

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA ENTRE
DESIGNBUILDER Y ENERGYPLUS**

**CRISTIAN VILLALBA LOZANO
NIXON ESTEFANO ORTIZ MORALES**



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

2016

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA ENTRE
DESIGNBUILDER Y ENERGYPLUS**

**CRISTIAN VILLALBA LOZANO
NIXON ESTEFANO ORTIZ MORALES**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electricista

Director

**GERMAN ALFONSO OSMA PINTO
Magister en Ingeniería Eléctrica**

Codirectores

**GABRIEL ORDÓÑEZ PLATA
Doctor Ingeniero Industrial**

**JORGE LUIS CÁRDENAS RANGEL
Ingeniero Electricista**

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

2016

DEDICATORIA

A Dios, por sostenerme y guiarme en todo momento.

*A mis padres, Aracelys y Ángel por su sacrificio y esfuerzo, porque por ellos soy una mejor
persona.*

A mis hermanos, Ángel y Arturo por su apoyo en todo momento.

A mis tías, Clara y Claribel por sus consejos y apoyo, porque las considero como madres.

A mis abuelos, Aurora y Cesar por su cariño y comprensión.

Cristian Villalba Lozano

Primero gracias a Dios por darme la fuerza y constancia para superar cada una de las dificultades que se presentaron en el transcurso de mi formación profesional.

A mis padres, por su sincero apoyo, entendimiento, paciencia y por haber confiado siempre en mí permitiéndome desarrollarme libremente en lo que he querido y animándome a afrontar nuevos desafíos.

A mi compañero de grado, por ser parte importante en la realización de este sueño y ayudarme cuando lo necesite.

A mis amigos y compañeros con quienes compartí innumerables jornadas de estudio, dificultades y alegrías.

Nixon Estefano Ortiz Morales

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander, por brindarnos los espacios de formación y lograr ser profesionales, a la escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones por brindarnos las herramientas necesarias para el buen desarrollo de este trabajo de investigación.

Al MSc. German Alfonso Osma Pinto, por su orientación en este proyecto.

Al Profesor Gabriel Ordóñez Plata y al Ing. Jorge Luis Cárdenas Rangel por su acompañamiento en este proyecto.

CONTENIDO

| | Pág. |
|--|-------------|
| INTRODUCCIÓN | 18 |
| 1. GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO | 20 |
| 1.1 CONTEXTUALIZACION DEL TRABAJO DE GRADO | 20 |
| 1.1.1 Eficiencia energética | 20 |
| 1.1.2 Desempeño energético de edificios | 20 |
| 1.1.3 Simulación energética | 21 |
| 1.1.4 Energyplus | 22 |
| 1.2 DECLARACIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN PARA SU SOLUCIÓN | 23 |
| 1.3 ANTECEDENTES | 24 |
| 1.4 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN | 26 |
| 1.5 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO | 27 |
| 2. MODELADO VIRTUAL EN ENERGYPLUS | 28 |
| 2.1 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES (E3T) | 28 |
| 2.2 MODELADO GEOMÉTRICO | 29 |
| 2.3 DATOS DEL MODELO | 31 |
| 2.3.1 Materiales de construcción | 31 |
| 2.3.2 Cargas de refrigeración | 32 |
| 2.3.3 Iluminación | 33 |

| | |
|---|----|
| 2.3.4 Equipos de oficina | 34 |
| 2.3.5 Ocupación | 34 |
| 2.3.6 Horarios | 35 |
| 3. CALIBRACIÓN Y SINTONIZACIÓN DEL MODELO DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA. | 37 |
| 3.1 CALIBRACIÓN DEL MODELO | 38 |
| 3.1.1. Obtención de datos | 39 |
| 3.1.2 Inserción de datos | 39 |
| 3.2 SINTONIZACIÓN DEL MODELO | 40 |
| 3.2.1 Simulación Preliminar | 40 |
| 3.2.2 Comprobación de resultados y estimación de errores | 41 |
| 3.2.3 Reajuste del modelo | 42 |
| 4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN ENERGYPLUS Y DESIGNBUILDER | 46 |
| 4.1 DATOS TÉCNICOS E INFORMACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN ENERGYPLUS Y DESIGNBUILDER | 46 |
| 4.2 MODELADO GEOMÉTRICO | 48 |
| 4.3 INSERCIÓN DE DATOS | 50 |
| 4.4 REPORTES DE SALIDAS | 53 |
| 4.5 RESULTADOS DE SIMULACIÓN | 55 |
| 4.5.1 Resultados simulaciones EnergyPlus | 55 |
| 4.5.2 Comparación de resultados | 62 |
| 5. CONCLUSIONES | 71 |
| 6. OBSERVACIONES | 74 |

BIBLIOGRAFIA 75

ANEXOS 80

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 1. Sótano del Edificio de Ingeniería Eléctrica. | 30 |
| Figura 2. Modelo completo del Edificio de Ingeniería Eléctrica. | 31 |
| Figura 3. Horas de discomfort anuales en las zonas críticas. | 59 |
| Figura 4. Resultados de consumo energético anual. | 60 |
| Figura 5. Consumo energético anual. | 63 |
| Figura 6. Temperatura de las zonas críticas. | 63 |
| Figura 7. Temperatura del aire por hora de la sala de reuniones del 5 piso. | 65 |
| Figura 8. Humedad relativa de las zonas críticas. | 66 |
| Figura 9. Humedad relativa por hora de la sala de reuniones del 5 piso. | 67 |
| Figura 10. Nivel de iluminación natural. | 68 |
| Figura 11. Nivel de iluminación natural por hora de la sala de reuniones del 5 piso. | 69 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Tabla 1. Antecedentes de simulaciones energéticas en el Edificio de Ingeniería Eléctrica. | 25 |
| Tabla 2. Propiedades de los materiales. | 32 |
| Tabla 3. Cargas de refrigeración. | 33 |
| Tabla 4. Cargas de sótano del Edificio de Ingeniería Eléctrica. | 33 |
| Tabla 5. Equipos de oficina quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica. | 34 |
| Tabla 6. Ocupación primer piso. | 35 |
| Tabla 7. Horario de ocupación sala individual del Edificio de Ingeniería Eléctrica. | 35 |
| Tabla 8. Plan de simulaciones. | 37 |
| Tabla 9. Resultados primera simulación. | 41 |
| Tabla 10. Comparación de variables medidas y simuladas. | 41 |
| Tabla 11. Consideraciones Técnicas para el reajuste. | 42 |
| Tabla 12. Resultados de la simulación del modelo reajustado. | 44 |
| Tabla 13. Datos técnicos. | 47 |
| Tabla 14. Modelado geométrico. | 48 |
| Tabla 15. Inserción de datos. | 50 |
| Tabla 16. Reportes de salida. | 53 |
| Tabla 17. Criterios de las zonas críticas. | 56 |
| Tabla 18. Zonas críticas. | 56 |

| | |
|---|----|
| Tabla 19. Temperatura, humedad y sensación térmica de las zonas críticas. | 57 |
| Tabla 20. Clasificación de los valores del índice sensación térmica. | 58 |
| Tabla 21. Ganancias de calor anual. | 61 |
| Tabla 22 Consumo energético en el Aula 401. | 70 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pág. |
|--|-------------|
| ANEXO A. SKETCHUP | 80 |
| ANEXO B. ENERGYPLUS | 90 |
| ANEXO C. EJEMPLO ILUSTRATIVO | 97 |
| ANEXO D. DATOS DEL MODELO | 135 |
| ANEXO E. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA DE LAS TABLAS DE COMPARACIÓN | 150 |
| ANEXO F. RESULTADOS DE SIMULACIÓN | 159 |

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA ENTRE DESIGNBUILDER Y ENERGYPLUS*.

AUTORES: NIXON ESTEFANO ORTIZ MORALES
CRISTIAN VILLALBA LOZANO**

PALABRAS CLAVES: Simulación, energética, calibración, sintonización, EnergyPlus, DesignBuilder, comparación.

DESCRIPCIÓN

En este trabajo de grado se realiza la comparación de las herramientas de simulación energética DesignBuilder y EnergyPlus, partiendo de un modelo virtual desarrollado en DesignBuilder y mediciones realizadas en un trabajo de grado previo, para el Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Inicialmente, se estableció el modelo virtual del Edificio Ingeniería Eléctrica por medio de la herramienta de construcción grafica SketchUp, a través del plugin Legacy OpenStudio que conecta con la herramienta de simulación energética EnergyPlus, basándose en las características arquitectónicas, eléctricas y sus características operativas. Posteriormente, el modelo fue calibrado y sintonizado, a partir de la recolección de información de la edificación real.

Una vez generado el modelo virtual del Edificio de Ingeniería Eléctrica en EnergyPlus, se realizan las simulaciones energéticas requeridas para el análisis comparativo de las herramientas de simulación energética. Se tuvieron en cuenta variables tales como temperatura, humedad, iluminación y consumo de energía eléctrica, entre otros. También se compararon aspectos como datos técnicos, modelado geométrico, inserción de datos y las opciones para obtener los reportes en las herramientas de simulación.

Esta investigación pudo establecer que la herramienta de simulación energética EnergyPlus presenta un mayor detalle en las opciones de llenado de datos que DesignBuilder, lo cual llevó a una mayor presión y ajuste del modelo, también presenta gran número de opciones de modelado de sistemas de generación de energía convencional y energía renovable, además de su licencia de uso libre.

* Trabajo de grado.

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

ABSTRACT

TITLE: COMPARATIVE ANALYSIS OF ENERGY SIMULATION BETWEEN DESIGNBUILDER AND ENERGYPLUS*.

AUTHORS: NIXON ESTEFANO ORTIZ MORALES
CRISTIAN VILLALBA LOZANO**

KEY WORDS: Energy simulation, calibration, tuning, EnergyPlus, DesignBuilder, comparison.

DESCRIPTION

In this work of degree is DesignBuilder and EnergyPlus energy simulation tools comparison, based on a virtual model developed in DesignBuilder and measurements taken in a prior degree, for the building of electrical engineering project.

Initially, the virtual model of the electrical engineering building through the tool graph SketchUp, through the Legacy OpenStudio plugin that connects with the energy simulation tool was established EnergyPlus, based on architectural, electrical characteristics and their operational characteristics. Subsequently, the model was calibrated and tuned, from the collection of information of the real building.

Once generated the virtual model of the electrical engineering building in EnergyPlus, are energy simulations required for the comparative analysis of energy simulation tools. Took into account variables such as temperature, humidity, lighting and electrical energy, among others. Also aspects such as technical data, geometric modelling, inclusion of data and options were compared to obtain reports on simulation tools.

This research could establish that the EnergyPlus energy simulation tool presents a more detailed DesignBuilder data filling options, which led to increased pressure and model fit, also presents a large number of options of modeling of systems of generation of conventional energy and renewable energy, in addition to its free use license.

* Degree project.

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

INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética es considerada un instrumento altamente eficaz para hacer frente a la creciente demanda mundial de energía y a los efectos negativos ocasionados sobre el medio ambiente por el mal uso de los recursos no renovables¹. Por lo tanto, es necesario implementar estrategias para reducir el consumo energético en los sectores de mayor consumo como lo es el caso de las edificaciones. Lo anterior requiere de la realización de análisis energéticos a edificaciones de todo tipo (residenciales, educativas y hospitalarias, entre otras) a partir de los cuales se puede estudiar el desempeño de diferentes estrategias que incluyen sistemas de iluminación y climatización natural y sistemas híbridos, entre otros. Estos análisis son posibles mediante la utilización de herramientas de simulación energética tales como DesignBuilder, eQUEST, EnergyPlus, Ecotect, Energy-10, Simergy, entre otras^{2 3}.

El uso de las herramientas de simulación energética para el análisis energético de las edificaciones ha permitido la evaluación de las mismas a través de todo su ciclo de vida desde la etapa de diseño, teniendo en cuenta los potenciales impactos sobre la demanda de los diferentes esquemas y estrategias de diseño, lo cual permite aumentar el grado de uso racional de la energía, haciendo más eficientes los diseños de las edificaciones y por consiguiente menores impactos sobre el medio ambiente⁴.

¹ "Mecanismos e Instrumentos Financieros para Proyectos de Eficiencia Energética en Colombia." bogota, 2011.

² U. S. D. OF ENERGY, "EnergyPlus Graphical User Interfaces," april 23, 2014. [Online]. Available: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/ep_interfaces.cfm.

³ I. B. P. S. A. ASOCIATION, "Software." [en línea] disponible en: <http://www.ibpsa.es/Software/tabid/59/Default.aspx>.

⁴ GONZÁLEZ CÁCERES A., "Evaluación de herramientas de simulación energética: estudio del caso de la determinación de la demanda de calefacción en viviendas en concepción," Universidad del Bío-Bío, 2012.

En Colombia, la Resolución 0549 del 10 de julio de 2015 reglamenta los parámetros y lineamientos técnicos para la construcción sostenible, tales como medidas de ahorro en agua y energía. De igual manera, la Resolución 180919 del 01 de junio de 2010 establece un plan de acción donde se establecen medidas y estrategias que contribuyan a una cultura de sostenibilidad y eficiencia de los recursos energéticos, además de condiciones económicas regulatorias y de información para impulsar un mercado de bienes y servicios energéticos eficientes, impulsar iniciativas empresariales para el desarrollo de subprogramas y proyectos sostenibles^{5 6}.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenibles viene trabajando en alternativas como el sello ambiental colombiano de edificaciones sostenibles que busca establecer criterios de evaluación para reglamentar el diseño sostenible de edificaciones.

⁵ MINISTERIO DE VIVIENDA CIUDAD Y TERRITORIO, Resolución 0549. 2015.

⁶ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, Resolución 180919. 2010.

1. GENERALIDADES DEL TRABAJO DE GRADO

Esta sección presenta una introducción a la simulación energética, se presentan también los conceptos básicos como eficiencia energética, desempeño energético de edificios, simulación energética y se describen las características de la herramienta de simulación EnergyPlus. Además, se realiza una descripción de la justificación y los objetivos de la propuesta de investigación, y de los temas que comprende cada capítulo de este documento.

1.1 CONTEXTUALIZACION DEL TRABAJO DE GRADO

Las definiciones que se presentan a continuación permiten conocer los conceptos claves necesarios para el entendimiento de este trabajo de grado.

1.1.1 Eficiencia energética La eficiencia energética consiste en un conjunto de acciones que reduzcan el consumo de energía, sin perder la calidad de vida y también manteniendo los servicios o procesos que se llevan a cabo con esta, es por esto que se considera una de las herramientas más rápidas y efectivas para hacer frente a la creciente demanda de energía en el mundo⁷.

1.1.2 Desempeño energético de edificios El consumo energético de un edificio está directamente relacionado en gran parte con aires acondicionados e iluminación. Es por esto que se deben adoptar conductas que ayuden a mitigar estos consumos como lo es el aprovechamiento de la luz natural, la

⁷ Mecanismos e Instrumentos Financieros para Proyectos de Eficiencia Energética en Colombia.” bogota, 2011.

automatización para el control de los aires acondicionados puertas y lámparas⁸. La importancia de poner en marcha este tipo de estrategias en edificios incide en el ciclo de vida de estos, por lo tanto el efecto en el medio ambiente será de larga y permanente duración⁹.

La ISO 50001 propone una serie de pasos para aplicarlos en una edificación, de tal forma que se logre reducir el consumo energético. Plantea una metodología que se basa en el ciclo Deming de planificar, hacer, verificar y actuar; con el fin de reducir consumos y mejorar la eficiencia energética¹⁰. Han surgido certificaciones como la LEED, la cual es dirigida hacia la evaluación de edificios sostenibles a partir de la medición de la eficiencia energética, la calidad ambiental interior, la eficiencia del consumo de agua, el manejo de los desechos de construcción y la selección de materiales y recursos¹¹.

1.1.3 Simulación energética La simulación energética es una estrategia para modelar el comportamiento energético y ambiental de un edificio ya construido o en plena fase de diseño, con el cual se pueden evaluar aspectos como: iluminación y ventilación ya sea natural o artificial. Para calcular esto, se tienen en cuenta variables climáticas, cargas eléctricas y ocupación de espacios; también parámetros físicos que componen la edificación como lo es forma, orientación, fachada, elementos de sombra, características de los materiales de la construcción, entre otros.

⁸ BONILLA S., "Ahorro Energético en Edificios," 19 junio, 2012. [en línea] disponible en:<http://constructorelectrico.com/ahorro-energetico-en-edificios/>.

⁹ C. L. T. R. Jaime D. PINZÓN C., CORREDOR Alejandra R., SANTAMARÍA P. Francisco, HERNÁNDEZ M. Johann A., "Implementación de indicadores energéticos en centros educativos. Caso de estudio: Edificio Alejandro Suárez Copete," 2014. [en línea] disponible en:http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-81602014000200010&script=sci_arttext.

¹⁰ ISO, "Gana el desafío de la energía con ISO 50001," 2011. [en línea] disponible en: http://www.iso.org/iso/iso_50001_energy-es.pdf.

¹¹ ESTÉVEZ R., "Certificado LEED para edificios ecointeligentes," 14 octubre, 2010. [en línea] disponible en:<http://www.ecointeligencia.com/2010/10/certificado-leed-para-edificios-ecointeligentes/>.

Algunas de las herramientas usadas para la simulación energética son: Lider-Calener, Ecotect Analysis, EnergyPlus, DesignBuilder, Simergy, eQUEST, entre otros^{12 13}.

1.1.4 Energyplus EnergyPlus es una herramienta avanzada para la simulación energética de edificaciones promovida por el Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE por sus siglas en inglés), basada en las características y capacidades de BLAST¹⁴ y DOE-2¹⁵. Esta herramienta incluye varias capacidades de simulación innovadoras, tales como pasos de tiempo de menos de una hora, plantillas integradas con la simulación de zona, flujo de aire multizona, confort térmico¹⁶.

A través de EnergyPlus es posible estimar las cargas de calefacción, refrigeración, iluminación, ventilación, entre otros flujos de energía. También incorpora funciones como intervalos de tiempo variable para la simulación de zonas termales y el medio ambiente, técnicas para el cálculo de cargas térmicas en las cuales se analiza los fenómenos radiantes y convectivos en las superficies durante cada paso de tiempo y las plantas integradas con la simulación de calor por zonas y transferencia de calor de suelo y masa, flujos de aire multizona, confort térmico, ventilación e iluminación natural, control ventanas y predicción de contaminación atmosférica^{17 18}.

¹² U. S. D. of Energy,

¹³ I. B. P. S. A. Asociación,

¹⁴ BLAST (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*) Análisis de construcción de Cargas y Sistema Termodinámica.

¹⁵ DOE-2 *Software* Desarrollado Bajo el Financiamiento del Departamento de Energía de los Estados Unidos.

¹⁶ B. D. B. CRAWLEY and L. K. LAWRIE, "EnergyPlus : Energy Simulation Program," vol. 42, no. 4, 2000.

¹⁷ *Ibíd.*

¹⁸ EERE.ENERGY "About EnergyPlus," 10 abril, 2015. [en línea] disponible en: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_about.cfm.

Los análisis energéticos realizados con EnergyPlus se basan en la descripción que el usuario haya definido desde la perspectiva de la construcción física del edificio y la definición de los sistemas de control entre otros. Basándose en lo anterior, el *software* calcula la carga de calefacción, refrigeración, valores para mantener el control térmico y las condiciones en el sistema HVAC¹⁹, los cuales se integran a la par al sistema de control de temperatura²⁰. Este *software* requiere datos meteorológicos locales para la realización de las simulaciones, lo cual es una limitante, sin embargo existe la posibilidad de descargarlos a partir de la página oficial de EnergyPlus o mediante una capa de datos meteorológicos llamada EnergyPlus *Weather Data* para Google Earth, que se descarga de la misma página, aunque es muy limitada para Colombia ya que no hay datos climáticos para descargarse. Los archivos descargados son de tres tipos: uno son los datos meteorológicos (EPW), otro informe resumido de los datos (STAT) y el ultimo archivos ASHRAE condiciones de diseño (DDY)²¹.

1.2 DECLARACIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN PARA SU SOLUCIÓN

Las edificaciones representan un 40% del consumo energético a nivel mundial, así como de generar el 30% del efecto invernadero y del 12% del consumo de agua potable, identificando un potencial ahorro energético en estas edificaciones. Es por esto que surge la necesidad la hacia la aplicación de eficiencia y sostenibilidad en estos²².

¹⁹ HVAC (*Heating, Ventilating and Air Condition*) sistema de confort ambiental interior y vehicular.

²⁰ "INPUT OUTPUT REFERENCE The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output." 2014.

²¹ "WEATHER DATA," 5 julio, 2013. [en línea] disponible en: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm.

²² UNEP-SBCI, "Iniciativa para Edificios Sostenibles y Clima (UNEP-SBCI)," 2016. [Online]. [en línea] disponible en: http://www.unep.org/sbci/pdfs/sbci_2pager_spanish_feb2011.pdf.

Las crisis energéticas, la fuente limitada de recursos, hacen que se realice un mejor aprovechamiento de la energía, han surgido propuestas favorables que permiten el ahorro de energía, tales como la arquitectura bioclimática. Un concepto que trata de armonizar los edificios al clima y las características locales, aprovechando los diferentes recursos del medio como la energía solar, corrientes de aire para ventilación natural, entre otros. De este modo es posible reducir el consumo energético y los impactos ambientales de las edificaciones²³.

Surge la necesidad de evaluar el consumo energético para estimar el impacto ambiental, por eso se dieron paso a los procedimientos de cálculo energético de las edificaciones, pero el número elevado de variables que implica estos cálculos hacen extenso y agotador si se calcula de forma manual, es por esto que se implementaron en diversos sistemas computacionales, surgiendo así las herramientas de simulación energética²⁴.

Un factor importante de estas herramientas de simulación es el costo de licencia de la misma, es por esto que este proyecto busca fomentar el uso de la herramienta de simulación energética de libre acceso, de allí la importancia de comparar y evaluar el uso de una herramienta como EnergyPlus de libre acceso, con respecto a la herramienta de licencia paga DesignBuilder.

1.3 ANTECEDENTES

La selección del Edificio de Ingeniería Eléctrica radica en que el grupo de Investigación de Sistemas de Energía Eléctrica (GISEL) de la Escuela de

²³ FARIA Caroline, "Arquitectura Bioclimática." [en línea] disponible en: <http://www.infoescola.com/arquitectura/arquitectura-bioclimatica/>.

²⁴ GARCÍA-ALVARADO R., GONZÁLEZ A., BUSTAMANTE W., BOBADILLA A., and MUÑOZ C., "Características relevantes de la simulación energética de viviendas unifamiliares," vol. 66, no. (533): e005, 2014.

Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander ha desarrollado trabajos de grado observados en la Tabla 1 cuyo objetivo es el análisis del uso racional de la energía en edificaciones para generar ahorros de energía.

Tabla 1. Antecedentes de simulaciones energéticas en el Edificio de Ingeniería Eléctrica.

| Título del Trabajo | Temática | año |
|---|---|------|
| Influencia de parámetros de diseño de aplicaciones sostenibles sobre el consumo energético en las instalaciones del quinto piso del edificio de Ingeniería Eléctrica a partir de simulaciones con DesignBuilder. | Análisis energético mediante simulaciones en el software DesignBuilder con el propósito de determinar la influencia de los parámetros de diseño de las aplicaciones sostenibles sobre el consumo energético de las instalaciones del quinto piso. | 2013 |
| Evaluación de las estrategias de confort visual y térmico establecidas para el edificio de ingeniería eléctrica según lineamientos del sistema de certificación leed a partir de la herramienta designbuilder. Creación del modelo virtual. | Se desarrolló el modelo virtual del edificio de Ingeniería Eléctrica a partir de la herramienta Designbuilder, la cual se calibro ajustándolo al modelo real de la edificación. | 2012 |
| Análisis energético del edificio de ingeniería eléctrica a partir del uso de la herramienta designbuilder: calibración y simulaciones. | Obtuvo un modelo definitivo del Edificio de Ingeniería Eléctrica, teniendo en cuenta la calibración de dicho modelo y la posterior realización de un análisis energético integral de los resultados. | 2015 |

El modelo del Edificio de Edificio de Ingeniería Eléctrica ya había sido calibrado y sintonizado teniendo en cuenta mediciones realizadas en el año 2014 en el proyecto de grado desarrollado por Caicedo *et al.*²⁵, el software DesignBuilder, pero esta herramienta necesita de una licencia. La ejecución de este trabajo de

²⁵ CAICEDO PÉREZ C. M., TORRES VERBEL M. A., and SÁNCHEZ MANTILLA S., “Análisis energético del edificio de ingeniería eléctrica a partir del uso de la herramienta designbuilder: calibración y simulaciones,” Universidad Industrial de Santander, 2015.

grado permitió la cuantificación del potencial de la herramienta EnergyPlus que cuenta con una licencia de libre acceso.

1.4 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Teniendo en cuenta el problema descrito, se plantea como objetivo general de este trabajo de grado, ejecutar un análisis comparativo del proceso de simulación energética en EnergyPlus y DesignBuilder, así como de los resultados del análisis energético del Edificio de Ingeniería Eléctrica con dichas herramientas.

Para lograr el objetivo general planteado, se tendrán en cuenta los siguientes objetivos específicos:

- Establecer el modelo virtual del Edificio de Ingeniería Eléctrica en EnergyPlus.
- Realizar la calibración y sintonización del modelo virtual obtenido con EnergyPlus.
- Realizar un análisis comparativo del proceso de simulación energética del Edificio de Ingeniería Eléctrica a partir de simulaciones energéticas realizadas con EnergyPlus y DesignBuilder.

A partir de dichos objetivos se evalúa la herramienta de simulación energética EnergyPlus, y de esta manera se establecen las bondades de esta herramienta de simulación.

El análisis que se lleva a cabo comprende condiciones de confort térmico, iluminación natural y consumo energético del modelo virtual que se construyó del edificio de Ingeniería Eléctrica en EnergyPlus, para comparar con los resultados

de simulaciones energéticas de un modelo virtual existente construido en DesignBuilder por Caicedo *et al.*²⁶.

1.5 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Este documento está compuesto por cinco capítulos, los cuales se distribuyen de la siguiente forma:

El Capítulo 2, describe como se construyó el modelo del Edificio de Ingeniería Eléctrica en la herramienta de simulación energética EnergyPlus.

El Capítulo 3, describe como se calibró y sintonizó el modelo del Edificio de Ingeniería Eléctrica en la herramienta de simulación energética EnergyPlus.

El Capítulo 4, presentan los resultados y análisis realizados y se comparan las dos herramientas EnergyPlus y DesignBuilder.

El Capítulo 5, presenta las conclusiones y observaciones con respecto a las herramientas EnergyPlus y DesignBuilder.

²⁶ *Ibíd.*

2. MODELADO VIRTUAL EN ENERGYPLUS

En este capítulo se presenta el proceso de modelado energético del Edificio de Ingeniería Eléctrica en EnergyPlus. Inicialmente, se denotan algunas características importantes de la edificación; posteriormente, se describe el modelado geométrico y la asignación de los datos del modelo.

2.1 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES (E3T)

El Edificio de Ingeniería Eléctrica se encuentra ubicado en la sede principal de la Universidad Industrial de Santander. La E3T cuenta con un número aproximado de 1900 estudiantes en los diferentes planes de pregrado y postgrado. El edificio tiene una área de 2700 m² repartida principalmente en aulas de clase, salas de estudio, oficinas administrativas, sala de profesores cátedra y oficina de grupos estudiantiles ^{27 28}.

Esta edificación es considerada un referente de edificación verde en la Universidad, debido a que cuenta con diferentes aplicaciones que buscan mitigar el impacto ambiental generado en su operación, y reducir así el consumo energético del mismo. Las aplicaciones consideradas son iluminación natural a través de ventanales y tubos solares, ventilación natural, techos verdes, captación

²⁷ OSMA PINTO A. and ORDOÑES G., “Piloto de edificación verde como laboratorio vivo en la Universidad Industrial de Santander.” Bucaramanga, Santander, p. 9, 2013.

²⁸ PULIDO SUÁRES O. A. and MENESES SILVA M. Y., “Evaluación de las estrategias de confort visual y térmico establecidas para el edificio de ingeniería eléctrica según lineamientos del sistema de certificación leed a partir de la herramienta designbuilder. Creación del modelo virtual.” Bucaramanga, Santander, p. 304, 2012.

de aguas lluvias, sistemas híbridos de iluminación y climatización que son controlados por la ocupación en cada uno de los espacios.

Las aplicaciones sostenibles implementadas en el Edificio de Ingeniería Eléctrica son:

Sistema de aislamiento térmico, consiste en un jardín en la terraza del edificio cuyo espesor es de aproximadamente 20 cm, el cual permite reducir la capacidad del sistema de aire acondicionado en 23 toneladas de refrigeración.

Sistema de uso racional del agua, consiste en la captación y reutilización de aguas lluvias para servicios que no demandan agua potable.

Iluminación natural y artificial, cuenta con un sistema híbrido de iluminación, el cual aprovecha la iluminación natural incidente de las fachadas. También cuenta con 23 ductos que transportan la luz solar sirviendo de fuentes de iluminación natural.

Climatización natural y artificial, la climatización del edificio de forma natural en algunas partes se hace de forma forzada utilizando extractores de aire o ventanas, en las áreas cálidas se utiliza un sistema entre ventilación natural y climatización mecánica.

2.2 MODELADO GEOMÉTRICO

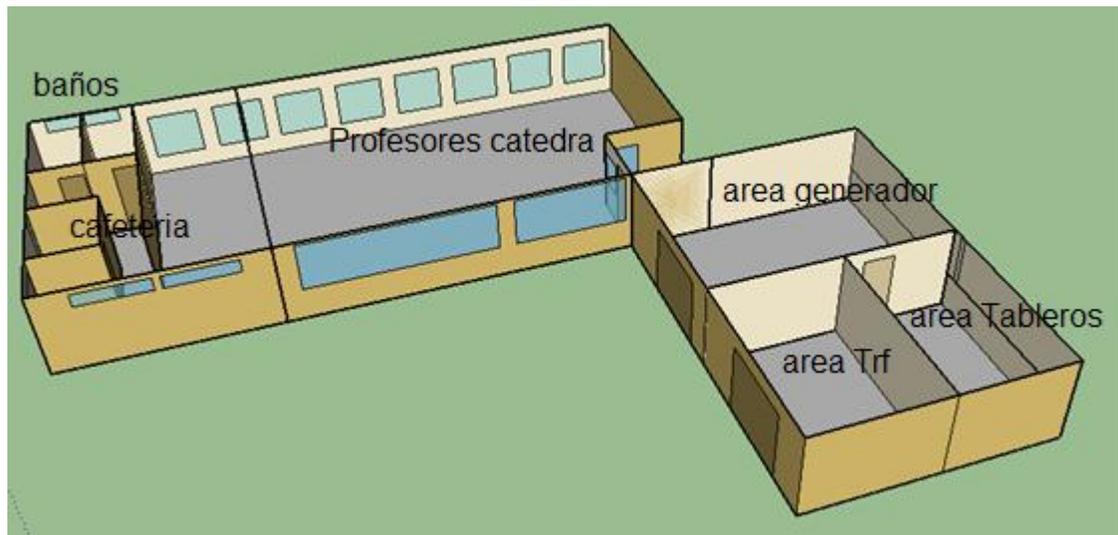
Debido a que la construcción geométrica en EnergyPlus se crea mediante coordenadas, el proceso de modelado se torna complicado y tedioso. Para facilitar esta parte del proceso, el modelado geométrico del edificio se realizó con el *software* SketchUp. Para el modelado de la edificación se utilizó la versión libre de

este *software* junto con el plugin de uso libre Legacy OpenStudio. Con este plugin se crea un archivo de entrada para EnergyPlus. En los anexos C se detallara más a fondo como se construye un modelo.

Para la construcción de un modelo 3D fue necesario dividir el edificio en zonas, estas zonas están comprendidas de forma individual por cada salón, pasillos, baños, cuartos técnicos y oficinas. Lo cual permite mejorar la exactitud lograda a través de los procesos de calibración y sintonización, a partir de la asignación para cada zona de ganancias internas de ocupación, iluminación, refrigeración, equipos de oficina y horarios más específicos.

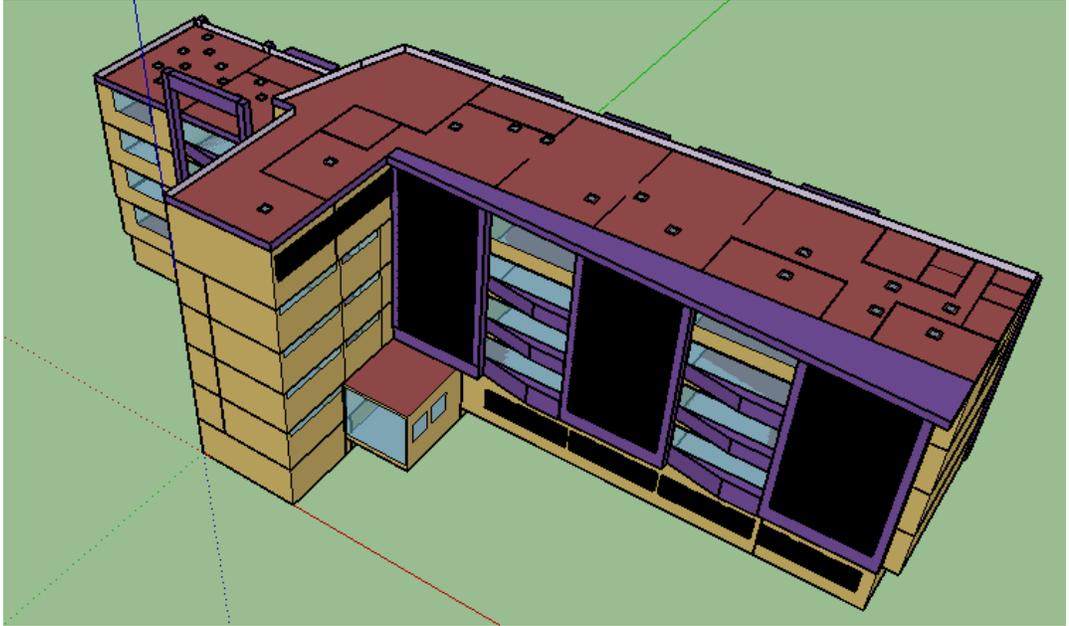
La figura 1 muestra cómo se inició la construcción del modelo.

Figura 1. Sótano del Edificio de Ingeniería Eléctrica.



Una vez representado los espacios del sótano de la edificación se procede a definir las zonas de cada uno de los cinco niveles restantes, obteniendo el modelo mostrado, estas zonas son en la Figura 2.

Figura 2. Modelo completo del Edificio de Ingeniería Eléctrica.



2.3 DATOS DEL MODELO

En esta sección se da a conocer los datos necesarios para la construcción de un modelo lo más real posible. Estos datos comprenden las características de los materiales de construcción, cargas de refrigeración, iluminación, equipos de oficina, ocupación y horarios.

2.3.1 Materiales de construcción Los materiales de construcción de las superficies del modelo tales como paredes, techos, pisos, puertas y ventanas tienen características tales como: espesor, conductividad térmica, densidad, calor específico entre otros, y estas características propias de cada material influyen en el comportamiento energético del edificio, y son requeridas por el software.

La Tabla 2 presenta las propiedades de los materiales de construcción del edificio requeridos por EnergyPlus.

Tabla 2. Propiedades de los materiales.

| Capa | Conductividad térmica [W/m-K] | Densidad [kg/m ³] | Calor específico [J/kg-K] | Absorción térmica[%] | Absorción solar[%] | Absorción visible[%] | Resistencia térmica [m-K/W] |
|--------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------|
| Cristal | 0,9 | - | - | - | - | - | - |
| Madera | 0,15 | 608 | 1630 | 0,9 | 0,6 | 0,6 | - |
| Aluminio | 1600 | 2800 | 880 | 0,3 | 0,001 | 0,001 | - |
| Concreto | 0,16 | 500 | 40 | 0,9 | 0,6 | 0,6 | - |
| Estuco | 0,72 | 1760 | 840 | 0,9 | 0,6 | 0,6 | - |
| Mortero | 0,72 | 1760 | 840 | 0,9 | 0,6 | 0,6 | - |
| Ladrillo H10 | 0,72 | 1920 | 840 | 0,9 | 0,6 | 0,6 | - |
| Drywall | 0,085 | 300 | 2100 | 0,9 | 0,6 | 0,6 | - |
| Aire | - | - | - | - | - | - | 0,23 |
| Sustrato | 0,3 | 1000 | 1000 | - | - | - | - |
| Geotextil | 0,3 | 1000 | 100 | 0,9 | 0,6 | 0,6 | - |
| Polietileno | 0,5 | 980 | 1800 | 0,9 | 0,6 | 0,6 | - |
| Impermeable | 0,3 | 100 | 199 | 0,9 | 0,6 | 0,6 | - |
| Cielo raso | 1,02 | 1750 | 840 | 0,9 | 0,6 | 0,6 | - |

Los valores no determinados de la tabla anterior, indican que para ese material esa propiedad no es necesario indicarlo en el *software*.

2.3.2 Cargas de refrigeración Los sistemas artificiales de climatización son una parte importante en las simulaciones eléctricas, ya que estos sistemas tienen grandes consumos de energía y regulan la temperatura en las zonas donde se implementan. Para la simulación de estos sistemas se requieren datos como los horarios de funcionamiento y la temperatura que se pretende tener en ciertas zonas, con estos datos el software calcula el consumo energético de los sistemas de climatización.

La Tabla 3 presenta las cargas de refrigeración que posee el edificio.

Tabla 3. Cargas de refrigeración.

| Espacio | Tipo | Capacidad [kW] |
|-------------------|---|-----------------------|
| Sótano | Manejadora tipo Fancoil piso-techo | 10,551 |
| Aula 402 | Manejadora tipo Fancoil casete + bomba de calor incorporada | 10,551 |
| Aula 403 | Manejadora tipo Fancoil casete + bomba de calor incorporada | 10,551 |
| Aula 404 | Manejadora tipo Fancoil casete + bomba de calor incorporada | 10,551 |
| Aula 405 | Manejadora tipo Fancoil casete + bomba de calor incorporada | 10,551 |
| CCTV | Mini Split tipo pared - Condensadora vertical SEER 13 | 7,034 |
| Sala de reuniones | Mini Split tipo pared - Condensadora vertical SEER 13 | 3,517 |
| Dirección E3T | Mini Split tipo pared - Condensadora vertical SEER 13 | 2,637 |

2.3.3 Iluminación En relación con los sistemas de iluminación del edificio, el *software* requiere datos como potencia, la ganancia de calor y el horario de operación. En Tabal 4se presenta las cargas por iluminación del sótano. Las demás cargas de iluminación son especificadas en Tabla D.2 del Anexo D.

Tabla 4. Cargas de sótano del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

| Zona | Potencia [W] |
|-------------------|---------------------|
| Sala de reuniones | 168 |
| Baño hombres | 26 |
| Baño mujeres | 26 |
| Sala de estar | 128 |
| Cafetería | 64 |
| Sala docentes | 1064 |

Estos valores fueron obtenidos de un proyecto de grado desarrollado por Caicedo *et al.*²⁹.

2.3.4 Equipos de oficina En el edificio se tienen aparatos eléctricos como computadores, impresoras y fotocopiadoras, de estos equipos se deben especificar el consumo energético, la ganancia de calor que este tenga y el horario de operación.

En la Tabla 5 se presenta la potencia eléctrica nominal de los equipos de oficina del quinto piso.

Tabla 5. Equipos de oficina quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

| Oficinas | Computadores | Proyector | Potencia [W] |
|-----------------------------------|--------------|-----------|--------------|
| Asistente de dirección | 1 | 1 | 240 |
| Sala reuniones | 4 | - | 480 |
| Coordinación de especializaciones | 4 | - | 480 |
| Coordinación de proyectos | 1 | - | 120 |
| Secretaria administrativa | 1 | - | 120 |
| Secretaria Especialización | 1 | - | 120 |
| Secretaria de postgrados | 2 | - | 240 |
| Asistente y auxiliar postgrados | 1 | - | 120 |

La potencia eléctrica nominal de los equipos de los demás pisos se presenta en la Tabla D.2 del Anexo D.

2.3.5 Ocupación Otro dato importante está relacionado con la ocupación del edificio, para definirlo en el *software* es necesario especificar el número de personas que ocupan una determinada zona, el horario de ocupación y la actividad que se realiza en dicha zona. Para todos los casos, las actividades serán

²⁹ CAICEDO PÉREZ C. M., TORRES VERBEL M. A., and SÁNCHEZ MANTILLA S. Op. Cit.

de oficina, ya que las personas permanecen sentadas la mayor parte del tiempo. Como ejemplo se presenta en la Tabla 6 la ocupación del primer piso.

Tabla 6. Ocupación primer piso.

| Zona | Personas |
|----------------------------|----------|
| Centro de estudios | 2 |
| Sala de trabajo grupal | 74 |
| Sala de trabajo individual | 65 |
| Aula103 | 30 |

Los demás datos de ocupación se encuentran en la Tabla D.2 del Anexo D.

2.3.6 Horarios Los horarios son una parte muy importante de los datos que se deben tener para la realización del modelo, ya que con estos horarios se controlan la utilización de equipos eléctricos y la ocupación del edificio. Con los horarios se especifica el número de persona o que porcentaje de la potencia de los equipos está conectada en cada zona por cada hora del día. En la Tabla 7 se presenta el horario de ocupación de las aulas del cuarto piso.

Tabla 7. Horario de ocupación sala individual del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

| Hora | Ocupación [%] | |
|---------|-----------------|---------------|
| | Lunes a viernes | Fin de semana |
| 8 a 9 | 60 | 0 |
| 9 a 10 | 60 | 0 |
| 10 a 11 | 80 | 0 |
| 11 a 12 | 80 | 0 |
| 12 a 13 | 10 | 0 |
| 13 a 14 | 10 | 0 |
| 14 a 15 | 80 | 0 |
| 15 a 16 | 80 | 0 |
| 16 a 17 | 60 | 0 |

| Hora | Ocupación [%] | |
|---------|-----------------|---------------|
| | Lunes a viernes | Fin de semana |
| 17 a 18 | 60 | 0 |
| 18 a 8 | 0 | 0 |

Los demás horarios de ocupación son definidos en el Anexo D desde la Tabla D.3 hasta la tabla D. 24

3. CALIBRACIÓN Y SINTONIZACIÓN DEL MODELO DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA.

En este capítulo se presentan la calibración y sintonización del modelo geométrico del edificio obtenido en la herramienta de EnergyPlus. Estos procesos son importantes ya que se dota al modelo de características físicas y cargas eléctricas las cuales definen el comportamiento energético del modelo.

Considerando los objetivos planteados para este trabajo de grado, para el modelo creado en EnergyPlus se realizaron 8 simulaciones con el propósito de comprobar el grado de calibración y sintonización del modelo, además de realizar las correcciones pertinentes al modelo. Posteriormente, se seleccionaron las variables de las cuales se deseaban obtener resultados del proceso de simulación y posterior a esto se realizó la simulación del modelo completo. Se realizaron dos simulaciones del edificio completo obviando el techo verde con el fin de contrastar el desempeño obtenido de esta aplicación sostenible.

La Tabla 8 describe el plan de simulaciones llevado a cabo para el desarrollo del trabajo de grado.

Tabla 8. Plan de simulaciones.

| Etapa | Número de simulaciones | Descripción |
|-----------------|------------------------|--|
| Calibración | 2 | Se corrigieron errores de programación y se calibro el modelo |
| Sintonización | 3 | Después de la calibración se sintonizo el modelo |
| Modelo completo | 2 | Ya sintonizado el modelo fue simulado, posteriormente se realizó otra simulación con |

| Etapa | Número de simulaciones | Descripción |
|------------------------|------------------------|--|
| | | las variables que se analizarían |
| Modelo sin techo verde | 1 | Se simuló el modelo sin techo verde para la posterior Comparación con el modelo completo |

3.1 CALIBRACIÓN DEL MODELO

Con el modelo geométrico ya creado se procede al llenado de datos, esto corresponde a la calibración del mismo donde se asignan las características de la edificación y cargas eléctricas instaladas con el propósito de obtener un comportamiento real del edificio.

Este proceso abarca dos fases del proyecto, obtención de datos e inserción de datos. La información para la calibración comprende:

Cerramientos, esta información permite simular los flujos de calor que hay entre las diferentes zonas térmicas que posee el modelo.

Ocupación, con esta información se simulan las ganancias de calor debido a las actividades que se realizan en el edificio por parte de los ocupantes del mismo.

Iluminación, esta información permite simular el consumo energético y ganancias de calor debido a los sistemas de iluminación artificial y natural que posee el edificio.

Climatización, esta información permite simular el consumo energético debido a los sistemas artificiales de climatización.

Cargas eléctricas, con esta información se simula el consumo energético de las cargas eléctricas y la ganancia de calor que se generan al utilizar estas cargas.

Horarios, estos horarios que son de iluminación, son muy importantes debido a que con estos se definen las horas que se utilizan las cargas eléctricas, la ocupación, la iluminación y la climatización.

A continuación se describen las fases de obtención de datos e inserción de los mismos en la herramienta de simulación energética.

3.1.1. Obtención de datos Esta fase consistió en la búsqueda de información para asignar las características que tiene el edificio al modelo previamente creado en EnergyPlus. Esta información se obtuvo en su mayoría de un modelo del Edificio de Ingeniería Eléctrica creado en la herramienta de simulación energética DesignBuilder, como resultado de un trabajo de grado Caicedo *et al.* [18]. También se emplearon los planos arquitectónicos disponibles en el sitio web de Contratación de la universidad.

Del modelo mencionado fue posible obtener información como las potencias eléctricas de las luminarias, los equipos de oficina así como ocupación y las características físicas de los cerramientos. También fue posible abstraer los horarios de ocupación del edificio, datos fundamentales en la configuración de la operación del mismo. Posteriormente, esta información fue empleada como entradas para el modelo de EnergyPlus.

3.1.2 Inserción de datos En esta fase se procede a insertar los datos obtenidos en la fase anterior al modelo, afín de lograr un modelo calibrado, esta etapa es de especial importancia debido a que influye de manera directamente en el comportamiento físico y energético del modelo. En esta fase no implica un ajuste de las propiedades físicas y de operación del edificio.

La fase de inserción de datos se encuentra detallada en el Anexo C en la sección de edición e inclusión de datos al modelo geométrico, donde se muestra paso a paso como es la inserción de datos a un modelo geométrico.

3.2 SINTONIZACIÓN DEL MODELO

Después de la calibración del modelo es necesaria su sintonización, en esta etapa se ajustan las características y variables con las que se calibró el modelo. Las fases que hacen parte del proceso son: simulación preliminar, comprobación de resultados y estimación de errores, y reajuste del modelo calibrado en las etapas anteriores.

A continuación se describen cada una de las fases mencionadas anteriormente.

3.2.1 Simulación Preliminar Se realiza una primera simulación con el propósito de comprobar algunas variables como el consumo energético, la temperatura en las distintas zonas térmicas, la humedad y errores en la sintaxis de programación.

Si hay advertencias, que son sugerencias que el programa da respecto a un objeto, por ejemplo, si una temperatura en determinada zona es muy baja o muy alta; y si hay errores severos y fatales, los cuales son errores de sintaxis, estos interrumpen el proceso de simulación, por ejemplo, no insertar un dato en un objeto creado en los parámetros de simulación; se revisan estas advertencias y errores, se analiza su impacto en el modelo y se corrigen.

En la Tabla 9 se muestran resultados de la primera simulación en EnergyPlus.

Tabla 9. Resultados primera simulación.

| Zona | Variable | Valor |
|-------------------|-------------------------------------|----------|
| Edificio | Consumo anual [kWh] | 41372,18 |
| Sala grupal(CIEE) | Temperatura promedio [°C] | 27,55 |
| Sala grupal(CIEE) | Humedad relativa promedio [%] | 69,68 |
| Sala grupal(CIEE) | Nivel de iluminación promedio [lux] | 366,95 |
| Sala individual | Temperatura promedio [°C] | 27,02 |
| Sala individual | Humedad relativa promedio [°C] | 75,20 |
| Sala individual | Nivel de iluminación promedio [lux] | 127,19 |

3.2.2 Comprobación de resultados y estimación de errores En esta fase se comparan los resultados del proceso de simulación y variables medidas en el edificio tales como consumo energético, temperatura, humedad, e iluminación. Si los resultados obtenidos no concuerdan con las variables medidas se procede a reajustar el modelo.

Tabla 10. Comparación de variables medidas y simuladas.

| Zona | variable | valor simulado | Valor medido | Diferencia porcentual [%] |
|-------------------|-------------------------------|----------------|--------------|---------------------------|
| Edificio | Consumo anual [kW.h] | 41372,18 | 48200,5 | 14,17 |
| Sala grupal(CIEE) | Temperatura promedio [°C] | 27,55 | 27,18 | 1,36 |
| Sala grupal(CIEE) | Humedad relativa promedio [%] | 69,68 | 69,84 | 0,23 |

De acuerdo con la Tabla 10, se encuentra una diferencia del 14,17% entre los valores medido y simulado del consumo anual del Edificio, la temperatura y la humedad relativa tienen una diferencia porcentual menor al 2%. Basándonos en lo anterior, se debe reajustar el modelo para que sus resultados sean los más aproximados a las variables medidas.

3.2.3 Reajuste del modelo Para identificar si el modelo debe ser ajustado, se debe de comparar los resultados de la simulación previa con los datos medidos obtenidos de un proyecto de grado desarrollado por Caicedo *et al.*³⁰ sí en esta comparación los resultados de la simulación se dispersan de forma considerable respecto a los valores medidos, entonces es necesario un reajuste del modelo. En el Edificio de Ingeniería Eléctrica se evidencio que la mayor dispersión se encontró en el consumo eléctrico de las cargas, además se analizó que otras características podían estar influyendo en los resultados para este caso en específico, estos parámetros fueron clasificados en características fijas y en características variables como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Consideraciones Técnicas para el reajuste.

| Característica | Datos | Observaciones |
|---------------------|-------|---|
| Ventilación natural | fijo | Está ligada a las aberturas, como estas características son la ubicación de puertas y ventanas hace que sea un valor fijo. |
| Climatización | fijo | Su control se hace desde un termostato el cual tiene un valor fijo, por lo tanto será este quien lo controle logrando prender o apagar los aires acondicionados dependiendo del caso. |
| Ocupación | fijo | El número de personas no cambia por cada zona. |
| Materiales | fijo | Son características físicas de la edificación para cada zona las cuales no pueden ser modificadas. |
| Cargas eléctricas | fijo | La carga que caracteriza al edificio no puede cambiar. |

³⁰ CAICEDO PÉREZ C. M., TORRES VERBEL M. A., and SÁNCHEZ MANTILLA S. Op. Cit.

| Característica | Datos | Observaciones |
|--------------------------|----------|---|
| Iluminación | fijo | Tiene un control que a partir de la iluminación que detecte puede hacer que se encienda o apague la zona, por lo que depende exclusivamente del control que censa y de la librería climática. |
| Velocidad del viento | fijo | Obedece a la librería climática siendo quien controla este. |
| Uso de cargas eléctricas | variable | El uso de una carga en una zona determinada presenta un grado de incertidumbre alto, ya que muestra sus propias necesidades por zona de uso de las cargas en mayor o menor magnitud a determinadas horas, esto hace que la variación del uso sea amplio. Para llegar a un aproximado uso es necesario conocer los detalles de la utilización que se le dará, la cantidad de ellos que operan simultáneamente, factores de utilización, entre otros. |
| Librería climática | fijo | Este contiene todos los datos de clima para la ubicación de la construcción, por lo que hace fijo esta variable. |

De acuerdo a la tabla 11 se evidencia que la característica que debe ser ajustada es el uso de las cargas eléctricas, ya que las demás presentaban una justificación para no ser ajustadas. Estos reajustes se justifican ya que no se tiene información del porcentaje de utilización de la potencia instalada que se consume a cada hora del día en el edificio, estos porcentajes se asignaron teniendo en cuenta la ocupación del edificio.

Después de realizar esta fase se procede nuevamente a realizar la simulación hasta que se tenga una comprobación satisfactoria de los resultados. La fase de reajuste es similar a la fase de inclusión de datos de la calibración, con la diferencia en que se varían sólo los porcentajes de utilización de las cargas.

El proceso de calibración y sintonización que se realizó acorde a las recomendación que realiza *ASHRAE guideline 14* para este proceso³¹.

La tabla 12 muestra un resumen de los resultados obtenidos de la simulación del modelo ya reajustado.

Tabla 12. Resultados de la simulación del modelo reajustado.

| Zona | Variable | Valor simulado | Valor medido | Diferencia porcentual [%] |
|-------------------|------------------------------------|----------------|--------------|---------------------------|
| Edificio | Consumo anual[kW.h] | 47471,65 | 48200,5 | 1,51 |
| Sala grupal(CIEE) | Temperatura promedio[°C] | 27,2 | 27,18 | -0,073 |
| | humedad relativa promedio[%] | 72,02 | 69,84 | -3,12 |
| | Nivel de iluminación promedio[lux] | 1392,69 | 979,2 | -42,22 |
| Sala individual | Temperatura promedio[°C] | 25,88 | 26,9 | 3,79 |
| | Humedad relativa promedio[%] | 75,37 | 73,5 | -2,54 |
| | Nivel de iluminación promedio[lux] | 380,55 | 576,3 | 33,96 |

Teniendo en cuenta que la iluminación fue programada de acuerdo a parámetros del RETILAP para las zonas, los resultados de iluminación no se ajustan a los valores medidos, se debe tener en cuenta que se presenta estas diferencias, debido a que la herramienta EnergyPlus entrega 100 datos por hora en cada zona. Mientras los datos medidos son solo 9 por hora en cada zona. Por lo tanto, estas

³¹ ANSI/ASHRAE, ASHRAE Guideline 14-2002 Measurement of Energy and Demand Savings, vol. 8400. 2002, p. 170.

condiciones influyen en el resultado, además se debe considerar la incertidumbre incorporada en la medición y las condiciones climáticas el día de medición.

Los resultados de consumo, temperatura y humedad si se ajustan a los valores medidos, ya que la diferencia porcentual en estas variables es menor al 4%.

4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN ENERGYPLUS Y DESIGNBUILDER

Este capítulo presenta una comparación técnica de las herramientas de simulación EnergyPlus y DesignBuilder. Tal comparación se basa en dos tópicos, el proceso de simulación y un análisis energético del Edificio de Ingeniería Eléctrica. Se aclara que los resultados de simulación con DesignBuilder y datos medidos fueron obtenidos en un trabajo de grado desarrollado por Caicedo *et al.*³².

Otros aspectos considerados en la comparación realizada fueron los datos técnicos de las herramientas, el proceso de modelado geométrico, la inserción de datos, así como los reportes de salidas y resultados.

4.1 DATOS TÉCNICOS E INFORMACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN ENERGYPLUS Y DESIGNBUILDER

El primer aspecto a comparar fueron las generalidades más importantes de las herramientas de simulación estudiadas. En dicha comparación se consideran los parámetros técnicos requeridos por cada herramienta, el costo de cada una, la cantidad de ayudas en la web, tipos de datos climáticos que utiliza y el idioma en el que está disponible cada herramienta, la información mencionada es presentada en la tabla 13.

³² CAICEDO PÉREZ C. M., TORRES VERBEL M. A., and SÁNCHEZ MANTILLA S. Op. Cit.

Tabla 13. Datos técnicos.

| Características | EnergyPlus Versión 8.3.2 | DesignBuilder Versión 3.4.0.039 |
|--|--|---|
| Sistema operativo | Está disponible para Windows, Linux y Mac OS y requiere 100 MB de espacio libre en el HDD. | Disponible para Windows XP, Vista, 7 u 8 procesador de 1000 MHz, 2 GB de memoria RAM, 200 MB de espacio libre en el HDD. |
| Tipo de licencia | Licencia gratis | Licencia paga |
| Interfaz gráfica | Interfaz gráfica poco amigable, hace uso de otro <i>software</i> para el modelado. | Si, posee su propia interfaz gráfica amigable e interactiva con el usuario. |
| Información sobre el uso de la herramienta | Foro de soporte gratuito especializado en resolver dudas y ayudas, y soporte pago vía mail y telefónico. | Foros de libre acceso, pdf y video tutoriales, y soporte pago que consta de servicios de consultoría, cursos de formación, de aprendizaje online y soporte técnico. |
| Archivos climáticos | Sí, a través de archivos con extensión EPW | Sí, a través de archivos con extensión EPW |
| Idioma | Inglés | Inglés, francés, italiano y español. |
| Unidades | Unidades métricas | Unidades métricas y unidades en pulgada-libra |

A partir de la tabla anterior, se concluye que EnergyPlus es una herramienta versátil que puede ser utilizada en diferentes sistemas operativos, necesita de poco espacio en los equipos de cómputo para ser instalada y su licencia es totalmente gratis, pero no tiene una interfaz gráfica amigable. De DesignBuilder se destaca que posee una interfaz amigable, tiene un costo de licencia y sólo está disponible para un sistema operativo.

En la Tabla E.1 del Anexo E se encuentra con mayor detalle la información de la tabla anterior.

4.2 MODELADO GEOMÉTRICO

El modelado geométrico es la primera etapa del proceso de simulación energética de edificaciones donde se crea la geometría de la edificación. Esta etapa es muy importante porque en ella se realiza la primera aproximación al edificio antes del ingreso de los datos para la simulación.

La tabla 14 aborda una comparación del modelado geométrico en las dos herramientas de simulación energética estudiadas, abordando aspectos como carga de archivos de planos CAD, tipos de bloques que se utilizan en la realización del modelo, elementos de sombra o arquitectónicos, creación de las zonas, y el modelado de componentes de ahorro energético como tubos solares.

Tabla 14. Modelado geométrico.

| Características | EnergyPlus Versión 8.3.2 | DesignBuilder Versión 3.4.0.039 |
|---|--|--|
| Inserción de un plano CAD | Permite la importación de plano CAD, a través del programa SketchUp. | Permite la importación de planos CAD en 2D directo en la herramienta. |
| Componentes de construcción por defecto | Amplia bases de datos de componentes de construcción que se le pueden asignar a los diferentes componentes del modelo. | Parámetros predeterminados en plantillas genéricas con información de ocupación, construcción, HVAC, entre otros. |
| Tipos de bloques | Cuenta con dos tipos: bloque de edificio y bloque sombra. | Cuenta con cinco tipos: bloque de edificio, contorno, componente estándar, componente terreno y componente adiabático. |

| Características | EnergyPlus Versión 8.3.2 | DesignBuilder Versión 3.4.0.039 |
|-----------------------------------|--|---|
| Creación de zonas y/o particiones | Se crean las zonas a través del programa SketchUp, la unión de estos representa la edificación. El número de zonas depende de la precisión que se desee. | Se crean primero los bloques de cada piso, la unión de estos representa la edificación, al trazar los muros internos se crea las zonas. |
| Cerramientos | Permite el modelado de paredes, pisos, techos, ventanas, puertas y huecos. | Permite el modelado de paredes, pisos, techos, ventanas, puertas y huecos. |
| Modelado de tubos solares | Permite el modelado de tubos solares. | No tiene esta opción, pero se puede aproximar mediante otros componentes. |
| Dispositivos de protección solar | No tiene la opción, pero se puede aproximar mediante otros componentes. | Tiene la opción donde se ingresan las características de persianas, lamas entre otras. |

A partir de la información expuesta de la tabla anterior, la herramienta de simulación energética DesignBuilder presenta características importantes que la hacen apta para el modelado geométrico. En primer lugar esta herramienta incluye dentro de su interfaz un modelador 3D, a través del cual se puede construir el modelo geométrico del edificio con la ayuda de planos CAD; otros aspectos destacables son la agrupación de zonas mediante bloques y la capacidad de generar elementos de sombreado.

Por su parte EnergyPlus necesita de otro *software* como SketchUP para realizar el modelo geométrico. Las edificaciones son creadas a partir de las zonas. Esta herramienta ofrece facilidad en el modelado de tubos solares.

En la tabla E.2 del Anexo E se encuentra con mayor detalle la información de la tabla anterior.

4.3 INSERCIÓN DE DATOS

Posterior al modelado geométrico de la edificación se lleva a cabo la etapa de ingreso de datos. Esta es una etapa fundamental para lograr una buena aproximación del comportamiento real de la edificación. En esta sección se comparan aspectos como la jerarquía de la información, materiales, horarios de actividad humana, control de temperaturas, control de equipos entre otros horarios, cargas eléctricas, sistemas de climatización, extractores de aire entre otros. Esta información es presentada en la tabla 15.

Tabla 15. Inserción de datos.

| Características | EnergyPlus Versión 8.3.2 | DesignBuilder Versión 3.4.0.039 |
|---|--|--|
| Iluminación y control | El control se realiza por medio de horarios y sensores, no es posible introducir el tipo de luminaria. | Incluye plantilla de iluminación genérica, permite introducir el tipo de luminaria. El control se realiza por medio de horarios y sensores. |
| Jerarquía y herencia de la información del modelo | Cada zona es independiente. No se comparten datos entre las zonas establecidas. | Hace uso de propiedades heredadas, utiliza desde el nivel general hasta el más detallado, donde se actualizan los ítems que aplican en cada nivel. |
| Cerramientos | Se crean y asignan los materiales que componen las paredes, pisos, techos, puertas y ventanas. | Se crean y asignan los materiales que componen las paredes, pisos, techos, puertas y ventanas. |

| Características | EnergyPlus Versión 8.3.2 | DesignBuilder Versión 3.4.0.039 |
|--------------------------|---|--|
| Materiales | Permite la creación de materiales nuevos, se deben introducir datos de rugosidad, espesor, conductividad térmica, densidad y calor específico. No tiene plantillas de materiales. | Permite la creación de materiales nuevos se deben introducir datos de rugosidad, conductividad térmica, densidad, calor específico, color y textura, tiene plantillas de materiales. |
| Ventilación natural | Se programa la ventilación natural a través de puertas y ventanas, y se especifican diferentes datos que requiere el software. | Se puede definir la ventilación natural de dos maneras diferentes: ventilación natural calculada y ventilación natural programada. |
| Extractores de aire | Se configura el tipo de ventilación, y se especifican diferentes datos que requiere el software. | Se configura a partir de la plantilla de HVAC. |
| Sistema de climatización | Cuenta con múltiples opciones para programar un HVAC, ideales, simples, modelos reales entre otros. | Cuenta con plantillas predeterminadas. Tienen tres tipos de sistemas HVAC que son: simple, HVAC y HVAC detallado. |
| Ingreso de los datos | El ingreso de los datos se realiza escogiendo la categoría de datos y completando la información de las casillas. | El ingreso de datos se realiza de forma organizada a través de plantillas. |
| Horarios | Permite el ingreso de horarios en la sección de este, el ingreso de ellos es para el control de diferentes propósitos. | En la sección de plantillas, se crean y especifica el tipo de horario para el control de diferentes propósitos. |

| Características | EnergyPlus Versión 8.3.2 | DesignBuilder Versión 3.4.0.039 |
|-------------------------|---|---|
| Equipos eléctricos | Se crea en un solo objeto por zona, no es posible crear de forma independiente para cada tipo de carga, son agrupadas (equipos de oficina y computadores). | Se crean de forma independiente para cada tipo de carga, permite el desglose de cargas (computadores y equipos de oficina). |
| Otros equipos eléctrico | Permite la simulación de transformadores, inversores de corriente bancos de baterías y generadores. | No cuenta con estas opciones |
| Energía renovables | Permite la simulación de paneles fotovoltaicos, aerogeneradores y sistemas de calentamiento solar de agua | No cuenta con estas opciones |
| Ocupación y metabolismo | Para la ocupación se ingresa el número máximo de ocupantes; se asigna un horario de actividad con el cual se asigna la potencia que genera cada persona por hora. | La ocupación se modela como la cantidad de personas por metro cuadrado, así como los tiempos en que eso ocurre y se ingresa la tasa metabólica. |

De la información de la tabla anterior se destaca de DesignBuilder la forma jerárquica como los datos del modelo pueden ser organizados (herencia de datos desde el nivel edificio al nivel zona), así como las extensas bibliotecas de componentes y materiales organizadas en plantillas.

Por su parte EnergyPlus al igual que DesignBuilder tiene extensas bibliotecas componentes y materiales. Sin embargo, estas carecen de una organización por plantillas. Los datos del modelo no están organizados jerárquicamente. De la

herramienta se destaca sus capacidades en la inclusión en el modelo de componentes como paneles solares fotovoltaicos, aerogeneradores y calentadores solares de agua, así como componentes de tipo eléctrico como transformadores de distribución, inversores de corriente, bancos de baterías entre otros.

Cabe aclarar que Design E.3 Builder en su cuarta versión permite el modelado de paneles fotovoltaicos, aerogeneradores y centros de transformación con almacenamiento, inversores, entre otros.

En la tabla E.3 del Anexo E se encuentra con mayor detalle la información de la tabla anterior.

4.4 REPORTE DE SALIDAS

La forma como se presentan las salidas de las herramientas de simulación energética constituye un aspecto clave para la selección de una herramienta de simulación energética. En la tabla 16 se presenta una comparación de algunos aspectos que caracterizan el reporte de las salidas de las herramientas de simulación energética en general.

Tabla 16. Reportes de salida.

| Características | EnergyPlus Versión 8.3.2 | DesignBuilder Versión 3.4.0.039 |
|-----------------|--|--|
| Tablas | Se debe de introducir tipo de reporte que se desea, en el caso se utilizó "All Summry" ya que muestra todos los resultados globales y generales en tablas además para visualizar estos se debe de indicar el formato y | Genera las tablas con los resultados globales y generales en tablas, para ser visualizada estas tablas se debe de ingresar en resumen después de haber simulado. |

| Características | EnergyPlus Versión 8.3.2 | DesignBuilder Versión 3.4.0.039 |
|--|---|--|
| | las unidades en el que se quiere visualizar los resultados. | |
| Variables | Se debe indicar las variables de las cuales se quieren ver resultados. Cuenta con aproximadamente 545 resultados de variables. | Reúne las variables en nueve grupos de las cuales se quieren ver resultados, los cuales son: confort, ganancias internas, cerramientos y ventilación, cargas del sistema, consumos desglosados, consumos totales, producción de CO2, datos climáticos del sitio y resultados de superficies. |
| Diagnostico | Tiene la capacidad al simular de indicar errores y advertencias e indicar la causa, además tiene una opción la cual al simular da un reporte más detallado del error o la advertencia que esté sucediendo. | Cuando termina de simular muestra un cuadro de dialogo en el cual indica errores y advertencias sobre el modelo. |
| Programas para visualización de resultados | No tiene un entorno grafico para visualizar los resultados por lo tanto es indispensable el uso de herramientas de terceros para visualizar los resultados, algunos de esta herramienta son: <i>Results Viewer</i> de OpenStudio, <i>Results Viewer</i> de DesignBuilder y XesoView, entre otros. | Tiene su propia interfaz gráfica para visualizar los resultados. |

Teniendo en cuenta la información de la tabla anterior se observa como EnergyPlus ofrece un mayor número de variables pero no cuenta con una interfaz gráfica para la visualización de resultados, por lo que es necesario hacer uso de otros programas para su visualización. DesignBuilder por su parte, presenta los resultados en su misma interfaz, de manera organizada teniendo en cuenta nueve categorías de resultados.

En la tabla E.4 del Anexo E se encuentra con mayor detalle la información de la tabla anterior.

4.5 RESULTADOS DE SIMULACIÓN

En esta sección se presentan los resultados de las simulaciones energéticas realizadas en EnergyPlus y su respectivo análisis, de igual manera se realiza una comparación con los resultados obtenidos con DesignBuilder de Caicedo *et al*³³.

4.5.1 Resultados simulaciones EnergyPlus Para el análisis energético del Edificio de Ingeniería Eléctrica fue definido un grupo de zonas consideradas como críticas de acuerdo a criterios como exposición a radiación solar, alta ocupación y cargas de los sistemas. A estas zonas también se les clasificó por el tipo de espacio que representa. El proceso de selección de las zonas críticas se encuentra incluido dentro del trabajo de grado desarrollado por Caicedo *et al.*³⁴, que ha sido tomado como referencia, los criterios para la selección de las zonas críticas tenidas en cuenta son relacionadas en la tabla 17.

³³ *Ibíd.*

³⁴ *Ibíd.*

Tabla 17. Criterios de las zonas críticas.

| Número | Criterio |
|--------|--------------------------------------|
| 1 | Cargas de ocupación |
| 2 | Cargas de iluminación artificial |
| 3 | Cargas de operación de equipos |
| 4 | Cargas de ventilación e infiltración |
| 5 | Cargas por radiación solar |

La tabla 18 presenta las zonas críticas tenidas que fueron tenidas en cuenta para el análisis.

Tabla 18. Zonas críticas.

| Zonas Críticas | Nivel | Tipo de Espacio | No. De Criterio |
|----------------------------|--------------|--------------------------|-----------------|
| Sala docentes cátedra | Sótano | Oficinas Administrativas | 1,4,5 |
| Sala de trabajo individual | Primer piso | Sala de Estudio | 1,3,4 |
| Sala de trabajo grupal | | Sala de Estudio | 1,3,5 |
| Pasillos primer piso | | Corredores | 5 |
| Aula 202 | Segundo piso | Aulas de Clase | 1 |
| Aula 204 | | Aulas de Clase | 1 |
| Aula 207 | | Aulas de Clase | 1 |
| Aula 304 | Tercer piso | Aulas de Clase | 1 |
| Pasillos tercer piso | | Corredores | 5 |
| Aula 306 | | Aulas de Clase | 1 |
| Aula 401 | Cuarto piso | Aulas de Clase | 1,4,5 |
| Aula 402 | | Aulas de Clase | 1,4,5 |
| Aula 404 | | Aulas de Clase | 1,4,5 |
| Aula 406 | | Aulas de Clase | 1,4,5 |
| Pasillos cuarto piso | | Corredores | 5 |
| Dirección e3t | Quinto piso | Oficinas Administrativas | 4,5 |
| Sala reuniones | | Oficinas Administrativas | 4 |

| Zonas Críticas | Nivel | Tipo de Espacio | No. De Criterio |
|----------------|-------|--------------------------|-----------------|
| CCTV | | Oficinas Administrativas | 4 |
| Oficinas | | Oficinas Administrativas | 4,5 |

- **Resultados de temperatura y humedad relativa:** La tabla 19 presentan los resultados de temperatura y humedad relativa obtenidos del proceso de simulación en EnergyPlus para las zonas críticas más representativas.

Tabla 19. Temperatura, humedad y sensación térmica de las zonas críticas.

| Zona críticas: aulas de clase | Temperatura promedio anual [°C] | Humedad promedio anual [%] | Índice sensación térmica por calor[°C] |
|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------|--|
| Aula 404 | 24,71 | 69,80 | 25,00 |
| Aula 202 | 26,91 | 70,03 | 28,89 |
| Pasillos cuarto piso | 23,02 | 82,26 | 23,33 |
| Pasillos tercer piso | 24,20 | 84,30 | 25,00 |
| Sala de trabajo individual | 25,88 | 82,30 | 27,78 |
| Sala de trabajo grupal | 27,18 | 72,02 | 29,44 |
| Dirección e3t | 23,91 | 68,89 | 23,89 |
| Oficinas quinto piso | 25,27 | 73,12 | 25,56 |

En la tabla F.1 del Anexo F se presentan los valores de temperatura, humedad relativa y sensación térmica de la totalidad de zonas críticas.

De acuerdo con los resultados anteriores, la temperatura y humedad relativa en los espacios críticos del edificio de Ingeniería Eléctrica, presentan valores promedio de 25,22°C y 76%, respectivamente.

La zona con mayor temperatura promedio anual en el Edificio de Ingeniería Eléctrica es la Sala de Trabajo Grupal, está se encuentra 1,98 °C por encima del promedio del edificio, dichas condiciones pueden ser causadas por la gran ocupación que presenta este espacio. La menor temperatura promedio anual fue encontrada en el pasillo del cuarto piso y la oficina de la Dirección de la E3T, lo cual puede deberse al flujo de aire por ventilación natural y al uso de aire acondicionado respectivamente.

Con respecto a la humedad relativa promedio anual, se encontró que el mayor valor se presentó en los pasillos del primer piso. La menor humedad relativa promedio fue encontrada para el Aula 401, los pasillos del cuarto piso, la Sala de Trabajo Grupal y el CCTV.

El índice de sensación térmica por calor es quien relaciona la temperatura y la humedad relativa. Este representa la temperatura que realmente percibe el cuerpo al exponerse a diferentes condiciones climáticas³⁵. La tabla 20 presenta la clasificación de los valores del índice de sensación térmica.

Tabla 20. Clasificación de los valores del índice sensación térmica.

| Categoría del Peligro | Sensación térmica ST en grados °C | Efectos provocado por el calor |
|------------------------------|--|---|
| Precaución | 27 °C ≤ST≤32 °C | Posible fatiga por explosión prolongada o actividad física. |
| Precaución extrema | 33 °C ≤ST≤40 °C | Insolación, golpe de calor, calambres. Posibles por exposición prolongada o actividad física. |

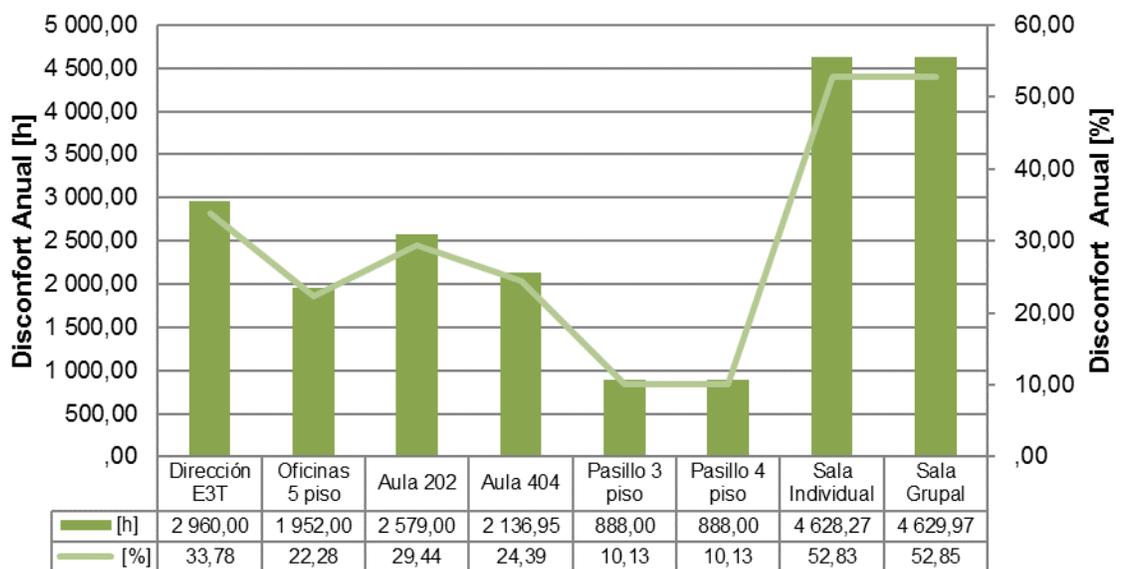
³⁵ U. S. D. OF ENERGY Op. Cit.

| Categoría del Peligro | Sensación térmica ST en grados °C | Efectos provocado por el calor |
|-----------------------|---------------------------------------|---|
| Peligro | $41\text{ °C} \leq ST < 53\text{ °C}$ | Insolación, golpe de calor, calambres, debido posiblemente a la exposición prolongada o actividad física. |
| Extremo peligro | $ST \geq 54\text{ °C}$ | Golpe de calor, insolación inminente. |

De acuerdo a los datos calculados y teniendo en cuenta las categorías de la tabla anterior se establece que oficinas administrativas, aulas de clase con climatización, los pasillos del cuarto piso y la dirección E3T no presenta ningún riesgo por calor. Las zonas que presentan precaución son el Aula 304 y las salas de trabajo grupal e individual que son las que presenta el peor índice de sensación térmica por calor.

- **Resultados de confort:** En la figura 3 contiene las horas de disconfort anual en las zonas críticas según la norma ASHRAE 55-2004.

Figura 3. Horas de disconfort anuales en las zonas críticas.

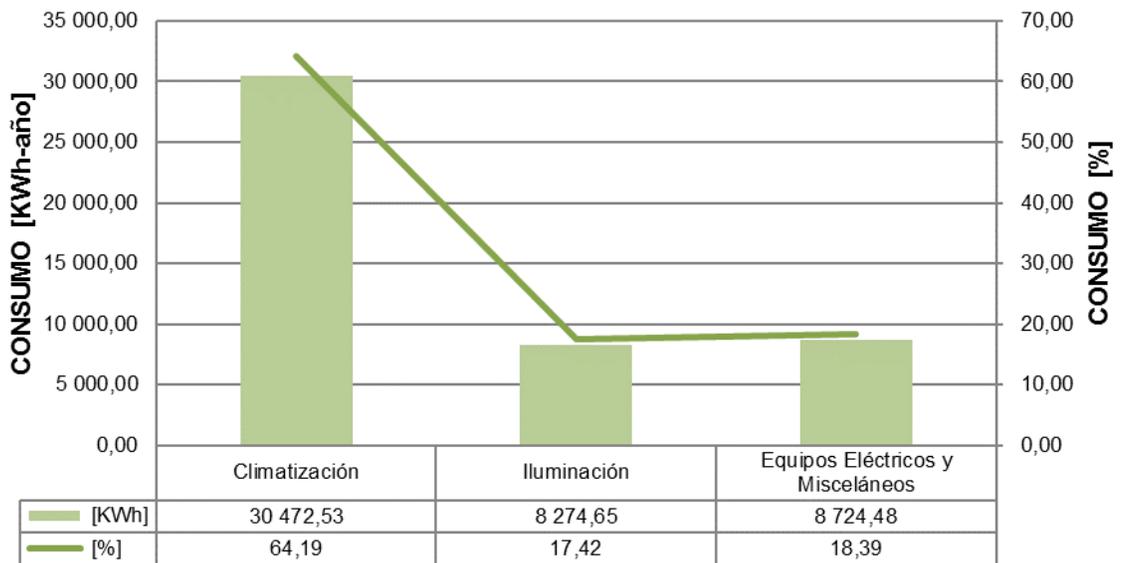


En la tabla F.2 el Anexo F se puede verificar estos mismos resultados para las demás zonas críticas.

De los datos obtenidos se observa que las zonas con condiciones de disconfort son: la sala individual, con un tiempo de disconfort anual de 52,85 %; la sala de trabajo grupal, con un tiempo de disconfort anual de 52,83%; la sala de reuniones del quinto piso, con un tiempo de disconfort anual de 50,02%. El resto de zonas tienen un tiempo de disconfort anual entre 2,37% y 40,11%.

- **Resultados de consumos energético:** En la Figura 4 se muestran los resultados del consumo energético del edificio.

Figura 4. Resultados de consumo energético anual.



El consumo total del edificio es 47 471,65 kWh-año, de este consumo se tiene que el mayor gasto energético se da en la climatización de algunas zonas del edificio con un consumo del 64,19% del consumo total, esto da una idea de que se ahorraría un gran porcentaje de energía si se utilizaran menos los sistemas de

climatización artificial. El resto de consumo se reparte entre la iluminación y equipos eléctricos con un 17,42% y 18,39% respectivamente.

- **Resultados de ganancias de calor:** En la tabla 21 se recopila las ganancias de calor de algunas zonas críticas.

Tabla 21. Ganancias de calor anual.

| Zonas críticas | Adición por personas [GJ-año] | Adición por iluminación [GJ-año] | Adición por equipos [GJ-año] | Adición por ventanas [GJ-año] | Adición por infiltración [GJ-año] | Disipación por ventanas [GJ-año] | Disipación por infiltraciones [GJ-año] |
|--------------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--|
| Aula 406 | 3,78 | 0,21 | 0,41 | 15,22 | 0,09 | -4,56 | -1,66 |
| Aula 404 | 8,80 | 0,90 | 0,95 | 15,28 | 0,39 | -4,42 | -2,02 |
| Sala de Reuniones 5 piso | 6,46 | 0,21 | 0,00 | 11,26 | 0,43 | -3,94 | -0,95 |
| Dirección E3T | 1,62 | 0,25 | 0,83 | 6,27 | 0,30 | -1,85 | -0,47 |
| Sala Grupal | 20,44 | 1,25 | 5,20 | 37,50 | 0,00 | -15,20 | -15,08 |
| Sala Individual | 21,25 | 3,32 | 1,58 | 18,12 | 0,04 | -6,25 | 0,00 |
| Aula 402 | 0,54 | 0,01 | 1,58 | 16,34 | 0,00 | -4,79 | -3,16 |
| Oficinas 5 piso | 9,14 | 2,12 | 8,28 | 65,48 | 0,03 | -23,06 | -32,31 |

De los datos obtenidos se puede observar que por las ventanas hay una gran ganancia y disipación de calor en las distintas zonas. En promedio para las zonas presenta por adición y disipación 66,11% y 21,51% respectivamente, por lo que la ganancia de calor es mayor que al que se disipa. La ocupación también representa una gran ganancia de calor, en promedio presenta 24,83% de adición de calor para las zonas. La infiltración en promedio para las zonas presenta en adición y disipación de calor 0,96% y 13,11% respectivamente, por lo que favorece la disipación de calor en las distintas zonas.

Las zonas que presentan mayores ganancias de calor son: las oficinas del quinto piso con ganancias de 23751,67 kWh-año, donde la adición por personas representa 10,75%, por iluminación 2,5%, por equipos 9,74% y por ventanas 76,99%; la Sala Grupal con ganancias de 17887,22 kWh-año, la Sala Individual con ganancias de 12306,39 kWh-año y el Aula 404 con ganancias de 26,312 GJ, el resto de las zonas la ganancia es menor a 5555,56 kWh-año.

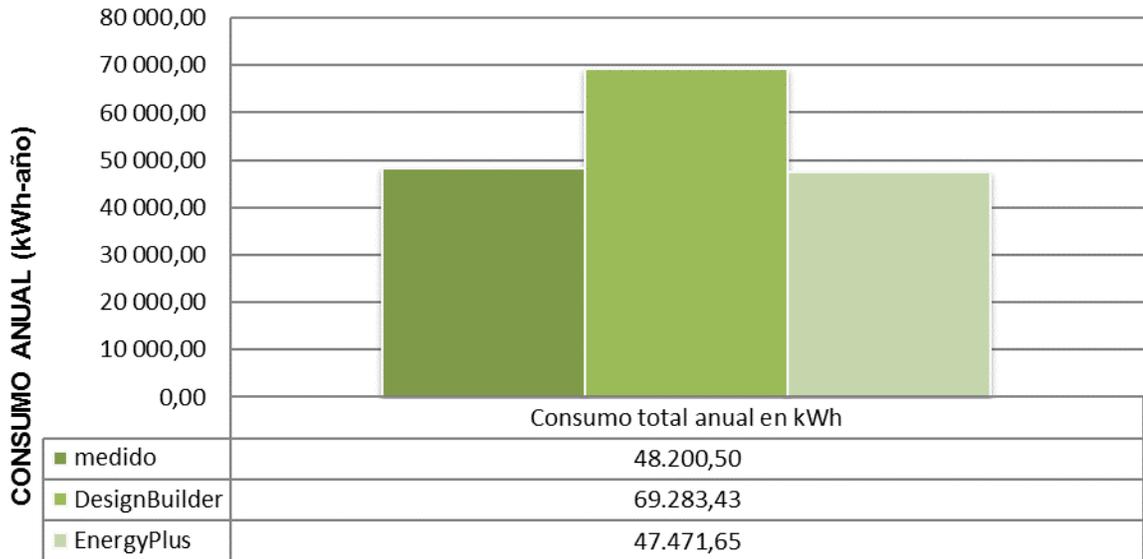
4.5.2 Comparación de resultados De las zonas críticas de la tabla 18 se seleccionaron zonas como Sala de reuniones del quinto piso, el Aula 404, las oficinas del quinto piso, el Aula 406, la sala individual, la sala grupal y el Aula 402 para realizar el análisis comparativo de variables como la temperatura y la humedad relativa, ya que se cuenta con datos medidos de estas variables en las zonas anteriormente mencionadas. En el análisis de las simulaciones energéticas se consideró el periodo del 9 al 21 de junio, periodo en el cual se realizaron las mediciones, de esta forma se garantiza una comparación apropiada. Los resultados de simulación se comparan con los resultados y datos de medición obtenidas de Caicedo *et al*³⁶..

- **Consumo energético total anual:** En la Figura 5 se compara el consumo anual energético para los datos obtenidos de la simulación en EnergyPlus con los datos obtenidos de trabajo de grado previo de Caicedo *et al.*³⁷ y con el consumo medido en el edificio. Los resultados muestran una diferencia porcentual menor a 1,6% para la simulación en EnergyPlus y una diferencia porcentual cercana al 43,8% para la simulación en DesignBuilder con respecto al valor medido, esto indica una mejor calibración y ajuste del modelo creado en EnergyPlus con respecto al valor medido, por lo cual se obtuvo una mejor aproximación del consumo energético.

³⁶ CAICEDO PÉREZ C. M., TORRES VERBEL M. A., and SÁNCHEZ MANTILLA S.

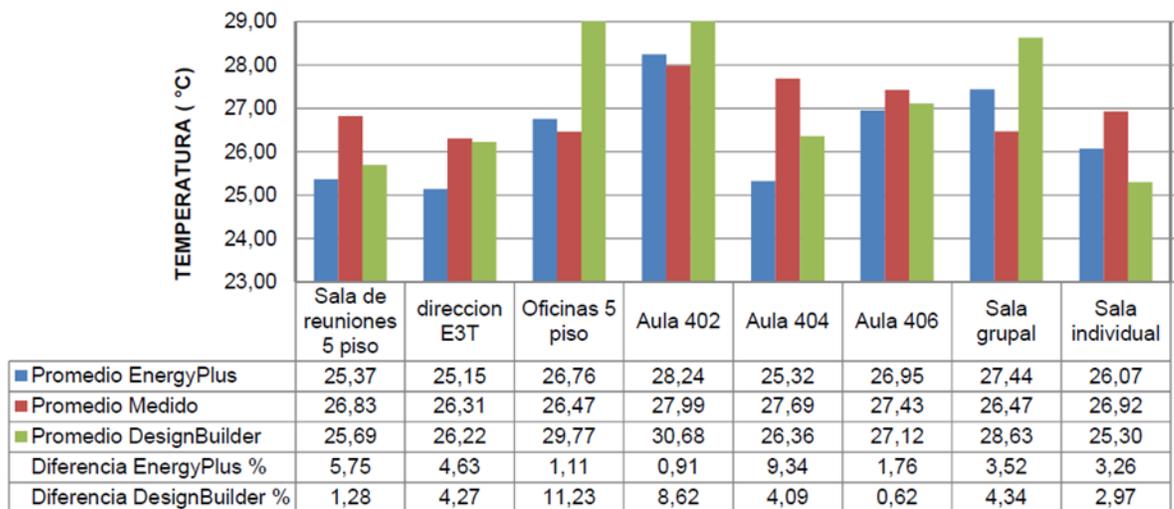
³⁷ *Ibíd.*

Figura 5. Consumo energético anual.



- **Temperatura del aire:** En la Figura 6 se contrastan los datos de temperatura del aire obtenidos de la simulación con el modelo sintonizado en EnergyPlus, Designbuilder y los datos medidos para la temperatura del aire en el trabajo de grado de Caicedo *et al.*³⁸.

Figura 6. Temperatura de las zonas críticas.



³⁸ *Ibíd.*

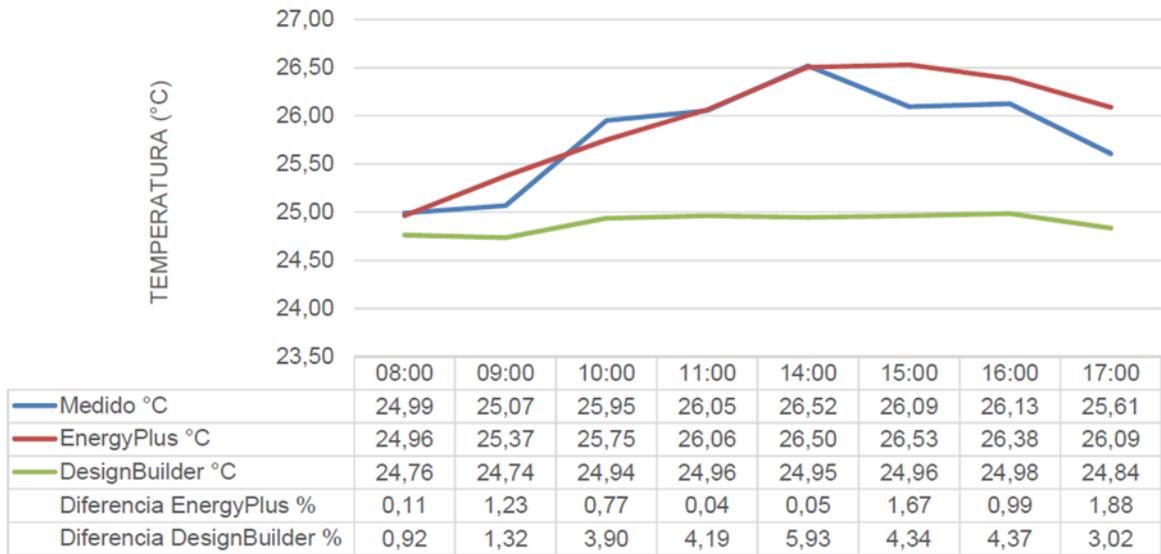
Al contrastar los datos medidos con los resultados de las simulaciones realizadas se observó que las dos herramientas presentan 6 zonas con diferencia porcentual no mayor al 5%.

La menor diferencia porcentual en EnergyPlus es 0,91% para el Aula 402 y la menor diferencia porcentual en DesignBuilder es 0,62% para el Aula 406. La mayor diferencia porcentual en EnergyPlus es 9,34% para el Aula 404, la mayor diferencia porcentual en DesignBuilder es 11,23% para las Oficinas del 5 piso.

Uno de los inconvenientes identificados fue la falta de actualización de los datos meteorológicos, agregando un grado de incertidumbre al modelo simulado. Por otra parte los valores medidos tienen una incertidumbre debido a diferentes factores, entre los que se destacan la precisión del instrumento de medida y el proceso de medición que se realice.

La figura 7 se contrasta por horas la temperatura del aire obtenida de la simulación con el modelo sintonizado en EnergyPlus, DesignBuilder y los datos medidos para la zona de sala de reuniones del 5 piso.

Figura 7. Temperatura del aire por hora de la sala de reuniones del 5 piso.



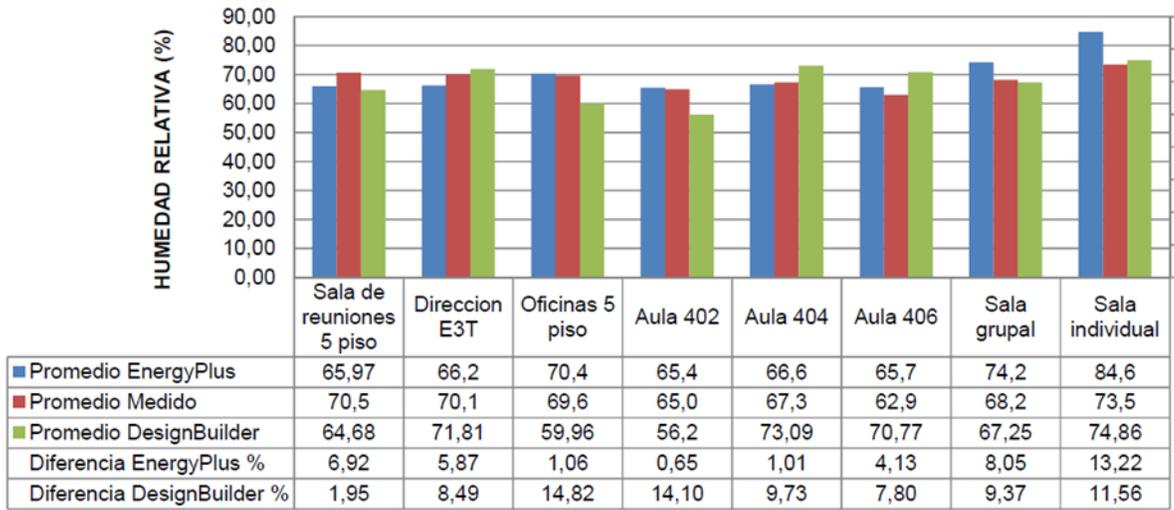
Al contrastar los datos medidos con los resultados de las simulaciones realizadas se observó que la herramienta EnergyPlus presenta 8 puntos horarios con diferencia porcentual no mayor al 5%, mientras la herramienta DesignBuilder presenta 7 puntos horarios con diferencia porcentual no mayor al 5%.

La menor diferencia porcentual en EnergyPlus es 0,04% a las 11:00 horas y la menor diferencia porcentual en DesignBuilder es 0,92% a las 17:00 horas. La mayor diferencia porcentual en EnergyPlus es 1,88% a las 17:00 horas, la mayor diferencia porcentual en DesignBuilder es 5,93% a las 17:00 horas.

- **Humedad relativa:** En la figura 8 se contrastan los datos de humedad relativa obtenidos de la simulación con el modelo sintonizado en EnergyPlus, DesignBuilder y los datos medidos para la humedad relativa en el trabajo de grado previo de Caicedo *et al.*³⁹.

³⁹ *Ibíd.*

Figura 8. Humedad relativa de las zonas críticas.

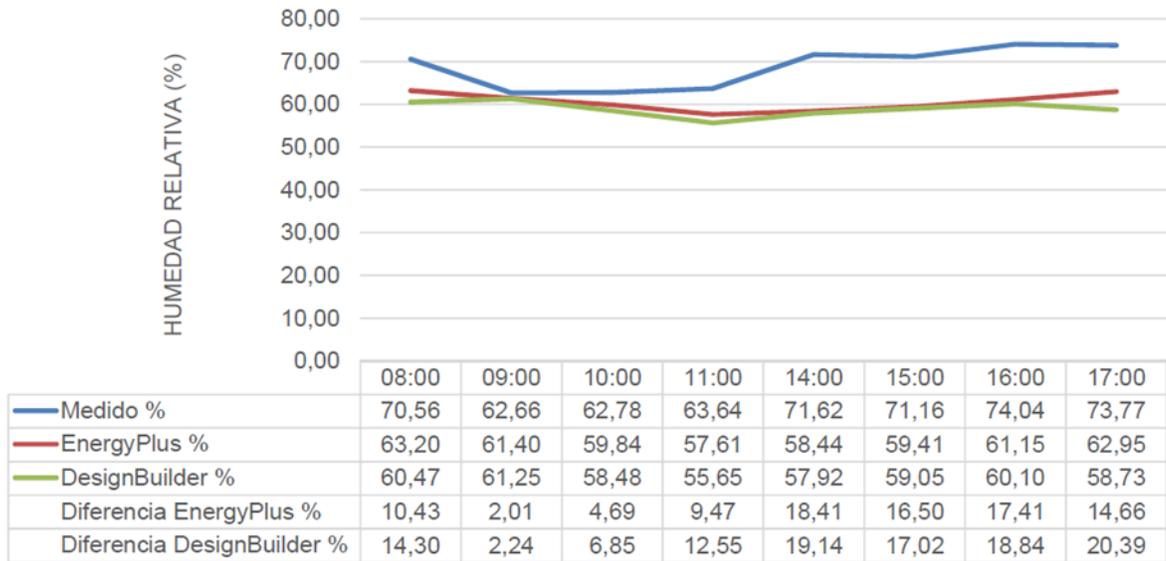


Al contrastar los datos medidos con los resultados de las simulaciones realizadas se observó que la herramienta EnergyPlus presenta 4 zonas con diferencia porcentual no mayor al 5%, mientras la herramienta DesignBuilder presenta 1 zona con diferencia porcentual no mayor al 5%.

La menor diferencia porcentual en EnergyPlus es 0,65% para el Aula 402 y la menor diferencia porcentual en DesignBuilder es 1,95% para la Sala de reuniones 5 piso. La mayor diferencia porcentual en EnergyPlus es 13,22% para para la Sala individual, la mayor diferencia porcentual en DesignBuilder es 14,82% para las Oficinas del 5 piso.

La Figura 9 se contrasta por horas la humedad relativa obtenida de la simulación con el modelo sintonizado en EnergyPlus y los datos medidos para la zona de sala de reuniones del 5 piso.

Figura 9. Humedad relativa por hora de la sala de reuniones del 5 piso.



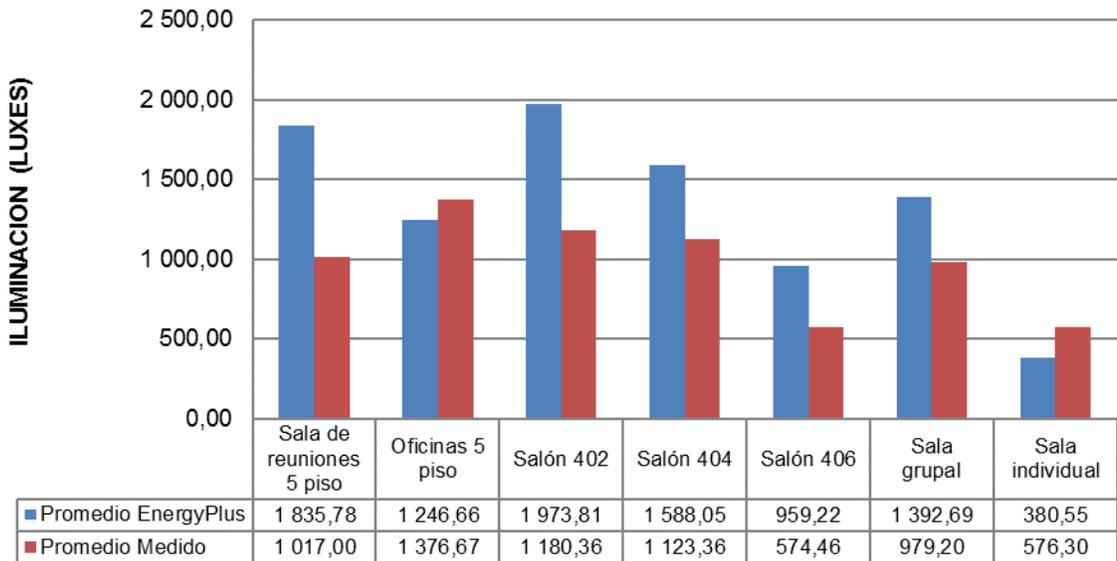
Al contrastar los datos medidos con los resultados de las simulaciones realizadas se observó que la herramienta EnergyPlus presenta 2 puntos horarios con diferencia porcentual no mayor al 5%, mientras la herramienta DesignBuilder presenta 1 puntos horarios con diferencia porcentual no mayor al 5%.

La menor diferencia porcentual en EnergyPlus es 2,01% a las 09:00 horas y la menor diferencia porcentual en DesignBuilder es 2,24% a las 09:00 horas. La mayor diferencia porcentual en EnergyPlus es 18,41% a las 14:00 horas, la mayor diferencia porcentual en DesignBuilder es 20,39% a las 17:00 horas.

- **Nivel de iluminación:** La Figura 10 contrasta los datos del nivel de iluminación natural obtenidos de la simulación con el modelo sintonizado en EnergyPlus y de los datos medidos para el nivel de iluminación en el trabajo de grado previo de Caicedo *et al.*⁴⁰.

⁴⁰ *Ibíd.*

Figura 10. Nivel de iluminación natural.

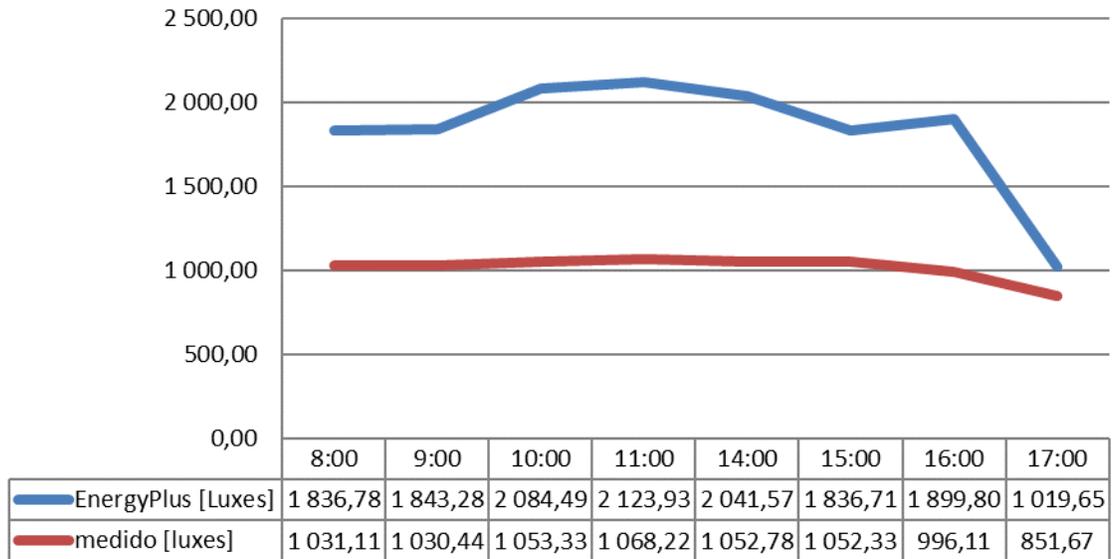


Oficinas 5 piso con 10,42%. La mayor diferencia porcentual fue encontrada en la sala individual con 51,44%, con una diferencia promedio de 457,27 luxes.

Es indispensable tener en cuenta que se presenta estas diferencias, debido a que la herramienta EnergyPlus entrega 100 datos por hora en cada zona. Mientras los datos medidos son solo 9 por hora en cada zona. Por lo tanto, estas condiciones influyen en el resultado, además se debe considerar la incertidumbre incorporada en la medición y las condiciones climáticas el día de medición.

La Figura 11 se contrasta por horas el nivel de iluminación natural obtenida de la simulación con el modelo sintonizado en EnergyPlus y los datos medidos para la zona de sala de reuniones del 5 piso.

Figura 11. Nivel de iluminación natural por hora de la sala de reuniones del 5 piso.



Al contrastar los datos medidos con los resultados de las simulaciones realizadas se observó que la menor diferencia porcentual se da a las 17:00 horas con un valor de 19,72% y la mayor diferencia porcentual se da a las 10:00 horas con 98,83%.

- Consumo energético en el Aula 401 con y sin techo verde:** La Tabla 22 contrasta los efectos del techo verde sobre el consumo energético de un espacio típico climatizado que incluye esta aplicación de ahorro energético. Los datos del Aula 401 del sistema de ventilación artificial a través de aire acondicionado, respecto al sistema de cubierta exterior con y sin techo verde, de la simulación con el modelo sintonizado en EnergyPlus y DesignBuilder; los datos de DesignBuilder fueron obtenidos de Caicedo *et al.*⁴¹.

⁴¹ *Ibíd.*

Tabla 22 Consumo energético en el Aula 401.

| Herramienta | DesignBuilder | | EnergyPlus | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Sin techo verde | Con techo verde | Sin techo verde | Con techo verde |
| Iluminación [kWh] | 661,18 | 661,18 | 237,1 | 237,1 |
| Computadores + Equipos + Misceláneo [kWh] | 447,02 | 447,02 | 295,42 | 295,42 |
| Enfriamiento total [kWh] | 11 945,18 | 12 514,13 | 3 808,67 | 3 710,29 |

Con la aplicación del techo verde, el consumo energético debido a iluminación, misceláneo, computadores y equipos no presenta cambios si se aplica o no a la cubierta el techo verde para cada herramienta de simulación, pero presenta cambios entre herramientas ya que los consumos son más bajos en la herramienta de simulación EnergyPlus que en la herramienta de simulación DesignBuilder. Mientras que el consumo energético por enfriamiento presenta una leve disminución de pasar de una cubierta sin techo verde a una con techo verde para cada herramienta de simulación, para EnergyPlus y DesignBuilder la reducción fue de 2,59% y 4,55% respectivamente, también se observa que el consumo energético por enfriamiento es menor en EnergyPlus que en DesignBuilder. Estas diferencias se pueden deber a la diferencia en el proceso de calibración realizado en las dos herramientas, ya que en EnergyPlus el proceso de calibración de los sistemas de climatización es más detallado, esto permite crear sistemas más reales.

5. CONCLUSIONES

- Teniendo en cuenta los resultados comparados, las opciones de modelado, su licencia de uso gratis, y ya que su desarrollo está financiado por el Departamento de Energía de Estados Unidos lo cual aporta seguridad y confiabilidad a esta herramienta, los autores recomiendan la utilización de EnergyPlus como una herramienta de simulación confiable para realizar análisis de consumos energéticos en edificaciones.
- El software EnergyPlus mostró ser una herramienta adecuada para ser utilizada en modelos pertenecientes a lugares con clima tropical como lo es la ciudad de Bucaramanga, porque tiene un buen desempeño en la simulación de parámetros como lo son temperatura de aire y humedad relativa en los cuales presento diferencias porcentuales no mayores al 10%.
- De acuerdo a la comparación de los resultados de las simulaciones energéticas realizadas en EnergyPlus y DesignBuilder con los valores medidos, el modelo de EnergyPlus presenta la mejor calibración. Lo anterior debido a que se realizó una mayor especificación en los parámetros como horarios de ocupación, sistemas de iluminación y climatización, uso de equipos eléctricos, entre otros.
- DesignBuilder presenta mejores características de usabilidad que EnergyPlus, debido a la amigabilidad de su interfaz de usuario. Dicha característica, sumado a la disponibilidad de la licencia son determinantes a la hora de seleccionar una de esta herramienta.

- Aspectos como la divergencia entre los periodos de medición y el registro de los datos climáticos, así como la incertidumbre en el modelado de la ocupación del edificio son considerados como las principales causas de las diferencias encontradas entre los resultados de las simulaciones y los valores medidos.
- EnergyPlus se destaca como una herramienta práctica para realizar análisis energéticos de edificaciones con enfoque sostenible, ya que cuenta con un gran número de opciones de modelado de sistemas de generación de energía convencional y energía renovable tales como aerogeneradores y paneles fotovoltaicos, adicionalmente se incluyen sistemas de calentamiento solar de agua, entre otros.
- Una de las principales fortalezas de EnergyPlus consiste en el modelado específico que esta herramienta permite hacer del control de la ocupación, la utilización de los equipos eléctricos y la operación de aberturas.
- A partir de los resultados de las simulaciones energéticas se pudo evidenciar los efectos positivos del techo verde en la reducción de la temperatura interior de los espacios del cuarto y quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica. Dicha reducción de temperatura ocasiona a su vez un decremento del 2,59% en el consumo energético en climatización, según resultados del EnergyPlus.
- Los resultados de las simulaciones energéticas realizadas en EnergyPlus presentaron diferencias porcentuales menores al 10% con respecto a los valores medidos de consumo de energía eléctrica, temperatura y humedad relativa.
- EnergyPlus cuenta con un conjunto de 545 variables que pueden ser seleccionadas como salidas en los reportes de datos. Por otra parte DesignBuilder cuenta con nueve grupos de variables: confort, ganancias,

cerramientos y ventilación, cargas del sistema, consumos, producción de CO₂, datos climáticos y resultados de superficies. Dichos grupos facilitan la visualización de los resultados de salida lo que no sucede con EnergyPlus. La visualización de resultados se realiza desde la misma interfaz en DesignBuilder, mientras que en EnergyPlus requiere de programas externos.

- DesignBuilder permite realizar el ingreso de los datos del modelo a través de una jerarquía de herencia de datos, lo cual representa una ventaja ya se puede ahorrar tiempo en el ingreso de mismos. En contraste EnergyPlus carece de esta característica, lo que algunas veces hace tedioso el ingreso de los datos.
- Finalmente los autores consideran que la realización de este trabajo de grado les ha permitido conocer la importancia del ahorro de energía y la utilización de estrategias sustentables para mejorar la eficiencia energética de las edificaciones, para así hacer un mejor y adecuado uso de la energía.

6. OBSERVACIONES

- Debido a que no se tienen los resultados de las variables temperatura, humedad relativa e iluminación del proyecto que realizó la simulación del Edificio de Ingeniería Eléctrica en DesignBuilder con el cual se realizaron las comparaciones, no se pudo contrastar estas variables con los resultados obtenidos en EnergyPlus.
- Las características físicas de los materiales, el consumo de energía de las cargas de iluminación y de los equipos eléctricos, el número de personas en cada zona y los horarios de ocupación son los mismos en ambas simulaciones.
- Se recomienda actualizar los datos climáticos y mediciones existentes, para así obtener resultados más acertados en futuros estudios energéticos.
- Fomentar la utilización de herramientas de simulación energéticas de libre acceso, en la etapa de diseño de edificaciones para mejorar la eficiencia de las mismas.
- Formular y desarrollar estudios que permitan comparar el desempeño de herramientas como OpenStudio frente a DesignBuilder

BIBLIOGRAFIA

ANSI/ASHRAE, ASHRAE Guideline 14-2002 Measurement of Energy and Demand Savings, vol. 8400. 2002, p. 170.

B. D. B. CRAWLEY and L. K. LAWRIE, "EnergyPlus : Energy Simulation Program," vol. 42, no. 4, 2000.

BATISIM, forums. [en línea]. Disponible en: <http://www.batisim.net/index.php/support2/forums.html>.

BIG LADDER SOFTWARE," Ep lunch program. [en línea]. Disponible en: <http://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-2/getting-started/ep-launch-program.html>.

BIG LADDER Support." [en línea]. Disponible en: <http://bigladdersoftware.com/projects/energyplus/support.html>.

BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) Análisis de construcción de Cargas y Sistema Termodinámica.

BONILLA S., "Ahorro Energético en Edificios," 19 junio, 2012. [en línea] disponible en: <http://constructorelectrico.com/ahorro-energetico-en-edificios/>.

C. L. T. R. Jaime D. PINZÓN C., CORREDOR Alejandra R., SANTAMARÍA P. Francisco, HERNÁNDEZ M. Johann A., "Implementación de indicadores energéticos en centros educativos. Caso de estudio: Edificio Alejandro Suárez Copete," 2014. [en línea] disponible en:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-81602014000200010&script=sci_arttext.

CAICEDO PÉREZ C. M., TORRES VERBEL M. A., and SÁNCHEZ MANTILLA S., “Análisis energético del edificio de ingeniería eléctrica a partir del uso de la herramienta designbuilder: calibración y simulaciones,” Universidad Industrial de Santander, 2015.

DESIGNBUILDER España,” 2015. [en línea]. Disponible en: <https://plus.google.com/communities/106261965866401936287>.

DESIGNBUILDER,” itemind 25. [en línea]. Disponible en: http://www.designbuilder.co.uk/component/option,com_forum/Itemid,25/.

DOE-2 Software Desarrollado Bajo el Financiamiento del Departamento de Energía de los Estados Unidos.

EERE.ENERGY “About EnergyPlus,” 10 abril, 2015. [en línea] disponible en: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_about.cfm.

ENERGYPLUS Support,” [en línea]. Disponible en: https://groups.yahoo.com/neo/groups/EnergyPlus_Support/info.

ESTÉVEZ R., “Certificado LEED para edificios ecointeligentes,” 14 octubre, 2010. [en línea] disponible en: <http://www.ecointeligencia.com/2010/10/certificado-leed-para-edificios-ecointeligentes/>.

FARIA Caroline, “Arquitectura Bioclimática.” [en línea] disponible en: <http://www.infoescola.com/arquitectura/arquitectura-bioclimatica/>.

GARCÍA-ALVARADO R., GONZÁLEZ A., BUSTAMANTE W., BOBADILLA A., and MUÑOZ C., “Características relevantes de la simulación energética de viviendas unifamiliares,” vol. 66, no. (533): e005, 2014.

GARD ANALYTICS,” Energy plus support and training. [en línea]. Disponible en: <http://www.gard.com/services/energyplus-support-and-training/>.

GONZÁLEZ CÁCERES A., “Evaluación de herramientas de simulación energética: estudio del caso de la determinación de la demanda de calefacción en viviendas en concepción,” Universidad del Bío-Bío, 2012.

HVAC (Heating, Ventilating and Air Condition) sistema de confort ambiental interior y vehicular.

I. B. P. S. A. ASOCIATION, “Software.” [en línea] disponible en: <http://www.ibpsa.es/Software/tabid/59/Default.aspx>.

INPUT OUTPUT REFERENCE The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output.” 2014.

ISO, “Gana el desafío de la energía con ISO 50001,” 2011. [en línea] disponible en: http://www.iso.org/iso/iso_50001_energy-es.pdf.

MARTIN ALCALDE A., “Estudio y simulación de un edificio con Energy Plus.” 2010.

Mecanismos e Instrumentos Financieros para Proyectos de Eficiencia Energética en Colombia.” Bogotá, 2011.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, Resolución 180919. 2010.

MINISTERIO DE VIVIENDA CIUDAD Y TERRITORIO, Resolución 0549. 2015.

OSMA PINTO A. and ORDOÑES G., “Piloto de edificación verde como laboratorio vivo en la Universidad Industrial de Santander.” Bucaramanga, Santander, p. 9, 2013.

PALLARES CEPERO F., “Estudio energético con EnergyPlus e implementación del sistema de climatización con CYPE Ingenieros del edificio de oficinas de INEF Lleida,” 2011.

PULIDO SUÁRES O. A. and MENESES SILVA M. Y., “Evaluación de las estrategias de confort visual y térmico establecidas para el edificio de ingeniería eléctrica según lineamientos del sistema de certificación leed a partir de la herramienta designbuilder. Creacion del modelo virtual.” Bucaramanga, Santander, p. 304, 2012.

U. S. D. OF ENERGY, “EnergyPlus Graphical User Interfaces,” april 23, 2014. [en línea]. Disponible en: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/ep_interfaces.cfm.

UNEP-SBCI, “Iniciativa para Edificios Sostenibles y Clima (UNEP-SBCI),” 2016. [Online]. [en línea] disponible en: http://www.unep.org/sbci/pdfs/sbci_2pager_spanish_feb2011.pdf.

UNMET HOURS,” Questions. [en línea]. Disponible en: <https://unmethours.com/questions/>.

WEATHER DATA,” 5 julio, 2013. [en línea] disponible en: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm.

WEATHER PREDICTION CENTER, "Meteorological Conversions and Calculations." [en línea]. Disponible en:
<http://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/heatindex.shtml>.

ANEXOS

ANEXO A. SKETCHUP

En este anexo se describe el software de diseño 3D llamado SketchUp, el cual es una herramienta versátil.

Instalación

Después de descargar el archivo, se ejecuta el archivo de instalación, posteriormente salta una ventana de control de cuenta de usuario, se autoriza dando clic en “sí”, después empieza la extracción del archivo de instalación como se muestra en la Figura A.1.

Figura A.1. Extracción de archivo.

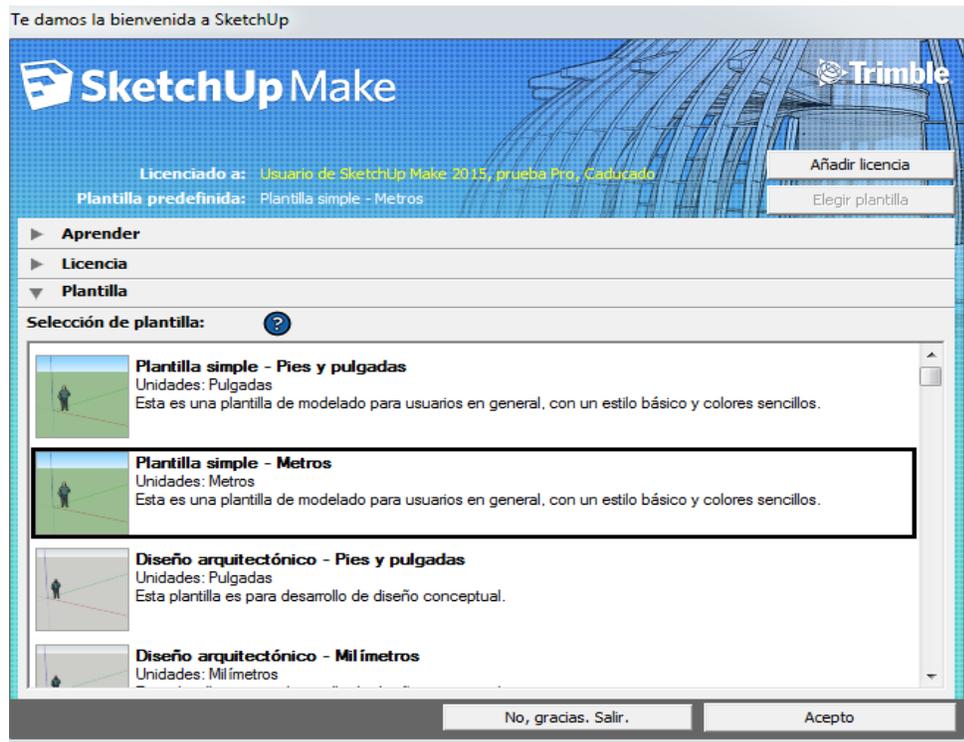


Se siguen los pasos del asistente de instalación y cuando se haya terminado el proceso de instalación se pulsa “finalizar”. Finalmente se crea un acceso directo del programa en el escritorio para su posterior utilización.

Interfaz de SketchUp

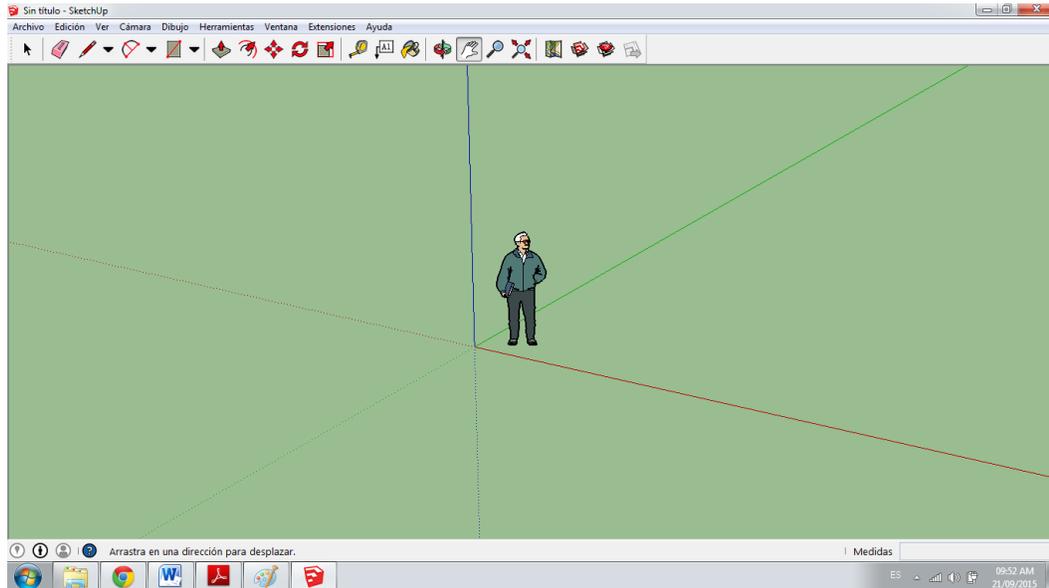
Al abrir el programa aparece inicialmente una ventana donde se elige el tipo de plantilla que se va a utilizar, se elige “plantilla simple-Metro” y se pulsa “aceptar” como se muestra en la Figura A.2.

Figura A.2. Selección de plantilla.



Finalmente se inicia el programa, cuyo entorno se muestra en la Figura A.3.

Figura A.3 Entorno.



Esta interfaz cuenta con un menú ubicado en la parte superior izquierda de la pantalla como se muestra en la Figura A.4.

Figura A.4. Menú principal.



- **Archivo:** Contiene las opciones del modelo, las opciones más importantes son: nuevo, abrir, guardar, guardar como, importar, exportar, imprimir y salir.
- **Edición:** permite llevar a cabo funciones de edición sobre la geometría creada, algunas de estas opciones son: copiar, cortar y pegar. También posee funciones que dependiendo el nivel de conocimiento de esta herramienta resultan muy útiles a la hora de utilizar este programa.
- **Ver:** esta opción del menú permite visualizar ejes, guías, y efectos de sombra entre otro.

Las herramientas de izquierda a derecha son: seleccionar, borrar, líneas, arcos, formas, empujar/tirar, equidistancia, mover, rotar, escala, medir, texto, pintar, orbitar, desplazar, zoom, ver modelo centrado, añadir localización, obtener modelo y LayOut.

Este conjunto de herramientas básicas son muy útiles y fáciles de utilizar, ya que su sencillez a la hora de implementarlas facilita el aprendizaje al usuario.

Legacy OpenStudio SketchUp Plugin

Este plugin permite crear un archivo de entrada para EnergyPlus, con este plugin se puede crear la geometría 3D de los modelos para posteriormente ser editados en EnergyPlus.

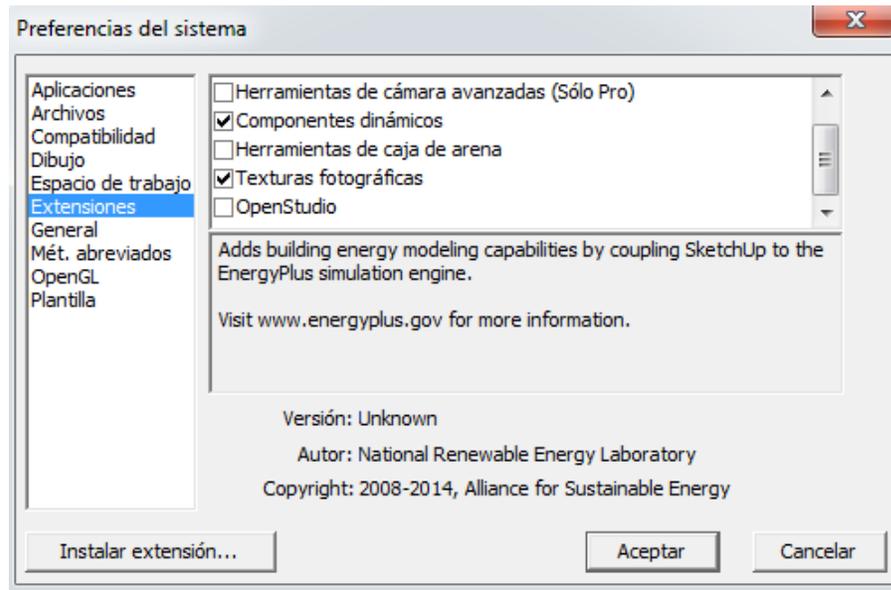
Instalación del plugin: Después de descargar el plugin, se realiza el siguiente procedimiento para su instalación:

En el menú principal de SketchUp se da clic en “ventana”, posteriormente se despliega un submenú y damos clic en “preferencias”.

Posteriormente se despliega una ventana, en la ventana emergente se da clic en “extensiones” y después en “instalar extensiones”.

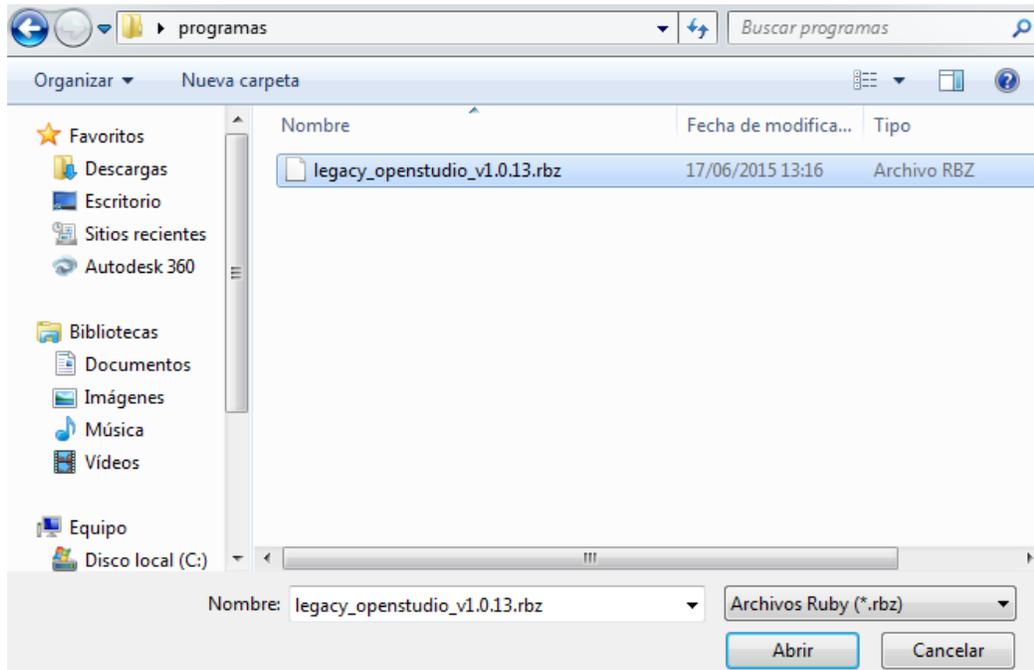
La Figura A.6 muestra el procedimiento.

Figura A.6. Preferencias del sistema.



Posteriormente se selecciona el archivo cuya extensión de archivo es .rbz. En la Figura A.7 se muestra el procedimiento.

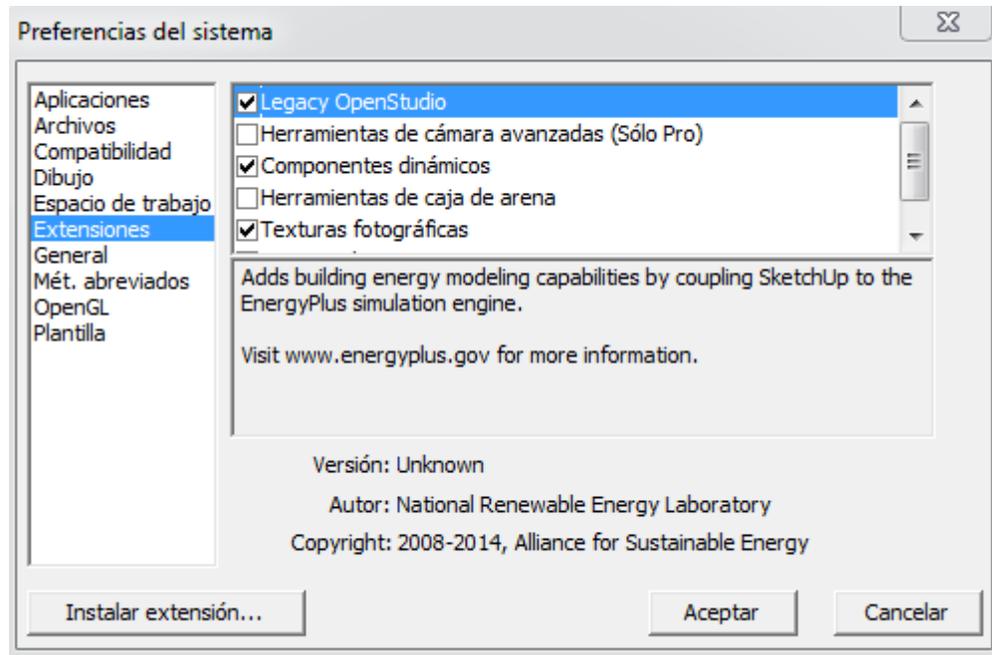
Figura A.7. Selección de archivo.



Después en la ventana de preferencias se da clic en “extensiones” y se selecciona el plugin Legacy OpenStudio.

La Figura A.8 se muestra el procedimiento.

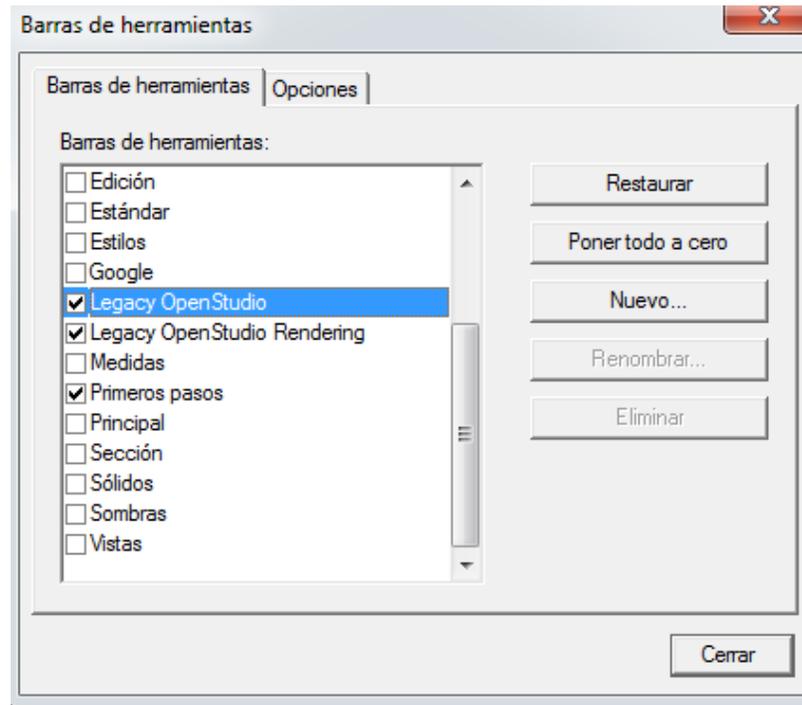
Figura A.8. Selección de plugin.



Posteriormente en el menú principal se da clic en “ver”, en el submenú que se despliega se da clic en barra herramientas. En la ventana emergente se selecciona “Legacy OpenStudio” y “Legacy OpenStudio Rendering”, y se cierra la ventana emergente.

La Figura A.9 muestra el procedimiento.

Figura A.9. Selección de herramientas del plugin.



Después se podrá visualizar las herramientas del plugin, las herramientas de la plugin se pueden ver en la Figura A.10.

Figura A.10. Herramientas del plugin.



En la Tabla A.1 se encuentra las funciones de las herramientas del plugin.

Tabla A.1. Funciones del plugin.

| Herramienta | Función |
|-------------|---|
| Nuevo | Permite crear un archivo nuevo de entrada EnergyPlus (idf), este archivo nuevo posee unas plantillas por defectos, estas plantillas cuyos objetos pueden ser editados desde EnergyPlus. |
| Abrir | Permite abrir un archivo idf para su edición e inspeccionar de geometría. |

| Herramienta | Función |
|-----------------------------|--|
| Guardar | Permite guardar el modelo que se haya creado y sus modificaciones como un archivo idf. |
| Guardar como | Permite guardar el archivo idf con el nombre que desee el usuario, es muy importante después de escribir el nombre del archivo indica la extensión del mismo. Por ejemplo si se nombra el archivo “ejemplo” tendremos que indicar la extensión idf y quedaría así “ejemplo.idf”, ya que si no se realiza esto no se podrá editar el archivo. |
| Mostrar errores | Permite ver si hay errores en la geometría del modelo 3D |
| Nueva zona EnergyPlus | Permite crear zonas térmicas que se podrán editar sus características en EnergyPlus. |
| NuEvo grupo de sombreado | Permite crear superficies cuya función sea de sombreado. |
| Cargas | Permite agregar cargas a las zonas creadas, esto también se puede hacer desde EnergyPlus. |
| Control Daylighting | Permite crear objetos en cada zona los cuales realizan un control sobre las cargas de iluminación que las zonas posean. |
| Mapa de iluminación | Permite crear mapas de iluminación en las zonas previamente creadas. |
| Herramienta de información | Permite ver la información del objeto que se seleccione pero no se puede editar. |
| Información de objeto | Permite en una ventana de dialogo ver y editar información del objeto que se seleccione. |
| Esquema | Permite ver todas las zonas creadas en el modelo. |
| Buscar superficie | Permite buscar superficies en el modelo, esto resulta útil cuando se tiene un modelo grande y la búsqueda manual es tediosa. |
| Surface matching | Permite unir superficies adyacentes para que a la hora de simular, las superficies de distintas zonas puedan tener intercambio de calor a través de estas superficies. |
| Construcciones por defecto | Permite editar las construcciones por defecto que se crean con el nuevo archivo idf. |
| Simular | Permite lanzar la simulación del archivo creado, sin salir de SketchUp. |
| Generar archivos de ejemplo | Permite contactar con el departamento de energía de Estados Unidos para una consulta o si necesita ayuda. |

| Herramienta | Función |
|-------------------------------|--|
| Ayuda | Permite al usuario acceder a documentación relacionada con la extensión, documentos como guías de referencia, tutoriales y notas acerca de la extensión. |
| Ocultar otras zonas | Permite visualizar únicamente la zona que se está editando. |
| Ver geometría oculta | Permite visualizar la geometría de las zonas, mientras se está editando una zona específica. |
| Ver modelo en rayos-X | Permite ver el modelo como si se tuviera una visión de rayos-X. |
| Clases de superficie | Permite ver las superficies de distintos colores dependiendo del tipo de superficie el techo (café), muros (marrón), pisos (gris), ventanas (transparentes) y puertas (marrón oscuro). |
| Condición de frontera | Permite ver en colores las zonas que tengan fronteras con el medio ambiente (azul), con el terreno (café), adiabático (rosado), entre otros. |
| Render de evaluación de datos | Permite ver en colores que van del rojo al azul las superficies que estén expuestas a la luz solar. |
| Opciones del render | Permite configurar el render de evaluación de datos. |
| Escala de colores | Permite ver la escala de colores del render de evaluación de datos. |
| Herramienta de datos | Permite ver información de las superficies expuestas a la luz solar. |
| Animación | Estas herramientas permiten al usuario ver como cambial las variables a lo largo del periodo de simulación, por ejemplo se puede ver el sombreado del edificio a lo largo de un periodo de simulación. |

Adaptado de WEATHER PREDICTION CENTER, "Meteorological Conversions and Calculations." [en línea]. Disponible en: <http://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/heatindex.shtml>.

MARTIN ALCALDE A., "Estudio y simulación de un edificio con Energy Plus." 2010.

ANEXO B. ENERGYPLUS

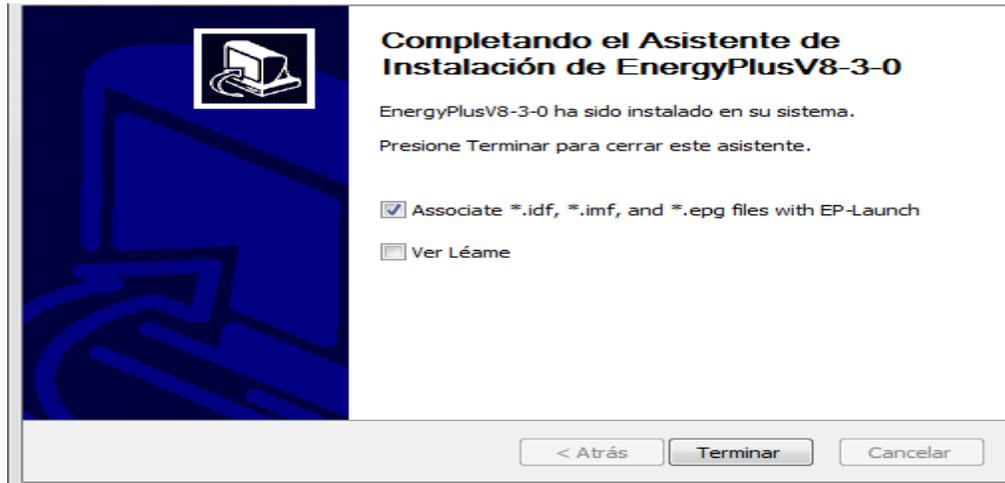
En este anexo se describen las características y capacidades del software EnergyPlus, esta herramienta utilizada en análisis energéticos. La posibilidad de simular flujos térmicos a través de zonas, ventilación natural, consumo energético, iluminación natural y climatización artificial, además de ser una herramienta gratuita, hacen de esta herramienta una buena opción para realizar simulaciones energéticas a edificaciones.

Instalación

Para el proceso de instalación de esta herramienta primero se descarga de la página oficial de EnergyPlus. Nos situamos en la carpeta donde se descargó la herramienta y se siguen los pasos del asistente de instalación, cuando se haya terminado el proceso de instalación se seleccionan las extensiones asociadas al programa y se pulsa "Terminar". Finalmente se crea un acceso directo del programa en el escritorio para su posterior utilización.

La Figura B.1 muestra el asistente de instalación y la asociación de archivos.

Figura B.1. Asociación de archivos.



EP-Launch

Es un componente que se instala por defecto con EnergyPlus, con este se puede seleccionar los archivos de entrada .idf que se deseen simular y editar, además permite ver los diferentes archivos que se generan con la simulación como el archivo de errores, resultados tabulados en un archivo html, entre muchas otras funciones ^{42 43 44}.

Esta herramienta está ubicada en el menú inicio, en la capeta EnergyPlus se da clic en EP-Launch o se da clic directamente en el archivo que se desea editar o simular.

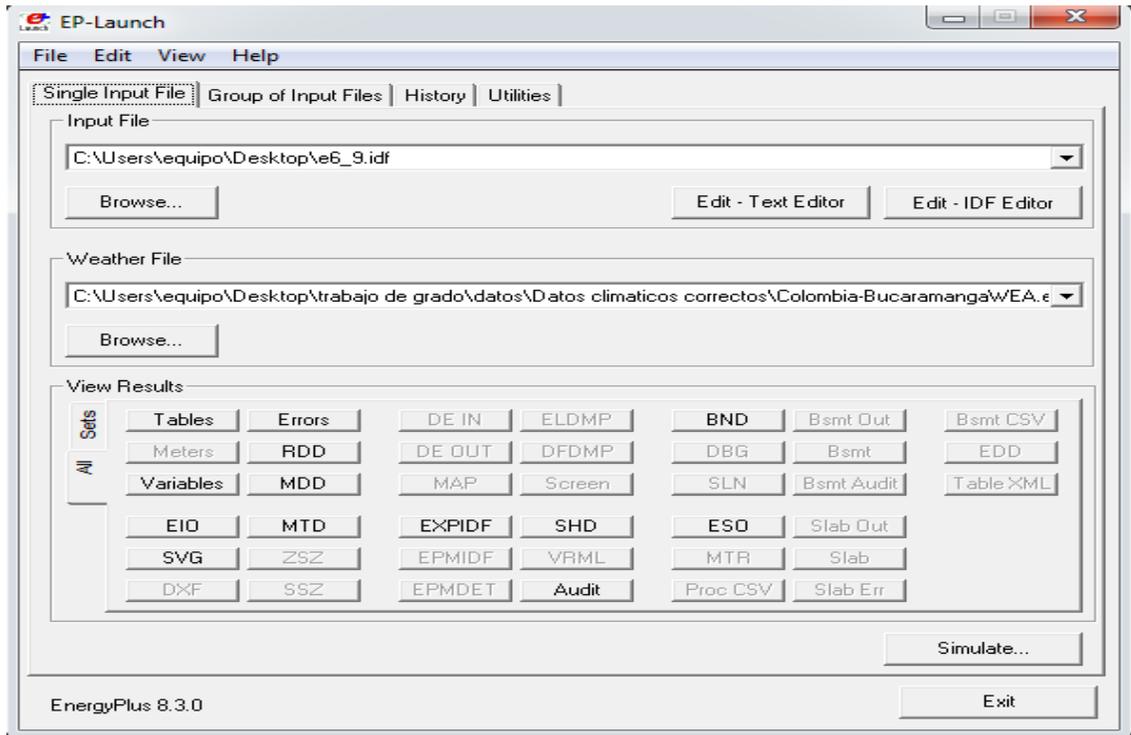
La Figura B.2 muestra la ventana de EP-Launch.

⁴² WEATHER PREDICTION CENTER, "Meteorological Conversions and Calculations." [en línea]. Disponible en: <http://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/heatindex.shtml>.

⁴³ MARTIN ALCALDE A., "Estudio y simulación de un edificio con Energy Plus." 2010.

⁴⁴ PALLARES CEPERO F., "Estudio energético con EnergyPlus e implementación del sistema de climatización con CYPE Ingenieros del edificio de oficinas de INEF Lleida," 2011.

Figura B.2. EP-Launch.



Lanzamiento de simulación

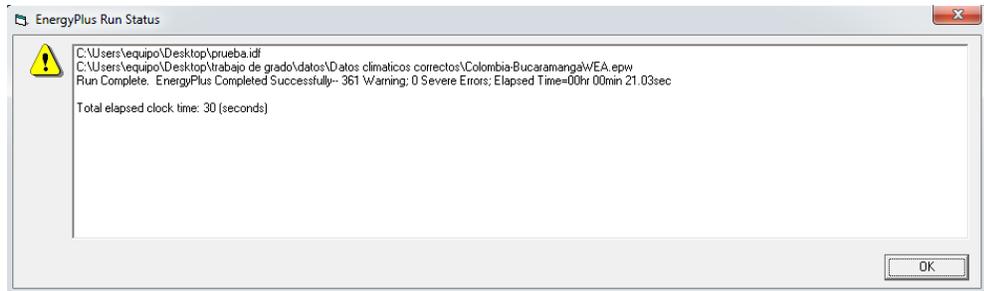
Para lanzar una simulación es necesario cargar los archivos de entrada, que son el archivo idf y el archivo climático. Para cargar archivo idf, es necesario dar clic en “*browse*”, posteriormente se selecciona el archivo que se desea. Después de haber cargado el archivo idf se procede a cargar el archivo de clima, en “*weather file*” se da clic en “*browse*”, posteriormente se selecciona el archivo que se desea. Finalmente se da clic en “*simulate*” y se lanza la simulación, emergerá una ventana MS-DOS donde se mostrara el progreso de la simulación.

Resultados de la simulación

Si se interrumpe o termine la simulación la ventana MS-DOS se cierra, emerge una ventana con un reporte inicial de errores y el tiempo transcurrido en el proceso de simulación.

La Figura B.3 muestra la ventana del reporte inicial de errores.

Figura B.3. Reporte preliminar.

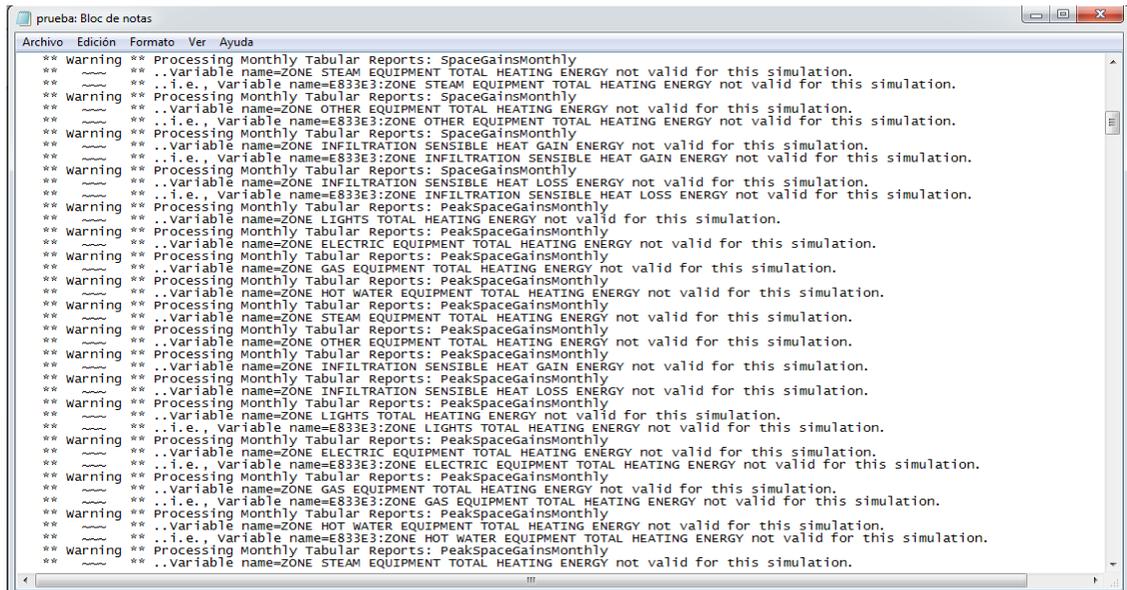


Después de revisar los errores y corregirlos se vuelve a simular hasta que salga el reporte preliminar sin errores como se muestra en la Figura B.3.

Para ver el reporte más detallado de errores se da clic en “errors” en la ventana de EP-Launch, después surge una ventana donde se encuentran todos los errores, incluyendo el tipo de error y donde se encuentra.

La Figura B.4 muestra la ventana del reporte de errores.

Figura B.4. Reporte detallado de advertencias y errores.



```
prueba: Bloc de notas
Archivo  Edición  Formato  Ver  Ayuda
** warning ** Processing Monthly Tabular Reports: SpaceGainsMonthly
**          ** ..Variable name=ZONE STEAM EQUIPMENT TOTAL HEATING ENERGY not valid for this simulation.
**          ** ..i.e., Variable name=E833E3:ZONE STEAM EQUIPMENT TOTAL HEATING ENERGY not valid for this simulation.
** warning ** Processing Monthly Tabular Reports: SpaceGainsMonthly
**          ** ..Variable name=ZONE OTHER EQUIPMENT TOTAL HEATING ENERGY not valid for this simulation.
**          ** ..i.e., Variable name=E833E3:ZONE OTHER EQUIPMENT TOTAL HEATING ENERGY not valid for this simulation.
** warning ** Processing Monthly Tabular Reports: SpaceGainsMonthly
**          ** ..Variable name=ZONE INFILTRATION SENSIBLE HEAT GAIN ENERGY not valid for this simulation.
**          ** ..i.e., Variable name=E833E3:ZONE INFILTRATION SENSIBLE HEAT GAIN ENERGY not valid for this simulation.
** warning ** Processing Monthly Tabular Reports: SpaceGainsMonthly
**          ** ..Variable name=ZONE INFILTRATION SENSIBLE HEAT LOSS ENERGY not valid for this simulation.
**          ** ..i.e., Variable name=E833E3:ZONE INFILTRATION SENSIBLE HEAT LOSS ENERGY not valid for this simulation.
** warning ** Processing Monthly Tabular Reports: PeakSpaceGainsMonthly
**          ** ..Variable name=ZONE LIGHTS TOTAL HEATING ENERGY not valid for this simulation.
** warning ** Processing Monthly Tabular Reports: PeakSpaceGainsMonthly
**          ** ..Variable name=ZONE ELECTRIC EQUIPMENT TOTAL HEATING ENERGY not valid for this simulation.
** warning ** Processing Monthly Tabular Reports: PeakSpaceGainsMonthly
**          ** ..Variable name=ZONE GAS EQUIPMENT TOTAL HEATING ENERGY not valid for this simulation.
** warning ** Processing Monthly Tabular Reports: PeakSpaceGainsMonthly
**          ** ..Variable name=ZONE HOT WATER EQUIPMENT TOTAL HEATING ENERGY not valid for this simulation.
** warning ** Processing Monthly Tabular Reports: PeakSpaceGainsMonthly
**          ** ..Variable name=ZONE STEAM EQUIPMENT TOTAL HEATING ENERGY not valid for this simulation.
** warning ** Processing Monthly Tabular Reports: PeakSpaceGainsMonthly
**          ** ..Variable name=ZONE OTHER EQUIPMENT TOTAL HEATING ENERGY not valid for this simulation.
** warning ** Processing Monthly Tabular Reports: PeakSpaceGainsMonthly
**          ** ..Variable name=ZONE INFILTRATION SENSIBLE HEAT GAIN ENERGY not valid for this simulation.
** warning ** Processing Monthly Tabular Reports: PeakSpaceGainsMonthly
**          ** ..Variable name=ZONE INFILTRATION SENSIBLE HEAT LOSS ENERGY not valid for this simulation.
** warning ** Processing Monthly Tabular Reports: PeakSpaceGainsMonthly
**          ** ..Variable name=ZONE LIGHTS TOTAL HEATING ENERGY not valid for this simulation.
**          ** ..i.e., Variable name=E833E3:ZONE LIGHTS TOTAL HEATING ENERGY not valid for this simulation.
** warning ** Processing Monthly Tabular Reports: PeakSpaceGainsMonthly
**          ** ..Variable name=ZONE ELECTRIC EQUIPMENT TOTAL HEATING ENERGY not valid for this simulation.
**          ** ..i.e., Variable name=E833E3:ZONE ELECTRIC EQUIPMENT TOTAL HEATING ENERGY not valid for this simulation.
** warning ** Processing Monthly Tabular Reports: PeakSpaceGainsMonthly
**          ** ..Variable name=ZONE GAS EQUIPMENT TOTAL HEATING ENERGY not valid for this simulation.
**          ** ..i.e., Variable name=E833E3:ZONE GAS EQUIPMENT TOTAL HEATING ENERGY not valid for this simulation.
** warning ** Processing Monthly Tabular Reports: PeakSpaceGainsMonthly
**          ** ..Variable name=ZONE HOT WATER EQUIPMENT TOTAL HEATING ENERGY not valid for this simulation.
**          ** ..i.e., Variable name=E833E3:ZONE HOT WATER EQUIPMENT TOTAL HEATING ENERGY not valid for this simulation.
** warning ** Processing Monthly Tabular Reports: PeakSpaceGainsMonthly
**          ** ..Variable name=ZONE STEAM EQUIPMENT TOTAL HEATING ENERGY not valid for this simulation.
```

Ver resultados de la simulación

Posteriormente a la solución de los errores y la culminación del proceso de simulación, se crean diversos archivos en los que se encuentra las variables seleccionadas. los archivos más importantes donde se encuentran los resultados de la simulación son los archivos de extensión .html, .eso y .sql.

El .html se puede ver dando clic directamente sobre el archivo, en este se encuentra un sumario de consumos discriminados por zonas y tipo de fuente (electricidad, gas, entre otros).

El archivo .eso y .sql se pueden ver los resultados de las temperaturas, humedad, velocidad y dirección del viento, y muchas otras variables que el usuario desee, los programas XesoView y ResultsView permiten visualizar estos archivos respectivamente.

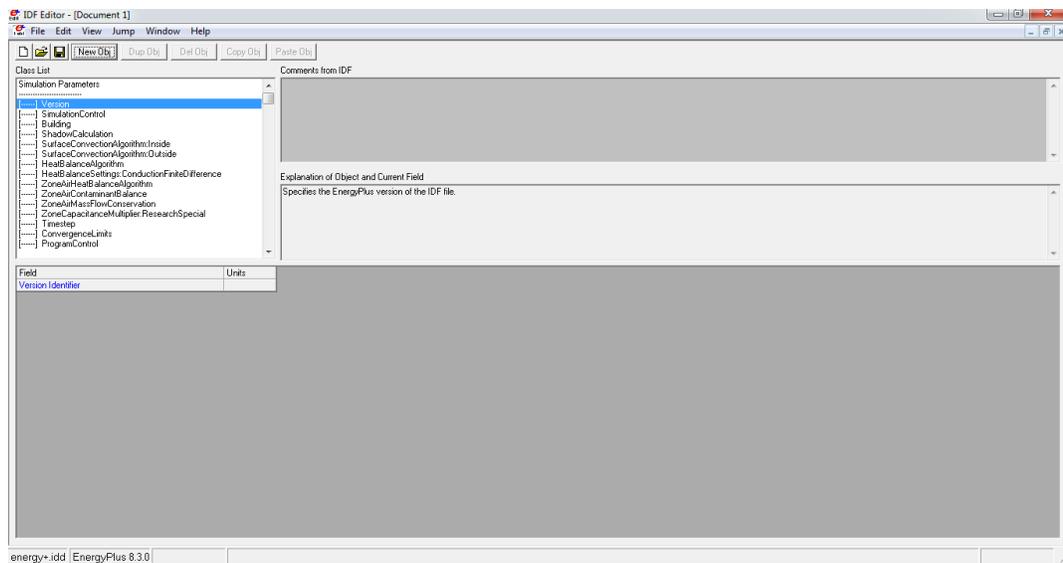
IDF Editor

El IDF editor sirve para crear y editar los archivos idf, ya sea que haya creado el modelo geométrico en SketchUp o se haya creado con EnergyPlus.

Para abrir esta herramienta, en el menú inicio, en la capeta EnergyPlus se da clic en IDF Editor, otra forma es después de haber cargado el archivo deseado en EP-Launch se da clic en “Edit-IDF Editor”.

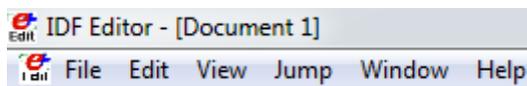
La ventana que emerge se ve en la Figura B.5.

Figura B.5. IDF Editor.



El editor cuenta con un menú ubicado en la parte superior izquierda de la pantalla como se muestra en la Figura B.6.

Figura B.6. Menú principal.

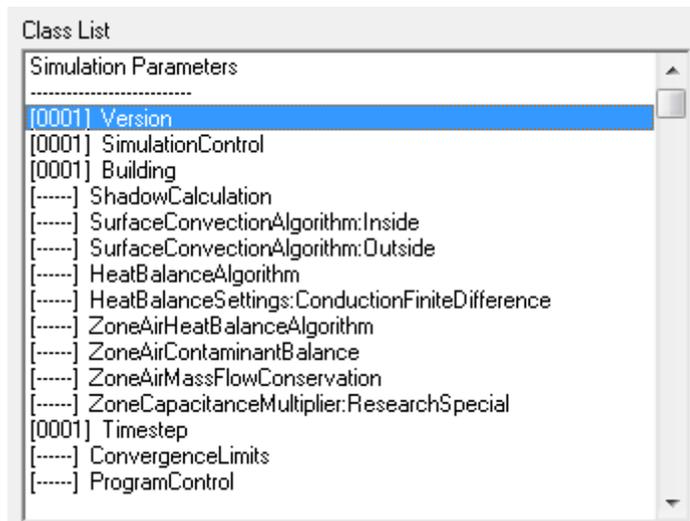


Las opciones de menú más importantes son: *File*, contiene las opciones del modelo, las opciones más importantes son: nuevo, abrir, cerrar, guardar, guardar como, salir y también se encuentran los últimos archivo abiertos; *Edit*: permite llevar a cabo funciones tales como crear, copiar, cortar y pegar objetos; *Help*, esta opción ayuda al usuario a informarse sobre las nuevas funciones de la versión con respecto a la versión anterior, ver la documentación acerca de EnergyPlus, informarse acerca del IDF Editor, entre otros. El editor posee unas herramientas como nuevo, abrir, crear nuevo objeto, duplicar objeto, borrar objeto, copiar objeto y pegar objeto.

También posee una lista de parámetros que definen las características físicas y las configuraciones del modelo

En la Figura B.7 se pueden ver algunos parámetros de esta lista.

Figura B.7. Lista de parámetros.



ANEXO C. EJEMPLO ILUSTRATIVO

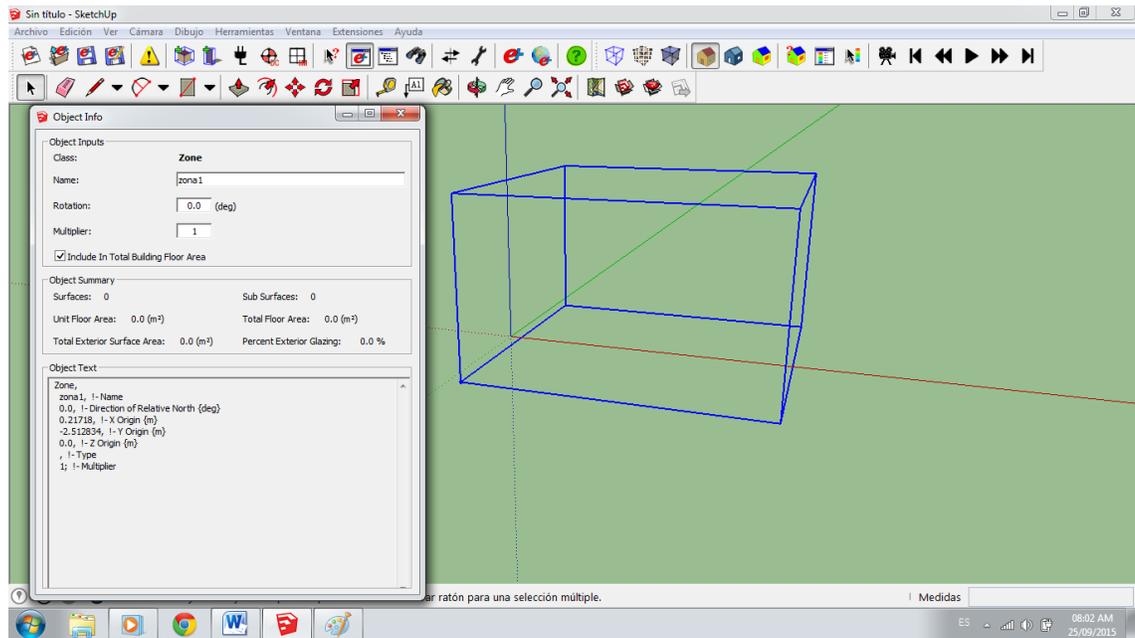
En este anexo se realiza un ejemplo ilustrativo con el fin de demostrar el proceso de creación del modelo geométrico, calibración y simulación del mismo en EnergyPlus.

Modelo geométrico

Primero se abre el programa SketchUp como se mostró en el Anexo B, después se crea un nuevo modelo, posteriormente se da clic en “guardar como”, se elige la carpeta de destino y se nombra como el usuario desee seguido de la extensión .idf, en este caso se nombrará como “ejemplo.idf”.

Para empezar a crear la geometría se da clic en “crear nueva zona” y después en donde estará ubicada la zona. Si el modelo está constituido por muchas zonas se recomienda renombrar las zonas para evitar confusiones con los nombres que se crean por defecto. Para esto se da clic en “información de objeto” y se cambia el nombre, en este caso se llamará zona1 como se muestra en la Figura C.1.

Figura C.1. Renombrar zona.

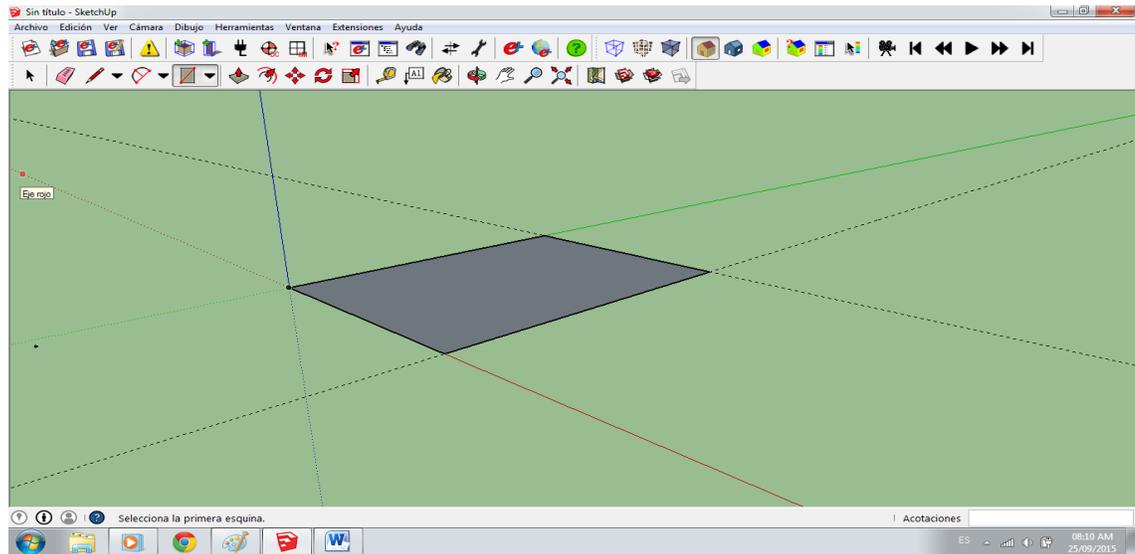


El paso a seguir es crear las superficies de la zona, primero se da clic en “esquema”, luego doble clic en el nombre de la zona, esto con el objetivo de seleccionar la zona para editarla.

Para crear las medidas de la zona, se selecciona la herramienta “medir” y se crea las medidas que tendrá la zona, en este caso tendrá 3 m de frente y 4 m de fondo, después se selecciona la herramienta de dibujo rectángulo y se crea la superficie dando clic en donde estará una esquina de la zona y otro clic en la esquina opuesta.

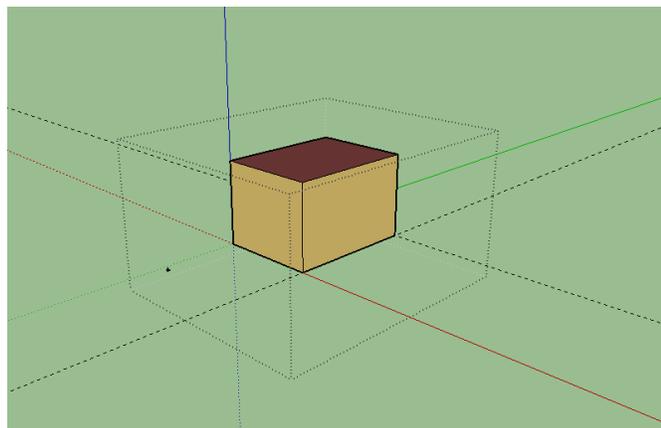
La Figura C.2 ilustra este procedimiento.

Figura C.2. Superficie inicial



Después se selecciona la herramienta “tirar/halar”, y se hala la superficie hacia arriba, con el teclado numérico se digita la altura que se desee en este caso será 2,6 m y se presiona enter, así automáticamente se crea las paredes, pisos y techos, cada uno distinguido con un color determinado como se muestra en la Figura C.3.

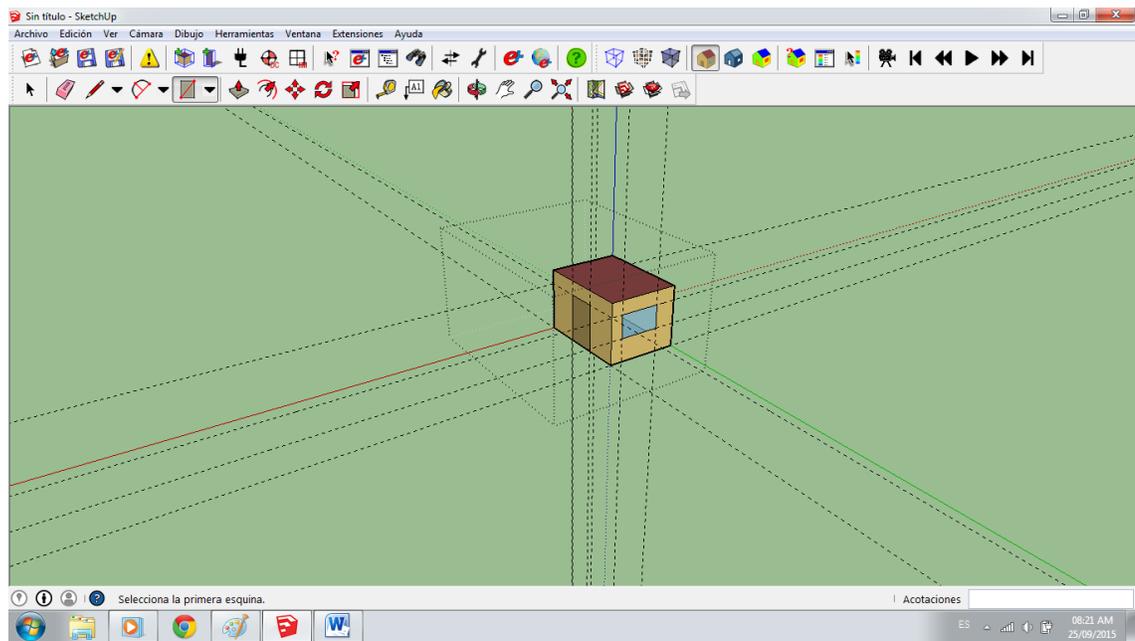
Figura C.3. Superficies de la zona.



Para crear las aberturas (ventanas y puertas), con la herramienta medir se dimensionan las aberturas y con la herramienta de dibujo rectángulo se crean las superficies como se hizo anteriormente.

La Figura C.4 ilustra este procedimiento.

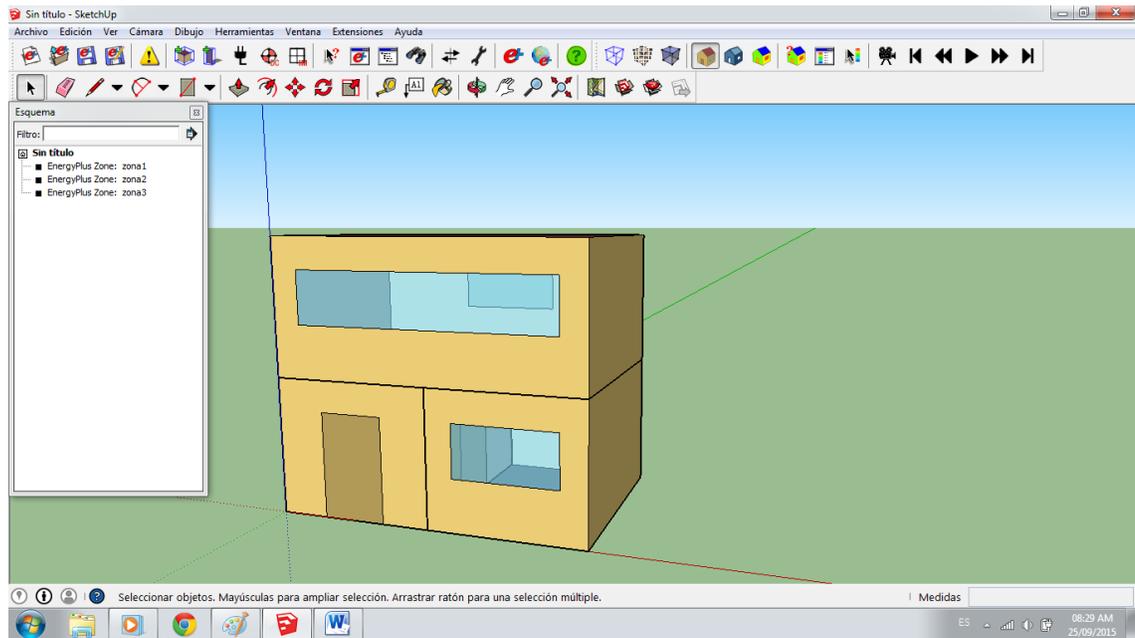
Figura C.4. Creación de ventanas y puertas.



Posteriormente se crean las otras zonas como se hizo en los pazos anteriores, los nombres de estas zonas son zona2 y zona3, es decir la zona de la derecha y la zona de la parte superior respectivamente. Las superficies que se compartan como la pared entre la zona1 y la zona2 o el techo de las zonas 1 y 2 con el piso de la zona3 debes estar conectadas entre sí, para que a la hora de los cálculos EnergyPlus identifique que son las mismas superficies. Para hacer esta conexión las superficies que deben ser conectadas deben tener las mismas dimensiones y las misma subsuperficies (puertas y ventanas).

La Figura C.5 muestra la edificación final.

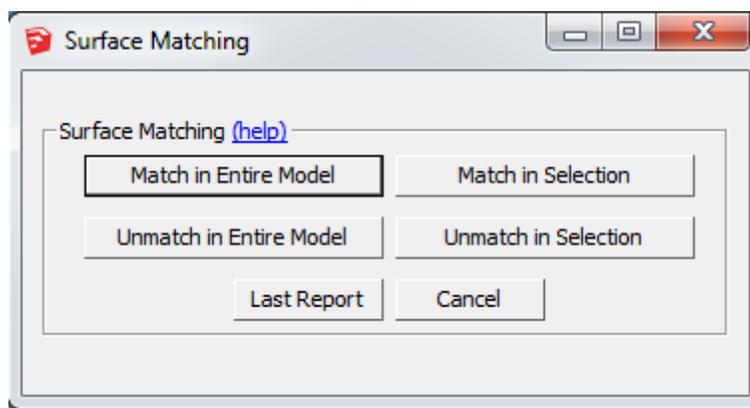
Figura C.5. Modelo geométrico final.



Para conectar estas superficies se da clic en “*surface matching*”, después en “*match in entire model*”, posteriormente sale un ventada con un aviso, se acepta y automáticamente se conectan las superficies.

La Figura C.6 muestra la ventada de *surface matching*.

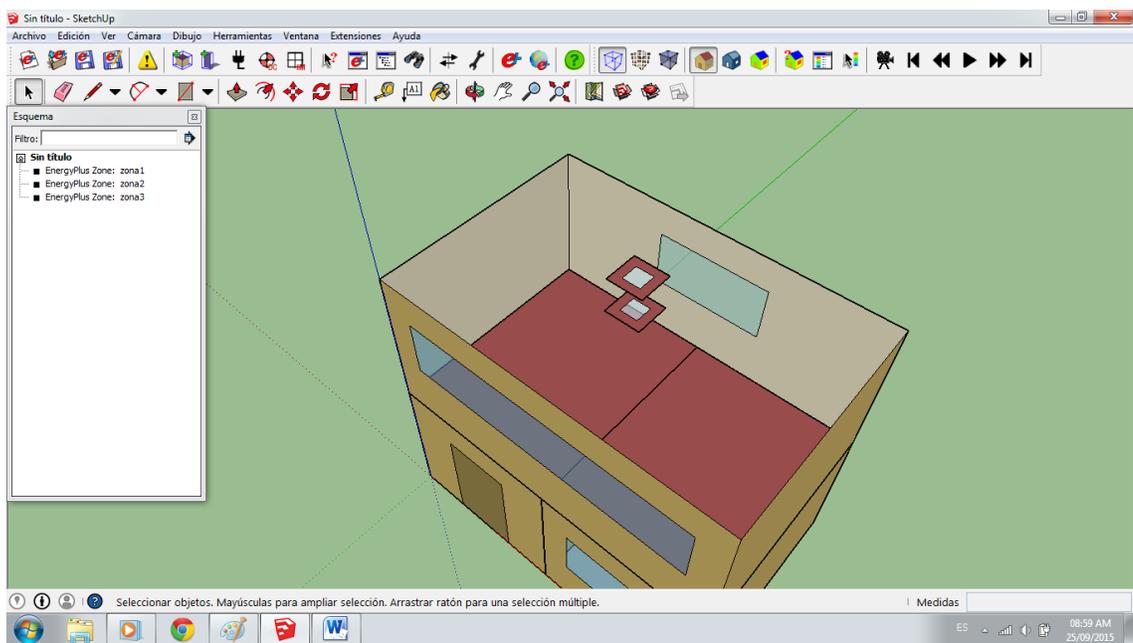
Figura C.6. Surface matching.



Para crear los tubos solares seleccionamos la zona en donde estarán los tubos, para tener una mejor vista de lo que se hace, se selecciona el techo y se da clic derecho se despliega unas funciones, se da clic en ocultar y el techo se ocultara para facilitar el trabajo.

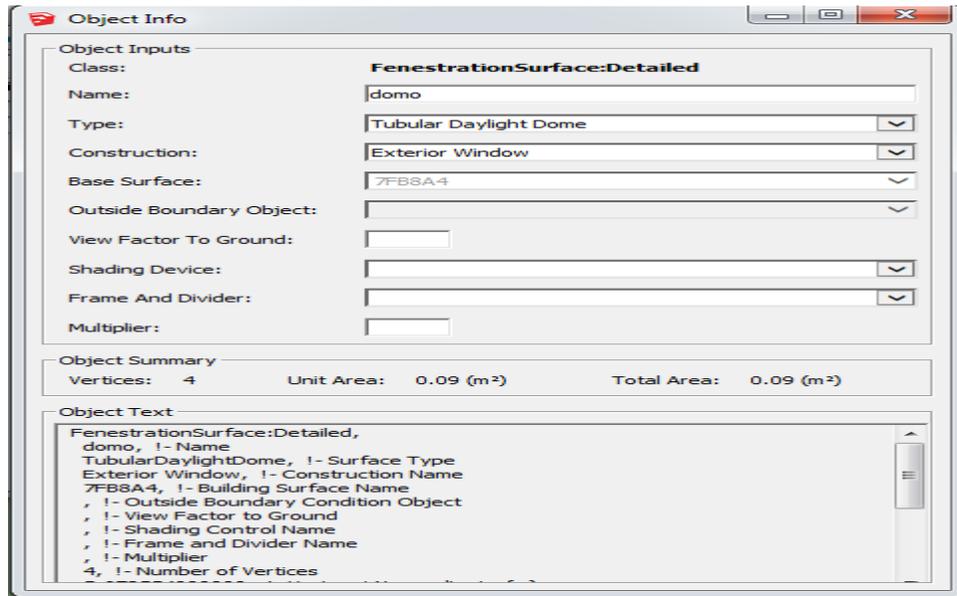
Después se crean dos superficies una a la altura del difusor y la otra a la altura del domo, y se crean unas subsuperficies con la apariencia de unas ventanas como se muestra en la Figura C.7.

Figura C.7. Tubos solares.



Se da clic en “información de objeto”, posteriormente seleccionamos la superficie con apariencia de ventana, se cambia el nombre y en “type” se selecciona “*tubular daylight dome*” como se muestra en la Figura C.8.

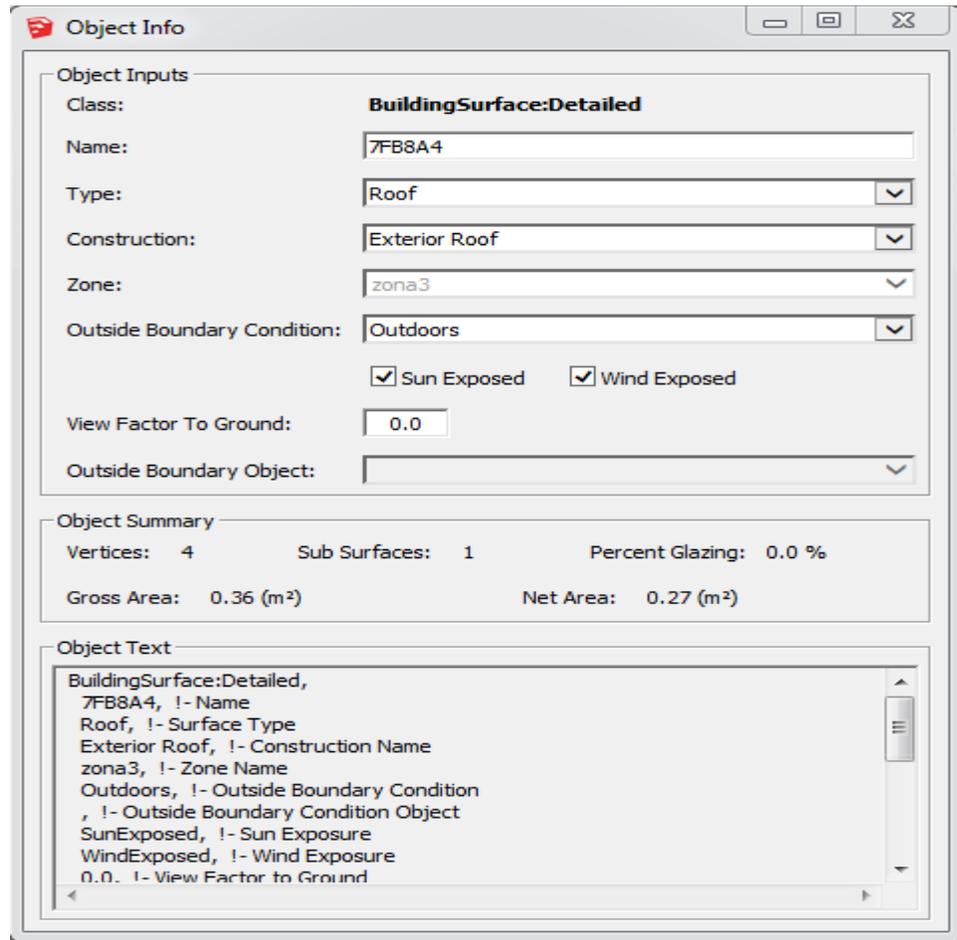
Figura C.8. Características del domo.



Este procedimiento se realiza también para el difusor, con la diferencia de que cambia el nombre y en “type” seleccionamos “*tubular daylight diffuser*”. Con la ventana de información de objeto abierta se seleccionan las superficies donde se encuentran el domo y el difusor, donde en “*Outside boundary condition*” se selecciona “*Outdoors*”. Esto se hace para que a la hora de simular no surjan errores. La conexión de estos elementos se realiza en el IDF Editor de EnergyPlus como se ilustrará más adelante.

La Figura C.9 ilustra estas modificaciones.

Figura C.9. Modificaciones.



Para crear los controles de iluminación se selecciona la zona en donde se realizará el control, posteriormente se da clic en “*Control Daylighting*” y luego clic sobre el piso de la zona. En información de objeto se editan los valores como se muestra en la Figura C.10.

Figura C.10. Configuración de control de iluminación.

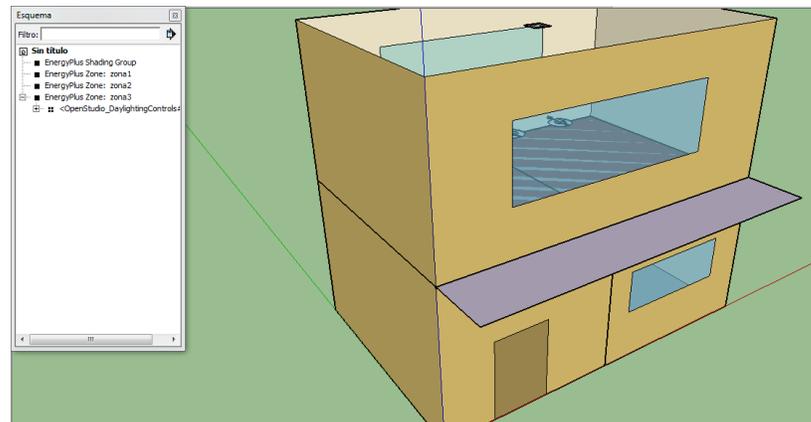
| Object Inputs | | |
|---|----------------------|-----------------|
| Class: | Daylighting:Controls | |
| Total Daylighting Reference Points: | 2 | |
| Lighting Control Type: | Stepped | |
| Glare Calculation Azimuth Angle of View Direction Clockwise from Zone y-Axis (deg): | 0.0 | |
| Maximum Allowable Discomfort Glare Index: | 22.0 | |
| Minimum Input Power Fraction for Continuous Dimming Control: | 0.3 | |
| Minimum Light Output Fraction for Continuous Dimming Control: | 0.2 | |
| Number of Stepped Control Steps: | 3 | |
| Probability Lighting will be Reset When Needed in Manual Stepped Control: | 1.0 | |
| | Sensor 1 | Sensor 2 |
| X-Coordinate of Reference Point (m): | 3.695363 | 4.695363 |
| Y-Coordinate of Reference Point (m): | -3.306138 | -3.306138 |
| Z-Coordinate of Reference Point (m): | 3.362 | 3.362 |
| Fraction of Zone Controlled: | 1.0 | 0.0 |
| Illuminance Setpoint (lux): | 500.0 | 500.0 |

Elementos de sombra

Después se agregan los elementos de sombra, ya sean edificios aledaños o voladizos. En nuevo grupo de sombreado se selecciona una herramienta de dibujo y se crea la geometría del elemento de sombra.

En la Figura C.11 se puede ver el elemento de sombra creado.

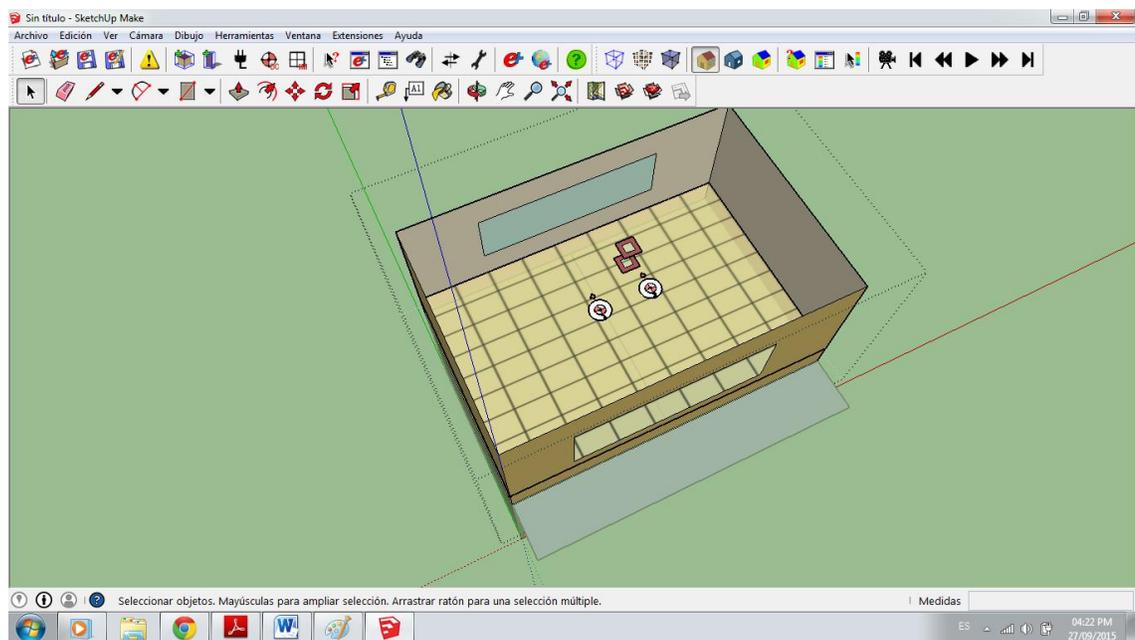
Figura C.11. Elemento de sombra.



Mapas de iluminación natural

Para crear mapas de iluminación se selecciona la zona donde estará el mapa, después se selecciona “Mapa de iluminación” y se da clic en el piso de la zona, después se estira el mapa con el ratón hasta cubrir toda la zona como se muestra en la Figura C.12.

Figura C.12. Mapa de iluminación.



Posteriormente se guardan los cambios y se cierra el programa.

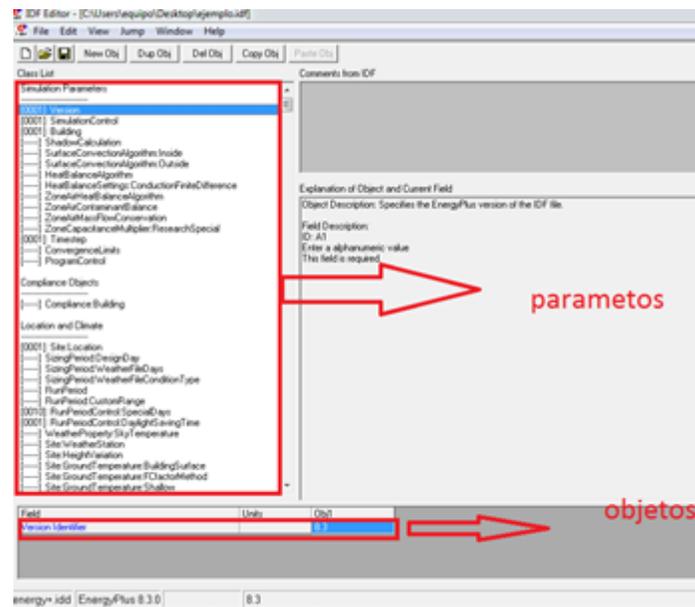
Edición e inclusión de datos al modelo geométrico.

Después de creado el modelo geométrico, se debe hacer la inclusión de datos al modelo, para la edición del archivo idf se procede a realizar los siguientes pasos:

Se abre el archivo “ejemplo.idf” como se indicó en el anexo B, cuando ya el archivo esté cargado en EP-launch, se procede a editarlo dando clic en “Edit-IDF

Editor”. Ya en el editor se dirige a la lista de parámetros, en esta lista de parámetros como podemos ver en la Figura C.13 ya se han creado algunos objetos, estos objetos se crean por defecto cuando se crea el modelado geométrico con la ayuda del plugin en SketchUp, en cada parámetro se puede ver un número que está a la izquierda, este número indica cuantos objetos hay en cada parámetro.

Figura C.13. Parámetros y objetos.

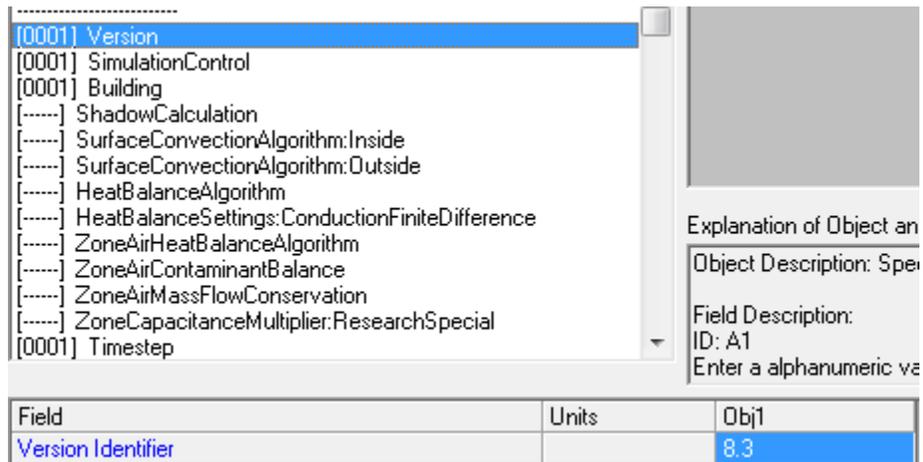


Lo primero que se debe saber es que en estos objetos hay datos obligatorios que se deben proporcionar, si estos datos no se incluyen en el modelo surgirán errores a la hora de simular, estos datos están escritos con letras azules. Los datos que no son obligatorios aparecen en letras oscuras, estos datos si el usuario no los incluye en los objetos, no provocaran errores al momento de simular; pero estos datos ayudan a mejorar las características del modelo.

- **Version:** el dato que se incluye en este parámetro es la versión de EnergyPlus que se está utilizando, el objeto se crea por defecto cuando se crea al modelo

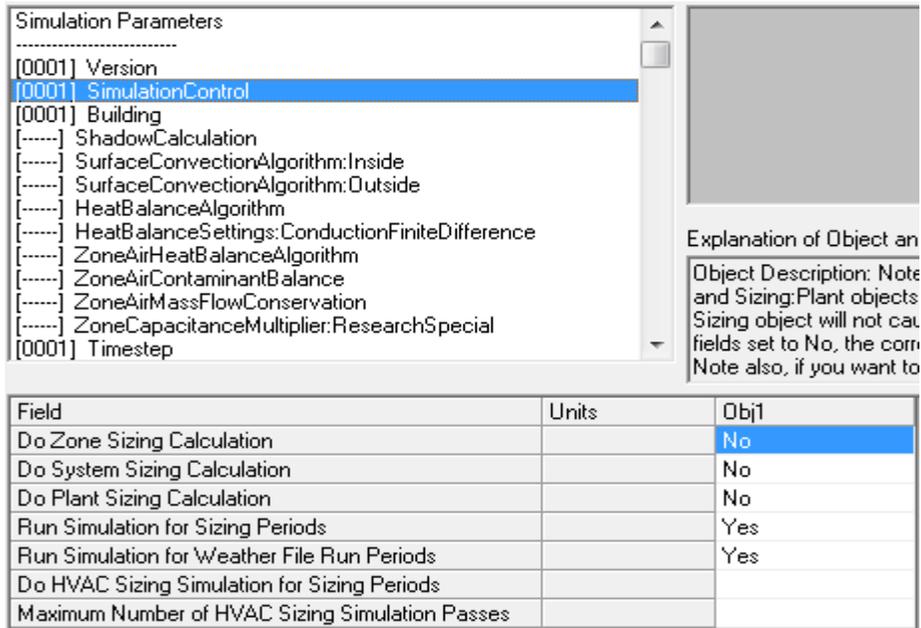
geométrico. En este caso la versión es la 8.3 como se puede ver en la Figura C.14.

Figura C.14. Versión.



- **Simulation Control:** esta opción permite al usuario indicarle al software que cálculos realizar. El llenado de estos datos consiste en seleccionar “sí” o “no”, en la Figura C.15 se muestra como se debe llenar estos datos.

Figura C.15. Simulation Control.



La primeras tres opciones se elige “no” ya que no se quiere realizar cálculos especiales en nuestro modelo, estos cálculos comprenden idealizar las zonas y cargas que estas posean. La cuarta casilla se elige “si” ya que así se crean diferentes periodos de simulación, el programa hará la simulación para estos distintos periodos, la creación de estos periodos se verá más adelante. La quinta casilla se da si ya que como utilizaremos archivo climatológico la simulación durara el periodo que tenga el archivo de clima. Las últimas dos casillas son opcionales, estas casillas son para hacer dimensionamiento del sistema climatización y realizar iteraciones para mejorar el cálculo del sistema respectivamente.

- **Building:** en esta opción se define parámetros como el nombre del edificio; los grados que hay entre el norte del edificio y el norte verdadero; el tipo de terreno en donde está situado el edificio; la tolerancia para que los cálculos de las cargas; la tolerancia para que los cálculos de temperaturas; la distribución solar, con esta opción se determina como EnergyPlus trata a la radiación y la

reflectancia de la luz solar que golpean las superficies y entrar en las zonas del edificio, si el edificio tiene forma rectangular se debe elegir la opción "Full Interior And Exterior", para cualquier otra forma que no sea rectangular se debe elegir la opción de "Full Exterior".

En la Figura C.16 se muestra este parámetro.

Figura C.16. Building.

The screenshot shows the 'Class List' window with 'Building' selected. Below it is a table of fields for the 'Building' object.

| Field | Units | Obj1 |
|---|--------|-----------------------|
| Name | | ejemplo |
| North Axis | deg | 0 |
| Terrain | | City |
| Loads Convergence Tolerance Value | | 0,04 |
| Temperature Convergence Tolerance Value | deltaC | 0,4 |
| Solar Distribution | | FullInteriorAndExteri |
| Maximum Number of Warmup Days | | 25 |
| Minimum Number of Warmup Days | | |

Las dos últimas opciones lo que hace es darle un máximo y un mínimo de días para el calentamiento de la edificación, el valor por defecto en el máximo es de 25, el mínimo no es necesario indicarlo.

- **Time step:** con este parámetro se especifica el paso de tiempo por hora, los valores que se pueden introducir son valores que al dividir 60 minutos en uno de

estos número de como resultado un número entero, entonces los valores permitidos son 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30, y 60, si se escoge por ejemplo 10 significa que se el paso de la simulación será de 6 minutos, para este caso el paso es de seis como se muestra en la Figura C.17.

-

Figura C.17. Timestep.

| Field | Units | Obj1 |
|------------------------------|-------|------|
| Number of Timesteps per Hour | | 6 |

El valor mínimo que se recomienda es 6, el paso de tiempo depende de la precisión de los cálculos y el tiempo de simulación que se quiera.

- **Site Location:** en este parámetro se especifica el nombre, latitud, longitud, zona horaria y elevación del sitio donde se encuentra nuestra edificación como se muestra en la Figura C.18.

Figura C.18. Site Location.

| Field | Units | Obj1 |
|-----------|-------|-------------|
| Name | | Bucaramanga |
| Latitude | deg | 7,1 |
| Longitude | deg | -73,1 |
| Time Zone | hr | -5 |
| Elevation | m | 1012 |

Si la simulación se va a realizar con un archivo de clima, no es necesario llenar este parámetro, ya que estos datos están incluidos en este archivo; pero si el usuario lo llena debe coincidir la latitud, longitud, zona horaria y elevación para que no surjan conflictos con los datos del archivo de clima.

- **Run Period:** con este parámetro se indica el mes y el día que iniciara el periodo de simulación; el mes y el día que terminara el periodo de simulación; el día de la semana que iniciara la simulación o usar el día de inicio que tiene el archivo de clima; si el archivo de clima tiene datos de días especiales, horarios de verano, indicadores de lluvia e indicadores de nieve se puede indicar que “si” en estas casillas de lo contrario se indica un “no”; también se indica el número de veces que se quiere repetir este periodo de simulación, ya que no se va a repite el periodo de simulación no importa lo que se indique en el incremento de día para la repetición del periodo; en la casilla de reglas de fin de semana se indica que no; también se puede indicar el año en que inicia el periodo de simulación.

La Figura C.19 se muestra como se debe llenar estos datos.

Figura C.19. Run Period.

| Field | Units | Obj1 |
|--|-------|----------------|
| Name | | periodo |
| Begin Month | | 1 |
| Begin Day of Month | | 1 |
| End Month | | 12 |
| End Day of Month | | 31 |
| Day of Week for Start Day | | UseWeatherFile |
| Use Weather File Holidays and Special Days | | No |
| Use Weather File Daylight Saving Period | | No |
| Apply Weekend Holiday Rule | | No |
| Use Weather File Rain Indicators | | Yes |
| Use Weather File Snow Indicators | | No |
| Number of Times Runperiod to be Repeated | | 1 |
| Increment Day of Week on repeat | | Yes |
| Start Year | | |

- **Special Days:** con este parámetro se crean los días especiales, teles como días festivos, días de vacaciones, entre otros, los datos que se tienen que llenar son el nombre, el día que inicia, la duración en días y el tipo de día especial que es. Como se muestra en la Figura C. 20 se muestra la creación del día de año nuevo.

Figura C.20. Special Days.

| [0010] RunPeriodControl:SpecialDays | | |
|-------------------------------------|-------|-----------|
| Field | Units | Obj1 |
| Name | | año nuevo |
| Start Date | | January 1 |
| Duration | days | 1 |
| Special Day Type | | Holiday |

Si el archivo de clima tiene esta información no es necesario crear estos días especiales.

- **Material:** en el conjunto de parámetros *Surface Construction Elements* se crean diferentes tipos de materiales, en este se crean los materiales de construcción que componen las paredes, pisos, techos, puertas y ventanas. Los datos necesarios para crear estos materiales son el nombre, rugosidad, espesor, conductividad térmica, densidad y calor específico.

La Figura C.21 se muestra como se debe llenar estos datos.

Figura C.21. Material.

| [0004] Material | | | | | |
|---------------------|--------|-------|-------|---------|--------------|
| Field | Units | Obj1 | Obj2 | Obj3 | Obj4 |
| Name | | h10 | placa | estuco1 | madera |
| Roughness | | Rough | Rough | Rough | MediumSmooth |
| Thickness | m | 0,1 | 0,4 | 0,015 | 0,04 |
| Conductivity | W/m-K | 0,72 | 0,16 | 0,72 | 0,15 |
| Density | kg/m3 | 1920 | 500 | 1760 | 608 |
| Specific Heat | J/kg-K | 840 | 840 | 840 | 1630 |
| Thermal Absorptance | | 0,9 | 0,9 | 0,9 | |
| Solar Absorptance | | 0,6 | 0,6 | 0,6 | |
| Visible Absorptance | | 0,6 | 0,6 | 0,6 | |

Los campos de absorción térmica, solar y visible no es obligatorio llenarlos; pero si el usuario cuenta con estos datos debería incluirlo ya que se obtendría un modelo más real.

- **Material air gap:** con esta opción se crean los espacios que hay entre materiales los cuales están ocupados con aire. Como se muestra en la Figura C.22 sólo es necesario asignarle un nombre y conocer su resistencia térmica.

Figura C.22. Material air gap.

| [0002] Material:AirGap | | |
|------------------------|---------------------|----------------------|
| Field | Units | Obj1 |
| Name | | F04 Wall air space r |
| Thermal Resistance | m ² -K/W | 0,15 |

- **Windows Material Glazing:** en esta opción se crean los acristalamientos de las ventanas, como se puede ver en la Figura C.23 los campos obligatorios son asignarle un nombre, en tipo de datos ópticos se selecciona “Spectral Average” y el espesor del material.

Figura C.23. Windows Material Glazing.

| [0001] WindowMaterial:Glazing | | |
|---|-------|-----------------|
| Field | Units | Obj1 |
| Name | | Clear 3mm |
| Optical Data Type | | SpectralAverage |
| Window Glass Spectral Data Set Name | | |
| Thickness | m | 0,003 |
| Solar Transmittance at Normal Incidence | | 0,837 |
| Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence | | 0,075 |
| Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence | | 0,075 |
| Visible Transmittance at Normal Incidence | | 0,898 |
| Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence | | 0,081 |
| Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence | | 0,081 |
| Infrared Transmittance at Normal Incidence | | 0 |
| Front Side Infrared Hemispherical Emissivity | | 0,84 |
| Back Side Infrared Hemispherical Emissivity | | 0,84 |
| Conductivity | W/m-K | 0,9 |
| Dirt Correction Factor for Solar and Visible Transmittanc | | |
| Solar Diffusing | | |
| Young's modulus | Pa | |
| Poisson's ratio | | |

Si se poseen los demás datos que no son obligatorios se recomienda incluirlos para que el modelo sea lo más real posible, algunos de estos datos se crean por defecto.

- **Windows Material Gas:** si el modelo tiene acristalamiento doble es necesario crear este material el cual es el gas que se encuentra entre las capas de vidrio. Como se muestra en la Figura C.24, sólo es necesario asignarle un nombre, escoger el tipo de gas (aire, argón, xenón y kriptón) y el espesor de esta capa de gas.

Figura C.24. Windows Material Gas.

| Field | Units | Obj1 |
|-----------------------------|-----------|----------|
| Name | | Air 13mm |
| Gas Type | | Air |
| Thickness | m | 0,0127 |
| Conductivity Coefficient A | W/m-K | |
| Conductivity Coefficient B | W/m-K2 | |
| Conductivity Coefficient C | W/m-K3 | |
| Viscosity Coefficient A | kg/m-s | |
| Viscosity Coefficient B | kg/m-s-K | |
| Viscosity Coefficient C | kg/m-s-K2 | |
| Specific Heat Coefficient A | J/kg-K | |
| Specific Heat Coefficient B | J/kg-K2 | |
| Specific Heat Coefficient C | J/kg-K3 | |
| Molecular Weight | g/mol | |
| Specific Heat Ratio | | |

Si se poseen los demás datos que no son obligatorios se recomienda incluirlos para que el modelo sea lo más real posible.

- **Material Roof Vegetation:** con esta opción se pueden crear techos verdes, los campos obligatorios son el nombre del objeto; el índice del área de las hojas, el cual es el área proyectada de la hoja por unidad de área de superficie del suelo; la reflectividad y emisividad de las hojas; el espesor, conductividad, densidad y calor específico del material que compone el techo verde.

En la Figura C.25 se muestra los datos para el techo verde.

Figura C.25. Material Roof Vegetation.

| Field | Units | Obj1 |
|--|-------------------|-----------------|
| Name | | sustrato |
| Height of Plants | m | 0,07 |
| Leaf Area Index | dimensionless | 5 |
| Leaf Reflectivity | dimensionless | 0,22 |
| Leaf Emissivity | | 0,95 |
| Minimum Stomatal Resistance | s/m | 100 |
| Soil Layer Name | | Green Roof Soil |
| Roughness | | MediumRough |
| Thickness | m | 0,1 |
| Conductivity of Dry Soil | W/m-K | 0,3 |
| Density of Dry Soil | kg/m ³ | 1000 |
| Specific Heat of Dry Soil | J/kg-K | 1000 |
| Thermal Absorptance | | |
| Solar Absorptance | | |
| Visible Absorptance | | |
| Saturation Volumetric Moisture Content of the Soil Layer | | 0,5 |
| Residual Volumetric Moisture Content of the Soil Layer | | 0,01 |
| Initial Volumetric Moisture Content of the Soil Layer | | 0,1 |
| Moisture Diffusion Calculation Method | | Advanced |

También se pueden incluir datos de la altura de las plantas y la absorción térmica, solar y visible entre otros datos, si se poseen los demás datos que no son obligatorios se recomienda incluirlos para que el modelo sea lo más real posible.

- **Construction:** en esta opción se asignan las capas de material por el cual están formadas nuestras superficies y subsuperficies, primero se debe asignar la capa externa de la superficie y después seguir el orden determinado que tengan.

La Figura C.26 se muestra como se debe llenar estos datos.

Figura C.26. Construction.

| [0004] Construction | | | | | |
|---------------------|-------|-----------|---------------|---------|--------|
| Field | Units | Obj1 | Obj2 | Obj3 | Obj4 |
| Name | | Window | Exterior Door | paredes | techos |
| Outside Layer | | Clear 3mm | madera | estuco | estuco |
| Layer 2 | | | | h10 | placa |
| Layer 3 | | | | estuco | estuco |
| Layer 4 | | | | | |
| Layer 5 | | | | | |
| Layer 6 | | | | | |
| Layer 7 | | | | | |
| Layer 8 | | | | | |
| Layer 9 | | | | | |
| Layer 10 | | | | | |

En esta opción se pueden asignar hasta diez capas de materiales a cada superficie.

- **Global Geometry Rules:** en la sección de *thermal zones and surfaces*, nos dirigimos a *Global Geometry Rules*, donde describiremos los parámetros geométricos que utilizara EnergyPlus. Al construir el modelo geométrico en SketchUp esta opción se crea automáticamente, por ende no es necesaria editar esto.

La Figura C.27 se muestra como están llenos estos datos.

Figura C.27. Global Geometry Rules.

| [0001] GlobalGeometryRules | | |
|---|-------|------------------|
| Field | Units | Obj1 |
| Starting Vertex Position | | UpperLeftCorner |
| Vertex Entry Direction | | Counterclockwise |
| Coordinate System | | Relative |
| Daylighting Reference Point Coordinate System | | |
| Rectangular Surface Coordinate System | | |

- **Zone:** en esta opción están las zonas que se construyó en SketchUp. La Figura C.28 se muestra como están llenos estos datos.

Figura C.28. Zone.

| Field | Units | Obj1 | Obj2 | Obj3 |
|-----------------------------------|-------|-----------|-----------|-----------|
| Name | | zona1 | zona2 | zona3 |
| Direction of Relative North | deg | 0 | 0 | 0 |
| X Origin | m | 0,21718 | 2,938149 | -2,828554 |
| Y Origin | m | -2,512834 | -0,514309 | 4,266695 |
| Z Origin | m | 0 | 0 | 0 |
| Type | | | | |
| Multiplier | | 1 | 1 | 1 |
| Ceiling Height | m | | | |
| Volume | m3 | | | |
| Floor Area | m2 | | | |
| Zone Inside Convection Algorithm | | | | |
| Zone Outside Convection Algorithm | | | | |
| Part of Total Floor Area | | | | |

Al construir el modelo geométrico en SketchUp esta opción se crea automáticamente, no es necesaria editar esto.

- **Building Surface Detailed:** en esta opción están las superficies que se construyeron en SketchUp. La Figura C.29 muestra como están llenos estos datos.

Figura C.29. Building Surface Detailed.

| Field | Units | Obj1 | Obj2 | Obj3 | Obj4 | Obj5 | Obj6 |
|-----------------------------------|-------|--------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Name | | 4444AB | 1E88E9 | 7EC582 | A4FF1E | 4E17C7 | 590E77 |
| Surface Type | | Floor | Ceiling | Wall | Wall | Wall | Wall |
| Construction Name | | techos | Interior Ceiling | Interior Wall | Exterior Wall | Exterior Wall | Exterior Wall |
| Zone Name | | zona1 | zona1 | zona1 | zona1 | zona1 | zona1 |
| Outside Boundary Condition | | Ground | Surface | Surface | Outdoors | Outdoors | Outdoors |
| Outside Boundary Condition Object | | | C6F49D | D69E30 | | | |
| Sun Exposure | | NoSun | NoSun | NoSun | SunExposed | SunExposed | SunExposed |
| Wind Exposure | | NoWind | NoWind | NoWind | WindExposed | WindExposed | WindExposed |
| View Factor to Ground | | | | | | | |
| Number of Vertices | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |

Al construir el modelo geométrico en SketchUp esta opción se crea automáticamente, no es necesaria editar esto.

- **Fenestration Surface Detailed:** en esta opción están las subsuperficies que construimos en SketchUp. La Figura C.30 muestra como están llenos estos datos.

Figura C.30. Fenestration Surface Detailed.

| [0010] FenestrationSurface:Detailed | | | |
|-------------------------------------|-------|-----------------|---------------|
| Field | Units | Obj1 | Obj2 |
| Name | | 53E1D9 | 224E73 |
| Surface Type | | Window | Door |
| Construction Name | | Exterior Window | Interior Door |
| Building Surface Name | | A4FF1E | 7EC582 |
| Outside Boundary Condition Object | | | B9DE08 |
| View Factor to Ground | | | |
| Shading Control Name | | | |
| Frame and Divider Name | | | |
| Multiplier | | | |
| Number of Vertices | | 4 | 4 |

Al construir el modelo geométrico en SketchUp esta opción se crea automáticamente, no es necesaria editar esto.

- **Shading Building Detailed:** en esta opción están los elementos de sombra que se construyeron en SketchUp. La Figura C.31 muestra como están llenos estos datos.

Figura C.31. Shading Building Detailed.

| [1251] Shading:Building:Detailed | | |
|----------------------------------|-------|--------|
| Field | Units | Obj1 |
| Name | | AE98F5 |
| Transmittance Schedule Name | | |
| Number of Vertices | | 4 |
| Vertex 1 X-coordinate | m | 37,41 |
| Vertex 1 Y-coordinate | m | 10,49 |
| Vertex 1 Z-coordinate | m | 6 |
| Vertex 2 X-coordinate | m | 37,41 |
| Vertex 2 Y-coordinate | m | 9,92 |
| Vertex 2 Z-coordinate | m | 6 |
| Vertex 3 X-coordinate | m | 30,91 |
| Vertex 3 Y-coordinate | m | 9,92 |
| Vertex 3 Z-coordinate | m | 6 |
| Vertex 4 X-coordinate | m | 30,91 |
| Vertex 4 Y-coordinate | m | 10,49 |
| Vertex 4 Z-coordinate | m | 6 |
| Vertex 5 X-coordinate | m | |

Al construir el modelo geométrico en SketchUp esta opción se crea automáticamente, no es necesaria editar esto.

- **Schedule Type Limits:** en esta opción se crean los límites en donde se encontrarán nuestros horarios ya sea un horario de ocupación, actividad y temperatura entre otros.

La Figura C.32 muestra cómo se llenan estos datos.

Figura C.32. Schedule Type Limits.

| [0003] ScheduleTypeLimits | | | | |
|---------------------------|--------|---------------|------------|------------------|
| Field | Units | Obj1 | Obj2 | Obj3 |
| Name | | actividad | Fraction | limi_temperatura |
| Lower Limit Value | varies | 0 | 0 | 0 |
| Upper Limit Value | varies | 108 | 1 | 100 |
| Numeric Type | | Discrete | CONTINUOUS | Continuous |
| Unit Type | | ActivityLevel | | Temperature |

- **Schedule Compact:** en esta opción se crean los horarios de ocupación, actividad, velocidad del viento y todos los horarios que se necesiten para realizar cualquier tipo de control que se requiera. En este se indica el nombre, el tipo de límite que se creó anteriormente, el día y el mes hasta donde irá el horario, y para qué días será, después se define un valor ya sea de temperatura, velocidad o porcentaje de ocupación para cada hora.

La Figura C.33 muestra cómo están llenos estos datos.

Figura C.33. Schedule Compact.

| Field | Units | Obj1 | Obj2 | |
|---------------------------|--------|----------------|-------------------|---|
| Name | | luces | equipos | |
| Schedule Type Limits Name | | Fraction | Fraction | F |
| Field 1 | varies | Through: 12/31 | Through: 12/31 | - |
| Field 2 | varies | For: Weekdays | For: Weekdays | F |
| Field 3 | varies | Until: 05:00 | Until: 08:00 | U |
| Field 4 | varies | 0,05 | 0,4 | (|
| Field 5 | varies | Until: 07:00 | Until: 12:00 | U |
| Field 6 | varies | 0,1 | 0,9 | (|
| Field 7 | varies | Until: 08:00 | Until: 13:00 | U |
| Field 8 | varies | 0,3 | 0,8 | (|
| Field 9 | varies | Until: 17:00 | Until: 17:00 | U |
| Field 10 | varies | 0,9 | 0,9 | (|
| Field 11 | varies | Until: 18:00 | Until: 18:00 | U |
| Field 12 | varies | 0,5 | 0,5 | (|
| Field 13 | varies | Until: 20:00 | Until: 24:00 | U |
| Field 14 | varies | 0,3 | 0,4 | (|
| Field 15 | varies | Until: 22:00 | For: SummerDesign | U |
| Field 16 | varies | 0,2 | Until: 24:00 | (|
| Field 17 | varies | Until: 23:00 | 1 | U |
| Field 18 | varies | 0,1 | For: Saturday | (|
| Field 19 | varies | Until: 24:00 | Until: 06:00 | U |

- **People:** en la parte de ganancias internas, en people se indica el nombre del objeto, la zona a la cual se asigna este objeto, el horario de ocupación, el horario de actividad, el método de cálculo (personas, personas por metro cuadrado o metros cuadrados por personas), se llena el valor de personas (según el método de cálculo elegido), fracción radiante y el horario de actividad.

La Figura C.34 muestra como están llenos estos datos.

Figura C.34. People.

| Field | Units | Obj1 |
|-------------------------------------|-----------|---------------|
| Name | | personas |
| Zone or ZoneList Name | | zona1 |
| Number of People Schedule Name | | ocupacion |
| Number of People Calculation Method | | People |
| Number of People | | 6 |
| People per Zone Floor Area | person/m2 | |
| Zone Floor Area per Person | m2/person | |
| Fraction Radiant | | 0,3 |
| Sensible Heat Fraction | | autocalculate |
| Activity Level Schedule Name | | actividad |
| Carbon Dioxide Generation Rate | m3/s-W | 0,0000000382 |

Los demás datos que no son obligatorios se recomienda incluirlos para que el modelo sea lo más real posible.

- **Lights:** en esta parte se indica el nombre del objeto, la zona a la cual se asigna este objeto, el horario de uso, el método de cálculo (Watts, Watts por metro cuadrado o Watts por personas), se llena el valor de potencia (según el método de cálculo elegido), fracción de aire de retorno, fracción radiante, fracción visible y fracción reemplazable.

La Figura C.35 muestra como están llenos estos datos.

Figura C.35. Lights.

| Field | Units | Obj1 |
|--|----------|---------------|
| Name | | luces zona1 |
| Zone or ZoneList Name | | zona1 |
| Schedule Name | | luces |
| Design Level Calculation Method | | LightingLevel |
| Lighting Level | W | 116 |
| Watts per Zone Floor Area | W/m2 | |
| Watts per Person | W/person | |
| Return Air Fraction | | 0 |
| Fraction Radiant | | 0,72 |
| Fraction Visible | | 0,18 |
| Fraction Replaceable | | 1 |
| End-Use Subcategory | | General |
| Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperature | | Yes |
| Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co | | |
| Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Co | 1/K | |

Los demás datos que no son obligatorios se recomienda incluirlos para que el modelo sea lo más real posible.

- **Electric Equipment:** en esta parte se indica el nombre del objeto, la zona a la cual se asignan este objeto, el horario de uso, el método de cálculo (Watts, Watts por metro cuadrado o Watts por personas), se llena el valor de potencia (según el método de cálculo elegido), fracción latente, fracción radiante y fracción de pérdida.

La Figura C.36 muestra como están llenos estos datos.

Figura C.36. Electric Equipment.

| Field | Units | Obj1 |
|---------------------------------|----------|----------------|
| Name | | equiposs |
| Zone or ZoneList Name | | zona1 |
| Schedule Name | | equipos |
| Design Level Calculation Method | | EquipmentLevel |
| Design Level | W | 105 |
| Watts per Zone Floor Area | W/m2 | |
| Watts per Person | W/person | |
| Fraction Latent | | 0 |
| Fraction Radiant | | 0,2 |
| Fraction Lost | | 0 |
| End-Use Subcategory | | General |

Los demás datos que no son obligatorios se recomienda incluirlos para que el modelo sea lo más real posible.

- **Daylighting:** en esta opción se pueden editar los controles de iluminación que se crearon previamente en SketchUp.

La Figura C.37 muestra como están llenos estos datos.

Figura C.37 Daylighting.

| Field | Units | Obj1 |
|---|-------|-----------|
| Zone Name | | zona3 |
| Total Daylighting Reference Points | | 2 |
| X-Coordinate of First Reference Point | m | 3,695363 |
| Y-Coordinate of First Reference Point | m | -3,306138 |
| Z-Coordinate of First Reference Point | m | 3,362 |
| X-Coordinate of Second Reference Point | m | 4,695363 |
| Y-Coordinate of Second Reference Point | m | -3,306138 |
| Z-Coordinate of Second Reference Point | m | 3,362 |
| Fraction of Zone Controlled by First Reference Point | | 0,5 |
| Fraction of Zone Controlled by Second Reference Point | | 0,5 |
| Illuminance Setpoint at First Reference Point | lux | 500 |
| Illuminance Setpoint at Second Reference Point | lux | 500 |
| Lighting Control Type | | 2 |
| Glare Calculation Azimuth Angle of View Direction Clock | deg | 0 |
| Maximum Allowable Discomfort Glare Index | | 22 |
| Minimum Input Power Fraction for Continuous Dimming | | 0,3 |
| Minimum Light Output Fraction for Continuous Dimming | | 0,2 |
| Number of Stepped Control Steps | | 3 |
| Probability Lighting will be Reset When Needed in Manual Mode | | 1 |
| Availability Schedule Name | | |

- **Daylighting Device Tubular:** en esta opción se conectan el domo y el difusor que se crearon en SketchUp, se asigna un nombre, se selecciona el domo, se selecciona el difusor, el material de construcción (creado en Material y luego en construcción), el diámetro del tubo (el área del tubo tiene que ser la misma del domo y el difusor), el largo del tubo y la resistencia térmica.

La Figura C.38 se muestra como están llenos estos datos.

Figura C.38. Daylighting Device Tubular.

| Field | Units | Obj1 |
|------------------------------|---------------------|---------|
| Name | | tubos |
| Dome Name | | domo |
| Diffuser Name | | difusor |
| Construction Name | | tubos |
| Diameter | m | 0,33851 |
| Total Length | m | 0,4 |
| Effective Thermal Resistance | m ² -K/W | 0,28 |

- **Output Illuminance Map:** en esta opción se pueden editar el mapa de iluminación que se creó previamente en SketchUp.

La Figura C.39 se muestra como están llenos estos datos.

Figura C.39. Output Illuminance Map.

| Field | Units | Obj1 |
|-------------------------|-------|-----------|
| Name | | BDDD6A |
| Zone Name | | zona3 |
| Z height | m | 3,1 |
| X Minimum Coordinate | m | 0,95542 |
| X Maximum Coordinate | m | 6,95542 |
| Number of X Grid Points | | 10 |
| Y Minimum Coordinate | m | -5,576826 |
| Y Maximum Coordinate | m | -1,576826 |
| Number of Y Grid Points | | 10 |

- **Zone Infiltration Design Flow Rate:** en esta opción se diseña las infiltraciones que posea el edificio.

La Figura C.40 muestra como están llenos estos datos.

Figura C.40. Zone Infiltration.

| Field | Units | Obj1 |
|-------------------------------------|---------|---------------------|
| Name | | filt_nat_salon_204 |
| Zone or ZoneList Name | | zona1 |
| Schedule Name | | ventilacion_natural |
| Design Flow Rate Calculation Method | | Flow/Zone |
| Design Flow Rate | m3/s | 0,027768 |
| Flow per Zone Floor Area | m3/s-m2 | |
| Flow per Exterior Surface Area | m3/s-m2 | |
| Air Changes per Hour | 1/hr | |
| Constant Term Coefficient | | 1 |
| Temperature Term Coefficient | | 0 |
| Velocity Term Coefficient | | 0 |
| Velocity Squared Term Coefficient | | 0 |

- **Airflow Network Simulation Control:** en esta opción se definen los parámetros básicos que tendrá la ventilación.

La Figura C.41 muestra como están llenos estos datos.

Figura C.41. Airflow Network Simulation Control.

| Field | Units | Obj1 |
|---|---------------|---------------------|
| Name | | controlventilacion |
| AirflowNetwork Control | | MultizoneWithoutDi: |
| Wind Pressure Coefficient Type | | |
| AirflowNetwork Wind Pressure Coefficient Array Name | | direccion |
| Height Selection for Local Wind Pressure Calculation | | OpeningHeight |
| Building Type | | |
| Maximum Number of Iterations | dimensionless | 500 |
| Initialization Type | | ZeroNodePressures |
| Relative Airflow Convergence Tolerance | dimensionless | 0,0001 |
| Absolute Airflow Convergence Tolerance | kg/s | 0,000001 |
| Convergence Acceleration Limit | dimensionless | -0,5 |
| Azimuth Angle of Long Axis of Building | deg | |
| Ratio of Building Width Along Short Axis to Width Along | | |
| Height Dependence of External Node Temperature | | Yes |

- **Airflow Network Multizone Zone:** Esta opción permite el control de la ventilación natural a través de puertas y ventanas de las zonas que se quieren ventilar.

La Figura C.42 muestra como están llenos estos datos.

Figura C.42. Airflow Network Multizone Zone.

| [0003] AirflowNetwork:MultZone:Zone | | | | |
|--|---------------|-------------|-------------|-------------|
| Field | Units | Obj1 | Obj2 | Obj3 |
| Zone Name | | zona1 | zona2 | zona3 |
| Ventilation Control Mode | | Temperature | Temperature | Temperature |
| Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedule | | temperatura | temperatura | temperatura |
| Minimum Venting Open Factor | dimensionless | 1 | 1 | 1 |
| Indoor and Outdoor Temperature Difference Lower Limit | deltaC | | | |
| Indoor and Outdoor Temperature Difference Upper Limit | deltaC | 100 | 100 | 100 |
| Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Lower Limit for | deltaJ/kg | | | |
| Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Upper Limit for | deltaJ/kg | 300000 | 300000 | 300000 |
| Venting Availability Schedule Name | | | | |
| Single Sided Wind Pressure Coefficient Algorithm | | Standard | Standard | Standard |
| Facade Width | m | 10 | 10 | 10 |
| Occupant Ventilation Control Name | | | | |

- **Airflow Network Multizone Surface:** en esta opción se hace un control más específico a las puertas y ventanas.

La Figura C.43 muestra como están llenos estos datos.

Figura C.43. Airflow Network Multizone Surface.

| [0001] AirflowNetwork:MultZone:Surface | | |
|--|---------------|--------------|
| Field | Units | Obj1 |
| Surface Name | | 6A8A2A |
| Leakage Component Name | | aire_ventana |
| External Node Name | | |
| Window/Door Opening Factor, or Crack Factor | dimensionless | 0,5 |
| Ventilation Control Mode | | ZoneLevel |
| Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedule | | temperatura |
| Minimum Venting Open Factor | dimensionless | |
| Indoor and Outdoor Temperature Difference Lower Limit | deltaC | |
| Indoor and Outdoor Temperature Difference Upper Limit | deltaC | 100 |
| Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Lower Limit for | deltaJ/kg | |
| Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Upper Limit for | deltaJ/kg | 300000 |
| Venting Availability Schedule Name | | |
| Occupant Ventilation Control Name | | |

- **Airflow Network MultiZone Componente Detailed Opening :** este opción se crea si se hace un control específico a puertas y ventanas como el descrito en la opción anterior.

La Figura C.44 muestra cómo están llenos estos datos.

Figura C.44. Detailed Opening.

| Field | Units | Obj1 |
|--|---------------|--------------|
| Name | | aire_ventana |
| Air Mass Flow Coefficient When Opening is Closed | kg/s-m | 0,01 |
| Air Mass Flow Exponent When Opening is Closed | dimensionless | 0,65 |
| Type of Rectangular Large Vertical Opening (LVO) | | NonPivoted |
| Extra Crack Length or Height of Pivoting Axis | m | |
| Number of Sets of Opening Factor Data | | 2 |
| Opening Factor 1 | dimensionless | 0 |
| Discharge Coefficient for Opening Factor 1 | dimensionless | 0,001 |
| Width Factor for Opening Factor 1 | dimensionless | 0 |
| Height Factor for Opening Factor 1 | dimensionless | 0 |
| Start Height Factor for Opening Factor 1 | dimensionless | 0 |
| Opening Factor 2 | dimensionless | 1 |
| Discharge Coefficient for Opening Factor 2 | dimensionless | 1 |
| Width Factor for Opening Factor 2 | dimensionless | 0,5 |
| Height Factor for Opening Factor 2 | dimensionless | 1 |
| Start Height Factor for Opening Factor 2 | dimensionless | 0 |

- **Airflow Network MultiZone Wind Pressure Coefficient Array:** esta opción se crea si se hace un control específico a puertas y ventanas como el descrito en las opciones anteriores. En este se especifican las posibles direcciones del viento.

La Figura C.45 muestra como están llenos estos datos.

Figura C.45. Pressure Coefficient Array.

| Field | Units | Obj1 |
|------------------|-------|-----------|
| Name | | direccion |
| Wind Direction 1 | deg | 0 |
| Wind Direction 2 | deg | 45 |
| Wind Direction 3 | deg | 90 |
| Wind Direction 4 | deg | 135 |
| Wind Direction 5 | deg | 180 |
| Wind Direction 6 | deg | 225 |
| Wind Direction 7 | deg | 270 |
| Wind Direction 8 | deg | 315 |
| Wind Direction 9 | deg | 360 |

- **HVAC Template thermostat:** en esta opción se crea el termostato que controlará el sistema de climatización, en este objeto se introduce la temperatura de control para el calentamiento y para el enfriamiento o se pueden usar horario para controlar estas temperaturas.

La Figura C.46 muestra como están llenos estos datos.

Figura C.46. HVAC Template thermostat.

| Field | Units | Obj1 |
|--------------------------------|-------|---------------------|
| Name | | Constant Setpoint T |
| Heating Setpoint Schedule Name | | |
| Constant Heating Setpoint | C | 20 |
| Cooling Setpoint Schedule Name | | |
| Constant Cooling Setpoint | C | 25 |

- **HVAC Template Zona Ideal Load Air System:** en esta opción se crea el sistema de aire acondicionado que tendrá cada zona.

La Figura C.47 muestra como están llenos estos datos.

Figura C.47. Ideal Load Air System.

| Field | Units | Obj1 |
|---|----------------|---------------------|
| Zone Name | | zona2 |
| Template Thermostat Name | | Constant Setpoint T |
| System Availability Schedule Name | | enfriar |
| Maximum Heating Supply Air Temperature | C | 50 |
| Minimum Cooling Supply Air Temperature | C | 13 |
| Maximum Heating Supply Air Humidity Ratio | kgWater/kgDryA | 0,0156 |
| Minimum Cooling Supply Air Humidity Ratio | kgWater/kgDryA | 0,0077 |
| Heating Limit | | NoLimit |
| Maximum Heating Air Flow Rate | m3/s | |
| Maximum Sensible Heating Capacity | W | |
| Cooling Limit | | NoLimit |
| Maximum Cooling Air Flow Rate | m3/s | |
| Maximum Total Cooling Capacity | W | |
| Heating Availability Schedule Name | | calenta |
| Cooling Availability Schedule Name | | refri |
| Dehumidification Control Type | | ConstantSensibleHe |
| Cooling Sensible Heat Ratio | dimensionless | 0,7 |
| Dehumidification Setpoint | percent | 60 |
| Humidification Control Type | | None |
| Humidification Setpoint | percent | 30 |
| Outdoor Air Method | | None |

- **Output Table Summary Reports:** en la parte de reporte, y en esta opción se crea los reportes, se selecciona “All Summry”.

La Figura C.48 muestra como están llenos estos datos.

Figura C.48. Output Table Summary Reports.

| [0001] Output: Table: Summary Reports | | |
|---------------------------------------|-------|------------|
| Field | Units | Obj1 |
| Report 1 Name | | AllSummary |

- **Output Control Table Style:** con esta opción creamos el reporte en forma de tabla y las unidades de energía serán en kWh.

La Figura C.49 muestra este parámetro.

Figura C.49. Output Control Table Style.

| [0001] OutputControl: Table: Style | | | Field Description: |
|------------------------------------|-------|--------|--------------------|
| Field | Units | Obj1 | |
| Column Separator | | HTML | |
| Unit Conversion | | JtoKWH | |

- **Output Variable:** con esta opción se elige las variables que se quieren en los reporte, se pueden elegir temperaturas, humedad velocidad del viento entre otros.

La Figura C.50 muestra como están llenos estos datos.

Figura C.50. Output Variable

| [0007] Output: Variable | | | | | | | | | IU: A1 |
|-------------------------|-------|-------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|--------|
| Field | Units | Obj1 | Obj2 | Obj3 | Obj4 | Obj5 | Obj6 | Obj7 | |
| Key Value | | * | * | * | * | * | * | * | |
| Variable Name | | Zone People Occup | Zone Air Temperature | Daylighting Referen | Daylighting Lighting | Zone Lights Electric | Daylighting Referen | Zone Air Relative H | |
| Reporting Frequency | | Hourly | Hourly | | Hourly | Hourly | Hourly | Hourly | |
| Schedule Name | | | | | | | | | |

- **Output Diagnostics:** con esta opción se configura el reporte de errores y advertencias para que sean más específicas.

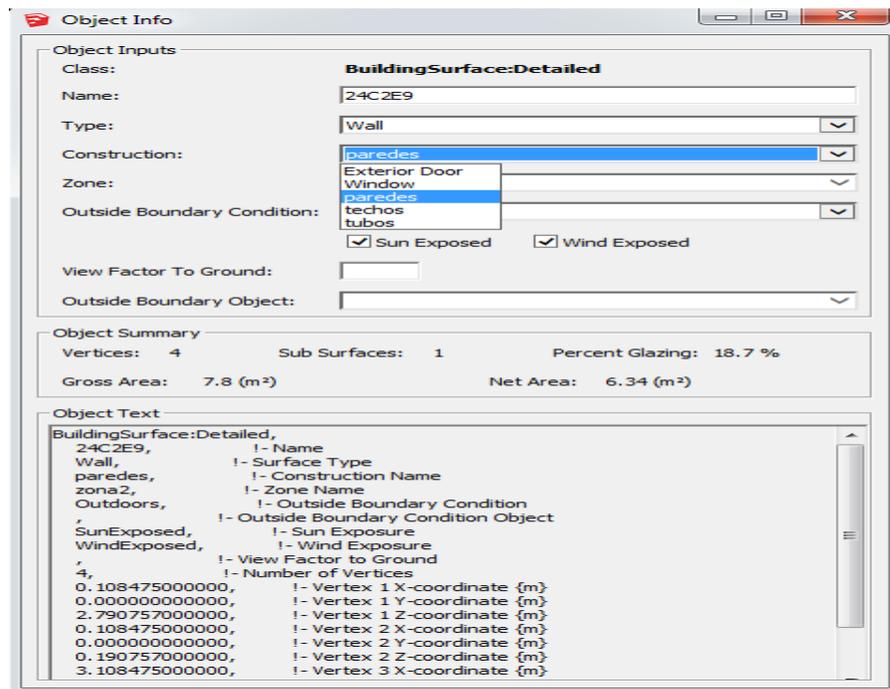
La Figura C.51 muestra como están llenos estos datos.

Figura C.51. Output Diagnostics.

| Field | Units | Obj1 |
|-------|-------|----------------------|
| Key 1 | | DisplayExtraWarnings |
| Key 2 | | |

Se guardan los cambios y se abre el archivo en SketchUp para asignar los materiales de construcción a las superficies. Después de tener el archivo abierto se da clic en información de objeto, se selecciona una zona y después se selecciona una superficie, se le asignan los materiales que hemos creado como se muestra en la Figura C.52.

Figura C.52. Asignación de materiales.



Se guardan los cambios y se cierra el editor, posteriormente corremos la simulación.

Resultados: una parte de los resultados los se pueden ver en el archivo html, dando clic en el archivo se pueden ver resultados tabulados en el explorador de internet predeterminado como se muestra en la Figura C.53.

Figura C.53. Archivo html.

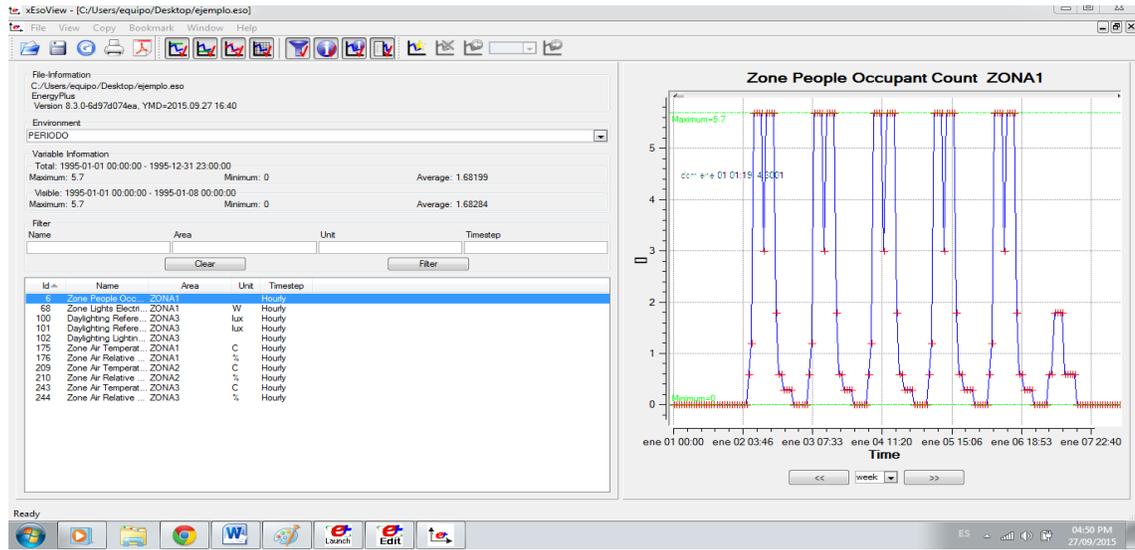
The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying 'file:///C:/Users/equipo/Desktop/ejemploTable.html'. The main content area contains two tables. The first table, titled 'End Uses', lists various energy-consuming categories and their corresponding values for Electricity [kWh], Natural Gas [kWh], Additional Fuel [kWh], District Cooling [kWh], District Heating [kWh], and Water [m3]. The second table, titled 'End Uses By Subcategory', has a similar structure but includes a 'Subcategory' column. The Windows taskbar at the bottom shows the system tray with the date and time '04:46 PM 27/09/2015'.

| End Uses | | | | | | |
|--------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------|
| | Electricity [kWh] | Natural Gas [kWh] | Additional Fuel [kWh] | District Cooling [kWh] | District Heating [kWh] | Water [m3] |
| Heating | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Cooling | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 608.73 | 0.00 | 0.00 |
| Interior Lighting | 339.87 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Exterior Lighting | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Interior Equipment | 470.41 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Exterior Equipment | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Fans | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Pumps | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Heat Rejection | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Humidification | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Heat Recovery | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Water Systems | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Refrigeration | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Generators | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Total End Uses | 810.28 | 0.00 | 0.00 | 608.73 | 0.00 | 0.00 |

| End Uses By Subcategory | | | | | | |
|-------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------|
| Subcategory | Electricity [kWh] | Natural Gas [kWh] | Additional Fuel [kWh] | District Cooling [kWh] | District Heating [kWh] | Water [m3] |
| | | | | | | |

Los demás resultados se pueden ver dando clic en el archivo de extensión .eso (instalar previamente el programa XesoView), después se da clic sobre la variable que se quiere visualizar. Esto se muestra en la Figura C.54.

Figura C.54. Programa XesoView.



ANEXO D. DATOS DEL MODELO

En este anexo se presenta información pertinente del modelo, tal como la composición de los cerramientos, el valor de algunas ganancias internas y horarios de ocupación.

Tabla D.1. Capas de los cerramientos.

| Construcción | Capas | Espesor [mm] |
|---------------|--------------|--------------|
| Ventanas | Cristal | 3 |
| Puerta | Madera | 40 |
| Pisos/techos | Concreto | 400 |
| Muro ladrillo | Mortero | 25 |
| | Ladrillo H10 | 100 |
| | Mortero | 25 |
| Muros huecos | Estuco | 15 |
| | Drywall | 10 |
| | Aire | - |
| | Drywall | 10 |
| | Estuco | 15 |
| Techo verde | Sustrato | 70 |
| | Geotextil | 20 |
| | Impermeable | 20 |
| | Geotextil | 10 |
| | Concreto | 400 |
| | Aire | - |
| | Cielo raso | 15 |
| Tubo solar | Aluminio | 10 |

Tabla D.2. Ganancias internas.

| Zona | Iluminación[W] | Equipos de oficina[W] | Ocupación (personas) |
|-----------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Sala de reuniones(sótano) | 168 | 0 | 6 |
| Baño hombres(sótano) | 26 | 0 | 1 |
| Baño mujeres(sótano) | 26 | 0 | 1 |
| Sala de estar (sótano) | 128 | 0 | 5 |
| Cafetería (sótano) | 64 | 0 | 2 |
| Sala docentes | 1064 | 50 | 15 |
| Sala trabajo individual | 1120 | 50 | 65 |
| Sala trabajo grupal | 840 | 50 | 70 |
| Aula 103 | 504 | 0 | 42 |
| Pasillos primer piso | 560 | 0 | 10 |
| Cuarto técnico primer piso | 64 | 0 | 1 |
| Baños primer piso | 256 | 0 | 10 |
| CIEE | 336 | 645 | 12 |
| Aula 201 | 560 | 0 | 35 |
| Aula 202 | 560 | 0 | 35 |
| Aula 204 | 504 | 0 | 35 |
| Aula 205 | 336 | 0 | 32 |
| Aula 206 | 336 | 0 | 32 |
| Aula 207 | 672 | 220 | 54 |
| cuarto técnico segundo piso | 64 | 0 | 1 |
| baños segundo piso | 256 | 0 | 10 |
| pasillos segundo piso | 640 | 0 | 7 |
| Aula 301 | 808 | 220 | 35 |
| Aula 302 | 808 | 0 | 35 |
| Aula 304 | 1020 | 220 | 70 |
| Aula 305 | 816 | 220 | 55 |
| IEEE | 408 | 105 | 10 |
| Cuarto técnico tercer piso | 64 | 0 | 1 |
| Baños tercer piso | 256 | 0 | 10 |
| Pasillos tercer piso | 640 | 0 | 7 |
| Aula 401 | 816 | 220 | 33 |
| Aula 402 | 408 | 50 | 35 |
| Aula 404 | 808 | 220 | 35 |
| Aula 405 | 944 | 220 | 35 |

| Zona | Iluminación[W] | Equipos de oficina[W] | Ocupación (personas) |
|---|----------------|-----------------------|----------------------|
| Aula 406 | 944 | 220 | 35 |
| Cuarto técnico cuarto piso | 64 | 0 | 1 |
| Baños cuarto piso | 256 | 0 | 10 |
| Pasillos cuarto piso | 768 | 0 | 7 |
| CCTV | 64 | 105 | 2 |
| Secretaria administrativa | 68 | 105 | 1 |
| Secretaria especialización | 68 | 105 | 1 |
| Secretaria posgrado | 136 | 105 | 2 |
| Asistente posgrados | 136 | 105 | 2 |
| Coordinación de posgrado | 136 | 105 | 2 |
| Proyectos y servicios | 340 | 105 | 4 |
| Coordinación especialización | 272 | 105 | 5 |
| Coordinación de calidad | 272 | 105 | 12 |
| Dirección E3T | 272 | 105 | 1 |
| Baño dirección | 26 | 0 | 1 |
| Baños quinto piso | 52 | 0 | 2 |
| Cuarto de aseo | 26 | 0 | 1 |
| Coordinación de proyecto | 272 | 105 | 5 |
| Cafetería quinto piso | 26 | 0 | 2 |
| Archivo | 128 | 0 | 2 |
| Cuarto técnico | 64 | 0 | 1 |
| Coordinación de pregrado | 272 | 105 | 7 |
| Pasillos internos E3T | 320 | 0 | 2 |
| Sala de espera coordinación de pregrado | 136 | 0 | 22 |
| Sala de reuniones | 272 | 0 | 10 |
| Ante sala de dirección | 136 | 0 | 4 |
| Sala de estar quinto piso | 136 | 0 | 5 |

La información de los horarios se obtuvo de un trabajo de grado previo de Caicedo *et al.*⁴⁵, los horarios de ocupación son del año 2014.

⁴⁵ CAICEDO PÉREZ C. M., TORRES VERBEL M. A., and SÁNCHEZ MANTILLA S. Op. Cit.

Tabla D.3. Horario de ocupación sala individual.

| Hora | Ocupación [%] | |
|---------|-----------------|---------------|
| | Lunes a viernes | Fin de semana |
| 8 a 9 | 60 | 0 |
| 9 a 10 | 60 | 0 |
| 10 a 11 | 80 | 0 |
| 11 a 12 | 80 | 0 |
| 12 a 13 | 10 | 0 |
| 13 a 14 | 10 | 0 |
| 14 a 15 | 80 | 0 |
| 15 a 16 | 80 | 0 |
| 16 a 17 | 60 | 0 |
| 17 a 18 | 60 | 0 |
| 18 a 8 | 0 | 0 |

Tabla D.4. Horario de ocupación Aula 103.

| Hora | Ocupación [%] | | | | | | |
|---------|---------------|--------|-----------|--------|---------|--------|---------|
| | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo |
| 6 a 7 | 90 | 90 | 90 | 90 | 0 | 0 | 0 |
| 7 a 8 | 90 | 90 | 0 | 90 | 0 | 60 | 0 |
| 8 a 9 | 90 | 90 | 0 | 90 | 0 | 60 | 0 |
| 9 a 10 | 90 | 90 | 0 | 90 | 0 | 60 | 0 |
| 10 a 11 | 0 | 90 | 90 | 0 | 90 | 60 | 0 |
| 11 a 12 | 0 | 90 | 90 | 0 | 90 | 60 | 0 |
| 12 a 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 a 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 a 15 | 0 | 0 | 90 | 20 | 90 | 0 | 0 |
| 15 a 16 | 0 | 0 | 90 | 20 | 90 | 0 | 0 |
| 16 a 17 | 0 | 0 | 90 | 20 | 90 | 0 | 0 |
| 17 a 18 | 0 | 0 | 90 | 20 | 90 | 0 | 0 |
| 18 a 6 | 0 | 0 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 |

Tabla D.5. Horario de ocupación CIEE.

| Hora | Ocupación [%] | | | | | |
|---------|---------------|--------|-----------|--------|---------|---------------|
| | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Fin de semana |
| 8 a 9 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 0 |
| 9 a 10 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 0 |
| 10 a 11 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 0 |
| 11 a 12 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 0 |
| 12 a 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 a 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 a 15 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 0 |
| 15 a 16 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 0 |
| 16 a 17 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 0 |
| 17 a 18 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 0 |
| 18 a 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla D.6. Horario de ocupación sala de estudios grupal.

| Hora | Porcentaje de ocupación [%] | | | | | |
|---------|-----------------------------|--------|-----------|--------|---------|---------------|
| | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Fin de semana |
| 8 a 9 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 0 |
| 9 a 10 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 0 |
| 10 a 11 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 0 |
| 11 a 12 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 0 |
| 12 a 13 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 0 |
| 13 a 14 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 0 |
| 14 a 15 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 0 |
| 15 a 16 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 0 |
| 16 a 17 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 0 |
| 17 a 18 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 0 |
| 18 a 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla D.7. Horario de ocupación entrada y pasillos primer piso.

| Hora | Ocupación [%] | | | | | | |
|---------|---------------|--------|-----------|--------|---------|--------|---------|
| | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo |
| 8 a 9 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 0 |
| 9 a 10 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 0 |
| 10 a 11 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 0 |
| 11 a 12 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 0 |
| 12 a 13 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 0 |
| 13 a 14 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 0 |
| 14 a 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 0 |
| 15 a 16 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 0 |
| 16 a 17 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 0 |
| 17 a 18 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 0 |
| 18 a 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla D.8. Horario de ocupación baños.

| Hora | Ocupación [%] | |
|---------|----------------|---------|
| | Lunes a sábado | Domingo |
| 6 a 7 | 5 | 0 |
| 7 a 8 | 5 | 0 |
| 8 a 9 | 5 | 0 |
| 9 a 10 | 5 | 0 |
| 10 a 11 | 5 | 0 |
| 11 a 12 | 5 | 0 |
| 12 a 13 | 5 | 0 |
| 13 a 14 | 5 | 0 |
| 14 a 15 | 5 | 0 |
| 15 a 16 | 5 | 0 |
| 16 a 17 | 5 | 0 |
| 17 a 18 | 5 | 0 |
| 18 a 19 | 5 | 0 |
| 19 a 20 | 5 | 0 |
| 20 a 6 | 0 | 0 |

Tabla D.9. Horario de ocupación cuartos de aseo.

| Hora | Ocupación [%] | |
|---------|-----------------|---------------|
| | Lunes a viernes | Fin de semana |
| 7 a 8 | 10 | 0 |
| 8 a 9 | 0 | 0 |
| 9 a 10 | 0 | 0 |
| 10 a 11 | 0 | 0 |
| 11 a 12 | 0 | 0 |
| 12 a 13 | 0 | 0 |
| 13 a 14 | 0 | 0 |
| 14 a 15 | 0 | 0 |
| 15 a 16 | 10 | 0 |
| 16 a 7 | 0 | 0 |

Tabla D.10. Horario de ocupación Aula 207.

| Hora | Ocupación [%] | | | | | |
|---------|---------------|--------|-----------|--------|---------|---------------|
| | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Fin de semana |
| 6 a 7 | 0 | 90 | 90 | 90 | 60 | 0 |
| 7 a 8 | 0 | 90 | 90 | 90 | 60 | 0 |
| 8 a 9 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 0 |
| 9 a 10 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 0 |
| 10 a 11 | 60 | 60 | 90 | 60 | 90 | 0 |
| 11 a 12 | 60 | 60 | 90 | 60 | 90 | 0 |
| 12 a 13 | 0 | 0 | 60 | 60 | 0 | 0 |
| 13 a 14 | 0 | 0 | 60 | 60 | 0 | 0 |
| 14 a 15 | 90 | 60 | 90 | 90 | 90 | 0 |
| 15 a 16 | 90 | 60 | 90 | 90 | 90 | 0 |
| 16 a 17 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 0 |
| 17 a 18 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 0 |
| 18 a 19 | 60 | 90 | 90 | 90 | 0 | 0 |
| 19 a 20 | 60 | 90 | 90 | 90 | 0 | 0 |
| 20 a 21 | 0 | 60 | 0 | 60 | 0 | 0 |
| 21 a 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla D.11. Horario de ocupación Aula 206.

| hora | Ocupación [%] | | | | | |
|---------|---------------|--------|-----------|--------|---------|---------------|
| | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Fin de semana |
| 6 a 7 | 0 | 60 | 0 | 0 | 60 | 0 |
| 7 a 8 | 0 | 60 | 0 | 0 | 60 | 0 |
| 8 a 9 | 0 | 60 | 0 | 0 | 60 | 0 |
| 9 a 10 | 0 | 90 | 0 | 0 | 60 | 0 |
| 10 a 11 | 0 | 90 | 0 | 0 | 90 | 0 |
| 11 a 12 | 0 | 60 | 0 | 0 | 90 | 0 |
| 12 a 13 | 0 | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 a 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla D.12. Horario de ocupación Aula 205.

| hora | Ocupación [%] | | | | | | |
|---------|---------------|--------|-----------|--------|---------|--------|---------|
| | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo |
| 6 a 7 | 60 | 65 | 50 | 60 | 60 | 0 | 0 |
| 7 a 8 | 60 | 65 | 50 | 60 | 60 | 0 | 0 |
| 8 a 9 | 0 | 90 | 50 | 60 | 55 | 0 | 0 |
| 9 a 10 | 60 | 90 | 50 | 60 | 0 | 45 | 0 |
| 10 a 11 | 90 | 60 | 60 | 60 | 60 | 45 | 0 |
| 11 a 12 | 90 | 60 | 60 | 60 | 60 | 45 | 0 |
| 12 a 13 | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 45 | 0 |
| 13 a 14 | 60 | 0 | 60 | 60 | 0 | 0 | 0 |
| 14 a 15 | 50 | 50 | 60 | 60 | 60 | 45 | 0 |
| 15 a 16 | 50 | 50 | 60 | 50 | 60 | 45 | 0 |
| 16 a 17 | 60 | 55 | 60 | 50 | 60 | 45 | 0 |
| 17 a 18 | 60 | 55 | 50 | 50 | 60 | 0 | 0 |
| 18 a 19 | 60 | 50 | 50 | 60 | 60 | 0 | 0 |
| 19 a 20 | 60 | 50 | 50 | 60 | 0 | 0 | 0 |
| 20 a 21 | 0 | 0 | 50 | 60 | 0 | 0 | 0 |
| 21 a 22 | 0 | 0 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 a 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla D.13. Horario de ocupación Aula 204.

| Hora | Ocupación [%] | | | | | |
|---------|---------------|--------|-----------|--------|---------|---------------|
| | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Fin de semana |
| 6 a 7 | 0 | 65 | 90 | 90 | 90 | 0 |
| 7 a 8 | 0 | 65 | 90 | 90 | 90 | 0 |
| 8 a 9 | 0 | 90 | 0 | 90 | 0 | 0 |
| 9 a 10 | 0 | 90 | 0 | 90 | 0 | 0 |
| 10 a 11 | 0 | 60 | 90 | 90 | 60 | 0 |
| 11 a 12 | 0 | 60 | 90 | 90 | 60 | 0 |
| 12 a 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 a 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 a 15 | 60 | 50 | 60 | 60 | 60 | 0 |
| 15 a 16 | 60 | 50 | 60 | 60 | 60 | 0 |
| 16 a 17 | 60 | 55 | 60 | 60 | 60 | 0 |
| 17 a 18 | 60 | 55 | 60 | 60 | 60 | 0 |
| 18 a 19 | 0 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 a 20 | 0 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 a 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla D.14. Horario de ocupación Pasillos.

| Hora | Ocupación [%] |
|---------|-----------------|
| | Lunes a domingo |
| 6 a 7 | 10 |
| 7 a 8 | 0 |
| 8 a 9 | 10 |
| 9 a 10 | 0 |
| 10 a 11 | 10 |
| 11 a 12 | 0 |
| 12 a 13 | 0 |
| 13 a 14 | 0 |
| 14 a 15 | 10 |
| 15 a 16 | 0 |
| 16 a 17 | 10 |
| 17 a 18 | 0 |
| 18 a 19 | 10 |
| 19 a 20 | 0 |

| Hora | Ocupación [%] |
|---------|-----------------|
| | Lunes a domingo |
| 20 a 21 | 5 |
| 21 a 6 | 0 |

Tabla D.15. Horario de ocupación Aula 302.

| Hora | Ocupación [%] | | | | | | |
|---------|---------------|--------|-----------|--------|---------|--------|---------|
| | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo |
| 6 a 7 | 0 | 60 | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 a 8 | 0 | 60 | 90 | 0 | 0 | 60 | 0 |
| 8 a 9 | 60 | 90 | 90 | 90 | 90 | 60 | 0 |
| 9 a 10 | 60 | 90 | 90 | 90 | 90 | 60 | 0 |
| 10 a 11 | 60 | 90 | 60 | 90 | 90 | 60 | 0 |
| 11 a 12 | 0 | 90 | 60 | 60 | 60 | 60 | 0 |
| 12 a 13 | 0 | 60 | 60 | 0 | 0 | 60 | 0 |
| 13 a 14 | 90 | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 a 15 | 60 | 90 | 90 | 60 | 60 | 60 | 0 |
| 15 a 16 | 60 | 90 | 90 | 60 | 60 | 60 | 0 |
| 16 a 17 | 0 | 60 | 60 | 60 | 0 | 0 | 0 |
| 17 a 18 | 0 | 60 | 60 | 60 | 0 | 0 | 0 |
| 18 a 19 | 0 | 60 | 60 | 60 | 0 | 0 | 0 |
| 19 a 20 | 0 | 60 | 0 | 60 | 0 | 0 | 0 |
| 20 a 21 | 0 | 60 | 0 | 60 | 0 | 0 | 0 |
| 21 a 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla D.16. Horario de ocupación Aula 301.

| Hora | Ocupación [%] | | | | | | |
|---------|---------------|--------|-----------|--------|---------|--------|---------|
| | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo |
| 6 a 7 | 90 | 60 | 90 | 90 | 90 | 0 | 0 |
| 7 a 8 | 90 | 60 | 90 | 90 | 90 | 0 | 0 |
| 8 a 9 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 60 | 0 |
| 9 a 10 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 60 | 0 |
| 10 a 11 | 90 | 90 | 90 | 60 | 90 | 60 | 0 |
| 11 a 12 | 90 | 90 | 90 | 60 | 90 | 60 | 0 |
| 12 a 13 | 0 | 0 | 0 | 60 | 60 | 0 | 0 |

| Hora | Ocupación [%] | | | | | | |
|---------|---------------|--------|-----------|--------|---------|--------|---------|
| | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo |
| 13 a 14 | 0 | 0 | 60 | 60 | 60 | 0 | 0 |
| 14 a 15 | 0 | 90 | 80 | 60 | 90 | 0 | 0 |
| 15 a 16 | 0 | 90 | 80 | 60 | 90 | 0 | 0 |
| 16 a 17 | 90 | 90 | 80 | 90 | 90 | 0 | 0 |
| 17 a 18 | 90 | 90 | 80 | 90 | 90 | 0 | 0 |
| 18 a 19 | 90 | 90 | 20 | 90 | 0 | 0 | 0 |
| 19 a 20 | 0 | 90 | 20 | 90 | 0 | 0 | 0 |
| 20 a 21 | 0 | 90 | 40 | 90 | 0 | 0 | 0 |
| 21 a 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla D.17. Horario de ocupación Aula IEEE.

| Hora | Ocupación [%] | | | | | |
|---------|---------------|--------|-----------|--------|---------|---------------|
| | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Fin de semana |
| 8 a 9 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 0 |
| 9 a 10 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 0 |
| 10 a 11 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 0 |
| 11 a 12 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 0 |
| 12 a 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 a 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 a 15 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 0 |
| 15 a 16 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 0 |
| 16 a 17 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 0 |
| 17 a 18 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 0 |
| 18 a 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla D.18. Horario de ocupación Aula 305.

| Hora | Ocupación [%] | | | | | | |
|---------|---------------|--------|-----------|--------|---------|--------|---------|
| | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo |
| 6 a 7 | 60 | 90 | 90 | 60 | 0 | 0 | 0 |
| 7 a 8 | 60 | 90 | 90 | 60 | 0 | 0 | 0 |
| 8 a 9 | 0 | 90 | 60 | 90 | 60 | 60 | 0 |
| 9 a 10 | 0 | 90 | 60 | 90 | 60 | 60 | 0 |
| 10 a 11 | 0 | 60 | 90 | 60 | 60 | 90 | 0 |
| 11 a 12 | 0 | 60 | 90 | 60 | 60 | 90 | 0 |

| Hora | Ocupación [%] | | | | | | |
|---------|---------------|--------|-----------|--------|---------|--------|---------|
| | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo |
| 12 a 13 | 0 | 60 | 60 | 0 | 0 | 60 | 0 |
| 13 a 14 | 90 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 0 |
| 14 a 15 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 0 |
| 15 a 16 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 0 |
| 16 a 17 | 90 | 90 | 20 | 90 | 65 | 60 | 0 |
| 17 a 18 | 90 | 90 | 20 | 90 | 65 | 60 | 0 |
| 18 a 19 | 90 | 60 | 20 | 0 | 60 | 0 | 0 |
| 19 a 20 | 90 | 60 | 20 | 0 | 60 | 0 | 0 |
| 20 a 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla D.19. Horario de ocupación Aula 304.

| Hora | Ocupación [%] | | | | | | |
|---------|---------------|--------|-----------|--------|---------|--------|---------|
| | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Sábado | Domingo |
| 6 a 7 | 60 | 90 | 90 | 90 | 0 | 0 | 0 |
| 7 a 8 | 90 | 90 | 90 | 90 | 0 | 0 | 0 |
| 8 a 9 | 60 | 90 | 90 | 90 | 90 | 60 | 0 |
| 9 a 10 | 0 | 90 | 90 | 90 | 90 | 60 | 0 |
| 10 a 11 | 0 | 90 | 65 | 90 | 90 | 0 | 0 |
| 11 a 12 | 0 | 60 | 65 | 90 | 90 | 0 | 0 |
| 12 a 13 | 60 | 60 | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 a 14 | 60 | 60 | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 a 15 | 0 | 65 | 65 | 90 | 90 | 0 | 0 |
| 15 a 16 | 60 | 65 | 65 | 90 | 90 | 0 | 0 |
| 16 a 17 | 60 | 60 | 65 | 90 | 90 | 0 | 0 |
| 17 a 18 | 60 | 60 | 65 | 90 | 90 | 0 | 0 |
| 18 a 19 | 90 | 60 | 65 | 60 | 0 | 0 | 0 |
| 19 a 20 | 90 | 60 | 65 | 60 | 0 | 0 | 0 |
| 20 a 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla D.20. Horario de ocupación Aula 406.

| Hora | Ocupación [%] | | | | | |
|---------|---------------|--------|-----------|--------|---------|---------------|
| | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Fin de semana |
| 6 a 7 | 0 | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 a 8 | 0 | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 a 9 | 0 | 0 | 0 | 65 | 60 | 0 |
| 9 a 10 | 0 | 0 | 90 | 65 | 60 | 0 |
| 10 a 11 | 0 | 60 | 90 | 65 | 60 | 0 |
| 11 a 12 | 0 | 60 | 0 | 65 | 60 | 0 |
| 12 a 13 | 0 | 60 | 0 | 65 | 0 | 0 |
| 13 a 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla D.21. Horario de ocupación Aula 405.

| Hora | Ocupación [%] | | | | | |
|---------|---------------|--------|-----------|--------|---------|---------------|
| | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Fin de semana |
| 6 a 7 | 0 | 60 | 60 | 60 | 60 | 0 |
| 7 a 8 | 0 | 60 | 60 | 60 | 60 | 0 |
| 8 a 9 | 0 | 90 | 60 | 90 | 60 | 0 |
| 9 a 10 | 0 | 90 | 60 | 90 | 60 | 0 |
| 10 a 11 | 0 | 90 | 90 | 90 | 90 | 0 |
| 11 a 12 | 0 | 90 | 90 | 90 | 90 | 0 |
| 12 a 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 a 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 a 15 | 0 | 60 | 25 | 60 | 0 | 0 |
| 15 a 16 | 0 | 60 | 25 | 60 | 0 | 0 |
| 16 a 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla D.22. Horario de ocupación Aula 404.

| Hora | Ocupación [%] | | | | | |
|---------|---------------|-------|-----------|--------|---------|---------------|
| | Lunes | Marte | Miércoles | Jueves | Viernes | Fin de semana |
| 6 a 7 | 0 | 60 | 0 | 60 | 0 | 0 |
| 7 a 8 | 0 | 60 | 0 | 60 | 60 | 0 |
| 8 a 9 | 60 | 60 | 0 | 65 | 70 | 0 |
| 9 a 10 | 60 | 60 | 0 | 65 | 70 | 0 |
| 10 a 11 | 0 | 60 | 90 | 90 | 90 | 0 |
| 11 a 12 | 0 | 60 | 90 | 90 | 90 | 0 |

| Hora | Ocupación [%] | | | | | |
|---------|---------------|-------|-----------|--------|---------|---------------|
| | Lunes | Marte | Miércoles | Jueves | Viernes | Fin de semana |
| 12 a 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 a 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 a 15 | 0 | 60 | 15 | 60 | 20 | 0 |
| 15 a 16 | 0 | 60 | 15 | 60 | 20 | 0 |
| 16 a 17 | 20 | 60 | 0 | 50 | 20 | 0 |
| 17 a 18 | 20 | 60 | 0 | 50 | 20 | 0 |
| 18 a 19 | 0 | 70 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 a 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla D.23. Horario de ocupación Aula 401.

| Hora | Ocupación [%] | | | | | |
|---------|---------------|--------|-----------|--------|---------|---------------|
| | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes | Fin de semana |
| 6 a 7 | 60 | 60 | 60 | 60 | 90 | 0 |
| 7 a 8 | 60 | 60 | 60 | 60 | 90 | 0 |
| 8 a 9 | 90 | 90 | 90 | 90 | 60 | 0 |
| 9 a 10 | 90 | 90 | 90 | 90 | 60 | 0 |
| 10 a 11 | 0 | 90 | 60 | 90 | 90 | 0 |
| 11 a 12 | 0 | 90 | 60 | 90 | 90 | 0 |
| 12 a 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 a 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 a 15 | 0 | 90 | 0 | 60 | 0 | 0 |
| 15 a 16 | 0 | 90 | 0 | 60 | 0 | 0 |
| 16 a 17 | 90 | 0 | 0 | 60 | 0 | 0 |
| 17 a 18 | 90 | 0 | 0 | 60 | 0 | 0 |
| 18 a 19 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 a 20 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 a 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabla D.24. Horario de ocupación quinto piso.

| Hora | Ocupación [%] | | |
|-------|-----------------|--------|---------|
| | Lunes a viernes | Sábado | Domingo |
| 6 a 7 | 10 | 10 | 5 |
| 7 a 8 | 20 | 10 | 5 |
| 8 a 9 | 90 | 30 | 5 |

| Hora | Ocupación [%] | | |
|---------|-----------------|--------|---------|
| | Lunes a viernes | Sábado | Domingo |
| 9 a 10 | 90 | 30 | 5 |
| 10 a 11 | 90 | 30 | 5 |
| 11 a 12 | 90 | 30 | 5 |
| 12 a 13 | 30 | 30 | 5 |
| 13 a 14 | 90 | 10 | 5 |
| 14 a 15 | 90 | 10 | 5 |
| 15 a 16 | 90 | 10 | 5 |
| 16 a 17 | 90 | 10 | 5 |
| 17 a 18 | 30 | 5 | 5 |
| 18 a 19 | 10 | 5 | 0 |
| 19 a 20 | 10 | 5 | 0 |
| 20 a 21 | 10 | 0 | 0 |
| 21 a 22 | 10 | 0 | 0 |
| 22 a 23 | 5 | 0 | 0 |
| 23 a 24 | 5 | 0 | 0 |
| 24 a 6 | 0 | 0 | 0 |

ANEXO E. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA DE LAS TABLAS DE COMPARACIÓN

Este anexo presenta información complementaria de los contrastes de las características técnicas, modelado geométrico, llenado de datos y Reporte de salidas, de los ítems que presentaban un mayor detalle los cuales son mostrados en las siguientes tablas:

Tabla E.1. Datos técnicos.

| Características | EnergyPlus Versión 8.3.2 | DesignBuilder Versión 3.4.0.039 |
|--|--|--|
| Sistema operativo | Está disponible para Windows, Linux y Mac OS y requiere 100 MB de espacio libre en el HDD. | Está disponible para Windows XP, Vista, 7 u 8 procesador de 1000 MHz, 2 GB de memoria RAM, 200 MB de espacio libre en el HDD. |
| Tipo de licencia | Licencia gratis | Licencia paga |
| Interfaz gráfica | Sí, a través de SketchUp sólo para la construcción del modelo, para el llenado de datos ya se hace desde el mismo EnergyPlus y la interfaz gráfica no es muy amigable. | Si, este posee su propia interfaz gráfica la cual amigable e interactiva con el usuario con ventanas asistidas que facilitan el trabajo. |
| Información sobre el uso de la herramienta | Existen gran cantidad de información sobre la utilización de la herramienta, para EnergyPlus existen lugares en la web | Existen ayudas en la internet entre los que se destacan ; los foros de soporte que son de libre acceso, para dudas, trucos y sugerencias, disponible en tres idiomas inglés, francés y |

| Características | EnergyPlus Versión 8.3.2 | DesignBuilder Versión 3.4.0.039 |
|---------------------|--|---|
| | especializadas en resolver dudas y ayudar a los nuevos usuarios, en sitio web como ⁴⁶ y ⁴⁷ , los cuales sirven de apoyo y soporte, el soporte es totalmente gratis; también existen web como ⁴⁸ y ⁴⁹ estas brindan soporte vía email y soporte telefónico pero tienen un costo las accesorias por estas dos web mencionadas. | español los enlaces de estos son ⁵⁰ , ⁵¹ y ⁵² ; en ⁵³ , se encuentra información sobre servicios de consultoría los cuales están acreditados en ISO 9001, ofrece cursos de formación y de aprendizaje online, brinda soporte técnico para los usuarios con licencia y se limita a 4 incidentes y 60 minutos de ayuda con ingenieros dando apoyo técnico, es posible adquirir más tiempo por un cargo adicional; también podemos encontrar información detallada en archivos pdf y video tutoriales sobre el uso del programa. |
| Archivos climáticos | Sí, a través de archivos con extensión epw | Sí, a través de archivos con extensión epw |
| Idioma | Inglés | Inglés, francés, italiano y español. |
| Unidades | Unidades métricas | Unidades métricas y unidades en pulgada-libra |

⁴⁶ "BIG LADDER SOFTWARE," Ep lunch program. [en línea]. Disponible en: <http://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-2/getting-started/ep-launch-program.html>.

⁴⁷ "UNMET HOURS," Questions. [en línea]. Disponible en: <https://unmethours.com/questions/>.

⁴⁸ "ENERGYPLUS Support," [en línea]. Disponible en: https://groups.yahoo.com/neo/groups/EnergyPlus_Support/info.

⁴⁹ "BIG LADDER Support." [en línea]. Disponible en: <http://bigladdersoftware.com/projects/energyplus/support.html>.

⁵⁰ GARD ANALYTICS," Energy plus support and training. [en línea]. Disponible en: <http://www.gard.com/services/energyplus-support-and-training/>.

⁵¹ "DESIGNBUILDER," itemid 25. [en línea]. Disponible en: http://www.designbuilder.co.uk/component/option,com_forum/Itemid,25/.

⁵² "BATISIM," forums. [en línea]. Disponible en: <http://www.batisim.net/index.php/support2/forums.html>.

⁵³ GARD ANALYTICS," Op. Cit

Tabla E.2. Modelado geométrico.

| Características | EnergyPlus Versión 8.3.2 | DesignBuilder Versión 3.4.0.039 |
|---|--|--|
| Inserción de un plano CAD | Para la creación de la geometría del modelo permite la importación de plano CAD, a través del programa Sketchup (la versión paga), pero en esta investigación se utilizó la versión gratis de Sketchup. | Para la creación del modelo este permite la importación de planos CAD en 2D directo en la herramienta desde la opción de importar. |
| Componentes de construcción por defecto | La herramienta posee amplia bases de datos de componentes de construcción que se le pueden asignar a los diferentes componentes del modelo. | La herramienta cuenta con parámetros predeterminados, esta consta de plantillas genéricas con información de actividad, ocupación, metabolismo, ventilación natural, equipos de oficina, construcción, iluminación, HVAC, entre otros. |
| Tipos de bloques | Cuenta con dos tipos: bloque de edificio y bloque sombra. | Cuenta con cinco tipos: bloque de edificio, contorno, componente estándar, componente terreno y componente adiabático. |
| Creación de zonas y/o particiones | Primero se crean las zonas, la unión de estas zonas forman un bloque que representa cada planta del edificio. El número de zonas depende de la precisión que se desee, ya que al zonificar se crea un modelo más exacto. | Se crean primero los bloques de cada piso de la edificación, luego estos son particionados para crear las zonas automáticamente al trazar muros internos. |
| Cerramientos | Permite el modelado de paredes, pisos, techos, ventanas y puertas. Para la | Permite el modelado de paredes, pisos, techos, ventanas, puertas y huecos; |

| Características | EnergyPlus Versión 8.3.2 | DesignBuilder Versión 3.4.0.039 |
|----------------------------------|---|---|
| | construcción de huecos se dibujan como ventanas y se configuran de tal forma que las 24 horas del día esté abierto al 100%. | estos se crean con las herramientas de la barra principal de software. |
| Modelado de tubos solares | Permite el modelado de tubos solares, sólo es necesario asignar el domo, el difusor y el material reflector del tubo solar. | No tiene esta opción, pero a través de las herramientas que tiene se puede llegar a una aproximación. |
| Dispositivos de protección solar | No tiene la opción, pero se hace una aproximación diseñándolo por medio de la opción de elementos de sombra. | Tiene la opción donde se ingresa las características de persianas, lamas entre otras. |

Tabla E.3. Inserción de datos.

| Características | EnergyPlus Versión 8.3.2 | DesignBuilder Versión 3.4.0.039 |
|-----------------------|--|--|
| Iluminación y control | Se puede introducir la potencia en Watts, Watts por metro cuadrado o Watts por personas, y datos como fracción de retorno de aire, fracción radiante y visible, el horario, no es posible introducir el tipo de luminaria. El control se realiza por medio de horarios y/o "Daylighting control" por limitación de la herramienta sólo se pueden agregar dos por cada zona | Este incluye plantilla de iluminación genéricas las cuales se editan para adaptar a las condiciones deseadas, se debe introducir la potencia en Watts por metro cuadrado, el tipo de luminaria (suspendida, montaje sobre superficie, techo luminoso con persianas, con ducto de ventilación y empotrada), fracción de retorno de aire, radiante, visible y convectiva. El control se realiza con "Daylighting control" por limitación de la herramienta sólo se pueden agregar dos por cada zona. |

| Características | EnergyPlus Versión 8.3.2 | DesignBuilder Versión 3.4.0.039 |
|---|---|--|
| Jerarquía y herencia de la información del modelo | Cada zona es independiente. No se comparten datos entre las zonas establecidas. | Hace uso de propiedades heredadas, utiliza desde el nivel general hasta el más detallado, donde se actualizan los ítems que aplican en cada nivel. |
| Cerramientos | Se crean y asignan los materiales que componen las paredes, pisos, techos, puertas y ventanas. | Se crean y asignan los materiales que componen las paredes, pisos, techos, puertas y ventanas. |
| Materiales | Al crear los materiales se deben introducir datos de rugosidad, espesor, conductividad térmica, densidad y calor específico. No tiene plantillas de materiales. | Al crear los materiales se deben introducir datos de rugosidad, conductividad térmica, densidad, calor específico, color y textura estos dos últimos no tienen efecto alguno en los procesos de cálculo se emplean con propósitos de representar la apariencia visual de los materiales. Para los acristalamientos se debe indicar información sobre las propiedades térmicas, solares, visibles e infrarrojas |
| Ventilación natural | Para la ventilación natural, se debe diseñar el control de la ventilación natural a través de puertas y ventanas, asignar las zonas y selecciona las aberturas en las que debe haber este, y se especifican datos como el porcentaje de apertura de estos y además el horario de operación. | Este se divide en dos opciones, ventilación natural calculada y ventilación natural programada. En ambos se debe de indicar flujos de aire a través de huecos y particiones virtuales, en la ventana dialogo de modelado opciones avanzadas y ventilación natural, en el caso de la ventilación natural programada es necesario indicar un caudal |

| Características | EnergyPlus Versión 8.3.2 | DesignBuilder Versión 3.4.0.039 |
|--------------------------|--|---|
| | | de aire por área de abertura en el mismo dialogo. |
| Extractores de aire | Se debe asignar un horario de operación, cambio de aire por hora, tipo de ventilación (admisión, escape, equilibrado y natural), eficiencia del extractor, aumento de presión, coeficiente de velocidad y temperatura, y las temperaturas a las cuales van a operar estos. | Se configura a partir de la plantilla de HVAC, se ingresa valores como eficiencia, el tipo de ventilación puede ser de suministro o extracción, aumento de presión, entre otros. |
| Sistema de climatización | Cuenta con múltiples opciones para programar un HVAC, ideales, simples, modelos reales entre otros. Al crear el sistema se asigna un termostato con el cual se realiza un control por temperatura, se controla las funciones de enfriamiento y calentamiento con horarios de programación, con estos horarios la opción de calentamiento se apaga. | Posee gran flexibilidad, ya que cuenta con plantillas predeterminadas para diferentes tipos de HVAC, los cuales se pueden editar y asignar, tiene tres tipos de sistemas HVAC que son: simple, HVAC y HVAC detallado. |
| Ingreso de los datos | Para el ingreso de los datos se realiza escogiendo la categoría que se desea, algunas veces se deben de llenar otras opciones que se encuentran en otras secciones del programa lo cual dificulta algunas veces el llenado de datos. | Tiene una forma organizada para el ingreso de datos la cual se hace desde plantillas, donde tiene dividido por sesiones donde se facilita el ingreso de datos. |

| Características | EnergyPlus Versión 8.3.2 | DesignBuilder Versión 3.4.0.039 |
|-------------------------|--|--|
| Horarios | Permite el ingreso de horarios de control para encendido o apagado de equipos, ocupación, temperaturas de control, actividad y velocidad del viento, estos se especifican por año, mes, semana o días | En la sección de plantillas, se crean se especifica el tipo de horario puede ser ocupación, temperatura, actividad, entre otros, y de forma gráfica se manipulan los valores del tal forma que se elige el deseado para cada día, semana, meses y año. |
| Equipos eléctricos | Se ingresan valores de ganancia en Watts, Watts por metro cuadrado o Watts por personas, se asigna el horario de uso y la zona donde están estos equipos. Todas las cargas se crean en un solo objeto, ya que es posible crearlos de formas independiente para cada tipo de carga (equipos de oficina y computadores). | Se ingresan los valores de ganancia en Watts por metro cuadrado, se crean las cargas de forma independiente para cada tipo de carga (computadores y equipos de oficina). |
| Otros equipos eléctrico | Permite la simulación de transformadores de distribución, inversores de corriente, almacenamiento de energía en bancos de baterías, generadores de electrolíticos de combustión interna, generador de turbina de combustión, generador micro turbinas, generador célula de combustible | No cuenta con estas opciones |
| Energía renovables | Permite la simulación de paneles fotovoltaica, aerogeneradores y sistemas de calentamiento | No cuenta con estas opciones |

| Características | EnergyPlus Versión 8.3.2 | DesignBuilder Versión 3.4.0.039 |
|-------------------------|--|--|
| | solar de agua | |
| Ocupación y metabolismo | Debe seleccionarse la zona que estará ocupada; el número máximo de ocupantes; se asigna un horario de ocupación en el cual se especifica que porcentaje del número máximo de ocupantes estarán en la zona; se asigna un horario de actividad con el cual se asigna la potencia que genera cada persona por hora (para este caso la potencia es 108 W por persona). | Para la ocupación se ingresa la cantidad de personas por metro cuadrado, así como los tiempos en que eso ocurre, para la parte metabólica, se ingresa la tasa metabólica que se expresa en watts por persona y el nivel de vestimenta de las personas. |

Tabla E.4. Reportes de salida.

| Características | EnergyPlus Versión 8.3.2 | DesignBuilder Versión 3.4.0.039 |
|-----------------|---|--|
| Tablas | Se debe de introducir tipo de reporte que se desea, en el caso se utilizó " <i>All Summry</i> " ya que muestra todos los resultados globales y generales en tablas además para visualizar estos se debe de indicar el formato y las unidades en el que se quiere visualizar los resultados. | Genera las tablas con los resultados globales y generales en tablas. Para ser visualizada estas tablas se debe de ingresar en resumen después de haber simulado. |
| Variabes | Se debe indicar las variables de las cuales se quieren ver resultados. | Reúne las variables en nueve grupos de las cuales se quieren ver resultados, los |

| Características | EnergyPlus Versión 8.3.2 | DesignBuilder Versión 3.4.0.039 |
|--|---|---|
| | Cuenta con aproximadamente 545 resultados de variables. | cuales son: confort, ganancias internas, cerramientos y ventilación, cargas del sistema, consumos desglosados, consumos totales, producción de CO2, datos climáticos del sitio y resultados de superficies. |
| Diagnostico | Tiene la capacidad al simular de indicar errores y advertencias e indicar la causa, además tiene una opción la cual al simular da un reporte más detallado del error o la advertencia que esté sucediendo. | Cuando termina de simular muestra un cuadro de dialogo en el cual indica errores y advertencias sobre el modelo. |
| Programas para visualización de resultados | No tiene un entorno grafico para visualizar los resultados por lo tanto es indispensable el uso de herramientas de terceros para visualizar los resultados, algunos de esta herramienta son: <i>Results Viewer</i> de OpenStudio, <i>Results Viewer</i> de DesignBuilder y XesoView, entre otros. | Tiene su propia interfaz gráfica para visualizar los resultados. |

ANEXO F. RESULTADOS DE SIMULACIÓN

Dentro de este anexo se presenta los resultados de simulación del programa EnergyPlus para las variables de temperatura, humedad relativa y Horas de discomfort; correspondientes a las zonas críticas:

- **Resultados de temperatura y humedad relativa:** La Tabla F.1 presentan los resultados de temperatura y humedad obtenidos del proceso de simulación en EnergyPlus para las zonas críticas.

Tabla F.1. Temperatura, humedad y sensación térmica de las zonas críticas.

| Zona Criticas | Temperatura promedio Anual [°C] | Humedad Promedio Anual [%] | Índice Sensación Térmica por Calor[°C] |
|-----------------------|---------------------------------|----------------------------|--|
| Pasillos cuarto piso | 23,02 | 82,26 | 23,33 |
| Dirección E3T | 23,91 | 68,89 | 23,89 |
| Pasillos primer piso | 23,56 | 89,79 | 24,44 |
| Sala Reuniones | 24,26 | 67,01 | 24,44 |
| CCTV | 24,53 | 55,71 | 24,44 |
| Pasillos segundo piso | 24,04 | 85,23 | 25,00 |
| Pasillos tercer piso | 24,20 | 84,30 | 25,00 |
| Sala Docentes Cátedra | 24,60 | 71,86 | 25,00 |
| Aula 404 | 24,71 | 69,80 | 25,00 |
| Oficinas quinto piso | 25,27 | 73,12 | 25,56 |
| Aula 401 | 25,40 | 66,60 | 25,56 |
| Aula 405 | 25,44 | 67,71 | 25,56 |
| Aula 406 | 25,45 | 68,98 | 26,11 |

| Zona Criticas | Temperatura promedio Anual [°C] | Humedad Promedio Anual [%] | Índice Sensación Térmica por Calor[°C] |
|----------------------------|---------------------------------|----------------------------|--|
| Aula 304 | 26,04 | 72,20 | 27,22 |
| Sala de Trabajo Individual | 25,88 | 82,30 | 27,78 |
| Aula 306 | 26,06 | 73,81 | 27,78 |
| Aula 103 | 25,95 | 82,92 | 27,78 |
| Aula 402 | 26,35 | 68,40 | 27,78 |
| Aula 207 | 26,24 | 72,78 | 27,78 |
| Aula 206 | 26,38 | 69,68 | 27,78 |
| Aula 305 | 26,32 | 72,05 | 27,78 |
| Aula 301 | 26,41 | 72,20 | 27,78 |
| Aula 204 | 26,40 | 72,59 | 27,78 |
| Aula 201 | 26,43 | 71,73 | 27,78 |
| Aula 302 | 26,47 | 70,90 | 27,78 |
| Aula 202 | 26,91 | 70,03 | 28,89 |
| Aula 205 | 26,90 | 70,55 | 28,89 |
| Sala de Trabajo Grupal | 27,18 | 72,02 | 29,44 |

- **Resultados de confort:** La Tabla F.2 contiene las horas de disconfort anual para las zonas críticas según la norma ASHRAE 55-2004.

Tabla F.2. Horas de disconfort en las zonas críticas.

| Zona Criticas | Horas de Disconfort Anual [h] | Porcentaje Anual de Disconfort [%] |
|-----------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| Sala Docentes Cátedra | 965,08 | 11,01 |
| Dirección E3T | 2 960,00 | 33,78 |
| Oficinas quinto piso | 1 952,00 | 22,28 |
| Aula 103 | 2 085,00 | 23,8 |
| Pasillos primer piso | 2 960,00 | 33,78 |
| Aula 201 | 2 395,00 | 27,34 |
| Aula 202 | 2 579,00 | 29,44 |

| Zona Criticas | Horas de Disconfort Anual [h] | Porcentaje Anual de Disconfort [%] |
|----------------------------|--------------------------------------|---|
| Aula 204 | 2 066,00 | 23,58 |
| Aula 205 | 3 514,00 | 40,11 |
| Aula 206 | 609 | 6,95 |
| Aula 207 | 3 005,00 | 34,3 |
| Pasillos segundo piso | 880 | 10,04 |
| Aula 301 | 3 300,00 | 37,67 |
| Aula 302 | 2 906,00 | 33,17 |
| Aula 304 | 2 973,98 | 33,94 |
| Aula 305 | 3 417,00 | 39 |
| Aula 306 | 2 368,00 | 27,03 |
| Pasillos tercer piso | 888 | 10,13 |
| Aula 401 | 1 866,00 | 21,3 |
| Aula 402 | 208 | 2,37 |
| Aula 404 | 213 695,00 | 24,39 |
| Aula 405 | 1 484,00 | 16,94 |
| Aula 406 | 782 | 8,92 |
| Pasillos cuarto piso | 888 | 10,13 |
| Sala de Trabajo Individual | 4 628,27 | 52,83 |
| Sala Reuniones | 4 381,77 | 50,02 |
| CCTV | 1 410,87 | 16,1 |
| Sala de Trabajo Grupal | 4 629,97 | 52,85 |