

**ESTUDIO DE LAS POSIBILIDADES QUE OFRECEN LAS HERRAMIENTAS  
COMPUTACIONALES PARA EL ANÁLISIS DE EDIFICIOS CONSTRUIDOS Y  
SU MEJORA DESDE UN PUNTO DE VISTA ENERGÉTICO EN UN CLIMA  
CÁLIDO SECO**

**DANIELA BECERRA CARREÑO  
MIGUEL ÁNGEL DIAZ TORRES**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA  
2016**

**ESTUDIO DE LAS POSIBILIDADES QUE OFRECEN LAS HERRAMIENTAS  
COMPUTACIONALES PARA EL ANÁLISIS DE EDIFICIOS CONSTRUIDOS Y  
SU MEJORA DESDE UN PUNTO DE VISTA ENERGÉTICO EN UN CLIMA  
CÁLIDO SECO**

**DANIELA BECERRA CARREÑO  
MIGUEL ÁNGEL DIAZ TORRES**

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

**DIRECTOR**

**JULIAN E. JARAMILLO IBARRA  
Ph.D en Ingeniería Mecánica**

**CO DIRECTOR**

**OMAR A. GELVES AROCHA  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2016**

## DEDICATORIA

*A Dios que ha estado y siempre estará en mi camino.*

*A mi preciosa familia, Wilson Becerra, Olga Carreño y Camilo Becerra. No podría haberlo logrado sin su ayuda.*

*A mi compañero Miguel Díaz, el único que entenderá como todo ese tiempo invertido ha valido la pena.*

*A mi Apita, Fabio, Tío Tato, Leo y el resto de mi enorme familia. Esta es solo una de las metas que lograremos juntos.*

*Ingeniera Daniela Becerra Carreño*

## DEDICATORIA

*A Dios que me ha acompañado siempre.*

*A mi familia por ser el motor de mi vida, especialmente a mi  
mama.*

*A mi compañera Daniela Becerra, por todo el tiempo invertido  
y los consejos pertinentes.*

*A la Apita, Fabio, Wilson Becerra y Olga Carreño por toda la  
ayuda en este largo camino.*

*Ingeniero Miguel Ángel Díaz Torres*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Al Ph.D en Ingeniería Mecánica Julián Ernesto Jaramillo Ibarra por todo el conocimiento aportado y su ayuda a lo largo del proyecto de grado.*

*Al Ingeniero mecánico Omar Armando Gelves Arocha, docente de la Escuela de Ingeniería Mecánica por el tiempo empleado y acompañamiento en este proyecto.*

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>21</b>
<b>1. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO .....</b>	<b>22</b>
<b>1.1 OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>22</b>
<b>1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>22</b>
<b>2. CONSIDERACIONES GENERALES .....</b>	<b>24</b>
<b>2.1 CARGA TÉRMICA.....</b>	<b>24</b>
<b>2.1.1 Cálculo de la carga térmica para refrigeración.. .....</b>	<b>26</b>
<b>2.2 CONFORT TÉRMICO.....</b>	<b>27</b>
<b>2.2.1 Recomendaciones para el confort térmico.....</b>	<b>28</b>
<b>2.2.2 Producción de calor en el cuerpo humano.....</b>	<b>29</b>
<b>2.3 CLIMATIZACIÓN SOLAR PASIVA.....</b>	<b>29</b>
<b>2.3.1 Iluminación natural .....</b>	<b>30</b>
<b>2.3.2 Relación ventana – pared.....</b>	<b>31</b>
<b>2.3.3 Protección solar .....</b>	<b>32</b>
<b>2.3.3.1 Elementos horizontales exteriores.....</b>	<b>32</b>
<b>2.3.3.2 Elementos verticales exteriores .....</b>	<b>33</b>
<b>2.3.3.3 Elementos de protección solar interior.....</b>	<b>34</b>
<b>2.3.3.4 Vidrios para protección solar.. .....</b>	<b>35</b>
<b>2.3.4 Orientación para el clima cálido seco.....</b>	<b>36</b>
<b>2.3.4.1 Orientación Norte en las ventanas .....</b>	<b>37</b>
<b>2.3.4.2 Orientación Sur de las ventanas .....</b>	<b>38</b>
<b>2.3.4.3 Orientación Este de las ventanas .....</b>	<b>38</b>
<b>2.3.4.4 Orientación Oeste de las ventanas .....</b>	<b>38</b>
<b>2.3.5 Ventilación natural.....</b>	<b>38</b>
<b>2.3.5.1 Ventilación unilateral.....</b>	<b>39</b>
<b>2.3.5.2 Ventilación cruzada .....</b>	<b>39</b>

<b>2.4 INERCIA TÉRMICA .....</b>	<b>40</b>
<b>2.5 TRNSYS .....</b>	<b>42</b>
<b>2.6 ENERGYPLUS .....</b>	<b>43</b>
<b>2.7 GOOGLE SKETCH UP .....</b>	<b>44</b>
<b>2.8 OPEN STUDIO .....</b>	<b>45</b>
<b>3. METODOLOGÍA PARA REALIZAR LA SIMULACIÓN DEL EDIFICIO.....</b>	<b>46</b>
<b>3.1 MODELAMIENTO Y ADQUISICIÓN DE DATOS DE LA EDIFICACIÓN .....</b>	<b>47</b>
<b>3.1.1 Información de la edificación.....</b>	<b>47</b>
<b>3.1.2 Datos meteorológicos del lugar.. .....</b>	<b>48</b>
<b>3.1.2.1 Variables climáticas obtenidas indirectamente.. .....</b>	<b>49</b>
<b>3.1.2.2 Conversión al formato EPW.....</b>	<b>52</b>
<b>3.1.3 Datos arquitectónicos del edificio.....</b>	<b>53</b>
<b>3.1.4 Materiales de construcción del edificio. ....</b>	<b>54</b>
<b>3.1.4.1 Materiales de construcción para muros exteriores. ....</b>	<b>55</b>
<b>3.1.4.2 Materiales de construcción para las particiones internas. ....</b>	<b>55</b>
<b>3.1.4.3 Materiales de construcción de la cubierta.....</b>	<b>57</b>
<b>3.1.4.4 Materiales de construcción de los suelos. ....</b>	<b>58</b>
<b>3.1.4.5 Materiales de construcción de las ventanas y puertas.. .....</b>	<b>59</b>
<b>3.1.5 Perfil de uso del edificio.....</b>	<b>60</b>
<b>3.1.6 Definición de cargas sensibles y latentes. ....</b>	<b>61</b>
<b>3.1.6.1 Carga térmica debido a las personas.....</b>	<b>61</b>
<b>3.1.6.2 Carga térmica debido a los equipos misceláneos. ....</b>	<b>62</b>
<b>3.1.6.3 Carga térmica debido a los equipos de iluminación.....</b>	<b>63</b>
<b>3.1.7 Sistema de acondicionamiento de aire. ....</b>	<b>66</b>
<b>3.1.8 Infiltraciones de aire. ....</b>	<b>67</b>
<b>3.1.8.1 Infiltración por fugas. ....</b>	<b>68</b>
<b>3.1.8.2 Infiltración por abertura de puertas.....</b>	<b>72</b>
<b>3.2 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN.....</b>	<b>73</b>
<b>3.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>78</b>
<b>4. VALIDACIÓN DEL MODELO.....</b>	<b>79</b>

<b>4.1 ADQUISICION DE DATOS DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA</b>	<b>79</b>
4.1.1 Datos arquitectónicos de la Maestría en Ingeniería Mecánica.....	79
4.1.3 Definición de cargas sensibles y latentes en la Maestría.....	82
4.1.3.1 Perfil de uso de la Maestría.....	82
4.1.3.2 Definición de cargas sensibles por luces y equipos en la Maestría.....	82
4.1.4 Infiltraciones de aire en la Maestría.....	83
4.1.5 Ventilación natural en la Maestría .....	84
<b>4.2 MONTAJE EXPERIMENTAL</b> .....	<b>85</b>
<b>4.3 RESULTADO DE LA VALIDACIÓN</b> .....	<b>86</b>
<b>5. ESTRATEGIAS PARA REDUCIR LA CARGA TÉRMICA DEL EDIFICIO</b> .....	<b>87</b>
5.1 SALIENTES HORIZONTALES.....	87
5.2 SALIENTES MIXTAS .....	88
5.3 AISLAMIENTO EN MUROS EXTERIORES.....	89
5.4 VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS DEL TIPO DE VIDRIO ...	89
5.5 LÁMPARAS ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES .....	90
5.6 OTRAS ESTRATEGIAS .....	92
5.7 RESULTADOS DE LAS ESTRATEGIAS IMPLEMENTADAS .....	92
5.8 ANÁLISIS ECONÓMICO .....	94
5.9 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	96
<b>6. CRITERIOS PARA LA ADECUADA SELECCIÓN ENTRE ENERGYPLUS Y TRNSYS</b> .....	<b>99</b>
<b>OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>107</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>108</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>110</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>113</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Cargas latentes y sensibles en un local .....	24
<b>Figura 2.</b> Balance de calor en el cuerpo humano interactuando con el ambiente .....	27
<b>Figura 3.</b> Eficacia luminosa de distintas fuentes luminosas .....	30
<b>Figura 4.</b> Aprovechamiento de la luz solar .....	32
<b>Figura 5.</b> Ángulo de sombra vertical.....	32
<b>Figura 6.</b> Clasificación de los elementos horizontales exteriores .....	33
<b>Figura 7.</b> Ángulo de sombra horizontal.....	33
<b>Figura 8.</b> Clasificación de los elementos verticales exteriores .....	34
<b>Figura 9.</b> Efecto invernadero en una ventana con persiana.....	35
<b>Figura 10.</b> Vidrio para protección solar .....	35
<b>Figura 11.</b> Doble Vidriado hermético.....	36
<b>Figura 12.</b> Orientación ideal en clima cálido .....	37
<b>Figura 13.</b> Ubicación ideal de las habitaciones de un local para clima cálido .....	37
<b>Figura 14.</b> Ventilación unilateral en un local.....	39
<b>Figura 15.</b> Ventilación cruzada en un local .....	40
<b>Figura 16.</b> Amortiguamiento y retardo.....	41
<b>Figura 17.</b> Coeficientes de amortiguamiento y desfase de materiales para techo .....	41
<b>Figura 18.</b> Análisis de la edificación en TRNSYS.....	43
<b>Figura 19.</b> Análisis de la edificación en EnergyPlus.....	44
<b>Figura 20.</b> Análisis del edificio modelado en Google SketchUp .....	45
<b>Figura 21.</b> Análisis de la edificación en OpenStudio .....	45
<b>Figura 22.</b> Vista isométrica del tercer piso de la edificación en Google SketchUp.....	47
<b>Figura 23.</b> Fachadas del edificio según la orientación geográfica.....	47
<b>Figura 24.</b> Entalpía del aire a la temperatura de bulbo húmedo .....	49
<b>Figura 25.</b> Ecuaciones para estimar la radiación difusa horizontal .....	51
<b>Figura 26.</b> Equivalencia en grados de los principales puntos cardinales .....	51
<b>Figura 27.</b> Archivo en formato CSV.....	52
<b>Figura 28.</b> Weather Converter.....	53

<b>Figura 29.</b> Extrusión del edificio desde el plano en Google SketchUp .....	53
<b>Figura 30.</b> Librería de OpenStudio y TRNSYS.....	54
<b>Figura 31.</b> Muros exteriores del edificio .....	55
<b>Figura 32.</b> Particiones internas del edificio.....	56
<b>Figura 33.</b> Cubierta plana del edificio.....	57
<b>Figura 34.</b> Suelo sobre el terreno.....	58
<b>Figura 35.</b> Entrepisos .....	59
<b>Figura 36.</b> Tipo de ventanas en el edificio.....	60
<b>Figura 37.</b> Lámpara utilizada en la edificación de 72 W .....	64
<b>Figura 38.</b> Bombillo de 15 W para baños .....	64
<b>Figura 39.</b> Tipos de luminarias .....	66
<b>Figura 40.</b> Temperatura y cronograma para los sistemas HVAC en OpenStudio .	67
<b>Figura 41.</b> Temperatura y cronograma para los sistemas HVAC en TRNSYS .....	67
<b>Figura 42.</b> Coeficiente de stack para el edificio.....	68
<b>Figura 43.</b> Coeficiente de viento para cada piso del edificio .....	69
<b>Figura 44.</b> Tipos de ventana.....	69
<b>Figura 45.</b> Factor de área estimada de fugas para ventanas y puertas .....	70
<b>Figura 46.</b> Factor de área estimada de fugas para marcos de ventanas y puertas .....	70
<b>Figura 47.</b> Caudal de infiltración.....	72
<b>Figura 48.</b> Variación de la carga térmica.....	73
<b>Figura 49.</b> Unidad condensadora seleccionada .....	75
<b>Figura 50.</b> Costo específico de la energía.....	76
<b>Figura 51.</b> Proporción de los consumos eléctricos anuales del edificio .....	77
<b>Figura 52.</b> Zonas en la Maestría en Ingeniería Mecánica .....	79
<b>Figura 53.</b> Fachadas de la Maestría según la orientación geográfica .....	80
<b>Figura 54.</b> Ventanas en la Maestría .....	82
<b>Figura 55.</b> Tipo de ventana según Carrier.....	84
<b>Figura 56.</b> Caudal de aire en m <sup>3</sup> /h .....	84
<b>Figura 57.</b> Adquisidor de datos .....	85

<b>Figura 58.</b> Variación diaria de la temperatura interna de la oficina de la Maestría	86
<b>Figura 59.</b> Salientes horizontales en las fachadas del edificio	87
<b>Figura 60.</b> Salientes mixtas en las fachadas del edificio	88
<b>Figura 61.</b> Aislamiento en muros exteriores	89
<b>Figura 62.</b> Doble vidriado hermético	90
<b>Figura 63.</b> Lámpara utilizada en la edificación de 38 W	91
<b>Figura 64.</b> Variables de salida	99
<b>Figura 65.</b> Adquisición de las variables de salida	100
<b>Figura 66.</b> Librería de materiales	100
<b>Figura 67.</b> Equipos de acondicionamiento de aire	101
<b>Figura 68.</b> Día de diseño	101
<b>Figura 69.</b> Implementación de techos verdes	102
<b>Figura 70.</b> Fracciones específicas para las luces	103
<b>Figura 71.</b> Puentes térmicos	103
<b>Figura 72.</b> Superficies con calefacción o refrigeración	104
<b>Figura 73.</b> Parámetros para la caracterización de la ventana	104
<b>Figura 74.</b> Measures	105

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Clasificación de la carga térmica en un local.....	25
<b>Tabla 2.</b> Tasa de calor aportada de acuerdo al nivel de actividad.....	29
<b>Tabla 3.</b> Secuencia y descripción de la metodología implementada .....	46
<b>Tabla 4.</b> Descripción y área para cada espacio del edificio .....	54
<b>Tabla 5.</b> Materiales de construcción para muros exteriores .....	55
<b>Tabla 6.</b> Materiales de construcción de las particiones interiores.....	56
<b>Tabla 7.</b> Materiales de construcción de la cubierta.....	57
<b>Tabla 8.</b> Materiales de construcción del suelo del terreno.....	58
<b>Tabla 9.</b> Materiales de construcción de los entrepisos .....	59
<b>Tabla 10.</b> Dimensiones y material de las puertas .....	59
<b>Tabla 11.</b> Dimensiones y material de las ventanas .....	60
<b>Tabla 12.</b> Densidad de personas por metro cuadrado.....	61
<b>Tabla 13.</b> Densidad de equipos misceláneos por metro cuadrado para la cafetería .....	63
<b>Tabla 14.</b> Factor radiante de los equipos misceláneos.....	63
<b>Tabla 15.</b> Densidad de equipos de iluminación por metro cuadrado .....	64
<b>Tabla 16.</b> Fracción radiante, visible, aire de retorno y convectivo para cada tipo de luminaria .....	65
<b>Tabla 17.</b> Área total efectiva de fugas para cada zona del edificio.....	71
<b>Tabla 18.</b> Infiltración por abertura y cierre de puertas .....	73
<b>Tabla 19.</b> Carga térmica máxima para cada zona .....	74
<b>Tabla 20.</b> Consumo total del edificio.....	77
<b>Tabla 21.</b> Áreas de cada zona de la Maestría .....	80
<b>Tabla 22.</b> Materiales de construcción de la Maestría .....	81
<b>Tabla 23.</b> Densidad de personas por metro cuadrado en la Maestría .....	82
<b>Tabla 24.</b> Densidad de los equipos de iluminación por metro cuadrado en la Maestría.....	83
<b>Tabla 25.</b> Área efectiva de fugas en la Maestría .....	83

<b>Tabla 26.</b> Ventilación por zona en la Maestría .....	85
<b>Tabla 27.</b> Dimensiones y material para las salientes horizontales .....	87
<b>Tabla 28.</b> Dimensiones y material para las salientes mixtas .....	88
<b>Tabla 29.</b> Dimensiones y material para el aislamiento en muros exteriores .....	89
<b>Tabla 30.</b> Dimensiones y propiedades para el vidrio utilizado .....	90
<b>Tabla 31.</b> Densidad de equipos de iluminación eficiente por metro cuadrado.....	91
<b>Tabla 32.</b> Consumo eléctrico anual del edificio base.....	92
<b>Tabla 33.</b> Consumo eléctrico del edificio según las estrategias implementadas ...	93
<b>Tabla 34.</b> Inversión y volumen de los elementos de sombreado .....	94
<b>Tabla 35.</b> Valor presente neto .....	95
<b>Tabla 36.</b> Inversión y tiempo de recuperación de las estrategias .....	95
<b>Tabla 37.</b> Parámetros para la comparación entre EnergyPlus y TRNSYS .....	105

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Perfiles de uso del edificio analizado .....	114
ANEXO B. Densidad de equipos misceláneos por metro cuadrado .....	122
ANEXO C. Perfiles de uso de la maestría .....	123
ANEXO D. Densidad de equipos misceláneos por metro cuadrado en la maestría .....	126

## RESUMEN

**TÍTULO DEL PROYECTO:** ESTUDIO DE LAS POSIBILIDADES QUE OFRECEN LAS HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES PARA EL ANÁLISIS DE EDIFICIOS CONSTRUIDOS Y SU MEJORA DESDE UN PUNTO DE VISTA ENERGÉTICO EN UN CLIMA CÁLIDO SECO\*

**AUTORES:** Daniela Becerra Carreño  
Miguel Angel Diaz Torres \*\*

**PALABRAS CLAVE:** Simulación, consumo energético, herramientas computacionales, TRNSYS, EnergyPlus, GOOGLE SKETCHUP.

### DESCRIPCIÓN:

El modelado y simulación de edificaciones se ha convertido en una herramienta primordial para predecir el comportamiento del edificio antes y después de construido. Debido a que la legislación colombiana y las certificaciones internacionales hacen énfasis en el consumo energético, es necesario analizar la viabilidad de alternativas que sean rentables y permitan mejorar el confort térmico, el ahorro de energía y la sostenibilidad en las construcciones. Dichas alternativas, pueden aplicarse durante todas las fases a lo largo del diseño y construcción de un edificio.

Con el creciente interés en el cambio climático y el calentamiento global, los programas de simulación energética son cada vez más necesarios en el sector de la construcción. Cada herramienta ofrece múltiples posibilidades y el uso de ellas, depende de los requerimientos y características a evaluar.

De acuerdo con lo anterior, Este proyecto propone la simulación energética durante un año de un edificio en la Ciudad de Bucaramanga, analizando las cargas internas, equipos de acondicionamiento de aire y características arquitectónicas de su envolvente, mediante dos herramientas computacionales: TRNSYS y EnergyPlus, las cuales tienen una interfaz gráfica en común: GOOGLE SKETCHUP. Después, se simulan estrategias que reduzcan la demanda energética y se seleccionan las más viables a implementar en un clima cálido seco.

---

\*Proyecto de grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Julian Ernesto Jaramillo Ibarra.

## ABSTRACT

**TITLE:** STUDY OF THE COMPUTATIONAL TOOLS POSSIBILITIES FOR THE ANALYSIS OF CONSTRUCTED BUILDINGS AND THEIR IMPROVEMENT FROM AN ENERGETIC POINT OF VIEW IN A DRY WARM WEATHER\*

**AUTHORS:** Daniela Becerra Carreño  
Miguel Angel Diaz Torres \*\*

**KEY WORDS:** Simulation, energy consumption, computational tools, TRNSYS, EnergyPlus, GOOGLE SKETCHUP.

### DESCRIPTION:

The modeling and simulation of buildings has become an essential way for predicting the behavior of the building before and after being built. Since the colombian laws and international certifications focus in the energy consumption, it is necessary to analyze the viability of alternatives that are cost effective and improve the thermal comfort, saving energy and the sustainability of buildings. These alternatives can be applied at all stages throughout the design and the construction of a building.

With the increasing interest in the climate change and the global warming, the energy simulation programs are increasingly needed in the construction sector. The choice of which simulation software should be used might vary in each case, each tool offers multiple possibilities and the use of them, depends on the requirements and the features to evaluate.

According to the above, this project proposes the energy simulation for a year of a building in the city of Bucaramanga, analyzing the internal loads, air conditioning systems and architectural features of its envelope, using two computational tools: TRNSYS and EnergyPlus, which have a graphical interface in common: GOOGLE SKETCHUP. Then, strategies that reduce energy demand are simulated and the most viable are selected to implement in a warm dry weather.

---

\* Graduation project.

\*\* Faculty of Physics-Mechanic Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Julian Ernesto Jaramillo Ibarra.

## INTRODUCCIÓN

El análisis de la carga térmica en los edificios ofrece a los ingenieros herramientas para identificar oportunidades de ahorro energético y facilitar la toma de decisiones durante el diseño, con el fin de tener edificaciones sostenibles y eficientes que ofrezcan óptimas condiciones medioambientales. Estos análisis permiten reducir el tamaño de los sistemas de acondicionamiento de aire, teniendo implicaciones en los costos de los equipos y el consumo energético, generando una configuración del sistema de refrigeración más compacto, un menor peso en la estructura y un edificio con mayor espacio.

Por lo tanto, se plantea una simulación energética de una edificación, donde se hallará la carga térmica y se evaluarán alternativas fiables para la reducción del consumo energético. Además, se estudiarán dos herramientas energéticas donde se podrá examinar cuáles son las ventajas y desventajas de cada una, para producir criterios significativos que permitan la selección adecuada en un futuro análisis para otra edificación.

Este proyecto contempla los siguientes capítulos:

Capítulo 1. Se presentan los objetivos del proyecto.

Capítulo 2. Se presenta el resumen teórico de los conceptos utilizados en el desarrollo del proyecto.

Capítulo 3. Se presenta la metodología a realizar para simular y modelar el edificio.

Capítulo 4. Se realiza la validación del modelo.

Capítulo 5. Se presenta la selección e implementación de estrategias orientadas al ahorro energético.

Capítulo 6. Se presentan criterios para la selección de las herramientas computacionales utilizadas en futuros estudios energéticos.

# 1. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

## 1.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir con la misión de la Universidad Industrial de Santander comprometida con el fomento de una cultura eco-ambiental mediante el análisis energético a edificaciones que permitan el uso racional de la energía para necesidades de confort.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar análisis energéticos al edificio simulado.  
Para lo cual se deberá:
  - Adquirir información de las condiciones ambientales necesarias para el estudio como, humedad relativa, radiación solar global horizontal, temperatura de bulbo seco, velocidad y dirección del viento, propias del sitio.
  - Obtener información de los planos arquitectónicos, materiales, características de los equipos y perfil de uso de la edificación.
  - Realizar la modelización del edificio.
- Evaluar el consumo energético\* y la carga térmica\*\* en el edificio estudiado.  
Se realizará por medio de las herramientas informáticas TRNSYS y EnergyPlus valorando las cargas por climatización e iluminación.

---

\* El consumo energético es el gasto total de energía para mantener el confort, iluminación y equipos misceláneos en un local.

\*\* La carga térmica es la cantidad de energía que se necesita en un área para conservar determinadas condiciones de temperatura y humedad para una aplicación específica.

- Proponer estrategias de reducción para el consumo energético requerido para iluminación y climatización.
- Generar criterios que permitan la selección adecuada de la herramienta computacional en un futuro estudio para otra edificación en el clima analizado.

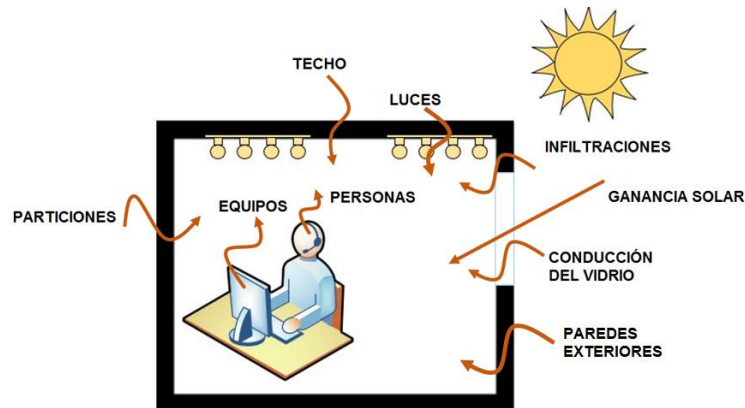
## 2. CONSIDERACIONES GENERALES

Este capítulo presenta un resumen de los conceptos teóricos tratados en el desarrollo del proyecto y de las herramientas computacionales que se trabajaron: Google SketchUp, EnergyPlus, OpenStudio y TRNSYS.

### 2.1 CARGA TÉRMICA

Es la cantidad de energía que se necesita en un área para conservar determinadas condiciones de temperatura y humedad para una aplicación específica. El cálculo de la carga térmica de una instalación de aire acondicionado consiste en determinar las contribuciones de calor que deben extraerse. El calor aportado puede ser sensible y/o latente (ver Figura 1).

**Figura 1.** Cargas latentes y sensibles en un local



El calor sensible se manifiesta por variaciones de la temperatura de bulbo seco del aire, y es debido a<sup>1</sup>:

- Radiación solar a través de las superficies acristaladas.
- Radiación y conducción a través de paredes y techo.

<sup>1</sup> CONSTRUCCIÓN B.H.I DE VICTORIA GASTEIZ. MSFC203\_Instalaciones de climatización y ventilación [diapositivas]. España, p. 3.

- Infiltraciones de aire.
- Personas que ocupan el local.
- Iluminación del local.
- Equipos en el interior del local.
- Aire de ventilación.

El calor latente se manifiesta por variaciones del contenido de humedad (vapor de agua) en el ambiente, y es debido a<sup>2</sup>:

- Infiltraciones de aire.
- Personas que ocupan el local.
- Aire de ventilación.
- Electrodomésticos que trabajen con agua y estén en contacto directo con el ambiente.

La carga térmica también se clasifica en cargas internas y externas (ver Tabla 1). La diferencia radica en donde se transmite la carga a la masa de aire en movimiento (dentro o fuera del edificio).

**Tabla 1.** Clasificación de la carga térmica en un local

<b>CARGAS EXTERNAS</b>	<b>CARGA INTERNAS</b>
A través de paredes y techos	Generadas por las personas
A través de superficies acristaladas, ventanas y claraboyas	Iluminación
A través de la ventilación	Generadas por equipos misceláneos

<sup>2</sup> CONSTRUCCIÓN B.H.I DE VICTORIA GASTEIZ, Op. cit., p. 4.

**2.1.1 Cálculo de la carga térmica para refrigeración.** El cálculo de la carga térmica ( $Q_r$ ) es necesario para conocer la capacidad de refrigeración de los equipos de aire acondicionado que se implementan y de su potencia eléctrica de consumo. La carga térmica total de un local se obtiene de la siguiente expresión:

$$Q_r = Q_s + Q_l$$

Donde,  $Q_r$  es la carga térmica total en W,  
 $Q_s$  es la carga térmica sensible en W, y  
 $Q_l$  es la carga térmica latente en W.

Las condiciones y datos más importantes para evaluar el estimado de la carga térmica en un edificio o espacio determinado son:

- Datos atmosféricos del edificio o local.
- Características y materiales de la edificación.
- Orientación del edificio.
- Dirección de las paredes del espacio a acondicionar.
- Momento del día en que la carga llega a su pico.
- Espesor y características de los aislamientos.
- Cantidad de sombra en las zonas envidriadas.
- Número de ocupantes por zona/tipo de actividad.
- Fuentes de calor internas.
- Cantidad de ventilación requerida.
- Temperatura y humedad relativa requeridas en el interior de la edificación.

## 2.2 CONFORT TÉRMICO

El cuerpo se encuentra en un estado de equilibrio térmico con su medio ambiente cuando este pierde exactamente la misma cantidad que gana (ver Figura 2).

La relación entre la producción de calor del cuerpo y sus otras ganancias y pérdidas de calor es<sup>3</sup>:

$$M - W = E + R + C + S$$

Donde M es la tasa metabólica en  $W/m^2$ ,

W es la tasa de trabajo mecánico externo en  $W/m^2$ ,

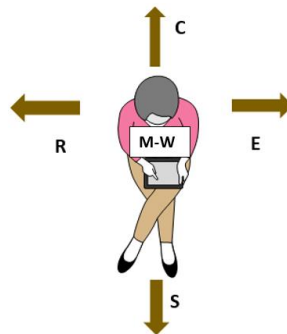
E es la tasa de pérdida de calor latente por evaporación en la transpiración en  $W/m^2$ ,

R es la tasa de pérdida de calor sensible desde la piel por radiación en  $W/m^2$ ,

C es la tasa de pérdida de calor sensible desde la piel por convección o conducción en  $W/m^2$ , y

S es la tasa de almacenamiento de calor en el cuerpo en  $W/m^2$ .

**Figura 2.** Balance de calor en el cuerpo humano interactuando con el ambiente



---

<sup>3</sup> TORRES, José Luís. Climatización considerando el ahorro de energía y el confort térmico de las personas en ambientes dedicados a tareas de oficina. Trabajo de maestría en Ingeniería. Santa Fe: Universidad Nacional de San Juan. Facultad de Ingeniería. 2010. p.8.

El confort térmico depende de los siguientes parámetros ambientales:

- Temperatura de rocío, bulbo húmedo y bulbo seco del aire.
- Presión de vapor del agua.
- Presión atmosférica.
- Humedad relativa y específica del aire.
- Temperatura radiante.
- Velocidad del aire.

El confort térmico depende de las siguientes condiciones térmicas no asimétricas<sup>4</sup>:

- Radiación térmica asimétrica.
- Corrientes de aire.
- Diferencia de temperatura vertical.
- Suelos fríos o calientes.

### **2.2.1 Recomendaciones para el confort térmico<sup>5</sup>**

- La temperatura del aire en calefacción debe estar entre 20 y 23°C, y en refrigeración entre 23 y 25°C.
- La humedad relativa debe estar entre el 40 y 60%. En locales donde existan riesgos por electricidad estática, el límite inferior de la humedad relativa será del 50%.
- La temperatura de rocío no debe ser menor a 2°C.
- Los trabajadores no deben estar expuestos a corrientes de aire cuya velocidad exceda los siguientes límites:
  - a) Trabajos en ambientes no calurosos: 0,25 m/s.
  - b) Trabajos sedentarios en ambientes calurosos: 0,50 m/s.
  - c) Para aire acondicionado en trabajos sedentarios: 0,25 m/s.

---

<sup>4</sup> ASHRAE. Handbook Fundamentals. Atlanta: ASHRAE Research, 2009. p. 183.

<sup>5</sup> Ibid., p. 180.

**2.2.2 Producción de calor en el cuerpo humano.** El cuerpo humano produce calor constantemente debido a necesidades fisiológicas. Se considera que solo el 20% de esa energía generada se utiliza, mientras que el restante debe disiparse al ambiente<sup>6</sup>.

Las tasas de generación de calor restante del cuerpo humano se miden mediante las unidades W/m<sup>2</sup> o Met, donde Este último equivale a 58 vatios por metro cuadrado de piel.

La producción de calor varía debido a los índices de metabolismo basal y muscular (actividades que realiza) el cuerpo humano. En la Tabla 2, se observan las tasas de calor aportadas por el ser humano para varias actividades.

**Tabla 2.** Tasa de calor aportada de acuerdo al nivel de actividad

GRADO DE ACTIVIDAD	APLICACIÓN TÍPICA	GANANCIA TOTAL DE CALOR		CALOR SENSIBLE		CALOR LATENTE	
		W	BTU/h	W	BTU/h	W	BTU/h
Sentado, relajado	Teatro, cine	100	350	60	210	40	140
Sentado, trabajo muy ligero	Oficina, hotel, apartamentos	120	420	65	230	55	190
Sentado, comiendo	Restaurante	170	580	75	255	95	325
Sentado, trabajo ligero	Oficina, hotel, apartamentos	150	510	75	255	75	255
Parado, trabajo ligero	Tienda, banco	185	640	90	315	95	325
Trabajo ligero	Empresa	230	780	100	345	130	435
Caminando 1,3 m/s, trabajo en máquinas ligero	Empresa	305	1040	100	345	205	695

## 2.3 CLIMATIZACIÓN SOLAR PASIVA

Son estrategias que se incorporan en el diseño arquitectónico de las edificaciones aprovechando la energía solar y la ventilación natural para crear condiciones de confort para sus ocupantes. No utiliza sistemas mecánicos.

<sup>6</sup> SOL ARQ. Producción de calor en el cuerpo humano. Disponible en: <http://www.sol-arq.com/index.php/confort-humano/produccion-calor> (último acceso: 20 de mayo de 2016)

**2.3.1 Iluminación natural.** Proporciona una opción válida para la iluminación de interiores y su contribución es favorable debido al ahorro y a la calidad de iluminación. Existen varias configuraciones para aprovechar la luz solar:

- Claraboyas.
- Tubo solar.
- Ventanas en sus distintas configuraciones.

La iluminación natural en comparación con la artificial presenta las siguientes ventajas<sup>7</sup>:

- Es una fuente renovable.
- Genera ahorro de energía si se realiza un buen diseño.
- Puede suministrar niveles de iluminación más altos en las horas diurnas (ver Figura 3).
- La luz solar directa genera menos calor por lumen.
- Incrementa el confort y bienestar de los ocupantes, debido a la influencia de esta sobre el carácter y los niveles de estado anímico.

**Figura 3.** Eficacia luminosa de distintas fuentes luminosas

<i>Fuente luminosa</i>	<i>Eficacia (lm/W)</i>
Sol	90-117 (según altitud)
Cielo claro	150
Cielo promedio	125
Lámpara incandescente (150w)	16 - 40
Tubo fluorescente (150w)	50 - 80
Lámpara de sodio de alta presión	40 - 140
Lámparas fluorescentes compacta (26w)	70

Fuente: CAMPOREALE, Patricia y DUTT, Gautam. Luz natural e iluminación de interiores. En: Manual de Iluminación Eficiente - Seminario de Iluminación Eficiente.

<sup>7</sup> CAMPOREALE, Patricia y DUTT, Gautam. Luz natural e iluminación de interiores En: Manual de Iluminación Eficiente - Seminario de Iluminación Eficiente. Primera edición. p. 298.

Se deben asegurar los siguientes niveles mínimos de iluminación para cada tipo de recinto<sup>8</sup>:

- Áreas de circulación y corredores: 50 luxes
- Escaleras y baños: 100 luxes
- Almacenes y bodegas: 100 luxes
- Oficinas generales y salas de conferencia: 300 luxes
- Oficinas abiertas y de dibujo: 500 luxes

**2.3.2 Relación ventana – pared.** Es la relación del área de acristalamiento (incluye parteluces y marcos) con el área bruta de la pared en donde se encuentra<sup>9</sup>.

$$RVP(\%) = \frac{\text{Área de acristalamiento}}{\text{Área bruta de pared exterior}}$$

Si el RVP es mayor a 40%, es necesario aplicar estrategias de sombreado para compensar la ganancia de energía.

Las ventanas y áreas de acristalamiento generalmente transfieren calor al edificio en una proporción más alta que las paredes y muros, ya que el vidrio tiene menor resistencia al flujo de calor que otros materiales de construcción. Por ende, una construcción con un alto RVP, ganará más calor que una edificación con un bajo RVP. Es por esta razón que es necesario balancear las ganancias de iluminación y acristalamiento contra las ganancias de calor en las necesidades de acondicionamiento de aire. La meta del diseño sostenible es encontrar mínimos niveles de iluminación sin exceder significativamente la ganancia de calor.

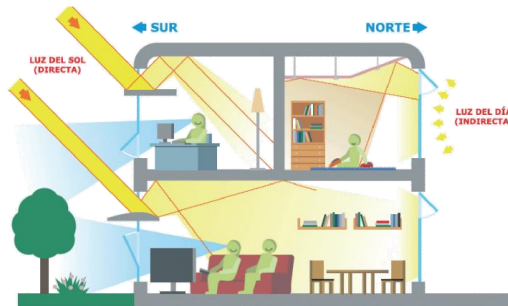
---

<sup>8</sup> MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público. Colombia: RETILAP, 2013.

<sup>9</sup> CAMARA DE COMERCIO DE BUCARAMANGA. Anexo No. 1 Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones [diapositivas]. Colombia, p.50.

Para el clima cálido seco, la adición de repisas reflectantes en la orientación Sur del edificio, como de techos reflectantes en la orientación Norte, permite aprovechar la luz del sol en el interior (ver Figura 4).

**Figura 4.** Aprovechamiento de la luz solar

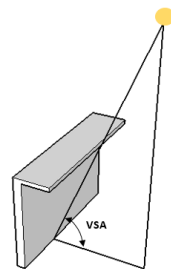


Fuente: AIDICO INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA CONSTRUCCIÓN. Guía de Sostenibilidad en la Edificación Residencial: Calidad del ambiente interior [diapositivas].

**2.3.3 Protección solar.** La protección solar de una edificación es obtenida por elementos exteriores, interiores y/o vidrios de protección solar que eviten la entrada de la radiación solar al interior.

**2.3.3.1 Elementos horizontales exteriores.** Son elementos que eliminan los rayos solares que tienen mayor altura solar. Se caracterizan por un ángulo de sombra vertical (ver Figura 5) y pueden ser las persianas venecianas exteriores, los doseles y los balcones.

**Figura 5.** Ángulo de sombra vertical



La clasificación tipológica de los elementos horizontales puede ser según su forma y posición relativa (ver Figura 6).

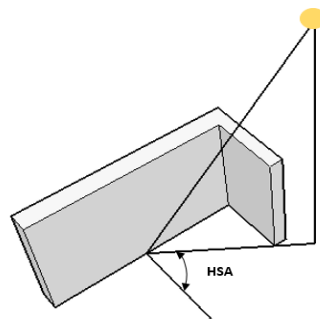
**Figura 6.** Clasificación de los elementos horizontales exteriores

	FORMA	POSICIÓN RELATIVA		
		PERPENDICULARES	PARALELOS	OBLICUOS
HORIZONTALES	RECTOS			
	CURVOS			
	QUEBRADOS			
	MIXTOS			

Fuente: González, Dania y Martínez, Rolando. Sistema de elementos de protección solar para los edificios en Cuba. Estudio de caso. En: Arquitectura y Urbanismo. No 3. (Dic, 2014); p. ISSN 1815-5898

**2.3.3.2 Elementos verticales exteriores.** Son las persianas verticales exteriores y aletas protectoras. Se caracterizan por ángulos de sombra horizontal (ver Figura 7). Son más eficaces cuando el sol está bajo (amanecer y atardecer) y orientado a la ventana, tal como ocurre en las fachadas Este y Oeste.

**Figura 7.** Ángulo de sombra horizontal



La clasificación tipológica de los elementos verticales puede ser según su forma y posición relativa (ver Figura 8).

**Figura 8.** Clasificación de los elementos verticales exteriores

	FORMA	POSICIÓN RELATIVA		
		PERPENDICULARES	PARALELOS	OBLICUOS
VERTICALES	RECTOS			
	CURVOS			
	QUEBRADOS			
	MIXTOS			

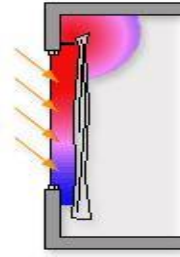
Fuente: González, Dania y Martínez, Rolando. Sistema de elementos de protección solar para los edificios en Cuba. Estudio de caso. En: Arquitectura y Urbanismo. No 3. (Dic, 2014); p. ISSN 1815-5898

**2.3.3.3 Elementos de protección solar interior.** Las persianas interiores ofrecen solamente protección parcial, ya que ocasionan una disminución de la radiación solar directa incidente sobre la zona, pero no evita que esta traspase el vidrio y se genere un efecto invernadero (ver Figura 9).

La efectividad que tienen las persianas, depende de la capacidad para reflejar la radiación solar incidente antes de que sea absorbida y convertida en ganancia térmica dentro del edificio<sup>10</sup>.

<sup>10</sup> MELHER. La protección solar en huecos de fachada. Disponible en: <http://www.revistatoldo.com/noticia.php?id=524> (último acceso: 20 de mayo de 2016).

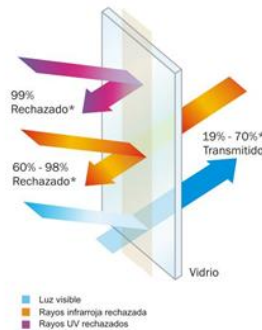
**Figura 9.** Efecto invernadero en una ventana con persiana



Fuente: ECOTECT COMMUNITY WIKI. Shading: solar control. Disponible en: [http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/Solar\\_Control](http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/Solar_Control)

**2.3.3.4 Vidrios para protección solar.** Se caracterizan por propiedades físicas que reflejan los rayos UV y la radiación solar que un vidrio ordinario dejaría pasar (ver Figura 10). Existen vidrios donde en clima cálido la capa externa refleja la radiación solar y en clima frío permite el paso de la radiación.

**Figura 10.** Vidrio para protección solar



Fuente: VIDRIOPERFIL. Películas con Recubrimiento Nano Ceramico Multicapa. Disponible en: [http://www.vidrioperfil.com/23122\\_Peliculas-con-Recubrimiento-Nano-Ceramico-Multicapa-de-Soluex.htm](http://www.vidrioperfil.com/23122_Peliculas-con-Recubrimiento-Nano-Ceramico-Multicapa-de-Soluex.htm)

Otra manera de proteger la edificación, consiste en una cámara de aire encerrada entre dos vidrios (ver Figura 11), de manera que se garantiza un volumen de aire

seco y estancado entre los vidrios utilizados, reduciendo así la transferencia de calor entre el interior del local y el ambiente.

**Figura 11.** Doble Vidriado hermético



Fuente: FENSTER. Vidrio doble. Disponible en: <http://www.fenster.es/productos/vidrios-cristales-ventanas-climalit/climalit-camara-doble-acristalamiento/>

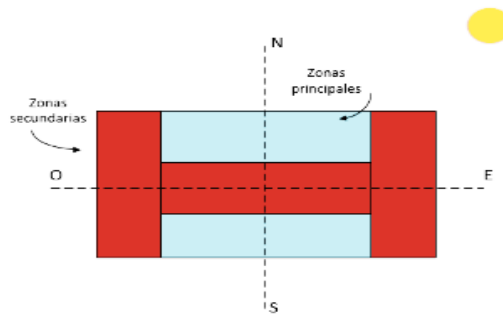
**2.3.4 Orientación para el clima cálido seco<sup>11</sup>.** Es de gran importancia en el diseño pasivo ya que, si se realiza adecuadamente, disminuye la carga térmica del edificio y mejora el confort térmico. En la arquitectura, la orientación determina la forma de la edificación, la fachada y la posición de las habitaciones.

En climas cálidos, la mayoría del área de acristalamiento y los cuartos principales debe estar en el lado Norte y/o Sur para evitar la radiación directa (ver Figura 12 y 13).

---

<sup>11</sup> MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana [diapositivas]. Colombia: 2012, p. 114.

**Figura 12.** Orientación ideal en clima cálido



**Figura 13.** Ubicación ideal de las habitaciones de un local para clima cálido



Fuente: IDEALISTA. ¿Qué orientación tiene que tener tu casa para ahorrar en energía? Disponible en: <http://www.idealista.com/news/inmobiliario/vivienda/2015/03/18/735557-que-orientacion-tiene-que-tener-tu-casa-para-ahorrar-en-energia>

### 2.3.4.1 Orientación Norte en las ventanas

- Es la óptima orientación para las ventanas de cualquier zona, ya que reciben menor radiación solar.
- Permite la instalación de ventanas grandes para recintos que demandan alta iluminación: estudios y salones.
- Si se requieren, son admisibles orientaciones ligeramente hacia el noreste en zonas cálidas secas o hacia el noroeste en zonas cálidas húmedas.

#### **2.3.4.2 Orientación Sur de las ventanas**

- Reciben radiación solar todo el año de manera predominantemente vertical.
- Permite la instalación de ventanas medianas para recintos con menores requerimientos de iluminación: alcobas y comedores.
- Ubicar elementos de protección a la radiación solar directa.
- Si se requieren, son admisibles orientaciones ligeramente al Sureste en zonas cálidas secas o al Suroeste en zonas cálidas húmedas.

#### **2.3.4.3 Orientación Este de las ventanas**

- Reciben radiación solar directa en la mañana durante todo el año.
- Se pueden localizar ventanas pequeñas con elementos de protección.
- Se pueden localizar en baños, depósitos o zonas de servicios.

#### **2.3.4.4 Orientación Oeste de las ventanas**

- Reciben radiación solar directa en la tarde durante todo el año.
- Son aceptables ventanas pequeñas con elementos de protección.
- Se pueden localizar en baños, lavanderías o zonas de servicios.

**2.3.5 Ventilación natural<sup>12</sup>.** Es el suministro y extracción del aire interior sin utilizar sistemas mecánicos. Esta alternativa sólo se recomienda utilizar en climas fríos y templados, cuando la temperatura del ambiente es inferior a la temperatura de confort y la ventilación permite cumplir el enfriamiento demandado. En climas cálido seco y húmedo, la ventilación natural debe realizarse cuando las condiciones

---

<sup>12</sup> MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, Op. cit., p.120.

del ambiente estén a una temperatura no superior a la temperatura de confort y baja humedad relativa.

**2.3.5.1 Ventilación unilateral.** El movimiento del aire se origina por diferencias de presión y temperatura. Si la presión del aire exterior es superior a la del aire interior, el aire exterior tiende a entrar perpendicularmente al orificio, volviendo a salir por el mismo (ver Figura 14).

**Figura 14.** Ventilación unilateral en un local



Para el clima cálido seco se recomienda:

- Aberturas orientadas al eje eólico, utilizando la velocidad de entrada del viento y haciendo efectiva la ventilación por un solo lado.
- Entrada de aire a la mitad del muro y salida por la abertura superior.
- Beneficiarse de las corrientes frías y húmedas.

**2.3.5.2 Ventilación cruzada.** Se origina cuando la entrada y salida del aire se encuentran en diferentes planos, normalmente opuestos (ver Figura 15). El movimiento del aire ocurre debido a la diferencia de presiones.

**Figura 15.** Ventilación cruzada en un local



Para el clima cálido seco se recomienda:

- Ventanas amplias que den a patios interiores y permitan la circulación del aire.
- Instalación de aberturas en cubiertas o chimeneas eólicas.
- Beneficiarse de las corrientes frías y húmedas.
- Aperturas amplias de entrada y pequeñas de salida.
- Nivel del aire preferiblemente de abajo (entrada) hacia arriba (salida), produciendo una brisa que acondicione el interior del local y entre en contacto con las personas.

## 2.4 INERCIA TÉRMICA<sup>13</sup>

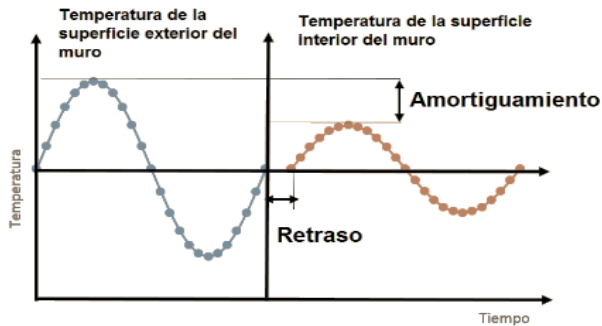
Existen dos conceptos ligados a la inercia térmica: Amortiguamiento y retardo (ver Figura 16).

- El amortiguamiento es la diferencia entre la energía que incide en la pared exterior y la energía que llega a la pared interior.
- El retardo es la diferencia en unidades de tiempo, entre la energía que incide en la pared exterior y la energía que llega a la pared interior.

---

<sup>13</sup> IDEC. Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico [diapositivas]. Caracas, p. 16.

**Figura 16.** Amortiguamiento y retardo



La inercia térmica es la propiedad que tiene el edificio de amortiguar el calor que incide sobre él. Si la inercia térmica es fuerte, el retardo y el amortiguamiento son grandes y el edificio es pesado. Por el contrario, si la inercia térmica es débil, el edificio es liviano.

La inercia térmica fuerte es apropiada para edificaciones de oficinas, ya que se trabaja en horas diurnas y con aire acondicionado. La inercia térmica débil es conveniente para edificios y viviendas de uso diurno y nocturno con un buen diseño de ventilación natural.

En la Figura 17, se observa los coeficientes de amortiguamiento y desfase para algunos materiales de cubiertas.

**Figura 17.** Coeficientes de amortiguamiento y desfase de materiales para techo

Composición (desde el ext. hacia el int.)	Espesor (cm)	Coficiente de amortiguamiento	Desfase (horas)
Concreto	10	0,046	3 h
Lana de vidrio	4		
Lana de vidrio	4	0,45	11 h
Concreto	10		50 min
Concreto	15	0,30	4 h
			40 min
Concreto	20	0,20	6 h
Madera	10	0,23	5 h
			40 min
Madera	15	0,11	8 h

Fuente: IDEC. Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico [diapositivas]

## 2.5 TRNSYS<sup>14</sup>

Herramienta computacional comercial que se utiliza para validar desarrollos energéticos, desde sistemas de agua caliente hasta el diseño y simulación de edificaciones (mono y multizona) y sus equipos, incluyendo estrategias de control y energías renovables (ver Figura 18). Fue desarrollado en la Universidad de Wisconsin y abastecido por las contribuciones de TRANSOLAR Energietechnik GMBH, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) y Thermal Energy Systems Specialists (TESS). Consta de dos partes:

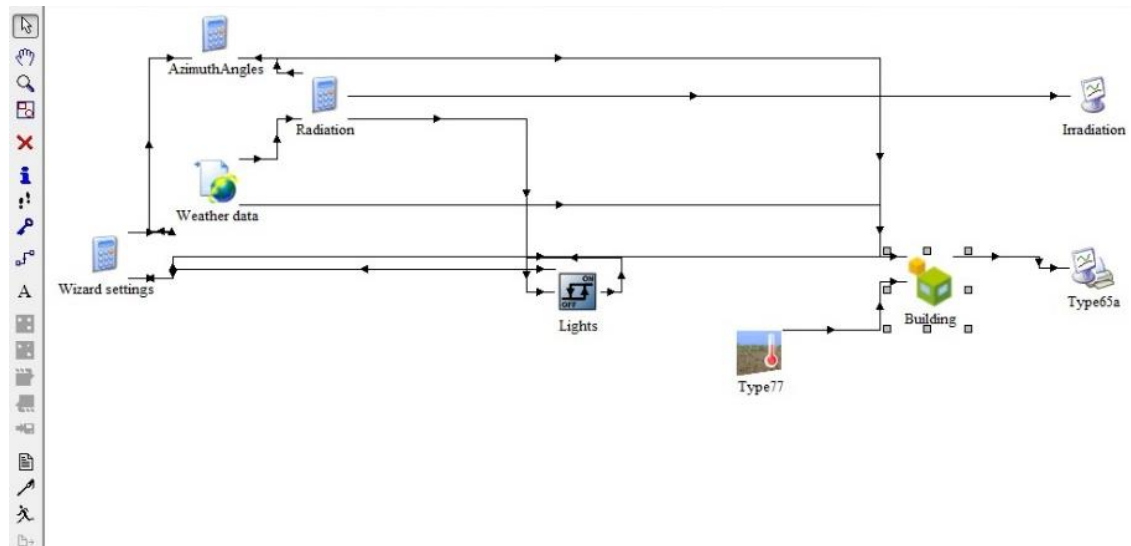
- Un núcleo que analiza y procesa la información de entrada e iterativamente soluciona el sistema. Determina propiedades termofísicas, matrices invertidas, regresiones lineales e interpolación de datos externos.
- Una extensa librería de componentes con sus respectivos modelos. La librería estándar incluye aproximadamente 150 modelos, clasificados en diferentes áreas:
  - ✓ Controladores.
  - ✓ Electricidad.
  - ✓ Intercambiadores de calor.
  - ✓ Sistemas HVAC.
  - ✓ Sistemas de hidrógeno.
  - ✓ Hidráulica.
  - ✓ Cargas y estructuras.
  - ✓ Obsoletos.
  - ✓ Salidas.
  - ✓ Fenómenos Físicos.

---

<sup>14</sup> TRNSYS. What is TRNSYS?. Disponible en: <http://www.trnsys.com/#1> (último acceso: 20 de mayo de 2016)

- ✓ Colectores termo-solares.
- ✓ Almacenamiento térmico.
- ✓ Utilidades.
- ✓ Lectura de datos climatológicos y procesamiento.

**Figura 18.** Análisis de la edificación en TRNSYS



## 2.6 ENERGYPLUS<sup>15</sup>

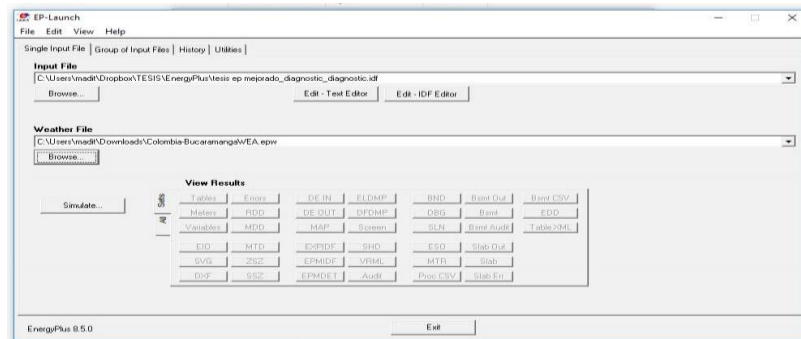
Herramienta computacional gratuita que calcula la calefacción y la refrigeración de las cargas necesarias para mantener puntos de ajuste de control térmico, condiciones en un sistema HVAC y el consumo energético de los equipos de la zona (ver Figura 19). Tiene sus raíces en dos programas, el BLAST y el DOE-2. Posee las siguientes características:

- ✓ Solución integrada y simultánea.
- ✓ Muestras temporales.

<sup>15</sup> BRICEÑO, Richard. Estudio y simulación energética del edificio de la FIEC con Energy Plus. Trabajo de grado en Ingeniería Mecánica. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica Del Litoral. 2013. p. 53.

- ✓ Texto ASCII.
- ✓ Conducción de calor transitoria
- ✓ Mejora de la transferencia de calor y balances térmicos.
- ✓ Modelos de confort térmico.
- ✓ Lazos configurables basado en los sistemas de HVAC (convencional y radiante).
- ✓ Cálculos de la contaminación atmosférica (partículas de CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO).

**Figura 19.** Análisis de la edificación en EnergyPlus



## 2.7 GOOGLE SKETCH UP<sup>16</sup>

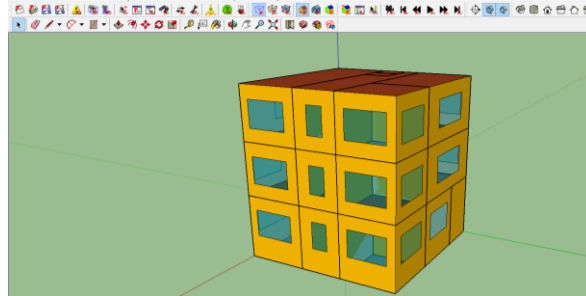
Es un programa computacional de modelaje y diseño en 3D orientado a la arquitectura, desarrollo de videojuegos, películas, sistemas de información geográfico (GIS), diseño industrial e ingeniería civil (ver Figura 20). Posee bibliotecas de texturas fotográficas y plugins de código abierto que permiten:

- ✓ Creación de la geometría de un edificio mono o multizona.
- ✓ Implementación de una simulación ejecutable en los programas TRNSYS y EnergyPlus.

<sup>16</sup> SKETCHUP. Disponible en: <https://www.sketchup.com/es> (último acceso: 20 de mayo de 2016)

- ✓ Obtener los resultados sin salir de SketchUp.

**Figura 20.** Análisis del edificio modelado en Google SketchUp

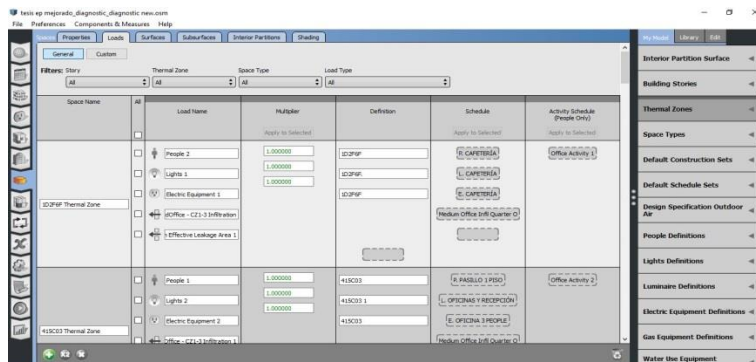


## 2.8 OPEN STUDIO<sup>17</sup>

Es una interfaz gráfica gratuita junto con un kit de desarrollo de software (SDK) que permite el llenado de datos y la modelización energética de edificaciones, usando como motor el software EnergyPlus (ver Figura 21). Además, posee un análisis avanzado de la luz natural utilizando la herramienta Radiance.

OpenStudio es un programa de código abierto (LGPL) que permite a investigadores y diseñadores aprovechar una interfaz llamada Ruby, para crear medidas que pueden ser fácilmente compartidas y aplicadas a los modelos.

**Figura 21.** Análisis de la edificación en OpenStudio



<sup>17</sup> OPENSTUDIO®. Disponible en: <https://www.openstudio.net/> (último acceso: 20 de mayo de 2016)

### 3. METODOLOGÍA PARA REALIZAR LA SIMULACIÓN DEL EDIFICIO

La metodología desarrollada durante este proyecto está conformada por dos etapas principales: Modelamiento y adquisición de datos y simulación de la edificación. Se realizará el análisis térmico por medio de las herramientas TRNSYS y EnergyPlus. La creación del modelo virtual se hará por medio de Google SketchUp para las dos herramientas energéticas con su respectivo Plug-in y se utilizará OpenStudio como interfaz gráfica de EnergyPlus. En la Tabla 3, se muestra la secuencia y descripción de la metodología implementada en el análisis energético.

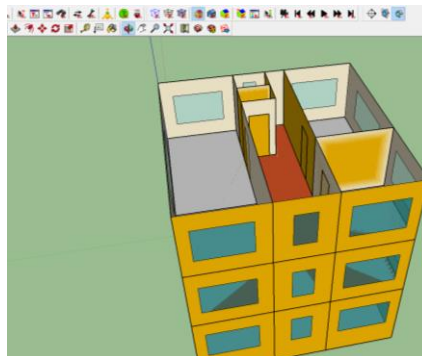
**Tabla 3.** Secuencia y descripción de la metodología implementada

SECUENCIA	FASE	SOFTWARE
1	Identificar el edificio a evaluar	
	↓	
2	Adquirir la información climatológica del lugar	
	↓	
3	Adquirir la información arquitectónica y de equipos del edificio	
	↓	
4	Modelar el edificio →	<b>Google SketchUp</b>
	↓	
5	Realizar los perfiles de uso y ocupación →	<b>OpenStudio y TRNSYS</b>
	↓	
6	Indicar los recintos climatizados →	<b>Google SketchUp</b>
	↓	
7	Calcular las infiltraciones de aire	
	↓	
8	Realizar la simulación del edificio durante un año →	<b>OpenStudio y TRNSYS</b>
	↓	
9	Realizar el análisis de los resultados obtenidos y la elaboración de estrategias que mitiguen la carga térmica	
	↓	
10	Simular las estrategias propuestas →	<b>OpenStudio y TRNSYS</b>
	↓	
11	Analizar los resultados obtenidos de las estrategias propuestas	

### 3.1 MODELAMIENTO Y ADQUISICIÓN DE DATOS DE LA EDIFICACIÓN

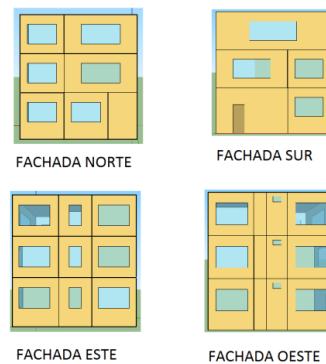
**3.1.1 Información de la edificación.** El edificio a modelar es ficticio y situado en la ciudad de Bucaramanga, está conformado por tres pisos y es una construcción diseñada para uso comercial (ver Figura 22). El área de la edificación es de 432 m<sup>2</sup> y está compuesto por 9 oficinas, 1 sala de juntas, 6 baños, 1 cafetería, 1 recepción y 3 pasillos, en los cuales se encuentran los puestos de las secretarías.

**Figura 22.** Vista isométrica del tercer piso de la edificación en Google SketchUp



En la Figura 23, se muestran las fachadas del edificio según la orientación geográfica.

**Figura 23.** Fachadas del edificio según la orientación geográfica



**3.1.2 Datos meteorológicos del lugar.** La adquisición de datos se realizó por medio de una estación meteorológica Davis ubicada en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UIS, la cual suministró datos cada 15 minutos de la temperatura de bulbo seco, la humedad relativa, la radiación solar global horizontal, la velocidad y dirección del viento. Como se realizará la simulación durante año y dicha estación se instaló en el 2016, también se utilizaron los datos de la estación de la Escuela de Ingeniería Civil de la UIS.

Los datos meteorológicos deben estar en formato EPW y tener las siguientes variables e información:

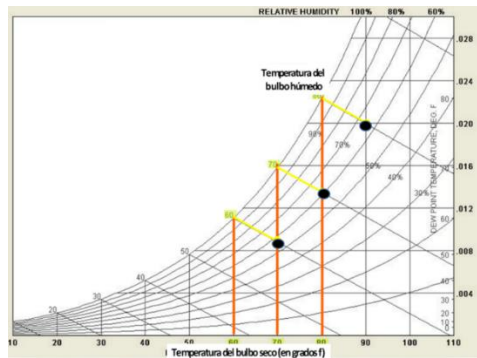
- Ciudad: Bucaramanga
- Latitud ( $\varphi$ ): 7,1 [°]
- Longitud: -73,1 [°]
- Elevación: 959 [m]
- Time zone: -5
- Año/mes/día
- Hora
- Temperatura de bulbo seco ( $T_{bs}$ ) [°C]
- Temperatura de bulbo húmedo ( $T_{bh}$ ) [°C]
- Presión atmosférica ( $P_{atm}$ ) [kPa]
- Humedad relativa ( $\phi$ ) [%]
- Temperatura de rocío [°C]
- Radiación global horizontal ( $I$ ) [ $W/m^2$ ]
- Radiación directa normal ( $Ib_n$ ) [ $W/m^2$ ]
- Radiación difusa horizontal ( $Id$ ) [ $W/m^2$ ]
- Velocidad del viento [m/s]
- Dirección del viento [°]
- Precipitación [mm]

**3.1.2.1 Variables climáticas obtenidas indirectamente.** Como no todas las variables requeridas para el fichero climatológico se obtuvieron de la estación meteorológica, por medio de las siguientes ecuaciones se estimaron las variables faltantes.

- Temperatura de bulbo húmedo ( $T_{bh}$ ) [°C]

La entalpía del aire a la temperatura de bulbo seco es la misma a la temperatura de bulbo húmedo (ver Figura 24). Por ende, por medio del software Engineering Equation Solver (EES), se halló la entalpía del aire a la temperatura de bulbo seco, la humedad relativa y la presión atmosférica.

**Figura 24.** Entalpía del aire a la temperatura de bulbo húmedo



Fuente: PROGRAMAS BIOCLIMATICOS. Carta psicrométrica. Disponible en: <http:// analisisbioclimaticos.blogspot.com.co/2012/02/carta-psicrometica.html>

$$H = \text{Enthalpy}(\text{AirH2O}; T = T_{bs}; r = \phi; P = P_{atm})$$

La temperatura de bulbo húmedo se halla con humedad relativa de 100%.

$$T_{bh} = \text{WetBulb}(\text{AirH2O}; h = H; r = 1; P = P_{atm})$$

- Radiación directa normal y difusa horizontal ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

Para la estimación de la radiación directa normal y la difusa horizontal<sup>18</sup>, es necesario hallar los siguientes parámetros de posicionamiento solar: Ángulo horario ( $\omega$ ), declinación ( $\delta$ ) y el coseno del ángulo cenit ( $\cos(\theta_z)$ ).

$$\omega = (hora_{local} - 12) * 15$$

$$\delta = 23,45 * \sin\left(\left(\frac{284 + n}{365}\right) * 360\right)$$

$$\cos(\theta_z) = \sin(\delta) * \sin(\varphi) + \cos(\delta) * \cos(\varphi) * \cos(\omega)$$

Donde:

$hora_{local}$ : Hora del día en formato 24 horas

$n$ : Día del año

Después, se hallará el índice de claridad por hora ( $kt$ ), el cual determinará que ecuación (ver Figura 25) utilizar para estimar la radiación difusa horizontal ( $I_d$ ).

$$kt = \frac{I}{I_{sc} * \left(1 + 0,033 * \cos\left(\frac{360 * n}{365}\right)\right) * \cos(\theta_z)}$$

Donde la radiación extraterrestre estimada por la NASA es:

$$I_{sc} = 1367 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

---

<sup>18</sup> BECKMAN, William y DUFFIE, John. Solar Engineering of Thermal Processes. 4th Edition. New Jersey: Wiley, 2013. 75 p.

**Figura 25.** Ecuaciones para estimar la radiación difusa horizontal

$$\begin{aligned}
 a) \quad \frac{I_d}{I} &= 1 - 0,249 * kt && \text{Para } kt < 0,35 \\
 b) \quad \frac{I_d}{I} &= 1,557 - 1,84 * kt && \text{Para } 0,35 < kt \leq 0,75 \\
 c) \quad \frac{I_d}{I} &= 0,177 && \text{Para } kt > 0,75
 \end{aligned}$$

Fuente: BECKMAN, William y DUFFIE, John. Solar Engineering of Thermal Processes. 4th Edition. New Jersey: Wiley, 2013.

Entonces, al estimar la radiación difusa horizontal ( $I_d$ ), se obtiene la radiación directa horizontal ( $I_b$ ) y normal ( $I_{b_n}$ ).

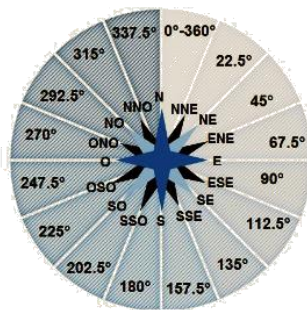
$$I_b = I - I_d$$

$$I_{b_n} = \frac{I_b}{\cos(\theta_z)}$$

- Dirección del viento

La estación meteorológica maneja los datos de la dirección del viento en puntos cardinales, pero es necesario convertirlos a grados. En la Figura 26, se observa la conversión.

**Figura 26.** Equivalencia en grados de los principales puntos cardinales



**3.1.2.2 Conversión al formato EPW.** Se realizó en Excel un archivo en formato CSV (comma-separated values) (ver Figura 27), el cual contiene el siguiente orden:

Día-Mes-Año, Hora, Temperatura de bulbo seco [°C], Temperatura de bulbo húmedo [°C], Humedad relativa [%], Presión atmosférica [Pa], Radiación global horizontal [W/m<sup>2</sup>], Radiación normal directa [W/m<sup>2</sup>], Radiación horizontal difusa [W/m<sup>2</sup>], Dirección del viento [°], Velocidad del viento [m/s], Precipitación [mm].

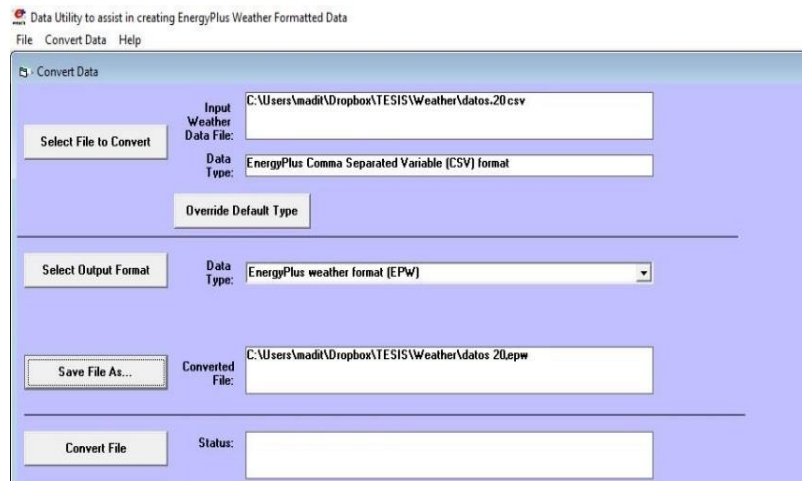
**Figura 27.** Archivo en formato CSV

Date	HH:MM	Dry Bulb Temperature (C)	Dew Point Temperature (C)	Relative Humidity (%)	Atmospheric Pressure (Pa)	Global Horizontal Radiation (W/m2)	Direct Normal Radiation (W/m2)	Diffuse Horizontal Radiation (W/m2)	Wind Direction (deg)	Wind Speed (m/s)
01-01-16	1:00	21.2	19.71	92	89744	0	0	0	22	0
01-01-16	2:00	21.3	20.16	94	89744	0	0	0	22	0.9
01-01-16	3:00	21.6	20.63	95	89744	0	0	0	22	0
01-01-16	4:00	21.6	20.81	96	89744	0	0	0	202	0.9
01-01-16	5:00	20.8	20	96	89744	0	0	0	247	0
01-01-16	6:00	20.2	19.4	96	89744	0	0	0	22	1.8
01-01-16	7:00	19.8	19	96	89744	0	0	0	22	0.4
01-01-16	8:00	20.3	19.5	96	89744	95	0	95	202	0.9
01-01-16	9:00	21.6	20.28	93	89744	441	455.2	169.1	292	0.4
01-01-16	10:00	23.4	20.6	85	89744	737	832.3	119.1	247	1.3
01-01-16	11:00	26.1	20.53	72	89744	994	540.3	543.6	270	0.9
01-01-16	12:00	25.1	20.22	75	89744	414	107.3	321.2	22	0.9
01-01-16	13:00	24.9	19.59	73	89744	288	4.4	284.3	22	1.3

Por medio del Weather Converter<sup>19</sup>, se importa el archivo CSV y se convierte al formato .epw requerido (ver Figura 28).

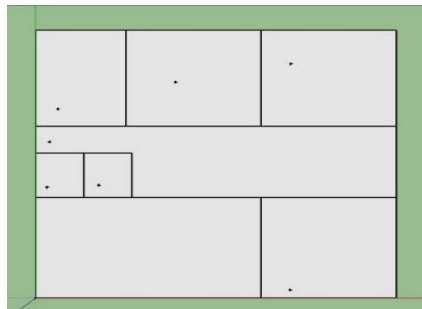
<sup>19</sup> Es un software interno del programa EnergyPlus que permite la conversión de formatos de ficheros meteorológicos al formato EPW.

**Figura 28.** Weather Converter



**3.1.3 Datos arquitectónicos del edificio.** Con ayuda de unos planos base, se diseñó la construcción de un edificio comercial de tres pisos en el software Google SketchUp. En la Figura 29, se observa la base del primer piso del edificio.

**Figura 29.** Extrusión del edificio desde el plano en Google SketchUp



Cada recinto se dibujó y extruyó en una zona térmica diferente. Como se observa en la Tabla 4, se obtuvieron 21 zonas térmicas, en las cuales se encuentran oficinas, baños, pasillos, entre otros.

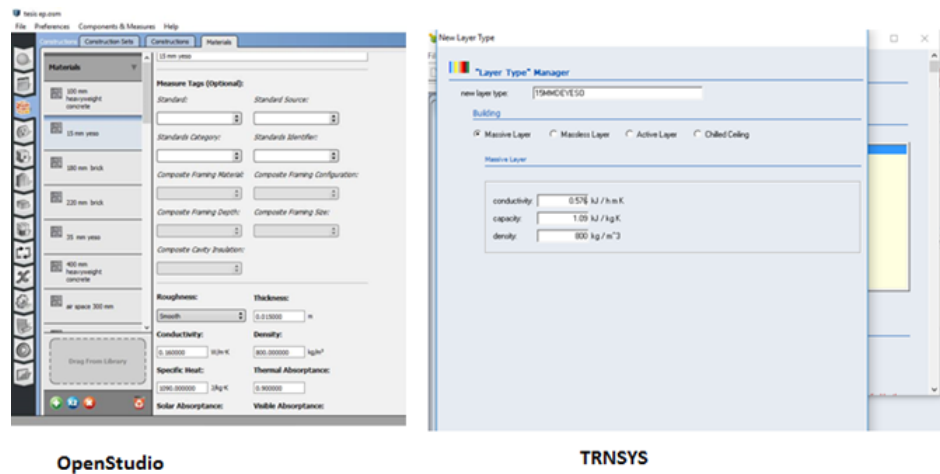
**Tabla 4.** Descripción y área para cada espacio del edificio

PISO	DESCRIPCIÓN	ÁREA [m <sup>2</sup> ]	PISO	DESCRIPCIÓN	ÁREA [m <sup>2</sup> ]	PISO	DESCRIPCIÓN	ÁREA [m <sup>2</sup> ]
PRIMER	Oficina 1	19,35	SEGUNDO	Oficina 1	20,25	TERCERO	Oficina 1	19,35
	Oficina 2	19,35		Oficina 2	33,75		Oficina 2	32,25
	Oficina 3	20,25		Oficina 3	32,25		Sala de juntas	54
	Recepción	33,75		Oficina 4	19,35		Pasillo	32
	Pasillo	32		Pasillo	32		Baño mujeres	3,2
	Cafetería	12,9		Baño mujeres	3,2		Baño hombres	3,2
	Baño mujeres	3,2		Baño hombres	3,2			
	Baño hombres	3,2						

**3.1.4 Materiales de construcción del edificio.** En base a los materiales típicos usados en las construcciones en Bucaramanga, se seleccionaron los materiales de los muros exteriores, las particiones internas, la cubierta, los suelos, las ventanas y las puertas.

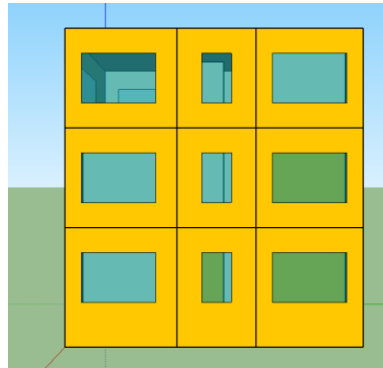
Para la introducción de las propiedades de los materiales usados, se utilizó la biblioteca de OpenStudio. En la Figura 30, se muestra la librería de los materiales de las herramientas energéticas utilizadas.

**Figura 30.** Librería de OpenStudio y TRNSYS



**3.1.4.1 Materiales de construcción para muros exteriores.** Son las paredes que encierran la edificación. En la Figura 31, se observa los muros exteriores en el lado Este del edificio. En la Tabla 5, se encuentran los materiales de los muros exteriores de lado a lado con su respectivo espesor.

**Figura 31.** Muros exteriores del edificio



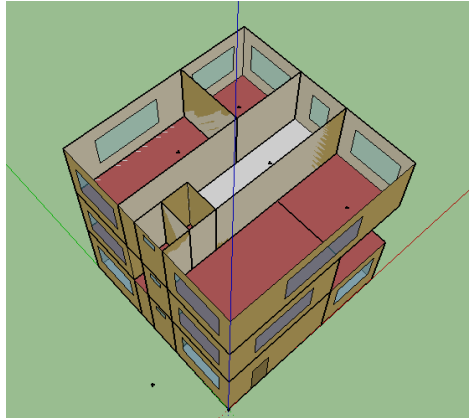
**Tabla 5.** Materiales de construcción para muros exteriores

MATERIALES	ESPESOR [m]	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA [W/m-K]	DENSIDAD [Kg/m <sup>3</sup> ]	CALOR ESPECÍFICO [J/Kg-K]
APLANADO DE CEMENTO ARENA	0,015	1,4	2000	1050
MURO DE LADRILLO	0,22	0,48	1281,48	790
APLANADO DE YESO	0,015	0,16	800	1090

**3.1.4.2 Materiales de construcción para las particiones internas.** Son las que dividen el edificio en zonas internas, tales como oficinas, baños, pasillos, entre otros. En la Figura 32, se observa las particiones del tercer piso de la

edificación. En la Tabla 6, se encuentran los materiales de las particiones internas de lado a lado con su respectivo espesor.

**Figura 32.** Particiones internas del edificio

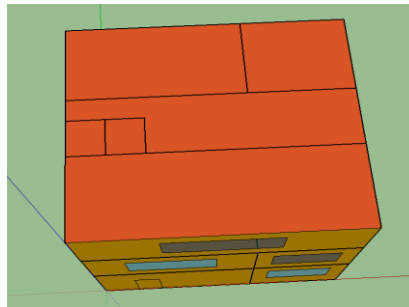


**Tabla 6.** Materiales de construcción de las particiones interiores

MATERIALES	ESPESOR [m]	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA [W/m-K]	DENSIDAD [Kg/m <sup>3</sup> ]	CALOR ESPECÍFICO [J/Kg-K]
APLANADO DE YESO	0,035	0,16	800	1090
MURO DE LADRILLO	0,18	0,48	1281,48	790
APLANADO DE YESO	0,035	0,16	800	1090

**3.1.4.3 Materiales de construcción de la cubierta.** Es la parte superior del edificio que protege del ambiente la zona interna y como se observa en la Figura 33, es una cubierta plana. En la Tabla 7, se muestran los materiales de la cubierta de lado a lado con su respectivo espesor. La placa de concreto lleva un recubrimiento impermeabilizante.

**Figura 33.** Cubierta plana del edificio



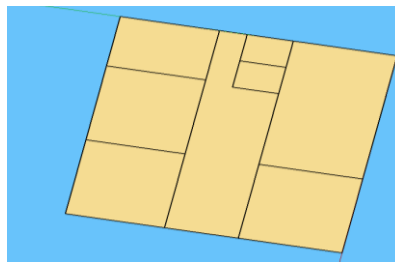
**Tabla 7.** Materiales de construcción de la cubierta

MATERIALES	ESPESOR [m]	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA [W/m-K]	DENSIDAD [Kg/m <sup>3</sup> ]	CALOR ESPECÍFICO [J/Kg-K]
PLACA DE CONCRETO ALIGERADO	0,4	1,95	2240	900
CAPA DE AIRE	0,3	0,025	1,23	1008
LAMINA DE YESO	0,015	0,16	800	1090

**3.1.4.4 Materiales de construcción de los suelos.** Los suelos en la edificación están divididos en dos clases: Suelos sobre el terreno y entrepisos.

- Suelos sobre el terreno: Es el que se encuentra en contacto directo con el terreno (ver Figura 34). Se localiza en el primer piso de la edificación. En la Tabla 8, se encuentran los materiales del suelo de con su respectivo espesor.

**Figura 34.** Suelo sobre el terreno

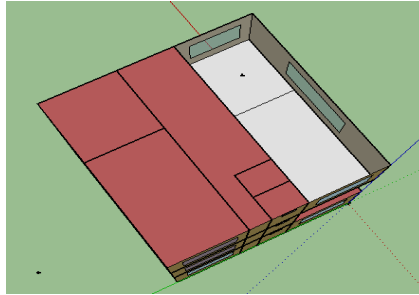


**Tabla 8.** Materiales de construcción del suelo del terreno

MATERIALES	ESPESOR [m]	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA [W/m-K]	DENSIDAD [Kg/m <sup>3</sup> ]	CALOR ESPECÍFICO [J/Kg-K]
PISO EN CERÁMICA	0,01	0,6	368	590
MASILLA DE PEGA	0,01	0,72	1760	840
PLACA DE CONCRETO	0,1	1,95	2240	900

- Entrepisos: Es el suelo que no está en contacto con el terreno, se presenta cuando hay más de 1 piso en la edificación (ver Figura 35). En la Tabla 9, se encuentran los materiales del suelo interior con su respectivo espesor.

**Figura 35.** Entrepisos



**Tabla 9.** Materiales de construcción de los entrepisos

MATERIALES	ESPESOR [m]	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA [W/m-K]	DENSIDAD [Kg/m <sup>3</sup> ]	CALOR ESPECÍFICO [J/Kg-K]
PISO EN CERÁMICA	0,01	0,6	368	590
MASILLA DE PEGA	0,01	0,72	1760	840
PLACA DE CONCRETO	0,4	1,95	2240	900

**3.1.4.5 Materiales de construcción de las ventanas y puertas.** En la Tabla 10, se muestran las dimensiones y el material de las puertas exteriores e interiores del edificio.

**Tabla 10.** Dimensiones y material de las puertas

	ALTO [m]	ANCHO [m]	MATERIAL	ESPESOR [mm]
PUERTAS INTERIORES	3	1,2	Madera	25
PUERTAS EXTERIORES				

En la Tabla 11, se muestran las dimensiones y el material de cada ventana de la edificación. El tipo de cada ventana se muestra en la Figura 36.

**Tabla 11.** Dimensiones y material de las ventanas

	ALTO [m]	ANCHO [m]	MATERIAL	ESPESOR [mm]
VENTANA OFICINA PEQUEÑA	2	3	Vidrio	4
VENTANA PASILLO	2	1,2		
VENTANA OFICINA GRANDE	2	4		
VENTANA BAÑOS	0,5	0,8		
VENTANA SALA DE JUNTAS	2	5		

**Figura 36.** Tipo de ventanas en el edificio



**3.1.5 Perfil de uso del edificio.** Se realizaron perfiles de uso para las personas (ocupación), equipos misceláneos e iluminación. Como es un edificio comercial, se asumió el horario laboral de lunes a viernes de 8-12 am y 2-6 pm y el sábado de 8-12 am. Los valores de actividad de las personas, las ganancias térmicas de los equipos y las luces, están basados en el capítulo 18 de la ASHRAE Handbook – Fundamentals 2009 y el capítulo 29 de la ASHRAE Handbook – Fundamentals 2001. En el Anexo A, se encuentran todos los perfiles de uso requeridos para simular la edificación.

La siguiente ecuación, fue la utilizada para calcular la fracción de los perfiles de uso.

$$FRACCIÓN = \frac{\text{Cantidad de equipos, personas, luces en 1 hora en la zona}}{\text{Cantidad total de equipos en la zona}}$$

Por ejemplo, para evaluar la fracción del perfil de uso de las luces en las oficinas y la recepción, se tiene en cuenta que hay 4 lámparas por zona (ver Tabla 15) y a la hora indicada a analizar, en este caso, las 7 am, estarán 2 lámparas encendidas. Por lo tanto, la fracción es:

$$FRACCIÓN = \frac{2 \text{ luces}}{4 \text{ luces}} = 0,5$$

**3.1.6 Definición de cargas sensibles y latentes.** Para calcular las cargas internas de la edificación, se analizó la cantidad de personas por área y los factores de carga de los equipos y las luces.

**3.1.6.1 Carga térmica debido a las personas.** En la Tabla 12, se muestra el promedio de personas y el área en cada zona térmica.

**Tabla 12.** Densidad de personas por metro cuadrado

PISO	DESCRIPCIÓN	ÁREA [m <sup>2</sup> ]	PERSONAS	PERSONAS/m <sup>2</sup>
TERCERO	Sala de juntas	54	12	0,222
	Baño mujeres	3,2	1	0,313
	Pasillo	32	4	0,125
	Baño hombres	3,2	1	0,313
	Oficina 2	32,25	3	0,093
	Oficina 1	19,35	2	0,103

<b>SEGUNDO</b>	Oficina 1	20,25	2	0,099
	Baño mujeres	3,2	1	0,313
	Oficina 2	33,75	3	0,089
	Oficina 3	32,25	3	0,093
	Oficina 4	19,35	2	0,103
	Pasillo	32	5	0,156
	Baño hombres	3,2	1	0,313
<b>PRIMER</b>	Oficina 1	19,35	2	0,103
	Recepción	33,75	5	0,148
	Oficina 2	19,35	2	0,103
	Oficina 3	20,25	2	0,099
	Pasillo	32	3	0,094
	Cafetería	12,9	3	0,233
	Baño mujeres	3,2	1	0,313
	Baño hombres	3,2	1	0,313

Para cada persona de la edificación, se selecciona la tasa de calor aportada de 120 W debido a sus niveles de actividad de oficina (ver Tabla 2) y un factor radiante del 60%.

**3.1.6.2 Carga térmica debido a los equipos misceláneos.** En el Anexo B, se muestra la cantidad de equipos misceláneos y el área para cada zona térmica. Los computadores seleccionados para la sala de juntas son portátiles de 22 W de carga sensible y para las demás áreas de la edificación, son de escritorio. Como la cafetería tiene distintos equipos en comparación con las otras zonas, se detalla los equipos misceláneos y el factor de carga en la Tabla 13.

**Tabla 13.** Densidad de equipos misceláneos por metro cuadrado para la cafetería

DESCRIPCIÓN	ÁREA [m <sup>2</sup> ]	GANANCIA DE CAFETERA [W]	FACTOR DE CARGA DE LA CAFETERA [W/m <sup>2</sup> ]	GANANCIA DE MICROONDAS [W]	FACTOR DE CARGA DEL MICROONDAS [W/m <sup>2</sup> ]	GANANCIA DE NEVERA [W]	FACTOR DE CARGA DE LA NEVERA [W/m <sup>2</sup> ]	FACTOR DE CARGA TOTAL [W/m <sup>2</sup> ]
		SENSIBLE						
Cafetería	12,9	440	34,109	400	31	120	9,302	74,411

Como la carga sensible de los equipos misceláneos tiene carga radiante, en la Tabla 14, se observa el factor radiante\* de cada equipo.

**Tabla 14.** Factor radiante de los equipos misceláneos

EQUIPO	FACTOR RADIANTE
PC	0,1
IMPRESORA	0,3
LAPTOP	0,25
NEVERA	0,3
MICROONDAS	0,3
CAFETERA	0,3

Fuente: ASHRAE. Handbook Fundamentals. Atlanta: ASHRAE Research, 2013.

**3.1.6.3 Carga térmica debido a los equipos de iluminación.** De acuerdo a las lámparas ubicadas en cada una de las zonas térmicas, se calculó la iluminación por metro cuadrado y se detalla en la Tabla 15. Las lámparas seleccionadas son de 72 W (ver Figura 37) y difieren de las utilizadas en los baños, las cuales consumen 15 W (ver Figura 38).

\* Es la proporción de calor por radiación que un cuerpo emite al ambiente.

**Figura 37.** Lámpara utilizada en la edificación de 72 W



Fuente: PHILIPS. TBS165 [diapositivas]. Colombia: 2 diapositivas, color.

**Figura 38.** Bombillo de 15 W para baños



Fuente: PROVELOG. Ahorrador essential twister 15w Philips. Disponible en: <http://www.provelog.com/index.php/iluminacion/bombillos-ahorradores/ahorrador-essential-twister.html>

**Tabla 15.** Densidad de equipos de iluminación por metro cuadrado

PISO	DESCRIPCIÓN	ÁREA [m <sup>2</sup> ]	LÁMPARAS	POTENCIA DE LÁMPARA [W]	FACTOR DE CARGA [W/m <sup>2</sup> ]
				72	
TERCERO	Sala de juntas	54	6	432	8,000
	Baño mujeres	3,2	1	15	4,688
	Pasillo	32	4	288	9,000
	Baño hombres	3,2	1	15	4,688
	Oficina 2	32,25	4	288	8,930
	Oficina 1	19,35	4	288	14,884
SEGUNDO	Oficina 1	20,25	4	288	14,222
	Baño mujeres	3,2	1	15	4,688
	Oficina 2	33,75	4	288	8,533

	Oficina 3	32,25	4	288	<b>8,930</b>
	Oficina 4	19,35	4	288	<b>14,884</b>
	Pasillo	32	4	288	<b>9,000</b>
	Baño hombres	3,2	1	15	<b>4,688</b>
<b>PRIMER</b>	Oficina 1	19,35	4	288	<b>14,884</b>
	Recepción	33,75	4	288	<b>8,533</b>
	Oficina 2	19,35	4	288	<b>14,884</b>
	Oficina 3	20,25	4	288	<b>14,222</b>
	Pasillo	32	4	288	<b>9,000</b>
	Cafetería	12,9	2	144	<b>11,163</b>
	Baño mujeres	3,2	1	15	<b>4,688</b>
	Baño hombres	3,2	1	15	<b>4,688</b>

Para el cálculo de la ganancia térmica de la zona producida por las luces, es necesario conocer el porcentaje de fracción radiante, visible, aire de retorno y convectivo de las lámparas. En la Tabla 16, se observan los valores aproximados para cada tipo de luminaria.

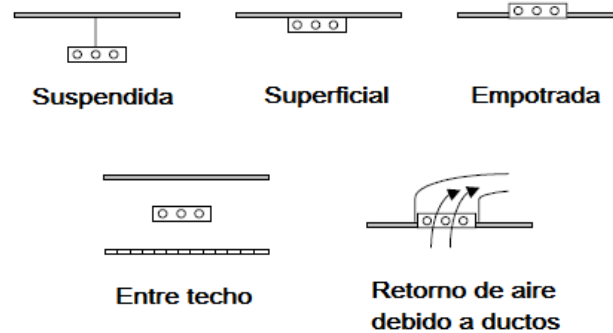
**Tabla 16.** Fracción radiante, visible, aire de retorno y convectivo para cada tipo de luminaria

FRACCIÓN	SUSPENDIDA	SUPERFICIAL	EMPOTRADO	ENTRE TECHO	RETORNO DE AIRE DEBIDO A DUCTOS
<b>AIRE DE RETORNO</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,54
<b>RADIANTE</b>	0,42	0,72	0,37	0,37	0,18
<b>VISIBLE</b>	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
<b>CONVECTIVO</b>	0,40	0,10	0,45	0,45	0,10

Fuente: ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. Lighting Handbook: Reference & Application, 8th Edition. New York: Illuminating Engineering, 1993.

En la Figura 39, se muestran los tipos de luminarias. Donde en el edificio solo existen de dos tipos: Suspendidas para los baños y superficiales para el resto de la edificación.

**Figura 39.** Tipos de luminarias

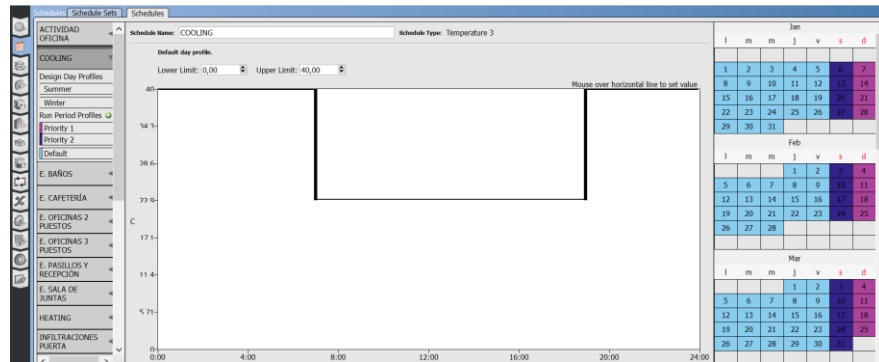


Fuente: ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. Lighting Handbook: Reference & Application, 8th Edition. New York: Illuminating Engineering, 1993.

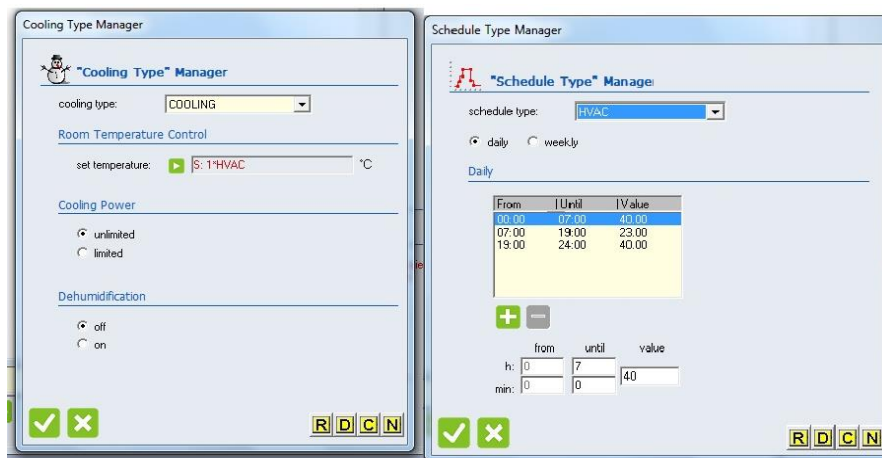
**3.1.7 Sistema de acondicionamiento de aire.** Para que cada software calcule la carga térmica de todas las zonas, es necesario establecer la temperatura de confort y el horario en el que trabajará el equipo.

Se seleccionó 23°C como temperatura deseada. El sistema de acondicionamiento de aire trabajará los días entre semana de 7 am a 7 pm y los sábados de 7 am a 1 pm (ver Figura 40 y 41). Para que las herramientas energéticas detecten que el equipo está apagado en los horarios no mencionados, se debe establecer una temperatura mayor a la temperatura interna del cuarto. Por ende, se designó en el termostato 40°C.

**Figura 40.** Temperatura y cronograma para los sistemas HVAC en OpenStudio



**Figura 41.** Temperatura y cronograma para los sistemas HVAC en TRNSYS



**3.1.8 Infiltraciones de aire.** Es el aire exterior que ingresa en el edificio, depende de la dirección y magnitud del viento, las diferencias de temperatura, el tipo y calidad de la construcción y el uso de los ocupantes. Existen en una edificación, infiltraciones originadas por fugas y/o apertura y cierre de puertas y ventanas. Debido a que existen dos tipos de infiltración, es imposible encontrar un valor exacto de la cantidad de aire exterior que entra a un recinto. No obstante, existen correlaciones que predicen las tasas de infiltración en cambios de aire por hora (ach).

**3.1.8.1 Infiltración por fugas.** Es el aire exterior que penetra en el local por medio de grietas en los materiales y/o marcos de ventanas y puertas en la envolvente.

EnergyPlus calcula las infiltraciones por la siguiente ecuación<sup>19</sup>:

$$\dot{V} = A_{leak} \sqrt{a_s * \Delta T + a_w * v^2}$$

Donde,  $\dot{V}$  es el caudal de aire en L/s,

$a_s$  es el coeficiente de stack en  $\frac{(\frac{L}{s})^2}{cm^4 * K}$ ,

$\Delta T$  es la diferencia de temperaturas del interior y exterior en K,

$A_{leak}$  es el área efectiva de fugas del edificio en  $cm^2$ ,

$a_w$  es el coeficiente de viento en  $\frac{(\frac{L}{s})^2}{cm^4 * (\frac{m}{s})^2}$ , y

$v$ , es la velocidad del viento en m/s.

Como en el fichero meteorológico se encuentra la temperatura ambiente y la velocidad del aire, los únicos datos que requiere el software son los coeficientes mencionados y el área de fugas. En la Figura 42, se muestra el coeficiente de *stack* para el edificio.

**Figura 42.** Coeficiente de stack para el edificio

	Number of Stories		
	One	Two	Three
Stack coefficient $a_s$ , $(ft^3/min)^2/(in^4 \cdot ^\circ F)$	0.0156	0.0313	0.0471
Stack coefficient $a_s$ , $(L/s)^2/(cm^4 \cdot K)$	0.000145	0.000290	0.000435

Fuente: KREIDER, Jan. Handbook of Heating, Ventilation, and Air Conditioning. New York: CRC Press

<sup>19</sup> KREIDER, Jan. Handbook of Heating, Ventilation, and Air Conditioning. New York: CRC Press. p. 410.

En la Figura 43, se observa el coeficiente de viento para el edificio. Se seleccionó para una edificación de protección moderada (tipo 3).

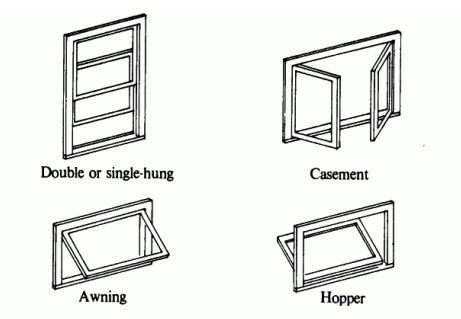
**Figura 43.** Coeficiente de viento para el edificio

Shielding class	Description	Wind Coefficient $a_w$ , (L/s) <sup>2</sup> /[cm <sup>4</sup> · (m/s) <sup>2</sup> ]			Wind Coefficient $a_w$ , (ft <sup>3</sup> /min) <sup>2</sup> /[in <sup>4</sup> · (mi/h) <sup>2</sup> ]		
		Number of Stories			Number of Stories		
		One	Two	Three	One	Two	Three
1	No obstructions or local shielding	0.000319	0.000420	0.000494	0.0119	0.0157	0.0184
2	Light local shielding; few obstructions, a few trees or small shed	0.000246	0.000325	0.000382	0.0092	0.0121	0.0143
3	Moderate local shielding; some obstructions within two house heights, thick hedge, solid fence, or one neighboring house	0.000174	0.000231	0.000271	0.0065	0.0086	0.0101
4	Heavy shielding; obstructions around most of perimeter, buildings or trees within 10 m in most directions; typical suburban shielding	0.000104	0.000137	0.000161	0.0039	0.0051	0.0060
5	Very heavy shielding; large obstructions; typical downtown shielding	0.000032	0.000042	0.000049	0.0012	0.0016	0.0018

Fuente: KREIDER, Jan. Handbook of Heating, Ventilation, and Air Conditioning. New York: CRC Press

Como se escogió la ventana tipo casement sin sellos (ver Figura 44), el factor de área estimada de fugas de cada ventana y puerta para una diferencia de presiones de 4 [Pa] entre el interior y el exterior se observa en la Figura 45.

**Figura 44.** Tipos de ventana



Fuente: R. ACEVEDO. Types. Disponible en: <http://www.acevedoinc.com/types/>

**Figura 45.** Factor de área estimada de fugas para ventanas y puertas

Component	Best Estimate	Maximum	Minimum
<u>Sill foundation-Wall</u>			
Caulked, in <sup>2</sup> /ft of perimeter	0.04	0.06	0.02
Not caulked, in <sup>2</sup> /ft of perimeter	0.19	0.19	0.05
<u>Joints between ceiling and walls</u>			
Joints, in <sup>2</sup> /ft of wall (only if not taped or plastered and no vapor barrier)	0.07	0.12	0.02
<u>Windows</u>			
<u>  Casement</u>			
Weather-stripped, in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> of window	0.011	0.017	0.006
Not weather-stripped, in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> of window	0.023	0.034	0.011
<u>  Awning</u>			
Weather-stripped, in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> of window	0.011	0.017	0.006
Not weather-stripped, in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> of window	0.023	0.034	0.011
<u>Doors</u>			
<u>  Single door</u>			
Weather-stripped, in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> of door	0.114	0.215	0.043
Not weather-stripped, in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> of door	0.157	0.243	0.086
<u>  Double door</u>			
Weather-stripped, in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> of door	0.114	0.215	0.043
Not weather-stripped, in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> of door	0.16	0.32	0.1

Fuente: KREIDER, Jan. Handbook of Heating, Ventilation, and Air Conditioning. New York: CRC Press.

En la Figura 46, se observa el factor de área estimada de fugas de los marcos de las ventanas y la puerta sin sellos.

**Figura 46.** Factor de área estimada de fugas para marcos de ventanas y puertas

Component	Best Estimate	Maximum	Minimum
<u>Wall-Window frame</u>			
<u>  Wood frame wall</u>			
Caulked, in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> of window	0.004	0.007	0.004
No caulking, in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> of window	0.024	0.038	0.022
<u>  Masonry wall</u>			
Caulked, in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> of window	0.019	0.03	0.016
No caulking, in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> of window	0.093	0.15	0.082
<u>Wall-Door frame</u>			
<u>  Wood wall</u>			
Caulked, in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> of door	0.004	0.004	0.001
No caulking, in <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup> of door	0.024	0.024	0.009

Fuente: KREIDER, Jan. Handbook of Heating, Ventilation, and Air Conditioning. New York: CRC Press.

Para hallar el área efectiva de fugas, se multiplica el área de acristalamiento total de cada zona con el factor de área efectiva hallado anteriormente. En la Tabla 17,

se muestran los resultados. En la recepción está incluida el área efectiva de fugas del marco y la puerta de ingreso al edificio.

**Tabla 17.** Área total efectiva de fugas para cada zona del edificio

PISO	DESCRIPCIÓN	ÁREA DE ACRISTALAMIENTO TOTAL [m <sup>2</sup> ]	ÁREA EFECTIVA DE FUGAS POR VENTANAS [cm <sup>2</sup> ]	ÁREA EFECTIVA DE FUGAS POR MARCOS DE VENTANAS [cm <sup>2</sup> ]	ÁREA TOTAL EFECTIVA DE FUGAS [cm <sup>2</sup> ]
TERCERO	Sala de juntas	22	35,13	142,08	177,21
	Baño mujeres	0,4	0,64	2,58	3,22
	Pasillo	2,4	3,83	15,50	19,33
	Baño hombres	0	0,00	0,00	0,00
	Oficina 2	14	22,36	90,41	112,77
	Oficina 1	12	19,16	77,50	96,66
SEGUNDO	Oficina 1	12	19,16	77,50	96,66
	Baño mujeres	0,4	0,64	2,58	3,22
	Oficina 2	14	22,36	90,41	112,77
	Oficina 3	14	22,36	90,41	112,77
	Oficina 4	12	19,16	77,50	96,66
	Pasillo	2,4	3,83	15,50	19,33
	Baño hombres	0	0,00	0,00	0,00
PRIMER	Oficina 1	12	19,16	77,50	96,66
	Recepción*	6	48,82	56,75	105,57
	Oficina 2	6	9,58	38,75	48,33
	Oficina 3	12	19,16	77,50	96,66
	Pasillo	2,4	3,83	15,50	19,33
	Cafetería	6	9,58	38,75	48,33
	Baño mujeres	0,4	0,64	2,58	3,22
	Baño hombres	0	0,00	0,00	0,00

**3.1.8.2 Infiltración por abertura de puertas.** Solo existe una puerta en la edificación que está en contacto con el exterior, y se encuentra en la zona de la recepción. Para estimar el flujo de aire que ingresa en la recepción por apertura y cierre de la puerta, se utilizó el método descrito en el manual Carrier para aire acondicionado<sup>39</sup>. De acuerdo a la Figura 47, para una utilización media de la puerta, el caudal de infiltración es 119 m<sup>3</sup>/h para una velocidad de 12 km/h. No obstante, la fachada Este del edificio no presenta esta velocidad de aire y debe ser corregida multiplicando por el siguiente factor:

$$F_c = \frac{v_m}{3,33} = \frac{0,882}{3,33} = 0,264$$

Donde  $v_m$  es la velocidad media anual del aire en la fachada en m/s. El valor mostrado corresponde al promedio calculado según el fichero meteorológico.

**Figura 47.** Caudal de infiltración

DESIGNACIÓN	m <sup>3</sup> /h por m <sup>2</sup> de superficie ***		m <sup>3</sup> /h	
	No utilizada	Utilización media	Constantemente abierta	
			Sin vestíbulo	Con vestíbulo
Puerta giratoria - funcionamiento normal paneles abiertos	14,5	95	-	-
Puerta de cristal - Rendija 5 mm	82,0	183	2040	1530
Puerta de madera (2,1 x 0,9 m)	18,0	119	1190	850
Pequeña puerta de fábrica	14,0	119	-	-
Puerta de garaje o de carga	36,5	82	-	-
Rampa de garaje	36,5	124	-	-

Fuente: CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. Manual de Aire Acondicionado. Barcelona: Boixareu Editores, 1980.

En la Tabla 18, se muestra el caudal de aire que entra al edificio por medio de la abertura y cierre de la puerta.

<sup>39</sup> CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. Manual de Aire Acondicionado. Barcelona: Boixareu Editores, 1980. p. 89.

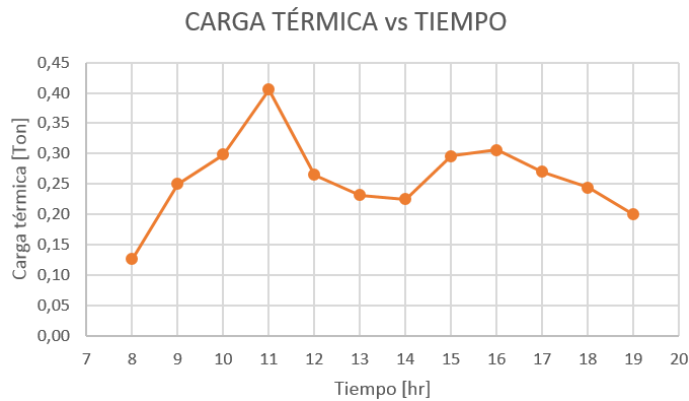
**Tabla 18.** Infiltración por abertura y cierre de puertas

DESCRIPCIÓN	TIPO	CANTIDAD	ÁREA [m <sup>2</sup> ]	UTILIZACIÓN MEDIA [m <sup>3</sup> /hr-m <sup>2</sup> ]	INFILTRACIÓN POR ZONA [m <sup>3</sup> /s]
RECEPCIÓN	Puerta de madera	1	3,6	119	0,031

### 3.2 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Para encontrar la carga térmica en cada recinto, se evaluó individualmente cada zona hallando la máxima carga. En la Figura 48, se muestra la variación de la carga térmica para el día crítico de la oficina 2 ubicada en el primer piso.

**Figura 48.** Variación de la carga térmica




La carga térmica máxima calculada de cada zona en el edificio se observa en la Tabla 19. En la Figura 49, se muestra la unidad condensadora seleccionada para el sistema de refrigerante variable (VRF) de la edificación.

**Tabla 19.** Carga térmica máxima para cada zona

PISO	DESCRIPCIÓN	CARGA TÉRMICA [Ton]		DIFERENCIA
		ENERGYPLUS	TRNSYS	
TERCERO	Oficina 1	1,41	1,29	0,12
	Oficina 2	1,45	1,45	0,00
	Sala de juntas	2,08	2,02	0,06
	Pasillo	0,88	0,75	0,13
SEGUNDO	Oficina 1	1,08	1,04	0,04
	Oficina 2	1,63	1,56	0,07
	Oficina 3	1,26	1,16	0,10
	Oficina 4	1,02	1,03	0,01
	Pasillo	0,73	0,64	0,09
PRIMER	Oficina 1	0,81	0,76	0,05
	Oficina 2	0,41	0,47	0,06
	Oficina 3	0,79	0,76	0,03
	Recepción	0,92	0,98	0,06
	Pasillo	0,32	0,42	0,10
	Cafetería	0,74	0,70	0,04
<b>TOTAL [Ton]</b>		15,53	15,03	
<b>COOLING SIZING FACTOR 12%</b>	<b>CARGA TÉRMICA TOTAL [Ton]</b>	<b>17,4</b>	<b>16,83</b>	

**Figura 49.** Unidad condensadora seleccionada



208-230V/60Hz/3ø

Model	ARUN... BT2	Dual Frame	154	173	192	211
		Combination	076	096	096	115
			076	076	096	096
Ton			12.5	14.5	16.0	17.5
Capacity	Cooling	Btu/h	152,900	172,000	191,100	210,200
		kW	44.8	50.4	56.0	61.6
Capacity	Heating	Btu/h	172,000	193,500	225,000	236,500
		kW	50.4	56.7	63.0	69.3
Power Input	Cooling	kW	12.4	14.0	15.6	18.4
	Heating	kW	14.0	15.8	17.6	19.9
Power Supply		V / Hz / ø	208-230/60/3	208-230/60/3	208-230/60/3	208-230/60/3
Dimensions(WxHxD)		inch	(50 3/8 x 63 5/16 x 28 11/16) x 2	(50 3/8 x 63 5/16 x 28 11/16) x 2	(50 3/8 x 63 5/16 x 28 11/16) x 2	(50 3/8 x 63 5/16 x 28 11/16) x 2
		mm	(1280 x 1607 x 730) x 2	(1280 x 1607 x 730) x 2	(1280 x 1607 x 730) x 2	(1280 x 1607 x 730) x 2
Net Weight		lbs	628+628	628+628	628+628	628+628
		kg	285	285+285	285+285	285+285
Casing Color			Warm Gray	Warm Gray	Warm Gray	Warm Gray
Sound Pressure*		dB(A)	61	61	61	61
Fan	Type		Propeller fan	Propeller fan	Propeller fan	Propeller fan
	Air Flow Rate (High)	cfm	13,400	13,400	13,400	13,400
Compressor	Type		DC Scroll	DC Scroll	DC Scroll	DC Scroll
	Number of compressor		2+2	2+2	2+2	2+2
Heat Exchanger			GoldFin™	GoldFin™	GoldFin™	GoldFin™
	Refrigerant Type		R410A	R410A	R410A	R410A
Refrigerant	Charge	lb	17.6 + 17.6	17.6 + 17.6	17.6 + 17.6	17.6 + 17.6
		kg	8+8	8+8	8+8	8+8
	Control		EEV	EEV	EEV	EEV
Maximum Number of Indoor Units			26	29	32	35

Fuente: LG. Multi V: Applied Commercial Air Conditioning [diapositivas]. Seúl: 94 diapositivas, color.

Como el COP de la unidad condensadora hallada es 3,35, se calculó el trabajo de compresión por medio de la siguiente ecuación.

$$COP = \frac{\text{Carga térmica anual [W]}}{\text{Trabajo de compresión anual [W]}}$$

Para calcular el consumo eléctrico asociado al sistema de acondicionamiento de aire, se debe conocer el costo específico de la energía. Para un edificio comercial de estrato 3 ubicado en Santander, la tarifa es 396,8357  $\left[ \frac{\$}{\text{kWh}} \right]$  (ver Figura 50).

**Figura 50.** Costo específico de la energía

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A. ESP.								
INFORMA A SUS USUARIOS DEL SISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA DE DEPARTAMENTO DE SANTANDER Y SUR DEL CESAR								
De acuerdo con las resoluciones 119/07, 097/08, 121/09 y 172/09 expedidas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG,								
que permiten establecer los costos de la prestación del servicio a usuarios regulados, las tarifas para el mes de								
MAYO 2016								
TARIFAS RESIDENCIALES								
ESTRATO		1		2		3		4
PROPIEDAD ACTIVOS	NIVEL MEDIDA	% SUBSIDIO	TARIFA \$/kWh	% SUBSIDIO	TARIFA \$/kWh	% SUBSIDIO	TARIFA \$/kWh	TARIFA \$/kWh
ESSA	I	-60.00%	193.8443	-50.00%	242.3053	-15.00%	411.9190	484.6106
CLIENTE	I	-60.00%	175.6808	-50.00%	219.6011	-15.00%	373.3218	439.2021
Nota: El subsidio es aplicado hasta el consumo de subsistencia.								
TARIFAS RESIDENCIALES				TARIFAS NO RESIDENCIALES				
ESTRATO		5 y 6		COMERCIAL / INDUSTRIAL		ACUEDUCTOS. ESP		OFICIAL
PROPIEDAD ACTIVOS	NIVEL MEDIDA	% CONTRIB.	TARIFA \$/kWh	CONTRIB. 20%	TARIFA \$/kWh	CONTRIB. 10%	TARIFA \$/kWh	TARIFA \$/kWh
ESSA	I	20.00%	581.5328	96.9221	581.5328	48.4611	533.0717	484.6106
CLIENTE	I	20.00%	527.0425	87.8404	527.0425	43.9202	483.1223	439.2021
	II			79.3073	475.8437	39.6536	436.1901	396.5364
	III			66.1393	396.8357	33.0696	363.7661	330.6965
	IV			54.2509	325.5052	27.1254	298.3797	271.2543

Fuente: ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A. ESP. Tarifas [diapositiva]. Bucaramanga: 1 diapositiva, color.

El consumo eléctrico de los ventiladores de la unidad condensadora se calculó al multiplicar la potencia que consumen por las horas trabajadas durante el año. Por ende, la ecuación que calcula el consumo total del edificio es:

$$\text{CONSUMO TOTAL} = \text{C. ILUMINACIÓN Y EQUIPOS} + \text{C. HVAC} + \text{C. VENTILADORES}$$

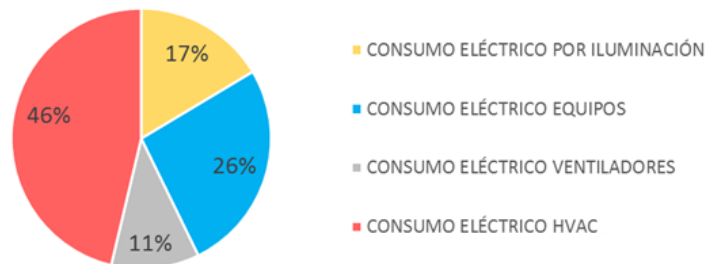
En la Tabla 20, se muestra la carga térmica anual calculada por medio de los softwares analizados y el consumo energético total del edificio.

**Tabla 20.** Consumo total del edificio

COSTO KW-h: \$396.8357	ENERGYPLUS	TRNSYS
CONSUMO ELÉCTRICO ILUMINACIÓN Y EQUIPOS	\$8.322.253,19 20971,54 [KW-h]	
CONSUMO ELÉCTRICO VENTILADORES	\$2.136.722,14 5384,4 [KW-h]	
	POTENCIA: 1400 W HORAS DE TRABAJO: 3846	
CARGA TÉRMICA ANUAL [W]	73403639,52	76045020,86
TRABAJO DE COMPRESIÓN ANUAL [KW-h]	21911,53	22700,01
CONSUMO ELÉCTRICO HVAC ANUAL [\$]	\$8.695.279	\$9.008.173
DIFERENCIA CONSUMO ELÉCTRICO HVAC	\$312.894	
CONSUMO ELÉCTRICO TOTAL DEL EDIFICIO	\$19.154.254,34 48267,47 [KW-h]	\$19.467.148,19 49055,94 [KW-h]

En la Figura 51, se muestra la contribución en proporción de los consumos eléctricos del edificio.

**Figura 51.** Proporción de los consumos eléctricos anuales del edificio



### 3.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

- La sala de juntas fue la zona que presentó la mayor demanda de energía por climatización, ya que contiene un gran volumen y número de personas. Además, las ventanas están ubicadas en las fachadas Este, Oeste y Sur, obteniendo mayor ganancia solar.
- El primer piso es la zona del edificio que requiere menor consumo de energía para el confort, ya que no hay captación solar en la parte superior y existe transferencia de calor hacia el terreno (sumidero de calor).
- Para el edificio analizado, el punto más crítico se presenta en el consumo eléctrico asociado a los requerimientos de confort, ya que representan el 46% de la energía total. Por ende, es necesario implementar estrategias que mejoren la sostenibilidad y reduzcan el impacto ambiental.
- Seleccionar un equipo de acondicionamiento de aire altamente eficiente influirá significativamente en el consumo energético total del edificio, ya que el gasto por climatización y ventiladores representan el 57% de la energía total.
- La discrepancia de los resultados entre EnergyPlus y TRNSYS radica en el método de cálculo utilizado y en la información requerida, especialmente en los parámetros de entrada para el cálculo de la ganancia obtenida por las ventanas.
- Debido a la variación y movimiento del sol durante el año y las orientaciones de cada zona, la máxima carga térmica para cada recinto no se presentó en el mismo día del año.

## 4. VALIDACIÓN DEL MODELO

Como el edificio analizado es ficticio, la validación del modelo se realizó para comprobar que los análisis energéticos efectuados en las herramientas seleccionadas se asemejan a la realidad.

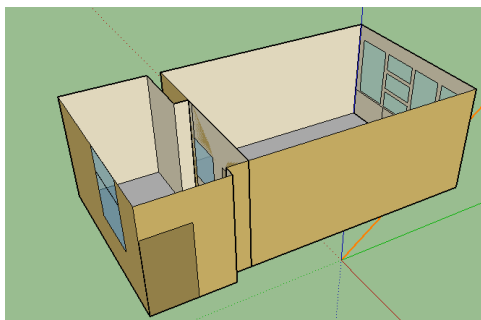
Se ejecutó en EnergyPlus el modelamiento de la temperatura interna en el día 23 de junio de 2016 para la oficina principal de la Maestría en Ingeniería Mecánica y se comprobaron los resultados por medio de un montaje experimental que midió la temperatura del cuarto.

La Maestría en Ingeniería Mecánica está ubicada en el tercer piso del edificio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander.

### 4.1 ADQUISICION DE DATOS DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA MECÁNICA

**4.1.1 Datos arquitectónicos de la Maestría en Ingeniería Mecánica.** Por medio de un decámetro se midieron las dimensiones de las ventanas, puertas y paredes de la secretaría y oficina de la Maestría. En la Figura 52, se observa el modelo en Google SketchUp. El edificio está orientado 25° al Noreste.

**Figura 52.** Zonas en la Maestría en Ingeniería Mecánica

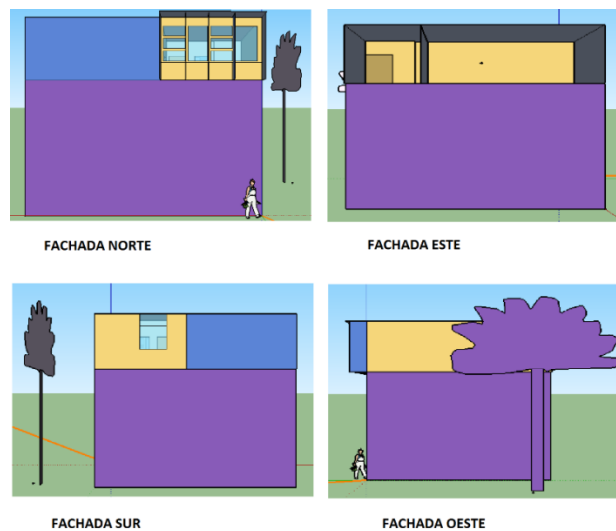


En la Tabla 21, se muestra el área de cada zona analizada y en la Figura 53, las fachadas de la edificación según la orientación geográfica. El color morado representa elementos de sombreado adyacentes a la zona y el color azul, elementos de sombreado dentro de cada zona.

**Tabla 21.** Áreas de cada zona de la Maestría

DESCRIPCIÓN	ÁREA [m <sup>2</sup> ]
OFICINA	26,88
SECRETARÍA	11,43

**Figura 53.** Fachadas de la Maestría según la orientación geográfica



**4.1.2 Materiales de construcción de la Maestría en Ingeniería Mecánica.** En la Tabla 22, se muestran los materiales de construcción de las paredes internas y externas, la cubierta y el piso. Las propiedades de los materiales usados se obtuvieron de la librería de OpenStudio.

Hay que tener en cuenta que no se tiene exactitud en los datos proporcionados, ya que no se cuenta con la bitácora de propiedades de los materiales usados en las construcciones de la región e implementadas en el edificio.

**Tabla 22.** Materiales de construcción de la Maestría

CONSTRUCCIÓN	MATERIALES	ESPESOR [m]	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA [W/m-K]	DENSIDAD [Kg/m <sup>3</sup> ]	CALOR ESPECÍFICO [J/Kg-K]
PARED EXTERNA	LAMINA DE ALUMINIO	0,0002	209	2700	909
	APLANADO DE CEMENTO ARENA	0,035	1,4	2000	1050
	LADRILLO MACIZO	0,18	0,895	1922,22	790
	ESTUCO	0,035	0,6918	1858	837
PARED INTERNA	ESTUCO	0,015	0,6918	1858	837
	MURO DE LADRILLO	0,18	0,48	1281,48	790
	ESTUCO	0,015	0,6918	1858	837
CUBIERTA	PLACA DE CONCRETO ALIGERADO	0,4	1,95	2240	900
	ESTUCO	0,015	0,6918	1858	837
PISO	PISO EN CERAMICA	0,01	0,6	368	590
	MASILLA DE PEGA	0,01	0,72	1760	840
	PLACA DE CONCRETO	0,4	1,95	2240	900

En la Figura 54, se muestran las ventanas ubicadas en la Maestría y sus dimensiones.

**Figura 54.** Ventanas en la Maestría



**4.1.3 Definición de cargas sensibles y latentes en la Maestría.** Las cargas internas se producen por la ocupación de las personas, los equipos misceláneos y de iluminación. Los equipos y las luces analizados solo contribuyen en carga sensible, mientras que las personas aportan carga sensible y latente.

**4.1.3.1 Perfil de uso de la Maestría.** Se realizó el perfil de ocupación de acuerdo al máximo número de personas que estuvieron en la semana (ver Tabla 23) y la permanencia de ellos en la zona durante el día analizado (ver Anexo C). Las personas realizan una actividad de oficina con un aporte de 120 W y un factor radiante de 0,6.

**Tabla 23.** Densidad de personas por metro cuadrado en la Maestría

DESCRIPCIÓN	ÁREA [m <sup>2</sup> ]	MÁXIMO NÚMERO DE PERSONAS	PERSONAS/m <sup>2</sup>
OFICINA	26,88	6	0,223
SECRETARÍA	11,43	2	0,175

**4.1.3.2 Definición de cargas sensibles por luces y equipos en la Maestría.** En el Anexo D, se observa el resumen de los equipos misceláneos en las zonas de la

oficina y la secretaria. Los portátiles son de 22 W y los computadores de escritorio de 97 W.

En la Tabla 24, se observa la potencia de las lámparas instaladas en la Maestría y el factor de carga por metro cuadrado. El factor radiante de las luces es de 0,9, ya que son luces superficiales (ver Tabla 16).

**Tabla 24.** Densidad de los equipos de iluminación por metro cuadrado en la Maestría

DESCRIPCIÓN	ÁREA [m <sup>2</sup> ]	LÁMPARAS	POTENCIA DE LÁMPARA [W]	FACTOR DE CARGA [W/m <sup>2</sup> ]
			68	
OFICINA	26,88	6	408	15,179
SECRETARÍA	11,43	2	136	11,899

**4.1.4 Infiltraciones de aire en la Maestría.** Las infiltraciones calculadas se realizaron con los mismos parámetros mencionados para el proyecto. En la Tabla 25, se muestra el área efectiva de fugas.

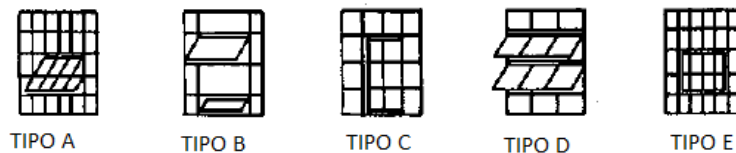
**Tabla 25.** Área efectiva de fugas en la Maestría

DESCRIPCIÓN	TIPO DE VENTANA	NÚMERO DE VENTANAS	ÁREA DE VENTANA [m <sup>2</sup> ]	ÁREA EFECTIVA DE FUGAS [cm <sup>2</sup> ]
OFICINA	Ventana móvil	6	0,4365	4,18
	Ventana fija	2	1,3416	4,29
	Ventana secretaria-oficina	1	1,029	1,64
	TOTAL			10,11
SECRETARÍA	Ventana móvil	1	1,68	2,68
	Ventana fija	1	0,868	1,39
	TOTAL			4,07

**4.1.5 Ventilación natural en la Maestría.** Ocurre por medio de la apertura de la puerta en la secretaría y de las ventanas ubicadas en la zona Norte (tipo D) de la oficina principal y en la zona Sur de la secretaría (tipo E). Se calculó por el método propuesto en el manual de aire acondicionado Carrier.

Conociendo el porcentaje de apertura y el tipo de ventana (ver Figura 55), se calcula de la Figura 56, el flujo de aire que ingresa al local.

**Figura 55.** Tipo de ventana según Carrier



Fuente: CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. Manual de Aire Acondicionado. Barcelona: Boixareu Editores, 1980.

**Figura 56.** Caudal de aire en m<sup>3</sup>/h

DESIGNACIÓN	m <sup>3</sup> /h POR m <sup>2</sup> DE ABERTURA									
	Porcentaje de la superficie que puede ser abierta									
	0 %	25 %	33 %	40 %	45 %	50 %	60 %	66 %	75 %	100 %
Ventana tipo A	6,0	13,2	-	18,0	-	-	-	26,5	-	47,4
Ventana tipo B	-	7,1	-	-	-	10,0	13,5	-	-	-
Ventana tipo C	-	-	5,1	-	-	9,0	-	-	-	11,5
Ventana tipo D	-	-	-	-	4,2	-	-	5,9	7,1	-
Ventana tipo E	5,0	10,6	-	15,0	-	-	-	22,0	-	40,0

Fuente: CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. Manual de Aire Acondicionado. Barcelona: Boixareu Editores, 1980.

Para las ventanas en la oficina y la secretaría, el caudal de ventilación es 4,2 y 40 m<sup>3</sup>/h para una velocidad de 12 km/h respectivamente. No obstante, como no se presenta esta velocidad de aire, el caudal debe ser corregido multiplicando por el siguiente factor:

$$Fc = \frac{v_m}{3,33} = \frac{0,882}{3,33} = 0,264$$

Donde  $v_m$ , es la velocidad media anual del aire en la fachada Norte en m/s.

En la Tabla 26, se muestra la ventilación para la oficina y la secretaria.

**Tabla 26.** Ventilación por zona en la Maestría

DESCRIPCIÓN	TIPO DE VENTANA	CANTIDAD	ÁREA [m <sup>2</sup> ]	PORCENTAJE DE APERTURA (%)	VENTILACIÓN POR ZONA [m <sup>3</sup> /s]
OFICINA	Tipo D	3	0,4365	45	0,000403963
SECRETARÍA	Tipo E	1	0,84	100	0,002467889
	Puerta de madera	1	3,6	100	0,31465583

## 4.2 MONTAJE EXPERIMENTAL

Por medio del 4-Channel Thermometer (ver Figura 57) se recolectó la señal de una termocupla tipo J instalada en la oficina de la Maestría que midió la temperatura de la zona para el día analizado. El dispositivo registró en un archivo .txt los datos medidos en una tarjeta de memoria SD estándar.

**Figura 57.** Adquisidor de datos

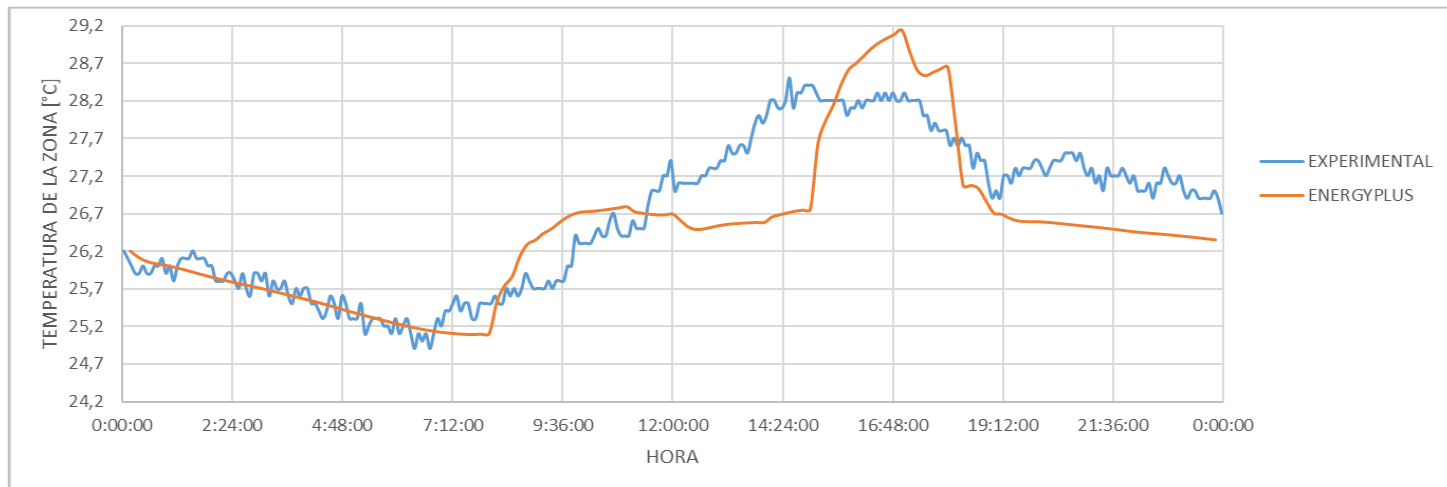


Fuente: COLEPARMER. 4-Channel Thermometer w/ SD Card Data Logging. Disponible en: [http://www.coleparmer.com/Product/4\\_Channel\\_Thermometer\\_w\\_SD\\_Card\\_Data\\_Logging/EW-37803-07](http://www.coleparmer.com/Product/4_Channel_Thermometer_w_SD_Card_Data_Logging/EW-37803-07)

### 4.3 RESULTADO DE LA VALIDACIÓN

En la Figura 58, se observa la comparación de la temperatura interna simulada de la oficina principal de la Maestría y la temperatura medida. Como se ve en la Figura, el comportamiento simulado se asemeja a la temperatura real del cuarto, validando el modelo.

**Figura 58.** Variación diaria de la temperatura interna de la oficina de la Maestría



Las variaciones que se observan en el modelo radican en la incertidumbre de los materiales y propiedades térmicas utilizadas. Además, para los cálculos de infiltraciones y ventilación natural, se utilizó un valor promedio para el día analizado.

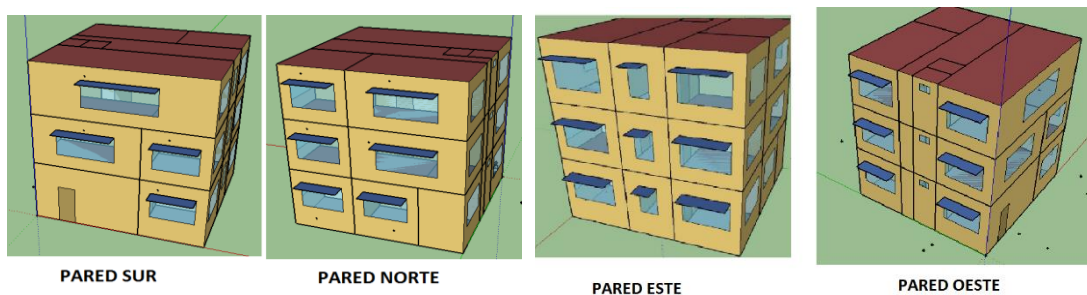
## 5. ESTRATEGIAS PARA REDUCIR LA CARGA TÉRMICA DEL EDIFICIO

Este capítulo propone estrategias que generan una reducción en el consumo energético del edificio al realizar cambios en la envolvente y en la cubierta de la edificación. Se evaluaron estrategias que pueden ser implementadas antes y/o después del edificio construido.

### 5.1 SALIENTES HORIZONTALES

Se ubicaron salientes horizontales en las ventanas de las oficinas de las fachadas Este-Oeste y Norte-Sur de la edificación (ver Figura 59). Las dimensiones seleccionadas y el material se observan en la Tabla 27.

**Figura 59.** Salientes horizontales en las fachadas del edificio



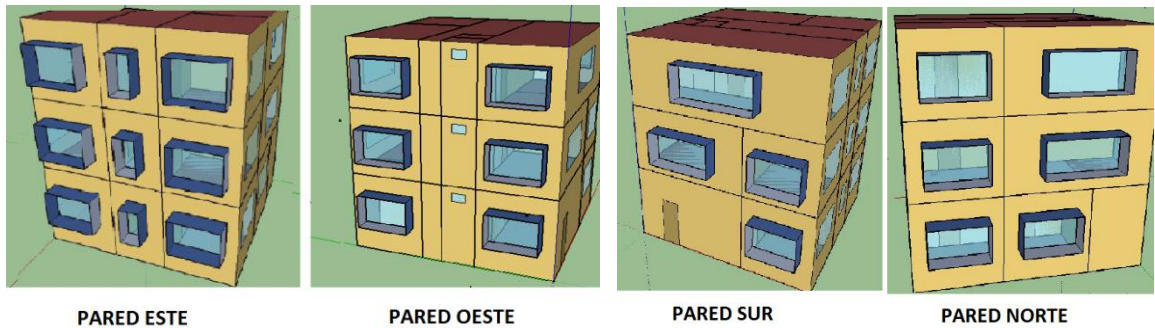
**Tabla 27.** Dimensiones y material para las salientes horizontales

FACHADAS	CANTIDAD	ESPESOR [m]	MATERIAL	PROFUNDIDAD [m]
ESTE-OESTE	12	0,12	Concreto	0,6/1/1,5
	3			
NORTE-SUR	6	0,12	Concreto	0,6/1/1,5
	3			
	1			

## 5.2 SALIENTES MIXTAS

Se ubicaron salientes horizontales y verticales en las ventanas de las oficinas de las fachadas Este-Oeste y Norte-Sur de la edificación (ver Figura 60). Las dimensiones analizadas y el material se observan en la Tabla 28.

**Figura 60.** Salientes mixtas en las fachadas del edificio



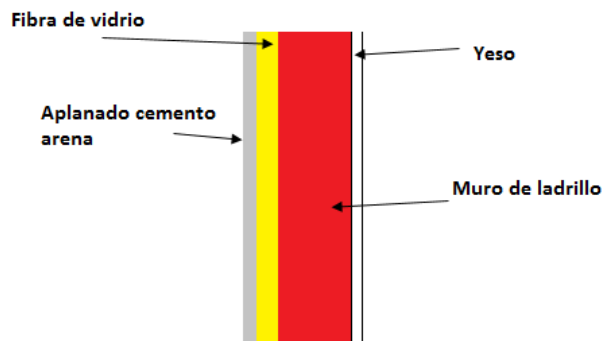
**Tabla 28.** Dimensiones y material para las salientes mixtas

ESTE-OESTE	CANTIDAD	ESPESOR [m]	MATERIAL	PROFUNDIDAD [m]
SALIENTES HORIZONTALES	24	0,12	Concreto	0,6/1/1,5
	6			
SALIENTES VERTICALES	30	0,12	Concreto	0,6/1/1,5
NORTE-SUR	CANTIDAD	ESPESOR [m]	MATERIAL	PROFUNDIDAD [m]
SALIENTES HORIZONTALES	12	0,12	Concreto	0,6/1/1,5
	6			
	2	0,12		
SALIENTES VERTICALES	20	0,12	Concreto	0,6/1/1,5

### 5.3 AISLAMIENTO EN MUROS EXTERIORES

Para los muros exteriores se agregó a la construcción inicial una capa de fibra de vidrio, entre el aplanado cemento arena y el muro de ladrillo (ver Figura 61).

**Figura 61.** Aislamiento en muros exteriores



En la Tabla 29, se muestran las propiedades del material utilizado como aislamiento en los muros exteriores.

**Tabla 29.** Dimensiones y material para el aislamiento en muros exteriores

MATERIAL	ESPESOR [m]	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA [W/m-K]	DENSIDAD [Kg/m <sup>3</sup> ]	CALOR ESPECÍFICO [J/Kg-K]
Fibra de vidrio	0,0508	0,035	220	795

### 5.4 VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS DEL TIPO DE VIDRIO

Para reducir la ganancia solar y disminuir el coeficiente global de transferencia de calor en las zonas vidriadas, se implementó ventanas con doble vidrio y una capa de aire en el medio. En la Figura 62, se muestra la configuración de la ventana y en la Tabla 30, las dimensiones y sus propiedades.

**Figura 62.** Doble vidrioado hermético



Fuente: CELTACRISTALES. Vidriería Española Distribución. Disponible en: <http://www.celtacristales.com/web/servicios.php>

**Tabla 30.** Dimensiones y propiedades para el vidrio utilizado

ESTRATEGIA	ESPESOR [mm]	U FACTOR [W/m2-K]	SHGC	TRANSMITANCIA VISIBLE
DOBLE VIDRIADO HERMÉTICO	4/6/4	3,44	0,76	0,815
	6/12/6	3	0,722	0,797
DOBLE VIDRIADO CON BAJA EMISIVIDAD	6/8/6	2,46	0,724	0,627
DOBLE VIDRIADO REFLECTANTE	6/8/6	2,76	0,466	0,377

## 5.5 LÁMPARAS ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES

Se seleccionó un tipo de lámpara empotrada con un mejor rendimiento lumínico y energético (ver Figura 63), ya que presentan un aumento del 13% en el flujo lumínico y un ahorro en la potencia del 47%.

**Figura 63.** Lámpara utilizada en la edificación de 38 W



Fuente: PHILIPS. PowerBalance Generación 2: Rendimiento sostenible [diapositivas]. Eindhoven: 7 diapositivas, color.

En la Tabla 31, se muestra la densidad de equipos de iluminación por metro cuadrado. Las luces de los baños siguen siendo de 15 W.

**Tabla 31.** Densidad de equipos de iluminación eficiente por metro cuadrado

PISO	DESCRIPCIÓN	ÁREA [m <sup>2</sup> ]	LÁMPARAS	POTENCIA DE LÁMPARA [W]	FACTOR DE CARGA [W/m <sup>2</sup> ]
				38	
TERCERO	Sala de juntas	54	6	228	4,222
	Baño mujeres	3,2	1	15	4,688
	Pasillo	32	4	152	4,750
	Baño hombres	3,2	1	15	4,688
	Oficina 2	32,25	4	152	4,713
	Oficina 1	19,35	4	152	7,855
SEGUNDO	Oficina 1	20,25	4	152	7,506
	Baño mujeres	3,2	1	15	4,688
	Oficina 2	33,75	4	152	4,504
	Oficina 3	32,25	4	152	4,713
	Oficina 4	19,35	4	152	7,855
	Pasillo	32	4	152	4,750
	Baño hombres	3,2	1	15	4,688

<b>PRIMER</b>	Oficina 1	19,35	4	152	<b>7,855</b>
	Recepción	33,75	4	152	<b>4,504</b>
	Oficina 2	19,35	4	152	<b>7,855</b>
	Oficina 3	20,25	4	152	<b>7,506</b>
	Pasillo	32	4	152	<b>4,750</b>
	Cafetería	12,9	2	76	<b>5,891</b>
	Baño mujeres	3,2	1	15	<b>4,688</b>
	Baño hombres	3,2	1	15	<b>4,688</b>

## 5.6 OTRAS ESTRATEGIAS

- CAMBIO DE UN GRADO EN EL TERMOSTATO: Se seleccionó 24° en el termostato del edificio.
- SE ORIENTÓ EL EDIFICIO A 15° GRADOS AL NORESTE.
- SE ORIENTÓ EL EDIFICIO A 15° GRADOS AL NOROESTE.

## 5.7 RESULTADOS DE LAS ESTRATEGIAS IMPLEMENTADAS

En la Tabla 33, se observa el ahorro obtenido de cada estrategia implementada. La comparación se realizó teniendo en cuenta el consumo eléctrico del edificio base (ver Tabla 32).

**Tabla 32.** Consumo eléctrico anual del edificio base

<b>CONSUMO ELÉCTRICO DEL EDIFICIO BASE</b>	
<b>ENERGYPLUS</b>	<b>TRNSYS</b>
\$19.154.254	\$19.467.148
48267,47 [KW-h]	49055,94 [KW-h]

**Tabla 33.** Consumo eléctrico del edificio según las estrategias implementadas

ESTRATEGIA		CONSUMO ELÉCTRICO [KW-h]		% DE AHORRO PROMEDIO
		ENERGYPLUS	TRNSYS	
SALIENTES HORIZONTALES EN FACHADAS ESTE-OESTE	0,6 [m]	46653,41	47218,25	<b>3,55</b>
	1 [m]	46145,11	46438,91	<b>4,87</b>
	1,5 [m]	45353,47	45783,39	<b>6,35</b>
SALIENTES MIXTAS EN FACHADAS ESTE-OESTE	0,6 [m]	45834,40	46299,14	<b>5,33</b>
	1 [m]	45196,20	45173,38	<b>7,14</b>
	1,5 [m]	43983,51	44236,60	<b>9,35</b>
SALIENTES MIXTAS EN FACHADAS NORTE-SUR	0,6 [m]	46250,52	46921,44	<b>4,26</b>
	1 [m]	45581,39	46182,45	<b>5,71</b>
	1,5 [m]	45247,39	45658,18	<b>6,59</b>
SALIENTES HORIZONTALES EN FACHADAS NORTE-SUR	0,6 [m]	46881,98	47600,11	<b>2,92</b>
	1 [m]	46477,94	47097,80	<b>3,85</b>
	1,5 [m]	46164,89	46754,45	<b>4,52</b>
DOBLE VIDRIADO HERMÉTICO	4/6/4 [mm]	46796,98	47687,64	<b>2,92</b>
	6/12/6 [mm]	46085,31	47425,42	<b>3,92</b>
DOBLE VIDRIADO CON BAJA EMISIVIDAD	6/8/6 [mm]	46368,19	47978,61	<b>3,07</b>
DOBLE VIDRIADO REFLECTANTE	6/8/6 [mm]	41511,60	43207,01	<b>12,96</b>
REDUCCIÓN DEL 20% DEL AREA DE VIDRIADO		46378,44	47117,33	<b>3,93</b>
AISLAMIENTO EN MUROS EXTERIORES		47967,97	48437,59	<b>0,94</b>
LAMPARAS ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES		44014,92	44757,13	<b>8,79</b>
CAMBIO DE UN GRADO EN EL TERMOSTATO		46009,45	45909,71	<b>5,55</b>
EDIFICIO ORIENTADO 15° GRADOS AL NORESTE		48346,67	49143,48	<b>-0,17</b>
EDIFICIO ORIENTADO 15° GRADOS AL NOROESTE		48180,62	48939,48	<b>0,21</b>

## 5.8 ANÁLISIS ECONÓMICO

Se realizó un análisis económico al calcular el valor presente neto (VPN)<sup>20</sup> de las estrategias que presentaron un ahorro en el consumo energético mayor al 3%, para hallar el tiempo de recuperación de la inversión y la viabilidad de la estrategia. La tasa de interés de los certificados de depósito a término de 90 días (DTF) es de 7,29%<sup>21</sup>.

$$VPN = -P + \sum_{t=1}^n \frac{FNE_t}{(1+i)^t}$$

Donde,  $P$  es la inversión del proyecto en COP,

$n$ , es el tiempo de la recuperación de la inversión en años,

$FNE_t$  es el flujo neto efectivo del periodo  $n$  en COP, e

$i$  es la tasa de interés de oportunidad, que se asumió como el  $DTF + 3\%$ .

En la Tabla 34, se muestran el volumen de los elementos de sombreado y el costo inicial de cada estrategia. El valor por metro cubico del concreto incluyendo la mano de obra es de \$329.612<sup>22</sup>.

**Tabla 34.** Inversión y volumen de los elementos de sombreado

SALIENTES HORIZONTALES	0,6 [m]	INVERSIÓN	1 [m]	INVERSIÓN	1,5 [m]	INVERSIÓN
ESTE-OESTE [m <sup>3</sup> ]	2,85	\$939.790	4,75	\$1.566.316	7,13	\$2.349.474
NORTE-SUR [m <sup>3</sup> ]	2,52	\$830.622	4,20	\$1.384.370	6,30	\$2.076.556
<b>SALIENTES MIXTAS</b>						
ESTE-OESTE [m <sup>3</sup> ]	10,02	\$3.303.503	16,70	\$5.505.839	25,06	\$8.258.758
NORTE-SUR [m <sup>3</sup> ]	7,92	\$2.610.527	13,20	\$4.350.878	19,80	\$6.526.318

<sup>20</sup> UNIVERSIDAD INTERAMERICANA PARA EL DESARROLLO. Evaluación de proyectos de inversión [diapositivas]. México, p.8.

<sup>21</sup> BANCO DE LA REPÚBLICA. Tasas de captación semanales y mensuales. Disponible en: <http://www.banrep.gov.co/es/dtf> (último acceso: 15 de julio de 2016).

<sup>22</sup> CONSTRUDATA. Análisis resumidos generales [diapositivas]. Colombia, 2015, p. 8.

Por medio de EXCEL, se halló el tiempo de recuperación de la inversión, que corresponde a un VPN mayor a cero. En la Tabla 35, se muestra el cálculo para las salientes horizontales Este-Oeste de 0,6 m.

**Tabla 35.** Valor presente neto

AÑO	FLUJO EFECTIVO	INVERSIÓN		
0	-\$939.789,73			
1	\$685.529,89	AHORRO	VPN	-\$254.259,84
2	\$685.529,89	AHORRO	VPN	\$240.619,03

En la Tabla 36, se muestra el tiempo de recuperación y la inversión de las estrategias analizadas con un ahorro mayor al 3%. Para las lámparas energéticamente eficientes, se realizó el análisis en la etapa diseño, donde la inversión fue la resta entre el costo total de las lámparas<sup>23</sup> utilizadas en el modelo base y la estrategia implementada. Además, para la inversión<sup>24</sup> donde se varía las propiedades térmicas del vidrio, se tuvo en cuenta la mano de obra.

**Tabla 36.** Inversión y tiempo de recuperación de las estrategias

ESTRATEGIA		INVERSIÓN	TIEMPO DE RECUPERACIÓN [años]
SALIENTES HORIZONTALES EN FACHADAS ESTE-OESTE	0,6 [m]	\$939.790	2
	1 [m]	\$1.566.316	2
	1,5 [m]	\$2.349.474	3
SALIENTES MIXTAS EN FACHADAS ESTE-OESTE	0,6 [m]	\$3.303.503	5
	1 [m]	\$5.505.839	6
	1,5 [m]	\$8.258.758	7
SALIENTES MIXTAS EN FACHADAS NORTE-SUR	0,6 [m]	\$2.610.527	5
	1 [m]	\$4.350.878	6
	1,5 [m]	\$6.526.318	8

<sup>23</sup> PHILIPS. Tarifa: Alumbrado profesional [diapositivas]. España, 2016. p. 120.

<sup>24</sup> CONSTRUDATA. Presupuestar. Disponible en:

<http://www.construdata.com/insumosprincipal.asp?ciudad=0> (último acceso: 15 de julio de 2016)

SALIENTES HORIZONTALES EN FACHADAS NORTE-SUR	1 [m]	\$1.384.370	3
	1,5 [m]	\$2.076.556	3
DOBLE VIDRIADO HERMÉTICO	6/12/6 [mm]	\$8.968.698	Más de 30 años
DOBLE VIDRIADO CON BAJA EMISIVIDAD	6/8/6 [mm]	\$13.811.900	Más de 30 años
DOBLE VIDRIADO REFLECTANTE	6/8/6 [mm]	\$17.542.068	14
LAMPARAS ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES		\$9.871.649	10

## 5.9 ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Utilizar lámparas energéticamente eficientes permite un ahorro del 8,79% en la energía anual consumida, ya que reduce la carga térmica total del edificio y la potencia de los equipos de iluminación. No obstante, el costo inicial de estos equipos es alto y el tiempo de recuperación de la inversión si se implementan en la etapa de diseño es de 10 años.
- Ubicar elementos de sombreado en las ventanas de la edificación generan reducciones significativas en la carga térmica y la temperatura de las zonas. Sin embargo, se debe encontrar la relación óptima entre la iluminación natural y la ganancia solar.
- Debido a que las ganancias solares tienen gran impacto en las superficies perpendiculares a los rayos del sol, las salientes mixtas en las fachadas Este-Oeste tuvieron la mayor reducción en la carga térmica, ya que presentaron un ahorro entre 5,33% y 9,35% del consumo eléctrico anual. Además, el tiempo de recuperación de la inversión oscila entre 5 y 7 años.

- Las salientes horizontales en las fachadas Este-Oeste generan más ahorro en la carga térmica que las ubicadas en las fachadas Norte-Sur, ya que el sol presenta grandes ángulos de altura solar a lo largo del año debido a la latitud de Bucaramanga.
- Al tener un costo inicial alto, el uso del aislamiento en los muros exteriores no fue viable, ya que generó ahorros cercanos al 1% del consumo total del edificio. Además, es una estrategia que debe analizarse en las etapas iniciales del diseño.
- Reducir el 20% del área de vidriado del edificio conlleva un ahorro del 3,93% en el consumo eléctrico anual. Sin embargo, es una alternativa que se debe realizar en las primeras etapas del proceso de diseño, acompañado de un análisis de iluminación natural.
- Se recomienda establecer 24°C en el termostato del edificio, ya que ahorra anualmente un 5,5% en el consumo energético y no requiere inversión.
- Implementar el doble vidrio reflectante en la edificación conlleva a un ahorro del 12,96%, ya que reduce principalmente la fracción de radiación solar incidente que penetra a través de la ventana. No obstante, se disminuye la transmisión de la luz natural a través del recinto.
- El tiempo de recuperación de la inversión para el doble vidrio reflectante es de 14 años. Sin embargo, la implementación de dicha estrategia en la etapa de diseño, reduce el tiempo a 11 años.
- El uso de vidrios dobles con una capa de aire genera ahorros entre 2,92% y 12,96% en la edificación. Sin embargo, solo se recomiendan cuando generen ahorros significativos y los costos iniciales sean bajos.

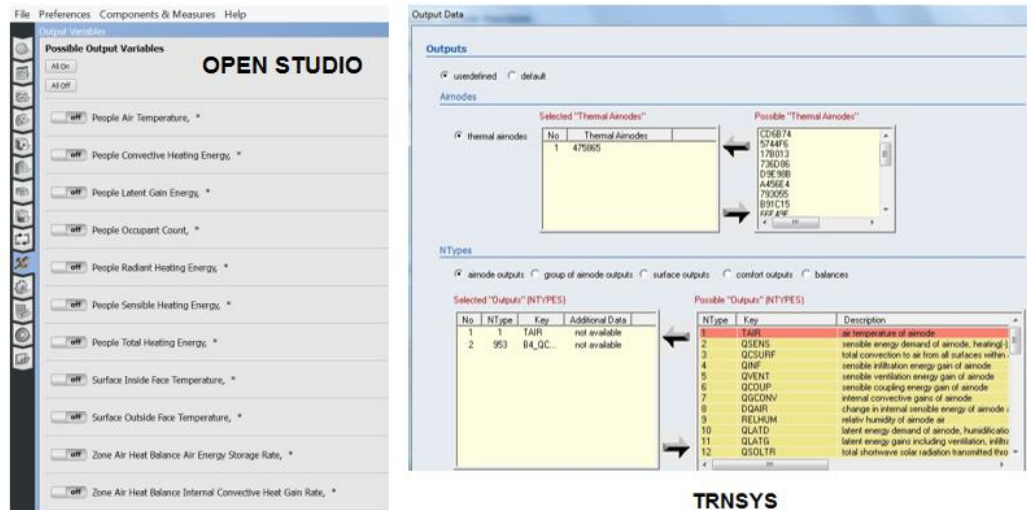
- Debido a que el mayor porcentaje de acristalamiento se encuentra en la fachada Este (28,13%) y Norte (26,04%), orientar el edificio 15° al noreste proporciona mayor ganancia de calor y consumo energético.
- Orientar el edificio 15° al noroeste genera ahorros en el consumo energético del 0,21%, ya que en la fachada Este se reduce la exposición del área de acristalamiento.
- La diferencia que existe entre los resultados obtenidos para las estrategias en las que se variaron las propiedades térmicas del vidrio se presentan en el ingreso de datos, ya que OpenStudio únicamente requiere tres propiedades térmicas para caracterizar la construcción de la ventana y TRNSYS utiliza una librería y un archivo ASCII que contiene más parámetros de entrada.

## 6. CRITERIOS PARA LA ADECUADA SELECCIÓN ENTRE ENERGYPLUS Y TRNSYS

En la Tabla 37, se muestran los parámetros creados para la comparación entre las dos herramientas computacionales utilizadas en el desarrollo del proyecto. A continuación, se definen todos los parámetros.

- Variables de salida: Son los resultados que arrojan las herramientas computacionales. Se dividen en variables asociadas a balances de energía, confort y consumos eléctricos.

**Figura 64.** Variables de salida



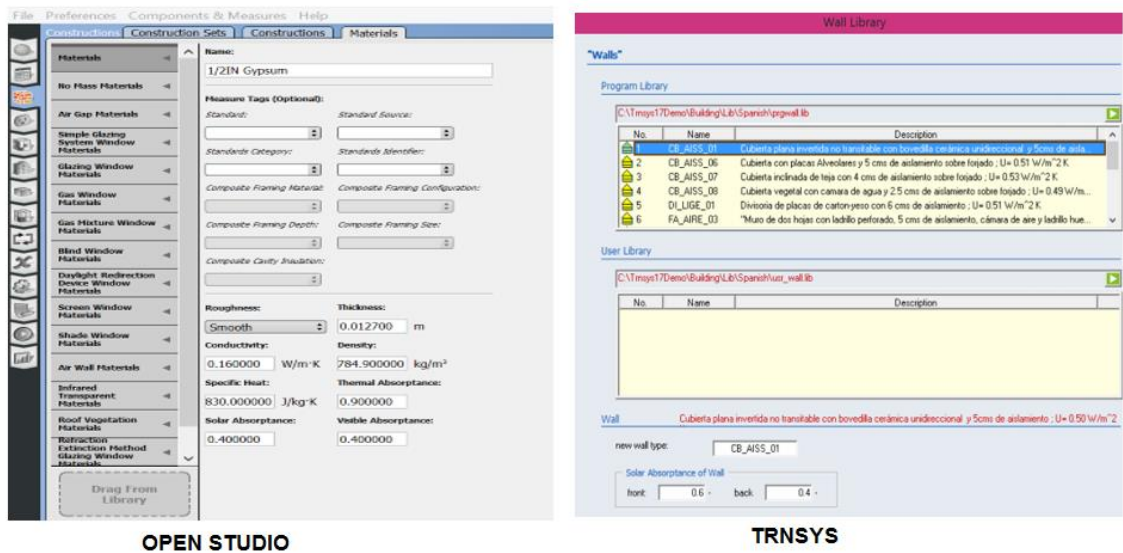
- Adquisición de las variables de salida: Es la forma en que las herramientas energéticas entregan los resultados.

**Figura 65.** Adquisición de las variables de salida



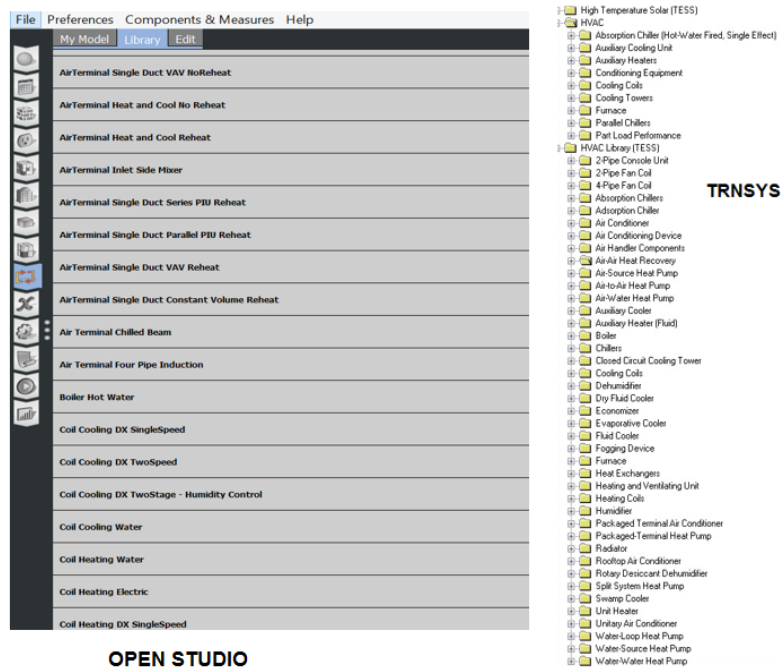
- Extensión del fichero meteorológico: Es el formato que debe contener la información climatológica de una ciudad.
- Librería de materiales: Es la bitácora que contiene las propiedades requeridas para caracterizar un material.

**Figura 66.** Librería de materiales



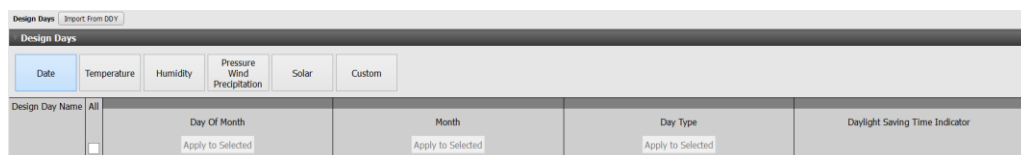
- Interfaz gráfica: Comunicación de la herramienta computacional con el usuario para el manejo y entrega de los datos requeridos para la simulación.
- Equipos de acondicionamiento de aire: Son los equipos mecánicos que proveen determinadas condiciones al aire para necesidades de confort a un local.

**Figura 67.** Equipos de acondicionamiento de aire



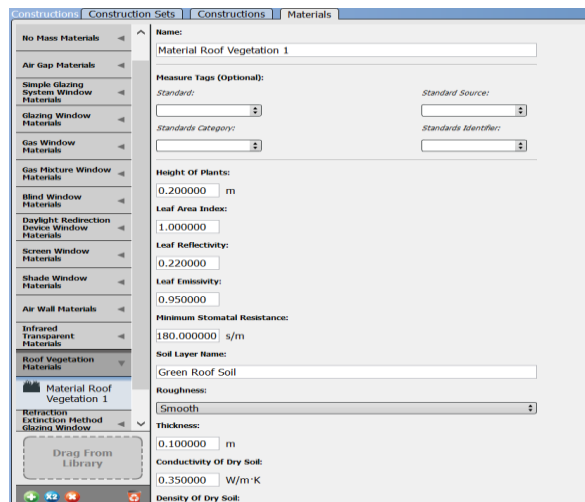
- Día de diseño: Describe las condiciones climatológicas del día crítico del año. Se utiliza para calcular la capacidad del equipo de acondicionamiento de aire según la ASHRAE.

**Figura 68.** Día de diseño



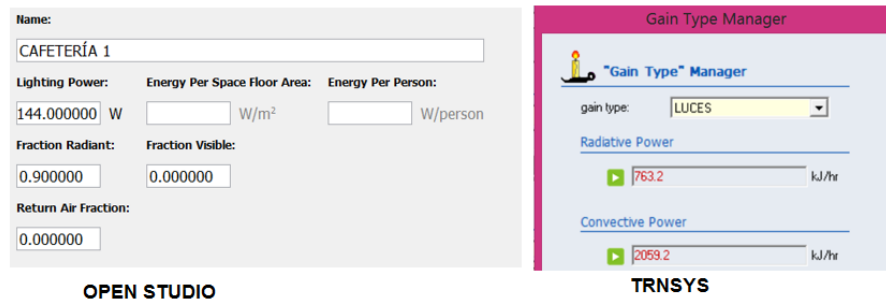
- Condiciones de simulación: Son los parámetros que determina el usuario para la ejecución de la simulación (año, mes o día del análisis y números de cálculos por hora).
- Implementación de techos verdes: Posibilidad de ingresar los datos requeridos para la simulación de los techos verdes (altura de las plantas, LAI, reflectividad y emisividad de la hoja, entre otros).

**Figura 69.** Implementación de techos verdes



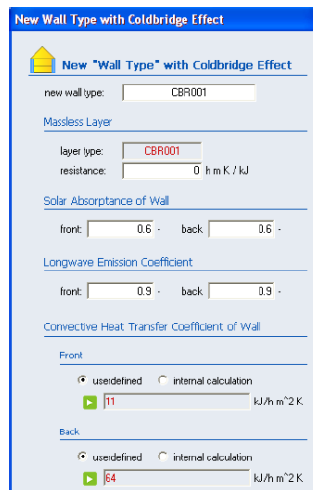
- Fracciones específicas para las luces: Son las proporciones de transferencia de calor emitidas por las lámparas. Se clasifican en fracción radiante, visible, aire de retorno y convectivo.

**Figura 70.** Fracciones específicas para las luces



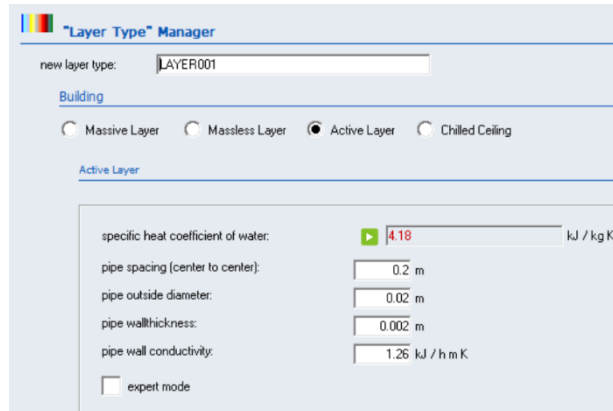
- Puentes térmicos: Zonas de la edificación donde se transmite más fácilmente el calor. Se deben a la diferencia de conductividad térmica, espesor de los materiales y condiciones geométricas.

**Figura 71.** Puentes térmicos



- Superficies con calefacción o refrigeración: Son capas activas añadidas a la pared, el techo y el piso que contienen tubos llenos de líquido que añaden o eliminar el calor de la superficie.

**Figura 72.** Superficies con calefacción o refrigeración



- Parámetros para la caracterización de la ventana: Son las variables requeridas para simular la transferencia de calor en vidrios.

**Figura 73.** Parámetros para la caracterización de la ventana

**Name:**  
VIDRIO 4 MM

**U-Factor:**  
5.800000 W/m<sup>2</sup>·K

**Solar Heat Gain Coefficient:**  
0.862000

**Visible Transmittance:**  
0.900000

OPEN STUDIO

Program Library | User Library | Program Library

Window-Types

C:\Trnsys17\Demo\Building\Lib\Spanish\open.lib

Name	WinID	def	Description
CLA1	13903	yes	Simple claro 6 (ID=13903, U=5.74 W/m <sup>2</sup> K, g=0.837), 15% marco (U=5.88 W/m <sup>2</sup> K)
REF1	13905	yes	Simple Reflectante 6 (ID=13905, U=5.73 W/m <sup>2</sup> K, g=0.527), 15% marco (U=5.88 W/m <sup>2</sup> K)
SCD1	13906	yes	Simple Control Solar 6 (ID=13906, U=5.73 W/m <sup>2</sup> K, g=0.482), 15% marco (U=5.88 W/m <sup>2</sup> K)
CLA2	13911	yes	Doble Claro 6/6/6 (ID=13911, U=2.93 W/m <sup>2</sup> K, g=0.722), 15% marco (U=5.88 W/m <sup>2</sup> K)
ABS2_G	13913	yes	Doble Absorbente Gris 6/6/6 (ID=13913, U=2.54 W/m <sup>2</sup> K, g=0.491), 15% marco (U=5.88 W/m <sup>2</sup> K)
REF2	13915	yes	Doble Reflectante 6/6/6 (ID=13915, U=2.54 W/m <sup>2</sup> K, g=0.466), 15% marco (U=5.88 W/m <sup>2</sup> K)
SCD2	13917	yes	Doble Control Solar 6/6/6 (ID=13917, U=2.54 W/m <sup>2</sup> K, g=0.405), 15% marco (U=5.88 W/m <sup>2</sup> K)

WinID-Pool modify WinID-Pool

WinID	Description	Design	U-Value	g-Value	T-sol	Rt-sol	T-v
13903	Simple, claro, 6 mm	6	5.73	0.837	0.789	0.08	0.6
13905	Simple, reflectante, 6 mm	6	5.73	0.527	0.633	0.04	0.3
13906	Simple, control solar, 6 mm	6	5.73	0.482	0.322	0.103	0.46
13911	Doble, claro, 6/6/6	6/6/6	2.91	0.722	0.627	0.13	0.75
13913	Doble, absorbente-gris, 6/6/6	6/6/6	2.76	0.491	0.347	0.065	0.38
13915	Doble, reflectante, 6/6/6	6/6/6	2.76	0.466	0.377	0.322	0.25

Window 5.2 v5.2.17 DOE-2 Data File : Multi Band Calculation

Unit System : SI

Name : TRNSYS 16 WIN LIB

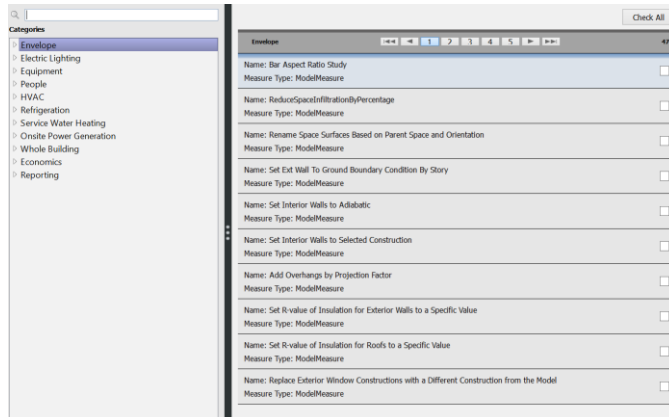
Desc : Simple, reflectante, 6 mm

Window ID : 13905

TRNSYS

- Ayuda al usuario online: Páginas web y manuales que permiten al usuario conocer la herramienta de simulación a trabajar.
- Measures: Medidas a implementar en la herramienta computacional que permite realizar cambios en la estructura y materiales del edificio.

**Figura 74. Measures**



- Iluminación natural: Analizar el potencial de iluminación natural que tiene un local.

**Tabla 37. Parámetros para la comparación entre EnergyPlus y TRNSYS**

PARÁMETROS	ENERGYPLUS	TRNSYS
VARIABLES DE SALIDA	Obtención de consumos eléctricos y variables asociadas a los balances de energía	Obtención de variables asociadas a los balances de energía, pero sin cuantificar consumos eléctricos y costos
ADQUISICIÓN DE LAS VARIABLES DE SALIDA	Genera informes de los resultados y entrega los datos en EXCEL	Entrega los datos en EXCEL y realiza una gráfica en tiempo real en Simulation Studio
EXTENSIÓN DEL FICHERO METEOROLÓGICO	Extensión EPW	Reconoce distintos tipos de extensiones (TMY, TM2, IWEC, EPW, CWEC, entre otros)
LIBRERÍA DE MATERIALES	Limitada	Librería extensa que contiene las propiedades térmicas de los materiales usados en la construcción
INTERFAZ GRÁFICA	Es necesaria la implementación de una interfaz gráfica para mejorar la facilidad y manejo de los datos	No se requiere

<b>EQUIPOS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE</b>	Por medio de OPENSTUDIO, contiene una librería extensa de los diferentes sistemas de acondicionamiento de aire y sus componentes	Contiene una librería limitada de los diferentes sistemas de acondicionamiento de aire
<b>DÍA DE DISEÑO</b>	Permite establecer el día crítico del año con sus condiciones climatológicas	No
<b>CONDICIONES DE SIMULACIÓN</b>	Permite al usuario escoger el año, día o mes de la simulación	Permite al usuario escoger el día o mes de la simulación en horas, teniendo en cuenta que el año siempre comienza un lunes
<b>IMPLEMENTACIÓN DE TECHOS VERDES</b>	Permite la simulación de los techos verdes sin tener en cuenta la pérdida de calor por evaporación y el cambio en la masa térmica cuando el suelo pasa de saturado a seco	No
<b>FRACCIONES ESPECÍFICAS PARA LAS LUCES</b>	Definir el porcentaje de fracción radiante, visible, aire de retorno y convectivo	Únicamente se define la fracción radiante y convectiva
<b>PUNTES TÉRMICOS</b>	No	Permite ingresar la resistencia térmica, la absorptividad y el coeficiente convectivo de transferencia de calor de la pared
<b>SUPERFICIES CON CALEFACCIÓN O REFRIGERACIÓN</b>	No	Permite ingresar el diámetro, el espesor, la conductividad térmica del tubo y la distancia entre ellos.
<b>PARÁMETROS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA VENTANA</b>	Permite el ingreso y modificación de las propiedades requeridas para cada tipo de ventana	Utiliza una librería y un archivo ASCII para la selección del tipo de ventana. No se recomienda la modificación o el ingreso de datos sin la aplicación WINDOW 4.1 creada por el laboratorio Lawrence Berkeley
<b>AYUDA AL USUARIO ONLINE</b>	Maneja una plataforma en la cual se encuentra ayuda audiovisual. Además, permite generar preguntas con otros usuarios y diseñadores del programa	Contiene manuales y ejemplos sencillos guiados al manejo de TRNSYS 17
<b>MEASURES</b>	Medidas compartidas y aplicadas para la modificación y mejora de los modelos de OpenStudio	No
<b>ILUMINACIÓN NATURAL</b>	Por medio del software Radiance	No

## OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- Para el modelo arquitectónico de TRNSYS en Google SketchUp, la creación de las puertas deben ser como pared externa (ext wall). Después, se le adjudica el material en TRNBuild.
- En OpenStudio, se deben asignar termostatos para climatización y calefacción a las zonas donde se desee calcular la carga térmica. Si un edificio no requiere calefacción, el termostato debe establecerse en una temperatura menor que la temperatura interna de la zona.
- Para obtener los resultados de la carga térmica de cada zona en OpenStudio, se debe descargar la measure “add\_output\_variable” y establecer la variable de salida “Zone Ideal Loads Zone Total Cooling Rate”.
- Para la creación de un fichero meteorológico, se recomienda tener datos climatológicos mínimo por un año.
- En la creación del modelo arquitectónico en Google SketchUp, no se deben tener en cuenta los espesores de las paredes, los pisos y la cubierta, ya que se ingresa como parámetro de entrada cuando se asigne el material.
- En TRNSYS, los elementos de sombreado se deben dibujar fuera de la zona térmica y trazar el espesor. No es posible especificar el material.
- Los elementos de sombreado de OpenStudio en Google SketchUp no requieren trazar el espesor y pueden dibujarse adentro o afuera de la zona, ya que se adjudicará dicho parámetro en la entrada de datos cuando se asigne el material.

## CONCLUSIONES

- Se realizó un estudio energético a un edificio de oficinas ubicado en la Ciudad de Bucaramanga con las herramientas energéticas TRNSYS y EnergyPlus, teniendo en cuenta las condiciones ambientales del sitio, los materiales de construcción y los perfiles de uso de los equipos, las luces y las personas.
- Se crearon los correspondientes modelos virtuales en el software Google SketchUp, teniendo en cuenta la orientación del edificio, forma y dimensionamiento de la edificación.
- Se evaluó el consumo energético del edificio analizado por medio de EnergyPlus y TRNSYS, obteniendo el costo de la energía anual de \$19.154.254,34 y \$19.467.148,19 respectivamente.
- Se calculó la carga térmica del edificio analizado a través de EnergyPlus y TRNSYS, obteniendo un total en el año de 73403639,52 W y 76045020,86 W.
- Se propusieron estrategias que mitigaron la carga térmica y el consumo energético del edificio, comprobando la importancia de implementar medidas pasivas y activas en el diseño de edificaciones.
- Se formularon criterios para la adecuada selección de EnergyPlus y TRNSYS en futuros análisis energéticos, ya que cada herramienta computacional presenta ventajas y contribuciones a casos específicos de estudio.
- Teniendo en cuenta que las herramientas computacionales trabajadas contienen una base de datos orientada a Estados Unidos y Europa, los estudios que se

realicen en Colombia requieren del conocimiento de las propiedades térmicas de los materiales de construcción usados en la región.

- Debido a que la información climatológica de las ciudades principales en Colombia se adquiere de sus aeropuertos, es necesario la implementación de múltiples estaciones meteorológicas que caractericen el clima de la ciudad para no generar errores al analizar la carga térmica de las edificaciones.
- La mayoría de las estrategias recomendadas se enfocaron a disminuir la energía necesaria para el confort térmico, ya que representó el 46% del consumo energético anual.
- No se recomienda implementar las lámparas energéticamente eficientes analizadas en la etapa de operación de un edificio, ya que por su costo inicial no se recupera la inversión.
- Debido a su beneficio- costo, se recomienda implementar elementos de sombreado en las ventanas de la edificación. Además, para disminuir la ganancia térmica, se deben ubicar la menor área de acristalamiento en las fachadas Este y Oeste.
- Debido a que EnergyPlus y OpenStudio se desarrollaron para el análisis de la carga térmica y el consumo energético en edificaciones, estos presentan más sencillez en el manejo de los parámetros de entrada y salida comparado con TRNSYS.

## BIBLIOGRAFÍA

- AIDICO INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA CONSTRUCCIÓN. Guía de Sostenibilidad en la Edificación Residencial: Energía [diapositivas]. Valencia: 81 diapositivas, color.
- AIDICO INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA CONSTRUCCIÓN. Guía de Sostenibilidad en la Edificación Residencial: Calidad del ambiente interior [diapositivas]. Valencia: 51 diapositivas, color.
- ALCALDE, Alberto. Estudio y simulación de un edificio con Energy Plus. Trabajo de grado en Ingeniería Técnica Industrial. Valencia: Escuela Técnica Superior de Ingeniería. 2010. 330 p.
- ASHRAE. Handbook Fundamentals. Atlanta: ASHRAE Research, 2009. 926p.
- ASHRAE. Handbook Fundamentals. Atlanta: ASHRAE Research, 2013. 1000p.
- BECKMAN, William y DUFFIE, John. Solar Engineering of Thermal Processes. 4th Edition. New Jersey: Wiley, 2013. 928 p.
- BRICEÑO, Richard. Estudio y simulación energética del edificio de la FIEC con Energy Plus. Trabajo de grado en Ingeniería Mecánica. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica Del Litoral. 2013. 190 p.
- CAMARA DE COMERCIO DE BUCARAMANGA. Anexo No. 1 Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones [diapositivas]. Colombia: 89 diapositivas, color.
- CAMPOREALE, Patricia y DUTT, Gautam. Luz natural e iluminación de interiores En: Manual de Iluminación Eficiente - Seminario de Iluminación Eficiente. Primera edición. p. 296-319.
- CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. Manual de Aire Acondicionado. Barcelona: Boixareu Editores, 1980. 858 p.
- CONSTRUCCIÓN B.H.I DE VICTORIA GASTEIZ. MSFC203\_Instalaciones de climatización y ventilación [diapositivas]. España: 47 diapositivas, color.

- GONZÁLEZ, Dania y MARTÍNEZ, Rolando. Sistema de elementos de protección solar para los edificios en Cuba. Estudio de caso. En: Arquitectura y Urbanismo. Septiembre, 2014. vol. 35, no. 3, p. 5-17.
- IDEC. Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico [diapositivas]. Caracas: 160 diapositivas, color.
- ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA. Lighting Handbook: Reference & Application, 8th Edition. New York: Illuminating Engineering, 1993. 355 p.
- KREIDER, Jan. Handbook of Heating, Ventilation, and Air Conditioning. New York: CRC Press. 667 p.
- MELHER. La protección solar en huecos de fachada. Disponible en: <http://www.revistatoldo.com/noticia.php?id=524> (último acceso: 20 de mayo de 2016).
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana [diapositivas]. Colombia: 2012, 201 diapositivas, color.
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público. Colombia: RETILAP, 2013.
- OPENSTUDIO®. Disponible en: <https://www.openstudio.net/> (último acceso: 20 de mayo de 2016).
- PULIDO, Oscar y MENESES, Marvin. 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: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Físico – Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. 2012. 304 p.
- SKETCHUP. Disponible en: <https://www.sketchup.com/es> (último acceso: 20 de mayo de 2016)

- SOL ARQ. Producción de calor en el cuerpo humano. Disponible en: <http://www.sol-arq.com/index.php/confort-humano/produccion-calor> (último acceso: 20 de mayo de 2016).
- SOLAR ENERGY LABORATORY. Standard Component Library Overview Solar. En: TRNSYS 17: A Transient System Simulation Program. Madison: 2005. p. 209-282.
- SOLAR ENERGY LABORATORY. Multizone Building Modeling with Type56 and TRNbuild. En: TRNSYS 17: A Transient System Simulation Program. Madison: 2005. p. 282-512.
- TORRES, José Luís. Climatización considerando el ahorro de energía y el confort térmico de las personas en ambientes dedicados a tareas de oficina. Trabajo de maestría en Ingeniería. Santa Fe: Universidad Nacional de San Juan. Facultad de Ingeniería. 2010. 128 p.
- TRNSYS. What is TRNSYS?. Disponible en: <http://www.trnsys.com/#1> (último acceso: 20 de mayo de 2016).
- UNIVERSIDAD INTERAMERICANA PARA EL DESARROLLO. Evaluación de proyectos de inversión [diapositivas]. México: 15 diapositivas, color.
- YUSO. Geometría solar – Conceptos Básicos [diapositivas]. Costa Rica: 2013, 25 diapositivas, color.

## **ANEXOS**

## ANEXO A. Perfiles de uso del edificio analizado

Tabla A1. Perfil de ocupación de la sala de juntas

SALA DE JUNTAS	HORAS											
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
DOMINGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUNES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MARTES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MIÉRCOLES	0,083	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
JUEVES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VIERNES	0,083	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
SÁBADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla A2. Perfil de ocupación de la cafetería

CAFETERÍA	HORAS											
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
DOMINGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUNES	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0
MARTES	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0
MIÉRCOLES	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0
JUEVES	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0
VIERNES	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0
SÁBADO	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla A3. Perfil de ocupación de los baños

BAÑO	HORAS											
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
DOMINGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUNES	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
MARTES	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
MIÉRCOLES	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
JUEVES	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
VIERNES	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
SÁBADO	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla A4. Perfil de ocupación de los pasillos y la recepción

PASILLOS Y RECEPCIÓN	HORAS											
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
DOMINGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUNES	0,25	1	1	1	1	0,25	0,25	1	1	1	1	0,25
MARTES	0,25	1	1	1	1	0,25	0,25	1	1	1	1	0,25
MIÉRCOLES	0,25	1	1	1	1	0,25	0,25	1	1	1	1	0,25
JUEVES	0,25	1	1	1	1	0,25	0,25	1	1	1	1	0,25
VIERNES	0,25	1	1	1	1	0,25	0,25	1	1	1	1	0,25
SÁBADO	0,25	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0

Tabla A5. Perfil de ocupación para las oficinas de 2 puestos

OFICINAS 2 PUESTOS	HORAS											
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
DOMINGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUNES	0,5	1	1	1	1	0,5	0,5	1	1	1	1	0,5
MARTES	0,5	1	1	1	1	0,5	0,5	1	1	1	1	0,5
MIÉRCOLES	0,5	1	1	1	1	0,5	0,5	1	1	1	1	0,5
JUEVES	0,5	1	1	1	1	0,5	0,5	1	1	1	1	0,5
VIERNES	0,5	1	1	1	1	0,5	0,5	1	1	1	1	0,5
SÁBADO	0,5	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0

Tabla A6. Perfil de ocupación para las oficinas de 3 puestos

OFICINAS 3 PUESTOS	HORAS											
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
DOMINGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUNES	0,33	1	1	1	1	0,33	0,33	1	1	1	1	0,33
MARTES	0,33	1	1	1	1	0,33	0,33	1	1	1	1	0,33
MIÉRCOLES	0,33	1	1	1	1	0,33	0,33	1	1	1	1	0,33
JUEVES	0,33	1	1	1	1	0,33	0,33	1	1	1	1	0,33
VIERNES	0,33	1	1	1	1	0,33	0,33	1	1	1	1	0,33
SÁBADO	0,33	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0

Tabla A7. Perfil de luces para las oficinas y la recepción

OFICINAS Y RECEPCIÓN	HORAS											
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
DOMINGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUNES	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0,5	1	1	1
MARTES	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0,5	1	1	1
MIÉRCOLES	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0,5	1	1	1
JUEVES	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0,5	1	1	1
VIERNES	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0,5	1	1	1
SÁBADO	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0

Tabla A8. Perfil de luces para la sala de juntas

SALA DE JUNTAS	HORAS											
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
DOMINGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUNES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MARTES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MIÉRCOLES	0,33	0,67	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
JUEVES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VIERNES	0,33	0,67	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
SÁBADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla A9. Perfil de luces para los pasillos

PASILLOS	HORAS											
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
DOMINGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUNES	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1
MARTES	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1
MIÉRCOLES	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1
JUEVES	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1
VIERNES	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1
SÁBADO	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0

Tabla A10. Perfil de luces para la cafetería

CAFETERÍA	HORAS											
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
DOMINGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUNES	0	0,5	0,5	0	0	1	0	0,5	0	1	0	0
MARTES	0	0,5	0,5	0	0	1	0	0,5	0	1	0	0
MIÉRCOLES	0	0,5	0,5	0	0	1	0	0,5	0	1	0	0
JUEVES	0	0,5	0,5	0	0	1	0	0,5	0	1	0	0
VIERNES	0	0,5	0,5	0	0	1	0	0,5	0	1	0	0
SÁBADO	0	0,5	0,5	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Tabla A11. Perfil de luces para los baños

BAÑOS	HORAS											
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
DOMINGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUNES	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
MARTES	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
MIÉRCOLES	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
JUEVES	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
VIERNES	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
SÁBADO	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla A12. Perfil de uso para los equipos de las oficinas para 2 puestos

OFICINAS 2 PERSONAS	HORAS											
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
DOMINGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUNES	0	0,279	0,279	1	0,279	0,279	0,279	0,279	0,279	0,279	0,279	0
MARTES	0	0,279	0,279	1	0,279	0,279	0,279	0,279	0,279	0,279	0,279	0
MIÉRCOLES	0	0,279	0,279	1	0,279	0,279	0,279	0,279	0,279	0,279	0,279	0
JUEVES	0	0,279	0,279	1	0,279	0,279	0,279	0,279	0,279	0,279	0,279	0
VIERNES	0	0,279	0,279	1	0,279	0,279	0,279	0,279	0,279	0,279	0,279	0
SÁBADO	0	0,279	0,279	0,510	0,279	0,279	0	0	0	0	0	0

Tabla A13. Perfil de uso para los equipos de los pasillos y recepción

PASILLOS Y RECEPCIÓN	HORAS											
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
DOMINGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUNES	0	0,23	0,23	1	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0
MARTES	0	0,23	0,23	1	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0
MIÉRCOLES	0	0,23	0,23	1	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0
JUEVES	0	0,23	0,23	1	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0
VIERNES	0	0,23	0,23	1	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0
SÁBADO	0	0,23	0,23	0,62	0,23	0,23	0	0	0	0	0	0

Tabla A14. Perfil de uso para los equipos de la cafetería

CAFETERÍA	HORAS											
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
DOMINGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUNES	0	1,854	1,792	0	0	0,062	0	1,792	0	1,792	0	0
MARTES	0	1,854	1,792	0	0	0,062	0	1,792	0	1,792	0	0
MIÉRCOLES	0	1,854	1,792	0	0	0,062	0	1,792	0	1,792	0	0
JUEVES	0	1,854	1,792	0	0	0,062	0	1,792	0	1,792	0	0
VIERNES	0	1,854	1,792	0	0	0,062	0	1,792	0	1,792	0	0
SÁBADO	0	1,854	1,792	0	0	0,062	0	0,125	0	0,125	0	0

Tabla A15. Perfil de uso para los equipos de las oficinas de 3 puestos

OFICINAS 3 PERSONAS	HORAS											
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
DOMINGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUNES	0	0,628	0,628	1	0,628	0,628	0,628	0,628	0,628	0,628	0,628	0
MARTES	0	0,628	0,628	1	0,628	0,628	0,628	0,628	0,628	0,628	0,628	0
MIÉRCOLES	0	0,628	0,628	1	0,628	0,628	0,628	0,628	0,628	0,628	0,628	0
JUEVES	0	0,628	0,628	1	0,628	0,628	0,628	0,628	0,628	0,628	0,628	0
VIERNES	0	0,628	0,628	1	0,628	0,628	0,628	0,628	0,628	0,628	0,628	0
SÁBADO	0	0,628	0,628	0,814	0,628	0,628	0	0	0	0	0	0

Tabla A16. Perfil de uso para los equipos de la sala de juntas

SALA DE JUNTAS	HORAS											
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
66,732 [W/m <sup>2</sup> ]												
DOMINGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUNES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MARTES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MIÉRCOLES	0,028	0,283	0,224	0,224	0,259	0	0	0	0	0	0	0
JUEVES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VIERNES	0,028	0,283	0,224	0,224	0,259	0	0	0	0	0	0	0
SÁBADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## ANEXO B. Densidad de equipos misceláneos por metro cuadrado

Tabla B1. Ganancia total de los equipos misceláneos

PISO	DESCRIPCIÓN	ÁREA [m <sup>2</sup> ]	PERSONAS	PERSONAS/m <sup>2</sup>	COMPUTADORES	POTENCIA DE COMPUTADORES [W]	FACTOR DE CARGA DE COMPUTADORES [W/m <sup>2</sup> ]	IMPRESORAS	POTENCIA DE IMPRESORAS [W]	FACTOR DE CARGA DE IMPRESORAS [W/m <sup>2</sup> ]	FACTOR DE CARGA DE VIDEO BEAM [W/m <sup>2</sup> ]	GANANCIA TOTAL EQUIPOS MISCELANEOS [W/m <sup>2</sup> ]
						97			320		200 W	
TERCER	Sala de juntas	54	12	0,222	12	264	4,889	1	320	5,926	3,704	14,519
	Baño mujeres	3,2	1	0,313	0	0	0	0	0	0	0	0,000
	Pasillo	32	4	0,125	1	97	3,031	1	320	10,000	0	13,031
	Baño hombres	3,2	1	0,313	0	0	0	0	0	0	0	0,000
	Oficina 2	32,25	3	0,093	3	291	9,023	1	320	9,922	0	18,946
	Oficina 1	19,35	2	0,103	2	194	10,026	1	320	16,537	0	26,563
SEGUNDO	Oficina 1	20,25	2	0,099	2	194	9,580	1	320	15,802	0	25,383
	Baño mujeres	3,2	1	0,313	0	0	0	0	0	0	0	0,000
	Oficina 2	33,75	3	0,089	3	291	8,622	1	320	9,481	0	18,104
	Oficina 3	32,25	3	0,093	3	291	9,023	1	320	9,922	0	18,946
	Oficina 4	19,35	2	0,103	2	194	10,026	1	320	16,537	0	26,563
	Pasillo	32	5	0,156	1	97	3,031	1	320	10,000	0	13,031
PRIMER	Baño hombres	3,2	1	0,313	0	0	0	0	0	0	0	0,000
	Oficina 1	19,35	2	0,103	2	194	10,026	1	320	16,537	0	26,563
	Recepción	33,75	5	0,148	1	97	2,874	1	320	9,481	0	12,356
	Oficina 2	19,35	2	0,103	2	194	10,026	1	320	16,537	0	26,563
	Oficina 3	20,25	2	0,099	2	194	9,580	1	320	15,802	0	25,383
	Pasillo	32	3	0,094	1	97	3,031	1	320	10,000	0	13,031
	Cafetería*	12,9	3	0,233	0	0	0	0	0	0	0	74,411
	Baño mujeres	3,2	1	0,313	0	0	0	0	0	0	0	0,000
Baño hombres	3,2	1	0,313	0	0	0	0	0	0	0	0,000	

ANEXO C. Perfiles de uso de la maestría

Tabla C1. Perfil de ocupación de la secretaria

SECRETARÍA	HORAS											
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
DOMINGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUNES	0	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	0,5	0,5	0,5
MARTES	0	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	0,5	0,5	0,5
MIÉRCOLES	0	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	0,5	0,5	0,5
JUEVES	0	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	0,5	0,5	0,5
VIERNES	0	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	0,5	0,5	0,5
SÁBADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla C2. Perfil de ocupación de la oficina

OFICINA	HORAS											
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
DOMINGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUNES	0,167	0,333	0,5	0,5	0,333	0	0	0	0	0	0	0
MARTES	0,167	0,333	0,5	0,5	0,333	0	0	0	0	0	0	0
MIÉRCOLES	0,167	0,333	0,5	0,5	0,333	0	0	0	0	0,5	0,167	0
JUEVES	0,167	0,50	0,50	0,50	0,50	0	0	0,167	0,167	0	0,167	0
VIERNES	0	0,333	0,5	0,5	0,333	0	0	0,167	1	1	0,167	0
SÁBADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla C3. Perfil de uso de las luces de la oficina

OFICINA	HORAS											
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
DOMINGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUNES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
MARTES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
MIÉRCOLES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
JUEVES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
VIERNES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
SÁBADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla C4. Perfil de uso de las luces de la secretaria

SECRETARÍA	HORAS											
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
DOMINGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUNES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
MARTES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
MIÉRCOLES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
JUEVES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
VIERNES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
SÁBADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla C5. Perfil de uso de los equipos de la oficina

OFICINA	HORAS											
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
DOMINGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUNES	0,03	0,186	0,186	0,186	0,186	0,152	0,152	0,152	0,152	0,152	0,152	0
MARTES	0,03	0,186	0,186	0,186	0,250	0,152	0,152	0,152	0,152	0,152	0,152	0
MIÉRCOLES	0,03	0,186	0,186	0,186	0,186	0,152	0,152	0,152	0,152	0,152	0,152	0
JUEVES	0,03	0,186	0,186	0,186	0,250	0,152	0,152	0,152	0,152	0,152	0,152	0
VIERNES	0	0,152	0,152	0,152	0,152	0,152	0,152	0,152	0,465	0,465	0,465	0
SÁBADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla C6. Perfil de uso de los equipos de la secretaría

SECRETARÍA	HORAS											
	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
DOMINGO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LUNES	0	1	0,213	0,947	0,213	0,213	0,213	0,947	0,213	0,213	0,213	0,213
MARTES	0	1	0,213	0,947	0,213	0,213	0,213	0,947	0,213	0,213	0,213	0,213
MIÉRCOLES	0	1	0,213	0,947	0,213	0,213	0,213	0,947	0,213	0,213	0,213	0,213
JUEVES	0	1	0,213	0,947	0,213	0,213	0,213	0,947	0,213	0,213	0,213	0,213
VIERNES	0	1	0,213	0,947	0,213	0,213	0,213	0,947	0,213	0,213	0,213	0,213
SÁBADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ANEXO D. Densidad de equipos misceláneos por metro cuadrado en la maestría

Tabla D1. Ganancia total de los equipos misceláneos de la maestría

DESCRIPCIÓN	ÁREA [m <sup>2</sup> ]	PERSONAS	PERSONAS/m <sup>2</sup>	COMPUTADORES	POTENCIA DE COMPUTADORES [W]	FACTOR DE CARGA DE COMPUTADORES [W/m <sup>2</sup> ]	IMPRESORAS	POTENCIA DE IMPRESORAS [W]	FACTOR DE CARGA DE IMPRESORAS [W/m <sup>2</sup> ]	FACTOR DE CARGA DEL VIDEO BEAM [W/m <sup>2</sup> ]	GANANCIA DE CAFETERA [W]	FACTOR DE CARGA DE CAFETERA [W/m <sup>2</sup> ]	GANANCIA TOTAL EQUIPOS MISCELANEOS [W/m <sup>2</sup> ]
					97			320		200 W		SENSIBLE	
OFICINA	26,88	6	0,223	2	119	4,427	1	320	11,905	7,440	0	0	23,772
SECRETARÍA	11,43	2	0,175	1	97	8,486	1	320	27,997	0	38	3,325	39,808