		Miscelaneo 3. Pc-Escritorio	1	0.27	201.61	-	-
		Miscelaneo 4. Pc-Portatiles	3	0.27	604.83	-	-
		Diseño de máquinas	Banco de motores eléctricos	1	0.50	-	373.35
Motor trifasico 1	1		1.00	-	746.7	-	
Motor trifasico 2	1		2.00	-	1493.4	-	
Compresor 1	2		3.50	-	-	-	
Compresor 2	1		1.50	-	-	-	
Miscelaneo 1 Ventilador							
Silver grande	1		0.06	-	-	44.802	
Miscelaneo 2 Pc- Escritorio	2		0.26	388.28	-	-	
Laboratorio de dinamica y robótica	Miscelaneo 3 Pc-Portatiles	2	0.26	388.28	-	-	
	Máquina de ensayo de tensión y compresión dinámica	1	2.82	-	2109	-	
	Mini hass	1	1.50	-	1120	-	
	Miscelaneo 1 Pc-Portátil	1	0.26	194.14	-	-	
TOTAL				1821.948	12186	134.406	

Fuente: Autores

5.2.2.1 ILUMINACIÓN INTERIOR: CARGAS Y PERFILES.

La información de carga por iluminación se obtiene a partir del diseño de luminarias, su distribución y cantidad alojados en planos. En caso de no poseer información real, se acude a las recomendaciones de la ASHRAE 90.1 del 2007, pues se asume que para el diseño también se basa en esta norma. Para la simulación energética en eQUEST, esta información está predeterminada según el tipo de actividad que se realice en las áreas que se haya seleccionado en la ventana Activity Areas Allocation del asistente de diseño del edificio (**Figura 23**).

Para el Segundo piso del complejo de laboratorios, se tomó en cuenta las recomendaciones de eQUEST y el resultado se presenta en la **Figura 27**.

Figura 27. Carga de iluminación ambiente interior para el segundo piso.

Area Type	Percent Area (%)	Lighting (W/SqFt)
1: Computer Room (Instructional/PC Lab)	12.6	1.50
2: Office (Executive/Private)	4.3	1.10
3: Comm/Ind Work (General, Low Bay)	83.1	1.90

Multipliers on above intensities: 1.00

Interior Lighting Hourly Profiles by Season 2014
Ambient: EL2 InsLtg Profile (S1)

Fuente: Autores

5.2.2.2 EQUIPOS DE OFICINA: CARGAS Y PERFILES.

Los equipos de oficina existentes en las distintas zonas del segundo piso del complejo de laboratorios según la **Tabla 21** se limitan a computadores de escritorio y portátiles. Para introducirlos en eQUEST, en la ventana Office

Equipment Loads and Profiles del asistente de creación del edificio (**Figura 28**) se tomó la carga total debida a equipos de oficina (**Tabla 21**) y se divide por el área total del respectivo piso. Se asume que la zona de laboratorios como tal (laboratorio de STAF, diseño de máquinas y dinámica y robótica) no habrá equipos de oficina, ya que para dicho fin se separó las zonas de trabajo y oficinas.

Figura 28. Equipos de oficina en el segundo piso.

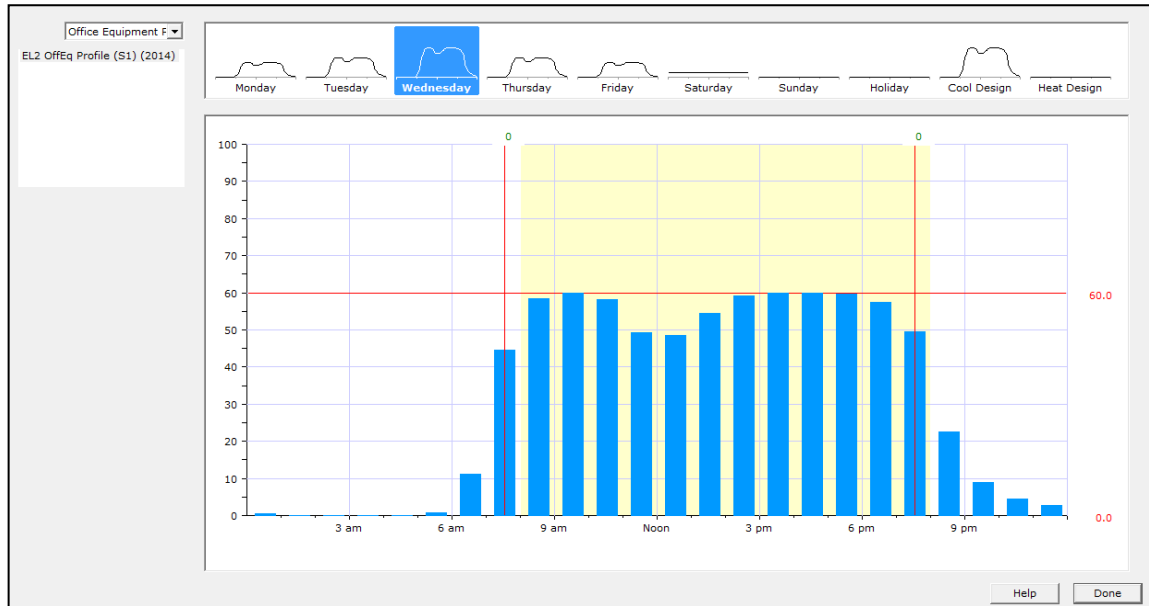
Office Equipment Loads and Profiles		
Area Type	Percent Area (%)	Office Eq (W/SqFt)
1: Computer Room (Instructional/PC Lab)	12.6	1.24
2: Office (Executive/Private)	4.3	0.48
3: Comm/Ind Work (General, Low Bay)	83.1	0.00

Office Equipment Hourly Profiles by Season	
2014	
EL2 OffEq Profile (S1)	...

Fuente: Autores

En la parte inferior de la ventana del asistente se encuentra el perfil de horario de uso de los equipos de oficina, donde es posible modificar desde el horario de apertura y cierre (encendido y apagado de los equipos) hasta el porcentaje de equipos máximo y mínimo en funcionamiento durante la semana (**Figura 29**)

Figura 29. Perfil de uso de los equipos de cómputo del segundo piso.



Fuente: Autores

5.2.2.3 EQUIPO MISCELANEO: CARGAS Y PERFILES.

Es posible introducir esta carga dentro de la carga de equipos de oficina (o viceversa), sin embargo, la importancia de hacerlo por separado es básicamente por la posibilidad de tener otro perfil de uso. Para el segundo piso del complejo de laboratorios la carga resultante es la presentada en la **Figura 30** encontramos aquí una nueva columna para considerar el uso de otro recurso energético (gas natural), y que ahora además se debe introducir la fracción de calor sensible respecto a la potencia nominal que genera el equipo. Para cálculos precisos se utiliza la sección 3.1.4 EQUÍPO MISCELÁNEO DE OFICINA, COCINA, Y ELECTRODOMÉSTICOS. De esta forma, relacionando la ganancia de calor (**Tabla 10**), con la tasa de consumo nominal, se obtiene la fracción de calor sensible. Este cálculo se realizó para los equipos de oficina, y en promedio el resultado fue 0.07.

Figura 30. Carga de equipos misceláneos del segundo piso.

Area Type	Percent Area (%)	----- Electric -----		---- Natural Gas ----	
		Load (W/SqFt)	Sensible Ht (frac)	Load (Btuh/SF)	Sensible Ht (frac)
1: Computer Room (Instructional/PC Lab)	12,6	0,16	0,07	0,00	1,00
2: Office (Executive/Private)	4,3	0,00	1,00	0,00	1,00
3: Comm/Ind Work (General, Low Bay)	83,1	0,00	1,00	0,00	1,00

Miscellaneous Equipment Hourly Profiles by Season

2014

EL2 Misc Profile (S1) [...]

Fuente: Autores

5.2.2.4 MOTORES Y COMPRESORES: CARGAS Y PERFILES.

En esta ventana del asistente se introduce toda la carga referente a motores eléctricos con su respectiva fracción de ganancia de calor sensible en el local. La información que concierne introducir aquí corresponde a todo equipo que contenga un motor eléctrico como fuente motriz, por ejemplo, máquinas de mecanizado, bombas, grúas, bancos de pruebas de los laboratorios o incluso compresores; sin embargo este último se considera por aparte debido a la posibilidad de establecer un horario de uso diferente (**Figura 32**).

Las cargas registradas para las zonas del segundo piso de motores eléctricos y compresores se resumen en la **Tabla 21** y se introducen en eQUEST como se muestra en la **Figura 31**.

Figura 31. Cargas de motores y compresores en el segundo piso.

Area Type	Percent Area (%)	----- Motors -----		-- Air Compressors --	
		Load (W/SqFt)	Sensible Ht (frac)	Load (W/SqFt)	Sensible Ht (frac)
1: Computer Room (Instructional/PC Lab)	12,6	0,00	1,00	0,00	1,00
2: Office (Executive/Private)	4,3	0,00	1,00	0,00	1,00
3: Comm/Ind Work (General, Low Bay)	83,1	2,20	0,88	1,15	0,88

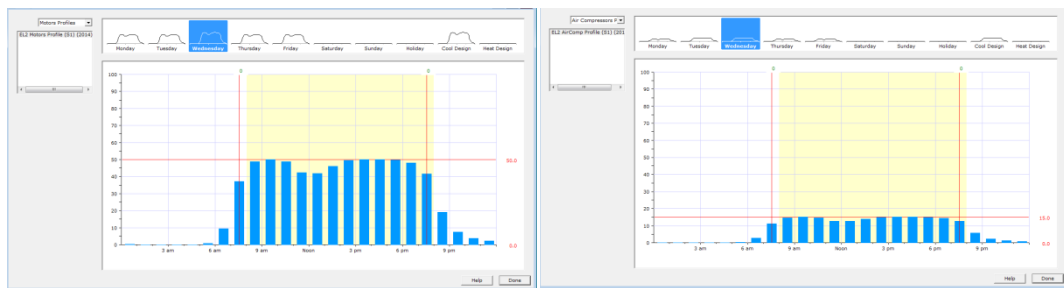
Equipment Hourly Profiles by Season
2014

Motors:

Air Cmp:

Fuente: Autores

Figura 32. Perfil de uso de los equipos con motores eléctricos (a) y compresores (b) del segundo piso.



a.

b.

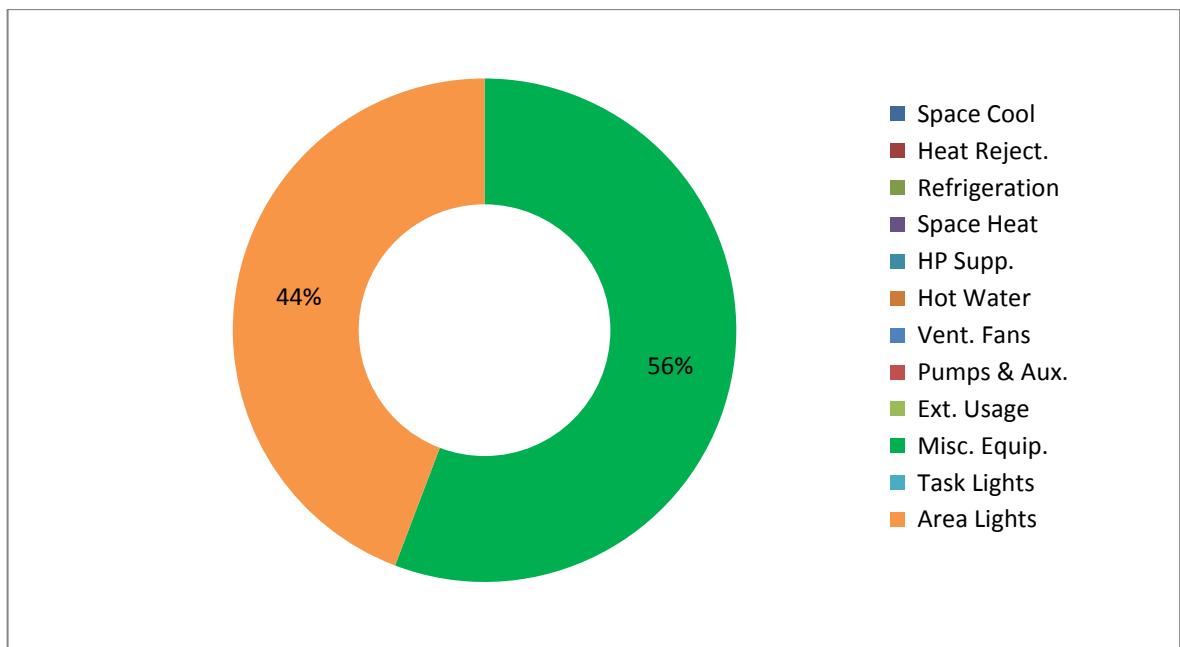
Fuente: Autores

5.2.3. DISTRIBUCIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO DEL CASO BASE

La simulación energética del edificio se realiza para el caso base de acuerdo a la información contemplada en el **ANEXO C** concerniente a la descripción general del edificio en cuanto a geometría y cargas. Cabe la pena resaltar el hecho que para esta primera simulación, debido a que no se contaba con información referente a los aires acondicionados, se realizó asumiendo todas las zonas como

no acondicionadas. En la **Figura 34** se presentan los resultados de esta simulación, donde se observa que, como era de esperarse, la mayor parte del consumo energético del complejo de laboratorios de la EIM está enfocado en los equipos misceláneos (se incluyen aquí todos los equipos no pertenecientes a los sistemas HVAC, entre ellos motores eléctricos, equipos de oficina, equipos autónomos de refrigeración y compresores); sin embargo en iluminación de espacios anualmente el consumo de energía está dado en la **Tabla 22** como 123260 [kWh], correspondiente al 44% del consumo total de energía del caso base.

Figura 33. Consumo anual de energía para el caso base según el uso final de esta.



Fuente: Autores

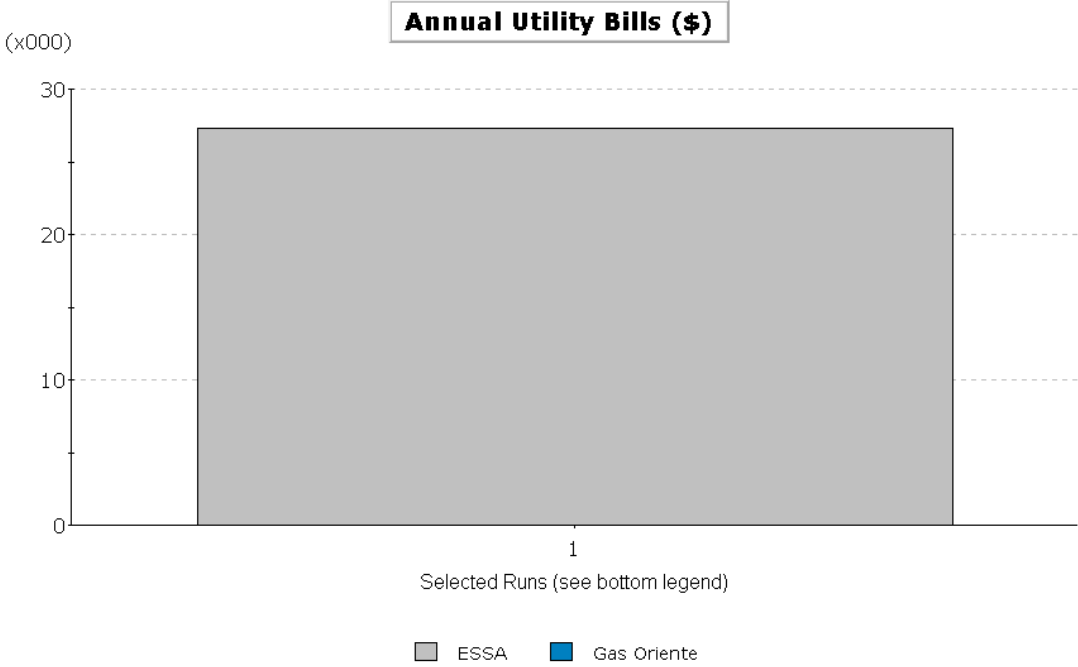
Tabla 22. Consumo anual de energía [kWh] para el caso base.

Energyenduse	Electricity kWh (x1000)
Space Cool	0
Heat Reject.	0
Refrigeration	0
Space Heat	0
HP Supp.	0
Hot Water	0
Vent. Fans	0
Pumps&Aux.	0
Ext. Usage	0
Misc. Equip.	155.67
Task Lights	0
Area Lights	123.36
Total	279.06

Fuente: Autores

Según eQUEST, con este consumo, y considerando la tarifa de energía eléctrica establecida en la **Tabla 16**, el gasto en energía eléctrica sería aproximadamente US\$ 27.286 (**Figura 34**), correspondiente a \$52999507.82 COP (pesos colombianos).

Figura 34. Costo estimado del consumo anual para el caso base según eQUEST.



1. Analisis Energetico eQuest - Baseline Design (04/27/14 @ 17:11) (annual bill: \$ 27.286)

Fuente: Autores

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PROPUESTAS DE NUEVOS ESCENARIOS

La medida de eficiencia energética EEM se utiliza para describir un diseño alternativo de construcción o estrategia de operación, donde se desea mejorar la eficiencia energética de un edificio existente (en el caso de una modificación) o un proyecto propuesto (para construcciones nuevas). En general se reconoce que existe una mayor oportunidad de influir en el uso racional de la energía en los nuevos proyectos de construcción que en los escenarios de construcción que se quieren modernizar, sin embargo, el mérito de la EEM está en la rapidez de la selección de opciones, puesto que cada opción se convierte en un nuevo proyecto, que se puede comparar con el caso base y a su vez generar nuevas alternativas desde la última opción.

El asistente EEM se usará para el estudio de las propuestas, haciendo de cada nuevo escenario una medida de eficiencia energética y comparando unas con otras para lograr el resultado más óptimo.

Hasta el momento, en el modelamiento del caso base, no se ha considerado la existencia de sistemas de aire acondicionado para el edificio en general debido a que no se posee información sobre este. Por lo tanto, en este capítulo se comenzará por establecer el aire acondicionado que mejor se adapte a la necesidad de confort, tanto de los equipos como de las personas que ocupan el edificio, y siguiendo la estrategia de ahorro y optimización energética; a continuación se incursiona en el uso de claraboyas para mejorar la iluminación interna, después se implementa un método de control de iluminación, y se finaliza con la propuesta de rotar el edificio.

6.1. SELECCIÓN DEL AIRE ACONDICIONADO

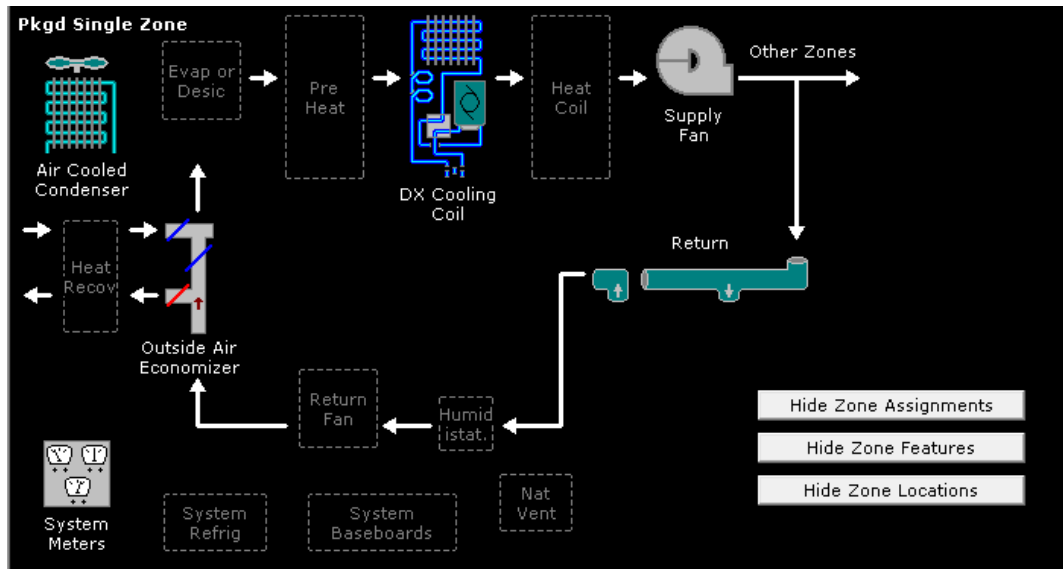
Trabajando de la mano con las opciones que facilita eQUEST, se seleccionó el sistema HVAC que supliera los requerimientos anteriormente planteados de confort y ahorro energético. Para esto eQUEST cuenta con la herramienta Energy

Efficiency Measure (EEM)- Wizard, el cual permite modificar parte del edificio, ya sea los materiales de construcción, orientación, cargas, sistema HVAC, etc.

Como primera medida de eficiencia energética se propone colocar un sistema HVAC óptimo para las zonas de oficina y módulos de prueba como se muestra en la **Figura 41**, en donde se encuentra la mayor demanda de confort. Para lograr esto se desea encontrar el sistema HVAC que produzca el menor consumo de energía posible, tomando como base la simulación energética del edificio sin usar un sistema HVAC, las respectivas modificaciones y resultados se muestran en la **Tabla 23**, cada una con su debida descripción.

Se elige un sistema HVAC DX coils sin calentamiento, debido a que las áreas a acondicionar son pequeñas y cumple con la capacidad ya que se trata de solo oficinas y salas de pruebas, el calentamiento no es necesario en zonas tropicales, el sistema HVAC se muestra en la **Figura 35** y se describen a continuación sus respectivas opciones de modificación.

Figura 35. Sistema HVAC 1



Fuente: Autores

El asistente para la selección del sistema HVAC se muestra en la **Figura 36**. La fuente de enfriamiento siempre será DX coil, los tipos de sistema pueden variar entre los siguientes:

1. Packaged System Single Zone DX

Sistema de aire acondicionado de una sola zona típicamente con ductos, compacto. El condensador, compresor y evaporador se ubican en un paquete.

2. Split System Single Zone DX

Son equipos unitarios de descarga directa. Se diferencian de los compactos en que la unidad formada por el compresor y el condensador va al exterior, mientras que la unidad evaporadora se instala en el interior. Se puede conectar mediante red de conductos y emisión de aire a través de rejillas en pared o difusores en techo.

Generalmente se instala un equipo para todo el conjunto de una vivienda o local. El control es individual por equipo, y se realiza de acuerdo con las condiciones de confort de la habitación más representativa. El equipo necesita una toma de aire exterior y se puede colocar en un falso techo o en un armario, existiendo modelos horizontales y verticales.

3. Packaged VAV

El sistema incluye un volumen variable, sistema de conducto de ventilación y distribución única para servir a múltiples zonas cada una con su propio control de termostato.

4. Packaged VVT

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 varias zonas. Una sola zona de control

controla el reajuste de la temperatura del volumen de aire total de flujo del ventilador y la temperatura de suministro, y restablece los termostatos en las subzonas; si cualquiera de estas apaga el flujo de control que sirve en las mismas.

5. Packaged DX parallel Fan-powered VAV

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 paralelo y control termostático

6. Packaged DX series Fan-Powered VAV

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

Figura 36. Asistente para la creación del sistema HVAC.

HVAC System Definition

System Type Name:

Cooling Source: ?

Heating Source:

System Type:

System per Area: Component Name Prefix:

Return Air Path: Suffix:

(# Prefix+Suffix characters must be <= 4)

Prevent duplicate model components

System Assignment to Thermal Zones*

	Shell Component(s)	Description of Assigned Zones
1	Planta de Laboratorios	All Zones
2	Segundo piso	All Zones
3	Tercer piso	All Zones

* Assignments here are superseded by HVAC assignments made on the zone group screen (by shell)

Fuente: Autores

En la opción de sistema por área, el sistema siempre se adecuará como la opción por sistema por zona, las otras opciones como sistema por piso o sistema por casco no cumplen con lo que se desea hacer, ya que solo se acondiciona un determinado número de zonas y no todo el piso.

TEMPERATURA DE TERMOSTATOS Y FLUJO DE AIRE

Las siguientes opciones que se pueden modificar son los termostatos, las temperaturas de diseño y el flujo de aire, en la **Figura 37** se muestran las condiciones predeterminadas, estas pueden variarse para encontrar un mejor desempeño del sistema.

Figura 37. Temperaturas y flujos de aire.

The screenshot displays the 'HVAC Zones: Temperatures and Air Flows' configuration window. It includes the following sections:

- System(s):** 1: Split System Sgl Zone DX (no heat...)
- Thermostats:**

Occupied (°F)		Unoccupied (°F)	
Cool	Heat	Cool	Heat
76.0	70.0	82.0	64.0
- Thermostat Location:** Within Zone
- Design Temperatures and Air Flows:**

	Indoor	Supply
Cooling Design Temp:	75.0 °F	55.0 °F
Minimum Design Flow:	0.50 cfm/ft2	

Fuente: Autores

Otra de las opciones a modificar son los horarios de los ventiladores y la forma en que estos se usan. La **Figura 38** muestra las condiciones predeterminadas. En esta ventana se puede cambiar el modo de uso entre intermitente y continuo, los horarios de operación, los horarios en los que se prenden y apagan los ventiladores, entre otros.

Figura 38. Horarios de uso de ventiladores.

The screenshot shows the 'HVAC System #1 Fan Schedules' configuration window. At the top, it identifies the system as 'HVAC System 1: Split System Sgl Zone DX (no heating)'. There are two dropdown menus: 'Cycle Fans at Night' set to 'No Fan Night Cycling' and 'Fan 'On' Mode' set to 'Continuous'. Below this, there are input fields for 'Operate fans' set to '1' hour before open and '1' hour after close. The main section is a table of fan schedules for each day of the week, with 'On At' and 'Off At' times. The schedule is: Mon-Fri: 7 am to 9 pm; Sat: 8 am to 3 pm; Sun: Off; Hol: Off.

Day	On At	Off At
Mon	7 am	9 pm
Tue	7 am	9 pm
Wed	7 am	9 pm
Thu	7 am	9 pm
Fri	7 am	9 pm
Sat	8 am	3 pm
Sun	Off	
Hol	Off	

Fuente: Autores

Por último el asistente da la opción de trabajar el sistema HVAC con economizador o no, como muestra la **Figura 39**. Este economizador es de tipo Bypass, el cual se activa cada vez que la temperatura del aire exterior es inferior a la temperatura máxima permitida según lo especificado por el límite alto de temperatura del economizador. .

Con la opción activa se puede modificar las condiciones del economizador para lograr un mayor desempeño.

Figura 39. Economizador.

The screenshot shows the 'HVAC Zone Heating, Vent and Economizers' configuration window. It identifies the system as '1: Split System Sgl Zone DX (no heating)'. Under 'Zone Heat Sources & Capacities / Delta T', the 'Baseboards' dropdown is set to '- none -'. Under 'Economizer(s) and Humidity Control', the 'Type' dropdown is set to 'Drybulb Temperature', the 'High Limit' is set to '65.0 °F', and the 'DP Low Limit' is an empty field. The 'Compressor' dropdown is set to 'Cannot Run with Economizer'. The 'Humid. Type' dropdown is set to '- none -', and the 'Max/Min' humidity is set to '100.0 %' and '0.0 %'.

Fuente: Autores

A continuación la **Tabla 23** se resumen las propuestas realizadas, su descripción, y observaciones.

Tabla 23. Simulaciones paramétricas en busca del sistema HVAC adecuado.

	Propuesta	Descripción	Observaciones
EEM-01	Diseño base	Proyecto base sin áreas acondicionadas	
EEM-02	Packaged System Single Zone DX	Acondicionamiento del proyecto base en las zonas de módulos de ensayo y pruebas, con opciones 1. Sin economizador 2. Set point 72-76 °F 3. Compacto	Es de esperarse un aumento en el consumo, ya que se ha implementado un sistema HVAC.
EEM-03	Packaged System Single Zone DX	Acondicionamiento del proyecto base en las zonas de módulos y ensayos, y oficinas 2 y 3 piso con set point de termostatos en 22-25°C (71.6-77 °F)	Cambio en el set point positivo.
EEM-04	Split System Single Zone DX	Se han modificado las siguientes opciones: 1. sin economizador 2. set point 22-25°C 3. sin calentamiento 4. sistema Split	El cambio es favorable.
EEM-05	Cambio en el sistema EMM-2	Se han modificado las siguientes opciones: 1. sin economizador 2. set point 22-25° C 3. sin calentamiento 4. sistema zona individual	Cambio negativo, se puede concluir que la mejor opción es un sistema HVAC en su Split System.
EEM-06	Packaged VAV	Se han modificado las siguientes opciones: 1. sin economizador 2. set point 22-25° C 3. sin calentamiento 4. sistema VAV 5. Compacto	Cambio negativo, se puede usar este sistema debido a que el control del aire asegura un mayor confort en las zonas, aun así se esperaba este aumento, pues el control mantiene encendido el sistema todo el tiempo, pero se asegura mayor el confort.

EEM-07	Packaged VAV ventiladores paralelos	se han modificado las siguientes opciones: 1. sin economizador 2. set point 22-25° C 3. sin calentamiento 4. sistema VAV en paralelo (fans)	Cambio negativo, debido al volumen de aire variable.
EEM-08	Packaged VAV ventiladores en serie	se han modificado las siguientes opciones: 1. sin economizador 2. set point 22-25° C 3. sin calentamiento 4. sistema VAV en serie (fans)	Cambio negativo, debido al volumen de aire variable.
EEM-09	Split System Single Zone DX con Economizador	se han modificado las siguientes opciones: 1. set point 22-25° C 2. sin calentamiento 3. sistema Split 4. con economizador	Cambio positivo, se puede concluir que el economizador ayuda a disminuir el consumo de energía, por ende la mejor opción para recomendar un sistema DX coils sistema HVAC Split con economizador set point 22-25° sin calentamiento.
EEM-10	Split System Single Zone DX en la temperatura del aire de suministro	se han modificado las siguientes opciones: 1. set point 22-25° C 2. sin calentamiento 3. sistema Split 4. con economizador 5. temperatura de suministro 62°F	Cambio positivo, Se cambia la temperatura de suministro a una mayor que la predeterminada, un valor por encima del punto de rocío promedio de la ciudad de Bucaramanga.
EEM-11	Split System Single Zone DX modificación modo de uso de los ventiladores	se han modificado las siguientes opciones: 1. set point 22-25° C 2. sin calentamiento 3. sistema Split 4. con economizador 5. temperatura de suministro de 62°F 6. uso intermitente en ventiladores	Cambio favorable, este cambio es de esperarse debido a que los ventiladores en las anteriores simulación se usaban de manera continua, lo que ocasionaba un consumo energético mayor.
EEM-12	Split System Single Zone DX modificación en la apertura y cierre del aire acondicionado	se han modificado las siguientes opciones: 1. set point 22-25° C 2. sin calentamiento 3. sistema Split 4. con economizador 5. temperatura de suministro de 62°F 6. uso intermitente en ventiladores 7. apertura y cierre a la hora de inicio y salida de las actividades laborales	Cambio favorable, este cambio era de esperarse, pues el sistema HVAC se estaba prendiendo una hora antes de la apertura laboral y se dejaba prendido una hora después del cierre, esto se hacía como una opción predeterminada de EQUEST, cambiarla mejora el consumo energético.

Fuente: Autores

En la **Tabla 24** se muestran los resultados de las simulaciones de la **Tabla 23** y cuya información fue obtenida de los informes expedidos por eQUEST luego de realizar las simulaciones de medida de eficiencia energética EEM teniendo interés

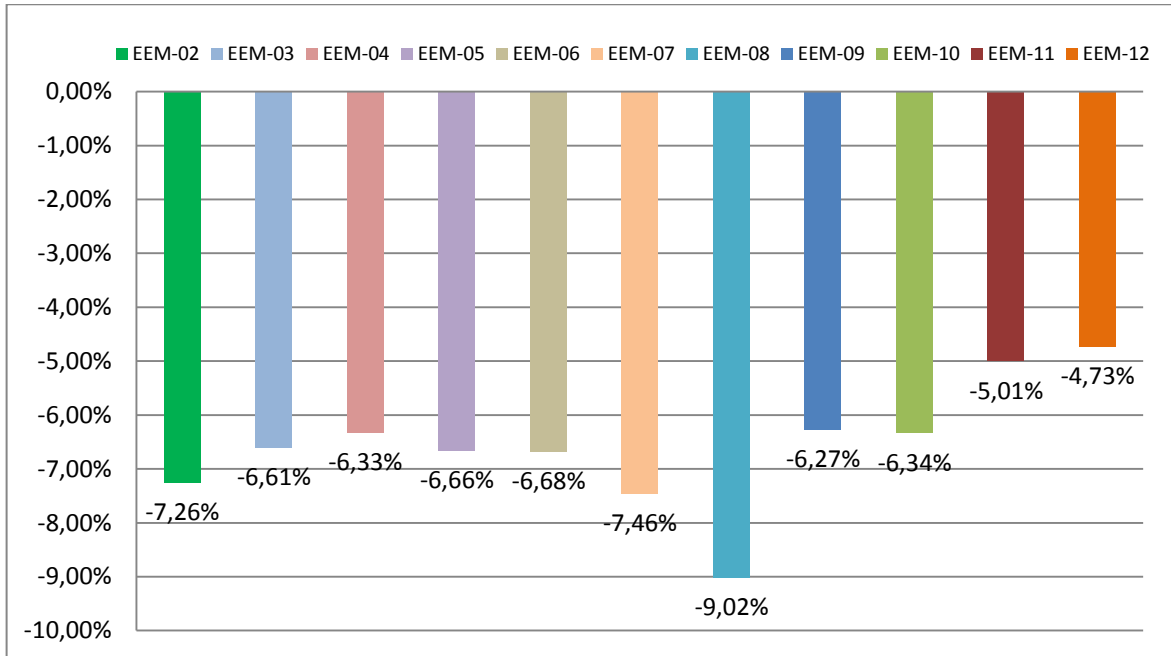
únicamente en el consumo de energía total anual. Al mismo tiempo, se consideró el área total del edificio para sus tres pisos y se calculó un consumo de energía por unidad de área en $[\frac{kWh}{ft^2-año}]$ y se compararán los consumos de energía para cada propuesta con el consumo de energía del edificio base, para obtener con ello un “Ahorro de energía”, según el tipo de consumo que se esté considerando; ya sea el específico en $[\frac{kWh}{ft^2-año}]$ o el consumo neto en [kWh]. El porcentaje de ahorro se considera para el ahorro de energía respecto al consumo de energía por unidad de área anuales; y es a partir de éste indicador que se considera la mejor opción del sistema HVAC como aquél que en valor absoluto tenga menor porcentaje. Esto es así debido a que como causa de incorporar un sistema HVAC al modelo base, el efecto será, como es de esperarse, un aumento del consumo energético; por lo tanto, aquel que contribuya en menor medida a este aumento será el sistema a recomendar.

Tabla 24. Resultado de las simulaciones en busca del mejor sistema HVAC para el edificio.

Nombre (EEM-#)	Consumo anual de energía [kWh]	Consumo de energía [kWh/ft ² -año]	consumo adicional de energía [kWh]	consumo adicional de energía [kWh/ft ² -año]	Porcentaje consumo adicional sobre el caso base [%]
EEM-01	276060	9,890	NA	NA	NA
EEM-02	297670	10,664	21610	0,774	7,26%
EEM-03	295590	10,589	19530	0,700	6,61%
EEM-04	294710	10,558	18650	0,668	6,33%
EEM-05	295760	10,595	19700	0,706	6,66%
EEM-06	295810	10,597	19750	0,708	6,68%
EEM-07	298300	10,686	22240	0,797	7,46%
EEM-08	303420	10,870	27360	0,980	9,02%
EEM-09	294540	10,552	18480	0,662	6,27%
EEM-10	294740	10,559	18680	0,669	6,34%
EEM-11	290610	10,411	14550	0,521	5,01%
EEM-12	289770	10,381	13710	0,491	4,73%

Fuente: Autores

Figura 40. Porcentajes de ahorro para cada escenario propuesto.



Fuente: Autores

A partir de esta información, finalmente se puede escoger la mejor alternativa de acondicionamiento del complejo de laboratorios y talleres proyectados a construir en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UIS, teniendo en cuenta que el escenario EEM-12 es la opción que aporta menos al consumo energético (implica un aumento en el consumo del 4.73% anual) y, sin embargo, sigue cumpliendo con el objetivo inicial de asegurar el confort térmico de los ocupantes y equipos.

Se escoge entonces, de los valores de la **Figura 40** el sistema con mayor porcentaje de ahorro (EEM-12), cuyas especificaciones están en la **Tabla 23**.

A continuación, en la **Tabla 25** se realiza una comparación del consumo energético anual evaluado para los diferentes escenarios propuestos. Se encontró que a pesar de obtener una evidente mejora en la modificación del sistema HVAC, el consumo de energía por iluminación de espacios permanece constante, ya que

no se ha considerado un cambio en los perfiles⁵ de uso de iluminarias o en alguna otra medida para optimizar este consumo. En la sección 8.3 se muestra el procedimiento seguido para buscar un ahorro energético a partir de la iluminación de espacios.

Tabla 25. Comparación del consumo energético de los diferentes escenarios según el uso final de la energía.

	EEM-01	EEM-02	EEM-03	EEM-04	EEM-05	EEM-06	EEM-07	EEM-08	EEM-09	EEM-10	EEM-11	EEM-12
Energy enduse	Electricity kWh (x1000)											
Space Cool	0,0	14,7	12,6	12,6	12,8	15,4	17,1	18,0	12,4	10,9	9,9	9,2
Heat Reject.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Refrigeration	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Space Heat	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
HP Supp.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hot Water	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Vent. Fans	0,0	3,9	3,9	3,1	3,9	1,3	2,2	6,4	3,1	4,8	1,6	1,5
Pumps & Aux.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ext. Usage	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Misc. Equip.	155,7	155,7	155,7	155,7	155,7	155,7	155,7	155,7	155,7	155,7	155,7	155,7
Task Lights	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Area Lights	123,4	123,4	123,4	123,4	123,4	123,4	123,4	123,4	123,4	123,4	123,4	123,4
Total	279,1	297,7	295,6	294,7	295,8	295,8	298,3	303,4	294,6	294,7	290,6	289,8

Fuente: Autores

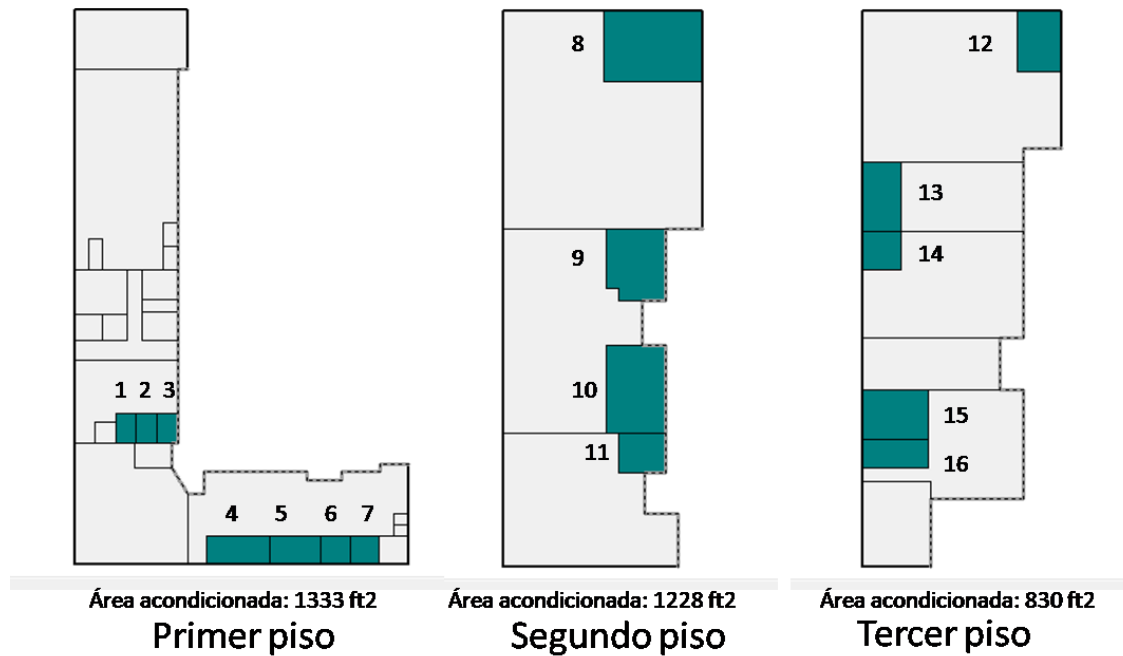
6.2. DIMENSIONAMIENTO DEL AIRE ACONDICIONADO.

En la sección anterior se estableció el aire acondicionado para simular en eQUEST con el fin de garantizar el confort térmico de los ocupantes y equipos según el perfil operacional de éstos. A partir de los informes detallados ‘SS-P Cooling Performance of’ de las simulaciones paramétricas del asistente de medición de la eficiencia energética, EEM Wizard, se dimensionará de manera genérica un sistema de aire acondicionado para las zonas seleccionadas en la

⁵Se prefirió realizar modificaciones no relacionadas con la intensidad lumínica, debido a que al momento de cambiar este, no se toma una medida para prevenir déficit de iluminación adecuada en los espacios que se modifiquen.

Figura 41 de manera que su equivalente siga cumpliendo con las especificaciones de confort del sistema inicial. Éste se muestra en la **Tabla 26**.

Figura 41. Zonas a acondicionar en el Primer, Segundo y tercer piso del edificio.



Fuente: Autores

Tabla 26. Carga de enfriamiento por zona acondicionada.

#	ZONA	ÁREA [FT ²]	CARGA DE ENFRIAMIENTO		CAUDAL DEMANDADO [CFM]
			[kBTU/h]	[Ton]	
1	EL1-G.C21	118	2,40	0,200	163
2	EL1-G.C20	118	2,40	0,200	163
3	EL1-G.N19	118	3,54	0,294	242
4	EL1-EL1-G.E24	360	8,03	0,669	546
5	EL1-G.E2	283	6,38	0,531	433
6	EL1-G.E3	170	3,87	0,323	263
7	EL1-G.E4	165	3,79	0,316	257
8	EL2-G.SW7	472	9,66	0,805	661
9	EL2-G.WNW5	284	4,70	0,392	323

10	EL2-G.WSW3	356	7,70	0,641	527
11	EL2-G.WNW2	126	2,60	0,217	178
12	EL3-G.SW11	188	10,17	0,847	719
13	EL3-G.E8	186	4,32	0,360	298
14	EL3-G.E7	104	2,42	0,202	167
15	EL3-G.E4	224	4,99	0,416	344
16	EL3-G.E3	129	3,25	0,270	224
TOTAL			6,682	5508	

Fuente: Autores.

Estos resultados se analizaron aplicando la regla de thumb para cargas de enfriamiento en sistemas HVAC, donde para espacios destinados a actividades de oficina, el criterio para la carga total oscila en el rango de 230 – 520 [Sq.Ft./Ton]. Esta regla se comprueba para el espacio #16 de la **Figura 41** (EL3-G.E3):

$$\frac{\text{Área}}{\text{Carga}} = \frac{129}{0.270} = 476.94 \text{ [Sq.Ft./Ton]}.$$

Se observa que el valor está dentro del rango.

Tabla 27. Comparación del calor total de cada zona bajo el criterio de la regla de Thumb.

#	ZONA	CALOR TOTAL [Sq.Ft./Ton]	% diferencia con REGLA DE THUMB
1	EL1-G.C21	589,744641	12%
2	EL1-G.C20	589,49922	12%
3	EL1-G.N19	400,726061	Está en el rango
4	EL1-EL1-G.E24	537,929884	3%
5	EL1-G.E2	532,835468	2%
6	EL1-G.E3	526,798226	1%
7	EL1-G.E4	522,912438	1%
8	EL2-G.SW7	586,570032	11%
9	EL2-G.WNW5	674,312278	23%
10	EL2-G.WSW3	555,027206	6%
11	EL2-G.WNW2	581,77117	11%
12	EL3-G.SW11	221,917676	Está en el rango
13	EL3-G.E8	516,873416	Está en el rango

14	EL3-G.E7	515,908843	Está en el rango
15	EL3-G.E4	538,892912	4%
16	EL3-G.E3	476,938543	Está en el rango

Fuente: Autores.

Al comprobarlo para las demás zonas (**Tabla 27**) se encontró que la desviación máxima está en un 23%. Esto quiere decir que en general se cumple con el criterio de dimensionamiento de sistemas HVAC establecido⁶.

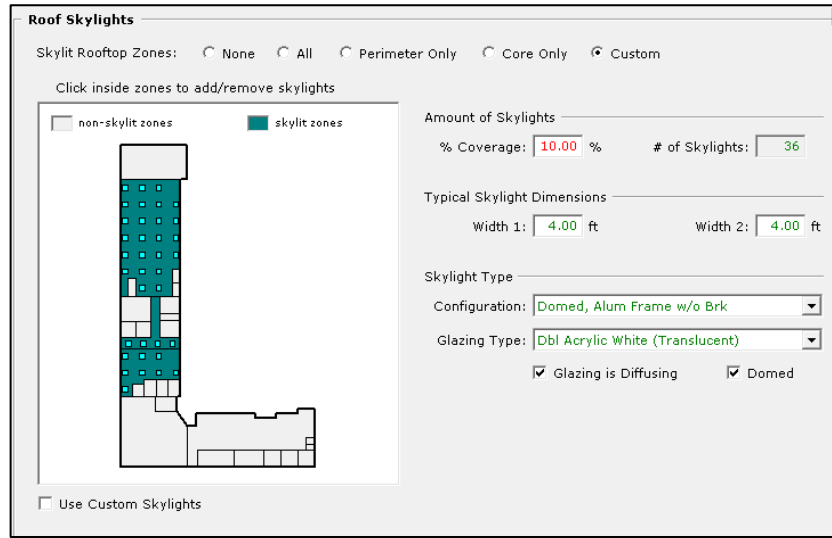
6.3. INSTALACIÓN DE CLARABOYAS EN EL EDIFICIO.

Dentro del asistente de EEM, EQUEST permite modificar materiales de puertas, ventanas; ubicación del edificio, sistema HVAC; incluso las posibilidad de agregar claraboyas. Esta opción tiene su propio asistente como muestra la **Figura 42**.

La propuesta **EEM 13** sugiere el uso de claraboyas tanto en el primer piso como en el tercero (estos dos tienen techo expuesto al ambiente exterior, por tanto a la iluminación natural), las claraboyas permiten que entre luz natural, controlada según las propiedades de esta, lo que permite un ahorro en el consumo de iluminación, los resultados de esta simulación se muestran en la **Tabla 28**.

⁶ BELL, Arthur A. HVAC Equations, data and rules of thumb. Segunda edición. McGraw-Hill, 2007.

Figura 42. Asistente de creación de claraboyas.



Fuente: Autores

Tabla 28. Propuesta de inserción de claraboyas.

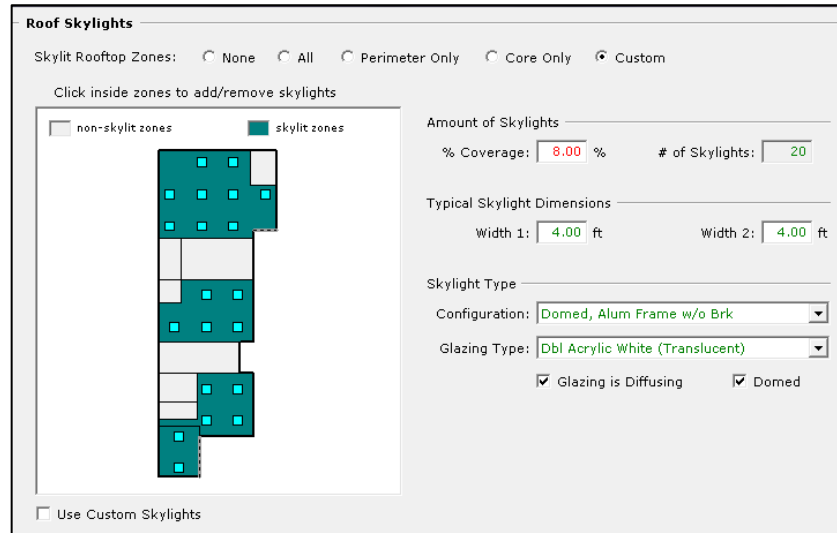
	Propuesta	Descripción	Observación
EEM-01	Diseño base	Proyecto base sin modificaciones	
EEM-12	Split System Single Zone DX modificación en la apertura y cierre del aire acondicionado	se han modificado las siguientes opciones: 8. set point 22-25° C 9. sin calentamiento 10. sistema Split 11. con economizador 12. temperatura de suministro de 62°F 13. uso intermitente en ventiladores 14. apertura y cierre a la hora de inicio y salida de las actividades laborales	Cambio favorable, este cambio era de esperarse, pues el sistema HVAC se estaba prendiendo una hora antes de la apertura laboral y se dejaba prendido una hora después del cierre, esto se hacía como una opción predeterminada de EQUEST, cambiarla mejora el consumo energético.
EEM-13	Diseño con claraboyas	Se han agregado claraboyas a los techos del primer y tercer piso como se mostró en la Figura 43 , se mantiene el uso del sistema HVAC óptimo	Se muestra un aumento en el consumo

Fuente: Autores

En el asistente de creación de claraboyas en el edificio se ha introducido un porcentaje de cobertura que permita que los techos en donde se colocarán claraboyas estén en su mayoría cubiertos por estas. Para los techos del primer piso que se muestran en la **Figura 42** se ha escogido un porcentaje de cobertura del 10% con un total de 36 claraboyas y para los techos del tercer piso que se muestran en la **Figura 43** se ha escogido un porcentaje de 8% para un total de 20 claraboyas.

Antes de la instalación de las claraboyas hay que tener en cuenta que se ven influenciadas por la forma del techo. Hay diferentes claraboyas para tejados inclinados y para techos planos. La instalación incorrecta puede causar problemas en el futuro. Por ejemplo, los techos planos son más susceptibles a los problemas de drenaje. Claraboyas planas en tejados planos pueden dar lugar a la acumulación de agua. En nuestro caso los techos del primer y tercer piso son techos planos por lo que se recomienda que al instalar la claraboya estas estén abovedadas. La estructura del laboratorio es otro factor decisivo. Si hay vigas, pilares o tuberías en el camino, la claraboya en el techo no puede obtener la cantidad correcta de visibilidad. Hacer cambios estructurales no es una opción asequible en la mayoría de los casos. Por lo tanto, es mejor evaluar el ambiente antes de colocar claraboyas en el techo. Generalmente las claraboyas deben incorporarse al edificio en el momento de elaborar el diseño; en el caso de que las claraboyas se introduzcan después, se debe tener cuidado para asegurarse de que se colocan correctamente.

Figura 43. Claraboyas tercer piso.



Fuente: Autores

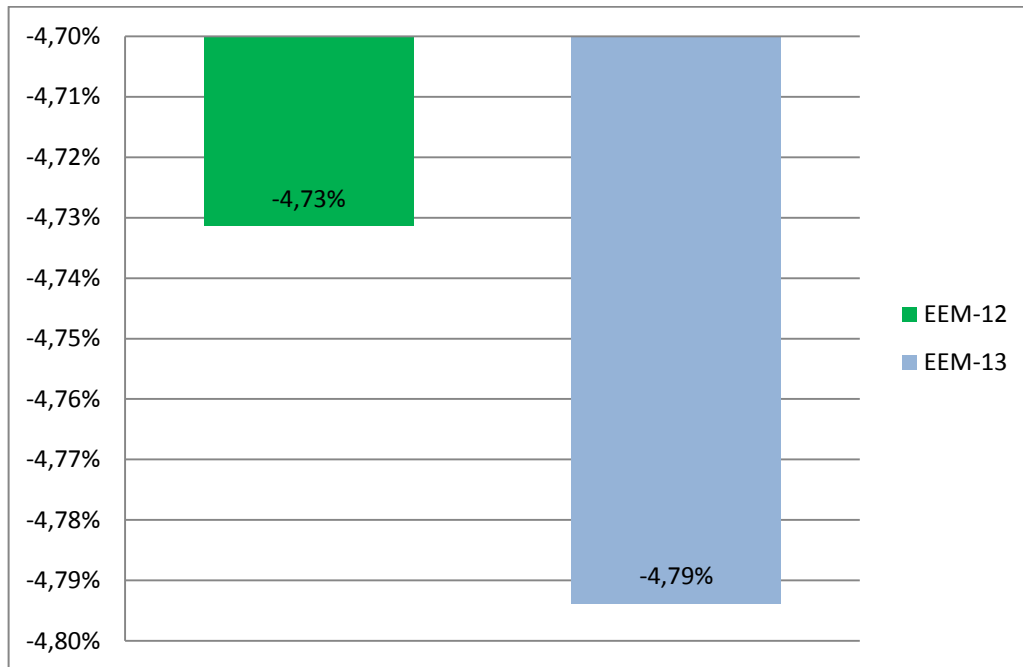
El resultado de esta simulación y su contribución a la optimización del uso de la energía se muestra en la **Figura 44** con base a los resultados tabulados en la **Tabla 29**.

Tabla 29. Simulación de nuevos escenarios con claraboyas.

Nombre (EEM-#)	Consumo anual de energía [kWh]	Consumo de energía [kWh/ft2-año]	Ahorro de energía [kWh]	Ahorro de energía [kWh/ft2-año]	Porcentaje de ahorro sobre el caso base [%]
EEM-01	276060	9,890	NA	NA	NA
EEM-12	289770	10,381	-13710	-0,491	-4,73%
EEM-13	289960	10,388	-13900	-0,498	-4,79%

Fuente: Autores

Figura 44. Porcentaje de ahorro con claraboyas.



Fuente: Autores

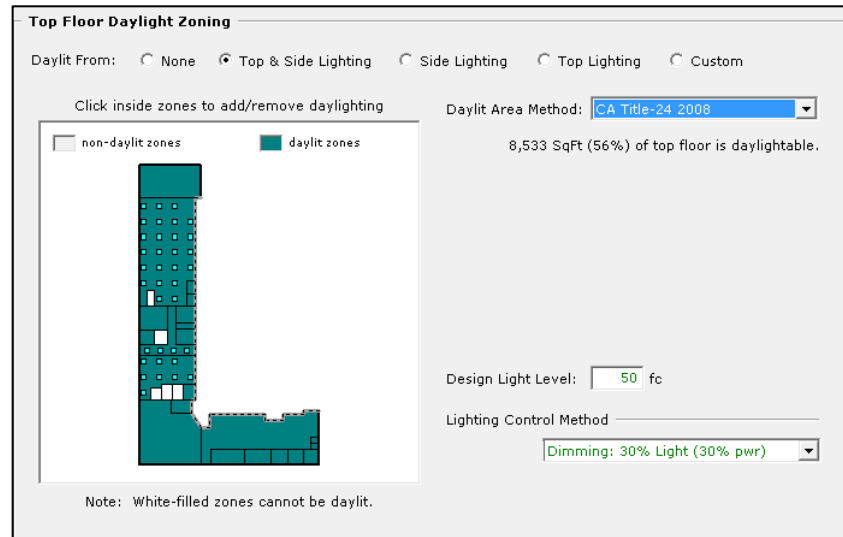
Como se observa, la contribución al ahorro energético, según eQUEST resulta ser negativa. Sin embargo, está la posibilidad de implementar en el modelo del edificio en eQUEST un sistema de control de iluminación para que, en conjunto con las claraboyas, aporte aún más en el ahorro energético. En la siguiente sección se explica cómo se implementó este sistema para el modelo optimizado con sistema HVAC y sus respectivos resultados de simulación.

6.4. CONTROL DE LA LUZ NATURAL

En el asistente EEM se crea otra simulación, cambiando la opción de *Control de iluminación natural* (**Figura 14**). Esta opción activa una nueva ventana en el asistente de diseño del edificio (**Figura 45**), en la cual se puede modificar las configuraciones de control de iluminación natural. Entre estas opciones está controlar la luz entrante por los costados de las zonas (ventanas y paredes o puertas traslúcidas), desde la parte superior de las zonas (techos traslúcidos y

claraboyas), ambas o personalizado; y también modificar el método estandarizado para realizar dicho control.

Figura 45. Asistente del control de luz natural.



Fuente: Autores

En la **Tabla 30** se detalla las características de cada simulación, cuyos resultados se tabulan en la **Tabla 31**, y el porcentaje de ahorro se representa en la **Figura 46** se observa a partir de ésta última que el escenario EEM-15 aporta considerablemente no solo al ahorro energético, sino, en consecuencia a esto, a la disminución en gastos anuales en el consumo eléctrico; ya que según los resultados de eQUEST, ésta propuesta logra incluso disminuir el consumo inicial planteado en el modelo base sin sistema HVAC. Esto es así debido a la disminución del consumo en iluminación consecuencia de implementar claraboyas y control de iluminación. En la siguiente sección se plantea un escenario relacionado con la orientación del edificio, ya que, como se planteó en el **Capítulo 1**, la orientación es un factor decisivo al momento de diseñar un edificio.

Tabla 30. Escenarios propuestos con claraboyas y control de luz natural.

	Propuesta	Descripción	Observación
EEM-01	Diseño base	Proyecto base sin modificaciones	
EEM-12	Split System Single Zone DX modificación en la apertura y cierre del aire acondicionado	se han modificado las siguientes opciones: 15. set point 22-25° C 16. sin calentamiento 17. sistema Split 18. con economizador 19. temperatura de suministro de 62°F 20. uso intermitente en ventiladores 21. apertura y cierre a la hora de inicio y salida de las actividades laborales	Cambio favorable, este cambio era de esperarse, pues el sistema HVAC se estaba prendiendo una hora antes de la apertura laboral y se dejaba prendido una hora después del cierre, esto se hacía como una opción predeterminada de EQUEST, cambiarla mejora el consumo energético.
EEM-13	Diseño con claraboyas	Se han agregado claraboyas a los techos del primer y tercer piso como se mostró anteriormente, se mantiene el uso del sistema HVAC óptimo	Se muestra un aumento en el consumo
EEM-14	Implementación de control de luz diaria y sistema HVAC óptimo	Se ha implementado el control de luz diaria en todos los pisos, también se mantiene el mismo sistema HVAC óptimo	Cambio favorable, se puede ver que al tener el sistema óptimo más un control de luces adecuado, se logra un ahorro comparado con solo tener el sistema HVAC óptimo

EEM-15	Implementación de control de luz diaria, claraboya y el sistema HVAC óptimo	Se ha implementado el control de luz diaria en todos los pisos, se ha sumado la propuesta anterior de las claraboyas con la misma distribución, se ha mantenido el sistema HVAC óptimo	Cambio favorable, se muestra una disminución considerable en el consumo al sumar las tre propuestas.
--------	---	--	--

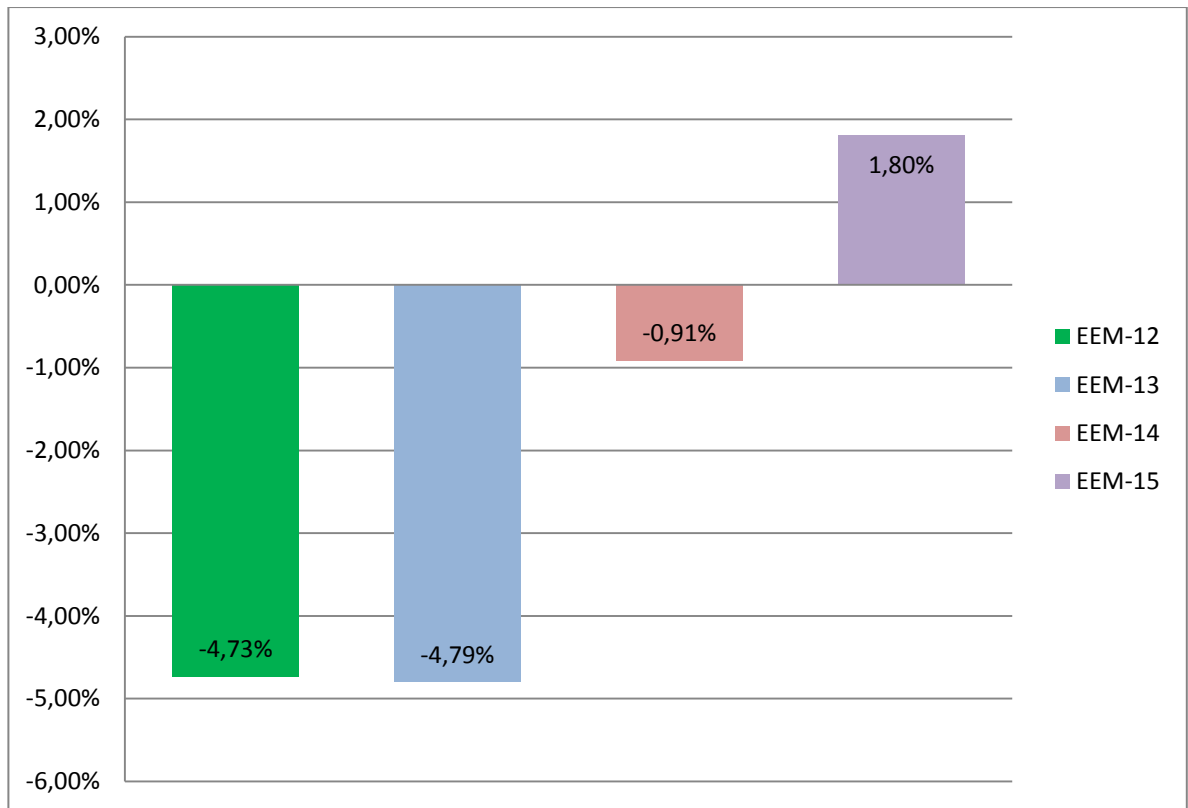
Fuente: Autores

Tabla 31. Resultados de las simulaciones con claraboyas y control de iluminación.

Nombre (EEM-#)	Consumo anual de energía [kWh]	Consumo de energía [kWh/ft2-año]	Ahorro de energía [kWh]	Ahorro de energía [kWh/ft2-año]	Porcentaje de ahorro sobre el caso base [%]
EEM-01	276060	9,890	NA	NA	NA
EEM-12	289770	10,381	-13710	-0,491	-4,73%
EEM-13	289960	10,388	-13900	-0,498	-4,79%
EEM-14	278600	9,981	-2540	-0,091	-0,91%
EEM-15	271170	9,714	4890	0,175	1,80%

Fuente: Autores

Figura 46. Porcentajes de ahorro para las simulaciones con claraboyas y control de luz.



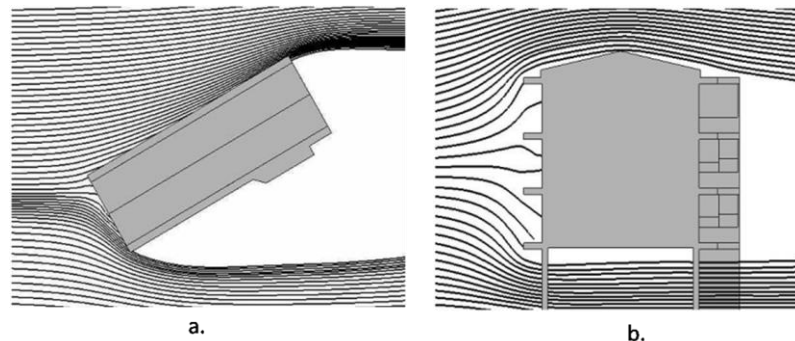
Fuente: Autores

6.5. CAMBIO DE LA GEOMETRÍA Y ORIENTACIÓN DEL EDIFICIO

Estos dos factores están relacionados entre sí en el sentido que de acuerdo a la orientación del edificio, en alguna localidad específica, se estudia la geometría que más afinidad tenga con esta. Por ejemplo, para obtener una mejor ventilación natural se escoge primero la orientación que debería tener el edificio a partir de los datos climáticos de dirección del viento, y luego, la geometría que llevará el edificio debe tener coherencia para aprovechar este recurso, como colocando ventanas en los puntos críticos, ubicando pasillos para mejor distribución del flujo de aire externo e incluso obstruyendo parcialmente este flujo para controlarlo. En la mayoría de los casos, cuando el edificio es acondicionado por equipos HVAC, la necesidad de seleccionar adecuadamente estos dos parámetros va relacionado

con el interés de mejorar las condiciones de convección ya que, como se concluyó en el estudio Análisis computacional y visualización de la ventilación natural causada por el flujo del viento alrededor de un edificio escolar⁷: “La geometría y orientación del edificio tiene un fuerte efecto en el flujo de aire alrededor de él”, como se puede observar en la **Figura 47**.

Figura 47. Efecto de la geometría y orientación de un edificio en el flujo de aire externo. a) Vista de planta. b) Vista de corte.

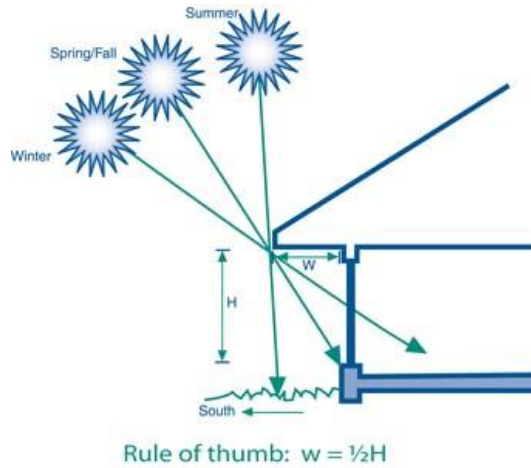


FUENTE: Nitatwichit, Chanawat; Khunatorn, Yottana y Tippayawong, Nakorn. **Computational analysis and visualisation of wind-driven naturally ventilated flows around a school building.** Chiang Mai niversity. Chiang Mai, Thailand. 2008.

Se consideran además estos parámetros para el aprovechamiento de iluminación natural, aislamiento de la exposición directa de ventanas a los rayos del sol, identificando dónde deberían ir estas y definiendo si es necesario utilizar persianas, voladizos sobre ventanas o paredes (**Figura 48**), e incluso aletas; para lograr de esta manera reducir la influencia negativa de todos estos factores en la selección de sistemas HVAC que de lo contrario, al no considerarlos resultaría con un sistema de acondicionamiento más grande del realmente necesario.

⁷ COMPUTATIONAL ANALYSIS AND VISUALISATION OF WIND-DRIVEN NATURALLY VENTILATED FLOWS AROUND A SCHOOL BUILDING. Nitatwichit, Chanawat; Khunatorn, Yottana y Tippayawong, Nakorn. Chiang Mai University. Chiang Mai, Thailand. 2008.

Figura 48. Voladizo y exposición solar de una pared.



FUENTE: eXtension. America’s Research-based Learning Network8, Designing Energy Efficient New Homes for a Warm Climate, 2014.

Se propone modificar la orientación del edificio girándolo 180° en el asistente de diseño de plantilla del edificio que se muestra en la **Figura 6**. Con esta modificación de la orientación las opciones de claraboyas, sistema HVAC óptimo y control de luz se mantendrán igual. La **Tabla 32** describe el escenario propuesto como EEM-16 y en la tabla se muestran los resultados de cada simulación, para representar el porcentaje de ahorro energético en la **Figura 49**.

Tabla 32. Propuesta de rotación del edificio frente a otros escenarios.

	Propuesta	Descripción	Observación
EEM-01	Diseño base	Proyecto base sin modificaciones	
EEM-12	Split System Single Zone DX modificación en la apertura y cierre del aire acondicionado	se han modificado las siguientes opciones: 22. set point 22-25° C 23. sin calentamiento 24. sistema Split 25. con economizador 26. temperatura de suministro de 62°F 27. uso intermitente en ventiladores	Cambio favorable, este cambio era de esperarse, pues el sistema HVAC se estaba prendiendo una hora antes de la apertura laboral y se dejaba prendido una hora después del cierre, esto se hacía como una opción predeterminada de EQUEST, cambiarla mejora el consumo energético.

		28. apertura y cierre a la hora de inicio y salida de las actividades laborales	
EEM-15	Implementación de control de luz diaria, claraboya y el sistema HVAC optimo	Se ha implementado el control de luz diaria en todos los pisos, se ha sumado la propuesta anterior de las claraboyas con la misma distribución, se ha mantenido el sistema HVAC optimo	Cambio favorable, se muestra una disminución considerable en el consumo al sumar las 3 propuestas
EEM-16	Rotación del edificio 180°	Se han mantenido las opciones anteriormente nombradas, se rota el edificio 180°	Cambio favorable, se muestra una disminución en el consumo de energía.

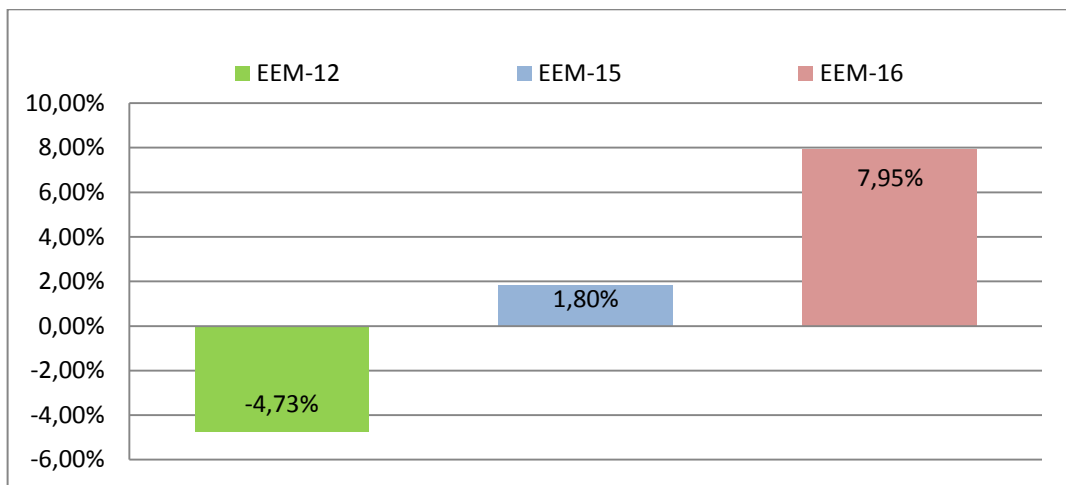
Fuente: Autores

Tabla 33. Resultados de las simulaciones para el escenario cambiando la orientación y ventanas adicionales.

Nombre (EEM-#)	Consumo anual de energía [kWh]	Consumo de energía [kWh/ft2-año]	Ahorro de energía [kWh]	Ahorro de energía [kWh/ft2-año]	Porcentaje de ahorro sobre el caso base [%]
EEM-01	276060	9,890	NA	NA	NA
EEM-12	289770	10,381	-13710	-0,491	-4,73%
EEM-15	271170	9,714	4890	0,175	1,80%
EEM-16	255740	9,162	20320	0,728	7,95%

Fuente: Autores

Figura 49. Porcentaje de ahorro energético rotando el edificio.



Fuente: Autores

Al momento de cambiar la orientación del edificio se ha obtenido una disminución en el consumo energético. Esto se debe a que la orientación del edificio permite exponer las ventanas directamente a la luz solar. Además, sumado al control diario de las luces, hace que se ahorre considerablemente en la iluminación, pero como consecuencia las zonas no acondicionadas se ven afectadas por la radiación solar, lo que ocasiona que las demás áreas reciban una mayor carga térmica, obligando al sistema HVAC a cubrir más zonas. Si esto se toma en cuenta se tendría que hacer un análisis para todos los pisos, estando

acondicionadas cada zona, lo que aumentaría el consumo energético, por ende esta opción se descarta, ya que, por otro lado, los planos disponibles de la construcción se han hecho de tal manera que la orientación del edificio no se pueda cambiar, aun así la propuesta se ha analizado para ver la influencia de la orientación.

6.6. COSTO ANUAL DEL CONSUMO ENERGÉTICO DEL EDIFICIO EN LOS DIFERENTES ESCENARIOS

Una vez se ha llevado a cabo el análisis energético del edificio en cada escenario, podemos hacer uso del asistente de resultados de simulaciones de EEM, en los reportes de utilidad anual, la tabla muestra el consumo de cada propuesta en su respectivo valor en dólares y pesos colombianos (COP).

Tabla 34. Costo anual del consumo energético para el edificio en los diferentes escenarios.

Nombre (EEM-#)	Consumo anual [USD]	Consumo anual [COP]
EEM-01	\$ 27.286,00	\$ 52.999.507,82
EEM-02	\$ 29.108,00	\$ 56.538.505,96
EEM-03	\$ 28.904,00	\$ 56.142.262,48
EEM-04	\$ 28.819,00	\$ 55.977.161,03
EEM-05	\$ 28.921,00	\$ 56.175.282,77
EEM-06	\$ 28.926,00	\$ 56.184.994,62
EEM-07	\$ 29.169,00	\$ 56.656.990,53
EEM-08	\$ 29.670,00	\$ 57.630.117,90
EEM-09	\$ 28.802,00	\$ 55.944.140,74
EEM-10	\$ 28.821,00	\$ 55.981.045,77
EEM-11	\$ 28.417,00	\$ 55.196.328,29
EEM-12	\$ 28.336,00	\$ 55.038.996,32
EEM-13	\$ 28.354,00	\$ 55.073.958,98
EEM-14	\$ 27.243,00	\$ 52.915.985,91
EEM-15	\$ 26.517,00	\$ 51.505.825,29
EEM-16	\$ 25.011,00	\$ 48.580.616,07
Tasa de cambio representativa del mercado: TRM 26/04/2014 = 1.942,37*		
*Fuente: Banco de la República, Colombia. 27 de Abril/2014		

Fuente: Autores

Se concluye a partir de la tabla anterior que el escenario EEM-15 resulta ser el más apropiado para cumplir las exigencias de confort térmico y de URE ya que, teniendo en cuenta que el caso base no tiene sistema HVAC, el uso de la energía en la propuesta demuestra ser más eficiente que el caso base.

7. CÁLCULO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL EDIFICIO.

Para definir la eficiencia energética del edificio se tendrá en cuenta el consumo total de energía anual del edificio por unidad de área bruta, tanto las correspondiente al sitio como las de la fuente; y las toneladas de enfriamiento por unidad de área bruta (a partir del informe detallado –BEPS Building Energy Performance y SS-P Cooling Performance Summary que genera EQUEST cuando realiza las simulaciones con el asistente de medida de eficiencia energética EEM y que es posible encontrarlo en la carpeta donde se alojan todos los archivos de la simulación, en formato DOE-2 Simulation Results Document .sim) y se comparará con los valores establecidos como estándar de la página de benchmarking de eficiencia energética de laboratorios⁸ según el tipo, uso y zona climática de ubicación de la Agencia de protección del medio ambiente de los Estados Unidos.

En la **Tabla 35** se muestran los resultados de TOTAL SITE ENERGY [KBTU/SQFT-YR GROSS-AREA], correspondiente a la sumatoria total de la energía según el tipo (gas y electricidad); TOTAL SOURCE ENERGY [KBTU/SQFT-YR GROSS-AREA], que es la sumatoria total de la energía necesaria para producir la energía consumida por el edificio (una explicación detallada de este tema se obtiene de la publicación de la Energy Star, Performance Ratings Methodology for Incorporating Source Energy Use⁹); el consumo debido únicamente a la energía eléctrica en [KWH/SQFT-YR GROSS-AREA] y la CAPACIDAD INSTALADA DE AIRE ACONDICIONADO [SQFT GROSS-AREA/TON], de donde los SGFT GROSS-AREA corresponde al área bruta acondicionada en pies cuadrados según las recomendaciones de Labs21Benchmarking.

⁸ Comparación de las mejores prácticas energéticas en los laboratorios del siglo 21, 'Labs21Benchmarking v-1.4'. Agencia de protección del medio ambiente de los Estados Unidos. Disponible desde la página web: <http://labs21benchmarking.lbl.gov/CompareData.php>.

⁹ Performance Ratings Methodology for Incorporating Source Energy Use. Energy Star. Disponible desde la página web: http://www.energystar.gov/ia/business/evaluate_performance/site_source.pdf

Tabla 35. Comparación de los consumos del edificio con las recomendaciones de benchmarking.

		Simulación eQUEST EEM-Wizard				Criterio de Labs21Benchmarking			
		TOTAL SITE ENERGY [KBTU/S QFT-YR GROSS-AREA]	TOTAL SOURCE ENERGY [KBTU/S QFT-YR GROSS-AREA]	CONSUMO DE ELECTRICIDAD [KWH/SQF T-YR GROSS-AREA]	CAPACIDAD INSTALADA DE AIRE ACONDICIONADO [SQFT GROSS-AREA/TON]	TOTAL SITE ENERGY [KBTU/S QFT-YR GROSS-AREA]	TOTAL SOURCE ENERGY [KBTU/S QFT-YR GROSS-AREA]	CONSUMO DE ELECTRICIDAD [KWH/SQF T-YR GROSS-AREA]	CAPACIDAD INSTALADA DE AIRE ACONDICIONADO [GROSS-AREA/TON]
EEM-01	Diseño Preliminar	20,8	62,3	6,081	0				
EEM-12	Aire acondicionado óptimo	290,8	872,3	85,196	507,46	180	550	45	160
EEM-15	Claraboyas + Control de luz + AA óptimo	272,1	816,3	79,726	507,46				

Fuente: Autores

Consideraciones a tener en cuenta:

Los valores tabulados para el benchmarking en consumo de energía de laboratorios asumen que:

- Todas las áreas están iluminadas según la intensidad recomendada para cada actividad a desarrollar en la zona.
- Las áreas deben estar debidamente acondicionadas.
- La fuente de energía para cada uso final está debidamente seleccionada.

Con base en esto, se calculó un porcentaje de diferencia para los modelos simulados respecto a los criterios de benchmarking. Los resultados se muestran en la **Tabla 36** y a partir de éstos se concluye lo siguiente:

- Considerando que EEM-01 no cuenta con aire acondicionado y que, sin embargo, el consumo de energía está muy cercano al recomendado, es de esperarse una eficiencia muy baja para este escenario.
- Los escenarios EEM-12 y EEM-14 tienen porcentajes de diferencia negativos. Esto significa que se está sobrepasando los valores permitidos. Se tendrá en

cuenta este detalle al momento de hallar la eficiencia energética de los escenarios para definir como más eficiente aquel cuyo valor de eficiencia energética esté más cercano a 1.

Tabla 36. Porcentaje de diferencia entre valores simulados y los recomendados.

		% Porcentaje de diferencia			
		TOTAL SITE ENERGY	TOTAL SOURCE ENERGY	CONSUMO DE ELECTRICIDAD	CAPACIDAD INSTALADA DE AIRE ACONDICIONADO
EEM-01	Diseño Preliminar	88,44%	88,67%	86,49%	-
EEM-12	Aire acondicionado óptimo	-61,56%	-58,60%	-89,32%	-217,17%
EEM-15	Claraboyas + Control de luz + AA óptimo	-51,17%	-48,42%	-77,17%	-217,17%

Fuente: Autores.

Para hallar la eficiencia energética se determinó el valor absoluto de los porcentajes de diferencia entre los valores simulados y los sugeridos; si el valor supera el 100% significa que está siendo ineficiente. La **Tabla 37** muestra los valores de eficiencia energética obtenidos para los escenarios elegidos.

Tabla 37. Eficiencia energética para los escenarios especificados.

		PROMEDIO % ERROR	EFICIENCIA ENERGÉTICA
EEM-01	Diseño Preliminar	65,90%	65.9%
EEM-12	Aire acondicionado óptimo	106,66%	93.43%

EEM-15	Claraboyas + Control de luz + AA óptimo	98,48%	98.48%
--------	---	--------	--------

Fuente: Autores.

Como se observa en la **Tabla 37**, es posible optimizar el complejo de laboratorios y talleres de la Escuela de Ingeniería Mecánica implementando las propuestas analizadas en el escenario EMM-15 en un 32.58% asegurando el confort térmico de los ocupantes y equipos, y cumpliendo con el URE.

8. CONCLUSIONES

- Se calculó la eficiencia energética para el diseño definitivo del complejo de laboratorios y talleres proyectado a construir en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander y se obtuvo como resultado un valor del 65.9% respecto a las recomendaciones de mejores prácticas en los laboratorios según la Agencia de protección del medio ambiente de los Estados Unidos. Al buscar la optimización, se alcanzó una eficiencia máxima del 98.5% en el escenario propuesto en EEM-15, donde no solo se logró una alta eficiencia, sino que se aseguró el confort térmico de los ocupantes y equipos.
- Se generaron propuestas para asegurar el confort térmico de los ocupantes y equipos del complejo de laboratorios y talleres proyectado a construir en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UIS y se compararon en la Tabla 24, encontrando que la opción que cumple con los requerimientos de confort y al mismo tiempo la más eficiente, resultó ser la EEM-12.
- Se estimaron los costos anuales de cada una de las propuestas y el resultado se presenta en la Tabla 34 donde se evidencia que la alternativa que asegura el confort y promueve el URE es la EEM-15, que logra un costo anual inferior al caso base.
- Se logró realizar el análisis energético del complejo de laboratorios y talleres proyectado a construir en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander basados en una propuesta de diseño definitivo del edificio y la información de equipamiento y perfil operacional actual, fomentando con ello el uso de nuevas tecnologías en el área de aprovechamiento racional de la energía, la conservación y cuidado del medio ambiente; y se concluye que la herramienta computacional eQUEST y la metodología utilizada permiten la realización de análisis energético en edificaciones de manera óptima y confiable para usar en futuros proyectos.

9. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- Se logró con el nuevo diseño propuesto EEM-15 disminuir el consumo energético anual en 1.8%, contribuyendo con esto al cumplimiento de la meta del plan del programa del URE, PROURE relacionada con el sector público y comercial, al que pertenece la UIS, que plantea para el 2015 un ahorro máximo del 2,7% en energía eléctrica.; además de seguir las recomendaciones de promover nuevas tecnologías y herramientas que contribuyan al URE.
- Se debe tener precaución a la hora de hacer las modificaciones en la sección de diseño CAD, pues cualquier cambio en las plantillas o la zonificaciones hará que el programa restablezca las opciones de ventanas y puertas a predeterminadas, ocasionando pérdida de la información personalizada.
- El análisis LEED no se puede realizaren lugares fuera de los EE.UU. Así que hay que elegir una ubicación estándar de EE.UU. de lo contrario tiene errores al buscar valores predeterminados en tablas, por ende un análisis LEED para cualquier parte fuera de los EE.UU. debe hacerse por el procedimiento manual que se recomienda en la página WEB de LEED.
- Al analizar los resultados se evidencia que al sumar las tres propuestas EEM-12, EEM-13 y EEM-14 se consigue un ahorro en el consumo, por si solas, las claraboyas no tienen influencia positiva en el diseño, pero al colocar el control de luz diaria, aseguran un ahorro energético.
- Al momento de cambiar la orientación del edificio se ha obtenido una disminución en el consumo energético. Esto se debe a que la orientación del edificio permite exponer las ventanas directamente a la luz solar. Además, sumado al control diario de las luces, hace que se ahorre considerablemente en la iluminación, pero como consecuencia las zonas no acondicionadas se ven afectadas por la radiación solar, lo que ocasiona que las demás áreas reciban una mayor carga térmica, obligando al sistema HVAC a cubrir más zonas. Si esto se toma en cuenta se tendría que hacer un análisis para todos los pisos, estando acondicionadas cada zona, lo que aumentaría el consumo

energético, por ende esta opción se descarta, ya que, por otro lado, los planos disponibles de la construcción se han hecho de tal manera que la orientación del edificio no se pueda cambiar, aun así la propuesta se ha analizado para ver la influencia de la orientación.

- Si se implementa el control de luz de día sin tener un sistema HVAC, se consigue un ahorro energético del 4,6%, pero no se asegura el confort de los ocupantes del edificio, por esto es importante implementar un sistema HVAC y control de luz diario como mínimas opciones para asegurar el confort en el edificio y su respectivo ahorro energético.

REFERENCIAS

[1] DEPARTAMENTO DE ENERGÍA DE LOS ESTADOS UNIDOS. Página oficial del repositorio para la herramienta de simulación energética Energy Plus. Disponible desde el enlace: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/openstudio.cfm> [Citado 25 nov., 2013]

[2] HIRSCH, James J. Página oficial del repositorio para la herramienta de simulación energética eQUEST de la DOE2. Disponible desde el enlace: <http://www.doe2.com/eQUEST/> [Citado 25 nov., 2013]

[3] THE AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). Handbook Fundamentals 2009, SI Edition. Atlanta, USA 2009.

[4] EQUEST Introductory Tutorial Version 3.64 Internet: http://doe2.com/download/eQUEST/eQ-v3-64_Introductory-Tutorial.pdf (visto ultima vez: 2 de febrero de 2014).

[5] EQUEST Engineers Manual Version 2.1 Internet: <http://doe2.com/download/DOE-21E/DOE-2EngineersManualVersion2.1A.pdf> (visto ultima vez: 6 de abril de 2014).

[6] Fundamentals HVAC Controls Internet: <http://www.cs.berkeley.edu/~culler/cs294-f09/m197content.pdf> (visto ultima vez: 10 de abril de 2014).

[7] Vitals Signs HVAC component and system Internet: http://arch.ced.berkeley.edu/vitalsigns/res/downloads/rp/hvac/hvac-sml_opt.pdf (visto ultima vez: 15 de abril de 2014).

[8] Ministerio de Minas y Energía. Programa de uso racional y eficiente de energía y fuentes no convencionales – PROURE. Ministerio de Minas y Energía, República de Colombia. Bogotá D.C., 19 de Abril de 2010.

[9] International Energy Agency, IEA. Technology roadmap, energy efficient building envelopes. International Energy Agency, IEA. Paris, Francia. 2014.

[10] INCROPERA, Frank P. ; DEWITT, David P. Fundamentos de transferencia de calor 4ta edición. Prentice Hall, México, 1999.

[11] WEATHER ANALYTICS© COPYRIGHT 2014. Página de venta de información climática por internet. Disponible online desde la página web oficial: <http://www.weatheranalytics.com/>. Consultado el 24 de abril del 2014.

[12] NITATWICHIT, Chanawat; KHUNATORN, Yottana y TIPPAYAWONG, Nakorn. Computational analysis and visualization of wind-driven naturally ventilated flows around a school building. Chiang Mai University. Chiang Mai, Thailand. 2008.

[13] EXTENSION, America's Research-based Learning Network. Designing energy efficient new homes for a warm climate. Extension.org, 24 de enero del 2014. Publicación de acceso libre desde la web: <http://www.extension.org/pages/26272/designing-energy-efficient-new-homes-for-a-warm-climate#.UypCuqIVVdg>. Consultado el 19 de Marzo/2014.

[14] Universidad Industrial de Santander. 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,

capitulo 5 mampostería, capítulo 13 carpintera en aluminio. UIS, Bucaramanga. 2009.

[15] BELL, Arthur A. HVAC Equations, data and rules of thumb. Segunda edición. McGraw-Hill, 2007.

[16] Gosha LL. En cuanto al tema del ahorro de energía y la Eficiencia energética en Edificios. Revista de la ingeniería civil, № 5, 2010. República de Komi, Rusia, 2010.

BIBLIOGRAFIA

BELL, Arthur A. HVAC Equations, data and rules of thumb. Segunda edición. McGraw-Hill, 2007.

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA DE LOS ESTADOS UNIDOS. Página oficial del repositorio para la herramienta de simulación energética Energy Plus. Disponible desde <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/openstudio.cfm> el [enlace](#): <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/openstudio.cfm>[Citado 25 nov., 2013]

EQUEST Engineers Manual Version 2.1 Internet: <http://doe2.com/download/DOE-21E/DOE-2EngineersManualVersion2.1A.pdf> (visto ultima vez: 6 de abril de 2014).
EQUEST Introductory Tutorial Version 3.64 Internet: http://doe2.com/download/eQUEST/eQ-v3-64_Introductory-Tutorial.pdf (visto ultima vez: 2 de febrero de 2014).

EXTENSION, America's Research-based Learning Network. Designing energy efficient new homes for a warm climate. Extension.org, 24 de enero del 2014. Publicación de acceso libre desde la web: <http://www.extension.org/pages/26272/designing-energy-efficient-new-homes-for-a-warm-climate#.UypCuqIVVdg>. Consultado el 19 de Marzo/2014.

Fundamentals HVAC Cotrols Internet: <http://www.cs.berkeley.edu/~culler/cs294-f09/m197content.pdf> (visto ultima vez: 10 de abril de 2014).

Gosha LL. En cuanto al tema del ahorro de energía y la Eficiencia energética en Edificios. Revista de la ingeniería civil, № 5, 2010. República de Komi, Rusia, 2010.

HIRSCH, James J. Página oficial del repositorio para la herramienta de simulación energética eQUEST de la DOE2. Disponible desde el enlace: <http://www.doe2.com/eQUEST/>[Citado 25 nov., 2013]

INCROPERA, Frank P. ; DEWITT, David P. Fundamentos de transferencia de calor 4ta edición. Prentice Hall, México, 1999.

International Energy Agency, IEA. Technology roadmap, energy efficient building envelopes. International Energy Agency, IEA. Paris, Francia. 2014.

Ministerio de Minas y Energía. Programa de uso racional y eficiente de energía y fuentes no convencionales – PROURE. Ministerio de Minas y Energía, República de Colombia. Bogotá D.C., 19 de Abril de 2010.

NITATWICHIT, Chanawat; KHUNATORN, Yottana y TIPPAYAWONG, Nakorn. Computational analysis and visualization of wind-driven naturally ventilated flows around a school building. Chiang Mai University. Chiang Mai, Thailand. 2008.

THE AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). Handbook Fundamentals 2009, SI Edition. Atlanta, USA 2009.

Universidad Industrial de Santander. 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, capítulo 5 mampostería, capítulo 13 carpintera en aluminio. UIS, Bucaramanga. 2009.

Vitals Signs HVAC component and system Internet:
http://arch.ced.berkeley.edu/vitalsigns/res/downloads/rp/hvac/hvac-sml_opt.pdf
hvac-sml_opt.pdf (visto ultima vez: 15 de abril de 2014).

WEATHER ANALYTICS© COPYRIGHT 2014. Página de venta de información climática por internet. Disponible online desde la página web oficial: <http://www.weatheranalytics.com/>. Consultado el 24 de abril del 2014.

ANEXO A. UTILIZANDO LA HERRAMIENTA EXTERNA eQ_WthProc (eQUEST WEATHER PROCESSOR)



En vista de la posibilidad de conseguir algún archivo climático de interés directo del repositorio de la página oficial de Energy Plus-del Departamento de Energía de los Estados Unidos, que actualmente posee más de 2100 archivos climáticos de distintas localizaciones disponibles para descargar en formato de clima para Energy Plus, y que además el mercado maneja el formato de listas separadas por comas (.csv) para los archivos de historial climático; eQUEST ideó esta herramienta para facilitar la personalización de la localidad/condiciones climáticas que el usuario necesita.


Se explica a continuación el proceso para convertir un archivo climático en formato desde el formato .csv a .bin utilizándola herramienta externa eQ_WthProc.

DESCARGAR EL PROGRAMA

El programa se descarga del repositorio de la DOE2 “Weather Data & Weather Data Processing Utility Programs” desde el siguiente enlace: http://doe2.com/index_wth.html donde aparecerán las siguientes opciones:

Tabla38: Repositorio de la DOE2 “Weather data & weather data processing utility programs”.

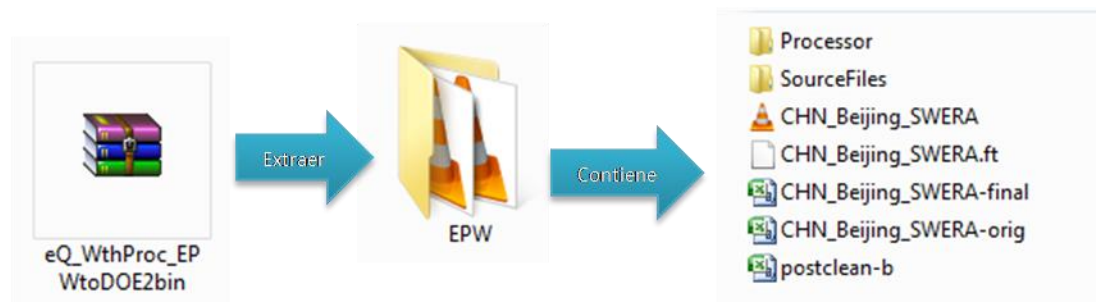
 <p>Weather Data</p>	Es la sección de descarga de archivos información climática para usar en eQUEST de la DOE2.
 <p>eQUEST</p>	eQ_WthProc (eQUESTWeatherProcessor): Convierte archivos climáticos.epw de EnergyPlus al formato .bin que maneja eQUEST.

	<p>DOEWth es otra aplicación similar a eQ_WthProc que convierte los formatos de archivos comúnmente utilizados por la NOAA/NCDC (bases de datos de información climática de los estados unidos) al formato .bin utilizado por eQUEST.</p>
---	---

Fuente: James J. Hirsch, Página oficial de eQUEST-DOE2.

Descargamos la aplicación eQ_WthProc dando clic en el enlace con el mismo nombre. Buscamos el archivo descargado, que aparece con el nombre **eQ_WthProc_EPWtoDOE2bin.zip**; y descomprimir el archivo. Aparecerá entonces una carpeta llamada EPW que contiene los archivos que se aprecian en la Figura 50.

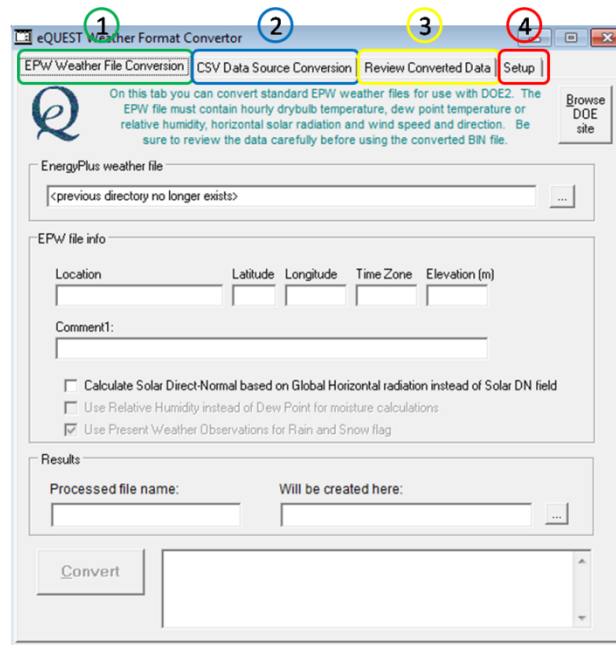
Figura 50: Descargando la aplicación eQ_WthProc



Fuente: Autores

Solo es de nuestro interés la carpeta Processor y la Carpeta SourceFiles. En la primera encontraremos el ejecutable eQ_WthProc.exe, cuya interfaz se muestra en la **Figura 51**, donde se enumeran las cuatro pestañas principales.

Figura 51. Interfaz de la aplicación eQ_WithProc.



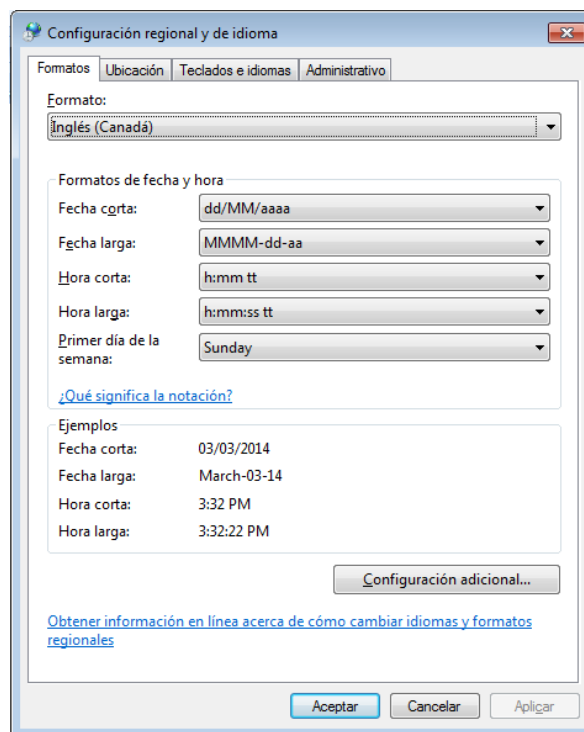
Fuente: Autores

1. EPW Weather File Conversión: En esta pestaña se hace la conversión del archivo climático con formato '.epw' de EnergyPlus a '.bin' para eQUEST con un proceso semejante al que se describe a continuación en la siguiente pestaña.
2. CSV Data Source Conversion: Para realizar la conversión del archivo climático con formato '.csv' a '.bin' utilizamos esta pestaña.
3. Review Converted Data: Una vez finalizada la conversión del archivo de clima en esta pestaña es posible observar gráficamente los datos procesados.
4. Setup: Para realizar configuraciones correspondientes a las tolerancias de los valores de los parámetros climáticos y los archivos temporales que crea el Procesador.

FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA

Se explica ahora cómo convertir un archivo climático de origen ‘.csv’ a ‘.bin’.
Para que el programa funcione correctamente es necesario configurar previamente la *Configuración regional y de idioma* del equipo donde se esté ejecutando la aplicación. Esto se hace, para equipos con sistema operativo Windows 7, en *Panel de control/Reloj, idioma y región/ Configuración regional y de idioma/Cambiar formato de hora, fecha o número* y en la ventana que se abre (Ver Figura 52).

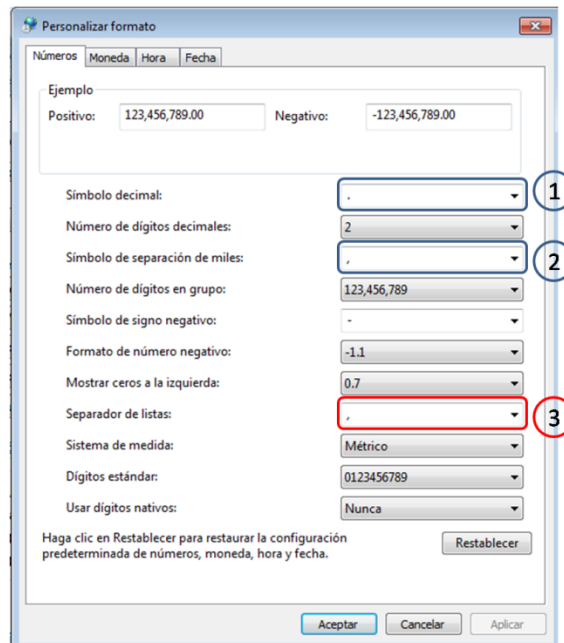
Figura 52: Configuración regional y de idioma.



Fuente: Autores

Seleccionar en *Formato- Inglés (Canadá)*, o *inglés (Estados Unidos)*; lo importante es confirmar en *Configuración Adicional* lo siguiente (Ver Figura 53)

Figura 53: Personalizando el formato de entrada/salida de datos.

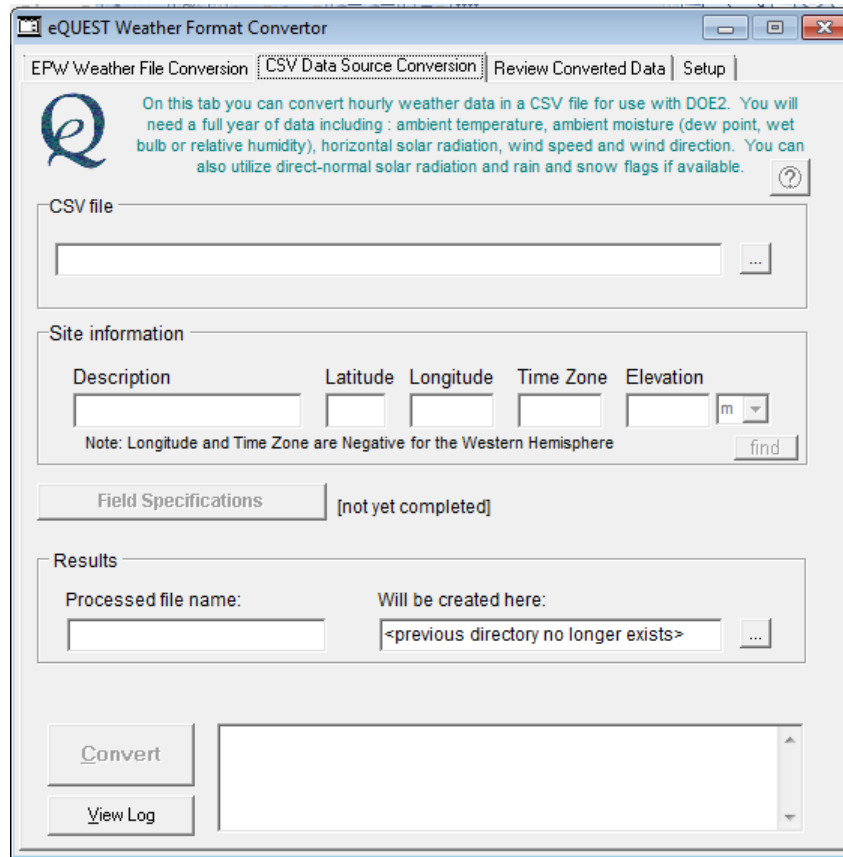


Fuente: Autores

1. Símbolo decimal: Debe estar seleccionado el punto (.) como símbolo decimal.
2. Símbolo separador de miles: La coma (,) debe ser el símbolo que separe como indicador de mil.
3. Separador de listas: Es quizá el más necesario. Debemos asegurar que esté seleccionada la coma (,) como separador de listas. Esto es importante debido a que el archivo fuente de información climática está en formato '.csv' para que sea reconocible como una tabla en la aplicación eQ_WthProc.

Ejecutamos la aplicación **eQ_WthProc.exe**, y seleccionamos la **pestaña 2 (Figura 53)**. Se abrirá la interfaz de la Figura 54.

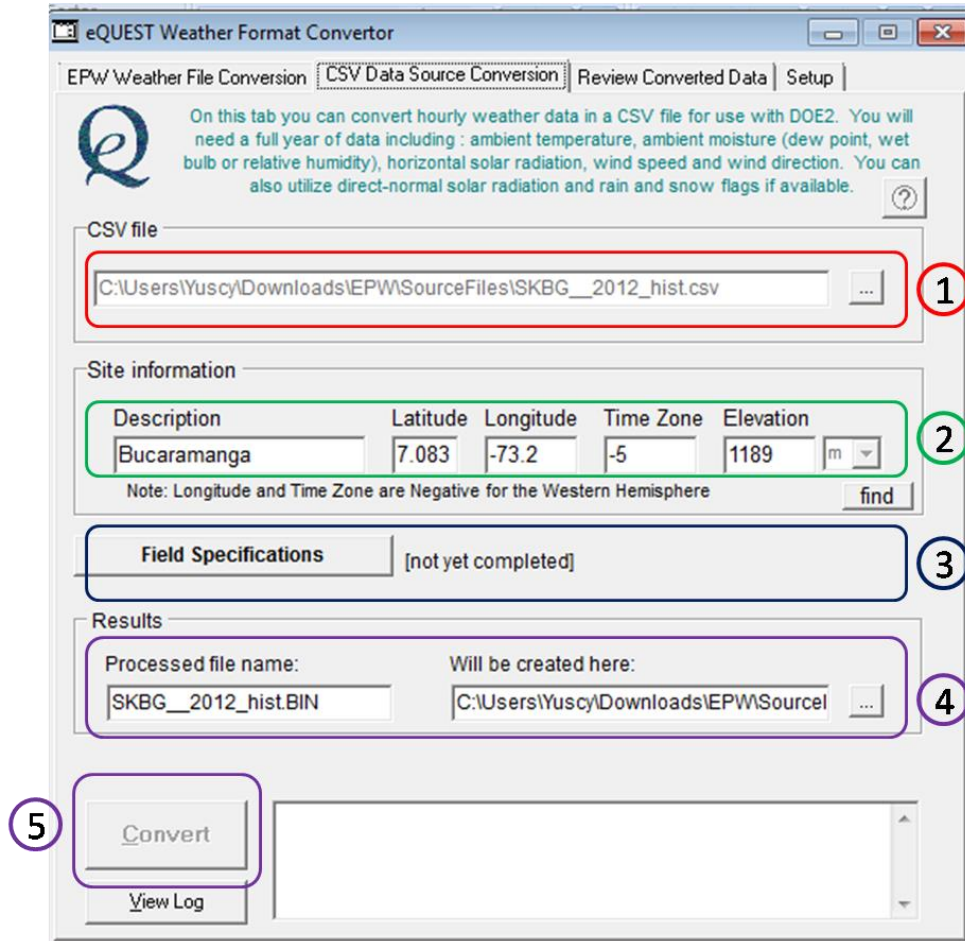
Figura 54: Interfaz de la pestaña 2.



Fuente: Autores

Diligenciamos los campos de la siguiente manera como se indica en la Figura 55:

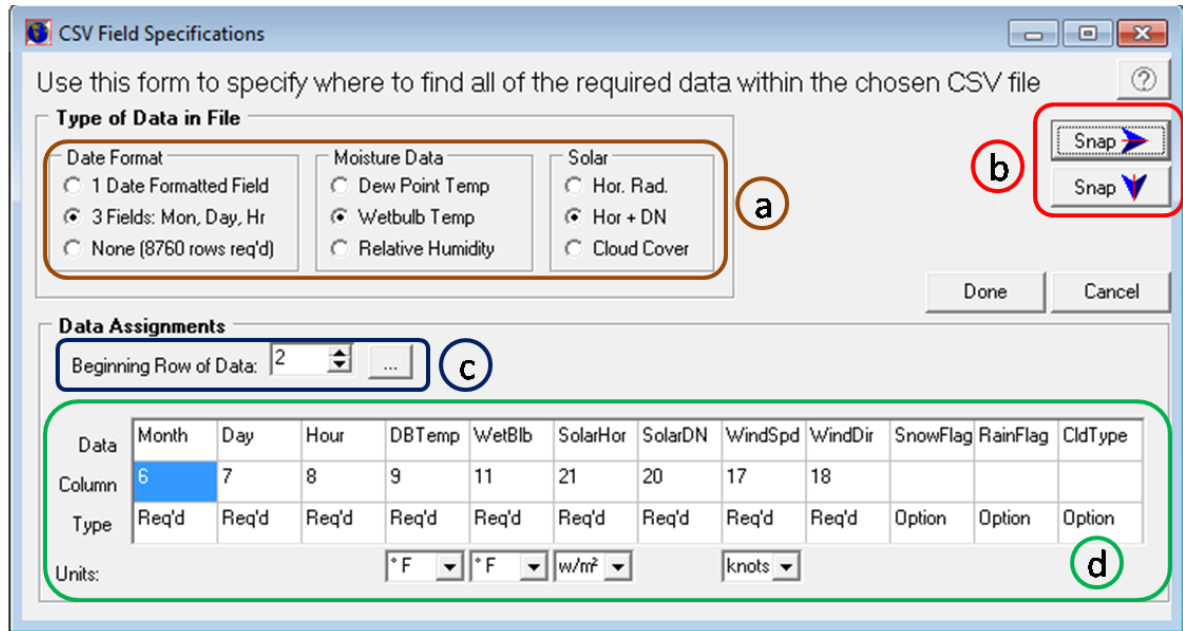
Figura 55. Diligenciando los campos.



Fuente: Autores

1. **CSV File:** Localizar el archivo de clima con formato '.csv' desde la ubicación en el equipo.
2. **Site Information:** Completar la **Información del Sitio**. En caso de que el archivo posea esta información en su contenido, al presionar **find** es posible seleccionar la información señalando la celda donde se encuentre.
3. **Field Specifications:** Es aquí donde la aplicación le permite al usuario señalarle la ubicación de todas las variables necesarias para crear el archivo del clima (Ver Figura 56).

Figura 56. Field Specifications.



Fuente: Autores

- a. **Type of Data in File:** De acuerdo a los datos que dispongamos seleccionamos la opción correspondiente.
- b. **Snap:** Permite desplegar en la dirección indicada respecto a la ventana los datos del archivo en formato de tabla para asignarlo con doble clic en el recuadro (Ver Figura 57).

Figura 57. Datos formateados a manera de tabla en la aplicación.

	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Año	Mes	Día	Hora	Tsfc_F	Tdew_F	Twe_F	Rh_PCT	Psfc_MB	CldCov_PCT	Twc_F	Tapp_F	Spd_KTS	Di
2	2012	1	1	0	66.8	54	58.5	64	880.5	22	66.8	66.8	2	0
3	2012	1	1	1	66.1	54.1	57.2	65	880.5	100	66.1	66.1	2	20
4	2012	1	1	2	65.5	54.4	57.6	67	880.6	100	65.5	65.5	1	30
5	2012	1	1	3	65.1	54.9	58.2	70	880.7	100	65.1	65.1	1	40
6	2012	1	1	4	64.7	54.9	58.5	71	880.9	99	64.7	64.7	1	50
7	2012	1	1	5	64.4	55	58.7	72	881.2	84	64.4	64.4	1	60
8	2012	1	1	6	65.2	53.5	57.4	66	881.6	75	65.2	65.2	1	90
9	2012	1	1	7	66.2	66	66.1	100	880.1	100	66.2	66.2	3	14
10	2012	1	1	8	66.2	64.3	64.9	94	880.7	100	66.2	66.2	4	17
11	2012	1	1	9	69.8	66.1	67.2	88	881.3	99	69.8	69.8	4	16
12	2012	1	1	10	73.4	66.1	68.3	78	881.6	98	73.4	77.1	5	17

Fuente: Autores

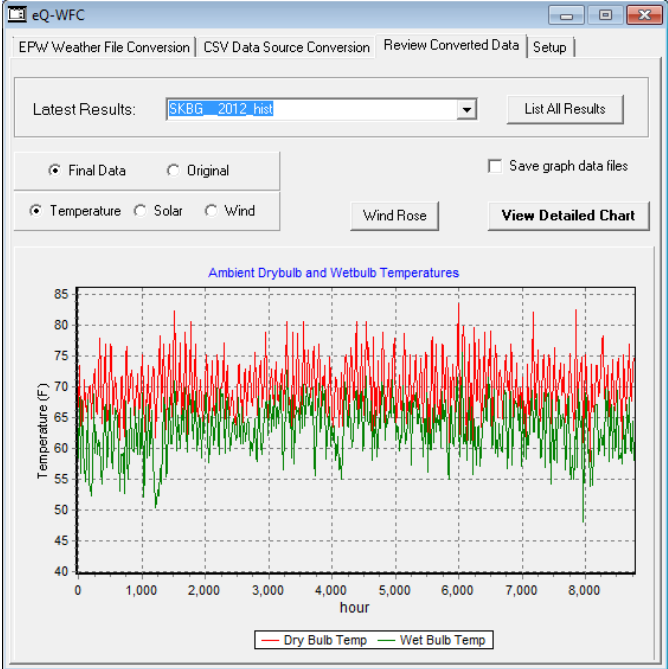
Note que en la parte superior de la tabla aparece un comentario en azul que pide señalar con doble clic la columna que contiene la información correspondiente a los meses. Esto es así porque, como se ve en la Figura 56, tenemos seleccionada la celda donde se especifica la columna que contiene la información 'mes' (resaltado en azul en el **recuadro d.**).

- c. **BeginningRow of Data:** Como lo indica su nombre, en este recuadro especificamos la fila a partir de la cual en adelante tiene importancia la tabla de valores de la información climática. En este caso los datos numéricos útiles comienzan a partir de la fila dos de la tabla de la Figura 57.
- d. **Data assignments:** Aquí se asigna la columna de la tabla de información climática que contiene la variable solicitada. Tenga en cuenta las unidades y que sólo las últimas tres variables son opcionales.

Finalmente presionamos Done, y regresamos a la ventana de la Figura 55, y encontramos que ahora el **recuadro 3**, que antes aparecía 'incompleto', ahora aparece '[Completo]'.

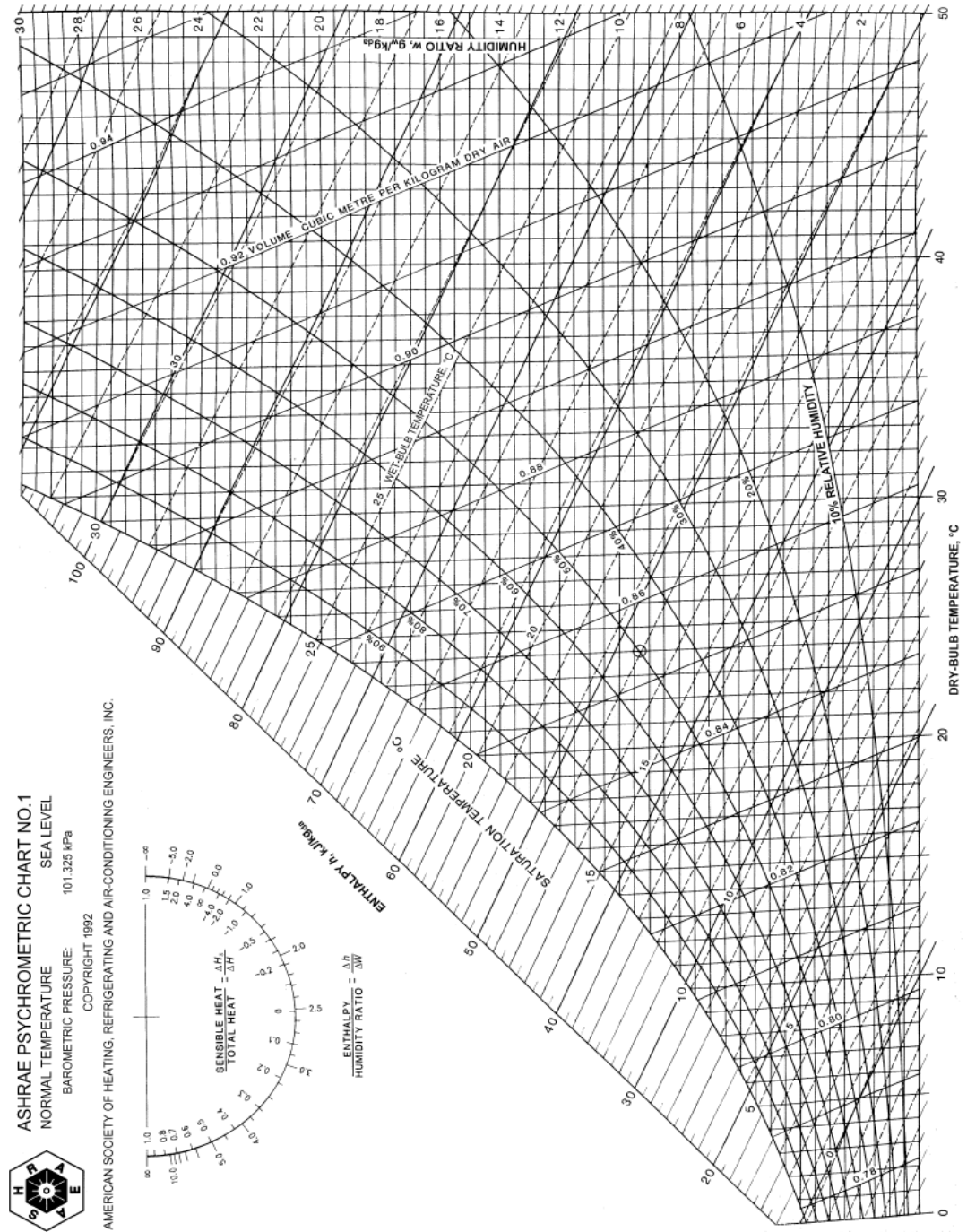
Lo que sigue ahora es modificar, si se desea, el nombre y la dirección del archivo de salida (recuadro 4 de la Figura 55) y presionamos '**Convert**'. En este punto es posible utilizar la pestaña *ReviewConverted Data* (**recuadro 3** de la **(figura 52)**), cuya utilidad es con fines de revisión general de los datos gráficamente (Figura 58). En caso de haber inconsistencias se recomienda revisar el archivo de información climática inicial y la configuración de la aplicación en la pestaña *Setup* (**recuadro 4, Figura 52**).

Figura 58. Pestaña para revisión de los datos convertidos.



Fuente: Autores

**ANEXO B. CARTA PSICOMÉTRICA PARA ATMÓSFERA ESTÁNDAR
SEGÚN LA AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND
AIR-CONDITIONING ENGINEERS**



ANEXO C. INFORMACIÓN GENERAL DEL MODELAMIENTO DEL EDIFICIO

Nombre del espacio	General				Ocupación					Lighting	Equipment			Infiltraciones	
	Piso #	Descripción de actividad	Area [ft2]	Volumen [ft3]	Area/persona [ft2]	# personas	Total ganancia de calor [Btu/h-perso]	Calor sensible personas [Btu/h-perso]	Calor latente personas [Btu/h-perso]	Lighting [W/ft2]	Equip [W/ft2]	Equip. Sensible fracc.	Equip. Latente fracc.	Flujo de infiltraciones [cfm/ft2]	
Primer piso	Lab. Sistemas oleoneumáticos	EL1 Ground Flr	Comm/Ind Work (Hi/Bio/Lab)	2.371,50	47.430,60	100	23,72	450	250	200	1,4	0,11	1	0	0,0155
	Módulo de ensayo 2	EL1 Ground Flr	Computer (Instruc/PC Lab)	283,2	5.663,10	20	14,16	450	245	155	1,5	1,03	1	0	0,0155
	Espacio ambiente controlado 1	EL1 Ground Flr	Computer (Instruc/PC Lab)	169	3.379,80	20	8,45	450	245	155	1,5	1,03	1	0	0,0155
	Espacio ambiente controlado 2	EL1 Ground Flr	Computer (Instruc/PC Lab)	165,1	3.302,40	20	8,26	450	245	155	1,5	1,03	1	0	0,0155
	Almacén	EL1 Ground Flr	Storage (Unconditioned)	167,1	3.341,10	333	0,5	450	275	475	0,8	0	1	0	0,0155
	Baños 3	EL1 Ground Flr	Restrooms	32,3	646,8	100	0,32	450	250	250	0,9	n/a	n/a	n/a	0,0155
	Baños 4	EL1 Ground Flr	Restrooms	32,7	653,4	100	0,33	450	250	250	0,9	n/a	n/a	n/a	0,0155
	Centro diagnóstico	EL1 Ground Flr	Mechanical/Electrical Room	2.681,60	53.631,30	333	8,05	450	250	250	1,5	n/a	n/a	n/a	0,0155
	Almacenes y otros 1	EL1 Ground Flr	Storage (Unconditioned)	81	1.620,00	333	0,24	450	275	475	0,8	0	1	0	n/a
	Cámara de pintura 2	EL1 Ground Flr	Storage (Unconditioned)	64,5	1.289,60	333	0,19	450	275	475	0,8	0	1	0	0,0155
	Cámara de pintura 1	EL1 Ground Flr	Storage (Unconditioned)	64,5	1.289,60	333	0,19	450	275	475	0,8	0	1	0	0,0155
	Baños 1	EL1 Ground Flr	Restrooms	200,2	4.004,00	100	2	450	250	250	0,9	n/a	n/a	n/a	0,0155
	Pasillos 2	EL1 Ground Flr	Corridor	78,5	1.570,80	100	0,79	450	250	250	0,5	n/a	n/a	n/a	0,0155
	Baños 2	EL1 Ground Flr	Restrooms	200,2	4.004,00	100	2	450	250	250	0,9	n/a	n/a	n/a	0,0155
	Pasillos 1	EL1 Ground Flr	Corridor	581,3	11.625,40	100	5,81	450	250	250	0,5	n/a	n/a	n/a	0,0155
	Sala de pruebas 1	EL1 Ground Flr	Storage (Unconditioned)	129,3	2.586,30	333	0,39	450	275	475	0,8	0	1	0	n/a
	Almacenes y otros 2	EL1 Ground Flr	Storage (Unconditioned)	449,3	8.985,90	333	1,35	450	275	475	0,8	0	1	0	0,0155
	Lab. Motores e instrumentación	EL1 Ground Flr	Auto Repair Workshop	1.222,00	24.440,00	100	12,19	450	275	475	1,9	0,498	1	0	0,0155
	Sala de pruebas 1	EL1 Ground Flr	Computer (Instruc/PC Lab)	120,5	2.410,40	20	6,03	450	245	155	1,5	1,03	1	0	0,0155
	Sala de pruebas 2	EL1 Ground Flr	Computer (Instruc/PC Lab)	117,9	2.358,00	20	5,89	450	245	155	1,5	1,03	1	0	n/a
	Sala de pruebas 3	EL1 Ground Flr	Computer (Instruc/PC Lab)	117,9	2.358,00	20	5,89	450	245	155	1,5	1,03	1	0	n/a
	Almacenes y otros 3	EL1 Ground Flr	Storage (Unconditioned)	87,3	1.746,00	333	0,26	450	275	475	0,8	0	1	0	n/a
	Almacenes y otros 4	EL1 Ground Flr	Storage (Unconditioned)	175,7	3.513,10	333	0,53	450	275	475	0,8	0	1	0	0,0155
	Módulo de ensayo 1	EL1 Ground Flr	Computer (Instruc/PC Lab)	359,3	7.185,30	20	17,96	450	245	155	1,5	1,03	1	0	0,0155
	Almacenes y otros 5	EL1 Ground Flr	Storage (Unconditioned)	139,8	2.796,00	333	0,42	450	275	475	0,8	0	1	0	0,0155
	Túnel de viento	EL1 Ground Flr	Mechanical/Electrical Room	1.317,50	26.350,00	333	3,95	450	250	250	1,5	n/a	n/a	n/a	0,0155
Taller de máquinas herramientas	EL1 Ground Flr	Comm/Ind Work (Precision)	3.776,70	75.533,60	100	37,77	450	250	200	1,4	0	1	0	0,0155	
Segundo piso	Lab. de Dinamica y robotica	EL2 Ground Flr	Comm/Ind Work (Gen, Low)	1.363,40	15.406,10	100	13,63	450	275	475	1,9	0	1	0	0,0092
	Oficina del profesor	EL2 Ground Flr	Computer (Instruc/PC Lab) (75%)	126,1	1.424,60	25	5,02	450	245	158	1,4	0,119	1	0	0,0092
	Salas de computo	EL2 Ground Flr	Computer (Instruc/PC Lab) (75%)	355,7	4.019,70	25	14,16	450	245	158	1,4	0,119	1	0	0,0092
	Lab. Diseño de maquinas	EL2 Ground Flr	Comm/Ind Work (Gen, Low)	1.580,30	17.857,50	100	15,8	450	275	475	1,9	0	1	0	0,0092
	Oficinas	EL2 Ground Flr	Computer (Instruc/PC Lab) (75%)	284,1	3.210,50	25	11,31	450	245	158	1,4	0,119	1	0	0,0092
	Lab. STAF	EL2 Ground Flr	Comm/Ind Work (Gen, Low)	2.515,00	28.419,00	100	25,15	450	275	475	1,9	0	1	0	0,0092
	Puestos de trabajo	EL2 Ground Flr	Computer (Instruc/PC Lab) (75%)	472,3	5.336,90	25	18,8	450	245	158	1,4	0,119	1	0	0,0092
Tercer piso	Baños	EL3 Ground Flr	Restrooms	411,1	4.727,60	100	4,11	450	250	250	0,9	n/a	n/a	n/a	0,012
	Lab. Energias alternativas	EL3 Ground Flr	Mechanical/Electrical Room	777	8.935,10	333	2,33	450	250	250	1,5	0	1	0	0,012
	Control de potencia	EL3 Ground Flr	Computer (Instruc/PC Lab) (65%)	128,9	1.482,20	28	4,67	450	245	159	1,36	1,124	1	0	0,012
	Puestos de trabajo3	EL3 Ground Flr	Computer (Instruc/PC Lab) (65%)	224	2.576,40	28	8,11	450	245	159	1,36	1,124	1	0	0,012
	Modelamiento de flujo	EL3 Ground Flr	Mechanical/Electrical Room	496,4	5.708,30	333	1,49	450	250	250	1,5	0	1	0	0,012
	Lab. Mecanica de maquinas	EL3 Ground Flr	Mechanical/Electrical Room	1.081,70	12.439,70	333	3,25	450	250	250	1,5	0	1	0	0,012
	Oficina del profesor3	EL3 Ground Flr	Computer (Instruc/PC Lab) (65%)	104	1.196,50	28	3,77	450	245	159	1,36	1,124	1	0	0,012
	Sala de computo	EL3 Ground Flr	Computer (Instruc/PC Lab) (65%)	185,6	2.134,90	28	6,72	450	245	159	1,36	1,124	1	0	0,012
	Lab. Refrig. y A.A	EL3 Ground Flr	Mechanical/Electrical Room	587,9	6.760,40	333	1,76	450	250	250	1,5	0	1	0	0,012
	Lab. Sistemas termicos	EL3 Ground Flr	Mechanical/Electrical Room	1.846,50	21.234,80	333	5,54	450	250	250	1,5	0	1	0	0,012
Oficinas de auxiliares3	EL3 Ground Flr	Computer (Instruc/PC Lab) (65%)	187,6	2.157,60	28	6,79	450	245	159	1,36	1,124	1	0	0,012	

ANEXO D. CARGAS EN EL EDIFICIO.

	Equipo	Cantidad	Potencia [Hp]	Eq. De oficina [W]	Motores [W]	Miscelaneo [W]	Auto refrig. [W]	Compresor [W]	Cargas de proceso [BTU-h]	
Primer piso	Laboratorio de sistemas oleoneumáticos.	Malacate	1	30,00	-	22401	-	-	-	
		Banco hidraulica DicBot	1	2,50	-	1866,75	-	-	-	
		Péndulo	1	5,50	-	4106,85	-	-	-	
		Bombas dobles	1	5,00	-	3733,5	-	-	-	
		Control automatico	2	1,00	-	1493,4	-	-	-	
		Plataforma	2	10,00	-	14934	-	-	-	
		Festo	1	0,25	-	186,675	-	-	-	
		Prueba de bombas	1	5,00	-	3733,5	-	-	-	
	Laboratorio de motores e instrumentación	Banco 1 (Sala de prueba)	1	50,00	-	-	-	-	-	127,25
		Banco 2 (Sala de prueba)	1	50,00	-	-	-	-	-	127,25
		Banco 3 (Sala de prueba)	1	50,00	-	-	-	-	-	127,25
		Banco 4 (Sala de prueba)	1	50,00	-	-	-	-	-	127,25
		M1 x 6Motores	6	2,00	-	8960,4	-	-	-	-
		Planta	1	18,00	-	13440,6	-	-	-	-
		Banco 'viejo'	1	12,00	-	8960,4	-	-	-	-
	Taller de máquinas-herramientas	Serrajadora	2	0,25	-	373,35	-	-	-	-
		Tronzadora industrial	1	4,00	-	2986,8	-	-	-	-
		Taladro	1	0,60	-	448,02	-	-	-	-
		Esmeriladora	2	2,00	-	2986,8	-	-	-	-
		Banco machín-machón	1	1,00	-	746,7	-	-	-	-
		Equipos de soldadura de arco eléctrico	2	10,00	-	14934	-	-	-	-
		Fresadora	1	10,72	-	8004,624	-	-	-	-
		Torno 1	1	9,38	-	7004,046	-	-	-	-
		Torno 2	1	7,37	-	5503,179	-	-	-	-
		Torno 3	1	8,04	-	6003,468	-	-	-	-
		Miscelaneo 1	1	0,30	224,01	-	-	-	-	-
		Miscelaneo 2	1	0,09	67,20	-	-	-	-	-
		Miscelaneo 3	1	0,20	149,34	-	-	-	-	-
		Miscelaneo 4	1	0,26	194,14	-	-	-	-	-
		Banco tambor	1	2,00	-	1493,4	-	-	-	-
	Banco tolva	1	5,00	-	3733,5	-	-	-	-	
	TOTAL				634,695	138034,962	0	0	0	509
	Segundo piso	Laboratorio de STAF	Banco de impacto de chorro	1	2,00	-	1493,4	-	-	-
Banco de venturi			1	0,75	-	560,025	-	-	-	
Flujo a través de un orificio			1	0,50	-	373,35	-	-	-	
Flujo incompresible			1	0,50	-	373,35	-	-	-	
Banco de pérdidas			2	1,00	-	1493,4	-	-	-	
Flujo laminar			2	0,25	-	373,35	-	-	-	
Viscosidad			1	0,25	-	186,675	-	-	-	
			1	2,00	-	1493,4	-	-	-	
Miscelaneo 1. Ventilador			1	0,06	44,80	-	-	-	-	
Miscelaneo 2. Ventilador Weather Works			1	0,12	-	-	89,604	-	-	
Miscelaneo 3. Pc- Escritorio		1	0,27	201,61	-	-	-	-		
Miscelaneo 4. Pc-Portatiles		3	0,27	604,83	-	-	-	-		
Diseño de máquinas		Banco de motores eléctricos	1	0,50	-	373,35	-	-	-	
		Motor trifasico 1	1	1,00	-	746,7	-	-	-	
		Motor trifasico 2	1	2,00	-	1493,4	-	-	-	
		Compresor 1	2	3,50	-	-	-	-	5226,9	
		Compresor 2	1	1,50	-	-	-	-	1120,05	
	Miscelaneo 1 Ventilador Silver grande	1	0,06	-	-	44,802	-	-		
	Miscelaneo 2 Pc- Escritorio	2	0,26	388,28	-	-	-	-		
Miscelaneo 3 Pc- Portatiles	2	0,26	388,28	-	-	-	-			
Laboratorio de dinamica y robótica	Maquina de ensayo de tensión y compresión dinámica	1	2,82	-	2105,694	-	-	-		
	Mini hass	1	1,50	-	1120,05	-	-	-		
	Miscelaneo 1 Pc-Portatil	1	0,26	194,14	-	-	-	-		
TOTAL				1821,948	12186,144	134,406	0	6346,95	0	
Tercer piso	Laboratorio de sistemas térmicos	Torre de enfriamiento	1	0,5	-	373,35	-	-	-	
		Banco 1	1	0,5	-	373,35	-	-	-	
		Banco 2 Radiador	1	0,5	-	373,35	-	-	-	
		Planta térmica Bomba	1	CAP= 20 BHP	-	-	-	-	-	
			1	3	-	2240,1	-	-	-	
		Banco condensadores	4	0,5	-	1493,4	-	-	-	
		Banco HVAC Compresor hermético y Ventiladores	2	0,5	-	-	-	746,7	-	
			2	0,01	-	-	-	21,3342857	-	
		Banco con tanque	1	2,4	-	1792,08	-	-	-	
		Cuarto frío	1	3	-	-	-	2240,1	-	
		Miscelaneo 1 Horno microhondas	1	2	-	-	1493,4	-	-	
	Miscelaneo 2 Pc-Escritorio	3	0,27	604,83	-	-	-	-		
	Miscelaneo 3 Pc-Portatil	4	0,27	806,44	-	-	-	-		
	Laboratorio de mecánica de máquinas	Banco caja de velocidades	1	2,4	-	1792,08	-	-	-	
TOTAL				1411,263	8437,71	1493,4	3008,13429	0	0	