

**INFLUENCIA DE PARÁMETROS DE DISEÑO DE APLICACIONES
SOSTENIBLES SOBRE EL CONSUMO ENERGÉTICO EN LAS
INSTALACIONES DEL QUINTO PISO DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA
ELÉCTRICA A PARTIR DE SIMULACIONES CON DESIGNBUILDER**

**GABRIEL ANDRÉS ANAYA GÓMEZ
CÉSAR AUGUSTO AVELLANEDA MIRANDA
JORGE LUIS CÁRDENAS RANGEL**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2013**

**INFLUENCIA DE PARÁMETROS DE DISEÑO DE APLICACIONES
SOSTENIBLES SOBRE EL CONSUMO ENERGÉTICO EN LAS
INSTALACIONES DEL QUINTO PISO DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA
ELÉCTRICA A PARTIR DE SIMULACIONES CON *DESIGNBUILDER***

**GABRIEL ANDRÉS ANAYA GÓMEZ
CÉSAR AUGUSTO AVELLANEDA MIRANDA
JORGE LUIS CÁRDENAS RANGEL**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
Ingeniero Electricista**

**DIRECTOR
GERMÁN ALFONSO OSMA PINTO
Magíster en Ingeniería Eléctrica**

**Codirector
JOHANN FARITH PETIT
Doctor en Ingeniería Eléctrica**

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

2013

DEDICATORIA

A mi familia y a Dios, que representan el amor y la sabiduría.

Gabriel Andrés Anaya Gómez

A mi familia, gestores de este éxito y motor fundamental para lograr lo que
profesionalmente he soñado.

César Augusto Avellaneda Miranda

A mi familia, la materialización del amor de Dios en mi vida.

Jorge Luis Cárdenas Rangel

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos del alma a mi padre Teófilo Anaya y mi madre Bibiana Gómez, quienes han velado por mi salud y bienestar en la formación como profesional. Asimismo a mis tíos quienes fueron gran apoyo en situaciones difíciles. A los profesores quienes con su interés procuraron ver en mí un ingeniero integral y de gran ayuda en la sociedad. Y principalmente a Dios, quien movió a todas estas personas a que yo sea lo que soy hoy en día.
Gabriel Andrés Anaya Gómez.

A mi madre quien con su apoyo incondicional siempre estuvo ahí colaborándome en lo que necesitaba y en el transcurrir de la vida me ha enseñado a luchar por lo que he anhelado; a mis hermanos Cristina, Ana, Leonardo, Lucas, Beatriz, David, quienes me dieron su voz de aliento para culminar mis estudios con total éxito; a mis hijos por su comprensión y paciencia; a mis sobrinos que me dieron la fuerza para seguir adelante; a mi sobrino Nelson Camilo quien me facilitó los medios; a mis amigos los Ingenieros petroleros Alvaro Iván Cruz, Henry Oswaldo Mesa y Daniel Estevez quienes demostraron el valor de una buena amistad; a mis compañeros de universidad que estuvieron en las buenas y en las malas; y a todos los profesores que me guiaron durante la carrera, les mando muchas bendiciones.
César Augusto Avellaneda Miranda.

Mis sentimientos de gratitud para todas y cada una de las personas que intervinieron en mi proceso de formación; a mis profesores que infundieron en mí el conocimiento y el buen ejemplo; a mis amigos y compañeros de carrera, mi segunda familia a quienes debo en parte este logro, y por su puesto a mi amada Universidad que se convirtió prácticamente en mi hogar durante todo este tiempo.
Jorge Luis Cárdenas Rangel.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	23
1. GENERALIDADES	34
1.1 APLICACIONES ENERGÉTICAS SOSTENIBLES	34
1.1.1 Iluminación natural	35
1.1.2 Ventilación natural.	36
1.1.3 Cubierta verde.	38
1.1.4 Tubos solares.	40
1.2 ESTÁNDARES DE CONFORT	41
1.2.1 Confort térmico.	42
1.2.2 Confort visual.	44
1.3 SIMULACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS A PARTIR DE DESIGNBUILDER	45
1.3.1 Descripción general del software.	46
1.3.2 Metodología de análisis de una edificación en DesignBuilder.	46
1.3.3 Datos base requeridos por DesignBuilder.	49
1.3.4 Resultados de DesignBuilder.	51
1.3.5 Ventajas y limitaciones.	53
2. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES OBJETO DE ESTUDIO	54
2.1 UBICACIÓN Y REGIÓN CLIMÁTICA	54
2.2 ESPECIFICACIONES CONSTRUCTIVAS	56
2.2.1 Fachada	58
2.2.2 Particiones interiores.	59
2.2.3 Pisos	60
2.3 ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS	61

2.3.1 Especificaciones de iluminación general y equipos eléctricos	61
2.3.2 Especificaciones de climatización.	61
2.3.3 Especificaciones en automatización.	61
2.4 APLICACIONES ENERGETICAS SOSTENIBLES IMPLEMENTADAS	62
2.4.1 Iluminación natural a partir de tubos solares.	62
2.4.2 Iluminación natural a partir de ventanales.	64
2.4.3 Especificaciones para ventilación natural.	64
2.4.4 Especificaciones del techo verde.	64
3. MODELADO VIRTUAL EN DESIGNBUILDER	68
3.1 ELABORACIÓN DEL MODELO REAL	68
3.1.1 Modelado geométrico.	68
3.1.2 Datos del modelo.	71
3.1.2.1 Datos de actividad.	71
3.1.2.2 Datos de cerramientos.	72
3.1.2.3 Datos de aberturas.	75
3.1.2.4 Datos de iluminación.	76
3.1.2.5 Datos del sistema HVAC.	77
3.1.3 Opciones del modelo	79
3.1.4 Modelado de las aplicaciones energéticas en el software.	80
3.1.4.1 Modelado cubierta verde en DesignBuilder.	80
3.1.4.2 Modelado tubos solares.	83
3.1.4.3 Modelado de ventanales exteriores.	85
3.1.4.4 Modelado de la ventilación natural	87
3.2 ELABORACIÓN DEL MODELO BASE	87
3.2.1 Modelo geométrico.	88
3.2.2 Datos del modelo	90
3.2.3 Opciones del modelo.	90
4. PARÁMETROS DE DISEÑO DE APLICACIONES SOSTENIBLES	91
4.1 IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS	91

4.1.1 Iluminación natural.	92
4.1.1.1 Posición relativa de la ventana.	92
4.1.1.2 Área de acristalamiento de la ventana (tamaño de la ventana).	93
4.1.1.3 Otros parámetros asociados	93
4.1.2 Tubos solares	94
4.1.3 Ventilación natural.	94
4.1.4 Cubierta verde.	96
4.1.4.1 Selección de plantas	96
4.1.4.2 Especificación del sustrato	97
4.2 PARÁMETROS Y RANGOS DE VARIACIÓN SELECCIONADOS	98
4.2.1. Iluminación natural	99
4.2.1.1 Áreas de ventanales	99
4.2.1.2 Posición relativa de la ventana en la fachada	100
4.2.2 Tubos solares	101
4.2.2.1 Diámetro de los tubos solares	101
4.2.3 Ventilación natural.	101
4.2.3.1 Área de apertura de la ventana.	101
4.2.3.2 Tamaño de las ventanas y área de apertura.	102
4.2.4 Techo verde	102
4.2.4.1 Espesor del sustrato	103
4.2.4.2 Altura de la vegetación	103
5. SIMULACIONES EN DESIGNBUILDER	104
5.1. PLAN DE SIMULACIONES	104
5.1.1. Lista de simulaciones.	106
5.1.2 Selección del día crítico.	108
5.2 PARÁMETROS CONFIGURADOS	109
5.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS	110
5.3.1 Simulación del modelo base.	111
5.3.2 Simulación del modelo real.	115
5.3.3 Variación de parámetros	119

5.3.3.1 Variación área de acristalamiento.	120
5.3.3.1 Variación posición de las ventanas	120
5.3.3.2 Variación de diámetros tubos solares	121
5.3.3.3 Variación área de apertura de los ventanales.	122
5.3.3.4 Variación área de apertura y área de acristalamiento.	124
5.3.3.5 Variación espesor del sustrato.	126
5.3.3.6 Variación altura de las plantas.	127
5.3.3.7 Simulación del modelo configurado con las especificaciones de mayor ahorro.	129
5.4 SIMULACIONES DAYLIGHTING	131
6. CONCLUSIONES	133
BIBLIOGRAFÍA	140
ANEXOS	145

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Confort térmico en función de la temperatura y humedad relativa.	42
Figura 2. Metodología de análisis de una edificación en DesignBuilder	49
Figura 3. Infraestructura antigua de la E3T.	56
Figura 4. Planta quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.	58
Figura 5. Especificaciones de las particiones interiores del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.	60
Figura 6. Distribución espacial de los tubos solares en el Edificio de Ingeniería Eléctrica.	63
Figura 7. Tipos de ventana empleados en el quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.	64
Figura 8. Configuración del techo verde del Edificio de Ingeniería Eléctrica.	66
Figura 9. Modelo geométrico del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica	70
Figura 10. Modelo geométrico Edificio de Ingeniería Eléctrica	71
Figura 11. Configuración de los muros exteriores del modelo.	73
Figura 12. Configuración de la cubierta plana del modelo	73
Figura 13. Configuración divisiones modulares del modelo	74
Figura 14. Modelo renderizado. Vista del quinto piso y el edificio completo.	79
Figura 15. Configuración de las capas de cubierta plana para el techo verde.	81
Figura 16. Cubierta verde del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica. Imagen renderizado en DesignBuilder.	82
Figura 17. Vista de superficie de tubo solar en DesignBuilder.	83
Figura 18. Aproximación de tubo solar renderizada en DesignBuilder.	85
Figura 19. Vista de edición de los ventanales exteriores de un espacio del quinto piso de Ingeniería Eléctrica	86
Figura 20 Ventanales exteriores de las distintas fachadas del quinto piso.	86
Figura 21. Modelo base en DesignBuilder	89

Figura 22. Parámetros asociados a las aplicaciones energéticas según revista científicas.	91
Figura 23. Parámetros de aplicaciones energéticas para el quinto piso configurables en DesignBuilder	99
Figura 24. Distribución del consumo anual promedio del modelo base del piso 5.	112
Figura 25. Resultados de consumos energéticos, confort y ganancias térmicas para el día crítico asociados al modelo base	112
Figura 26. Distribución del consumo energético anual del modelo real piso 5.	115
Figura 27. Comparación del consumo energético anual entre el modelo base y el modelo real.	116
Figura 28. Resultados de consumos energéticos, confort y ganancias térmicas para el día crítico asociados al modelo real.	117
Figura 29. Relación aumento del consumo energético anual vs variación del área de acristalamiento	120
Figura 30. Relación ahorro energético anual vs variación posición de las ventanas en la fachada.	121
Figura 31. Relación ahorro energético anual vs variación del diámetro de los tubos solares	122
Figura 32. Temperaturas de confort para variación del área de apertura	123
Figura 33. Pérdidas de calor para cada configuración de área de apertura.	124
Figura 34. Pérdidas de calor para cada configuración de área de acristalamiento y apertura.	125
Figura 35. Pérdidas de calor para cada configuración de área acristalamiento y apertura.	126
Figura 36. Relación ahorro energético anual vs variación del espesor del sustrato.	127
Figura 37. Relación ahorro energético anual vs variación altura de las plantas.	128
Figura 38. Distribución de consumo energético anual del modelo real alterado con las especificaciones de mayor ahorro energético.	130

Figura 39. Temperaturas promedio anuales de confort para el modelo real alterado con las especificaciones de mayor ahorro energético.

131

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Investigaciones recientes promovidas por GISEL.	25
Tabla 2. Objetivos específicos del trabajo de grado.	32
Tabla 3. Sistemas de iluminación natural	36
Tabla 4. Métodos de la ventilación natural.	37
Tabla 5. Capas de una cubierta verde.	39
Tabla 6. Componentes de los tubos solares.	40
Tabla 7. Tipos de tubos solares	41
Tabla 8. Criterios de confort térmico	43
Tabla 9. Criterios de confort visual	44
Tabla 10. Metodología de análisis de una edificación en DesignBuilder.	47
Tabla 11. Datos requeridos por DesignBuilder. Tomado de .	50
Tabla 12. Resultados obtenidos mediante DesignBuilder	52
Tabla 13. Rango de valores de los principales parámetros climáticos para la ciudad de Bucaramanga.	55
Tabla 14. Áreas anteriores y adecuadas y áreas nuevas	57
Tabla 15. Distribución espacial de los tubos solares en el Edificio de Ingeniería Eléctrica.	62
Tabla 16. Características del techo verde del Edificio de Ingeniería Eléctrica.	65
Tabla 17. Espesores de las diferentes capas del techo verde del Edificio de Ingeniería Eléctrica.	66
Tabla 18. Proceso de modelado geométrico del modelo real.	68
Tabla 19. Valores fijados en la etiqueta de datos de actividad.	71
Tabla 20. Configuración de puertas interiores del modelo.	74
Tabla 21. Valores de EER y COP para distintas capacidades de sistemas mini-Split marca CIAC.	78
Tabla 22. Configuración de las opciones del modelo para el modelo real	79

Tabla 23. Características de materiales de la cubierta verde en el Edificio de Ingeniería Eléctrica	80
Tabla 24. Edición de la capa de sustrato en DesignBuilder.	82
Tabla 25. Propiedades superficiales de los muros exteriores y las aberturas modeladas en DesignBuilder.	84
Tabla 26. Propiedades de las aberturas superficiales configuradas en DesignBuilder.	84
Tabla 27.. Dimensiones de los modelos de tubo solar	85
Tabla 28. Parámetros a configurar en el modelo base con respecto al modelo real.	88
Tabla 29 Clasificación de las simulaciones realizadas en DesignBuilder	105
Tabla 30. Lista de simulaciones energéticas realizadas.	106
Tabla 31. Lista de simulaciones daylighting realizadas.	108
Tabla 32. Lista de simulaciones daylighting realizadas.	109
Tabla 33. Consumo energético por orientación y promedio para el modelo base para el piso 5.	111
Tabla 34. Resultados de temperaturas de confort y ganancias térmicas para el día crítico asociados a las zonas de mayor operación del modelo base.	114
Tabla 35. Temperaturas de confort para las dos de la tarde del día más desfavorable.	114
Tabla 36. Temperaturas de confort y ganancias térmicas para las zonas de mayor operación del modelo real en el día más desfavorable.	118
Tabla 37. Temperaturas de confort para el día crítico a las 2:00 pm.	119
Tabla 38. Configuraciones que generan el mayor ahorro energético de cada uno de los parámetros variados de las aplicaciones energéticas.	129
Tabla 39. Iluminancias promedio obtenidas mediante las simulaciones daylighting realizadas.	132

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. CONCEPTOS DE APLICACIONES SOSTENIBLES	145
ANEXO B. LINEAMIENTOS EN ILUMINACIÓN NATURAL DEL RETILAP	170
ANEXO C. CONCEPTOS ASOCIADOS AL CONFORT VISUAL Y TERMICO	172
ANEXO D. DESIGNBUILDER	185
ANEXO E. ESPECIFICACIONES CONSTRUCTIVAS DEL QUINTO PISO	187
ANEXO F. TIPOS DE BLOQUES EN DESIGNBUILDER	194
ANEXO G. DATOS DEL MODELO	198
ANEXO H. CONFIGURACION DE LAS OPCIONES DEL MODELO	210
ANEXO I. MODELO APROXIMACIÓN DE TUBO SOLAR	216
ANEXO J. REQUERIMIENTO DEL ASHRAE 90.1	223
ANEXO K. CONFORT TÉRMICO EN EL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA	225
ANEXO L. DETERMINACIÓN DEL DÍA CRÍTICO	227
ANEXO M. ANÁLISIS DEL DESGLOSE DE CONSUMOS ENERGÉTICOS	229
ANEXO N. SIMULACIONES DAYLIGHTING	232

RESUMEN

TITULO: INFLUENCIA DE PARÁMETROS DE DISEÑO DE APLICACIONES SOSTENIBLES SOBRE EL CONSUMO ENERGÉTICO EN LAS INSTALACIONES DEL QUINTO PISO DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE SIMULACIONES CON DESIGNBUILDER¹

AUTORES: GABRIEL ANDRÉS ANAYA GÓMEZ
CÉSAR AUGUSTO AVELLANEDA MIRANDA
JORGE LUIS CÁRDENAS RANGEL**

PALABRAS CLAVE: Aplicaciones energéticas sostenibles, Iluminación natural, Tubos solares, Ventilación natural, Cubierta verde, DesignBuilder, Consumo energético.

Considerando las especificaciones en aplicaciones energéticas sostenibles definidas para las nuevas instalaciones administrativas del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander, se realizó un análisis energético mediante simulaciones en el software DesignBuilder con el propósito de determinar la influencia de los parámetros de diseño de las aplicaciones sostenibles sobre el consumo energético de dichas instalaciones.

Partiendo de una caracterización de las instalaciones objeto de estudio, se realizó el modelado virtual según especificaciones actuales y convencionales, teniendo en cuenta la recopilación e inventariado de la información asociada a materiales constructivos, sistemas de iluminación, automatización y climatización; así como las propiedades asociadas a las aplicaciones sostenibles definidas en iluminación natural, tubos solares, cubierta verde y ventilación natural. Dicha información permite el llenado de los datos del modelo.

Una vez generados los modelos virtuales asociados al quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica se realiza la selección de parámetros y rangos de variación que según publicaciones científicas generan impactos directos sobre los efectos de reducción de consumo energético producidos por las aplicaciones energéticas sostenibles consideradas. Con base en dichos parámetros se proceden a realizar simulaciones energéticas en DesignBuilder que permiten cuantificar el ahorro energético representado por la implementación de las aplicaciones sostenibles, la identificación de los valores tipo que generan el mayor ahorro energético, y la determinación del potencial ahorro representado por la aplicación de las mejores configuraciones asociadas a la variación de los parámetros.

¹ Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director del proyecto MSc. Germán Alfonso Osma Pinto. Codirector PhD. Johann Farith Petit Suarez.

ABSTRACT

TITLE: INFLUENCE OF APPLICATION DESIGN PARAMETERS ON SUSTAINABLE ENERGY SPACES IN THE FIFTH FLOOR OF THE BUILDING OF ELECTRICAL ENGINEERING SIMULATIONS FROM DESIGNBUILDER*.

AUTHORS: GABRIEL ANDRÉS ANAYA GÓMEZ
CÉSAR AUGUSTO AVELLANEDA MIRANDA
JORGE LUIS CÁRDENAS RANGEL**

KEY WORDS: Applications Sustainable Energy, Natural Lighting, Solar Tubes, Natural Ventilation, Green Roof, DesignBuilder, Consumption.

Considering the specifications defined sustainable energy applications for new administrative spaces on the fifth floor of Electrical Engineering Building Industrial University of Santander, energy analysis was performed using DesignBuilder simulations in order to determine the influence of parameters sustainable design applications on the energy consumption of these spaces.

Based on a characterization of the spaces under study, virtual modeling was performed according to current and conventional specifications, taking into account the collection and inventory of the information associated with building materials, lighting, automation and climate control as well as the properties associated defined sustainable applications in natural lighting, solar tubes, green roof and natural ventilation. This information enables the filling of model data.

Once generated virtual models associated with the fifth floor of Electrical Engineering Building is performed parameter selection and variation ranges as scientific publications have direct impact on the effects of reducing energy consumption produced by sustainable energy applications considered. Based on these parameters are derived to energy in Design Builder simulations to quantify the energy savings represented by the implementation of sustainable applications, identifying such values that generate the most energy savings, and the determination of potential savings represented by the applying best settings associated with the variation of the parameters.

* Degree Work.

** Department of Physical – Mechanical Engineering. School of Electrical, Electronic and of Telecommunications Engineering. Director MSc. Germán Alfonso Osma Pinto. Codirector PhD. Johann Farith Petit Suarez.

INTRODUCCIÓN

La Universidad Industrial de Santander tiene en su campus principal una infraestructura compuesta por 36 edificaciones, 26 para el desarrollo de actividades de docencia y/o investigación, 10 edificaciones para los procesos administrativos y de apoyo a las actividades misionales (docencia, investigación y extensión)².

Teniendo en cuenta que, actualmente la universidad viene adelantando un proceso de modernización de su infraestructura edilicia, debido a la necesidad de calidad y cantidad de espacios y a su plan de reforzamiento estructuralⁱ, se considera necesario que éstas intervenciones implementen medidas que mejoren sus desempeños energéticos, fin de que registren menores consumos energéticos de la red eléctrica; lo cual es factible, a partir de remodelaciones que apliquen lineamientos de construcción verdeⁱⁱ. Su aplicación puede lograr una disminución del consumo de energía eléctrica, en la mayoría de los casos, entre el 30% y el 70%³.

En los últimos años, se han intervenido los edificios de Ingeniería Industrial (2010-2011), de Ingeniería Química (2008-2009) y de Ingeniería Eléctrica, siendo este último el primero en realizar un avance modesto, como caso piloto, hacia lo que es una edificación verde, al implementar de forma reducida algunas aplicaciones energéticas sostenibles, tales como cubiertas vegetales, ventilación natural, e iluminación natural a partir de ventanales y tubos solares en los niveles superiores.

² Universidad Industrial de Santander - UIS. tomado de <http://www.uis.edu.co>. Consultada: 6 de enero de 2013

³ G. A. OSMA PINTO, Uso racional de la energía a partir del diseño de aplicaciones sostenibles en el edificio eléctrica II de la universidad industrial de santander. Proyecto de maestría. Bucaramanga: 2011, pp. 1–253.

Con el propósito de favorecer la comprensión del impacto de dichas aplicaciones sobre el consumo energético de la edificación, se considera pertinente realizar un análisis de las instalaciones administrativas ubicadas en el quinto piso, debido a las condiciones climáticas en mayor intensidad y al beneficio directo de las aplicaciones implementadas en el espacio en cuestión.

Es de mencionar que para el desarrollo de dicho análisis, se tendrán en cuenta las condiciones de confort térmico y visual que deben ser satisfechas en una edificación destinada a oficinas, como lo es el caso de las instalaciones que son objeto de este estudio.

Todo lo anterior será desarrollado a partir de la herramienta computacional *DesignBuilder*, que a través de la definición de parámetros como ubicación geográfica, régimen de funcionamiento, materiales constructivos, aberturas y establecimiento de sistemas HVAC, permite realizar el modelado virtual de las instalaciones del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica, para que a partir de simulaciones se estime el consumo energético del mismo, ganancias térmicas debidas a los componentes de la envolvente, temperaturas de confort para los distintos espacios, distribución de los niveles de iluminación asociados a la luz día entre otras.

INVESTIGACIONES PREVIAS

La universidad tiene como uno de sus procesos misionales el desarrollo de la investigación en diversos campos, como la ingeniería eléctrica, la cual se soporta en el quehacer del Grupo de Investigación de Sistemas de Energía Eléctrica – GISEL de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones.

Este grupo ha venido consolidando en los últimos años su línea de investigación *uso racional de la energía y energías renovables*, dado el potencial aporte que se puede ofrecer a la sociedad, con el emprendimiento de investigaciones en esta área en las mismas instalaciones del campus universitario, lo cual representa una actitud de aprendizaje y compromiso, que se espera sea acogido por la alta dirección de la universidad, con el fin de lograr como resultado reducciones del consumo energético de los edificios, y cuyo alcance dependería del nivel de implementación de estrategias para reducir el consumo de energía de la red eléctrica.

El grupo de investigación GISEL ha promovido investigaciones en edificaciones en los últimos años en temas como generación renovable (energía solar fotovoltaica, generación de energía con bicicletas estáticas) iluminación con tecnología LED, análisis de potenciales aplicaciones inmóviles en seguridad, ventilación natural e iluminación ⁴, análisis energético, uso racional y eficiente de energía tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Investigaciones recientes promovidas por GISEL.

	TÍTULO	TEMA	AÑO	AUTORES
1	TECNOLOGÍA LED APLICADA A LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN	Uso racional y eficiente de energía	2004	Wilfer Antonio Arrieta
2	URE: APLICACIÓN DEL ANÁLISIS EXERGÉTICO A CIRCUITOS ELÉCTRICOS ELECTRICOS EN LOS EDIFICIOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS	Uso racional y eficiente de energía	2006	Gustavo Andrés Theran, Juan Carlos Posada Galvis
3	ANÁLISIS EXERGÉTICO EN CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE LA SEDE ADMINISTRATIVA UIS-	Análisis exergético	2007	Cristian Andrés Diaz Duran

⁴ Ibid

	TÍTULO	TEMA	AÑO	AUTORES
	BUCARICA			
4	METODOLOGÍA PARA EL USO RACIONAL Y EFICIENTE DE LA ENERGÍA DESDE EL ENFOQUE EXERGETICO EN INDUSTRIA DE CAUCHOS RECORD LTDA	Uso Racional y eficiente de energía	2008	Germán Alfonso Osma Pinto
5	ESTUDIO TECNICO Y FINANCIERO DE IMPLEMENTACIÓN DE PANELES SOLARES ENFOCADO A CENTROS COMERCIALES	Energía solar fotovoltaica	2009	Oscar Antonio Arenas Santamaría, Andrés Mauricio Oviedo Pinzón
6	EVALUACIÓN TÉCNICA Y FINANCIERA DE LOS SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO DE LOS EDIFICIOS JORGE BAUTISTA VESGA Y ADMINISTRACIÓN I DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.	Automatización de estrategias de climatización	2009	Hugo Andrés Rodríguez Barrera, Jhon Jairo Rivera Ariza
7	DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA FOTOVOLTAICO Y DE UNA RED ELÉCTRICA EN CORRIENTE CONTINUA DE BAJA TENSIÓN PARA EL EDIFICIO ELÉCTRICA II.	Energía solar fotovoltaica	2010	Bibiana Basto, Leidy Torres
8	PROTOTIPO DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA LA SELECCION DE SISTEMAS DE AIRES ACONDICIONADOS CON EL MENOR CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA	Consumo de energía	2010	Héctor David Anaya Moya, Juan Manuel Arciniegas Toloza
9	DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA CON TECNOLOGIA	Energía solar fotovoltaica	2010	Fabián Camilo Cala González,

	TÍTULO	TEMA	AÑO	AUTORES
	SOLAR FOTOVOLTAICA			Carlos Aníbal Rodríguez Sanudo
10	ELABORACION DE UN PLAN DE NEGOCIO PARA LA CREACION DE UNA EMPRESA DEDICADA A LA FORMULACION E IMPLANTACION DE SOLUCIONES ENFOCADAS AL USO RACIONAL Y EFICIENTE DE LA ENERGIA ELECTRICA	Uso racional y eficiente de energía	2010	Juan Manuel Poveda Cristancho
11	METODOLOGIA PARA LA FORMULACION DE PROYECTOS DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA POR MEDIO DE PANELES FOTOVOLTAICOS	Energía solar fotovoltaica	2010	Susana Carolina Romero Aparicio
12	ESTUDIO DE POTENCIALES APLICACIONES DOMÓTICAS EN SEGURIDAD PARA EL EDIFICIO ELÉCTRICA II.	Seguridad (inmótico)	2011	Jhon Alvarado, César Guava
13	USO RACIONAL DE LA ENERGIA A PARTIR DEL DISEÑO DE APLICACIONES SOSTENIBLES EN EL EDIFICIO ELECTRICA II DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Uso racional y eficiente de energía	2011	German Alfonso Osma Pinto
14	AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN FORZADA PARA EL EDIFICIO ELÉCTRICA II A PARTIR DE TUBOS ENTERRADOS.	Ventilación natural	2011	Cesar Arias, Magda Orduz, Fernando Prieto
15	PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE ILUMINACIÓN MIXTOS (NATURAL - ARTIFICIAL) PARA EDIFICACIONES	Iluminación mixta	2011	Omar Barrera, Ronald Martínez

	TÍTULO	TEMA	AÑO	AUTORES
16	DISEÑO DE UNA SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE BICICLETAS ESTÁTICAS	Aplicaciones energéticas	2011	Carlos Fabián Núñez Rodríguez, Julián Flórez Reyes
17	TECNOLOGIA LED : REVISIÓN DE APLICACIONES COMO ALTERNATIVA PARA ENTORNOS SOSTENIBLES	Aplicaciones energéticas	2011	Diana Carolina Castillo Bueno, Idalia Mejía
18	EVALUACION DEL CONSUMO DE ENERGIA EN FUNCION DE LAS TENDENCIAS DE OCUPACION DE LA SEDE CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Consumo de energía eléctrica	2011	Deiby Anderson Nino Parada, Iván Eduardo Ortiz Navarro
19	PLAN DE NEGOCIOS PARA EL DEPARTAMENTO DE SOLUCIONES SOSTENIBLES DE LA EMPRESA IMPORTEXP INTL S.A.S.	Aplicaciones energéticas	2011	Manuel Alejandro Cárdenas Medina, Norman Rolando Ardila Navarro
20	EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN DE ENERGIA ELECTRICA POR MEDIO DE PANELES FOTOVOLTAICOS EN LAS EDIFICACIONES Y ZONAS ENDURECIDAS DE LA SEDE CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	Aplicaciones energéticas	2011	Jesús Enrique Camargo
21	DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN BASADO EN TUBOS REFLECTANTES PARA EL ÚLTIMO NIVEL DE LA REFORMA	Aplicaciones energéticas	2012	Diego Alberto Rincón

	TÍTULO	TEMA	AÑO	AUTORES
	DEL EDIFICIO DE LA E3T			
22	EVALUACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE CONFORT VISUAL Y TÉRMICO ESTABLECIDAS PARA EL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA SEGÚN LINEAMIENTOS DEL SISTEMA DE CERTIFICACION LEED A PARTIR DE LA HERRAMIENTA DESIGNBUILDER	Aplicaciones energéticas	2012	Oscar Alejandro Pulido, Marvin Yonídi Meneses
23	DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL EN MATLAB PARA EL ANÁLISIS ENERGÉTICO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	Aplicaciones energéticas	2012	William Martínez Ortiz, Nelson Reinaldo Santamaría Forero
24	CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LA TOPOLOGÍA DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA REDISEÑADA	Gestión Energética	2012	Walter Gómez Rodríguez, Gustavo Adolfo Archila Ramírez
25	ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL EDIFICIO DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES SEGÚN LINEAMIENTOS DEL SISTEMA DE CERTIFICACION LEED A PARTIR DEL USO DE LA HERRAMIENTA AUTODESK ECOTECH ANALYSIS	Análisis energético	2012	Mayra Alejandra López Castellanos, Ángela María Rojas Herrera, Ivonne Astrid Maldonado Ruiz

Fuente: Universidad Industrial de Santander - UIS. Tomado de <http://www.uis.edu.co>.

Consultada: 6 de enero de 2013

ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

Para establecer la influencia de parámetros en el diseño de aplicaciones energéticas sobre el consumo energético en las instalaciones del quinto piso del Edificio Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander, inicialmente se describen en el capítulo 2 conceptos básicos asociados a las aplicaciones implementadas en las instalaciones administrativas, estándares de confort visual y térmico establecidos para espacios de oficinas; así como, aspectos generales del software *DesignBuilder*, herramienta de simulación energética empleada para estimar el nivel de influencia de los parámetros de aplicaciones sostenibles en el consumo energético de las instalaciones seleccionadas.

Con el objeto de realizar el modelado virtual de dichas instalaciones, se realiza en el capítulo 3 una caracterización de aspectos relacionados con su uso y funcionamiento, parámetros propios de su ubicación geográfica y descripción de los principales componentes constructivos, especificaciones eléctricas, de climatización, automatización e iluminación general.

A partir del manejo del software *DesignBuilder*, se realiza en el capítulo 4 una descripción de la elaboración del modelo base y modelo real, realizando una detallada mención de los datos a incluir como datos del modelo como son los de actividad, cerramientos, aberturas, iluminación, y datos de sistemas HVAC.

Luego de una revisión bibliográfica de publicaciones de artículos científicos, manuales de usuario y el manejo de la plataforma de simulación *DesignBuilder*, se procede a identificar en el capítulo 5 los parámetros de diseño de aplicaciones energéticas (iluminación natural, ventilación natural, techo verde y tubos solares) con sus respectivos rangos de variación.

Mediante la creación del modelo base y modelo real, se presentan en el capítulo 6 el plan, lista y los resultados de las simulaciones realizadas con *DesignBuilder*, con el propósito de evidenciar el grado de afectación de los parámetros de diseño analizados asociados a cada aplicación energética sobre el consumo energético.

Finalmente, en el capítulo 7 se presentan las conclusiones relacionadas con el uso del software, simulaciones y resultados más relevantes.

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO

A partir de la reforma llevada a cabo en el Edificio de Ingeniería Eléctrica y que implementó nuevas especificaciones de tipo civiles, arquitectónicas y eléctricas, también en aplicaciones energéticas orientadas hacia el uso racional de la energía, se pretende aplicar la simulación energética de edificaciones a través del software *DesignBuilder* con el propósito de determinar el nivel de influencia de los parámetros de diseño de aplicaciones como cubierta verde, ventilación natural e iluminación natural a partir de ventanales y tubos solares, sobre el consumo energético de las instalaciones administrativas de la E3T, ubicadas en el quinto piso de dicho edificio.

DesignBuilder es una herramienta que a través de la definición de características de tipo geométrico, constructivo y de funcionamiento de un edificio permite obtener el modelo virtual del mismo, posibilitando la realización de análisis de tipo térmico, lumínico y de ahorro energético.

Los objetivos específicos de esta investigación, junto con su alcance, se presentan en la Tabla 2

Tabla 2. Objetivos específicos del trabajo de grado.

OBJETIVO ESPECIFICO	ALCANCE
<p>Establecer el modelo base o “Baseline” del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica teniendo en cuenta las características de una edificación convencional en cuanto a la forma de proporcionar confort visual y térmico a sus habitantes; así como el modelo que incluye las especificaciones definidas en aplicaciones energéticas.</p>	<p>Se procederá a recrear la edificación de Ingeniería Eléctrica en el entorno gráfico de <i>DesignBuilder</i> para la visualización en 3D. Inicialmente, se creará un modelo base o ‘baseline’, con el fin de tener un referente con el cual poder determinar el nivel de influencia en el comportamiento energético del edificio, al compararlo con la aproximación del modelo terminado con las aplicaciones.</p> <p>Este proceso complejo y dispendioso será realizado según especificaciones definidas de obras civiles, arquitectónicas, de aplicaciones energéticas, y consumos de elementos, según planos, del sistema eléctrico y de comunicaciones que requiere el software, de conformidad a los términos de referencia de las licitaciones, convocatorias e invitaciones privadas realizadas para la contratación de proveedores.</p>
<p>Identificar parámetros de diseño de las aplicaciones energéticas: techo verde, tubos solares, ventanales y ventilación natural; consideradas para el quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica de acuerdo a la plataforma de configuración del software <i>DesignBuilder</i> y seleccionar dos de dichos parámetros apoyados en hallazgos de publicaciones científicas.</p>	<p>Cada una de las aplicaciones consideradas (techo verde, tubos solares, ventanales y ventilación natural) se caracteriza por parámetros específicos para su diseño. Por tanto, es fundamental determinar los parámetros asociados a estas aplicaciones considerados por <i>DesignBuilder</i> lo cual se realizará a partir de la revisión bibliográfica de artículos científicos, manuales de usuario e inspección directa de la plataforma de simulación. Se seleccionarán los dos (2) parámetros más relevantes según los hallazgos.</p>
<p>Realizar simulaciones sobre el comportamiento energético</p>	<p>Una vez construido el modelo virtual y determinados los parámetros, se establecerá el</p>

OBJETIVO ESPECIFICO	ALCANCE
<p>de las aplicaciones energéticas asociadas al quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica en <i>DesignBuilder</i>, teniendo en cuenta los parámetros seleccionados y empleando dos valores tipo de estos, dentro de un rango de variación representativo según las condiciones especificadas en hallazgos de publicaciones científicas asociadas a la edificación, en el caso de los tubos solares se realiza una similitud con un componente arquitectónico de propiedades similares.</p>	<p>plan de simulaciones, que deberá indicar los parámetros considerados y la variación de cada uno de éstos. Posteriormente, procederán a realizar las simulaciones.</p> <p>Los parámetros seleccionados podrán cambiar su valor según las condiciones específicas del proyecto que busca implementar las aplicaciones sostenibles; por ende, se determinará de forma particular para el caso del Edificio de la E3T, dos (2) valores que podrían tomar los parámetros de diseño. Esto será determinado según hallazgos en publicaciones científicas.</p> <p>Con base en las simulaciones realizadas, se buscará identificar cuál parámetro al ser variado genera el mayor impacto en el comportamiento energético de aplicaciones.</p>
<p>Cuantificar la reducción del consumo de energía eléctrica en función del rango de variación de los parámetros de diseño seleccionados de las aplicaciones energéticas.</p>	<p>También con base en las simulaciones, se indicará la relación existente entre la variación del parámetro y la reducción de consumo energético a obtenerse.</p>

1. GENERALIDADES

En este capítulo se presentan los conceptos básicos asociados a cada una de las aplicaciones energéticas definidas para el quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica; así como, los criterios de confort térmico y visual que deben tenerse en cuenta para la valoración de la climatización y ventilación naturales que resultan de dichas aplicaciones.

Además, se realiza una descripción general del software *DesignBuilder*, y de la metodología de análisis de una edificación, considerando los datos requeridos para el modelado y resultados de las simulaciones, así como sus ventajas y limitaciones.

1.1 APLICACIONES ENERGÉTICAS SOSTENIBLES

Una aplicación energética sostenible es todo aquel sistema que permita satisfacer necesidades (confort visual, confort térmico, uso de equipos electrónico, etc.) al interior de una edificación sin consumir energía (e.g. arquitectura bioclimática) o que la genere a partir del medio ambiente circundante (fuentes de energía renovable-FER) o utilice sistemas de alta eficiencia energética (e.g. iluminación LED)⁵.

Con el ánimo de mejorar el consumo energético de los edificios, se han propuesto diversas medidas a nivel de diseño que respondan a las necesidades de bienestar de los ocupantes de la edificación, garantizando las condiciones básicas de confort térmico y visual. Dentro del proceso de implantación de dichas medidas

⁵ M. M. MONROY, Manual de Iluminación ICARO, 1st ed. España: Islas canarias, 2006, p. 104.

deben ser consideradas las condiciones meteorológicas del lugar, forma, orientación y algunas características de la envolvente como lo son los materiales, el tamaño de los huecos y la composición de la cubierta⁶.

Para el caso particular de las instalaciones estudiadas se busca la reducción en el consumo, a partir del mejoramiento del comportamiento energético del mismo; esto a través de la aplicación de formas alternativas de satisfacer las necesidades de confort visual y térmico requeridas en un espacio destinado a oficinas, mediante aplicaciones energéticas sostenibles como cubierta verde, ventilación natural e iluminación natural a partir de ventanales y tubos solares.

A continuación se describen los fundamentos básicos asociados a dichas aplicaciones.

1.1.1 Iluminación natural. La iluminación natural constituye una alternativa válida para la iluminación de interiores y presenta ventajas con respecto a la iluminación artificial, ya que es provista por la energía radiante del Sol en forma directa o a través de la bóveda celeste. Una iluminación natural bien diseñada genera ahorro de energía y puede proporcionar niveles de iluminancia más elevados en las horas diurnas⁷.

La iluminación natural al interior de una edificación depende de la cantidad de luz solar que llegue al exterior, del tamaño y la ubicación de las ventanas u otros edificios que son los medios para conducir la luz al interior⁸.

Para propiciar la iluminación natural en los espacios son tenidos en cuenta básicamente tres configuraciones: iluminación natural, iluminación cenital,


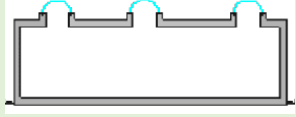
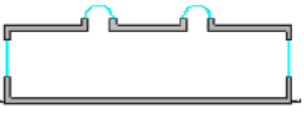
⁶ Ibid

⁷ Ibid

⁸ G. A. OSMA PINTO and G. ORDOÑEZ PLATA, "Desarrollo Sostenible en edificaciones," no. 1, pp. 1–9, 2010.

iluminación combinada⁹; en la Tabla 3, se relacionan las combinaciones de iluminación natural con sus características más representativas.

Tabla 3. Sistemas de iluminación natural

<p>Iluminación lateral</p>	<p>La luz ingresa por una abertura ubicada en un muro lateral, la iluminancia de mejor calidad se ubica en el plano de trabajo cercano a la abertura, aunque también se presentan aportes a la iluminación general del espacio.</p> <p>La cantidad y distribución de la luz que ingresa en el local depende de la orientación del muro donde se ubica la abertura.</p>	
<p>Iluminación cenital</p>	<p>Las aberturas son ubicadas en la parte superior del local, se utiliza generalmente cuando se proyecta con un escenario predominante cielo cubierto</p>	
<p>Iluminación combinada</p>	<p>En este tipo de iluminación existen aberturas en los muros laterales y en la cubierta superior del local</p>	

Fuente: MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. RETILAP. Bogotá-Colombia

Otros aspectos importantes relacionados con la iluminación natural tal como fuentes de luz natural, parámetros de iluminación natural y protección solar para aberturas son presentados en el anexo A en la sección de iluminación natural.

1.1.2 Ventilación natural. La ventilación de edificios, tanto natural como mecánica (extractores), es primordial para permitir su utilización puesto que es la responsable por remover y diluir los contaminantes generados por la actividad humana o por el edificio. El objetivo principal de la ventilación es proveer en los

⁹ P. Andrea, Luz Natural e Iluminación de Interiores, Capítulo 1. 2000, pp. 2–24.

ambientes un microclima aceptable para los ocupantes a partir de la eliminación del sobrecalentamiento de los espacios interiores y el aseguramiento de la calidad del aire¹⁰.

Con el objeto de producir ventilación natural en un edificio, se han desarrollado tres métodos que combinan los efectos del viento y el efecto Stack, conocidos como ventilación unilateral, ventilación cruzada y ventilación por efecto chimenea, dichos métodos junto con sus principales características son relacionadas en la Tabla 4.

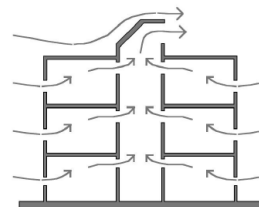
Tabla 4. Métodos de la ventilación natural.

<p>Ventilación unilateral</p>	<p>Proporciona una opción de ventilación local, consiste en la disposición de una abertura en una sola pared donde el aire externo entra en la habitación y el aire interno sale. Este tipo de ventilación es influida directamente por la acción del viento, por lo que el flujo de aire es relativamente pequeño. Para incrementar el efecto Stack se puede disponer de varias aberturas ubicadas en la misma pared en diferentes alturas, se utiliza frecuentemente en edificios de oficinas.</p>	
<p>Ventilación cruzada</p>	<p>Sucede cuando el local posee dos aberturas enfrentadas, proporciona mayores velocidades de flujo de aire que se producen principalmente por la fuerza del viento, aunque puede haber una contribución del efecto Stack en presencia de una diferencia de altura significativa entre las aberturas de entrada y de salida de la ventilación. Su utilización más común es en edificios de tipo residencial.</p>	

¹⁰ H. DIAS BORDALO JUNIOR, Estratégias de ventilación natural en edificios para la mejora de eficiencia energética. Tesis maestría. Barcelona: , 2010, p. 125.

**Ventilación
por efecto
Stack**

En este tipo de ventilación natural, se presenta una mayor contribución del efecto Stack, ocasionando la salida del aire interno más cálido que tiende a ascender y salir por las aberturas superiores, mientras que el aire fresco externo tiende a entrar por las aberturas inferiores del edificio. Dentro de los parámetros críticos que deben ser considerados, se encuentra la localización de la abertura de salida, que juega un papel determinante puesto que la presión del viento entrante puede influir en el efecto Stack.



Fuente: MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. RETILAP. Bogotá-Colombia

Aspectos como los fundamentos físicos de los anteriores métodos y estrategias de la ventilación natural son tratados en el Anexo A en la sección de ventilación natural.

1.1.3 Cubierta verde. Uno de los efectos más beneficiosos del uso de la vegetación es la protección a la radiación solar. De toda la envolvente, en la zona cálida o tropical la cubierta es la parte del edificio más sujeta a las ganancias por radiación solar. La cubierta verde busca reducir la radiación solar incidente sobre la superficie a partir del área foliar de las plantas y expulsar el calor por medio del proceso de evaporación de agua remanente por riego y/o por precipitaciones, con lo cual se logra mitigar la transferencia de calor¹¹.

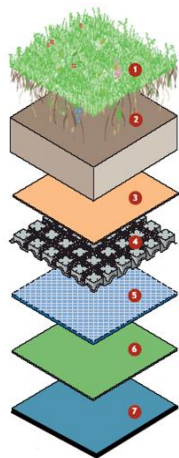
Otros beneficios de la implementación de cubiertas verdes tales como reducción del efecto de isla de calor, mejoramiento de la calidad del aire, gestión de aguas lluvias, reducción del consumo energético y aumento de la vida útil de la capa

¹¹ G. A. OSMA PINTO, Uso racional de la energía a partir del diseño de aplicaciones sostenibles en el edificio eléctrica II de la universidad industrial de santander. Proyecto de maestría. Bucaramanga: , 2011, pp. 1–253.

impermeabilizante, al igual que los tipos de cubierta verde son considerados en el Anexo A en la sección de cubierta verde.

Fundamentalmente una cubierta verde se encuentra compuesta por una capa vegetal, un suelo de cultivo y un conjunto de capas protectoras, de acuerdo al caso, se tendrán más o menos membranas. El espesor de la aplicación generalmente está entre 10 cm y 30 cm¹²; la Tabla 5 relaciona las características de cada una de las capas que en general componen una cubierta verde¹³.

Tabla 5. Capas de una cubierta verde.



1) Vegetación	Deben seleccionarse las especies que mejor se adapten a los condicionantes impuestos por el clima, sustrato, estructura de cubierta, el efecto y el volumen que se quiera. Cumple una función visual y de aislamiento térmico.
2) Sustrato	Este depende del tipo de vegetación elegida, con capacidad para suministrar nutrientes y retener agua
3) Protección	Se encarga del aislamiento del calor y la distribución del peso, protege la capa de impermeabilización.
4) Drenaje	Tiene la función de extraer del sustrato el exceso de agua de lluvia o riego.
5) Aislamiento térmico	Debe ser colocado en función de las necesidades térmicas locales.
6) Protección contra raíces	Es de fundamental importancia ya que impide la penetración de las raíces en el forjado estructural y garantiza la idoneidad del sistema de cubierta.
7) Impermeabilización	Protege el edificio de la penetración del agua en el forjado

Fuente: C. BRITTO CORREA, Análisis de la viabilidad y comportamiento Energético de la cubierta ecológica. tesis Doctoral. España: , 2001, pp. 1–891.

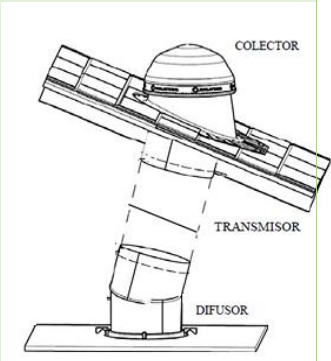
¹² Ibid

¹³ M. A. GARCIA COLLANTE and J. C. VEGA PATERNINA, Green Roofs :, no. 1. Medellin, Colombia: , 2012, p. 14.

1.1.4 Tubos solares. Los tubos solares son una estrategia de iluminación natural cenital, que mediante reflexiones sucesivas a través de ductos reflectantes transmiten luz natural hacia el interior de un local. Los tubos son utilizados generalmente en locales que no tienen posibilidades de recibir luz natural, porque no poseen ningún muro expuesto al exterior o porque la luz natural que ingresa se considera insuficiente.

Los componentes básicos que constituyen un tubo solar son mostrados y descritos en la Tabla 6

Tabla 6. Componentes de los tubos solares.

Componente		Características
	Colector	Dispositivo exterior encargado de capturar la luz solar para direccionarla hacia el ducto que se encarga de transportarla.
	Ducto	Puede emplearse un tubo metálico con una superficie interna pulida o altamente reflectiva o del tipo. Existen varios tipos de ductos: un tubo metálico reflectivo, fibra óptica, un tubo de acrílico sólido, y un prisma para guiar la luz. La eficiencia del sistema depende principalmente del conducto, su calidad y su longitud. La concentración y colimación de la luz; así como, la limpieza y mantenimiento del ducto son muy importantes.
	Emisor	Elemento de difusión o distribución de luz hacia los espacios interiores. Puede emplearse una luminaria.

Fuente: M. V. FERNANDEZ XIFRA and J. MARTIN EVANS, Sistemas innovativos para el direccionamiento de luz natural películas holográficas y lumiductos, vol. 6. Argentina: , 2002, pp. 1–6.

Los tipos más comunes se encuentran en disposiciones horizontales y verticales, en la Tabla 7 se procede a describir cada uno de ellos.

Tabla 7. Tipos de tubos solares

Tipo de tubo solar	Características
Tubos solares horizontales	Es un sistema fijo donde la luz es captada por los colectores de luz solar, con una inclinación que maximice el ángulo óptimo de ingreso para que los rayos solares sean dirigidos axialmente con el mínimo número de reflexiones. este tipo de tubo solares es fácilmente integrable dentro de un cielorraso suspendido. La cantidad de luz que ingresa en el espacio interior depende de la orientación de la pared donde se encuentra ubicado el colector.
Tubos solares verticales	El colector del tubo solar vertical es una pirámide que mejora el ingreso de luz solar en ángulos medios y bajos, el ducto posee aperturas de extracción en cada piso, que consiste en un cono de determinado ángulo de inclinación en el interior del tubo que redirige la luz hacia el espacio circundante de la abertura.

Fuente: MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. RETILAP. Bogotá-Colombia:, p. 45.

1.2 ESTÁNDARES DE CONFORT

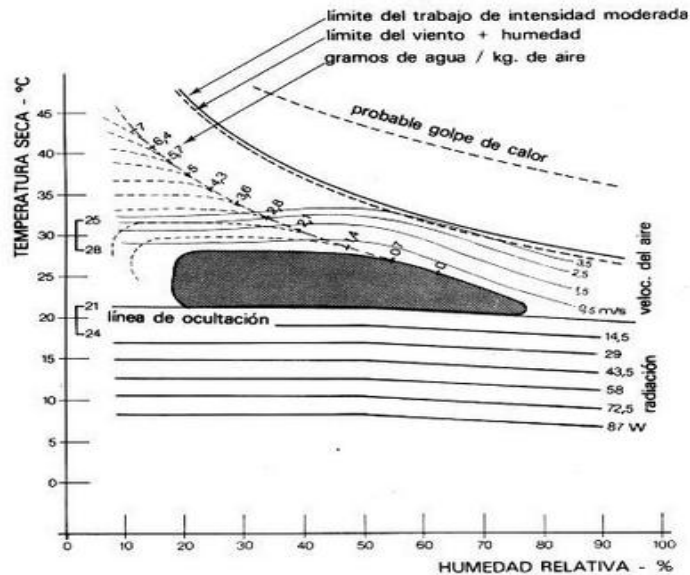
Con la finalidad de que el desempeño de un individuo en su trabajo sea lo mejor posible, y se convierta en beneficioso para la organización para la cual labora, los factores energéticos térmicos y lumínicos son muy importantes en el proceso de habitabilidad, ya que la estabilidad física, mental y social de un individuo se relaciona directamente con el grado de confort percibido por el mismo¹⁴.

¹⁴ P. A. PAREJA FERNANDEZ, Desarrollo de índices de desempeño del consumo energético y de agua sanitaria en edificios de oficinas de Santiago. Tesis. Santiago de Chile: , 2007, p. 41.

Es en este sentido que se procede a definir los principales criterios que rigen condiciones de confort térmico y visual para los habitantes de un espacio dedicado a oficinas como lo es el caso de las instalaciones administrativas objeto de estudio, para mayor detalle ver anexo B.

1.2.1 Confort térmico. La comodidad térmica se define como aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico. El ser humano experimenta esta sensación de comodidad cuando hay un equilibrio entre el calor generado por el cuerpo humano y la cantidad de calor disipada por el ambiente¹⁵. La Figura 1, muestra el desplazamiento de la zona de confort cuando se aplican medidas correctoras del ambiente, como aumento de radiación incidente o soleamiento (W absorbidos) contra el frío, y aumento de la velocidad del viento (m/s) contra el exceso de calor y de humedad.

Figura 1. Confort térmico en función de la temperatura y humedad relativa.



Fuente; "Carta Bioclimática de Olgay. Consultado: Enero 15 de 2013 en: <http://www.miliarium.com/Prontuario/ArquitecturaSostenible/Clima/Olgay.asp>." Madrid, España, 2001.

¹⁵ M. M. MONROY, Manual de Calor ICARO. Departamento de Construcción Arquitectónica, Universidad de las Palmas de la Gran canaria. 2006, p. 238.

La comodidad térmica presenta un gran impacto en la calidad de vida de las personas, el ambiente en el que habitan las personas de un edificio afecta directamente su salud, rendimiento, sensaciones fisiológicas y psicológicas¹⁶. Para definir el confort térmico en un ambiente de oficinas se hace necesario considerar varios criterios deducidos a partir de índices de bienestar térmico, factores de tipo personal y ambiental, tal como se muestra en la Tabla 8, y se describen con mayor detalle en el Anexo C en su aparte conceptos asociados al confort térmico.

Tabla 8. Criterios de confort térmico

Calidad térmica	Se encuentra estandarizada en el informe CEN CR 1752, para el caso de edificio de oficinas aplica una calidad térmica C, que corresponde al valor mínimo en edificios existentes .
Actividad física	Establece un índice numérico de la actividad desarrollada, para el caso de la actividad desarrollada en oficinas se fija un valor de 1,2 Me
Grado de vestimenta	Reduce la pérdida de energía y aumenta la sensación de calor; para una oficina se toman dos valores estándar de vestimenta: 0,5 y 1,0 Clo para verano e invierno respectivamente.
Temperatura del aire óptima	Puede ser establecida de acuerdo con la calidad térmica del ambiente, con valores aproximados a 24,5 °C y 22°C para verano e invierno respectivamente.
Velocidad media del aire	La velocidad media del aire permite aumentar el enfriamiento del cuerpo y la sensación de frescor, esta puede limitarse de 0,18 m/s a 0,24 m/s en verano y de 0,15 m/s a 0,20 m/s en invierno.
Humedad relativa	Para evitar altos valores de humedad relativa que limiten la evaporación natural del sudor y causen inconformidad térmica se recomienda mantener sus valores entre el 40% y 60%

Fuente: IDAE, Guía técnica. Instalaciones de climatización con equipos autónomos. España: , 2010, p

¹⁶ Ibid

1.2.2 Confort visual. Aspectos del bienestar humano, como el estado mental o nivel de fatiga, dependen de la calidad y cantidad de iluminación; su deficiencia puede reducir la seguridad laboral, y con ello, aumentar los índices de accidentes, debido a la falta de percepción de los objetos¹⁷.

Por esto, es preciso definir niveles de iluminación y características cromáticas correctos con el objetivo de reducir la fatiga visual y aumentar la sensación de satisfacción, características fundamentales del confort visual; lo recomendado es semejar la luz natural¹⁸. La Tabla 9, presenta la descripción de criterios básicos de confort de un proyecto de iluminación diseñado para un edificio de oficinas. Los conceptos asociados a dicha tabla son presentados en el Anexo C en el aparte de conceptos de iluminación.

Tabla 9. Criterios de confort visual

Nivel de Iluminación	Debe disponerse para cada zona del edificio de acuerdo con la actividad visual desarrollada, manteniéndose un nivel medio de 500 lux
Coefficiente de luz diurna	Permite estimar la disponibilidad de luz natural en interiores y su potencial de ahorro en energía, se recomienda un mínimo CLD del 2%
Estabilidad temporal	Aplica para iluminación natural, hace referencia a la variación del nivel luminoso según la hora solar, regulando dichas fluctuaciones mediante sistemas fotoeléctricos o alumbrados de apoyo.
Transición	El tránsito dentro de los espacios por parte de los ocupantes del edificio es un factor a tener en cuenta a la hora de garantizar confort. Así una adecuada transición visual entre los diferentes espacios puede limitarse a 1/3
Deslumbramiento	Debe garantizarse la ausencia del deslumbramiento en los lugares de trabajo el deslumbramiento perturbador,

¹⁷ M. M. MONROY op. Cit

¹⁸ M. M. MONROY Op. Cit

	<p>su principal efecto es reducir la visibilidad de la tarea, perturba la visión y dar lugar a errores y accidentes. El deslumbramiento molesto no reduce la visibilidad pero produce fatiga visual, puede producirse directamente a partir de luminarias brillantes o ventanas</p>
Uniformidad	<p>El área donde se desarrolla la tarea debe ser iluminada de la manera más uniforme posible, así como las áreas circundantes deben ser iluminadas en proporción al nivel dado para el área de la tarea. La relación entre el nivel de iluminación del área donde se realiza la tarea y la iluminación general debe ser mayor o igual a 0,7</p>
Color y fidelidad cromática	<p>Aspecto cromático y rendimiento del color agradables, empleando fuentes de luz con temperatura del color similar a la luz del día (5 500 K) e índices de reproducción cromática superior al 90%</p>
Control del nivel luminoso	<p>Con el fin de evitar el excesivo ingreso de luz natural, es recomendable el desarrollo de protecciones que permitan controlar la radiación solar directa.</p>
Gestión sostenible de los recursos.	<p>La iluminación natural debe ser aprovechada al máximo en aquellos locales donde la actividad a desarrollar lo permita; debe buscarse una integración entre la iluminación natural y la artificial permitiendo que esta última funciones a manera de apoyo cuando la natural no satisfagan las necesidades</p>

Fuente: MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Reglamento Técnico de iluminación y Alumbrado Público Retilap. Agosto 2009. Bogotá, 2009, p. 249.

1.3 SIMULACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS A PARTIR DE *DESIGNBUILDER*

La simulación energética de edificios desde el punto de vista térmico y visual, como lo ofrece *DesignBuilder*, sustenta su uso para este proyecto de grado, a través del conjunto de herramientas que hacen versátil y de manera cómoda la creación del modelo de las instalaciones que son objeto de estudio. A continuación

se describen brevemente las características generales más importantes de dicha herramienta.

1.3.1 Descripción general del software. *DesignBuilder* es un programa de simulación energética creado en el Reino Unido que tiene como motor de cálculo *EnergyPlus*, un software de simulación de análisis energética y cargas térmicas que con base en la descripción introducida del edificio como la constitución física, localización, orientación, sistemas mecánicos entre otros, permite calcular las cargas de calefacción y refrigeración necesarias para mantener el control térmico configurado, el consumo energético del edificio entre muchos otros resultados¹⁹.

Esta herramienta ofrece una entrada flexible de la geometría a través de bloques, con amplias bibliotecas de materiales, que facilitan el modelado virtual de las edificaciones. *DesignBuilder* se caracteriza por ofrecer una interfaz agradable y sencilla donde los datos del edificio pueden ser introducidos directamente, o mediante la ayuda de una gran variedad de plantillas de componentes asociadas a todos los parámetros del modelo²⁰. Una descripción más profunda de la interfaz gráfica de *DesignBuilder* se presenta el Anexo D que trata sobre el software.

1.3.2 Metodología de análisis de una edificación en DesignBuilder. El programa DesignBuilder se desarrolla como un entorno de modelación de edificios amigables, intuitivo y visual, sobre el que se integran diferentes módulos para el cálculo energético y ambiental de los edificios. Para la utilización de DesignBuilder en el estudio de una edificación se deben seguir las fases mostradas en la Tabla 10

¹⁹ Manual de DesignBuilder. Versión Preliminar 01. Aurea Consulting. www.designbuilder.es. 2011, pp. 1–17.

²⁰ Ibid

Tabla 10. Metodología de análisis de una edificación en *DesignBuilder*.

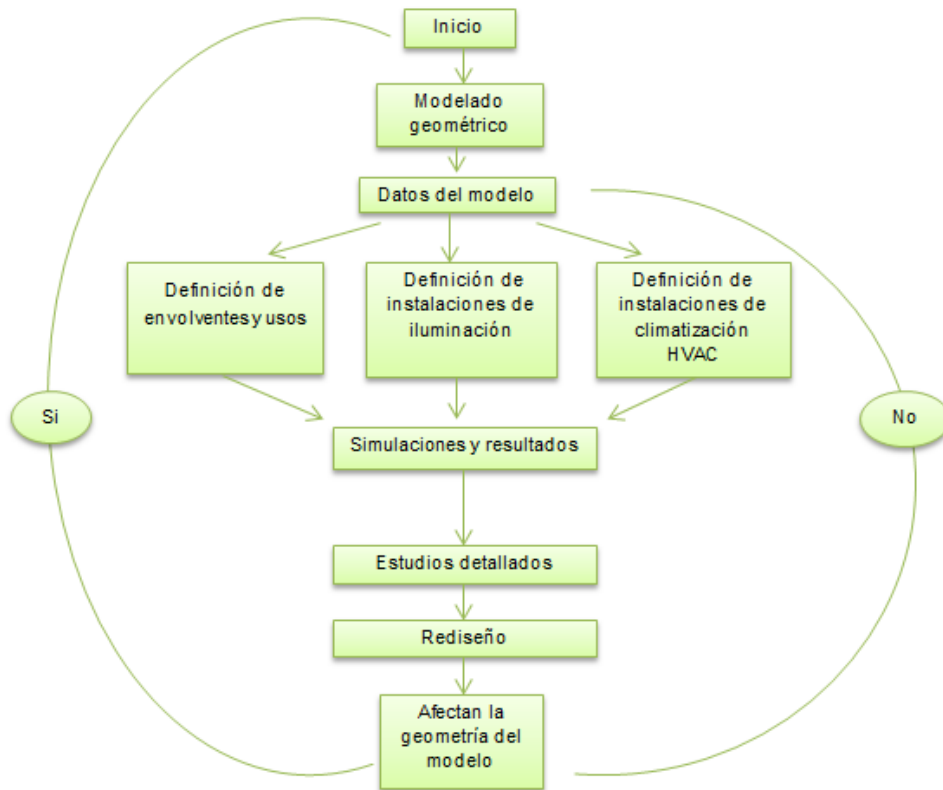
<p>FASE 1. Modelado geométrico</p>	<p>Una vez definido el sitio del emplazamiento de la edificación, se procede a crear la geometría del edificio mediante bloques, operaciones con bloques y partición de zonas, en esta fase es posible modelar las aberturas tales como puertas, ventanas y huecos.</p>
<p>FASE 2. Definición de envolventes y usos</p>	<p>En esta fase se introducen los parámetros que afectan a la envolvente del edificio como composición de los cerramientos, acristalamientos, definición de dispositivos de sombra, así como las condiciones de uso para cada zona del edificio, teniendo en cuenta su ocupación, temperaturas de consigna de refrigeración, calefacción y ventilación, así como las ganancias de calor que aportan equipos ofimáticos, cocina, misceláneos y ganancias de calor debidas a procesos.</p>
<p>FASE 3. Definición de instalaciones de iluminación</p>	<p>Se requiere introducir al software los datos correspondientes a la potencia instalada, tipo de luminaria y control de la iluminación general, así como otras características de la iluminación exterior y focalizada.</p>
<p>FASE 4. Definición de las instalaciones de climatización HVAC</p>	<p>De acuerdo al nivel de detalle seleccionado es posible modelar las instalaciones de climatización en componentes como la ventilación mecánica, calefacción, refrigeración, DHW (Agua caliente), ventilación natural y distribución del aire.</p>
<p>FASE 5. Simulaciones y resultados</p>	<p><i>DesignBuilder</i> ofrece una variedad de resultados, en cuanto al cálculo de cargas y demandas de los sistemas de refrigeración y calefacción, cálculo de las condiciones de confort, ganancias térmicas internas, producción de CO₂, cargas del sistema entre otros. Los resultados pueden ser visualizados en forma de gráficas y Tablas, en intervalos anuales, mensuales, horarios y subhorarios. Además es posible estudiar las principales características de la iluminación natural con la posibilidad de identificar potenciales del ahorro.</p>

<p>FASE 6. Estudios detallados</p>	<p>Es posible realizar estudios detallados, cuando la profundidad del mismo o determinadas características del diseño así lo requieren, es posible realizar estudios que permitan evidenciar el comportamiento de la ventilación natural y flujos térmicos mediante el análisis CFD, permitiendo la optimización de medidas de diseño o aplique orientadas al mejoramiento del comportamiento energético de la edificación.</p>
<p>FASE 7. Rediseño y reinicio/fin</p>	<p>En esta fase se implementan las modificaciones que se han desarrollado en las dos fases anteriores, o bien se da por finalizado el diseño del edificio, recogiendo los resultados finales obtenidos. En caso de continuar analizando las nuevas modificaciones con objeto de afinar más el modelo, se retomarán fases previas repitiendo la secuencia del análisis. Si las modificaciones al modelado alcanzan características de tipo geométrico del edificio, se requiere retomar el análisis desde la fase de modelado geométrico. Cuando las modificaciones implantadas sobre el modelado no afectan la geometría del mismo, se procede a retomar el análisis a partir de las fases que involucran los datos del modelo.</p>

Fuente: Manual de DesignBuilder. Versión Preliminar 01. Aurea Consulting. www.designbuilder.es. 2011, pp. 1–17.

En la Figura 2 se muestra la metodología de análisis de una edificación en *DesignBuilder*.

Figura 2. Metodología de análisis de una edificación en *DesignBuilder*



Fuente: Manual de DesignBuilder. Versión Preliminar 01. Aurea Consulting. www.designbuilder.es. 2011, pp. 1–17.

1.3.3 Datos base requeridos por DesignBuilder. En la creación de un modelo mediante *DesignBuilder* se definen 5 plantillas que son actividad, cerramientos, aberturas, iluminación y HVAC, como se observa en la Tabla 11. de éstas se derivan un gran número de características físicas y energéticas a tener en cuenta para la simulación del modelo²¹.

²¹ Ibid

Tabla 11. Datos requeridos por *DesignBuilder*. Tomado de .

<p>Lugar</p>	<p>La primera etiqueta de edición de datos permite definir las características del lugar como lo son ubicación, características del terreno y datos climatológicos de diseño de refrigeración y climatización. Aquí también es posible ingresar el archivo climatológico de datos horarios, empleado para las simulaciones dinámicas.</p>
<p>Actividad</p>	<p>En esta etiqueta se definen los datos relacionados con el uso del edificio, dichos datos juegan un papel importante en cuanto a lo del desempeño térmico como lo son la densidad de ocupación, actividades desarrolladas en el edificio con sus correspondientes tasas metabólicas, el factor metabólico que define la constitución física de los ocupantes, el nivel de aislamiento de la vestimenta de los ocupantes, las temperaturas de funcionamiento empleadas para controlar los distintos medios de climatización, calefacción, refrigeración, ventilación natural y mecánica, niveles mínimos de aire fresco e iluminación requeridos en las distintas zonas del edificio, así como los aportes térmicos asociados a los aparatos y equipos de uso interior.</p>
<p>Cerramientos</p>	<p>La etiqueta cerramientos permite definir la configuración de los componentes opacos de la edificación, incluyendo el número de capas, los materiales y sus espesores, es así que se definen dichas características en los muros exteriores e interiores; cubiertas planas e inclinadas; puertas exteriores e interiores; suelos sobre el terreno; entrepisos y suelos exteriores; techos y suelos suspendidos; sub-superficies en muros, particiones y cubiertas y componentes que aportan masa térmica interna. Al mismo tiempo es posible definir las condiciones de adyacencia de los cerramientos, con el objeto de establecer la manera en que se darán los flujos de calor a través de ellos. Así como los índices de infiltración de aire a través de los componentes constructivos.</p>
<p>Aberturas</p>	<p>En esta etiqueta se definen características detalladas de las ventanas y otras superficies vidriadas incluidas en el modelo, las cuales pueden ubicarse en muros exteriores, particiones y cubiertas. Es así que es posible definir características sobre el acristalamiento, marcos y divisores, sombreado y operación de las aberturas. También es posible indicar la forma de operación de</p>

puertas y ventilas mediante programaciones en las cuales se establecen los periodos en los que se consideran activas.

Iluminación

En esta etiqueta se definen los parámetros relacionados con la iluminación artificial del edificio, se dispone de dos opciones para definir la iluminación artificial, general y de escritorio que pueden ser empleadas por separado o simultáneamente. Es posible establecer el tipo de lámpara empleada, la posición de la luminaria con respecto al techo, los índices de aporte calorífico y la programación. También es posible simular diversos mecanismos virtuales de control de la iluminación que toman en cuenta la disponibilidad de luz natural.

HVAC

Es posible incluir la ventilación natural como un recurso para la climatización de los edificios. *DesignBuilder* permite modelar la ventilación natural a partir de programas definidos mediante tasas de cambios de aire por hora y régimen de operación; o mediante la opción de ventilación natural “calculada” a partir de la presión del viento, la ubicación y dimensiones de las aberturas, la operación de estas, la infiltración entre otros parámetros. También es posible modelar los diversos sistemas de climatización artificial mediante descripción simple, estableciendo solo los parámetros básicos; o mediante la opción de HCVA “compacto” que permite modelar los sistemas paramétricamente sin especificar complejas redes de distribución.

Fuente: Manual de DesignBuilder. Versión Preliminar 01. Aurea Consulting. www.designbuilder.es. 2011, pp. 1–17.

1.3.4 Resultados de DesignBuilder. En la Tabla 12, se describen los resultados que pueden ser obtenidos mediante la simulación en los módulos que posee *DesignBuilder* para el diseño de calefacción, refrigeración, iluminación natural, y la dinámica de fluidos computacional.

Tabla 12. Resultados obtenidos mediante *DesignBuilder*

<p>Diseño de calefacción y refrigeración</p>	<p>Temperaturas interiores; Ganancias y pérdidas de calor en régimen estacionario asociadas a ventanas y superficies vidriadas, así como a componentes de la edificación; pérdidas y ganancias de calor provocadas por el ingreso del aire exterior . En el diseño de refrigeración se consideran las ganancias de calor producidas por equipos eléctricos y personas; ganancias solares; energía de enfriamiento del sistema de refrigeración, enfriamiento máximo y capacidad de diseño del sistema de refrigeración .</p>
<p>Simulación dinámica</p>	<p>Datos climatológicos propios del sitio; resultados de confort que comprenden temperaturas interiores, humedad relativa e índices de confort y discomfort; ganancias y pérdidas de calor a través de ventanas y superficies vidriadas, componentes opacos de la construcción y debidas al ingreso del aire exterior incluyendo la ventilación natural, la ventilación mecánica y la infiltración a través de los componentes de la edificación [20]. Además es posible conocer las pérdidas y ganancias internas presentadas en los resultados de diseño de refrigeración; cálculo del consumo energético derivado de los sistemas HVAC; iluminación y aparatos eléctricos entre otros .</p>
<p>Iluminación natural</p>	<p>En DesignBuilder es posible realizar simulaciones de luz diurna, con resultados como los mapas de radiación solar en forma de mallas que indica la distribución de la luz en diferentes zonas de la edificación o reportes de conformidad con certificación LEED, BREEAM o GreenStar.</p>
<p>CFD</p>	<p>A diferencia de la simulación con <i>EnergyPlus</i>, donde se trabaja con Valores homogéneos para cada zona térmica, la simulación CFD divide el espacio en pequeños volúmenes para los que se calculan las condiciones del aire (temperatura, velocidad y presión) en régimen estacionario en función de las condiciones de contorno que se hayan establecido (caudales que entran por las ventanas, temperaturas de los cerramientos, etc.)</p>

Fuente: Manual de DesignBuilder. Versión Preliminar 01. Aurea Consulting. www.designbuilder.es. 2011, pp. 1–17.

1.3.5 Ventajas y limitaciones. Para el caso particular de este trabajo de grado, el uso de *DesignBuilder* ofrece ventajas asociadas a aspectos como la facilidad de interacción que el usuario tiene con el software, permitiendo modelar de una manera sencilla el edificio objeto de estudio, a través de pestañas donde es posible incluir los componentes más importantes asociados a una edificación.

En cuanto a la generación de resultados, se observan ventajas relacionadas con el análisis de parámetros y variables asociadas a la iluminación y climatización naturales, como lo es el caso de distribución de niveles de iluminancia, factor de luz día, ganancias térmicas en diferentes superficies y evaluación de las temperaturas de confort. Además, permite la obtención de los consumos energéticos de la edificación asociados a los componentes del edificio.

Otras de las ventajas ofrecidas por *DesignBuilder* están asociadas con la dinámica de fluidos computaciones CFD, en el sentido de la facilidad de uso simplificando en gran medida la entrada de datos con respecto a otros motores; así como, la facilidad de importar las condiciones de contorno relacionadas con los flujos de aire a través de las aberturas y los cerramientos desde los resultados de la simulaciones que tuvieron como base *EnergyPlus*.

Se encontraron limitaciones en el modelado de las edificaciones debido a que no es posible incorporar algunos elementos constructivos como las escaleras, así como la posición exacta de algunos componentes de los sistemas artificiales encargados de brindar confort como el caso de las luminarias en el sistema de iluminación.

2. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES OBJETO DE ESTUDIO

En este capítulo se presenta una descripción de la ubicación y región climática, especificaciones constructivas, eléctricas y de aplicaciones energéticas sostenibles asociadas a las instalaciones del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

2.1 UBICACIÓN Y REGIÓN CLIMÁTICA

La ciudad de Bucaramanga se encuentra en la parte septentrional de Colombia, en la latitud 7,13° norte y longitud 73,13° oeste, en una zona intertropical y ubicada al final de la cuenca del río Chicamocha. Su altura sobre el nivel del mar es de alrededor de los 960 msnm²².

El clima de Bucaramanga está influenciado por su posición en la zona de convergencia intertropical (ZCIT), la cual es un cinturón de baja presión presente en la región ecuatorial del globo terrestre. A consecuencia de esto se presenta radiación solar fuerte durante todo el año y no se presentan estaciones²³.

En las partes de menor altitud de la ciudad de Bucaramanga el clima es cálido seco y en las zonas de mayor altitud de la ciudad el clima es templado seco. Tiene una temperatura promedio de 24 °C y una máxima promedio de 30,9 °C, El clima

²² J. LAZAR, Reinhold. EDER, Estudio sobre el clima urbano de Bucaramanga. Convenio de cooperación entre el municipio de Bucaramanga y la Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga: , 2001.

²³ G. A. OSMA PINTO, Uso racional de la energía a partir del diseño de aplicaciones sostenibles en el edificio eléctrica II de la universidad industrial de santander. Proyecto de maestría. Bucaramanga: , 2011, pp. 1–253. Director; Gabriel Ordóñez Plata.

se caracteriza por presentar una precipitación anual promedio de 1 279 mm al año, y el régimen de lluvias está distribuido en dos períodos secos y dos lluviosos.

Las condiciones del viento de Bucaramanga son definidas por su posición en un clima intertropical con vientos alisios y el relieve. Debido a la gran influencia de la cordillera oriental se tiene que los vientos predominantes son diurnos y provenientes del norte para el caso de la UIS²⁴.

La Tabla 13 contiene los principales parámetros climáticos presentes en la UIS, valores medidos y analizados en²⁵.

Tabla 13. Rango de valores de los principales parámetros climáticos para la ciudad de Bucaramanga.

Temperatura del aire	Entre 24 °C y 27 °C
Radiación solar	Entre 4,5 kW/m ² día y 5,5 kW/m ² día
Velocidad del viento	1,0 m/s y 1,5 m/s
Humedad relativa	80%

Fuente: G. A. OSMA PINTO, Uso racional de la energía a partir del diseño de aplicaciones sostenibles en el edificio eléctrica II de la universidad industrial de santander. Proyecto de maestría. Bucaramanga: 2011, pp. 1–253. Director; Gabriel Ordóñez Plata.

²⁴ Ibid

²⁵ Ibid

2.2 ESPECIFICACIONES CONSTRUCTIVAS

El Edificio de Ingeniería Eléctrica se encuentra ubicado en el campus principal de la Universidad Industrial de Santander y ha funcionado como sede de la E3T (Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones), tiene su principio en los años 60, desde entonces se contaba con la infraestructura que se observa en la Figura 3 sin obviar modificaciones que ha tenido a lo largo de los años.

Figura 3. Infraestructura antigua de la E3T.



Fuente: Autores

Antes de la actual intervención, el edificio contaba con una área aproximada de 169 m² en el sótano, 455 m² en el primer piso, 460 m² en el segundo piso y 414 m² en el tercer piso, para un total de 1 498 m².

Debido a que la estructura existente no cumplía con las especificaciones sismo-resistentes asociadas a la Ley 400 de 1997, modificada por la Ley 1229 de julio de 2008 en el Reglamento Sismo resistente NSR-10, se desarrolló un proceso de intervención en el que se agregó una extensión de 10,5 metros que sobre salen de la fachada sur del edificio, más dos nuevos pisos que completan un área cubierta

de 1 202 m² y 554 m² de nuevas terrazas técnicas²⁶. En la Tabla 14 se resumen las áreas que se adecuaron y las áreas nuevas.

Tabla 14. Áreas anteriores y adecuadas y áreas nuevas

Piso	Área		Área Nueva		Área Total	
	anterior Cubierta	Cubierta	Terraza Técnica	Terraza Técnica	Cubierta	Terraza Técnica
Sótano	169	75	-	-	244	-
Piso 1	455	94	-	-	549	-
Piso 2	460	94	-	-	554	-
Piso 3	414	145	-	-	559	-
Piso 4	-	459	-	-	459	-
Piso 5	-	335	120	120	335	120
Piso 6	-	-	434	434	-	434
Total	1 498	1 202	554	554	2 700	554

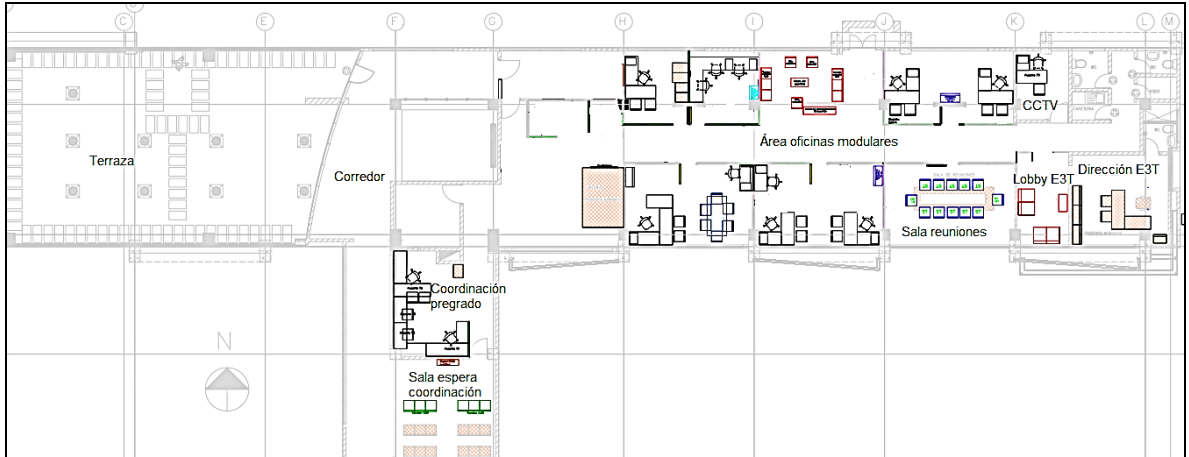
Fuente: DIRECCION DE CONTRATACION Y PROYECTOS DE INVERSION UIS. Obras civiles, arquitectónicas, eléctricas y de comunicaciones para la modernización y ampliación de la planta física del Edificio de Ingeniería Eléctrica, electrónica y telecomunicaciones., Volumen II. Bucaramanga

Para el caso específico del quinto piso que se ilustra en la Figura 4, se cuenta con un área de oficinas de 264 m², un área de circulación total de 70,98 m², y un área de terraza verde de 120 m² ²⁷

²⁶ DIRECCION DE CONTRATACION Y PROYECTOS DE INVERSION UIS. Obras civiles, arquitectónicas, eléctricas y de comunicaciones para la modernización y ampliación de la planta física del Edificio de Ingeniería Eléctrica, electrónica y telecomunicaciones., Volumen II. Bucaramanga: , 2011, p. 160.

²⁷ Ibid

Figura 4. Planta quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.



Fuente: DIRECCION DE CONTRATACION Y PROYECTOS DE INVERSION UIS. Obras civiles, arquitectónicas, eléctricas y de comunicaciones para la modernización y ampliación de la planta física del Edificio de Ingeniería Eléctrica, electrónica y telecomunicaciones., Volumen II. Bucaramanga

Los cerramientos de la edificación se encuentran conformados por fachada, particiones internas, suelos y cubiertas²⁸. A continuación se realiza una descripción de los cerramientos del piso 5.

2.2.1 Fachada. La fachada del quinto piso tiene una altura efectiva de 3 m, está compuesta por ladrillo tipo H10 (10 cm x 20 cm x 40 cm) unidos entre sí por mortero de espesor de 1,0 a 2,5 cm, el friso que recubre los muros de la fachada está compuesto por mortero con espesor superior a 1,5 cm²⁹.

Las fachadas contienen elementos no estructurales de tipo seco y liviano en superboard de 10 mm, con estructura de perfilera galvanizada con enchape en pizarra natural negra ubicadas en las salientes de las fachadas alrededor de las ventanas con protección solar y el pórtico que sobre sale de la fachada sur³⁰.

²⁸ Ibid

²⁹ Ibid

³⁰ Ibid

Además se incorporaron voladizos que coronan parte de las fachadas sur y norte (zona noreste) del quinto piso con un espesor de un metro en superboard de 10 mm³¹.

En su cuerpo central la fachada del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica contiene ventanales de diferentes especificaciones que son presentadas en el Anexo E que trata sobre las especificaciones del quinto piso.

2.2.2 Particiones interiores. Las particiones interiores comprenden aquellos elementos horizontales o verticales que separan el interior del edificio en diferentes recintos [4]; en el quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica existen dos tipos de particiones internas: muros de piso a techo en ladrillo y divisiones modulares de oficina de distintas alturas .

Las divisiones modulares de oficina presentan alturas de 1,6 m y 2,6 m, cubiertas con paño o tela vinílica, además poseen un espesor aproximado de 4,0 cm³².

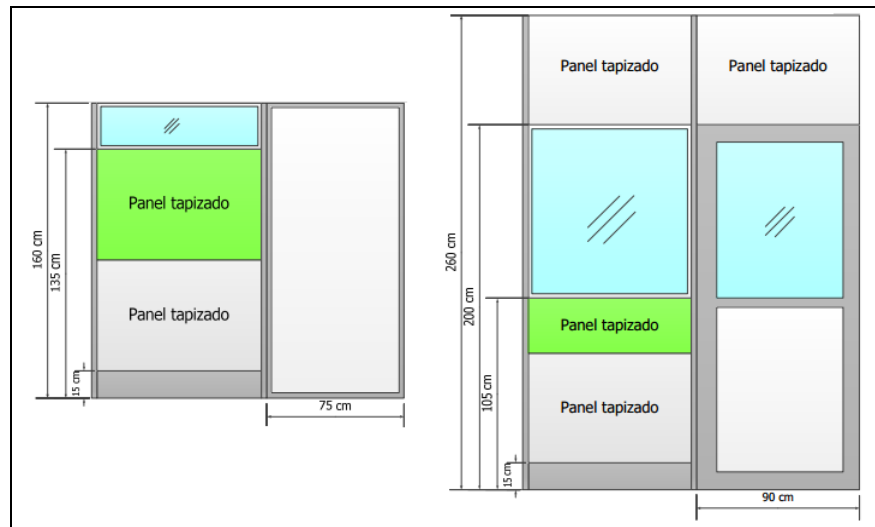
Otros detalles de las divisiones modulares de oficina son su cristalería incorporada en vidrio incoloro de 4 mm de espesor, así como puertas de 1,60[m de altura y 0,75 m de ancho, constituidas en aluminio y paño³³. Otras especificaciones de los paneles divisorios son especificadas en la Figura 5

³¹ Ibid

³² Ibid

³³ Ibid

Figura 5. Especificaciones de las particiones interiores del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.



Fuente: DIRECCION DE CONTRATACION Y PROYECTOS DE INVERSION UIS. Obras civiles, arquitectónicas, eléctricas y de comunicaciones para la modernización y ampliación de la planta física del Edificio de Ingeniería Eléctrica, electrónica y telecomunicaciones., Volumen II. Bucaramanga

Otro componente importante dentro de las particiones internas son las carpinterías que en el caso del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica pueden ser de madera, aluminio u otro metal, dicha carpinterías están compuestas por las puertas y sus marcos³⁴, la demás especificaciones de la carpintería son mostradas en el Anexo D.

2.2.3 Pisos Los pisos de las áreas de circulación y de oficinas son en concreto endurecido de espesor 0,05 m, la capa del piso se encuentra soportada sobre una placa de concreto armado de 0,40 m; en espacios como baños y cafetería, los pisos se encuentran recubiertos con una capa de mortero de 1 cm de espesor, con acabados de tableta cerámica de 1 cm de espesor³⁵.

³⁴ Ibid

³⁵ Ibid

2.3 ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS

A continuación se describen las especificaciones eléctricas asociadas al sistema de iluminación general, equipos eléctricos, sistema de climatización y el sistema de automatización del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica .

2.3.1 Especificaciones de iluminación general y equipos eléctricos. En iluminación general se definieron luminarias suspendidas de tipo fluorescente, a excepción de los espacios climatizados, donde se definieron luminarias empotradas en el cielorraso³⁶.

Para el caso del quinto piso, fueron definidas luminarias empotradas tipo bandeja, controladas a través de interruptores manuales y sensores fotoeléctricos que permiten el ahorro de energía y el aprovechamiento de la ventilación natural³⁷. En relación con los equipos ofimáticos se encontró que existe al menos un computador por espacio, entre otros equipos. El inventario de luminarias y controles de iluminación, así como de equipos ofimáticos se presentan en el Anexo E.

2.3.2 Especificaciones de climatización. El Edificio de Ingeniería Eléctrica tiene instaladas unidades de climatización para los espacios de sótano, aulas tipo auditorio del piso cuatro y algunos espacios del quinto piso como CCTV, Dirección E3T y sala de reuniones. Las ubicaciones de los equipos, cantidad de equipos y especificaciones energéticas son mostradas en el Anexo E.

2.3.3 Especificaciones en automatización. Los elementos de automatización del quinto piso están asociados al control de puertas, encendido y apagado de luces, detectores de presencia, y controles del sistema contra incendios entre otros. El

³⁶ Ibid

³⁷ Ibid

inventario de los mismos para cada uno de los espacios del quinto piso de presenta en el Anexo E.

2.4 APLICACIONES ENERGETICAS SOSTENIBLES IMPLEMENTADAS

Para el piso 5 de la edificación fueron definidas cuatro aplicaciones energéticas: iluminación natural a partir de ventanales y tubos solares, y climatización natural a partir de cubiertas verdes y ventilación natural.

2.4.1 Iluminación natural a partir de tubos solares. El sistema de iluminación natural a partir de tubos solares se diseñó para tres diferentes espacios ubicados en el cuarto y quinto piso del edificio, empleando un total de 23 tubos distribuidos de acuerdo con la Tabla 15 y la Figura 6. Con dicho sistema de iluminación se busca alcanzar un nivel de iluminación que oscile entre los 300 luxes y 500 luxes. Para garantizar adecuados niveles de confort visual en los espacios iluminados naturalmente por tubos solares, se integró dicho sistema con la estructura inmótica de la edificación³⁸.

Tabla 15. Distribución espacial de los tubos solares en el Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Espacio	Área [m ²]	Piso	Diam. 25 cm	Diam. 35 cm	Total	Nivel de iluminación lux
Sala multipropósito	50	4	-	3	3	500
Salón audiovisual	70	4	-	6	6	500
Administración	300	5	6	8	14	500

Fuente: O. A. PULIDO SUAREZ and M. Y. MENESES SILVA, Evaluación de las estrategias de confort visual y térmico establecidas para el Edificio de Ingeniería Eléctrica según linamientos del

³⁸ G. A. OSMA PINTO Op. Cit

sistema de certificación leed a partir de la herramienta DesignBuilder. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santand. Bucaramanga: , 2012, pp. 1–304 Director: Germán Alfonso Osma Pinto

Los tubos solares definidos en las cubiertas del cuarto y quinto piso del edificio; poseen en zona de captación lentes de captura de luz natural, que permiten el rechazo de la luz más intensa de las horas del mediodía, así como un deflector de domo plateado que intercepta o redireccionan la luz solar de ángulo reducido que permite obtener mayor cantidad de luz a la salida del tubo³⁹.

La luz solar es direccionada hacia abajo a través de un ducto con 99,7% de reflectividad y es distribuida dentro de los espacios a través de lentes ópticas con especificaciones de alta difusión, restringiendo el paso de rayos ultravioleta.

Figura 6. Distribución espacial de los tubos solares en el Edificio de Ingeniería Eléctrica.

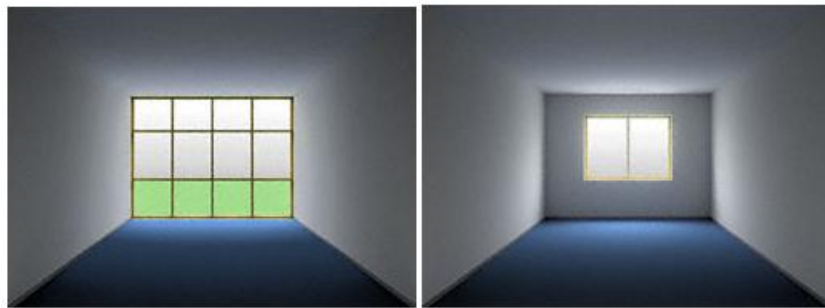


Fuente: DIRECCION DE CONTRATACION Y PROYECTOS DE INVERSION UIS. Obras civiles, arquitectónicas, eléctricas y de comunicaciones para la modernización y ampliación de la planta física del Edificio de Ingeniería Eléctrica, electrónica y telecomunicaciones., Volumen II. Bucaramanga

³⁹ “Solatube daylighting System and Tubular daylighting Devices for residential or commercial daylighting and sunlighting needs are the smart, green and environmentally friendly alternative to traditional skylights. <http://www.solatube.com/>. Consultado 17 Mar.” 2010.

2.4.2 Iluminación natural a partir de ventanales. Con el propósito de aprovechar mejor la luz natural en actividades propias de oficina, fueron definidos grandes ventanales dispuestos casi en su totalidad de piso a techo o ubicados en la corona de las fachadas sur y norte, de acuerdo con las especificaciones mostradas en la Figura 7.

Figura 7. Tipos de ventana empleados en el quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.



Fuente: M. M. MONROY, Manual de Iluminación ICARO. Departamento de Construcción Arquitectónica, Universidad de las Palmas de la Gran canaria. 2006, p. 238.

Para evitar efectos molestos para el confort visual como el deslumbramiento se instalaron lamas externas horizontales del tipo Aerobise 100 y Aerobise 200 en color plateado.

2.4.3 Especificaciones para ventilación natural. Para fomentar la ventilación natural en los espacios del quinto piso se definieron ventanales del tipo corredizo, con el propósito de ser manipulados manualmente. Las especificaciones de dichos ventanales son expuestos en el Anexo E.

2.4.4 Especificaciones del techo verde. Buscando como objetivo la disminución del consumo energético del Edificio de Ingeniería Eléctrica asociado a la climatización de algunos de los espacios dedicados a actividades de oficina tal

como el área Administrativa del quinto piso, se especificaron dos cubiertas verdes sobre las terrazas del quinto y sexto nivel de la edificación de acuerdo con la Tabla 16.

Tabla 16. Características del techo verde del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Terraza		Espesor [cm]	Sustrato	Área m ²	kg/m ²	kg
5° Nivel	Edificio de Ingeniería Eléctrica	22	12	150	120	18 000
6° Nivel				350		42 000

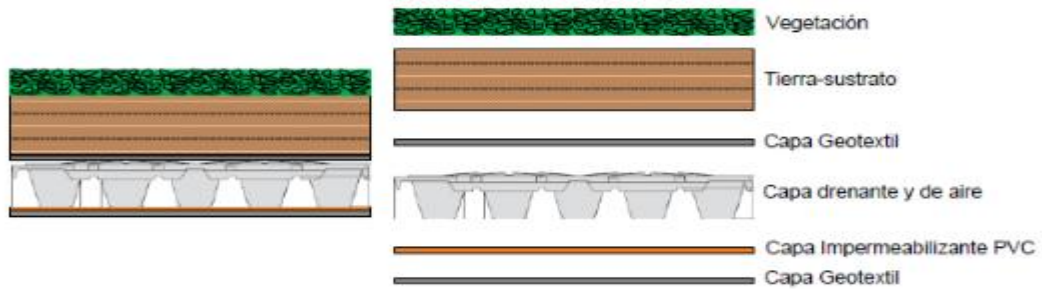
Fuente: G. A. OSMA PINTO and G. ORDOÑEZ PLATA, “Desarrollo Sostenible en edificaciones,” no. 1, pp. 1–9, 2010.

Las cubiertas verdes especificadas para el Edificio son de tipo extensivo, de instalación modular y en sitio, horizontales y de diseño tecnificado [2]. Con las cubiertas verdes especificadas, se puede estimar una reducción de temperatura en los espacios interiores cercanos a las azoteas de entre 3°C y 5°C durante el día, lo que en consecuencia generará un ahorro energético entre el 25% y el 50% debido al menor uso de aires acondicionados⁴⁰.

El techo verde definido para el Edificio consta de seis capas: dos capas de geotextil, capa impermeabilizante, capa de drenaje, capa de sustrato y vegetación, configuradas tal como se muestra en la Figura 8.

⁴⁰ G. A. OSMA PINTO Op. Cit

Figura 8. Configuración del techo verde del Edificio de Ingeniería Eléctrica.



Fuente: G. A. OSMA PINTO, Uso racional de la energía a partir del diseño de aplicaciones sostenibles en el edificio eléctrica II de la universidad industrial de santander. Proyecto de maestría. Bucaramanga: , 2011, pp. 1–253. Director; Gabriel Ordóñez Plata.

Las especificaciones de espesor de cada una de las capas del techo verde son presentadas en la Tabla 17.

Tabla 17. Espesores de las diferentes capas del techo verde del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Capa	Espesor [cm]
Vegetación	7
Sustrato	12
Geotextil	2
Drenaje	10
Impermeabilizante	2

Fuente: G. A. OSMA PINTO, Uso racional de la energía a partir del diseño de aplicaciones sostenibles en el edificio eléctrica II de la universidad industrial de santander. Proyecto de maestría. Bucaramanga: , 2011, pp. 1–253. Director; Gabriel Ordóñez Plata.

La membrana de impermeabilización está compuesta por dos láminas de polícloruro de vinilo flexible (PVC-P), reforzada con una armadura de tejido de poliéster⁴¹.

La capa de sustrato tendrá un espesor mínimo de 12 cm, y debe contar con un grado de humedad suficiente que garantice la estabilidad de la capa vegetal, que para el caso de la cubierta verde será del género *Sedum*, planta que debido a su resistencia reduce los requerimientos de riego y mantenimiento y favorece al aislamiento térmico generado por su área foliar⁴².

⁴¹ Ibid
⁴² ibid

3. MODELADO VIRTUAL EN *DESIGNBUILDER*

En este capítulo se describe el proceso de elaboración de los modelos base y real, teniendo en cuenta el modelado geométrico, el llenado de los datos, plantillas y las opciones de configuración del modelo.

3.1 ELABORACIÓN DEL MODELO REAL

El modelo real comprende de manera íntegra el Edificio de Ingeniería Eléctrica con todas sus especificaciones en obras civiles, arquitectónicas, eléctricas y de aplicaciones energéticas.

Se busca hacer un mayor énfasis en el quinto piso porque es el objeto de análisis de este trabajo de grado, todas sus características constructivas y arquitectónicas se realizaron, partiendo de los archivos especificados en los términos licitatorios así como de varios trabajos de grado, que serán debidamente referenciados.

3.1.1 Modelado geométrico. El modelado geométrico del quinto piso se realizó teniendo en cuenta el proceso descrito mediante la Tabla 18

Tabla 18. Proceso de modelado geométrico del modelo real.

Paso 1	Obtención de planos en formato DXF	Estos planos permitieron la obtención de las dimensiones del edificio, y la utilización de los mismos como guía para el trazado de bloques
Paso 2	Generación de bloques tipo edificio	A partir de los planos importado trazado el perímetro del bloque que representa el quinto piso del edificio, tomando una altura

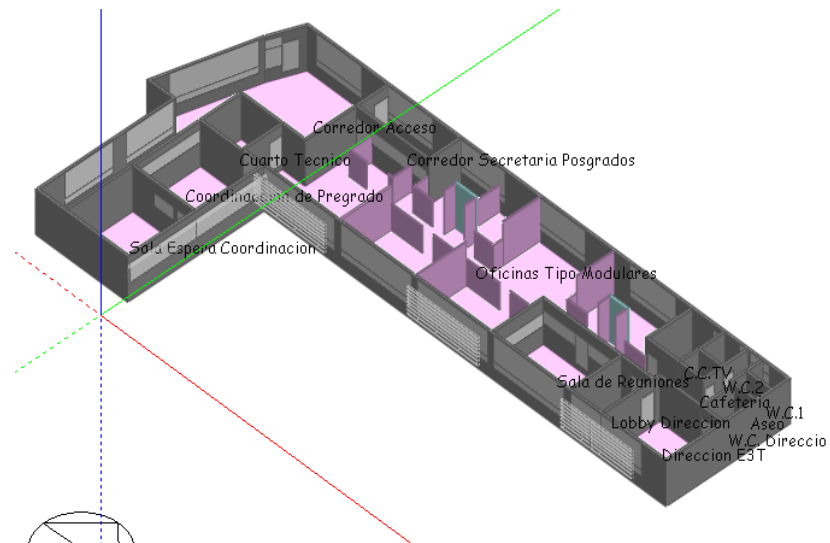
		<p>de bloque de 3,4 m y un espesor de muro promedio de 15 cm. En el Anexo F se presentan los distintos tipos de bloques que pueden ser modelados con el software.</p>
Paso 3	Trazado de particiones internas	<p>A partir del icono “Dibujar particiones” fueron generadas las particiones interiores del quinto piso que modelan muros de ladrillo, generando automáticamente zonas. Las particiones creadas al interior de los bloques adoptan por definición la altura de los cerramientos externos del bloque, así como el grosor predeterminado de los mismos.</p> <p>Las divisiones modulares de 1,6 m de altura se modelaron como bloques componentes, a fin de simplificar el modelado de las mismas, disminuyendo la cantidad de datos cargados desde plantillas, y reducir así los tiempos de simulación.</p>
Paso 4	Modelado de aberturas	<p>Para el modelamiento de las ventanas del quinto piso, se trazaron en primer lugar los perímetros con ayuda de la herramienta “Dibujar línea auxiliar” y se procedió al trazo de la ventana a partir del icono de “Dibujar ventanas”.</p>
Paso 5	Modelado de detalles arquitectónicos	<p>Para el modelado de detalles como el sombreado local mediante persianas exteriores, fueron ubicadas en primer lugar las superficies donde se encontraban los ventanales con sombreadamiento para posteriormente configurar el tipo y las opciones de sombreado en la pestaña de aberturas de los datos del modelo.</p> <p>Elementos interiores como columnas y escaleras, son obviados a la hora del modelado, debido al poco aporte térmico asociado a estos componentes. Otros</p>

detalles arquitectónicos como voladizos en cubiertas y salientes en fachada y edificaciones vecinas, fueron modelados con bloques tipo componente, dichos bloques no contienen zonas térmicas y son asumidos dentro de las simulaciones como superficies que proporcionan sombra.

Fuente Autores

En la Figura 9 se muestra la vista interior del modelo geométrico del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

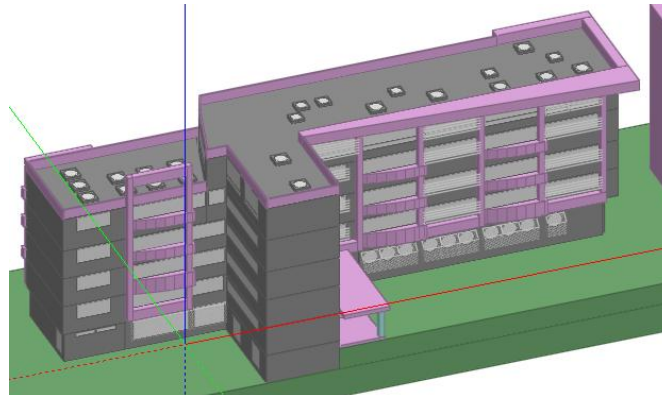
Figura 9. Modelo geométrico del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica



Fuente: elaborado en DesignBuilder.

El modelo completo obtenido para el total de la edificación es mostrado en la Figura 10.

Figura 10. Modelo geométrico Edificio de Ingeniería Eléctrica



Fuente Autores Elaborado en DesignBuilder

3.1.2 Datos del modelo. Una vez concluyó el modelado geométrico del quinto piso se procede a la asignación de los datos del modelo; *DesignBuilder* agrupa los datos en cinco categorías: actividad, cerramientos, aberturas, iluminación y HVAC^{43 44}

3.1.2.1 Datos de actividad. Estos datos permiten definir parámetros relacionados con el uso de las zonas; la Tabla 19 contiene los valores fijados de los parámetros que son explicados en profundidad en el Anexo G que trata sobre los datos del modelo en la sección de los datos de actividad.

Tabla 19. Valores fijados en la etiqueta de datos de actividad.

Parámetro	Valor fijado
Densidad de personas [personas/m ²]	0,043
Programa de ocupación	Ocupación_E3T
Condiciones metabólicas	0,9
Grado de vestimenta	Valores por defecto del software
Número de festivos	20

⁴³ Manual de DesignBuilder. Versión Preliminar 01. Aurea Consulting. www.designbuilder.es. 2011, pp. 1–17.

⁴⁴ Manual Software DesignBuilder Simulation + CFD Training Guide. 2011, p. 224.

Parámetro	Valor fijado
Control ambiental °C	24
Aire fresco mínimo por persona [l/s-persona]	10
Valor mínimo de iluminancia [Lux]	500
Densidad de potencia de iluminación	Depende de los requerimientos del espacio
Ganancias [W/m ²]	Depende de los requerimientos del espacio

Fuente: Autores

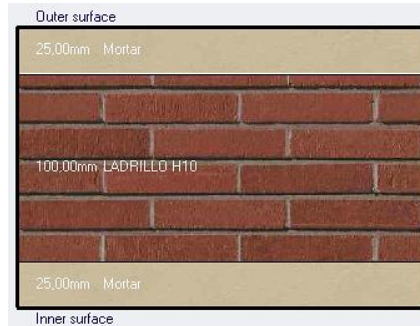
3.1.2.2 Datos de cerramientos. En esta pestaña es posible definir los datos asociados a los cerramientos del edificio, incluyendo muros exteriores, particiones internas, cubiertas suelos y techos entre otros⁴⁵.

Los muros exteriores del modelo del quinto piso se encuentran constituidos por tres capas agrupadas compuestas por una capa de ladrillo tipo H10 recubierta por ambos lados por capas de mortero de 2,5 cm de espesor.

La Figura 11 presenta la configuración de dichos muros exteriores. Esta configuración también fue usada para el modelado de otros tipos de cerramientos como particiones internas estructurales y muros semi-expuestos.

⁴⁵ Manual de DesignBuilder. Versión Preliminar 01. Aurea Consulting. www.designbuilder.es. 2011, pp. 1–17.

Figura 11. Configuración de los muros exteriores del modelo.



Fuente Plantillas del software

Las cubiertas planas forman parte importante del modelo, se encuentran compuestas por cuatro capas: concreto de 40 cm de espesor, mortero de concreto endurecido de acabado liso de 5 cm de espesor, una capa de aire de 30 cm de espesor y una placa de yeso de 1,5 cm que sirve de cielorraso al nivel inferior; la configuración de dichas capas se muestran en la Figura 12. De esta misma manera también fueron modelados los pisos interiores de todos los niveles de la edificación.

Figura 12. Configuración de la cubierta plana del modelo



Fuente Plantillas del software

Para el modelamiento de los cerramientos tipo divisiones modulares de oficina se tuvo en cuenta tres tipos distintos de materiales: tela sintética de espesor de 0,5

cm, madera prensada de 1 cm de espesor y una capa de aire de 4 cm. La configuración de este tipo de cerramientos se presenta en la Figura 13.



Figura 13. Configuración divisiones modulares del modelo

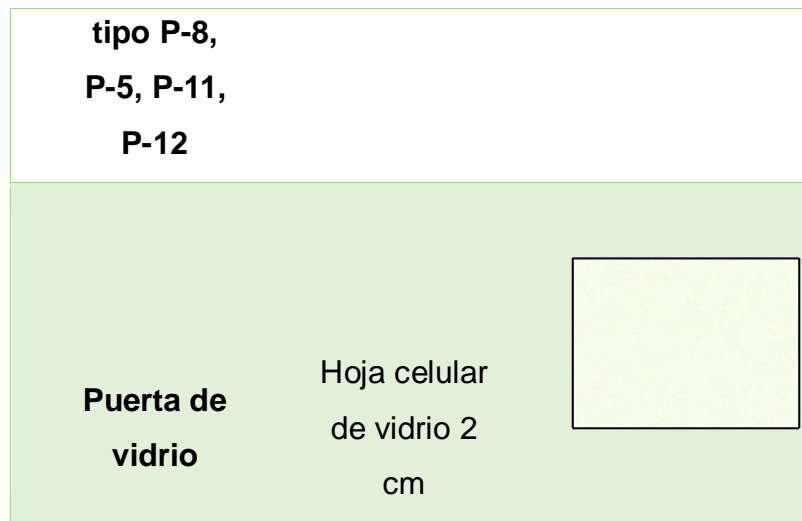


Fuente Plantillas del software

Los cerramientos representados por las puertas interiores fueron modelados de acuerdo con la Tabla 20

Tabla 20. Configuración de puertas interiores del modelo.

Tipo de puerta	Capas (materiales)	Configuración
<p>Puerta tipo P-2, P-3, P-4</p>	<p>Madera 3,5 cm</p>	
<p>Puerta</p>	<p>Aluminio 0,3 cm Aire 1 cm</p>	



Fuente: DIRECCION DE CONTRATACION Y PROYECTOS DE INVERSION UIS. Obras civiles, arquitectónicas, eléctricas y de comunicaciones para la modernización y ampliación de la planta física del Edificio de Ingeniería Eléctrica, electrónica y telecomunicaciones., Volumen II. Bucaramanga

Un dato importante en el modelado de los cerramientos es el nivel de estanqueidad del aire, que puede ser establecido mediante un control deslizante con una escala de cinco pasos: muy pobre, pobre, medio, bueno y excelente. Para este dato se asumió un valor de nivel de estanqueidad medio preestablecido por el software.

3.1.2.3 Datos de aberturas. Se considera como abertura cualquier vano ubicado sobre los cerramientos del edificio, lo cual implica una excepción en su composición constructiva, en *DesignBuilder* es posible modelar aberturas tal como ventanas, huecos, sub-superficies, puertas y rejillas⁴⁶⁴⁷

En primer lugar debe definirse el tipo de cristal de las ventanas exteriores, que para el quinto piso es vidrio incoloro de 5 mm de espesor.

⁴⁶ Manual de DesignBuilder. Versión Preliminar 01. Aurea Consulting. www.designbuilder.es. 2011, pp. 1–17.

⁴⁷ Manual Software DesignBuilder Simulation + CFD Training Guide. 2011, p. 224.

No es necesario definir datos asociados a las dimensiones de las ventanas debido a que dichas dimensiones ya fueron establecidas en el modelado geométrico; sin embargo es necesario definir algunos valores referentes a marcos y divisiones, así como algunos datos relacionados con el sombreado local; dicha información se presenta en el Anexo G.

Para modelar la apertura de las ventanas externas, se fijó un porcentaje de apertura de 50% del total de acristalamiento para los tipos de ventana V4 y V14 existentes en el quinto piso del edificio, en cuanto el programa de operación de la apertura se asume que las ventanas estarán totalmente abiertas durante los periodos de ocupación del edificio.

En relación con las ventanas internas sólo se requirió definir el material del acristalamiento que corresponde a vidrio incoloro de 4 mm.

Para finalizar con los datos de aberturas, se modeló la operación de las puertas externas e internas estimando un área de apertura de 50% y un porcentaje de tiempo de apertura de 5% en relación con los periodos de ocupación del edificio que operan con el perfil de ocupación definido para el quinto piso de la edificación.

3.1.2.4 Datos de iluminación. Esta pestaña permite realizar el modelado del sistema de iluminación general a partir de la definición de algunos datos asociados al tipo de luminaria y energía de iluminación, también es posible modelar los sistemas de control de iluminación mediante el empleo de sensores de luz natural⁴⁸

Para el quinto piso fueron seleccionadas luminarias empotradas al techo con una energía de iluminación fijada para cada uno de los espacios teniendo en cuenta

⁴⁸ Manual de DesignBuilder. Versión Preliminar 01. Aurea Consulting. www.designbuilder.es. 2011, pp. 1–17.

área del espacio, el tipo y cantidad de lámparas presentes, así como la potencia total demandada tal como se muestra en el Anexo G en la sección de datos de iluminación.

El modelado de los sensores fotoeléctricos se realizó teniendo en cuenta un control de tipo continuo que permite modelar la iluminación en general de manera continua y lineal, desde la máxima potencia eléctrica que genera el mayor nivel de iluminancia hasta la mínima potencia eléctrica que puede producir un valor mínimo de iluminancia, teniendo en cuenta el aumento de la luz natural, para el modelamiento de este tipo de control se emplearon hasta dos sensores por zona, distribuidos en el centro geométrico de la zona.

3.1.2.5 Datos del sistema HVAC. Los datos del sistema HVAC son modelados desde el nivel zona debido a que no se cuenta con un sistema de climatización que cubra todo el quinto piso, por el contrario sólo existen algunos espacios climatizados con sistemas tipo mini-Split entre otros.

El modelamiento de las zonas con aires acondicionado se realiza teniendo en cuenta que todos los sistemas se encuentran alimentados desde la red de energía eléctrica. Además fue necesario el cálculo del coeficiente de eficiencia COP, la Tabla 21 presenta los valores de COP para sistemas de distinta capacidad de la marca CIAC usada para la climatización de algunos espacios del quinto piso.

Tabla 21. Valores de EER y COP para distintas capacidades de sistemas mini-Split marca CIAC.

Capacidad Refrigeración [BTUH]	[BTUH/W]	[W/W]
9 000	11,18	3,28
12 000	11,18	3,28
18 000	11,18	3,28
24 000	11,18	3,28
30 000	11,18	3,28

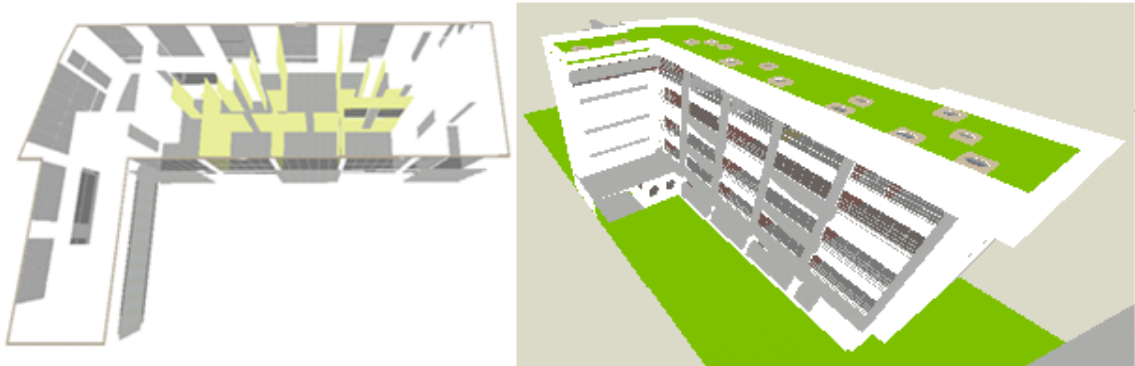
Fuente: Autores

Otros datos a definir asociados con la climatización son la temperatura a la que sale el aire del sistema fijada en 24°C, y el valor de humedad en el aire que el sistema supe fijado como 0,008 por defecto. El programa de funcionamiento de los aires acondicionados es presentado en el Anexo G en la sección de datos del sistema HVAC.

Para considerar la ventilación natural en las simulaciones fue seleccionada la casilla asociada a ésta, en la pestaña de datos del sistema HVAC; además fue establecido como método de definición de aire exterior el aire fresco mínimo por persona, para que sea considerado solamente en los cálculos de diseño de refrigeración.

Al finalizar el proceso de llenado de datos se realizó la “renderización” del modelo, tal como se presenta en la Figura 14, allí es posible observar los modelos virtuales del interior del quinto piso y de toda la edificación.

Figura 14. Modelo renderizado. Vista del quinto piso y el edificio completo.



Fuente: Modelo Renderizado software

3.1.3 Opciones del modelo El programa *DesignBuilder* permite definir el nivel de detalle requerido en las simulaciones asociadas al rango de análisis, cerramientos, acristalamientos, ganancias, sincronización, sistemas HVAC y ventilación natural⁴⁹; en la Tabla 22, se presenta una configuración de opciones del modelo, para mayor detalle sobre la conceptualización justificación de configuraciones seleccionadas ver Anexo H.

Tabla 22. Configuración de las opciones del modelo para el modelo real

Opción del modelo	Configuración
Rango de análisis	Nivel edificio
Nivel de cerramientos y acristalamientos	General
Modelado de ganancias internas	Ganancias simplificadas
Opciones de sincronización	Programaciones
Sistema HVAC	Compacto: manual
Ventilación natural	Calculada

Fuente: Plantillas del software

⁴⁹ Manual de DesignBuilder. Versión Preliminar 01. Aurea Consulting. www.designbuilder.es. 2011, pp. 1–17.

3.1.4 Modelado de las aplicaciones energéticas en el software. A continuación se presentan algunos detalles asociados al proceso de modelado de las aplicaciones energéticas en *DesignBuilder*, en lo que concierne al llenado de datos en el software para cada una y la inserción del modelo de tubo solar.

3.1.4.1 Modelado cubierta verde en DesignBuilder. El modelado de la cubierta verde se realizó a partir de la configuración de las capas que conforman la cubierta plana del modelo del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Los componentes característicos de la cubierta verde con su grosor y resistencia térmica se **presentan en** la Tabla 23; para la configuración de la misma fue necesario añadir cinco capas más a las establecidas en la cubierta plana: dos capas de geotextil, impermeabilizante, polietileno de alta densidad, y por último el sustrato.

Tabla 23. Características de materiales de la cubierta verde en el Edificio de Ingeniería Eléctrica

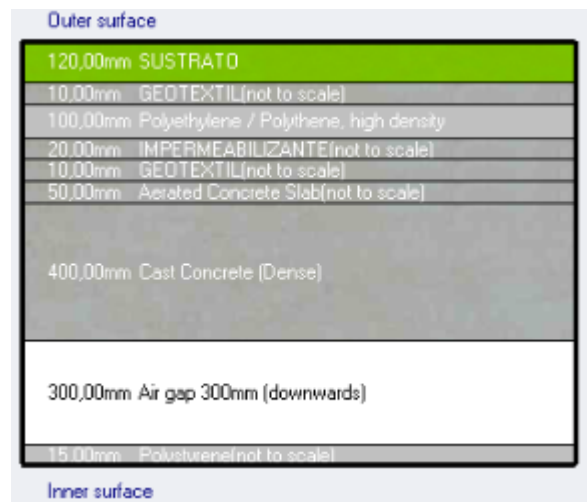
Capa	Material	Espesor [m]	Resistencia [m ² -K/W]
Capa 1	Sustrato	0,12	0,52
Capa2	Geotextil	0,01	0,4
Capa 3	Polietileno alta densidad	0,1	0,2
Capa 4	Impermeabilizante	0,02	0,12
Capa 5	Geotextil	0,01	0,4
Capa 6	Concreto liso	0,05	0,31
Capa 7	Hormigón	0,4	0,4
Capa 8	Capa de aire	0,3	0,23

Capa	Material	Espesor [m]	Resistencia [m ² -K/W]
Capa 9	Cielorraso	0,015	0,51

Fuente: Plantillas del software

En la Figura 15 se observa con mejor detalle las capas configuradas en *DesignBuilder*; editadas en la plantilla de “cubierta plana”.

Figura 15. Configuración de las capas de cubierta plana para el techo verde.



Fuente: Plantillas del software

Para configurar los datos de la cubierta vegetal, se debe seleccionar la opción de “GreenRoof”, y en la capa de sustrato se coloca las propiedades asociadas a las plantas de la cubierta, dichas propiedades son especificadas en la Tabla 24

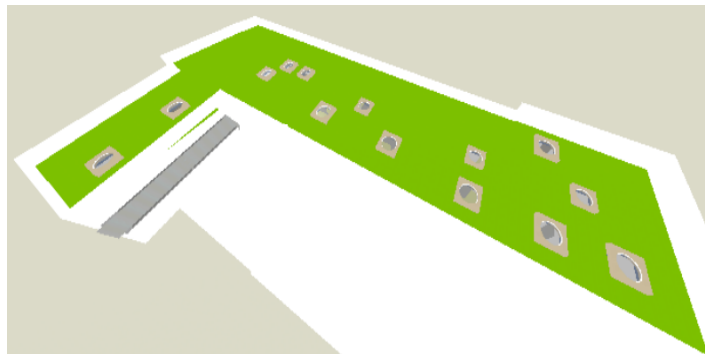
Tabla 24. Edición de la capa de sustrato en *DesignBuilder*.

Propiedad	Valor
Altura de las plantas [m]	0,07
Índice del área de las hojas	5
Reflectividad de las hojas	0,220
Emisividad de las hojas	0,95
Resistencia estomica mínima [s/m]	100
Máximo contenido volumétrico de humedad en saturación	0,5
Mínimo contenido volumétrico de humedad residual	0,010
Contenido volumétrico de humedad inicial	0,150

Fuente: Plantillas del software

Después de la configuración de las propiedades y materiales de la cubierta, se obtuvo la imagen renderizada de la misma mostrada en la Figura 16

Figura 16. Cubierta verde del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica. Imagen renderizado en *DesignBuilder*.



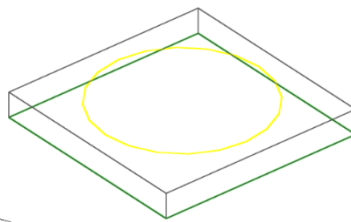
Fuente: Modelo Renderizado software

3.1.4.2 Modelado tubos solares. *DesignBuilder* no posee una herramienta que permita el modelado directo de tubos solares, por ello fue necesario optar por aproximar el modelo de dicha aplicación sostenible a partir de la consideración de tres posibles alternativas: apertura horizontal en cubierta, cono geométrico en cubierta y bloque rectangular en cubierta con abertura horizontal.

La aproximación se llevó a cabo teniendo en cuenta el nivel de iluminancia y la distribución lumínica, a partir de este análisis se seleccionó como aproximación de los tubos solares el bloque rectangular en cubierta con abertura horizontal; la información en detalle se presenta en el Anexo I.

La Figura 17 muestra el modelado geométrico de la aproximación de tubo solar seleccionada, en dicha figura se puede observar el modelado de la apertura (contorno de color amarillo) en la superficie superior del bloque, así como el hueco (contorno de color verde) que permite conectar la zona del bloque que representa el tubo solar con el bloque tipo edificio.

Figura 17. Vista de superficie de tubo solar en *DesignBuilder*.



Fuente: Imagen del software

Para lograr un parecido más exacto en cuanto a la transmisión y distribución de luz natural se estableció una cubierta de mortero con alto valor de resistencia térmica, así como muros exteriores en aluminio de alta reflectividad y baja conductividad térmica. Las propiedades superficiales de los materiales

configurados en la aproximación de los tubos solares son mostradas en la Tabla 25

Tabla 25. Propiedades superficiales de los muros exteriores y las aberturas modeladas en *DesignBuilder*.

Material	Espesor [m]	Resistencia [m ² -K/W]	Emisividad	Absortancia solar	Absortancia visible
Mortero	0,01	25	0,001	0,006	0,006
Aluminio	0,01	25	0,001	0,001	0,001

Fuente: Plantillas del software

En cuanto al acristalamiento definido para la abertura superior del bloque se asignaron las propiedades mostradas en la Tabla 26

Tabla 26. Propiedades de las aberturas superficiales configuradas en *DesignBuilder*.

Propiedades	Térmicas	Solares	Visibles	Infrarrojas
Conductividad	0,001	-	-	-
Transmitancia	-	0,837	0,95	0
Reflectividad Exterior	-	0,075	0,025	0,84
Reflectividad Interior	-	0,075	0,025	0,85

Fuente: Plantillas del software

Con el propósito de encontrar las dimensiones que mejor se aproximarán a las características de iluminancia de los tubos solares se realizaron simulaciones daylighting presentadas en el Anexo I, utilizando una versión más actualizada del software (versión 3.0.5), ya que la suministrada por la Universidad no contiene

dicho módulo. Las simulaciones realizadas fueron hechas bajo las mismas condiciones de espacio, hora y tipo de cielo; como resultado a dichas simulaciones se encontraron las dimensiones mostradas en la Tabla 27.

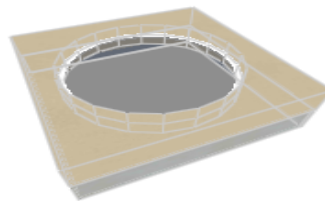
Tabla 27.. Dimensiones de los modelos de tubo solar

Tubo	Diámetro de la Ventana [m]	Lado de la Caja [m]	Altura Efectiva [m]	Grosor [m]
25 [cm]	1,0	1,2	0,25	0,01
35 [cm]	1,2	1,5	0,25	0,01

Fuente: Plantillas del software

La Figura 18 muestra el modelo de tubo solar renderizado, en ésta es posible verificar algunas características como los materiales definidos.

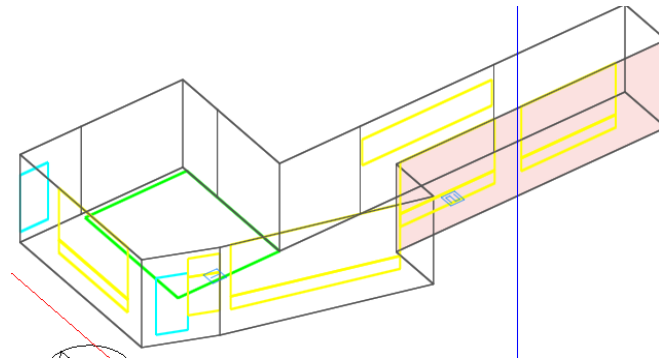
Figura 18. Aproximación de tubo solar renderizada en *DesignBuilder*.



Fuente: Imagen Renderizada del software

3.1.4.3 Modelado de ventanales exteriores. El modelado de ventanales exteriores como aplicación energética se realizó a partir del trazado de aberturas sobre las superficies de los muros externos del modelo, teniendo en cuenta las especificaciones de medidas y materiales definidas en el capítulo 3. La Figura 19 presenta uno de los espacios del quinto piso con sus respectivos ventanales exteriores.

Figura 19. Vista de edición de los ventanales exteriores de un espacio del quinto piso de Ingeniería Eléctrica



Fuente: Imagen del software

La Figura 20 muestra la configuración de los ventanales exteriores de las distintas fachadas del quinto piso a través de imágenes renderizadas del modelo.

Figura 20 Ventanales exteriores de las distintas fachadas del quinto piso.



Fuente: Imagen Renderizada del software

3.1.4.4 Modelado de la ventilación natural. Para el modelado de la ventilación natural es necesario establecer el área de apertura de los ventanales; ello se realiza en la opción de funcionamiento de desplegable de ventanas externas ubicado en la etiqueta de aberturas de los datos del modelo

Para establecer el funcionamiento de la ventilación natural a través del área de apertura de los ventanales se requiere activar en la etiqueta HVAC la pestaña de ventilación natural para la zona requerida.

La ventilación natural va a ocurrir con la ocupación del edificio, la opción por defecto de aire fresco mínimo por persona se emplea para diseño de calefacción y refrigeración. Y se tiene un factor de viento igual a 1,00 para considerar por completo el efecto del viento en los cálculos que realiza *DesignBuilder*.

3.2 ELABORACIÓN DEL MODELO BASE

En esta sección se describe el proceso de obtención del modelo base o *Baseline*, realizado de acuerdo a lo expuesto en el apéndice G del estándar ASHRAE 90.1, en el cual el modelo base comparte características comunes con el modelo real que incluye las especificaciones del nuevo Edificio, tal como cerramientos, ocupación, ventilación, condiciones interiores de confort e iluminación, densidad de potencia, dimensiones, plantas y distribución interior. El modelo base será usado para la estimación de los ahorros energéticos asociados a las aplicaciones energéticas implementadas en el quinto piso.

Parámetros como acristalamientos, elementos de sombreado, sistemas de climatización para el modelo base son especificados en la Tabla 28

Tabla 28. Parámetros a configurar en el modelo base con respecto al modelo real.

Acristalamiento	Los acristalamientos del modelo base deben ser dispuestos en forma homogénea y continua en cada una de las fachadas de la edificación teniendo en cuenta que el porcentaje de área vidriada debe representar máximo un 40% del total del área de los muros.
Elementos de sombreado	El modelo base debe carecer del sistema de sombreado y auto-sombreado proporcionado por protecciones solares de uso externo y por elementos de tipo arquitectónicos como voladizos.
Sistema de climatización	Teniendo en cuenta el área total de la edificación y lo establecido en la ASHRAE 90.1 de 2004 en su tabla G3.1.1 A mostrada en el Anexo J. se recomienda modelar el sistema HVAC con un sistema paquete piso techo de volumen de aire variable (VAV) con expansión directa en refrigeración.
Orientación	Se recomienda calcular el consumo energético del edificio teniendo en cuenta las orientaciones de 0°, 90°, 180° y 270°.

Fuente: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. ASHARE 90.1 www.ashare.org, vol. 1. Atlanta: , 2007, p. 192.

3.2.1 Modelo geométrico. En la construcción del modelo base en *DesignBuilder* se empleó el modelo geométrico obtenido tras la construcción del modelo real, cuyo proceso de construcción es explicado en detalle en la sección 4.1.1 de este

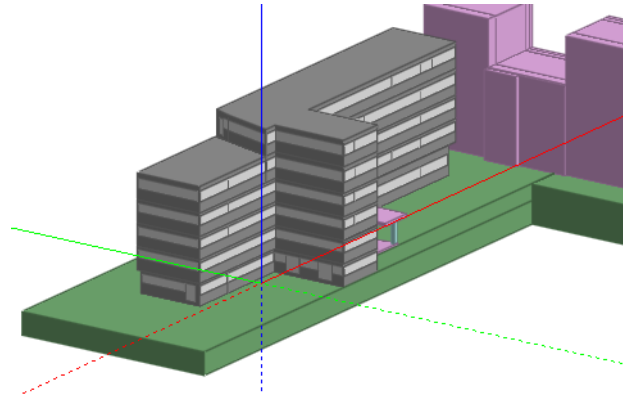
capítulo. Tanto las plantillas de actividad, cerramientos, aberturas e iluminación como las opciones del modelo no cambiaron su configuración.

Con el propósito de seguir las especificaciones del apéndice G de la ASHRAE 90.1 se realizaron las siguientes modificaciones constructivas al modelo real.

- Se reemplazaron los ventanales exteriores existente por ventanales continuos que en total contienen un área de acristalamiento no superior al 40% del total de área de la fachada.
- Se eliminaron todos los tipos de protecciones solares y voladizos.
- Se eliminó la cubierta verde.

Al realizar las anteriores modificaciones sobre el modelo real se obtuvo el modelo base mostrado en la Figura 21

Figura 21. Modelo base en *DesignBuilder*



Fuente: software *DesignBuilder*

Para la configuración del sistema de climatización recomendado por el estándar, se seleccionó una plantilla de la librería de *DesignBuilder* que tuviera las especificaciones de un sistema paquete piso techo con volumen de aire variable de tipo expansión directa, a la cual se le asignó el nombre con el nombre de “PAQUETE VAV”.

3.2.2 Datos del modelo Los datos del modelo base, como se había mencionado anteriormente son los mismos que los del modelo real, a excepción de los datos de la etiqueta de HVAC, en la cual se realizaron cambios asociados a la temperatura del aire de suministro de refrigeración, Así como la desactivación de la ventilación mecánica y ventilación natural y calefacción.

3.2.3 Opciones del modelo. Las opciones para el modelo base son equivalentes a las del modelo real, el único cambio radica en que la ventilación natural se seleccionó como programada.

Se debe considerar que la configuración de ventilación natural como calculada, ocasiona un aumento en los tiempos de simulación y tiene en cuenta la configuración del área de apertura de las ventanas, mientras que la ventilación natural programada solo emplea el valor de la temperatura de funcionamiento fijado en la etiqueta actividad y posibilita la ocurrencia de la misma al presentarse un descenso de esta temperatura bajo una tasa de funcionamiento establecida.

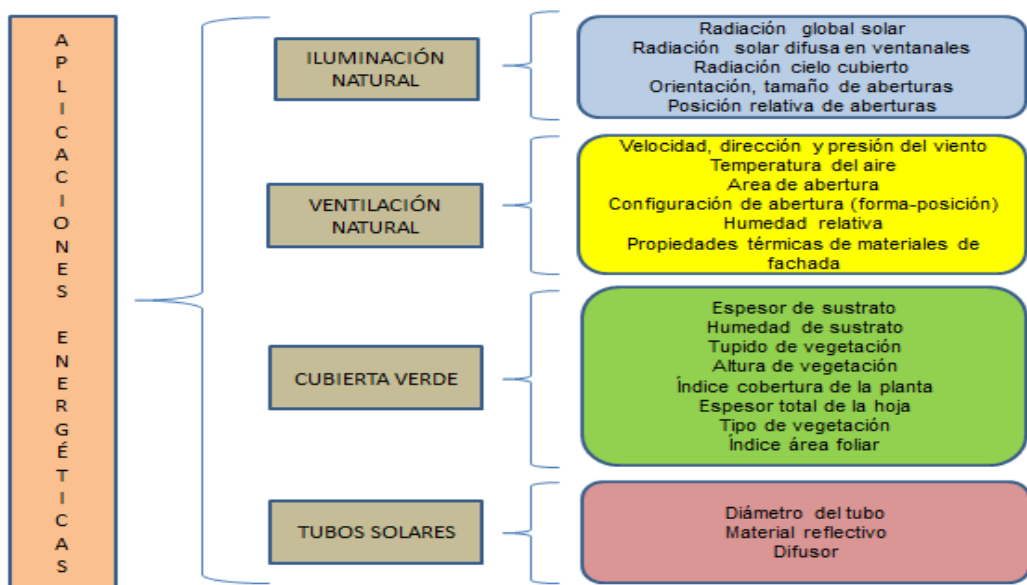
4. PARÁMETROS DE DISEÑO DE APLICACIONES SOSTENIBLES

Cada aplicación energética (cubierta verde, ventilación natural e iluminación natural a partir de ventanales y tubos solares), se caracterizan por ciertos parámetros específicos de diseño, que configurados de cierta manera permiten obtener un mayor ahorro de consumo energético en cuanto a sistemas de aire acondicionado e iluminación. A continuación se identifican los parámetros asociados a dichas aplicaciones.

4.1 IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS

La Figura 5.1 muestra algunos parámetros de diseño de las aplicaciones energéticas encontrados en publicaciones de revistas científicas

Figura 22. Parámetros asociados a las aplicaciones energéticas según revista científicas.



Fuente: Autores

4.1.1 Iluminación natural. Algunos de los parámetros relevantes que deben manejarse para el aprovechamiento de la luz natural a través de los ventanales exteriores son: área de acristalamiento, posición relativa de la ventana en la fachada y propiedades de reflexión de las superficies internas, entre otros⁵⁰.

4.1.1.1 Posición relativa de la ventana. La posición de las aberturas en la envolvente de la edificación determina en gran medida la cantidad y calidad de luz natural con la que se puede iluminar un espacio^{51, 52}.

Cuanto más alta esté situada la ventana mayor es la profundidad de penetración de la luz natural⁵³, lo que tiende a mejorar la distribución en la zona iluminada, una ventana en posición central produce una mejor distribución de luz en el interior, mientras una ventana en esquina provoca menos deslumbramientos^{54,55}. Una ventana ubicada en el zócalo de la fachada genera un menor grado de luz natural aprovechable así como una distribución de luz poco homogénea dentro del espacio.

Para edificaciones en el hemisferio norte, con una latitud por encima a 23,5° se tiene que las ventanas orientadas al sur proporcionan niveles luminosos elevados y prácticamente constantes, elevada ganancia de energía en invierno y media en verano, Las ventanas orientadas al oeste y este proporcionan niveles de iluminación medios, pero variables a lo largo del día, con elevada ganancia en verano y baja en invierno, las ventanas orientadas al norte proporcionan niveles

⁵⁰ IDAE, Guía Técnica. Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios. España: , 2005, p. 177.

⁵¹ Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos. Dirección de Arquitectura. Ministerio de obras públicas. santiago de chile: , 2012, p. 112.

⁵² M. M. MONROY, Manual de Iluminación ICARO, 1st ed. España: Islas canarias, 2006, p. 104.

⁵³ Ibid

⁵⁴ *Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos. Dirección de Arquitectura. Ministerio de obras públicas. santiago de chile: , 2012, p. 112.*

⁵⁵ M. M. MONROY, Op. Cot.

luminosos bajos pero constantes a lo largo del día, y escasa ganancia de energía^{56 57}

4.1.1.2 Área de acristalamiento de la ventana (tamaño de la ventana). El tamaño de ventana produce efectos positivos en términos de iluminación natural, pero debe tenerse muy en cuenta los aspectos térmicos; para el aprovechamiento de luz natural en iluminación en su diseño se debe maximizar la transmisión de luz por área vidriada, controlar la penetración de luz solar directa y minimizar el deslumbramiento sobre el plano de trabajo, así como minimizar las ganancias de calor diurno durante el periodo de verano, y maximizar las ganancias térmicas diurnas en invierno para permitir la calefacción natural de los espacios⁵⁸.

4.1.1.3 Otros parámetros asociados Las condiciones de reflexión de las superficies dependen de los acabados que se llevan al interior de las oficinas del quinto piso, por ejemplo el tipo de superficie del piso, el color de las paredes, color y textura del mobiliario, color y textura para la superficie del techo, y el tipo de material que se emplea en el interior del edificio, otro aspecto relevante son las separaciones interiores en las oficinas, y el modelo de las aberturas de penetración de luz natural.

Se ha demostrado que el consumo en iluminación artificial puede reducirse hasta en un 20 % con el empleo de iluminación natural, la transferencia de calor a través de las ventanas es debido al efecto de la diferencia de temperatura a través del acristalamiento, el calor obtenido a través de la ventana depende del tamaño y tipo

⁵⁶ *Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos. Dirección de Arquitectura. Ministerio de obras públicas. Santiago de Chile: , 2012, p. 112.*

⁵⁷ M. López de Asiain, *Estrategias Bioclimáticas en la Arquitectura.*, vol. volumen 4. España: , 2003, p. pag 345.

⁵⁸ P. Andrea, *Luz Natural e Iluminación de Interiores*, Capítulo 1. 2000, pp. 2–24.

de la ventana, la iluminación natural ayuda a reducir la carga de aire acondicionado⁵⁹.

Otro parámetro como orientación de la ventana, hace referencia a la orientación geográfica ya que la trayectoria del Sol tiene una gran influencia sobre la iluminación natural⁶⁰, la forma de la ventana influye en la repartición luminosa, en el caso de una ventana continua la distribución de la luz será de manera homogénea en el espacio. En el caso de disminuir su tamaño y tener más de dos ventanas la iluminación se vuelve menos uniforme creándose zonas de contraste entre ellas⁶¹.

4.1.2 Tubos solares. En relación con los tubos solares se determinó la influencia de parámetros asociados al captador tales como el diámetro y el material constituyente del mismo. Asimismo se identificó la influencia del material reflectivo del tubo solar sobre la cantidad y forma en que los rayos de luz se ven transportados hacia el interior de los espacios. Hecho que influye en el consumo energético en iluminación general cuando se dispone de dispositivos de control como fotos-sensores⁶².

Otro parámetro importante de los tubos solares que influye en la forma como se distribuye la luz al interior de los espacios es el difusor, que mejora su eficiencia de acuerdo al material que lo compone⁶³.

4.1.3 Ventilación natural. La ventilación natural depende de parámetros de diseño de las ventanas tales como tamaño, forma, posición, orientación y

⁵⁹ L. Wang, W. Lin, and W. Lee, "Energy saving of green buildings using natural daylight," Power Systems Conference, pp. 1–7, 2009.

⁶⁰ IDAE, Guía Técnica. Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios. España: , 2005, p. 177.

⁶¹ Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos. Dirección de Arquitectura. Ministerio de obras públicas. santiago de chile: , 2012, p. 112.

⁶² M. V. FERNANDEZ XIFRA and J. M. EVANS, Sistemas innovativos para el Direccionamiento de luz natural películas holográficas y lumiductor. Universidad Buenos Aires. Facultad de arquitectura, vol. 6. Buenos Aires: , 2002, pp. 1–6.

⁶³ Ibid

características de las mismas [8], [9]. También depende de factores externos como la forma urbana y tipología del edificio (forma, dimensiones); así como de las propiedades térmicas de materiales [10], [11], [12], [13].

Otros parámetros se relacionan con las condiciones climáticas, tal es el caso de la velocidad, presión y dirección del viento, temperaturas externas e internas de la edificación y humedad del aire [14], [15]. Cuando el flujo de viento se encuentra con el edificio, la velocidad del viento y la variación de presión cambia dependiendo de la forma de construcción arquitectónica del techo⁶⁴.

También se encontró la influencia directa de parámetros físicos como la actividad metabólica y el grado de vestimenta que influyen en el confort térmico [17]. El diseño de la fachada de la edificación, dispositivos de sombreado, geometría del edificio y aislamiento del techo ayudan a una mejorar la ventilación [11].

Dentro de los parámetros encontrados en [15]; también se relaciona el tamaño de la abertura con la cantidad de aire que pasa a través de ella, reflejando así la importancia de la cantidad de aire que ingresa en un espacio para la reducción del consumo de energía eléctrica en climatización.

La dinámica de fluidos computacional es un excelente método para evaluar el entorno natural del viento de un edificio de gran altura; en el cual se analiza la ubicación y tamaño de las ventanas para optimizar el diseño de ventilación natural [18].

El área total de las ventanas de entrada y salida es beneficioso para el aumento de la tasa de ventilación natural y la tasa de cambio de aire; es preferible que la

⁶⁴ X. Li, S. You, and Y. Xia, "Effect of Window Characteristics on Indoor Air Quality in Residential Housing," 2009 3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, pp. 1–4, Jun. 2009.

ventana de entrada sea más pequeña que la de salida para aumentar la velocidad del aire y reducir la zona de estancamiento [18].

4.1.4 Cubierta verde. El rendimiento del techo verde depende de diversos factores, tales como el tipo de cubierta, profundidad, pendiente e irrigación [19]. Para el caso de la cubierta verde se encontró la influencia del aumento de la humedad en el incremento de la eficiencia como aislante térmico, como consecuencia de la liberación de calor latente sin que haya una transferencia de calor significativa hacia la estructura de hormigón de la edificación.

Algunos estudios relacionan el grosor y la humedad de la cubierta verde con el grado de transferencia de calor hacia el interior de los espacios ⁶⁵

Los principales componentes técnicos de una cubierta verde son la selección de plantas, sustrato y capa de drenaje, estos tres componentes abren tres líneas de investigación sobre el comportamiento y aplicabilidad de sistemas de cubiertas verdes [21].

4.1.4.1 Selección de plantas La cubierta vegetal debe consistir en especies vegetales de bajo porte de raíces superficiales, capacidad de adaptación a condiciones climáticas extremas y resistencia a largos periodos de sequía [21]. La especie vegetal *sedum floriferium* es la única especie que exhibe una importante área de cobertura en profundidades de sustrato de 7 cm y 10 cm, para espesores grandes existe una mayor humedad en diferentes plantas vegetales [20]. La profundidad influye en la tasa de crecimiento de la planta y el área de cobertura independientemente de la especie.

⁶⁵ K. Getter and D. Rowe, "Substrate depth influences Sedum plant community on a green roof," HortScience, vol. 44, no. 2, pp. 1–7, 2009.

Estudios han demostrado que diferentes tipos de vegetación pueden dar diferentes mediciones térmicas en su reducción [19], [22]. La altura de la planta es muy influenciada por los niveles de transpiración y se relaciona con el sombreado de la superficie del suelo; cuanto más corta sea la altura de la planta, más fuerte es la conexión térmica entre ellos. Sin embargo, en los días de temperaturas elevadas, de forma continua las plantas altas todavía contribuyen a la eliminación de cargas térmicas de edificios interiores [19].

El efecto de la reducción térmica se incrementa con el índice de área foliar y la altura de la planta [23].

Para un buen efecto de aislación térmico durante el periodo de invierno y verano con intensa radiación solar, se recomienda elegir una vegetación densa [24]. En una capa vegetal expuesta al Sol e intercambiando energía y sustancias con el medio que lo rodea ocurren procesos que se relacionan fundamentalmente con la absorptancia, reflectancia, y transmitancia de la hojas. Estos parámetros asumen distintos valores en función de su color, su pilosidad, su estructura biológica, etc. Cuanto más clara y brillante sea la superficie de la hoja, mayor será la reflexión de la radiación incidente [25].

4.1.4.2 Especificación del sustrato Regularmente tienen un espesor de 8 cm a 20 cm y está constituido por un material granular ligero diferente a la tierra negra [21]; equivalente a una carga de 100 kg/m^2 [25]. Su color oscuro tiene una tendencia a absorber más calor durante el día [26]; la humedad da un impacto al rendimiento térmico, cuando dicha capa es especialmente seca durante el periodo de sequía, su temperatura puede exceder la temperatura de la superficie de la cubierta original expuesta [19].

Sustratos de espesor poco profundo están sujetos a fluctuaciones de temperatura, las diferencias entre área de cobertura de la cubierta y profundidad es debida a la

capacidad de retención de agua, los sustratos con un mayor espesor tienen más humedad, que los menos profundos, durante la temporada de crecimiento los menos profundos experimentan temperaturas más altas del suelo, que a su vez influyen en el crecimiento de la vegetación, las diferencias de área de cobertura a diferentes profundidades es debida a la capacidad de retención de agua [27]. Un techo verde con 20 cm de sustrato de tierra y arcilla expandida, puede almacenar 90 mm de agua (90 litros por m²) [24].

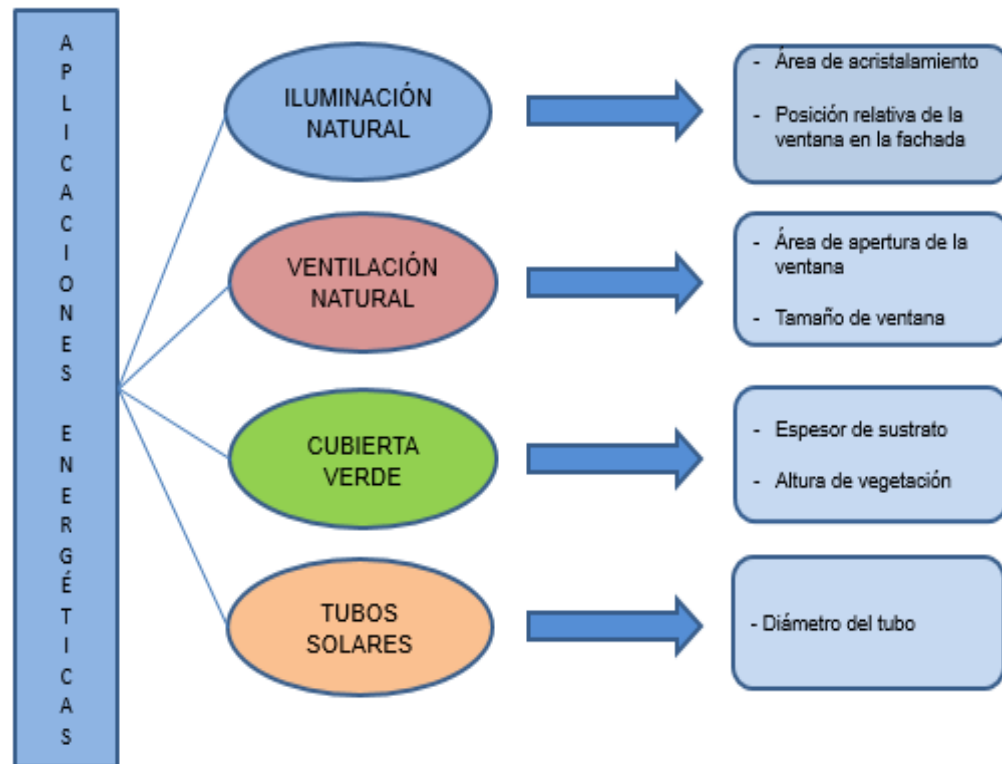
Las propiedades de esta capa deben ser evaluadas teniendo en cuenta su contenido orgánico, el ph y los niveles de nutrientes, peso, porosidad y capacidad de retención de agua [19].

Cuanto más poroso es; menor es su conductividad térmica, lo que genera menores temperaturas bajo esta capa [25]; su espesor aliado a su baja conductividad térmica determina valores de resistencia térmica aceptables. Diversos estudios de simulación de comportamiento térmico llegan a la conclusión de que por debajo de los 30 cm de sustrato, no se puede prescindir de la utilización de una capa de material aislante en sitios como Europa [25].

4.2 PARÁMETROS Y RANGOS DE VARIACIÓN SELECCIONADOS

A continuación se identifican diferentes parámetros de diseño para aplicaciones energéticas definidas para el Edificio de Ingeniería Eléctrica que podrían ser configurados a través *DesignBuilder*, y que fueron encontrados en la consulta de publicaciones científicas [20], [22], [7], [28], [15], [17]. Los parámetros más relevantes y seleccionados para las respectivas simulaciones se describen en la Figura 23.

Figura 23. Parámetros de aplicaciones energéticas para el quinto piso configurables en *DesignBuilder*



Fuente: Autores

4.2.1 Iluminación natural Para el caso de la iluminación natural a partir de ventanales se seleccionaron como parámetros el área de acristalamiento y la posición relativa de las ventanas en la fachada, teniendo en cuenta las investigaciones científicas contenidas en [5]. A continuación se realiza la descripción del rango de variación de cada uno de dicho parámetros.

4.2.1.1 Áreas de ventanales A partir de la variación del área de los ventanales se pretende analizar el efecto de dicho parámetro en el consumo de energía en iluminación del quinto piso. Se seleccionaron dos valores tipo de variación:

- Disminución del área de la ventana en un 25% con respecto al valor actual.

- Disminución del área de la ventana en un 50 % con respecto al valor actual.

Para el caso particular de este parámetro no se encontró un rango de variación específico para el área de los ventanales dentro de la información consultada. Teniendo en cuenta que el área de acristalamiento actual es muy significativa con respecto al área total de la fachada se propuso entonces realizar el análisis considerando como valores tipo un porcentaje de reducción del 25% y 50% con respecto del valor actual. Ambas reducciones de área de acristalamiento se realizaron reduciendo el ancho de la ventaneria con el propósito de no afectar la posición de la misma.

4.2.1.2 Posición relativa de la ventana en la fachada La posición relativa de los ventanales en la fachada fue un parámetro elegido teniendo en cuenta lo encontrado en artículos científicos como [1], [2], [3], [4]. También se consideró el grado de dificultad para la variación de dicho parámetro en *DesignBuilder* en las superficies de los muros, a través de herramientas especialmente contenidas por el software para este fin.

A continuación se proponen los siguientes valores tipo de variación:

- Ventanas actuales ubicadas en el cuerpo central de la fachada.
- Ventanas actuales ubicadas en el zócalo de la fachada.

En cuanto a la posición relativa de los ventanales se tiene la misma restricción de tipo estructural que la encontrada en los ventanales de la fachada sur, al ocupar la ventana el espacio de columna a columna. Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores se procedió a variar de las ventanas de manera vertical, considerándose este como el rango de variación disponible para este análisis.

4.2.2 Tubos solares Con respecto a los tubos solares se seleccionó solo el diámetro como parámetro de variación de acuerdo con lo encontrado en [7]. Esto se debe a que en la aproximación realizada en *DesignBuilder* no es posible variar otro tipo de parámetros como los enunciados anteriormente en la sección 5.1.2 de este capítulo, debido a que el software no permite modelar ventanas en forma cóncava, para el caso del modelamiento de los colectores; también imposibilita el modelado de los conductos que direccionan los rayos de luz, ya que no es posible empotrarlos a través de la placa con extensiones de longitud por encima y por debajo de ella tal como se presenta en un tubo solar tradicional.

A continuación se describe el rango de variación del parámetro seleccionado.

4.2.2.1 Diámetro de los tubos solares El rango de variación que se propone es la configuración del modelo real con la inclusión de la aproximación de tubos solares para diámetros a 25 cm y luego a 35 cm ya que son los valores estandarizados por los fabricantes para el uso en espacios de oficina [28].

4.2.3 Ventilación natural. Los parámetros que se seleccionaron se justifican a partir de hallazgos en publicaciones científicas teniendo en cuenta la limitación impuesta por *DesignBuilder* para el análisis de parámetros distintos a los seleccionados.

Los parámetros seleccionados y su respectivo rango de variación se muestran a continuación:

4.2.3.1 Área de apertura de la ventana. Este parámetro fue seleccionado teniendo en cuenta que para su modelamiento sólo se requiere variar el funcionamiento de la ventana a partir de la pestaña de aberturas de los datos del modelo. Dicha selección se apoya en la información encontrada en [15], [17].

Los valores tipo seleccionados son los siguientes:

- Área de apertura al 50%.
- Área de apertura al 25%.

Dichos valores fueron establecidos considerando un rango de variación que depende de un área de apertura máxima total permitida en las especificaciones de los ventanales del quinto piso. Luego fue necesario disponer de dos valores dentro del intervalo de apertura de 0-50% para evidenciar el cambio en el consumo de energía en climatización por la ventilación natural con respecto al modelo real con la adición de cargas de refrigeración a todos los espacios de uso ofimático.

4.2.3.2 Tamaño de las ventanas y área de apertura. Con el propósito de verificar el efecto que sobre el consumo energético tiene la combinación de dos parámetros influyentes en la ventilación natural, y aprovechando el fácil modelamiento de dicha configuración en *DesignBuilder*, se selecciona como parámetros a variar el área de acristalamiento de la ventana y el área de apertura de la misma.

Se proponen dos valores tipo de variación mostrados a continuación:

- Disminución del área de la ventana en un 25% con área de apertura al 50%.
- Disminución del área de la ventana en un 50% con área de apertura al 25%.

Los valores tipo anteriormente mencionados fueron seleccionados de un rango de variación determinado empíricamente a partir de la consideración de la reducción del área disponible de acristalamiento como para apertura en el quinto piso de la edificación.

4.2.4 Techo verde En relación con el techo verde se seleccionaron el espesor del sustrato y la altura de las plantas considerando los hallazgos científicos de la sección 5.1.4.

Los parámetros de techo verde escogidos anteriormente son modificables en *DesignBuilder* de manera rápida a través de la configuración de la capa más externa que compone el techo verde. Otros parámetros como la capa de drenaje, la porosidad y humedad del sustrato no son configurables en el software para la cubierta verde, siendo un motivo más por el cual se eligieron los parámetros citados.

4.2.4.1 Espesor del sustrato Los valores tipo considerados para este parámetro son:

- Espesor de 6 cm para la capa de sustrato.
- Espesor de 18 cm para la capa de sustrato.

Los valores tipo anteriormente mencionados fueron seleccionados considerando la relación existente entre el efecto de aislamiento térmico de la cubierta verde y la reducción del consumo en climatización artificial evidenciada en [18], [19], [20], [23], [24], por lo cual dichos valores se asocian a los mayores espesores de sustrato encontrados en los artículos consultados.

4.2.4.2 Altura de la vegetación Los valores base seleccionados para este parámetro son los siguientes:

- Altura de la vegetación de 5 cm.
- Altura de la vegetación de 15 cm.

Como criterio de selección de los anteriores rangos de variación, se consideró el efecto térmico de aislamiento sobre cubierta asociado a diferentes alturas de plantas de la misma especie (*sedum floriferium*) que posiblemente pueden ser empleadas en la capa de vegetación; teniendo en cuenta lo encontrado en [20], [22].

5. SIMULACIONES EN DESIGNBUILDER

En este capítulo se describe el plan de simulaciones y resultados obtenidos en cuanto a la influencia de la variación de parámetros de aplicaciones energéticas en el consumo energético de las instalaciones del piso 5 del Edificio de Ingeniería Eléctrica. Los resultados anteriormente mencionados fueron determinados mediante simulaciones energéticas en DesignBuilder.

Como análisis complementario se realizaron simulaciones de luz diurna mediante el componente denominado “daylighting”, incluido en las versiones más recientes de DesignBuilder con el propósito de considerar el comportamiento de la luz natural al interior de los espacios del quinto piso a partir de mapas de distribución de iluminancias.

5.1. PLAN DE SIMULACIONES

Con el propósito de establecer el tipo y posterior número de simulaciones a realizar y considerando los objetivos planteados para éste trabajo de grado, se procedió a clasificar las simulaciones mediante grupos temáticos definidos a partir de la consideración del tipo de modelo virtual requerido para la cuantificación en los casos donde sea posible del ahorro energético asociado a la variación de los valores tipo de cada uno de los parámetros seleccionados, para poder determinar así la mejor configuración de cada parámetro.

A partir del modelo real se realizaron las simulaciones que permitieron estimar el ahorro energético asociado a los parámetros de iluminación natural por ventanales y tubos solares; así como los parámetros relacionados con la ventilación natural.

Los modelos configurados para las simulaciones de parámetros de iluminación natural, cuentan con las actuales especificaciones de cubierta verde y climatización artificial mientras que las simulaciones de parámetros de ventilación natural prescinden de ésta última.

Para evaluar el ahorro energético asociado a los parámetros de cubierta verde tales como espesor del sustrato y altura de las plantas, se considera el modelo base configurado con cubierta verde, fijado de ésta manera para evidenciar la variación que sobre el consumo energético genera el efecto de aislamiento térmico proporcionado por dicha aplicación energética sostenible.

Además se realizaron simulaciones que permitieron la evaluación del nivel de iluminancia logrado a partir de las aplicaciones en iluminación natural.

Teniendo en cuenta lo anterior, las simulaciones en *DesignBuilder* se realizaron de acuerdo a la clasificación mostrada en la Tabla 29

Tabla 29 Clasificación de las simulaciones realizadas en *DesignBuilder*

Simulación	Resultados
Simulaciones del modelo base	Consumo energético total anual para cada una de las orientaciones definidas por el apéndice G de la ASHRAE 90.1
Simulación del modelo real	Consumo energético total anual, temperaturas de confort, ganancias térmicas de cubiertas y ventanas exteriores.
Simulaciones del modelo real más variación de parámetros en iluminación natural a través de ventanales y tubos solares, así como variaciones en los	Consumo energético total anual.

Simulación	Resultados
parámetros de ventilación natural.	
Simulaciones del modelo base más variación de parámetros de cubierta verde.	Consumo energético total anual .
Simulaciones daylighting	Niveles de iluminación.

Fuente: Autores

5.1.1. Lista de simulaciones. El total se realizaron 22 simulaciones energéticas y 3 simulaciones de análisis de luz día, dichas simulaciones son listadas en la Tabla 6.2 y 6.3 respectivamente.

Según el apéndice G de la ASHRAE 90.1, la cuantificación del consumo de energía eléctrica total del modelo base o “Baseline” se obtiene como el promedio de cuatro simulaciones distintas bajo cuatro distintas orientaciones de la edificación partiendo de la orientación real, que para el caso del Edificio de Ingeniería Eléctrica es de 2° respecto al norte, dicha posición debe ser rotada con incrementos de 90° hasta llegar a la posición inicial.

Tabla 30. Lista de simulaciones energéticas realizadas.

Modelo simulado	Nombre de la simulación	Resultados
Modelo base	Modelo base con orientación 2°	Consumo energético anual Temperaturas de confort día crítico Ganancias de cubierta y ventanales exteriores día crítico
	Modelo base con orientación 92 °	Consumo energético anual y desglose de consumos
	Modelo base con orientación 182 °	

Modelo simulado	Nombre de la simulación	Resultados
	Modelo base con orientación 272°	
Modelo real	Modelo real	Consumo energético anual Temperaturas de confort día crítico Ganancias de cubierta y ventanales exteriores día crítico
	Modelo real con disminución 25% área de acristalamiento	Consumo energético anual y desglose de consumos
	Modelo real con disminución de un 50% de área de acristalamiento	
	Modelo real con posición de ventanales en el cuerpo central de la fachada.	
	Modelo real con posición de ventanales en el zócalo de la fachada	
	Modelo real con tubos solares de diámetro 25 cm	
	Modelo real con tubos solares de diámetro 35 cm	
	Modelo real con ventanales totalmente cerrados	Temperaturas de confort térmico y ganancias térmicas asociadas a ventilación natural y aire exterior.
	Modelo real con ventanales apertura al 25%	
	Modelo real con ventanales apertura al 50%	
	Modelo real con disminución de un 25% del área de acristalamiento y área de apertura de ventanales al 50%	

Modelo simulado	Nombre de la simulación	Resultados
	Modelo real con disminución de un 50% del área de acristalamiento y área de apertura de ventanales al 25%	
Modelo base	Modelo Base + Sustrato a 18 cm	Consumo energético anual y desglose de consumos
	Modelo Base + Sustrato 6 cm	
	Modelo Base + Techo verde sin plantas	
	Modelo Base + Altura de plantas de 5 cm	
	Modelo Base + Altura de plantas de 15 cm	

Fuente: Autores

Tabla 31. Lista de simulaciones daylighting realizadas.

Modelo simulado	Nombre de la simulación	Resultados analizados
Modelo real	Daylighting del modelo real	Distribución de iluminancias
	Daylighting del modelo real con tubos solares con diámetro de 25 cm	
	Daylighting del modelo real con tubos solares con diámetro de 35 cm	

Fuente: Autores

5.1.2 Selección del día crítico. Con el propósito de evaluar el desempeño energético de las instalaciones del quinto piso bajo las condiciones más desfavorables, se realizó la selección del día crítico a partir del archivo de datos climáticos de Bucaramanga; considerando las temperaturas mensuales promedio exteriores de bulbo seco; fue así que se determinó que el mes de agosto

presentaba la temperatura promedio más alta del año, a partir de un análisis de los distintos máximos de dicho mes y considerando resultados asociados a los datos climáticos de sitio, tales como temperaturas de confort, ganancias térmicas y curvas de desglose en energía proporcionados por *DesignBuilder* y presentados en el Anexo L, lo cual fue posible determinar cómo día crítico el 14 de agosto.

5.2 PARÁMETROS CONFIGURADOS

Las simulaciones anteriormente mencionadas requirieron de la modificación de parámetros geométricos y opciones propias de *DesignBuilder*. A continuación se especifican los parámetros configurados para cada simulación realizada.

Antes de iniciar una simulación en *DesignBuilder* se deben establecer las opciones de la misma. En las opciones del modelo, en la pestaña simulación, se pueden realizar ajustes que se deben hacer antes de proceder a simular.

La Tabla 32 contiene las opciones a configurarse para las simulaciones del proyecto.

Tabla 32. Lista de simulaciones daylighting realizadas.

Periodo anual de simulación	1 enero – 31 de diciembre
Número de etapas de cálculo por hora	Se seleccionó 4 etapas por hora, valor recomendado en el tutorial para no extender los tiempos de simulación invertidos por <i>DesignBuilder</i> .
Control interno de temperatura	Se configuró la temperatura del aire ya que esta opción no obliga a los sistemas de climatización a garantizar dicha temperatura tal como sucede si se selecciona el control por temperatura operativa.

<p>Configuración de cálculos solares</p>	<p>Se incluyó el sombreado generado por edificaciones exteriores, como es el caso del provocado por la edificación de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. La distribución solar se definió completa exterior y el intervalo de sombreado de 20 días.</p>
<p>Resultados de las simulaciones</p>	<p>Cuantificación del consumo energético anual y el desglose de los mismos, así como la obtención de las temperaturas de confort y las ganancias térmicas en cubiertas y ventanales exteriores.</p>
<p>Configuración de opciones de avanzado</p>	<p>Se estableció el algoritmo de convención superficial en la opción de simplificado con el propósito de acelerar el proceso de cálculo.</p>

Fuente: Autores

La determinación de mejores opciones para las simulaciones deberá realizarse en proyectos de grado posteriores que tengan como objetivo la calibración de los modelos generados a partir de éste trabajo de grado.

5.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se presentan los resultados de cada una de las simulaciones realizadas con *DesignBuilder*, también se realiza el respectivo análisis y comparación de las mismas, con el propósito de cuantificar los efectos que las aplicaciones energéticas y la variación de parámetros técnicos seleccionados asociados a las mismas tienen sobre el consumo energético del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

5.3.1 Simulación del modelo base. De acuerdo con lo indicado en el apéndice G del Estándar ASHRAE 90.1, el consumo energético del modelo base debe calcularse promediando el consumo energético obtenido para cada una de las orientaciones simuladas (2°, 92°, 182° y 272°). La Tabla 33 presenta el consumo energético promedio para el modelo base.

Tabla 33. Consumo energético por orientación y promedio para el modelo base para el piso 5.

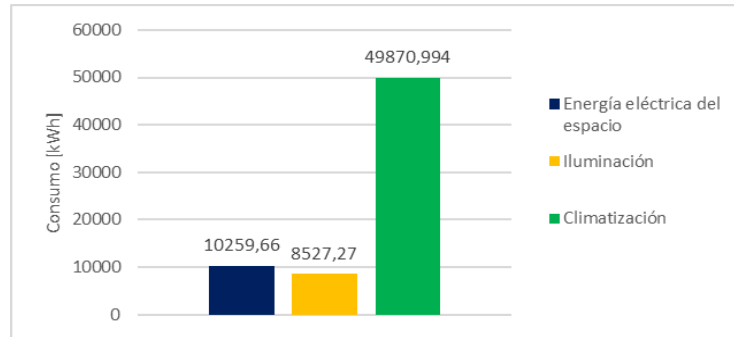
Consumos	Orientación				Promedio
	2°	92°	182 °	272 °	
Energía eléctrica del espacio [kW/h]	10 259,66	10 259,66	10 259,66	10 259,66	10 259,66
Iluminación [kW/h]	8 527,27	8 527,27	8 527,27	8 527,27	8 527,27
Ventiladores [kW/h]	15 644,41	19 961,15	17 259,31	19 912,79	18 194,41
Bombas [kW/h]	6 966,40	8 933,03	7 865,776	8 883,73	8 162,23
Enfriadoras [kW/h]	23 356,60	24 600,14	21 636,02	24 464,62	23 514,34
TOTALES [kW/h]	64 754,34	72 281,25	65 548,03	72 048,07	68 657,92

Fuente: Autores

Los requerimientos de climatización para el modelo base según el apéndice G de la ASHRAE 90.1 generan consumos en ventiladores, bombas y enfriadoras que se emplean para dimensionar el consumo total del sistema HVAC recomendado por el estándar.

La Figura 24 muestra la distribución del consumo energético promedio para el modelo base, se observa que los mayores consumos se presentan en las unidades de climatización del sistema de refrigeración con un 72,64 % del consumo total de energía eléctrica.

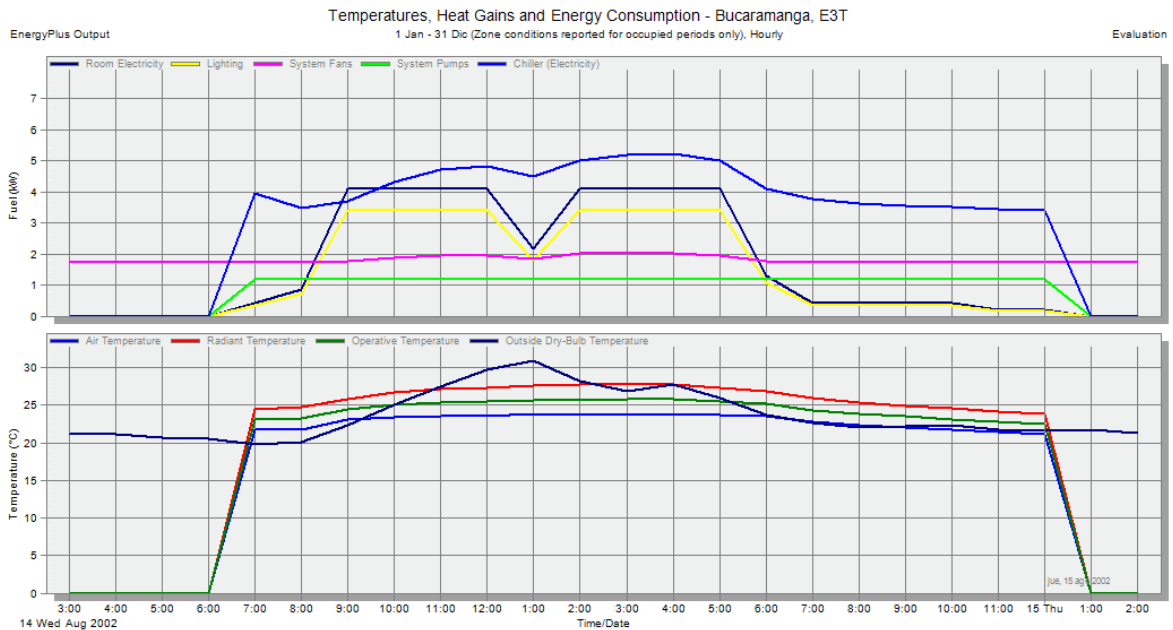
Figura 24. Distribución del consumo anual promedio del modelo base del piso 5.



Fuente: Autores

La Figura 25 muestra el comportamiento de las curvas de consumo energético, y temperaturas de confort para el modelo base en la orientación actual de 2° para el día crítico.

Figura 25. Resultados de consumos energéticos, confort y ganancias térmicas para el día crítico asociados al modelo base



Fuente: software

En la Figura anterior se observa un aumento en los consumos de climatización en horas de la tarde, alcanzando un valor cercano a 8,6 kWh a partir de las 2:00 pm, debido a la gran carga térmica aportada a la edificación alrededor de la 1:00 pm donde se presenta una temperatura exterior superior a los 31° C; sin embargo la temperatura del aire interior promedio del quinto piso es mantenida en un valor cercano a los 23°C, temperatura fijada para el funcionamiento del aire acondicionado.

También debe considerarse una reducción aproximada de 4,3 kWh presentada alrededor de la 1:00 pm en el consumo energético; dicha reducción puede ser causada por la disminución de la ocupación en el periodo comprendido 12:00 pm y 2:00 pm.

Para verificar el cumplimiento de los niveles de confort en las zonas con mayor ocupación del modelo base para el día crítico en la Tabla 6.6 se muestra el valor promedio diario de las temperaturas de confort y ganancias térmicas asociadas a cubiertas y ventanales exteriores. Al observar los valores de temperatura operativa se puede concluir que a excepción del cuarto de CCTV y sala de reuniones las demás zonas se encuentran por encima del valor de 23,86 °C, límite inferior del rango de confort establecido.

Al observar los valores de la temperatura del aire se observa que en las zonas de menor área se presenta menores valores de temperatura, debido a la reducción de la ocupación y las ganancias térmicas asociada a equipos.

Al analizar los valores de ganancias térmicas asociados a la cubierta y ventanales, se encuentra que dichos valores son proporcionales al área de la zona y la cantidad de acristalamiento de la misma respectivamente.

Tabla 34. Resultados de temperaturas de confort y ganancias térmicas para el día crítico asociados a las zonas de mayor operación del modelo base.

Zonas	Temperatura operativa °C	Temperatura aire °C	Temperatura radiante °C	Ganancias cubiertas kWh	Ganancias solares kWh	Refrigeración kWh
Dirección E3T	23,93	21,67	26,19	0,039	15,63	-21,035
CCTV	23,69	21,86	25,53	0,15	4,24	-9,50
Sala reuniones	23,70	21,91	25,49	0,82	8,86	-17,87
Oficinas modulares	24,63	23,14	26,13	5,62	53,89	-104,15
Coordinación pregrado	24,77	23,05	26,48	0,29	10,26	-16,57

Fuente: Autores

Otro valor mostrado en la tabla corresponde a las ganancias térmicas por refrigeración, que presenta valores negativos debido a que dichos valores representan cantidades de calor cedido en cada uno de los espacios analizados.

Dentro de los resultados obtenidos en el análisis del día crítico se destaca un comportamiento térmico conforme con los niveles del confort en la hora de mayores ganancias térmicas (cerca de las dos de la tarde), tal como se muestra en la Tabla 35; hecho que se asocia al funcionamiento continuo del sistema de climatización, de acuerdo con lo recomendado en el apéndice G del estándar ASHRAE 90,1.

Tabla 35. Temperaturas de confort para las dos de la tarde del día más desfavorable.

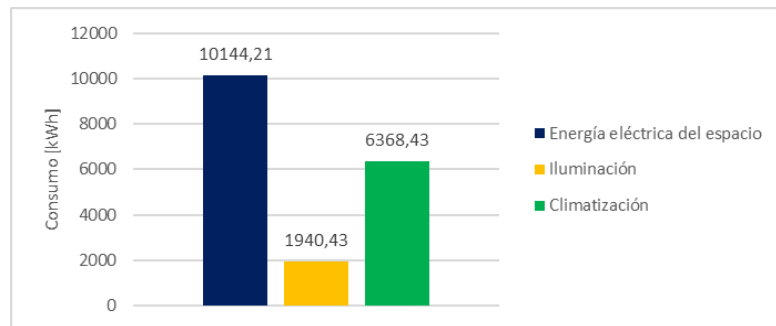
Zonas	Temperatura operativa °C	Temperatura aire °C	Temperatura radiante °C
Dirección E3T	25,01	22,03	28
CCTV	24,24	22,02	26,46
Sala reuniones	24,68	22,06	27,30

Oficinas modulares	25,87	24	27,74
Coordinación pregrado	25,83	23,78	27,67

Dentro de los valores expuestos en la tabla anterior, puede observarse cómo la temperatura del aire es mantenida en espacios con menores cantidades de área de acristalamiento, mientras que en otras zonas como oficinas modulares se presenta un aumento de dicho valor a causa del aumento del área, hecho que se relaciona con el incremento de los valores de temperatura radiante.

5.3.2 Simulación del modelo real. Al realizar la simulación del modelo real se obtuvieron los valores de consumo energético que se muestran en la Figura 26, el mayor gasto energético se asocia a los equipos ofimáticos y misceláneos, que consumen aproximadamente un 55 % del total de energía, seguido por las unidades de climatización con 34,5 % y el sistema de iluminación general con aproximadamente el 10,5 % del consumo anual total.

Figura 26. Distribución del consumo energético anual del modelo real piso 5.

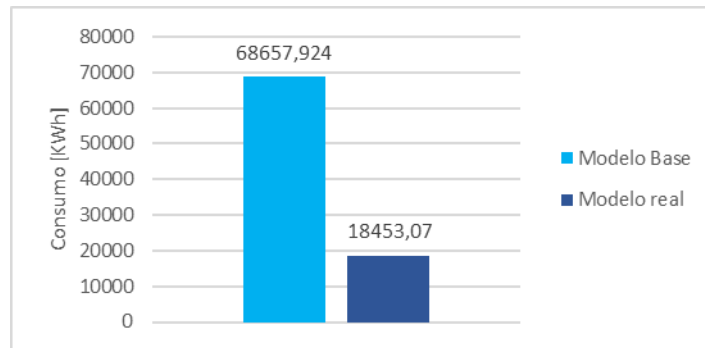


Fuente: Autores

La Figura 27 muestra la comparación entre los anteriores resultados y los obtenidos del modelo base, es así que se puede determinar una disminución de aproximadamente 73% en el consumo energético del modelo real con respecto al

modelo base, lo que refleja el ahorro energético asociado a las aplicaciones sostenibles implementadas en el quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

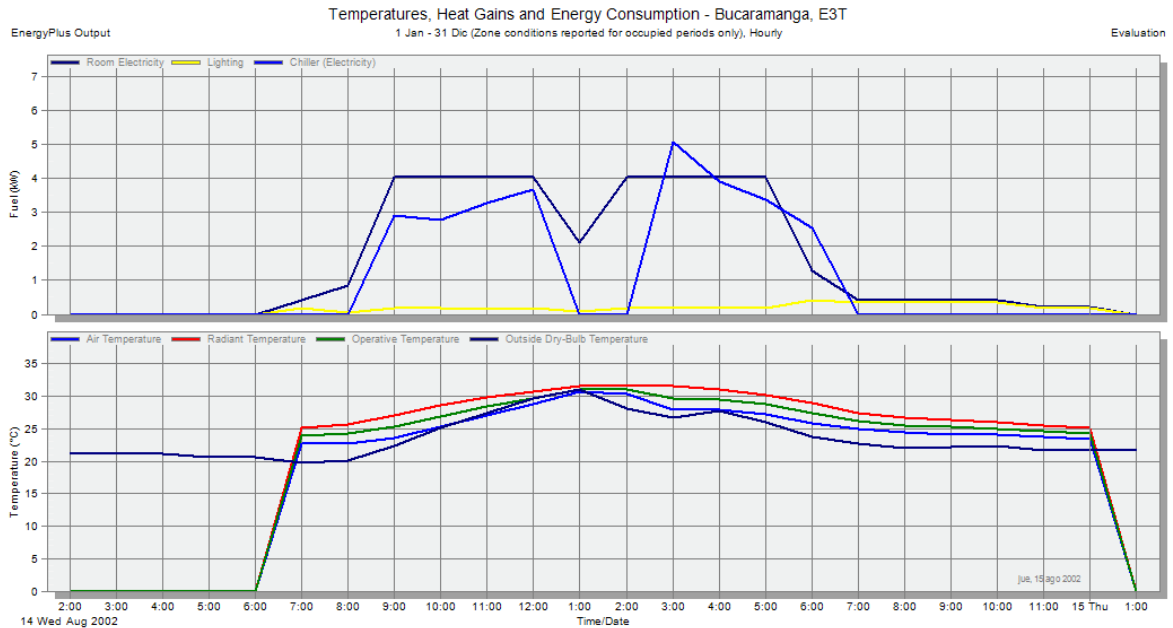
Figura 27. Comparación del consumo energético anual entre el modelo base y el modelo real.



Fuente: Autores

La Figura 28 muestra los resultados de consumo energético y confort térmico en el edificio para el día crítico. Al comparar estos resultados con los obtenidos en la Figura 6.4 del modelo base, se observa que para el caso real se presentan menores consumos en climatización debido a que solo existen tres zonas refrigeradas en dicho modelo; también es posible percibir una reducción considerable en el consumo de iluminación, hecho que se debe a la contribución en la iluminación general de los tubos solares y ventanales exteriores que es percibida por los sensores que controlan el uso de la iluminación artificial.

Figura 28. Resultados de consumos energéticos, confort y ganancias térmicas para el día crítico asociados al modelo real.



En relación con el comportamiento del consumo de refrigeración se observa un valor máximo de 5 kWh cercano a las 3:00 pm, hecho debido al aumento de la carga térmica a causa del apagado de la refrigeración en el intervalo del medio día.

Con respecto a la temperatura del aire, se puede observar un aumento cercano de 7 °C alrededor de la 1:00 pm en el valor de la misma con respecto al modelo base, hecho que ocurre en menor proporción con las demás temperaturas de confort.

De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 36 donde se presenta el valor promedio para el día crítico de las temperaturas de confort y ganancias térmicas en cubierta y ventanales exteriores, los niveles de confort son mantenidos en las zonas de mayor ocupación teniendo en cuenta los rangos establecidos en el Anexo K.

Se puede observar un aumento en las pérdidas térmicas asociadas a la cubierta verde, hecho que genera un efecto positivo en la reducción del calor interno de la edificación.

Tabla 36. Temperaturas de confort y ganancias térmicas para las zonas de mayor operación del modelo real en el día más desfavorable.

Zona	Temperatura operativa °C	Temperatura del aire °C	Temperatura Radiante °C	Ganancias		
				Ganancias Cubiertas kWh	Ganancias ventanas exteriores kWh	Refrigeración total kWh
CCTV	26,43	25,10	27,77	-27,01	621,22	-991,55
Dirección E3T	26,16	24,82	27,50	-31,11	542	-616,12
Sala de reuniones	26,17	24,55	27,80	-31,31	735,80	-755,46
Oficinas modulares	27,22	25,98	28,46	-37,66	464,43	0

Fuente: Autores

En relación con las temperaturas de confort se encontró que las mayores temperaturas del aire promedio se presenta para la zona de oficinas modulares, debido al aumento de la temperatura radiante por la gran superficie expuesta a la radiación solar directa y difusa, así como el aporte de otras ganancias asociadas al número de equipos y ocupación.

De acuerdo con los valores promedios de temperatura operativa para el día crítico presentados en la tabla anterior, se puede establecer la existencia de un ambiente

confortable térmicamente, a pesar de lo anterior, se realizó el análisis para las 2:00 pm, encontrando los valores de temperaturas de la Tabla 37, en dicha tabla se observa que la sala de reuniones presenta la mayor temperatura del aire, debido al no funcionamiento del aire acondicionado durante los periodos de baja ocupación del medio día, así como la alta radiación solar incidente sobre los ventanales que fueron configurados para funcionar totalmente cerrados en el caso de los espacios climatizados

Tabla 37. Temperaturas de confort para el día crítico a las 2:00 pm.

Zona	Temperatura operativa °C	Temperatura del aire °C	Temperatura Radiante °C
CCTV	30,20	31,01	29,39
Dirección E3T	30,65	30,97	30,34
Sala de reuniones	33,89	33,94	33,65
Oficinas modulares	31,39	30,43	32,35

Fuente: Autores

Al analizar la temperatura en otros espacios del quinto piso se encontró que a las 2:00 pm ninguno de los espacios considerados presenta condiciones de confort térmico.

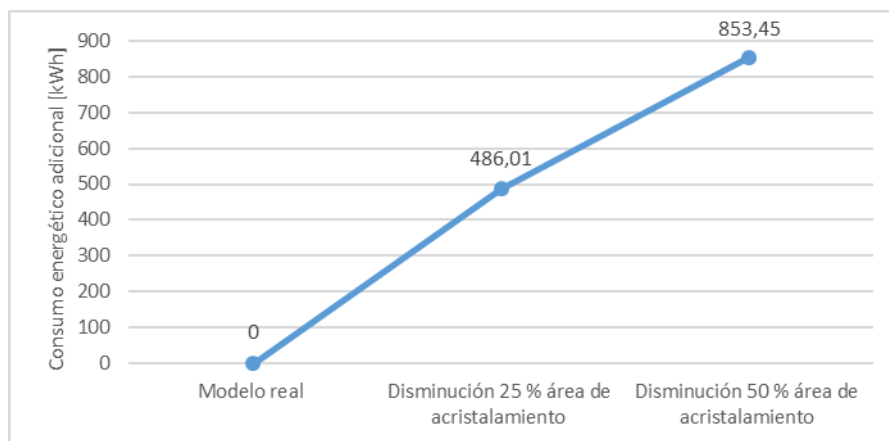
5.3.3 Variación de parámetros. A continuación se presentan resultados y análisis de variación de los parámetros de las aplicaciones energéticas sostenibles tomando como referencia el consumo energético del modelo real y el modelo

base, para la cuantificación en los casos que sea posible del ahorro energético asociado a la variación de los parámetros seleccionados.

5.3.3.1 Variación área de acristalamiento. A partir de la variación del área de acristalamiento en el modelo real de acuerdo con los valores tipo seleccionados, se encontró que la actual configuración de ventanales ofrece el mayor ahorro energético.

En la Figura 29 se muestra la relación entre las configuraciones realizadas y el incremento en el consumo energético del modelo real, en donde se evidencia un aumento de 853,45 kWh en el consumo bajo la configuración de ventanales con 50 % menos de área de acristalamiento, aumento debido fundamentalmente a la disminución de la cantidad de luz natural que ingresa al interior de la edificación generando así una variación positiva presentada en el consumo de iluminación.

Figura 29. Relación aumento del consumo energético anual vs variación del área de acristalamiento

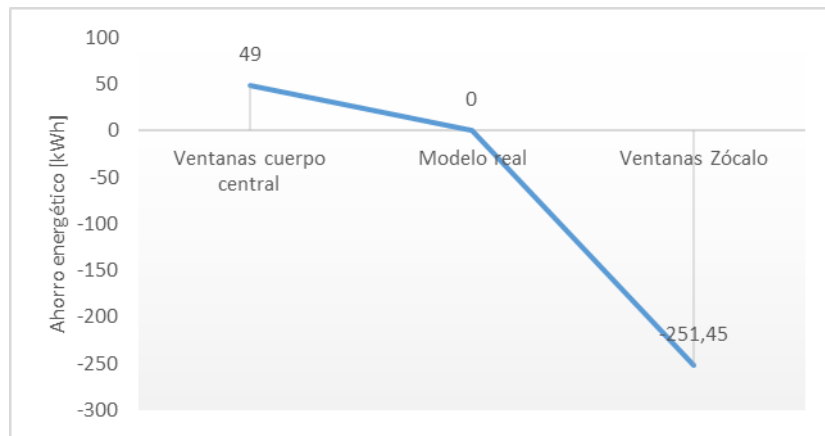


Fuente: Autores

5.3.3.1 Variación posición de las ventanas Al realizar simulaciones donde se varió la posición de las ventanas en el modelo real, se encontró que el mayor ahorro energético se genera bajo la configuración de ventanas en el cuerpo central

de la fachada tal como se muestra en la Figura 30, debido a una mejor distribución de la luz natural al interior de los espacios, sin embargo dicho ahorro no representa un valor relevante con respecto a la configuración de posición de ventanales definida para el modelo real.

Figura 30. Relación ahorro energético anual vs variación posición de las ventanas en la fachada.

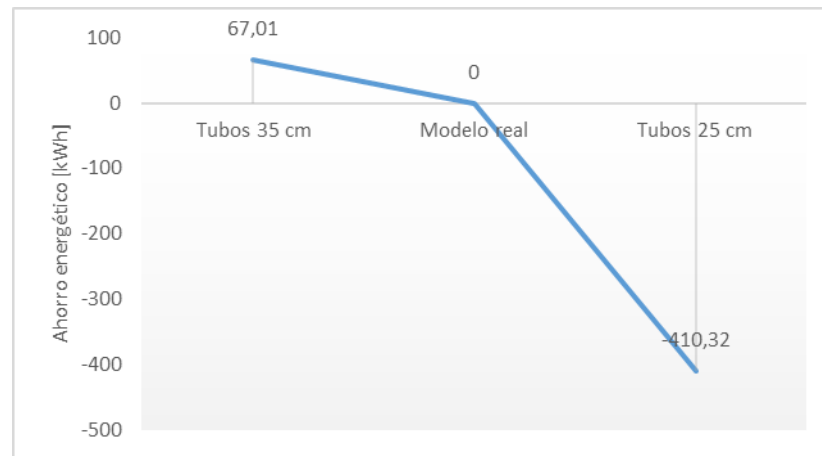


Fuente: Autores

En relación con los ventanales en el zócalo de la fachada se encontró que ésta configuración genera un aumento de aproximadamente 251 kWh sobre el consumo energético anual, hecho debido fundamentalmente al aumento en el consumo de iluminación por la deficiencia de luz natural incidente en los foto sensores que controlan la iluminación general..

5.3.3.2 Variación de diámetros tubos solares La Figura 31 muestra la relación entre el ahorro energético anual y la variación del diámetro de los tubos solares encontrada a partir de las simulaciones realizadas sobre el modelo real, como se puede apreciar la configuración de tubos solares de 35 cm de diámetro genera el mayor ahorro energético dentro de las configuraciones analizadas, sin embargo el ahorro ofrecido bajo esta configuración no representa un valor significativo comparado con el consumo energético del modelo real.

Figura 31. Relación ahorro energético anual vs variación del diámetro de los tubos solares



Fuente: Autores

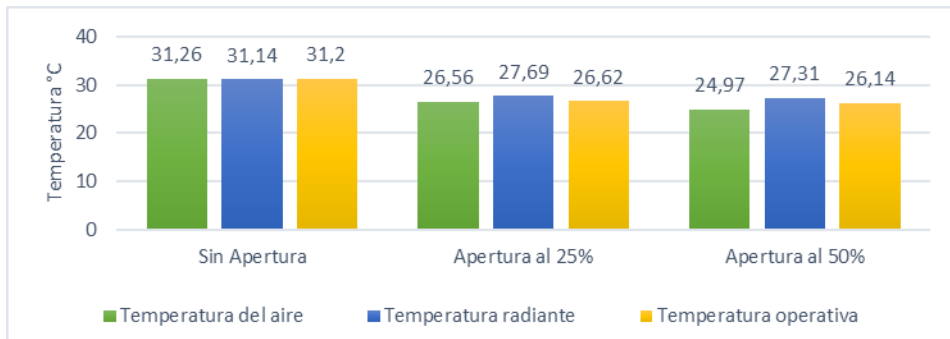
La configuración de tubos solares de 25 cm de diámetro genera un aumento en el consumo de aproximadamente 410 kWh debido a un aumento aproximado del 21 % en el consumo de iluminación de acuerdo con el desglose de consumos energéticos presentado en el anexo M.

5.3.3.3 Variación área de apertura de los ventanales. Para la variación de los parámetros asociados a la ventilación natural se procedió a realizar simulaciones sobre el modelo real configurado para que ninguno de sus espacios contara con climatización artificial. Es así que para el caso de apertura en ventanales, se simuló el modelo real en tres situaciones distintas de apertura de ventanales: ventanales totalmente cerrados, apertura del 25% y apertura del 50%. Para analizar el efecto sobre el ahorro energético se determinaron las temperaturas de confort y las pérdidas de calor debidas a la ventilación natural interna y al aire externo.

La Figura 32 presenta las temperaturas de confort promedio anuales presentes en el quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica en las tres configuraciones

analizadas, como puede observarse bajo la configuración de ventanales totalmente cerrados se presentan condiciones de total desconfort térmico, ya que la temperatura operativa supera el límite superior del confort fijado en el Anexo K.

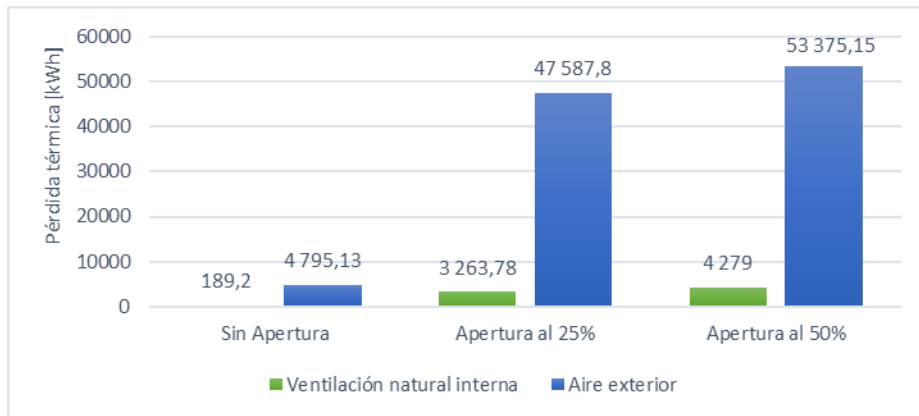
Figura 32. Temperaturas de confort para variación del área de apertura



Fuente: Autores

Al analizar las otras dos configuraciones de apertura de ventanales se encontró que la configuración que permite obtener las mejores condiciones de confort es la que mantiene el área de apertura al 50%, ofreciendo una reducción de 6,29 °C en la temperatura interna del aire. Con respecto al valor de la misma temperatura en la configuración donde se tienen los ventanales totalmente cerrados, los ventanales con apertura al 25% generan temperaturas 1,6 °C superiores a la configuración de área y apertura al 50%. En la Figura 6.10 se presentan las pérdidas térmicas asociadas a cada configuración de área de apertura, la simulación con ventanales abiertos al 50% disipa aproximadamente 91% más calor debido los efectos del aire exterior con respecto a la simulación de ventanales completamente cerrados.

Figura 33. Pérdidas de calor para cada configuración de área de apertura.

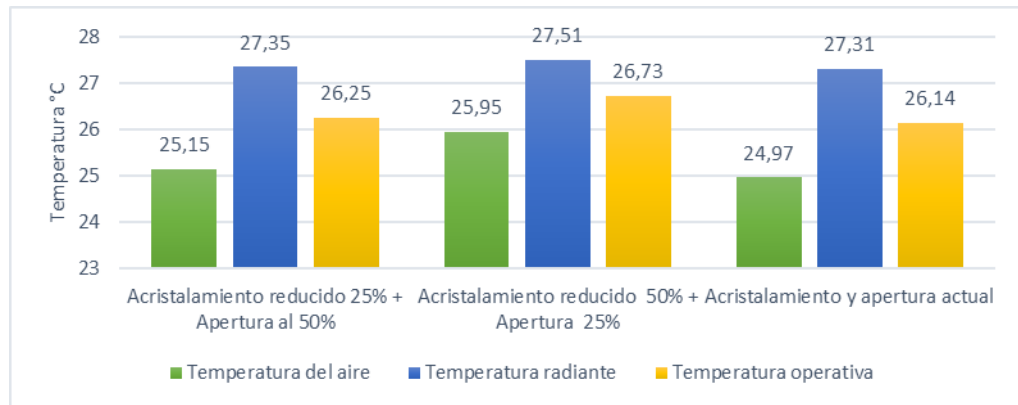


Fuente: Autores

Otro valor importante a considerar para determinar la mejor configuración que favorece la ventilación natural en el edificio y por lo tanto el ahorro energético en el consumo destinado a climatización, son las pérdidas térmicas asociadas a la ventilación natural que presentan un comportamiento ascendente a medida que se aumenta el área de apertura, por lo tanto, es posible determinar que la configuración que genera el mayor ahorro energético corresponde a los ventanales con área de apertura al 50%.

5.3.3.4 Variación área de apertura y área de acristalamiento. Para evidenciar los efectos que sobre el ahorro energético tiene la variación del área de acristalamiento y el área de apertura se realizaron simulaciones sobre el modelo real con alteraciones sobre sus aberturas, y sin ninguna clase de climatización artificial; se encontró que la configuración actual donde se mantiene el área total de acristalamiento y se abren las ventanas al 50 % de su área, genera los valores más bajos de temperaturas de confort tal como se muestra en el Figura 6.11, sin embargo las demás configuraciones analizadas generan temperaturas que se encuentran dentro de los rangos de confort establecidos en el anexo K.

Figura 34. Pérdidas de calor para cada configuración de área de acristalamiento y apertura.

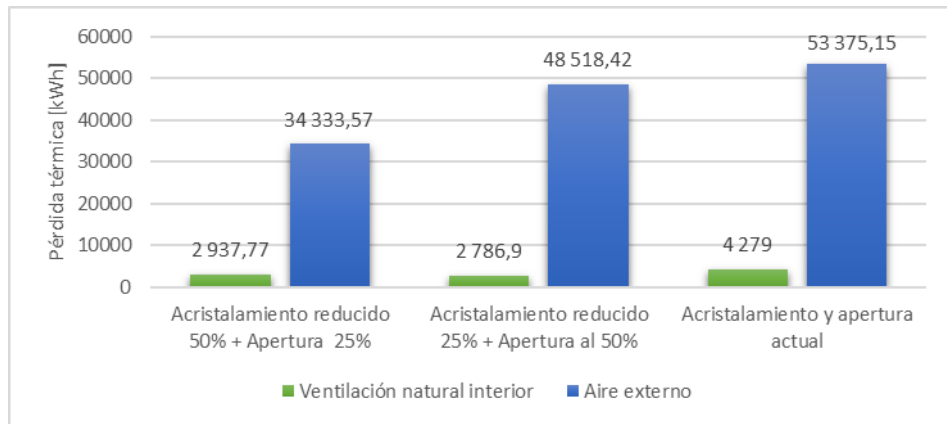


Fuente: Autores

Un análisis más a fondo de las pérdidas térmicas debidas a ventilación natural interior y al aire exterior, muestra que a pesar de que las mayores pérdidas de calor se generan bajo la configuración actual, en la configuración en la que se reduce un 25% el área de acristalamiento y se abren dichas ventanas al 50% se genera un aporte considerable con respecto a la capacidad de disipación de calor del aire exterior, tal como se muestra en la Figura 35.

Como dato curioso se encontró que bajo la configuración de acristalamiento reducido al 50 % y apertura al 25% se generan mayores pérdidas de calor por ventilación natural al interior de los espacios, hecho que puede deberse al aumento de las presiones del viento que se produce al reducir el área de apertura, reduciendo así el efecto de estancamiento del aire.

Figura 35. Pérdidas de calor para cada configuración de área acristalamiento y apertura.

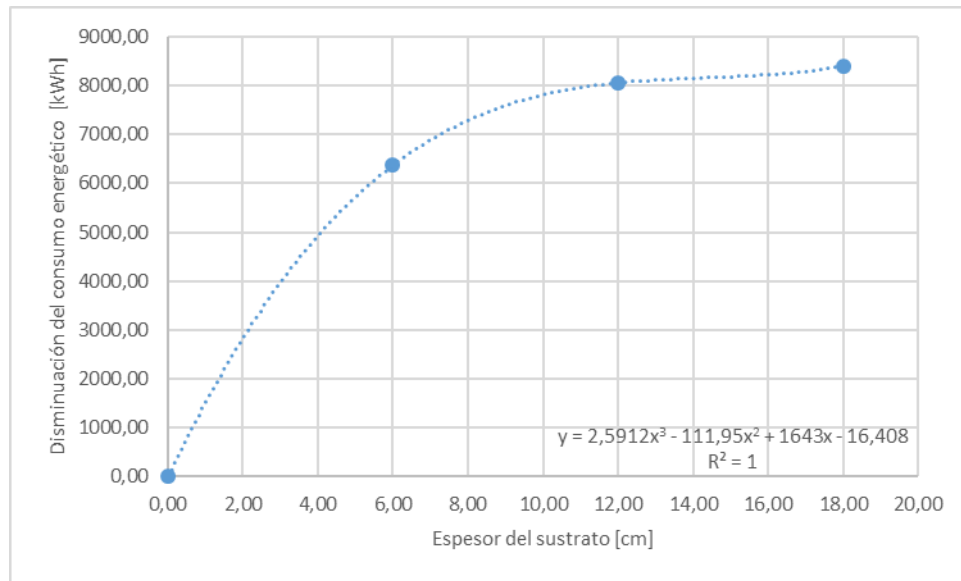


Fuente: Autores

5.3.3.5 Variación espesor del sustrato. Para determinar el potencial de ahorro asociado a cada una de las configuraciones de espesor de sustrato del techo verde, se requirió realizar simulaciones tomando como referente el modelo base y su consumo energético anual, para así cuantificar la reducción de éste debido a el decremento del consumo en climatización, causado por la implementación de la cubierta verde y los distintos espesores de sustratos analizados.

La Figura 36 presenta la relación entre el ahorro energético anual y los distintos espesores de sustrato considerados, como se puede observar el mayor ahorro energético de aproximadamente 8 396 kWh sobre el consumo energético anual se genera bajo la configuración de un espesor de sustrato de 18 cm, configuración que ofrece una reducción adicional de aproximadamente 340 kWh con respecto al espesor de sustrato implementado.

Figura 36. Relación ahorro energético anual vs variación del espesor del sustrato.



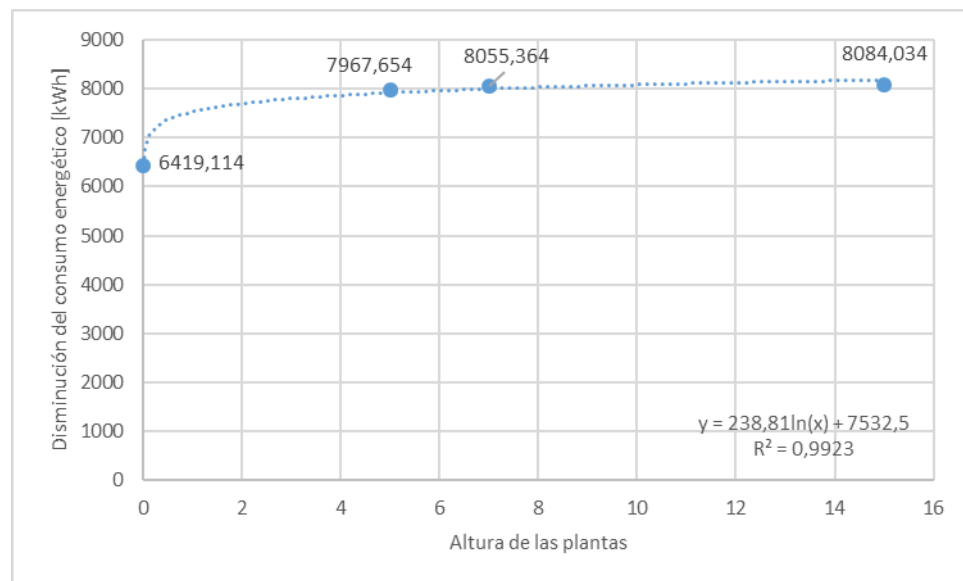
Fuente: Autores

Para el caso de un espesor de sustrato de 6 cm se encontró un ahorro energético aproximado de 6 371 kWh, lo que supone un aumento en el consumo energético anual de 1 684,66 kWh con respecto al espesor de sustrato de 12 cm, hecho debido a la disminución del efecto de aislamiento térmico que puede asociarse con el espesor de la capa de sustrato.

5.3.3.6 Variación altura de las plantas. Para la estimación del ahorro energético asociado a la variación de la altura de las plantas se realizaron simulaciones sobre el modelo base, con el propósito de determinar el ahorro anual a partir de la reducción que se presenta sobre el consumo de climatización, tal como se hizo para la variación del sustrato. En la Figura 37, se presenta la relación entre ahorro energético anual y las distintas configuraciones de altura de plantas. Fue así que se encontró que el mayor ahorro energético se presenta para la configuración de altura de 15 cm, aunque esta configuración solo representa un ahorro adicional de 28,67 kWh con respecto a la de altura de plantas de 7 cm.

Para estimar el ahorro energético asociado solamente a la altura de las plantas se realizó una simulación adicional donde se configuró el modelo base con cubierta verde sin plantas; al comparar la configuración de mayor ahorro con dicho resultado se determinó que el techo verde con plantas de 15 cm genera un ahorro energético de 1 664,92 kWh con respecto al techo verde sin plantas. En relación a una altura de plantas de 5 cm se encontró una disminución en el ahorro energético de 116 kWh con respecto a la configuración de 15 cm.

Figura 37. Relación ahorro energético anual vs variación altura de las plantas.



Fuente: Autores

La Tabla 38 resume las configuraciones que generan el mayor ahorro energético para cada uno de los parámetros variados de las aplicaciones energéticas del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

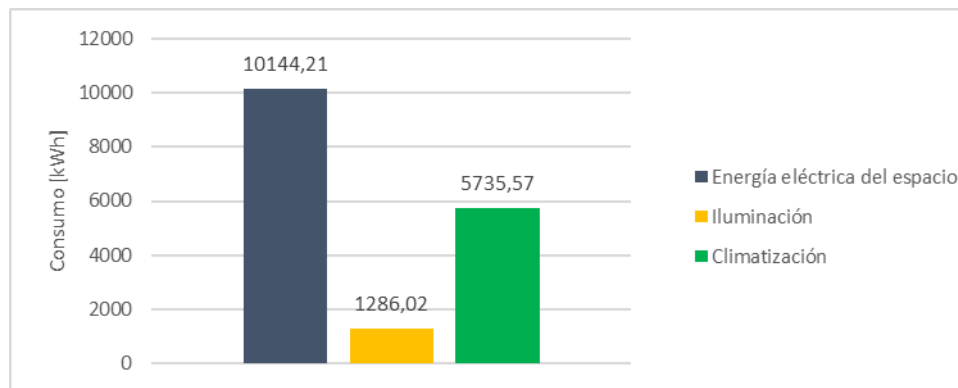
Tabla 38. Configuraciones que generan el mayor ahorro energético de cada uno de los parámetros variados de las aplicaciones energéticas.

Parámetro variado	Configuración de mayor ahorro	Modelo Configurado
Área de acristalamiento	Configuración actual	Modelo real
Posición ventanales	Ventanas cuerpo central	Modelo real
Tubos solares	Tubos solares de 35 cm de diámetro	Modelo real
Apertura de ventanales	Apertura al 50%	Modelo real
Área de apertura y área de acristalamiento	Disminución 25 % área de acristalamiento con Apertura al 50%	Modelo real
Espesor sustrato	Sustrato 18 cm	Modelo base
Altura vegetación	Altura 15 cm	Modelo base

Fuente: Autores

5.3.3.7 Simulación del modelo configurado con las especificaciones de mayor ahorro. Teniendo en cuenta los resultados de la tabla 6.10 donde se indican las configuraciones que ofrecen el mayor ahorro energético asociado a cada uno de los parámetros de aplicaciones energéticas sostenibles consideradas, se realizó la simulación del modelo real alterado con dichas configuraciones obteniendo un consumo energético anual de 17 165,8 kWh, distribuído de acuerdo como se muestra en la Figura 38. Al realizar la comparación de éste consumo con respecto al modelo real se obtiene un ahorro energético de 1 287,27 kWh anuales.

Figura 38. Distribución de consumo energético anual del modelo real alterado con las especificaciones de mayor ahorro energético.

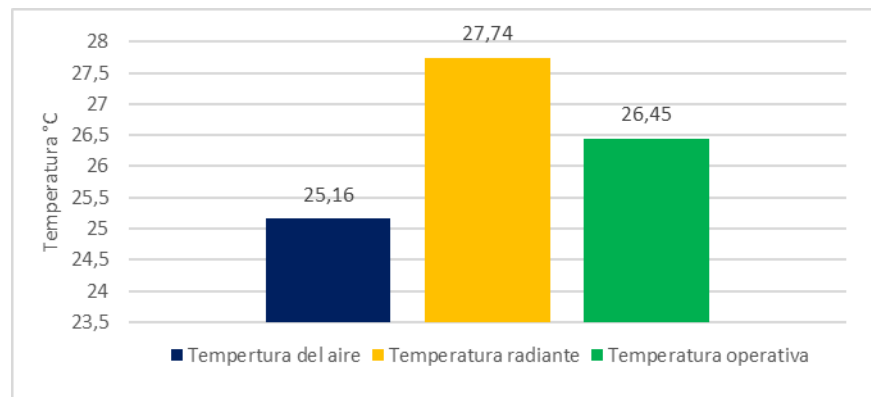


Fuente: Autores

Al analizar la distribución de consumos energéticos asociados al modelo real alterado con las especificaciones de mayor ahorro energético se observa una disminución en los consumos de iluminación y climatización de aproximadamente 34% y 10% respectivamente, ahorros que pueden asociarse a la configuración de tubos solares de 35 cm y ventanales en el cuerpo central, así como a un aumento en el sustrato y en la altura de las plantas de la cubierta verde.

La Figura 39 presenta los valores promedio de temperaturas de confort presentes al interior de las instalaciones del quinto piso para el modelo real alterado con las especificaciones de mayor ahorro energético, a partir de dichos valores es posible inferir condiciones de confort térmico durante la mayor parte del año.

Figura 39. Temperaturas promedio anuales de confort para el modelo real alterado con las especificaciones de mayor ahorro energético.



Fuente: Autores

5.4 SIMULACIONES DAYLIGHTING

Con el propósito de analizar el comportamiento de la luz natural asociado a las configuraciones donde se tiene el modelo real con las especificaciones definidas de tubos solares y ventanales exteriores, así como las dos configuraciones en las que se procedió a variar todos los diámetros de los tubos solares a valores de 25 cm y 35 cm, se realizaron simulaciones en daylighting para el día en el cual el Sol realiza un recorrido por encima de la cubierta del quinto piso de acuerdo con la carta solar del sitio, día correspondiente al 20 de octubre, teniendo en cuenta la hora de mayor radiación (12 meridiano) y un escenario de cielo intermedio.

Al realizar dichas simulaciones cuyos mapas de iluminancia son presentados en el Anexo N se obtuvieron los resultados de la Tabla 39

Tabla 39. Iluminancias promedio obtenidas mediante las simulaciones daylighting realizadas.

Espacio	Modelo simulado	Iluminancia promedio obtenida [lux]	Iluminancia mínima recomendada para oficinas [Lux]	Conformidad de resultados
Oficinas tipo modulares	Modelo real	431	300	Cumple
	Modelo real con tubos de 25 cm de diámetro	400		Cumple
	Modelo real con tubos 35 cm de diámetro	550		Cumple

Fuente: Autores

6. CONCLUSIONES

En esta sección del documento se presentan las conclusiones asociadas al proyecto de investigación realizado. Dichas conclusiones son estructuradas teniendo en cuenta el proceso de obtención de los modelos computacionales, las simulaciones realizadas y los resultados asociados a las mismas.

Generación de los modelos computacionales

A partir de la generación de los modelos base y real del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica, fue posible concluir lo siguiente.

El modelado geométrico mediante bloques de *DesignBuilder* representa una herramienta bastante simplificada para la generación de modelos virtuales de edificaciones; a pesar de que la utilización de dicha herramienta puede llevar a omitir detalles arquitectónicos importantes de una edificación, permite la generación de modelos que se aproximan en gran manera a la realidad.

La versión del software DesignBuilder (V.2.4) proporcionado por la Universidad debe ser actualizado a V.3 para facilitar el modelado geométrico, ya que esta contiene nuevos componentes como la herramienta booleana para la intersección de bloques y el módulo de análisis de luz diurna conocido como Daylighting lo que permite el análisis más profundo de estrategias de iluminación natural.

En relación con el llenado de los datos del modelo se encontró especial dificultad en la determinación en el software del tipo de unidades de climatización, por lo cual se recomienda realizar en primer lugar un análisis detallado que permita

determinar las principales características de los equipos de refrigeración para su posterior clasificación dentro de las opciones contenidas en el software.

A partir de la definición de los datos del modelo, *DesignBuilder* permite realizar el modelado relativamente sencillo de algunas aplicaciones energéticas entre las que se listan cubierta verde, iluminación natural por ventanales y ventilación natural; sin embargo se encontró dificultad en el modelamiento de los tubos solares, debido a la ausencia de herramientas que permitan el modelamiento directo de los mismos. Fue así que se estableció un modelo aproximado a partir del uso de herramientas simples como bloques tipo edificio, y aberturas como ventanales y huecos, teniendo en cuenta la forma de incidencia de los rayos solares reflejados al interior, así como la distribución de iluminancias dentro de los espacios.

De la elaboración del modelo base se obtuvieron parámetros que permiten la caracterización de un edificio tipo convencional de acuerdo con lo establecido en el apéndice G del Estándar ASHRAE 90.1, permitiendo así que dicho modelo pueda ser utilizado como referencia para la evaluación de alternativas que propendan el mejoramiento de la eficiencia energética y la reducción en el consumo de energía.

Parámetros de aplicaciones energéticas

Se encontró que para ventilación natural influyen parámetros propios de la edificación como orientación, forma y dimensiones de la misma. Asimismo, se determinaron influyentes parámetros asociados a los ventanales como el área de acristalamiento y la posición relativa de los mismos. También son importantes las propiedades de reflexión de las superficies internas de los espacios.

En relación con la ventilación natural fue posible identificar la influencia de parámetros internos como tamaño, forma, orientación y características propias de

ventanales y puertas. Igualmente parámetros externos como la forma urbana, factores climáticos como velocidad, presión y dirección del viento, temperaturas externas e internas y humedad relativa.

Para el caso de la cubierta vegetal se identificaron influyentes parámetros como la humedad y espesor del sustrato, la altura y área foliar de las plantas.

En relación al tubo solar se encontró una relación entre el consumo energético y el diámetro del mismo, el largo del tubo y las propiedades internas de reflexión del material.

En cuanto a los rangos de variación y valores tipo seleccionados para cada uno de los parámetros analizados, es importante aclarar que a pesar de encontrar mucha información relacionada con dichos parámetros, no fue posible hallar en la mayoría de los casos una referencia específica de los autores de los artículos científicos consultados a los rangos de variación y valores tipo asociados a cada parámetro seleccionado, por lo tanto fue necesario realizar la estimación de algunos de ellos a partir de la consideración de las limitaciones de tipo estructural que presenta la edificación.

Simulaciones

Con respecto a las simulaciones realizadas, se encontró que para efectos de reducir los tiempos de las mismas, se debe realizar una simplificación de los modelos, a través de la eliminación de componentes de la edificación que presenten aportes térmicos despreciables tales como columnas y escaleras.

Otra forma de reducir el tiempo invertido en simulaciones consiste en omitir las zonas desocupadas o menos relevantes para que no sean incluidas en los cálculos efectuados por *DesignBuilder*, hecho que no afecta directamente los

resultados emitidos por el software. También se recomienda usar la configuración en la que es posible agrupar los espacios conectados mediante huecos en una sola zona, lo que permite una reducción en la cantidad de zonas a simular.

Para cálculos estándar de comportamiento energético como los realizados en este trabajo de grado se recomienda dejar los valores preestablecidos por el programa asociados a los algoritmos de cálculo, ya que generalmente dichas opciones preestablecidas requieren de menores capacidades de cómputo y por lo tanto de menores tiempos de simulación.

Al final se determinó que parte del tiempo de simulación se relaciona directamente con la capacidad del equipo de cómputo en el que se corre *DesignBuilder*, para el caso de las simulaciones realizadas se determinó una duración promedio de alrededor de una hora para el modelo base y el modelo real respectivamente.

En cuanto a las simulaciones de daylighting empleadas para la evaluación de los niveles de iluminancia logrados al interior de los espacios asociados a la iluminación natural, así como para la determinación de la aproximación a tubos solares, fue necesario la utilización de una versión de prueba más reciente que la proporcionada por la Universidad, debido a que esta no cuenta con el módulo que permite realizar estas simulaciones.

Se encontró que *DesignBuilder* permite realizar de manera sencilla una variación en los valores tipo de los parámetros seleccionados de las aplicaciones energéticas a través de la modificación del modelo geométrico para el caso de las aplicaciones asociadas a iluminación natural, o la configuración de datos del modelo para el caso de las aplicaciones relacionadas con la climatización natural.

Resultados de las simulaciones

Después de efectuar el análisis respectivo de cada una de las simulaciones realizadas, se considera importante concluir lo siguiente:

Al analizar los consumos energéticos asociados al modelo base y al modelo real se pudo establecer una reducción aproximada del 73 % del consumo del modelo real con respecto al modelo base, ahorro energético causado por la implementación de las aplicaciones que permiten prescindir de la iluminación general durante la mayor parte del día y de la climatización artificial en la mayoría de los espacios.

Al realizar un análisis de las temperaturas de confort se encontró que el modelo base mantenía los valores de temperatura del aire con valores cercanos a la temperatura de funcionamiento definida, lo que genera condiciones de confort térmico durante todo el año; a diferencia de lo anterior y a pesar de que en el modelo real se presentan temperaturas de promedios anuales dentro del rango de confort, al realizar un análisis del día crítico se evidenció la presencia de temperaturas superiores a 30 grados Celsius lo que genera situaciones de completo desconfort en toda la edificación, sobre todo a la hora de llegada de los empleados administrativos en la jornada laboral de la tarde.

De acuerdo con las simulaciones donde se realizó la variación de valores tipo de parámetros asociados a la iluminación natural, fue posible encontrar que el mayor ahorro energético en iluminación se consigue con la configuración actual del área de acristalamiento de las aberturas que si se configuraran ventanales con 25% y 50% menos área de acristalamiento.

Al analizar la variación de la posición relativa de los ventanales en fachada y la variación del diámetro de tubos solares, se determinó que los mayores ahorros

son ofrecidos por ventanales ubicados en el cuerpo central de la misma y tubos solares de 35 cm de diámetro, sin embargo al detallar los valores con los cuales estas configuraciones logran los mayores ahorros, se observa que son poco representativos con respecto a la configuración real, por lo que para efectos prácticos los valores de estos parámetros en el modelo real ofrecen la mejor alternativa para conseguir ahorros energéticos.

En cuanto a la ventilación natural se realizaron análisis a partir de la configuración del modelo base con los parámetros del área de apertura y el área de acristalamiento en combinación con el área de apertura en donde se presentaron temperatura de confort y los valores de pérdidas de calor asociados a la ventilación natural interior y el aire exterior, con el propósito de estimar que configuración genera el mayor ahorro energético.

Fue así que se determinó que la configuración real de apertura al 50% genera el ambiente térmicamente más aceptable entre los valores analizados de apertura de ventanales; para el caso de la variación del área de acristalamiento y el área de apertura se encontró que la mejor configuración en cuanto a confort térmico y disipación de calor corresponde a las ventanas con mayor tamaño y mayor apertura.

Como resultado de la variación de los valores tipos asociados a los parámetros del techo verde se encontró que con la configuración actual de 12 cm de sustrato se genera un ahorro cercano al 16,15% en el consumo de climatización con respecto al modelo base, también se encontró que a pesar de que un aumento en el espesor del sustrato a 18 cm generaba un ahorro adicional, y por lo tanto el mayor ahorro energético, dicha configuración resultaría poco viable de implementar debido que el ahorro energético adicional que ofrece no justificaría los posibles costos de instalación de la misma.

En relación con la altura de las plantas se encontró que las plantas con altura de 5 cm ofrecen un ahorro aproximado a los 1550 kWh anuales con respecto a un techo verde sin plantas; sin embargo el mayor ahorro energético se encontró para la configuración de 15 cm de altura de plantas.

Al considerar los resultados de las simulaciones de Daylighting se encontró que bajo las condiciones de cielo y hora de simulación todas las configuraciones simuladas cumple con los niveles mínimos de iluminación recomendados por el RETILAP.

BIBLIOGRAFÍA

ASMAT and M. HANIM ABDUL, "Using green roof concept as a passive desing technology to minimise the impact of global warming. 2nd international conference on Built Environment in Developing countries," no. 2, pp. 1–11, 2008.

"Carta Bioclimática de Olgay. Consultado: Enero 15 de 2013 en:<http://www.miliarium.com/Prontuario/ArquitecturaSostenible/Clima/Olgay.asp>." Madrid, España, 2001.

C. BRITTO CORREA, Análisis de la viabilidad y comportamientoEnergético de la cubierta ecológica. tesis Doctoral. España: , 2001, pp. 1–891.

C. F. Gao and W. L. Lee, "Evaluating the influence of openings configuration on natural ventilation performance of residential units in Hong Kong," Building and Environment, vol. 46, no. 4, pp. 1–9, Apr. 2011.

C. Fang, "Evaluating the thermal reduction effect of plant layers on rooftops," Energy and Buildings, no. 6, pp. 1–5, Jan. 2008.

C. Qin and L. Zhao, "Study on the Energy Efficient Potential of Natural Ventilation for Residential Building in Guangzhou Email : lhzhao@scut.edu.cn," no. 200833, pp. 1–5, 2010.

C. Yifei, W. Ku, and D. Wenguang, "Natural Ventilation Control System by Fuzzy Control Technology," Second International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems, pp. 1–38, Nov. 2009.

E. PALOMO, Analysis of the green roofs cooling potential in buildings, vol. 27, no. 2. Francia: , 1998, pp. 179–193.

G. A. OSMA PINTO and G. ORDOÑEZ PLATA, “Desarrollo Sostenible en edificaciones,” no. 1, pp. 1–9, 2010.

G. A. OSMA PINTO, Uso racional de la energía a partir del diseño de aplicaciones sostenibles en el edificio eléctrica II de la universidad industrial de santander. Proyecto de maestría. Bucaramanga: , 2011, pp. 1–253.

G. Minke, Techos verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos., Fin de sig. Alemania: , 2009, p. 86.

H. DIAS BORDALO JUNIOR, Estratégias de ventilación natural en edificios para la mejora de eficiencia energética. Tesis maestría. Barcelona: , 2010, p. 125.

H. WONG NIUK and Y. TAN PUAY, “Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate,” vol. 42, no. 1, pp. 1–30, Jan. 2007.

IDAE, Guía Técnica. Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios. España: , 2005, p. 177.

IDAE, Guía técnica. Instalaciones de climatización con equipos autónomos. España: , 2010, p. 108.

J. Zhang, “Subjective evaluation of the optimal size and proportion of windows of office buildings,” Multimedia Technology (ICMT), 2011 International ..., pp. 1–3, 2011.

K. Getter and D. Rowe, "Substrate depth influences Sedum plant community on a green roof," HortScience, vol. 44, no. 2, pp. 1–7, 2009.

K. L. Getter and D. B. Rowe, "Media depth influences Sedum green roof establishment," no. April, pp. 1–12, 2008.

L. Wang, W. Lin, and W. Lee, "Energy saving of green buildings using natural daylight," Power Systems Conference, pp. 1–7, 2009.

M. A. GARCIA COLLANTE and J. C. VEGA PATERNINA, Green Roofs :, no. 1. Medellin, Colombia: , 2012, p. 14.

M. a. Hassan, N. M. Guirguis, M. R. Shaalan, and K. M. El-Shazly, "Investigation of effects of window combinations on ventilation characteristics for thermal comfort in buildings," Desalination, vol. 209, no. 1–3, pp. 1–10, Apr. 2007.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. RETILAP. Bogotá-Colombia: , p. 45.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Reglamento Técnico de iluminación y Alumbrado Público Retilap. Agosto 2009. Bogotá: , 2009, p. 249.

Manual de. Versión Preliminar 01. Aurea Consulting. www.designbuilder.es. 2011, pp. 1–17.

M. V. FERNANDEZ XIFRA and J. MARTIN EVANS, Sistemas innovativos para el direccionamiento de luz natural películas holográficas y lumiductos, vol. 6. Argentina: , 2002, pp. 1–6.

Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos. Dirección de Arquitectura. Ministerio de obras públicas. santiago de chile: , 2012, p. 112.

M. M. MONROY, Manual de Iluminación ICARO, 1st ed. España: Islas canarias, 2006, p. 104.

M. López de Asiain, Estrategias Bioclimáticas en la Arquitectura., vol. voluken 4. España: , 2003, p. pag 345.

M. M. Monroy, Manual de aire ICARO. Departamento de construcción Arquitectónica. Universidad de la Gran Canaria. Islas canarias: , 2006, pp. 1–108.

M. M. MONROY, Manual de Calor ICARO. Departamento de Construcción Arquitectónica, Universidad de las Palmas de la Gran canaria. 2006, p. 238.

Modelos de Confort. Consultado: Marzo 10 de 2012, Disponible en la web <URL:<http://www.sol-arq.com/index.php/modelos-confort/modelos-simples>>

M. V. FERNANDEZ XIFRA and J. M. EVANS, Sistemas innovativos para el Direccionamiento de luz natural películas holográficas y lumiductor. Universidad Buenos Aires. Facultad de arquitectura, vol. 6. Buenos Aires: , 2002, pp. 1–6.

O. A. PULIDO SUAREZ and M. Y. MENESES SILVA, Evaluación de las estrategias de confort visual y térmico establecidas para el edificio de Ingeniería Eléctrica según linamientos del sistema de certificación leed a partir de la herramienta DesignBuilder. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santand. Bucaramanga: 2012, p. 304.

P. Andrea, Luz Natural e Iluminación de Interiores, Capitulo 1. 2000, pp. 2–24.

P. A. PAREJA FERNANDEZ, Desarrollo de índices de desempeño del consumo energético y de agua sanitaria en edificios de oficinas de Santiago. Tesis. Santiago de Chile: 2007, p. 41.

Q. Li, Q. Meng, and L. Zhao, "Optimal design of natural ventilation in a high-rise residential building," 2010 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology, pp. 1–5, 2010.

"Solatube daylighting System and Tubular daylighting Devices for residential or commercial daylighting and sunlighting needs are the smart, green and environmentally friendly alternative to traditional skylights. <http://www.solatube.com/>. Consultado 17 Mar." 2010.

S. Zhu, "Architectural design on natural ventilation," Technology (ICMT), International Conference on, pp. 1–4, Jul. 2011.

W. Liping and W. Hien, "The impacts of ventilation strategies and facade on indoor thermal environment for naturally ventilated residential buildings in Singapore," Building and Environment, vol. 42, no. 12, pp. 1–10, Dec. 2007.

X. Li, S. You, and Y. Xia, "Effect of Window Characteristics on Indoor Air Quality in Residential Housing," 2009 3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, pp. 1–4, Jun. 2009.

X. Liu, "The study on optimization strategies of natural ventilation in an exhibition design," International Conference on Multimedia Technology, pp. 1–4, Jul. 2011.

ANEXOS

ANEXO A. CONCEPTOS DE APLICACIONES SOSTENIBLES

A continuación se presenta los principales conceptos y definiciones asociadas a cada una de las aplicaciones energéticas especificadas para el quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

ILUMINACIÓN NATURAL

A continuación se describen las principales características de la iluminación natural y los factores que se deben tener en cuenta en el momento de analizar ésta.

Fuentes de luz natural

La iluminación natural del interior de un local depende directamente de la cantidad y dirección de luz que llega al exterior de cada hueco de ventana. Frente a cada ventana puede haber sectores de cielo visible y superficies reflectantes, que a su vez pueden ser fuentes de luz natural con una dirección e intensidad distinta [1].

Al considerar una ventana que tiene una visión hemisférica del entorno, es posible identificar distintos tipos de fuentes de luz natural que pueden ser catalogados como componente solar directa (CSD), componente solar difusa (CSdf), componente reflejada del terreno (CRT) y de obstáculos (CRO). En la Tabla A.1, se realiza una descripción de cada una de las fuentes de luz natural que fueron enunciadas anteriormente [1]

Tabla A.1. Fuentes de luz natural


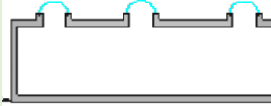
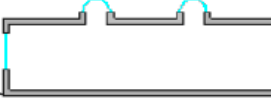
fuente de luz natural	Características
Componente de luz solar directa (CSD)	Es la fuente de luz natural más potente, presenta inconvenientes debido a sus fluctuaciones y riesgo de deslumbramiento. La ventana puede ser iluminada con un rayo solar directo, unidireccional y de gran intensidad, que presenta variaciones con la posición y la nubosidad [2].
Componente de luz solar difusa (CSdf)	Es la luz procedente de la bóveda celeste, excluida la luz solar directa; es producida por la dispersión luminosa de la atmósfera y la reflexión y difusión de las nubes. Presenta una menor intensidad pero es muy estable en el tiempo. Es la fuente de luz natural preferible [2].
Componente reflejada del terreno (CRT)	Es la luz procedente de las superficies del entorno por debajo del horizonte, ocupando la mitad del hemisferio visible de una ventana vertical, su intensidad depende del albedo y la radiación recibida de la componente celeste, puede estar sujeta a variaciones causadas por la nubosidad [2]
Luz reflejada de obstáculos (CRO)	Es la luz reflejada por los obstáculos del entorno visible de la ventana, que sobresalen en el horizonte, la intensidad de luz durante el día varía según los obstáculos y puede fluctuar a causa de la nubosidad, es considerado el segundo factor más importante para un diseño arquitectónico que busque la integración con la luz natural [2].

Sistemas de iluminación natural

Los sistemas de iluminación natural comprenden todo el conjunto de componentes que se utilizan para iluminar con luz natural un espacio. En la iluminación natural se utilizan básicamente tres sistemas: iluminación natural, iluminación cenital,

iluminación combinada [2]; en la Tabla A.2, se relacionan los sistemas de iluminación natural con sus características más representativas.

Tabla A.2. Sistemas de iluminación natural.

Iluminación lateral	<p>La luz ingresa por una abertura ubicada en un muro lateral, la iluminancia de mejor calidad se ubica en el plano de trabajo cercano a la abertura, aunque también se presentan aportes a la iluminación general del espacio.</p> <p>La cantidad y distribución de la luz que ingresa en el local depende de la orientación del muro donde se ubica la abertura [3]</p>	
Iluminación cenital	<p>Las aberturas son ubicadas en la parte superior del local, se utiliza generalmente cuando se proyecta con un escenario predominante cielo cubierto [3] .</p>	
Iluminación combinada	<p>En este tipo de iluminación existen aberturas en los muros laterales y en la cubierta superior del local [3].</p>	

Parámetros de la iluminación natural

El objetivo de implementar la iluminación natural es conseguir un adecuado nivel de iluminación sobre las superficies de trabajo de un local, evitando posibles

causas de incomodidad visual como el deslumbramiento o la falta de uniformidad luminosa [1].

Los factores que influyen en el nivel de iluminación de cada punto dependen de parámetros externos como el clima luminoso, de las propiedades constructivas de las ventanas y de las superficies del local; así como, la geometría de las ventanas y el local [1].

- *Clima luminoso*

El clima luminoso de un lugar se define como el conjunto de valores estadísticos de la luminosidad del cielo a diferentes horas del día, considerando el recorrido solar según la latitud y la estación de año, teniendo en cuenta también la influencia de la nubosidad [1]. Según las características locales de la bóveda celeste y las estrategias de diseño, se emplea la siguiente clasificación: cielo cubierto, cielo parcialmente despejado (uniforme) y cielo despejado.

El aprovechamiento de la luz natural en un diseño de iluminación, debe partir del conocimiento de la disponibilidad de luz exterior, tanto en sus niveles como en sus periodos de duración, de acuerdo con la clasificación del clima luminoso [4]. Es así que se desea que la iluminación natural al interior de un espacio provenga sólo de la componente difusa y de la componente reflejada; tal condición se denomina cielo cubierto [5].

- *Distribución de los huecos de luz*

Existen numerosas alternativas de distribución de ventanas o claraboyas para la iluminación natural de locales, en función de la posición, altura y número de huecos. Como se ilustran a continuación en la Tabla A.3.

Tabla A.3. Alternativas de distribución de los huecos de luz.

Forma de distribución	Características y ventajas
Ventanas en fachada	Es una solución convencional y produce una elevada iluminación bajo el hueco y una rápida disminución de luminosidad hacia el fondo del local. Se recomienda limitar el fondo útil entre 1,5 y 2 veces la altura del dintel [2].
Fachadas en esquina	Con la misma superficie de ventana distribuidas en dos paredes adyacentes con lo cual se mejora la uniformidad del nivel de iluminación y el modelado de los objetos, aumentando la calidad de la visión, sin necesidad de aumentar la superficie de ventana [2].
Fachadas opuestas	Es un caso similar al anterior, en este caso el fondo del local puede llegar a duplicarse al sumarse en planta la proyección de luz de las dos ventanas opuestas [2].
Ventanas altas	El aumento de la altura de la ventana permite que la luz penetre a mayor profundidad, aumentando la uniformidad y el nivel luminoso al fondo del local sin necesidad de aumentar la superficie del hueco [2].
Falsos techos	Pueden consumir una importante altura interior, especialmente si contienen instalaciones de climatización, que se puede compensar recortándolos cerca de las fachadas para subir la ventana hasta el forjado [2].
Claraboyas en cubierta	Se presentan como una solución muy interesante en plantas bajo cubierta, si se controla o se tolera

Forma de distribución	Características y ventajas
	la componente solar directa del sol, por las oscilaciones bruscas del nivel de iluminación y riesgo de sobrecalentamiento [2].
Atrios	A la escala del volumen de un edificio, los espacios abiertos de parcela pueden protegerse por cubiertas transparentes, o convertirse en espacios protegidos con un nivel de control ambiental intermedio, como es el caso de los atrios o patios de luz cubiertos con lucernarios [2].

- *Acristalamiento*

Es posible establecer una relación entre la suma de las áreas acristaladas de un local y el área del local, dicha relación se conoce como relación de acristalamiento, de acuerdo con [7]; puede establecerse la clasificación contenida en la Tabla A.4.

Tabla A.4. Clasificación de la relación de acristalamiento.

Muy bajo acristalamiento	Menor del 1 %
Acristalamiento bajo	1% - 4 %
Acristalamiento medio	4% – 19 %
Elevado acristalamiento	10% – 25 %
Muy alto acristalamiento	Mayor de 25 %

Un acristalamiento elevado o muy alto puede provocar problemas de control térmico y deslumbramiento. Un acristalamiento bajo o muy bajo puede producir niveles de iluminación excesivamente bajos, especialmente donde predominan los cielos cubiertos, la contaminación atmosférica o donde los edificios adyacentes reducen la disponibilidad de luz natural [6].

- *Forma de las aberturas*

La forma de un abertura influye principalmente sobre la distribución de la luz en el espacio iluminado, la calidad de visión y el potencial para la ventilación natural [6].

A través de aberturas horizontales la iluminación del interior es una banda paralela a la pared de la ventana, que produce poca diferencia en la distribución de la luz a lo largo del día, con poco deslumbramiento [6].

Con aberturas verticales la iluminación del interior es una banda perpendicular a la pared de la ventana, produciendo así una distribución luminosa muy variable a lo largo del día. Esta forma ofrece mejor iluminación en las zonas más alejadas de ella; sin embargo se presentan mayores problemas de deslumbramiento [6].

- *Posición de las aberturas*

Según la posición del dispositivo captador de luz, este puede ser de tipo luz techo (claraboya), unilateral (una fachada) o multilateral (dos o más fachadas). Lo cual indica que será parte de la envolvente de la edificación, por lo cual debe concebirse desde el diseño arquitectónico [5].

La parte superior de los edificios puede ser aprovechada a partir de atrios y/o patios interiores para la iluminación de espacios inferiores. Las estrategias unilaterales son limitadas para la distribución de luz, sobre todo en condiciones de

cielo nublado; por tal razón, es conveniente una iluminación desde varias direcciones.

Las estrategias más comunes para incrementar el nivel de iluminación en el espacio son el uso de ventanas en diferentes paredes y el uso combinado de ventanas y aberturas en la parte superior de la pared [5]; cuanto más alta está una ventana mayor es la profundidad de penetración de luz natural, lo que produce una mejor distribución en la sala iluminada. Una ventana en posición central produce una mejor distribución de luz en el interior, mientras que una ventana en esquina provoca menos deslumbramiento [6]. En la Figura A.1, se presentan las distintas posiciones empleadas para la ubicación de los huecos de luz, así como la distribución de iluminación natural obtenida correspondiente.

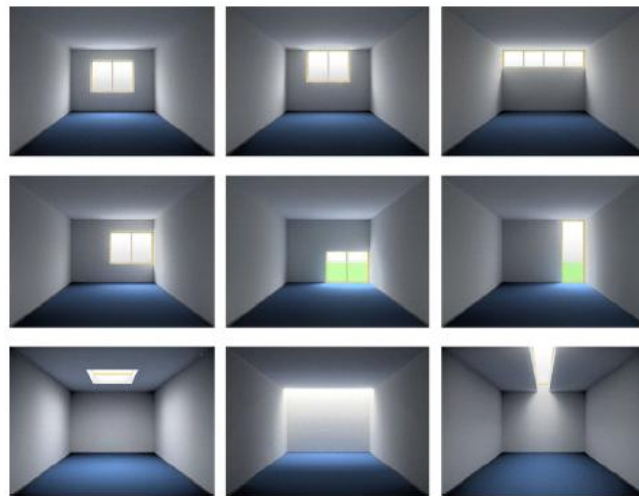


Figura A.1. Diferentes posiciones para dispositivos captadores de luz.

- *Orientación de la edificación*

La orientación de la edificación determina de manera significativa la ganancia de calor y el grado de oscurecimiento de los espacios interiores. Es definida generalmente por restricciones debido a la ubicación de edificaciones aledañas.

Para el caso tropical, se recomienda una composición arquitectónica en sentido este-oeste [5].

El diseño de una edificación debe procurar optimizar la orientación del edificio de tal forma que permita, dentro de las posibilidades del terreno, tener acceso de la luz natural a la mayoría de los locales [4].

- *Obstrucciones que limitan la luz natural*

Las condiciones de iluminación que existen en el interior de los locales, se ve modificada de acuerdo al entorno que rodea al edificio, las obstrucciones bloquean el paso de luz, vegetación, edificaciones contiguas, la topografía del terreno alrededor que puede modificar la cantidad de luz ciertas horas del día [7].

- *Superficies reflectantes y difusoras del local*

El flujo luminoso que penetra por las ventanas no se extingue al incidir sobre las superficies interiores, sino que una parte será reflejado y difundido al resto de las superficies del local, que también reflejaran parte de dicha luz creando una reverberación luminosa que constituye la denominada componente reflejada interior (CRI) [1].

Esta componente aporta a la uniformidad de la iluminación interior, factor importante cuando los locales son muy profundos con ventanas pequeñas o baja altura de dintel, por tanto es conveniente definir qué tipo de revestimiento de las superficies interiores proporciona una elevada reflexión y difusión de la luz. En la Tabla A.5 se describen recomendaciones aplicables a algunos parámetros que contribuyen a la reverberación de la luz [1].

Tabla A.5. Recomendaciones aplicables a diferentes parámetros que contribuyen a la reverberación de la luz.

Techos	Se recomienda que el revestimiento de los techos sea extremadamente reflectante y difusor [2].
Suelo	Conviene que tenga buena reflectancia para reenviar la luz hacia el techo del fondo del local, que tenga en cuenta un acabado difusor que evite deslumbramientos [2].
Pared del fondo	Una buena reflexión compensa las sombras proyectadas desde la ventana, reenviando la luz que procede del horizonte exterior [2].
Pared de la ventana	Una alta reflectancia compensa su bajo nivel de iluminación y reduce el contraste con el alto brillo de la superficie de la propia ventana [2].

Protección solar para aberturas

Un objetivo fundamental de los diseños con iluminación natural consiste en propiciar la mayor penetración de luz a través de los huecos dispuestos para este objetivo, el cual se puede ver afectado por circunstancias que causan incomodidad visual por exceso de iluminación o sobrecalentamiento, debido a la entrada de la radiación solar directa, por esto es necesario diseñar dispositivos que permitan regular la luminosidad y controlar la radiación solar directa [1].

Dentro de los criterios que deben ser tenidos en cuenta para el diseño de protecciones solares se encuentra el clima y las condiciones del entorno, teniendo en cuenta el comportamiento solar durante las distintas épocas del año a través de estudio de los solsticios [1].

Algunas funciones alternativas que pueden desempeñar dichos dispositivos incluyen también el mejoramiento del nivel y la uniformidad de la iluminación a través de la desviación del flujo luminoso que es interceptado y llevado hacia el fondo de los locales [1].

- *Protección solar de aberturas verticales*

Su aplicación depende de variables como la orientación solar y los obstáculos solares del entorno, para esta disposición de aberturas se recomienda la utilización de sistemas de protección solar exterior o parasoles, dispuestos en forma de pantallas solares verticales, lamas orientables, viseras laterales entre otras [1] .

Cabe mencionar que dentro de las características óptimas de los dispositivos de protección solar se encuentran disponer de una superficie con muy buena reflectancia, para evitar el calentamiento, buen aislamiento térmico en su interior que evite transmitir el calor absorbido por conducción hacia su cara interna y posibilidad con mecanismos que permiten su adaptación a las diferentes épocas del año [1] .

- *Protección solar de aberturas de cubierta*

Debido a la permanente exposición al recorrido solar diario en todas las épocas del año que este tipo de aberturas presentan, suele ser más complicado el diseño de protecciones solares que impiden el paso de radiación solar directa, que puedan generar incomodidad, una solución aplicable a claraboyas consiste en la incorporación de parasoles variables con respecto a la época del año y la incorporación de anillos solares [1].

VENTILACIÓN NATURAL

La ventilación natural en edificios es aquella que no utiliza energía eléctrica de ventiladores u otro equipamiento mecánico. Este es el resultado de diferencias de presiones causadas por dos fuerzas naturales que pueden actuar separadamente en conjunto: el viento externo y las diferencias de temperatura entre el interior u el exterior [1].

Algunas de las ventajas ofrecidas por la ventilación natural van desde el bajo costo de inversión inicial, mantenimiento y operación, el no requerimiento de espacio físico en planta y la ausencia de ruido, característica de muchos sistemas convencionales [8].

Dentro de los criterios a considerar para la implementación de la ventilación natural, se encuentra la forma del edificio, el entorno y el clima. Algunas exterior, los altos niveles de ruido externo y riesgos en cuanto a seguridad y privacidad [8].

Fundamentos físicos de la ventilación natural

La ventilación natural en el interior de los edificios es el aire en movimiento debido a las diferencias de presión creadas a través de las distintas aberturas del edificio [8], diferencias de presión que resultan de la actuación por separado o en conjunto del viento externo y las diferencias de temperaturas entre el interior y el exterior. A continuación se describe un conjunto de conceptos técnicos asociados a la ventilación natural en edificaciones [8].

- *Ventilación conducida por el viento*

Los efectos de presión que el viento ejerce sobre los edificios depende de su forma y la proximidad de construcciones vecinas, las presiones son más altas

(positivas) en la fachada que da el viento (barlovento); y más bajas en el lado de sotavento y en el techo, que corresponden a la zona de presión negativa o zona de succión [8].

La diferencia de presión entre dos puntos de la fachada de un edificio determina las fuerzas inducidas en el edificio si las aberturas se encuentran ubicadas en estos puntos; en (1) se ilustra matemáticamente

$$P_w = C_p \rho U^2 / 2 \quad (\text{Pa}) \quad (1)$$

Donde C_p es el coeficiente de presión (Adimensional), ρ es la densidad del aire (kg/m^3); y U es la velocidad del viento (m/s) [8].

Para calcular el coeficiente de presión se hacen necesarios análisis rigurosos en tubos de viento o mediante métodos de simulación computacionales de fluidos (CFD) [8].

- *Ventilación conducida por el efecto Stack*

En este caso las diferencias de presión son ocasionadas por la diferencia de densidad en el aire, ocasionando diferencias de temperaturas entre el interior y el exterior de un edificio, y entre los diferentes espacios dentro del edificio [8].

Debido a que el aire caliente dentro de un edificio tiende a ascender y acumularse en la parte superior puede dar lugar a una estratificación determinada por la ubicación de las aberturas. Lo anterior permite realizar la clasificación que se muestra en la Tabla A.6 [8].

Tabla A.6. Clasificación de la ventilación conducida por el efecto Stack según la posición de las aberturas.

Abertura superior	La temperatura del aire interno es mucho mayor que la temperatura del aire externo, y existe en el local una abertura superior, se produce un flujo de aire caliente hacia el exterior y fresco hacia el interior, provocando en dicho proceso una turbulencia que tiende a mezclar el aire internamente [1].
Abertura inferior	Ocurrirá un intercambio pasajero hasta que el aire fresco que adentra ocupe en el espacio la altura de la parte superior de la abertura, tras lo cual la ventilación cesará [1].
Abertura superior e inferior	El aire caliente interno menos denso saldrá por la abertura superior y el aire fresco externo entrará por la abertura inferior del espacio. Creando así configuraciones estables de densidad ente las capa más caliente (superior) y la capa más fría (inferior) [1].

- *Ventilación conducida por el efecto combinado por el efecto del viento y del efecto Stack*


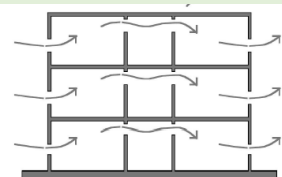
La diferencia de presiones resultantes del viento y el efecto Stack producen la ventilación natural en los edificios; el flujo de aire a través de una abertura es determinado por la suma algebraica de estas dos presiones que son generadas por separado [8].

Cuando se suman las dos presiones, la del viento y el efecto Stack, se aumenta el flujo del aire por efecto de estas dos componentes, pero si dichas componentes se restan el flujo de aire se reduce y en ocasiones puede anularse [8].

Métodos de ventilación natural

Con el objeto de producir ventilación natural en un edificio, se han desarrollado tres métodos que combinan los efectos del viento y el efecto Stack, conocidos como ventilación unilateral, ventilación cruzada y ventilación por efecto chimenea, dichos métodos junto con sus principales características son relacionadas en la Tabla A.7.

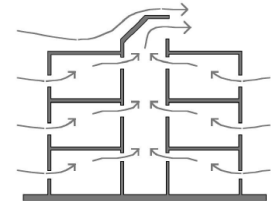
Tabla A.7. Métodos de la ventilación natural.

Ventilación unilateral	<p>Proporciona una opción de ventilación local, consiste en la disposición de una abertura en una sola pared donde el aire externo entra en la habitación y el aire interno sale [8].</p> <p>Este tipo de ventilación es influida directamente por la acción del viento, por lo que el flujo de aire es relativamente pequeño. Para incrementar el efecto Stack se puede disponer de varias aberturas ubicadas en la misma pared en diferentes alturas, se utiliza frecuentemente en edificios de oficinas.</p>	
Ventilación cruzada	<p>Sucede cuando el local posee dos aberturas enfrentadas, proporciona mayores velocidades de flujo de aire que se producen principalmente por la fuerza del viento, aunque puede haber una contribución del efecto Stack en presencia de una diferencia de altura significativa</p>	

entre las aberturas de entrada y de salida de la ventilación. Su utilización más común es en edificios de tipo residencial [8].

**Ventilación
por efecto
Stack**

En este tipo de ventilación natural, se presenta una mayor contribución del efecto Stack, ocasionando la salida del aire interno más cálido que tiende a ascender y salir por las aberturas superiores, mientras que el aire fresco externo tiende a entrar por las aberturas inferiores del edificio. Dentro de los parámetros críticos que deben ser considerados, se encuentra la localización de la abertura de salida, que juega un papel determinante puesto que la presión del viento entrante puede influir en el efecto Stack [8].



Estrategias de ventilación natural para la eficiencia energética

Con el objetivo de mejorar la eficiencia energética de una edificación es posible utilizar la ventilación natural, contribuyendo a la reducción o eliminación del consumo energético destinado a la ventilación para enfriamiento [8]. Es así, que pueden enunciarse dos categorías distintas en las que se dividen las estrategias de ventilación natural [8].

- *Enfriamiento directo*

Esta estrategia une el enfriamiento convectivo del edificio con el enfriamiento psicológico de las personas, porque ambos son alcanzados de manera íntegra y simultánea con el objetivo de proveer confort a los ocupantes del edificio [8].

Un parámetro importante es la humedad relativa, cuando dicho parámetro es alto, se requieren mayores velocidades del aire, que minimicen la incomodidad que esta puede ocasionar. En este sentido se han establecido límites del 90% de humedad a lo largo del día, así como, una velocidad máxima del aire de 2,5 m/s en edificios destinados a oficinas [8].

- *Enfriamiento indirecto*

Consiste en enfriar directamente el interior de los edificios a través de la introducción de aire fresco durante las noches, donde la temperatura externa es menor que la interna, con el propósito de retirar la carga del interior y principalmente el que se almacena en los elementos estructurales del edificio [8].

Este tipo de ventilación mejora el confort térmico de los ocupantes del edificio ventilado naturalmente, y cuando es aplicada en edificios climatizados reduce la carga de refrigeración diaria [8].

La eficiencia de esta estrategia depende principalmente de la temperatura y el flujo de aire externo que se introduce en el periodo nocturno; de los patrones de flujo de aire distribuido en el edificio, que determinan la transferencia de calor entre el aire u la masa térmica; y de la inercia o capacidad térmica de los medios de almacenamiento [8].

TECHO VERDE

Las cubiertas verdes son un elemento esencial para disminuir las ganancias solares por radiación en los techos de una edificación, por medio de un complejo sistema que incluye el uso de vegetación para propiciar un mejor confort térmico, a continuación se mencionan aspectos importantes de las mismas.

Beneficios de las cubiertas verdes

Dentro de los beneficios ofrecidos por las cubiertas verdes se listan la regulación del efecto de isla de calor urbano, el mejoramiento de la calidad de aire, mejoramiento de la gestión de aguas lluvias y una reducción en el consumo de energía eléctrica asociado a aires acondicionados [5],[9].

- *Reducción del efecto isla de calor*

El efecto de isla de calor urbana es el incremento de la temperatura ambiente promedio en zonas urbanas, que se produce por el reemplazo de la vegetación natural por pavimentos, edificaciones y otras estructuras para dar un hábitat a la población [9].

Las áreas urbanas suelen tener temperaturas de 1,0°C a 4,5 °C más altas que los alrededores, debido al fenómeno de la isla de calor [10]. Dicho fenómeno se presenta cuando las superficies oscuras e impermeables absorben calor y lo irradian a la atmósfera.

El asfalto y el hormigón son los materiales que absorben e irradian más calor, y por lo tanto su uso en techos y azoteas contribuye enormemente al efecto isla de calor. Es así que una cubierta sin recubrimiento puede alcanzar temperaturas entre los 40°C y 50°C durante las horas de mayor radiación solar [5].

Existen dos formas de mitigar el efecto isla de calor: aumentando la vegetación y mejorando la reflectividad de las superficies urbanas [10]. La cubiertas verdes proporcionan ambas y reducen considerablemente las el uso individual de energía de un edificio.

- *Mejoramiento de la calidad de aire*

Los efectos de altas temperaturas, sumados al aumento del parque automotriz, emisiones de gases industriales y otras fuentes de contaminación incrementan en forma permanente la cantidad de contaminantes y material particulado [9].

Una cubierta vegetal, además de contribuir a reducir la temperatura, captura el dióxido de carbono y otros contaminantes presentes actualmente en una aire contaminado, de acuerdo a estudios realizados es posible extrapolar que un metro cuadrado de maleza remueve hasta dos kilogramos de material particulado, aquel atrapado en el follaje [9].

- *Gestión de aguas lluvias*

Uno de los problemas que enfrentan actualmente las ciudades consiste en la poca capacidad de drenaje para aguas lluvias durante precipitaciones fuertes, una posible solución consiste en destinar un espacio de suficiente superficie y cierta capacidad de almacenamiento para retener parte del volumen del caudal de escorrentía y reducir así los caudales punta que se presente, hasta un caudal máximo que pueda ser manejado por los sistemas de desagüe. Una cubierta verde puede reducir en un 60% la escorrentía y hasta en un 85% la evacuación de aguas durante las dos primeras horas de una lluvia intensa [9].

Según la norma alemana DIN 1986, el coeficiente de desagüe de agua lluvia para superficies techadas ajardinadas con un mínimo de espesor de 10 cm, es de 0,3; o

que significa que el 70% del agua lluvia queda retenida en la cubierta verde para ser desaguada o evaporada posteriormente [9].

- *Reducción del consumo energético*

Estudios realizados permiten concluir que las cubiertas verdes reducen la transmisión de calor de ganancia de la edificación generado por radiación solar a la que se ve expuesta la cubierta durante la mayor parte del día [9].

Para el caso de edificios emplazados en Bucaramanga se estima que un techo verde puede reducir la temperatura interior de los espacios cercanos a la azotea de 3°C a 5°C durante el día, lo que en consecuencia generará ahorros energéticos entre el 25% y el 50% debido a un menor uso de aires acondicionados [5].

- *Aumento de la vida útil de la capa impermeabilizante*

Uno de los factores que más afecta la vida útil de los techos de las edificaciones es la capa impermeabilizante; membranas expuestas a condiciones muy severas de temperatura durante 24 horas tienen una mayor velocidad de degradación que aquellas con variaciones menores. El uso de cubiertas verdes permite reducir los costos de mantenimiento de los techos al incrementar la vida útil de las membranas impermeabilizantes [9].

Composición de la cubierta verde

Fundamentalmente una cubierta verde se encuentra compuesta por una capa vegetal, un suelo de cultivo y un conjunto de capas protectoras, de acuerdo al caso, se tendrán más o menos membranas. El espesor de la aplicación generalmente está entre 10 cm y 30 cm [5]; la Tabla A.8 relaciona las

características de cada una de las capas que en general componen una cubierta verde [11] .

- *Vegetación*

El área de las hojas es determinante del nivel de aislamiento térmico, ya que a mayor sombra generada sobre el sustrato menor será el calor transmitido a la estructura.

- *Sustrato o suelo de cultivo*

Se debe caracterizar por ser liviano, nutritivo y de alta expectativa de vida.

El espesor del sustrato está relacionado con la profundidad que puedan alcanzar las raíces de las plantas y del nivel de aislamiento térmico que se desee. Define el peso de la aplicación (m), el cual se calcula a partir del área (A), el espesor (h) y la densidad de la tierra (ρ). La densidad del suelo de cultivo varía básicamente según el nivel de humedad, por lo que oscila entre los 700 kg/m^3 y 1000 kg/m^3 [5].

- *Drenaje*

Permite controlar el nivel de agua lluvia y de riego del sustrato, a partir del material granular (grava) y de una estructura reticular plástica liviana [5].

- *Barrera anti-raíz*

Evita que las raíces de la vegetación sembrada se extienda hasta las capa del impermeabilizante, lo cual podría ocasionar perforaciones en ésta [5].

- *Impermeabilización*

Evita el contacto del agua con la placa de hormigón y con ello problemas de humedad, se realiza a partir de una tela PVC o de una solución asfáltica (aplicación líquida), la primera estrategia es la más común debido a la no necesidad de aditivos [5].

Consideraciones para la implementación de cubiertas verdes

Para la implementación de cubiertas verdes en las edificaciones se hace necesario considerar algunas adaptaciones en el diseño o en la construcción tales como un soporte estructural para la carga adicional, un sistema de irrigación, un sistema de captación de aguas lluvias, unas condiciones de seguridad para el personal durante su construcción, uso y mantenimiento, que para su construcción, representan una inversión adicional [5].

Tipos de cubiertas verdes

De acuerdo al espesor del conjunto de las capas de la cubierta verde es posible clasificarlas en cubiertas intensivas y extensivas [12], tal como se especifica a continuación.

- *Cubierta verde intensiva*

La vegetación requiere un determinado mantenimiento en función del tipo de planta, dichas plantas pueden ser de tipo herbáceas, plantas arbustivas y árboles [13].

- *Cubierta verde extensiva*

El tipo de vegetación dispuesto para este tipo de aplicación requiere un mínimo de mantenimiento. Se utilizan plantas de muy poco porte u muy resistentes. Esto conlleva a capas de sustrato vegetal no superiores a los 15cm y pesos totales inferiores a los 150 kg/m² [13].

En la Tabla A.8, se resumen las características principales de los tipos de cubiertas vegetales.

Tabla A.8. Características de las cubiertas verdes clasificadas según su espesor.

Tomada de [9]

Característica	Extensiva	Semi - extensiva	Intensiva
Espesor sustrato	Hasta 15 cm	Entre 10 y 20 cm	Mayor que 15 cm
Cobertura vegetal transitable	No transitable	Parcialmente transitable	Transitable
Peso saturado	Entre 50 y 70 kg/m ²	Entre 150 y 250 kg/m ²	Mayor que 245 kg/m ²
Diversidad vegetal	Poca	Mayor	Máxima
Mantenimiento	Mínima	Variable	Alto
Tipo de Vegetación	Rastreras	Arbustos pequeños, pastos ornamentales	Arbustos y árboles pequeños.

Es posible clasificar las cubiertas verdes según la forma de su instalación, su pendiente y tipología de diseño, en la Tabla A.9, se realiza una breve descripción de cada una de las clasificaciones asociadas a cada tipología.

Tabla A.9. Clasificación de las cubiertas verdes. Tomado de [5]

Instalación	Modular	Se caracteriza por la utilización de módulos (plásticos o metálicos) o sacos, de aproximadamente 0,2 m ² y un espesor de 5 cm a 15 cm, que almacenan el sustrato en el cual se siembra la vegetación. Es de fácil y rápida instalación, la vegetación puede ser sembrada semanas antes de la ubicación definitiva de los módulos.
	En sitio	Son los techos verdes tradicionales, que consiste en el extendido de tierra sobre la terraza previa adecuación a partir de la instalación de las membranas para la posterior siembra de la vegetación.
Pendiente	Horizontal	Son aquellas que tienen una pendiente menor al 5%. Debido a su baja pendiente su sistema de drenaje debe ser especialmente diseñado.
	Inclinado	Techos verdes de 5% hasta el 40% de pendiente que deben ser especialmente confinados en sus laterales para evitar deslizamientos. Una gran ventaja de éstos, es la facilidad de su drenaje.
Diseño	Artesanal	Son aquellos desarrollados a pequeña escala, principalmente en zonas rurales. Se

caracterizan por la utilización de elementos comunes, sean naturales o sintéticos.

Tecnificado

Son los comúnmente desarrollados en edificaciones y que emplean productos especializados para este tipo de proyectos y por ello su costo es mayor. Tiene mayores prestaciones en drenaje e impermeabilización que los de tipo artesanal.

ANEXO B. LINEAMIENTOS EN ILUMINACIÓN NATURAL DEL RETILAP

Con el propósito de considerar un referente regional, que permita determinar la satisfacción de los criterios de confort visual presentes en las instalaciones del quinto piso del Edificio Eléctrica, obtenido principalmente de la simulación por software, se procede a identificar los valores considerados por el RETILAP en cada uno de dichos aspectos consignados en la Tablas B.1, Tabla B.2 y Tabla B.3.

Tabla B.1. Niveles de iluminación y demás áreas comunes.

Tipo de recinto y actividad	Niveles de Iluminancia (lx)		
	Mínimo	Medio	Máximo
Oficinas de tipo general, mecanografía y computación.	300	500	750
Oficinas abiertas.	500	750	1000
Oficinas de dibujo.	500	750	1000
Salas de conferencia.	300	500	750
Áreas de circulación, corredores.	50	100	150
Escaleras, escaleras mecánicas.	100	150	200
Vestidores, baños.	100	150	200
Almacenes, bodegas.	100	150	200

Tomada de: [2]

Tabla B.2. Valores mínimos del coeficiente de luz diurna. Tomada de: [2]

Tipo de Edificación.	CLD %
Fábricas	5
Oficinas	2
Salones de clase	2
Hospitales	1

Tabla B.3. Valores de uniformidad Tomada de: [2]

Iluminancia de tarea (lx)	Iluminancia de áreas circundantes inmediatas (lx)
Mayor o igual a 750	500
500	300
300	200
Menor o igual a 200	E tarea
Uniformidad	
Mayor o igual a 0,7	Mayor o igual a 0,5

ANEXO C. CONCEPTOS ASOCIADOS AL CONFORT VISUAL Y TERMICO

A continuación se describe la base conceptual de la cual se apoya el presente trabajo de grado y de la cual el lector puede retroalimentarse.

CONCEPTOS DE ILUMINACIÓN

A continuación se procede a describir conceptos fundamentales requeridos para el desarrollo del proyecto, haciendo énfasis en el área de iluminación, describiendo cada una de las magnitudes de la luz, criterios de diseño y componentes de un sistema de iluminación.

Intensidad luminosa (i)

Es la energía luminosa en una dirección. Su unidad es la candela (cd). La intensidad luminosa de una fuente se calcula dividiendo el flujo luminoso sobre el ángulo solido ω de 1 sr (estereorradián). Si la lámpara emite con igual intensidad en todas las direcciones $\omega=4\pi$ [1].

$$I = \frac{\phi}{\omega}$$

Flujo luminoso (Φ)

Es la cantidad de energía luminosa emitida por una fuente, su unidad es el lumen (lm), que es la energía emitida por un foco de intensidad de 1 candela en un ángulo solido de un estereorradián (1 m² a 1 m de distancia).El flujo luminoso de una fuente es igual a la potencia de la lámpara por el rendimiento luminoso [1].

$$\phi = P * R$$

Luminancia (L)

Es la intensidad (I) o flujo de luz (ϕ) emitido por unidad de superficie. Existen dos tipos de luminancia a estudiar [1].

Luminancia fuente luminosa: En una fuente luminosa se calcula la luminancia Lf.

$$L_f = \frac{I}{s}$$

Donde **I** es la intensidad luminosa y **s** es la superficie; Sus unidades son el Nit (cd/m^2) y el Stilb (cd/cm^2).

Luminancia de flujo reflejado: Si se trata del flujo reflejado de una superficie iluminada se aplica el concepto de luminancia Lr.

$$L_r = \frac{\phi}{s}$$

Donde ϕ es el flujo luminoso y **s** es la superficie. Sus unidades son (lm/m^2) y el Lambert (lm/cm^2).

Rendimiento luminoso (R)

Es el flujo emitido por unidad de potencia de las fuentes luminosas (lm/W) [1].

Distribución de la luz

Concepto basado en la correcta disposición de las fuentes luminosas con el fin de lograr un nivel de iluminación adecuado y uniforme [1].

Iluminancia (E) o nivel de iluminación

Es la cantidad de luz que recibe una superficie, su unidad es el lux (lx), que corresponde al flujo luminoso por unidad de superficie ($\text{Lux} = \text{lumen}/\text{m}^2$). Puede calcularse a partir de la siguiente relación [1].

$$E = \frac{I * \cos\sigma}{d^2}$$

Donde

I Es la intensidad luminosa.

d Es la distancia a la superficie.

σ Es el ángulo de incidencia de la luz.

Coeficiente de luz diurna

Permite estimar la disponibilidad de luz natural en interiores y su potencial de ahorro de energía [2].

El CLD (figura C.1) en un punto interior expresa la relación, en porcentaje, entre la iluminancia promedio interior (E_{int}) producida por la luz natural en el plano de trabajo y la iluminancia promedio en el exterior (E_{ext}) determinada en el mismo instante en un cielo uniformemente nublado y sin obstrucciones. Es el parámetro más usado en la caracterización y la cuantificación de las condiciones de la iluminación natural en los edificios [2].

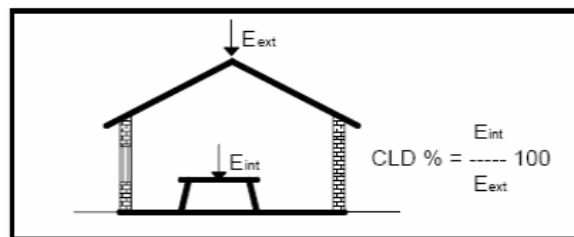


Figura C.1. Coeficiente luz diurna

Hay tres formas en la que intensidad luminosa producida por la luz día puede alcanzar un punto en un plano horizontal dentro de un espacio interior [2].

Componente del cielo (CC). Es debido a la luz del día recibida directamente en el punto desde el cielo [2].

Componente reflejada externamente (CRE). Es debido a la luz día recibida directamente en el punto de superficies reflectivas externas [2].

Componente reflejada internamente (CRI). Debido a la luz día que alcanza el punto después de una o más inter-reflexiones de superficies interiores [2].

Sistema de iluminación artificial

Un sistema de iluminación artificial es una sección del sistema eléctrico que alimenta las lámparas o balastos junto con sus controladores asociados. Un sistema de iluminación está formado básicamente por tres componentes fundamentales: las fuentes luminosas, luminarias y equipos auxiliares.

Fuente luminosa. Una fuente luminosa es un dispositivo que emite energía radiante capaz de excitar la retina y producir una sensación visual. Dicha energía radiante puede ser producida de tres formas: calentando cuerpos sólidos hasta alcanzar su grado de incandescencia (fundamento de las lámparas incandescentes), provocando una descarga eléctrica en el seno de un gas o provocando una descarga en un cuerpo sólido [1]; la Tabla A.1 relaciona los diferentes tipos de fuentes luminosas existentes en el mercado con sus respectivas características.

Luminarias. Se le llama luminaria al conjunto de elementos de alumbrados que filtran o transforman la luz emitida por una o más lámparas, es requerida también para la protección de cualquier tipo de bombilla en algún lugar. Tiene como una de sus funciones principales el control del nivel y distribución de la luz; por tal razón, la selección de las mismas es de gran importancia a la hora de iluminar un ambiente [1].

Equipos auxiliares. Los equipos auxiliares permiten que las fuentes de luz inicien su funcionamiento, evitan crecimientos continuos en la intensidad y sirven de



acople entre dos tensiones diferentes. Los equipos auxiliares más utilizados son los balastos, el consumo de estos equipos debe ser tenido en cuenta a la hora de evaluar el consumo de todo el sistema de iluminación.

Balasto. Unidad insertada a la red y una o más bombillas de descarga, la cual, por medio de inductancia o capacitancia o la combinación de inductancias y capacitancias, permite limitar la corriente de las bombillas hasta el valor requerido, el balasto puede contar de uno o más componentes. Puede incluir, también medios para transformar la tensión de alimentación y arreglos que ayuden a proveer la tensión de arranque, prevenir el arranque en frío, reducir el efecto estroboscópico, corregir el factor de potencia y/o suprimir la radio interferencia [2].

Arrancador. Dispositivo que por sí solo o en asocio con otros componentes, genera pulsos para encender bombillas de descarga sin precalentamiento [2].

En la Tabla C.1. Se ilustran algunos los tipos de bombilla más visto en el mercado

Tabla C.2. Tipos y características de bombilla

Categoría	Tipo y características	Imagen
Lámparas incandescentes	Incandescentes no halógenas. Bajo costo, versatilidad y simplicidad de uso, color de luz cálido, elevado consumo de energía, alta generación de calor, se emplea en el sector doméstico	
	Incandescentes halógenas. Mayor vida e eficacia, mayor coste, uso delicado, emite una luz blanca focalizada similar a la luz del día, presenta el mismo consumo que una incandescente no halógena	
Lámparas de descarga	Fluorescentes Tubulares. Elevada eficacia y vida, idónea para interiores de altura reducida, después de las incandescentes son las que más consumen	

Categoría	Tipo y características	Imagen
de gas.	energía, tienen un tono de luz blanca y fría, reproducción del color no tan buena, encendido mediante balasto, presenta un bajo consumo y se emplean en oficinas, locales, comercios e industrias	
	Fluorescentes compactas. Elevada eficacia y vida con respecto a las incandescentes, bajo consumo al igual que las tubulares y mayor reproducción del color	
	Fluorescentes sin electrodos. Poseen larga vida hasta 60 000 horas.	
	Vapor de mercurio a alta presión. Permiten un mayor flujo luminoso que las fluorescentes, poseen menor eficacia, se emplean en la iluminación de calles y naves industriales.	
	Halogenuros metálicos. Presentan una mayor capacidad de reproducción del color y una mejor eficacia, se emplea en alumbrado público, comercios, iluminación de fachadas y monumentos.	
	Halogenuros metálicos cerámicos. Operan a altas temperaturas, mayor vida útil (hasta 15000 horas) mayor eficacia luminosa y estabilidad del color, se utilizan en comercios, oficinas, iluminación arquitectónica entre otros.	
	Vapor de sodio a baja presión. Son las lámparas más eficaces del mercado por su menor consumo eléctrico, poseen un color de luz amarillento, se usan para autopistas, túneles y aéreas industriales.	


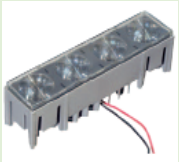
Categoría	Tipo y características	Imagen
	Vapor de sodio a alta presión. Son menores en cuanto a reproducción cromática comparadas con la de baja presión, actualmente sustituyen a las de vapor de mercurio y se emplean en exteriores de tráfico e industrias.	
Lámparas de descarga en cuerpo sólido.	LED. Poseen una elevada vida (hasta 50 000 horas), son resistentes a los golpes, 80% más eficientes que las lámparas incandescentes.	

Tabla C.2. Categoría de calidad de ambiente térmico. Tomada de [4]

Categoría	PPD (%)	Voto medio predicho
A: Guarderías, clínicas y hospitales.	< 6	-0,2 < PMV < 0,2
B: Calidad a emplear en edificios nuevos.	> 10	-0,5 < PMV < 0,5
C: Calidad mínima en edificios existentes.	< 15	-0,7 < PMV < 0,7

Otro índice de comodidad es el **Voto Medio Previsto (PMV)**, ver figura C.3), que refleja la opinión de un grupo numeroso de personas sobre su sensación térmica, valorada según una escala entre -3 (mucho frío) y +3 (mucho calor), considerándose el valor 0 como de sensación neutra o de bienestar [3].

Tabla C.3. Escala de datos de voto medio predicho. Tomada de [4]

PMV	Sensación
3	Muy caluroso
2	Caluroso
1	Ligeramente caluroso
+/- 0	Neutralidad térmica.
-1	Fresco
-2	Frio
-3	Muy frio

En la Figura C.2 se muestra la relación entre la temperatura operativa T_o , media de la temperatura del aire y de las superficies del local, y el índice **PPD**, para dos grupos de personas sedentarias ($M=1,2$ met) en condiciones típicas de invierno (ropa = 1 clo) y de verano (ropa = 0,5 clo). En ambos caso se considera el aire en calma ($V<0,1$ m/s) una la humedad relativa media (40% - 60%) [3].

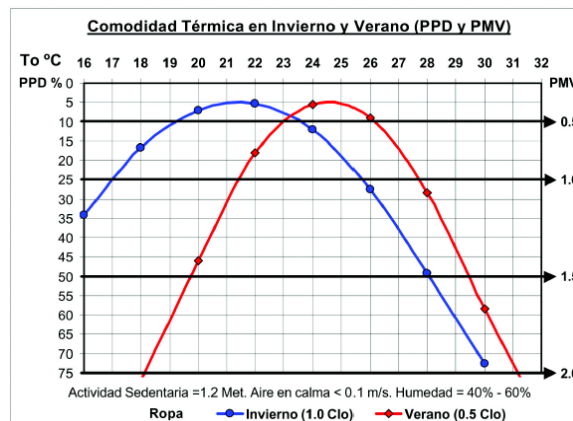


Figura C.2. Comodidad térmica de invierno

Del gráfico se deduce que las temperaturas óptimas en condiciones típicas de invierno oscilan entre 21°C y 22° C, mientras que en verano oscilan entre 24° C y

25° C. Las temperaturas tolerables de invierno oscilan entre 19°C y 24°C, mientras que en verano oscilan entre 23° C y 26° C [3] .

En el caso de permanencia en el exterior, el margen temperaturas confortables se puede ampliar, con un incremento de hasta 3° C si existe ventilación del orden de 1,5 m/s (viento de 5 km/h), o una disminución de hasta 10° C si se recibe radiación solar, según el Diagrama bioclimático de Olgay [3].

Factores personales

Involucran las características físicas de los individuos presentes en una zona

- *Actividad física*

Este factor incrementa la producción de calor del cuerpo, o tasa de energía metabólica (figura C.4), y también la sensación de calor. La unidad de medida es el calor generado por una persona sentada y relajada = 1 Met, que será diferente para cada tipo de actividad. Para actividades sedentarias se suele utilizar el valor típico de 1,2 Met [3].

Tabla C.4. Energía metabólica en función de la actividad. *Tomada de [4]*

Met	W/m ²	Actividad
0,8	46	Tumbado, dormido.
1,0	58	Sentado, relajado.
1,2	70	Actividad ligera sentado (oficina, hogar, escuela).
1,6	93	Actividad ligera de pie (compras, trabajo de mostrador).

Met	W/m ²	Actividad
2,0	116	Actividad media de pie (vendedor, tareas domésticas).

- *Vestimenta*

Supone un aislamiento térmico que reduce la pérdida de calor y aumenta la sensación de calor. La unidad de medida es el “Clo”(del inglés Cloth). Se suele estimar según las combinaciones de prendas de vestido. La ropa de entretiempo suele ser de 0.75 Clo, y para ocupantes de edificios se suele estimar 1.0 Clo en invierno y 0.5 Clo en verano [3]. En la tabla C.5 se ilustra más específicamente el valor Clo para las distintas combinaciones de ropa.

Tabla C.5. Valor del grado de vestimenta para distintas combinaciones de ropa.

Clo	m ² C/W	Combinación de ropa
0,03	0,005	Bañador.
0,25	0,040	Slip, camiseta, pantalón corto, sandalias.
0,50	0,080	Slip, camisa manga corta, pantalón ligero, calcetines finos, zapatos.
0,75	0,115	Slip y camiseta, sudadera y pantalón, calcetines y zapatos.
1,00	0,155	Slip, camiseta, camisa, pantalón, chaqueta, calcetines y zapatos.
1,25	0,195	Ropa interior de manga larga y pantalón corto, camisa, pantalón, jersey de pico, chaqueta, calcetines y zapatos.
1,50	0,223	Ropa interior de manga larga y pantalón corto, camisa, pantalón, chaleco. Chaqueta, abrigo, calcetines gruesos y zapatos.

Factores ambientales

Son los asociados a las condiciones climáticas del sitio.

- *Temperatura del aire (Ta)*

Es el parámetro básico para la evaluación térmica de un local y se mide con un termómetro de bulbo seco [3].

- *Temperatura radiante media (Trm)*

Es el promedio de las temperaturas de las superficies interiores del local y es tan importante como la temperatura del aire por la magnitud del intercambio de radiación infrarroja. En general, suele ser similar a la del aire interior, pero si hay alguna superficie relativamente caliente (techos en verano) o fría (ventanas en invierno) conviene calcular la Trm ponderada, según el área (An) y la temperatura (Tn) de cada una de las (n) paredes, suelo y techo [3].

$$Trm = \sum (Tn \times An) / \sum An \quad (1)$$

- *Temperatura operativa (To)*

Es una combinación de la temperatura del aire Ta y la TRm, con un efecto conjunto similar. Si la velocidad del aire es pequeña ($V < 0,2$ m/s, ver Tabla C.6) se puede hallar media aritmética. Para otras velocidades se puede aplicar la fórmula [3] :

$$To = Ta \times A + Trm (1-A) \quad (2)$$

Tabla C.6. Valores del coeficiente a asumidos para ciertos rangos de velocidad

Velocidad	$V < 0.2$ m/s	0.2 m/s $< V < 0.6$ m/s	0.6 m/s $< V < 1.0$ m/s
Coeficiente	A = 0.5	A = 0.6	A = 0.7

La temperatura operativa óptima depende en gran medida de la actividad física de las personas. En la Tabla c.7 se presentan los valores de temperatura operativa correspondientes a diferentes actividades físicas [4].

Tabla C.7. Temperatura óptima de invierno y verano a partir de la tasa metabólica.
Tomada de [4]

Actividad metabólica [Met]	Temperatura operativa optima [°C]	
	Verano	Invierno
1,00	26,00	24,00
1,20	24,50	22,00
1,40	23,50	20,00
1,60	23,00	19,00
1,80	22,50	18,00
2,00	21,50	16,50

- *Velocidad del aire (Va)*

Aumenta el enfriamiento del cuerpo y la sensación de frescor, además de otras incomodidades cuando se perciben rachas o turbulencias. En condiciones sedentarias la velocidad del aire debe limitarse por debajo de 0,25 m/s en condiciones de frío, y por debajo de 0,50 m/s en condiciones de calor, aunque se toleran velocidades de hasta 1,0 m/s en actividades en movimiento, o incluso superiores en condiciones de calor extremo y actividades intensas. Para actividades $M > 1$ Met conviene considerar la velocidad mínima como $V = 0,30 (M - 1)$, debido a los movimientos corporales [3].

En la Tabla C.8 se establecen los valores de velocidad media máxima del aire de acuerdo a los márgenes de temperatura operativa presentes en cada tipo grupo de calidad.

Tabla C.8. Temperatura operativa en función de calidad térmica del ambiente.

Tomada de [4]

Temperatura operativa	Margen de temperatura operativa [°C]			Velocidad media máxima del aire [m/s]
	A	B	C	
16,0	± 1,5	± 3,5	± 5	0,09
17,0	± 1,5	± 3,0	± 4,5	0,10
18,0	± 1,5	± 3,0	± 4,5	0,11
19,0	± 1,5	± 3,0	± 4,0	0,12
20,0	± 1,0	± 2,5	± 3,5	0,13
21,0	± 1,0	± 2,0	± 3,0	0,14
21,5	± 1,0	± 2,0	± 3,0	0,15
22,0	± 1,0	± 2,0	± 3,0	0,15
22,5	± 1,0	± 2,0	± 3,0	0,16
23,0	± 1,0	± 2,0	± 3,0	0,16
23,5	± 1,0	± 2,0	± 2,5	0,17
24,0	± 1,0	± 1,5	± 2,5	0,17
24,5	± 1,0	± 1,5	± 2,5	0,18
26,0	± 0,5	± 1,0	± 2,0	0,19

- *Humedad relativa del aire (HR)*

Suele ser el factor que menos importante, sin influencias aparentes con valores entre el 40% y el 60%. Cuando los factores personales y ambientales son moderados se consideran satisfactorio el intervalo entre el 30% y el 70% de humedad relativa [3].

ANEXO D. DESIGNBUILDER

El entorno gráfico de DesignBuilder se muestra en la Figura D.1. La interfaz de *DesignBuilder* está compuesta por dos paneles, el panel de navegación y el panel de trabajo. El primero compone los archivos de las zonas creadas en un modelo de edificación a partir de uno o varios bloques base, es decir, para un modelo *DesignBuilder* proporciona divisiones internas del mismo bloque base en la creación de entornos de vivienda, oficinas, entre otros; estas divisiones son llamadas zonas.

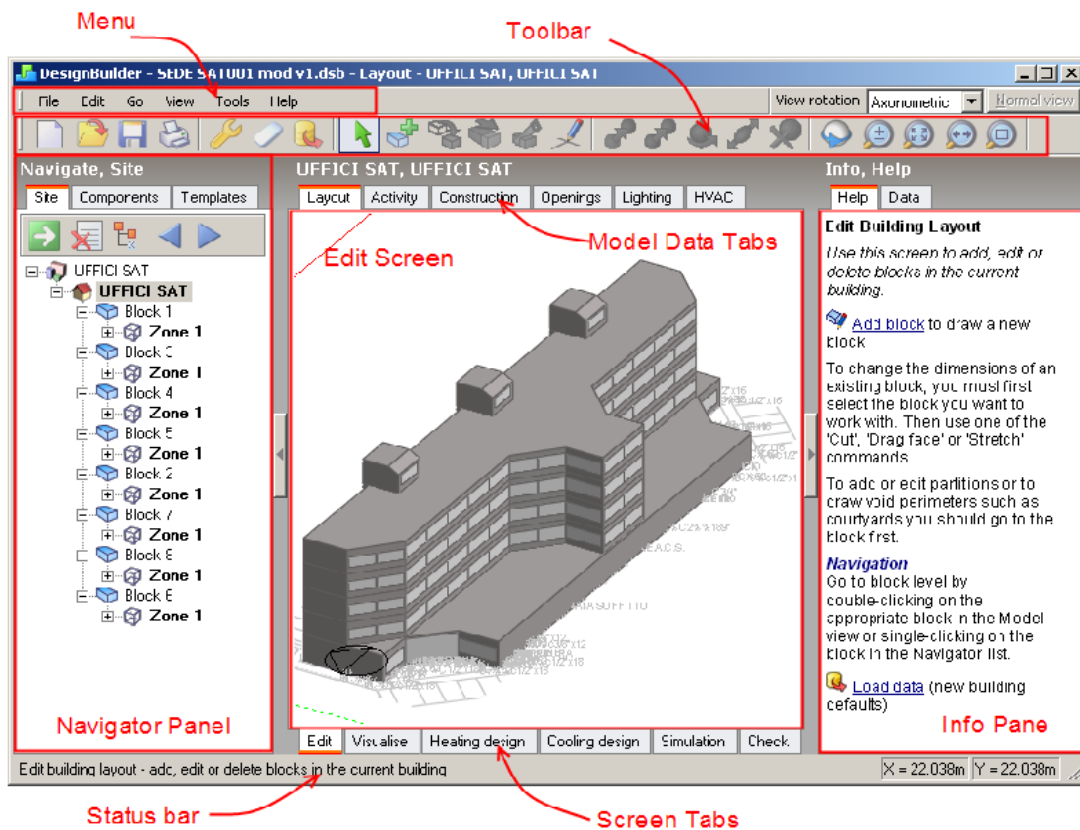


Figura D.1. Entorno gráfico de *DesignBuilder*.

En el panel de trabajo es posible definir la geometría virtual del modelo, a partir del modelado con bloques y mediante la definición de los parámetros asociados al

régimen de funcionamiento, características constructivas de los cerramientos y aberturas; así como, la especificación de la iluminación, sistema HVAC, definición de parámetros de la simulación computacional de fluidos (CFD) entre otras opciones relacionadas con el modelo. Así como, la caracterización propia de la ubicación del edificio. Existe otro panel auxiliar conocido como el panel de ayuda, importante para el usuario ya que brinda una sencilla explicación asociada a cada uno de los procesos que pueden ser desarrollados mediante la utilización del software.

ANEXO E. ESPECIFICACIONES CONSTRUCTIVAS DEL QUINTO PISO

Este anexo contienen las principales especificaciones definidas en componentes de la edificación tales como ventaneria y carpinterías, especificaciones eléctricas en iluminación general, sistema de climatización y sistema de automatización.

Ventanales

La Tabla E.1. Muestra las características de los ventanales empleados en la fachada del quinto piso.

Tabla E.1. Especificaciones de los ventanales del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Nombre	Cantidad	Tipo	Alto [m]	Ancho [m]	Material	Marco		Vidrio
						Grosor [m]	Color	
V-14	8	Corrediza	2,5	5,5	Aluminio	0,05	Blanco mate	Incoloro de 5mm
V-15	1	Fija	2,2	1,0	Aluminio	0,055	Blanco mate	Incoloro de 5mm
V-4	5	Corrediza	2,5	3,6	Aluminio	0,05	Blanco mate	Incoloro de 5mm
V-7	1	Fija	2,0	0,8	Aluminio	0,05	Aluminio	Incoloro de 5mm
V-8	3	Fija	0,5	1,8	Aluminio	0,075	Aluminio	Incoloro de 5mm

Carpinterías

En la Tabla E.2. Se muestra las especificaciones de la carpintería empleada en las instalaciones administrativas del E3T.

Tabla E.2. Especificaciones de la carpintería del quinto piso del Edificio Ingeniería Eléctrica.

Nombre	Puerta				Marco			
	Cantidad	Ancho [m]	Alto [m]	Material base	Ancho [m]	Profundo [m]	Material	Vidriado
P-2	5	0,7	2,2	Madera	0,04	0,115	Metálico	6 mm
P-3	2	0,9	2,2	Madera	0,04	0,115	Metálico	6 mm
P-4	2	0,95	2,2	Madera	0,04	0,115	Metálico	No presenta
P-5	1	0,94	2,2	Tubulares	0,04	0,115	Aluminio	Esmerilado
P-8	1	1,8	2,2	Aluminio	0,07	0,115	Aluminio	No presenta
P-11	1	1,5	2,2	Tubulares	0,04	0,115	Aluminio	Esmerilado
P-12	1	0,9	2,4	Tubulares	0,04	0,115	Aluminio	Esmerilado

Especificaciones en Iluminación y equipos ofimáticos.

En las Tablas E.3 y E.4 muestran las especificaciones asociadas al sistema de iluminación, teniendo en cuenta las cantidades encontradas en la visita realizada a las instalaciones del quinto piso.

Tabla E.3 Especificación de cantidad de luminarias y sensores de ocupación por zona del quinto piso del Edificio Ingeniería Eléctrica.

ZONAS	L28	L28'	L32	LE	L17	L26	Fotocelda	ST4F	ST3F
Dirección E3T					4		1	1	
Sala de Reuniones					4		1	1	
Lobby de Dirección					2		1	1	
CCTV			1				1	1	
Coordinación pregrado					4		1	1	
Sala de Espera					2		1	1	

ZONAS	L28	L28'	L32	LE	L17	L26	Fotocelda	ST4F	ST3F
Coordinación									
Pregrado									
Oficinas modulares		9		1	21	1	11	7	
Corredor acceso		4							2
Corredor posgrados		1							1
Aseo						1		1	
Cafetería						1		1	
WC Dirección E3T						1		1	
WC1						1		1	
WC2						1		1	
Cuarto técnico		1						1	
Convenciones									
Luminaria fluorescente 1x28 W 120 V bañadora de pared									L28
Luminaria fluorescente 2x28 W 120									L28'
Luminaria fluorescente 3x32W 120 V, balastro Dimerizable									L32
Luminaria fluorescente 4X17W doble balastro									L17
Luminaria fluorescente compacta 1x26W									L26
Sensor ocupacional infrarrojo de techo con fotocelda									ST4F
Sensor CX100-3 con fotocelda tipo 3									ST3F

Tabla E.4 Inventariado de equipos ofimáticos del Quinto Piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

ESPACIO	N° Equipos		Consumo PC's	Consumo Video	Consumo total
	PC	Impresora	[W]	Beam [W]	[w]
Dirección E3T	1	1	120	100	220
Asistente de Dirección	1	1	120	100	220
Sala reuniones	1	-	120	100	220
Coordinación de especializaciones	1	1	120	100	220
Coordinación de proyectos	4	2	480	200	680
Secretaria administrativa	4	2	480	200	680
Secretaria Especializaciones	1	1	120	100	220
Secretaria de postgrados	1	1	120	100	220
Asistente y auxiliar postgrados	1	1	120	100	220
Coordinación de postgrados	2	1	240	100	340
Otros	1	-	120	-	120
Zonas comunes, pasillos, baños	2	-	240	-	240
TOTALES	10	9	1200	900	2100
TOTAL CONSUMO	10 000				

Especificaciones de sistema de climatización.

Las especificaciones de los sistemas de climatización de la edificación son mostradas en la Tabla E.5 de acuerdo con lo especificado en los términos definitivos de la convocatoria pública N° 16 de 2012, disponible en la página de contratación del sitio web se la universidad.

Tabla E.5. Unidades de climatización del Edificio Ingeniería Eléctrica.

Ubicación	Tipo	Capacidad térmica [Btu/h]	Capacidad térmica de la Unidad [kW]	Número de Unidades	Capacidad térmica total [kW]
Sótano	Manejadora tipo Fan-coil piso-techo SEER 13	36 000	10,551	2	21,102
Aula 13	Manejadora tipo Fan-coil casete + bomba de calor incorporada SEER 13	36 000	10,551	2	21,102
Aula 14	Manejadora tipo Fan-coil casete + bomba de calor incorporada SEER 13	36 000	10,551	2	21,102
Aula 15	Manejadora tipo Fan-coil casete + bomba de calor incorporada SEER 13	36 000	10,551	2	21,102
Aula 16	Manejadora tipo Fan-coil casete + bomba de calor incorporada SEER 13	36 000	10,551	2	21,102
CCTV	Mini Split tipo pared - Condensadora vertical SEER 13	9 000	2,637	1	2,637
Sala de reuniones	Mini Split tipo pared - Condensadora vertical SEER 13	24 000	7,034	1	7,034
Dirección E3T	Mini Split tipo pared - Condensadora vertical SEER 13	12 000	3,517	1	3,517

Especificaciones del sistema de automatización.

Las especificaciones en automatización fueron obtenidas de los planos facilitados por el director del proyecto de grado, dichas especificaciones son contenidas en la Tabla E.6 mostrada a continuación.

Tabla E.6 Inventariado del sistema de automatización del Quinto Piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

ZONA	S.F	S.E	E	S.T	P.A	E.M	S.D
Coordinación de pregrado	1				1		
Cuarto Técnico	1				1		
Sala de reuniones	1						
Dirección E3t	1	1			1		
Baño dirección							
Aseo							
WC			1				
WC2			1				
Cafetería			1	1			
CCTV	1				1		
corredor secretaria posgrados					1		
Lobby	1						
corredor de acceso	2	1					
Oficinas Modulares	12	1	4	2		2	
sala espera coordinación	1	1					
Convenciones							
S.F: Sensor Fotoeléctrico							

S.E: Sirenas Estrobos
E: Estrobos
S.T: Sensor Térmico
P.A: Puertas Automatizadas
E.M: Estación Manual
S.D: Sensor Dual

ANEXO F. TIPOS DE BLOQUES EN DESIGNBUILDER

DesignBuilder permite modelar tres tipos de bloques distintos: bloque edificio (color gris), bloque componente (color morado, marrón y verde) y bloque de contorno (color aguamarina) como se observa en la Figura F.1.

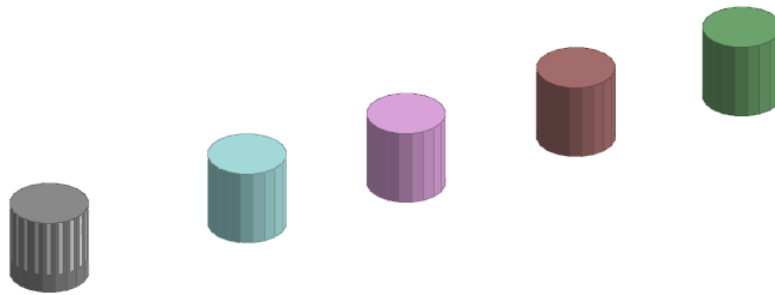


Figura F.1. Tipos de bloque en *DesignBuilder*.

El bloque edificio, es el que más detalles constructivos tiene, ya que una vez hecho, se genera automáticamente una zona compuesta por muros exteriores e interiores, pisos y techos. Las dimensiones del bloque a construir son editadas en las opciones de dibujo mostradas en la Figura F.2, dichas opciones se ubican en la parte inferior izquierda del entorno gráfico de *DesignBuilder*.

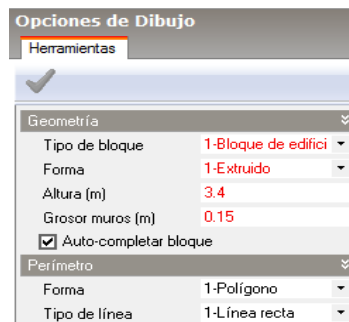


Figura F.2. Opciones de Dibujo para bloques en *DesignBuilder*.

Allí es posible elegir el tipo de bloque a dibujar, y la forma a la cual se desea hacerlo, ya sea rectangular, circular o polígono.

Es importante aclarar al lector que al dibujar varios bloques edificio, es decir, uno encima del otro, el techo de un piso o más bien la placa, que no sea la del piso último, va a ser el 'suelo interior' del piso que lo sucede. Por eso en el momento de establecer la altura del bloque, es necesario contar con la medida de la placa.

Una vez generado el bloque es posible editar los cerramientos del mismo a partir de la definición de plantillas configuradas por capas que permiten la selección de materiales existentes en las bibliotecas de *DesignBuilder* o la adición de nuevos materiales; todo esto en la pestaña de cerramientos mostrada en la Figura F.3. Dicha edición de cerramiento se especifica en la sección de llenado de datos del modelo real del capítulo 4.

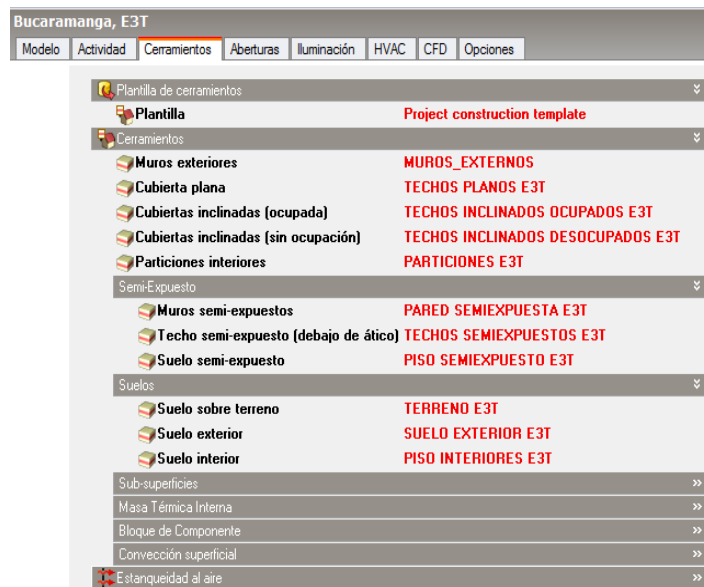


Figura F.3. Etiqueta de Cerramientos de datos del modelo.

Otro tipo de bloque que puede generarse en *DesignBuilder* es el bloque componente, limita su composición a solo un material, es usado para modelar

Editar cerramientos - DIVISION MODULAR SALA DE REUNIONES

Cerramientos Datos

Capas | Imagen | **Calculado**

Superficie interior		«
Coeficiente de transferencia convectiva de calor (W/m ² ·K)	2.152	
Coeficiente de transferencia radiativa de calor (W/m ² ·K)	5.540	
Resistencia superficial (m ² ·K/W)	0.130	
Superficie exterior		«
Coeficiente de transferencia convectiva de calor (W/m ² ·K)	19.460	
Coeficiente de transferencia radiativa de calor (W/m ² ·K)	5.540	
Resistencia superficial (m ² ·K/W)	0.040	
Sin Puentes Térmicos		«
Valor U de superficie a superficie (W/m ² ·K)	2.125	
Valor R (m ² ·K/W)	0.641	
Valor U (W/m²·K)	1.561	
Con puentes térmicos (BS EN ISO 6946)		«
Límite superior de resistencia (m ² ·K/W)	0.641	
Límite inferior de resistencia (m ² ·K/W)	0.641	
Valor U de superficie a superficie (W/m ² ·K)	2.125	
Valor R (m ² ·K/W)	0.641	
Valor U (W/m²·K)	1.561	

Figura F.5. Datos térmicos división modular piso-techo de Sala de Reuniones quinto piso en *DesignBuilder*.

ANEXO G. DATOS DEL MODELO

En este anexo se detallan los parámetros seleccionados en las distintas pestañas asociadas a los datos del modelo.

DATOS DE ACTIVIDAD

En este apartado del anexo G se detallan los parámetros de actividad requeridos por el software.

Densidad de personas

Este dato permite establecer el número de personas por unidad de área de suelo, es usado en las simulaciones junto con las condiciones metabólicas y los días festivos para calcular las ganancias de calor asociadas a las personas. Para la realización de este cálculo se consideró el personal equivalente de tiempo completo en los espacios del edificio [3], así como el área de cada uno de los espacios a ocupar. La Tabla G.1 presenta la densidad de personas de cada uno de los niveles de la edificación.

Tabla G.12. Estimación de la densidad de personas para el Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Nivel	Personal equivalente tiempo completo	Área Ocupada aproximada [m ²]	Densidad [Personas/m ²]
0	12,5	244	0,051
1	119,9	549	0,218
2	175,2	554	0,310
3	146,0	559	0,261
4	120,8	459	0,263
5	13,3	335	0,043
Total Edificio	587,7	2 700	0,217

Programa de operación de la ocupación

El programa de ocupación del quinto piso es definido en el anexo H que trata sobre definición de programas de ocupación.

Condiciones metabólicas

Estos datos permiten establecer las condiciones metabólicas acordes con el nivel de actividad dentro del espacio. Es posible seleccionar de una lista la actividad más acorde con cada espacio del edificio, para el quinto piso de selecciono como actividad el trabajo en oficina. Una vez es seleccionada la actividad del espacio, *DesignBuilder* asigna internamente la tasa metabólica asociada a dicha actividad, para la actividad de trabajo en oficina la tasa interna asociada es de 120 W/persona.

Otro dato importante en las condiciones metabólicas es el factor metabólico, valor que permite considerar personas de diferentes constituciones físicas, para el caso del quinto piso fue adoptado un valor de 0,9 con el propósito de considerar tanto mujeres como hombres.

Vestimenta

En *DesignBuilder* es necesario definir el nivel de vestimenta de los ocupantes en épocas de verano e invierno. Estos datos son empleados para la generación de resultados de confort térmico. En el quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica I se desempeñaran labores administrativas por lo que se ha fijado un valor de vestimenta de 1,0 y 0,5 [Clo] para invierno y verano respectivamente.

Festivos

Es necesario introducir el número de días festivos para incluir efectos de inactividad o desocupación del edificio en algunas épocas del año. Para Colombia se determinó un número aproximado de 20 días festivos asociados a conmemoración de fechas patrias e históricas, así como festividades religiosas.

Control ambiental

Son requeridos datos como la temperatura ideal de refrigeración que para los espacios climatizados artificialmente del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica I, este valor se fijó en 24°C.

También es requerido el valor de la temperatura de funcionamiento de la ventilación natural, *DesignBuilder* utiliza este valor para simular el control de ingreso de aire exterior, este valor ha sido fijado también en 24°C de acuerdo con la temperatura de confort para espacios de oficinas.

Aire fresco mínimo por persona

Este dato es empleado para los cálculos de flujo de ventilación natural, siempre que se haya definido como tipo de flujo el aire mínimo por persona; el valor introducido es de 10 l/s-persona, valor establecido por defecto en el software.

Condiciones de iluminación

El programa pide definir el valor mínimo de iluminancia, este valor puede ser definido para todo el edificio o zona por zona, para el caso del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP, en su Tabla 440.1 recomienda un valor medio de 500 luxes para espacios con tareas de oficinas.

En la Tabla G.2 se muestran los valores de densidad de potencia en iluminación especificados para cada una de las zonas del quinto piso. Dichos valores son adoptados del estándar ASHRAE 90.1 de 2007.

Tabla G.2. Valores de LPD según el espacio del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Nombre del espacio	Área [m ²]	DPI [W/m ²]	Luxes
Dirección E3T	20,5	12	500
Lobby dirección	9,4	12	500
WC dirección	4	6	150
Aseo	2,3	6	150
WC	3,4	6	150
Cafetería	2,6	13	300
CCTV	8,3	12	500
Sala de reuniones	22,5	14	500
Corredor secretaria posgrados	13	6	150
Cuarto técnico	9,7	12	300
Corredor de acceso	100	6	150
Coordinación pregrado	24,5	12	500
Oficinas tipo modulares	211	12	500

Para los demás niveles de la edificación se eligió el valor de densidad de potencia de iluminación de 13 W/m² asociado a escuelas y universidades, según la Tabla 9.5.1 del estándar ASHRAE 90.1 de 2007.

Ganancias

DesignBuilder solicita el valor de la ganancia térmica asociada a computadores y equipos ofimáticos para eso se estableció en primer lugar un inventario aproximado de la cantidad de equipos asociados a cada uno de los espacios del quinto piso, también fueron asumidos consumos de 120 W para computadores y 100 W para equipos varios.

En la Tabla G.3. son mostradas las ganancias térmicas correspondientes a los equipos ofimáticos asociados a cada uno de los espacios del quinto piso.

Tabla G.3 Relación de ganancias de equipos ofimáticos asociados a cada uno de los espacios del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Nombre del espacio	Área [m ²]	N° PC	N° Equipos varios	Ganancia Computadores [W/m ²]	Ganancias Equipos varios [W/m ²]
Dirección E3T	20,5	1	1	5,85	,87
Lobby Dirección E3T	9,4	-	-	-	-
WC dirección	4	-	-	-	-
Aseo	2,3	-	-	-	-
WC	3,4	-	-	-	-
Cafetería	2,6				

Nombre del espacio	Área [m ²]	N° PC	N° Equipos varios	Ganancia Computadores [W/m ²]	Ganancias Equipos varios [W/m ²]
		-	-	-	-
CCTV	8,3	1	1	14,45	12,04
Sala de reuniones	22,5	1	1	5,33	4,44
Corredor secretaria posgrados	13	-	-	-	-
Cuarto técnico	9,7	-	-	-	-
Corredor de acceso	100	-	-	-	-
Coordinación pregrado	24,5	2	2	9,79	8,16
Oficinas tipo modulares	196	14	14	8,57	7,14

DATOS DE ABERTURAS

La Tabla G.4 relaciona los tipos de ventanas con mayor acristalamiento presentes en el quinto piso con los datos de marcos y divisiones que el programa solicita.

Tabla G.4. Datos de marcos y divisiones para ventanas con mayor acristalamiento del quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Dato	Tipo de Ventana		
	V4	V14	V15
Ancho del marco [cm]	3,5	2	3,5
Proyección exterior del marco [cm]	3,5	4	3
Proyección interior del marco [cm]	4	4	0,5
N° de divisores verticales	3	5	-
N° de divisores horizontales	2	2	1
Ancho del divisor [cm]	3	6	3
Proyección interior del divisor [cm]	4	4	0,5
Proyección exterior del divisor [cm]	4	1	0,5
Material del marco	Aluminio		

Para el modelamiento del sombreado definido para las ventanas exteriores del quinto piso se requiere en primer lugar el tipo de dispositivo de sombreado local que para este caso son las persianas exteriores que son de tamaños distintos; los datos requeridos por el programa asociados a cada tipo de persiana son presentados en la Tabla G.5.

Tabla G.5. Datos requeridos por *DesignBuilder* asociados al dispositivo de sombreado exterior.

Dato	Tamaño de persiana	
	Grande	Pequeña
Número de laminas	9	22
Desplazamiento vertical desde la parte superior de la ventana [cm]	12	0
Espaciamiento vertical [cm]	28	5
Ancho de la lámina [cm]	11	10
Ángulo [°]	45	45
Distancia desde la ventana [cm]	80	30
Solapamiento horizontal de la ventana [cm]	0	25

DATOS DE ILUMINACIÓN

La densidad de energía de iluminación relacionada con cada una de las zonas es un dato importante considerado dentro de los datos del modelo en la etiqueta de iluminación. En la tabla G.6. Se muestran dichos valores.

Tabla G.6 Energía de iluminación asociada a los espacios del quinto piso.

Espacio	Área [m ²]	Tipo de Lámpara	Cantidad	Potencia total [W]	Densidad de iluminación [W/m ²]
Dirección E3T	20,5	Fluorescente 4X17W	4	272	13,26
Lobby	9,4	Fluorescente	2	136	14,46

Espacio	Área [m ²]	Tipo de Lámpara	Cantidad	Potencia total [W]	Densidad de iluminación [W/m ²]
dirección		4X17W			
WC dirección	4	Fluorescente 1X26W	1	26	6,5
WC	2,3	Fluorescente 1X26W	1	26	11,3
Aseo	3,4	Fluorescente 1X26W	1	26	7,64
Cafetería	2,6	Fluorescente 1X26W	1	26	10
CCTV	8,3	Fluorescente 3X32W	1	96	11,56
Sala de reuniones	22,5	Fluorescente 4X17W	4	272	12,08
Corredor secretaria de posgrados	13	Fluorescente 2X28W	1	56	4,3
Cuarto técnico	9,7	Fluorescente 2X28W	1	56	5,77
Corredor de acceso	100	Fluorescente 2X28W - 4X17W	1	360	3,6
Coordinación de pregrado	24,5	Fluorescente 4X17W	4	272	11,1

Espacio	Área [m ²]	Tipo de Lámpara	Cantidad	Potencia total [W]	Densidad de iluminación [W/m ²]
Oficinas tipo modulares	211	Fluorescente 4X17W - 1X26W	36 - 1	2 474	11,72

DATOS DEL SISTEMA HVAC

El programa de funcionamiento del aire acondicionado se fijó a través de un perfil 7/12, tal como se observa en la Figura G.1.

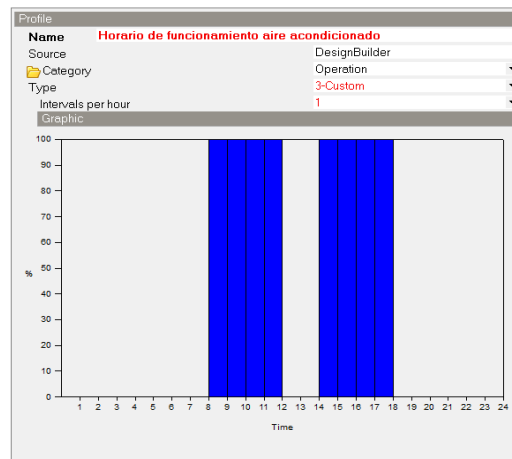


Figura G.1. Perfil de funcionamiento del sistema de aire acondicionado.

Un valor importante a especificar es el COP (Coefficient Of Performance), que generalmente es requerido en las simulaciones para dimensionar el sistema de climatización y por ende su consumo energético.

Para el cálculo del COP es necesario determinar la razón de eficiencia de energía, EER (Energy Efficiency Ratio por sus siglas en inglés), tomando como base el SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio).

$$EER = -0.02 \times SEER^2 + 1.12 \times SEER$$

$$EER = -0.02 \times 13^2 + 1.12 \times 13 = 11.18$$

A continuación se presenta el cálculo del COP para las unidades climatizadores del quinto piso teniendo en cuenta que el SEER de dichas unidades corresponde a un valor de 13.

$$COP = \frac{EER}{3.14214} = 3.28$$

ANEXO H. CONFIGURACION DE LAS OPCIONES DEL MODELO

A continuación se procede a mostrar la conceptualización y la justificación de las opciones de modelo seleccionadas para la realización del modelado computacional del edificio según especificaciones definidas y el modelo base o Baseline.

Rango de análisis

Mediante el control deslizante del rango de análisis es posible establecer el nivel de análisis que va desde una zona única, hasta el edificio completo; para el propósito de este trabajo de grado deben realizarse simulaciones que incluyan las instalaciones del quinto piso del Edificio de Ingeniería.

Nivel de datos de cerramientos y acristalamientos

A través de este control deslizante es posible definir la manera en que las plantillas de cerramientos son cargadas en la asignación de los datos del modelo; para el modelo realizado se fijó la opción de “General” que permite cargar aquellas plantillas preestablecidas y que han sido creadas específicamente para el modelo.

Modelado de ganancias internas

El modelamiento de las ganancias internas en *DesignBuilder* puede realizarse de tres maneras distintas: agrupadas, simplificadas y detalladas.

Para modelar las ganancias internas del quinto piso se definió la opción de “ganancias simplificadas”, recomendada para generar ganancias agrupadas de

equipos existentes, en esta opción las ganancias internas son definidas mediante la etiqueta de equipos, en los datos del modelo.

Opciones de sincronización

El control deslizante de sincronización permite modelar la operación de un edificio en *DesignBuilder*, esta puede darse de dos maneras distintas: mediante día laborable ó mediante programaciones; la Tabla H.1 describe brevemente las características asociadas a cada una de las opciones anteriormente mencionadas.

Tabla H.1 Opciones de modelado de la operación de un edificio en *DesignBuilder*.

Día laborable	La operación se define estableciendo un tiempo de inicio y un tiempo de final, así como días laborables por semana y variaciones estacionales. Esta aproximación se ha hecho para el modelado de edificios no domésticos en las etapas de diseño iniciales.
Programaciones	La operación se puede definir para cada día de la semana y cada mes del año mediante perfiles diarios o mediante programas compactos. Dichos programas requieren de más tiempo para su definición que la opción de sincronización de día laborable.

Para el caso del quinto piso se escogió modelar la operación mediante programaciones. Esta opción fue fijada también para manejar la ocupación de los demás niveles de la edificación.

Al definir la opción de programaciones es posible establecer programas de operación mediante perfiles 7/12, llamados así porque es posible definir programaciones para todos los días de la semana y para todos los meses del año, dando lugar así la configuración de posibles variaciones en cuanto a la ocupación, el uso de los equipos y la temperatura, posibilitando un modelado más parecido a la realidad en cuanto al funcionamiento de la edificación.

Los perfiles de la programación 7/12 pueden definirse de tres formas distintas: constante, periodo único y personalizado, siendo este último el más flexible debido a que es posible definirlo mediante un conjunto de intervalos que pueden adoptar distintos valores de ocupación.

Para ilustrar lo anterior se muestra a manera de ejemplo la definición del programa de operación de la ocupación diaria de las instalaciones administrativas del quinto piso del edificio, requerido en el encabezado de ocupación de la etiqueta Actividad de los datos del modelo.

Para esto fue necesario crear una nueva plantilla de programa de ocupación a la que se le llamo "Ocupación de la E3T", dicho programa fue configurado a través de perfiles 7/12, en la Figura H.1 se muestra el perfil de ocupación para un día cualquiera comprendido entre el lunes y viernes.

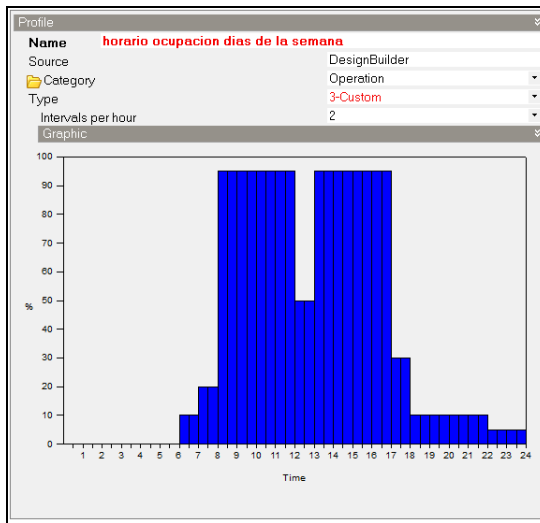


Figura H.1. Perfil de ocupación de lunes a viernes para el quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Para el sábado se definió el perfil de ocupación mostrado en la Figura H.2; los porcentajes de ocupación de los dos perfiles anteriores fueron tomados de los programas de ocupación de la Tabla G-1 del manual de usuario del estándar ASHRAE 90.1 de 2004, incluida en el Anexo J.

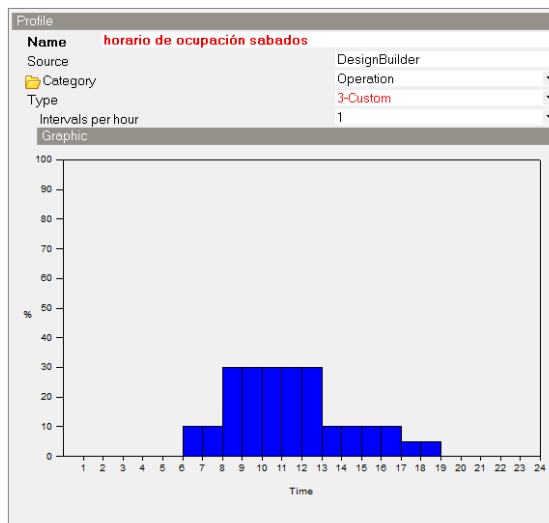


Figura H.2. Perfil de ocupación para los sábados para el quinto piso del edificio de Ingeniería Eléctrica.

En días de baja ocupación como los domingos se presenta el perfil de la Figura H.3, tomado también de la Tabla G-I del manual de usuario de la ASHRAE 90.1 de 2004.

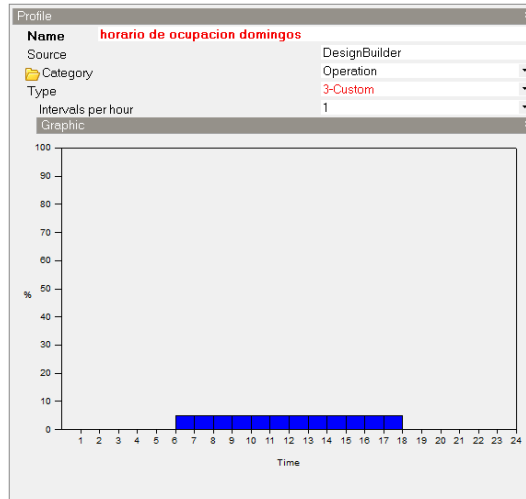


Figura H.3. Perfil de ocupación para los domingos para el quinto piso del Edificio de Ingeniería Eléctrica.

Modelado del sistemas HVAC

Es posible modelar en *DesignBuilder* los sistemas HVAC de tres maneras distintas: simple, compacto y detallado. El modelado simple se realiza mediante algoritmos básicos de cálculo de cargas, mientras que el modelado compacto y detallado emplea algoritmos más detallados de EnergyPlus y diagramas esquemáticos para describir los sistemas de climatización [1], [2].

En las instalaciones del quinto piso solo se cuenta con tres salidas de aire acondicionado del tipo Mini-Split ubicadas en los espacios destinados a la Dirección de la E3T, sala de reuniones y CCTV; se seleccionó la opción de HVAC compacto.

Opciones de ventilación natural

DesignBuilder permite modelar la ventilación natural como programada y calculada. Para modelar la ventilación natural en las instalaciones del quinto piso se definió la ventilación natural de tipo calculada; en esta opción las tasas de ventilación se calculan tomando en cuenta aspectos como la presión del viento, la dimensión y operación de las aberturas y el tamaño de las grietas. Esta configuración permite conocer las tasas de ventilación que se pueden lograr con una determinada configuración del edificio.

La activación de este tipo de ventilación natural se realiza mediante la selección de la casilla del mismo nombre en la etiqueta de HVAC de los datos del modelo. El control de la ventilación natural se realiza mediante parámetros de operación como datos de ventanas, rejillas y valores de temperatura de funcionamiento que han sido fijados con anterioridad en la pestaña de aberturas y de actividad de los datos del modelo.

ANEXO I. MODELO APROXIMACIÓN DE TUBO SOLAR

En este anexo se presentan los análisis que permitieron la selección de la aproximación más adecuada para el modelamiento de los tubos solares en DesignBuilder. En la Figura I.1 y I.2 son mostradas las curvas isométricas obtenidas mediante el programa *DIALux* para los tubos solares de 25 cm y 35 cm respectivamente.

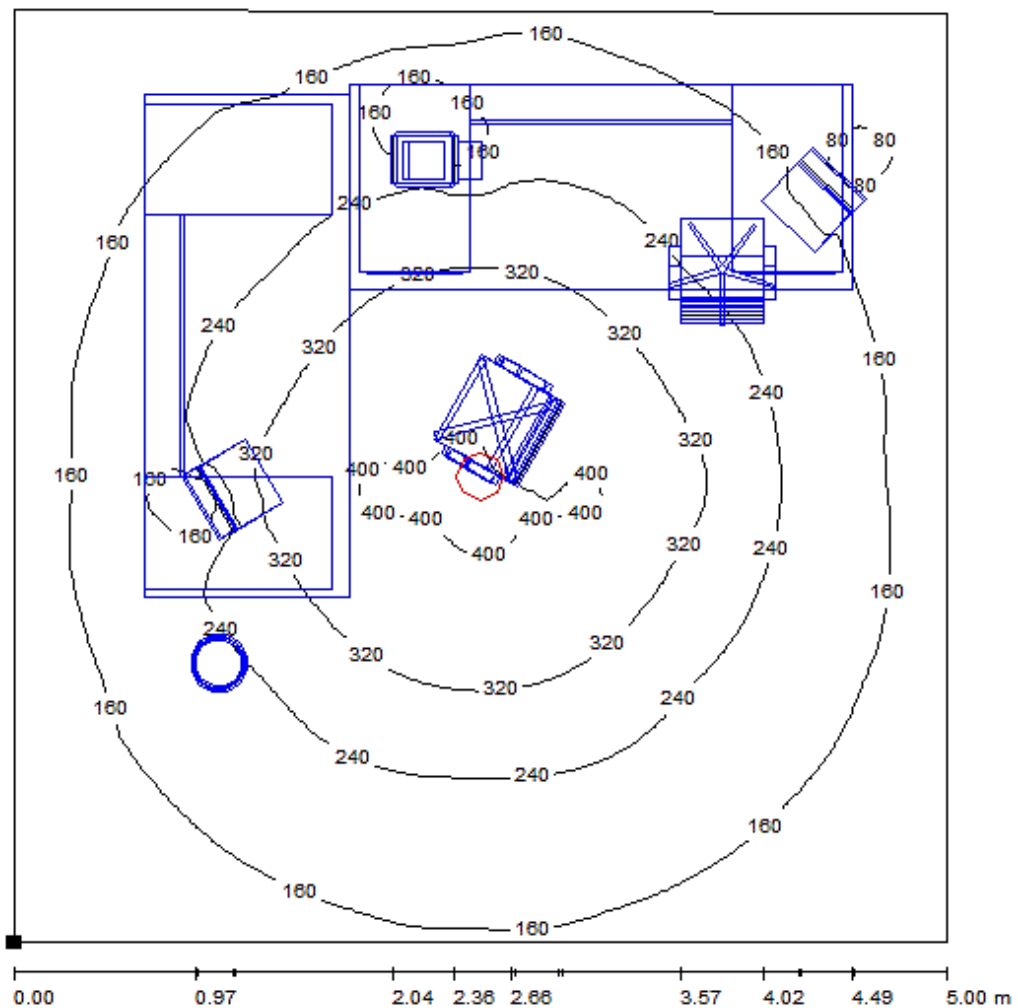


Figura I.1. Curvas isométricas de niveles de iluminancia para el tubo solar de 25 cm.

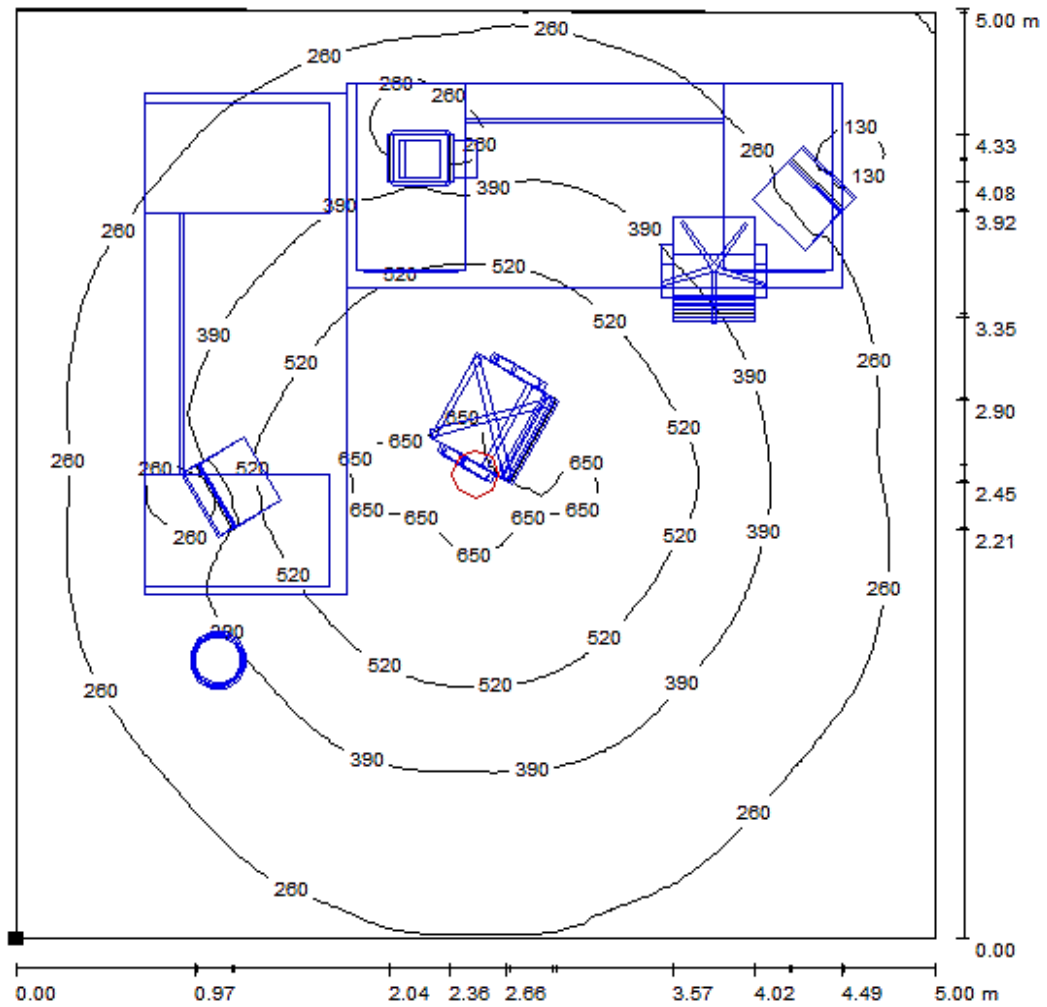


Figura I.2. Curvas isométricas de niveles de iluminancia para el tubo solar de 35 cm.

Con el propósito de realizar una aproximación de los tubos solares en *DesignBuilder* que tuviera en cuenta los resultados de iluminancia del *DIALux*, se consideraron tres alternativas, las cuales son enunciadas a continuación en la Tabla I.1.

Tabla I.1. Alternativas consideradas para el modelamiento de los tubos solares.

Alternativa	Representación gráfica
<p>Abertura horizontal en cubierta</p>	
<p>Cono geométrico en una cubierta</p>	
<p>Bloque rectangular en cubierta con abertura horizontal</p>	

Para el análisis de las aproximaciones consideradas se elaboró la Tabla I.2 que contiene las ventajas y desventajas asociadas a cada configuración.

Tabla I.2. Ventajas y desventajas de las aproximaciones para tubos solares consideradas.

Aproximación	Ventajas	Desventajas
Ventana en la cubierta	Fácil modelado, permite una configuración más rápida de la Figura. No se crean zonas de más.	Los rayos incidentes chocan con la parte transversal de la placa teniendo que modelarse con una venta mucho más grande, ocupando así más espacio
Cono en la cubierta	Al tener el muro inclinado hace que los rayos se reflejen al interior. Permite hacer una abertura más pequeña de la ventana	Demora en la simulación por gran cantidad de superficies que conforman el cono. Restricciones en cuanto al diámetro, debe ser grande, ocupando gran superficie del techo. Creación de una zona de más.
Bloque en la cubierta	Menor cantidad de superficies que la componen. Se crea un cono virtual ayudando a la reflexión de rayos al interior. Rápida configuración.	Creación de una zona de más.

Teniendo en cuenta la Tabla I.2, se selecciona la configuración del bloque en la cubierta, debido a que es la opción más atractiva de modelar en cuanto al direccionamiento de la luz natural al interior de los espacios, así como la simplicidad en su modelado geométrico.

Las medidas de la longitud y altura del bloque, así como el diámetro del vidrio de la abertura ubicada sobre el techo del mismo, se determinaron a partir de los valores especificados en la Tabla I.3 que presenta la relación entre el aprovechamiento de la luz natural y el diámetro superior de un cono.

Tabla I.3. Diámetro del cono superior dependiente de la luz incidente para ciertos ángulos.

Horas de Incidencia Luz Natural		Angulo Horario	Diámetro Superior Cono [m]
Am	Pm		
11	1	15	0.53
10	2	30	0.78
9	3	45	1.12
8	4	60	1.7
7	5	75	3.3
6	6	90	Infinito

A partir de lo anterior se determinó un diámetro mínimo de abertura superior de 1 metro (para el tubo solar de menor diámetro) lo que supone un aporte de luz aceptable en el periodo comprendido entre las 9 a.m. y 3 p.m.; para determinar la altura del bloque, se consideró el efecto de reflexión interior de los rayos incidentes con el propósito de mejorar la distribución de la luz natural.

Para verificar la efectividad de la aproximación seleccionada se procedió a realizar simulaciones Daylighting para un mismo espacio en diferentes horas del día 20 de octubre (seleccionado por ser el día en el que el sol realiza la trayectoria más por encima de la cubierta del edificio) y teniendo en cuenta las dos configuraciones distintas de tubos solares. Los resultados obtenidos son mostrados en las figuras I.3 y I.4 respectivamente.

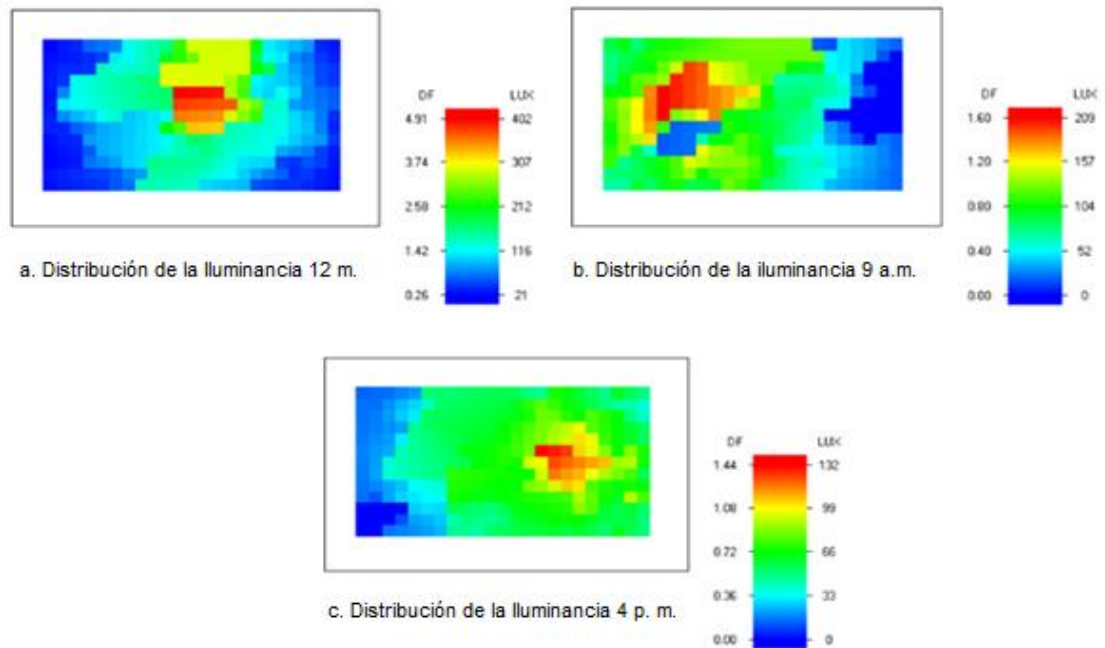


Figura I.3. Simulaciones Daylighting, modelo tubo de 25 cm en *DesignBuilder*.

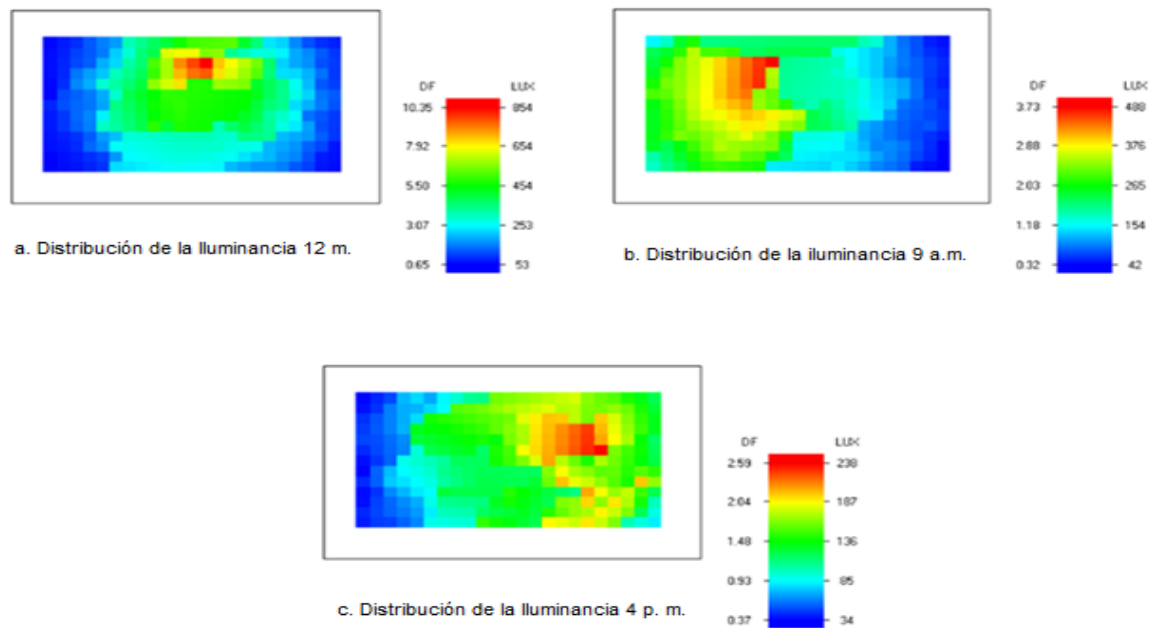


Figura I.4. Simulaciones Daylighting, modelo tubo de 35 cm en *DesignBuilder*.

De acuerdo a los valores establecidos por el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público, RETILAP, los niveles de iluminación en zonas destinadas para el uso de oficinas son de mínimo 300 [lux]. Valor que se cumple al observar las Figuras anteriores.

ANEXO J. REQUERIMIENTO DEL ASHRAE 90.1

Para la determinación del sistema de climatización del modelo base se empleó la Figura J.1, tomada del estándar ASHRAE 90.1 del 2007 [1].

This table combines Table G3.1.1A and Table G3.1.1B from Standard 90.1-2004 for ease of use and clarity. The building types and sizes are shown as columns. System types and specifications are shown in rows. These are grouped first by proposed buildings that use fossil fuels and then by proposed buildings that use electricity.

		Nonresidential			
		Residential	Less than 3 floors or less than 75,000 ft ²	4 or 5 floors or less than 75,000 ft ² or 5 floors or less and 75,000–150,000 ft ²	More than 5 floors or more than 150,000 ft ²
Heating Source	Number/Code	1—PTAC	3—PSZ-AC	5—PVAV w/Reheat	7—VAV w/Reheat
Fossil Fuel, Fossil/Electric Hybrid & Purchased Heat	System Type	Packaged terminal air conditioner	Packaged rooftop air conditioner	Packaged rooftop variable air volume with reheat	Variable air volume with reheat
	Fan Control	Constant Volume	Constant Volume	VAV	VAV
	Cooling Type	Direct Expansion	Direct Expansion	Direct Expansion	Chilled Water
	Heating Type	Hot Water Fossil Fuel Boiler	Fossil Fuel Furnace	Hot Water Fossil Fuel Boiler	Hot Water Fossil Fuel Boiler
Electric and Other	Number/Code	2—PTHP	4—PSZ-HP	6—PVAV w/ PFP Boxes	8—VAV w/ PFP Boxes
	System Type	Packaged terminal heat pump	Packaged rooftop heat pump	Packaged rooftop variable air volume with reheat	Variable air volume with reheat
	Fan Control	Constant Volume	Constant Volume	VAV	VAV
	Cooling Type	Direct Expansion	Direct Expansion	Direct Expansion	Chilled Water
	Heating Type	Electric Heat Pump	Electric Heat Pump	Electric Resistance	Electric Resistance

Figura J.1. Tipos de Sistemas HVAC recomendados por el ASHRAE 90.1 del 2007, tomada de[1].

En la determinación de las distintas programaciones se empleó la Figura J.3. De la cual se tomaron los programas para ocupación, iluminación y sistema HVAC.

Table G-1—Office Occupancy

Hour of Day (Time)	Schedule for Occupancy			Schedule for Lighting Receptacle			Schedule for HVAC System			Schedule for Service Hot Water			Schedule for Elevator		
	Percent of Maximum Load			Percent of Maximum Load						Percent of Maximum Load			Percent of Maximum Load		
	Wk	Sat	Sun	Wk	Sat	Sun	Wk	Sat	Sun	Wk	Sat	Sun	Wk	Sat	Sun
1 (12-1 am)	0	0	0	5	5	5	Off	Off	Off	5	5	4	0	0	0
2 (1-2 am)	0	0	0	5	5	5	Off	Off	Off	5	5	4	0	0	0
3 (2-3 am)	0	0	0	5	5	5	Off	Off	Off	5	5	4	0	0	0
4 (3-4 am)	0	0	0	5	5	5	Off	Off	Off	5	5	4	0	0	0
5 (4-5 am)	0	0	0	5	5	5	Off	Off	Off	5	5	4	0	0	0
6 (5-6 am)	0	0	0	10	5	5	Off	Off	Off	8	8	7	0	0	0
7 (6-7 am)	10	10	5	10	10	5	On	On	Off	7	7	4	0	0	0
8 (7-8 am)	20	10	5	30	10	5	On	On	Off	19	11	4	35	16	0
9 (8-9 am)	95	30	5	90	30	5	On	On	Off	35	15	4	69	14	0
10 (9-10 am)	95	30	5	90	30	5	On	On	Off	38	21	4	43	21	0
11 (10-11 am)	95	30	5	90	30	5	On	On	Off	39	19	4	37	18	0
12 (11-12 pm)	95	30	5	90	30	5	On	On	Off	47	23	6	43	25	0
13 (12-1 pm)	50	10	5	80	15	5	On	On	Off	57	20	6	58	21	0
14 (1-2 pm)	95	10	5	90	15	5	On	On	Off	54	19	9	48	13	0
15 (2-3 pm)	95	10	5	90	15	5	On	On	Off	34	15	6	37	8	0
16 (3-4 pm)	95	10	5	90	15	5	On	On	Off	33	12	4	37	4	0
17 (4-5 pm)	95	10	5	90	15	5	On	On	Off	44	14	4	46	5	0
18 (5-6 pm)	30	5	5	50	5	5	On	On	Off	26	7	4	62	6	0
19 (6-7 pm)	10	5	0	30	5	5	On	Off	Off	21	7	4	20	0	0
20 (7-8 pm)	10	0	0	30	5	5	On	Off	Off	15	7	4	12	0	0
21 (8-9 pm)	10	0	0	20	5	5	On	Off	Off	17	7	4	4	0	0
22 (9-10 pm)	10	0	0	20	5	5	On	Off	Off	8	9	7	4	0	0
23 (10-11 pm)	5	0	0	10	5	5	Off	Off	Off	5	5	4	0	0	0
24 (11-12 am)	5	0	0	5	5	5	Off	Off	Off	5	5	4	0	0	0
Total/Day	920	200	60	1040	280	120	1600	1200	0	537	256	113	555	151	0
Total/Week			48.60 hours			56.00 hours			92.00 hours			30.54 hours			29.26 hours
Total/Year			2534 hours			2920 hours			4797 hours			1592 hours			1526 hours

Wk = Weekday

Figura J.3. Programaciones de ocupación de oficina propuesto por el ASHRAE 90.1 del 2007. Tomada de [1].

ANEXO K. CONFORT TÉRMICO EN EL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

En el momento de evaluar el confort térmico en un sitio, es indispensable tener una referencia o ciertos valores límites que den información de las condiciones de temperatura a la cual el personal del sitio va a sentir buena sensación térmica.

Actualmente, existen dos pilares básicos sobre los cuales convergen las teorías referentes al confort térmico, estas son el confort estático (Fanger 1972) y el adaptable (Auliciems 1989, Nicol 1993, De Dear 1997)[1].

Existen modelos de confort simple y complejos. Para efectos del presente trabajo de grado se emplearan como criterio de evaluación del confort, el modelo simple, pretendiendo dar una noción breve de lo que ello implica sin ser tan rigurosos ni extensivos empleando modelos de confort complejos, teniendo en cuenta que el objeto del presente trabajo de grado es analizar la incidencia de parámetros de aplicaciones sostenibles sobre el consumo energético.

Los modelos de confort simples suelen basarse en la temperatura seca del aire para establecer las condiciones ambientales óptimas en un sitio determinado [2].

La Tabla K.1 muestra las temperaturas de bulbo seco exterior de Bucaramanga y los valores de temperatura para la cual se va a sentir neutralidad térmica y límites inferiores y superiores de confort, ello de acuerdo al modelo de confort adaptable: modo pasivo [2].

Tabla K.1. Temperaturas de bulbo seco exterior de Bucaramanga y límites de confort de acuerdo al modelo simple de confort adaptable: modo pasivo

Confort adaptativo modo pasivo				
Mes	Temperatura de Bulbo Seco Exterior promedio °C	Temperatura de neutralidad térmica °C	Temperatura límite inferior °C	Temperatura límite superior °C
Enero	23,11	25,38	23,63	27,13
Febrero	23,08	25,36	23,61	27,11
Marzo	22,63	25,12	23,37	26,87
Abril	23,21	25,43	23,68	27,18
Mayo	23,24	25,45	23,70	27,20
Junio	23,40	25,54	23,79	27,29
Julio	22,78	25,20	23,45	26,95
Agosto	23,54	25,61	23,86	27,36
Septiembre	22,64	25,13	23,37	26,87
Octubre	22,78	25,20	23,45	26,95
Noviembre	22,17	24,87	23,12	26,62
Diciembre	22,05	24,81	23,06	26,56

ANEXO L. DETERMINACIÓN DEL DÍA CRÍTICO

La determinación del día crítico se realizó teniendo en cuenta en primer lugar el mes con mayor temperatura de bulbo seco de los datos climáticos, la Figura L.1. muestra que el mes con mayor promedio de temperaturas de bulbo seco exterior es agosto, por lo que se procedió a realizar un análisis más afondo del comportamiento energético en dicho mes.

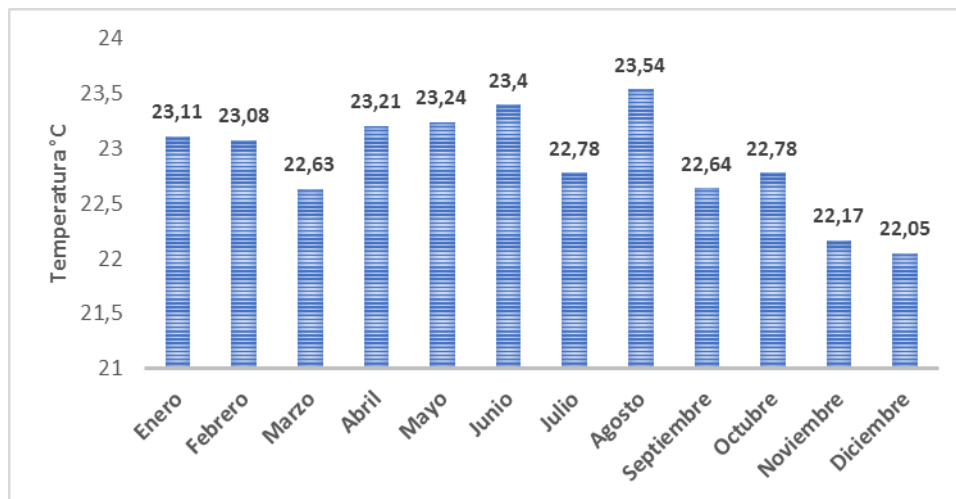


Figura L.1. Temperaturas mensuales promedio de bulbo seco exterior, según archivo de datos climáticos.

La Figura L.2 presenta los el desglose de consumos, temperaturas de confort y ganancias térmicas asociadas a la cubierta y ventanales exteriores presentadas durante todo el mes de agosto en el modelo real.

Para la determinación del día crítico, se realizó el análisis de los distintos máximos, encontrando que para los días 6, 13 y 14 de agosto se presentan altos valores en las temperaturas de confort y en las ganancias térmicas de cubiertas y

ventanales exteriores, lo que supone que en estos días se presentan grandes valores de radiación solar.

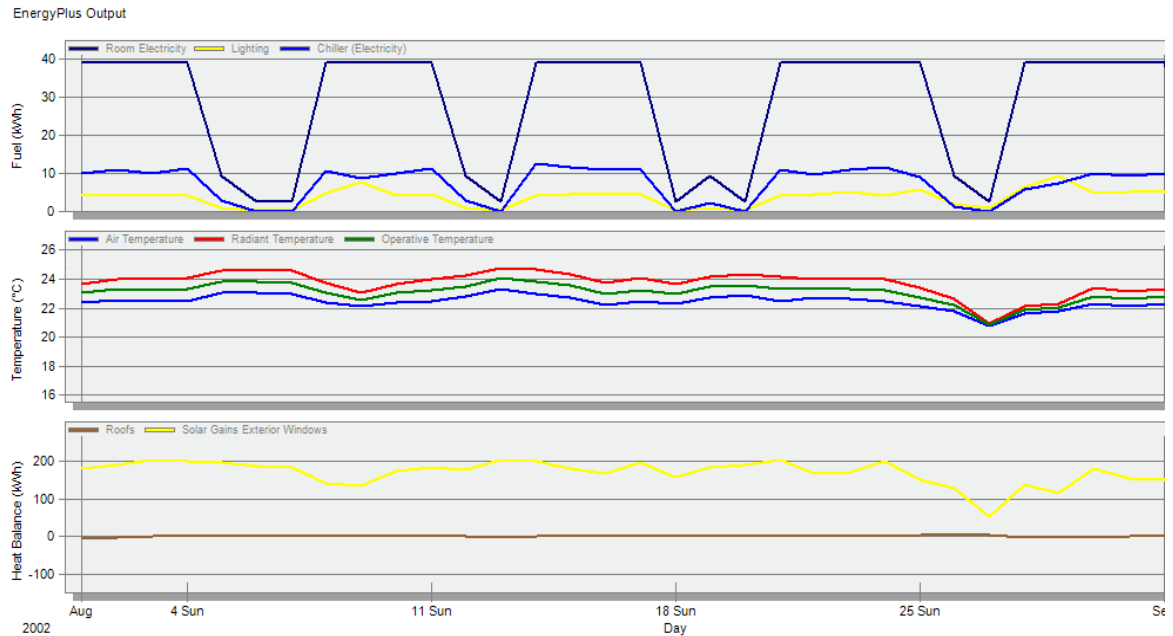


Figura L.2. Comportamiento energético del modelo real para el mes de agosto.

Al contrastar los días de valores máximos de temperatura de confort y ganancias térmicas con las curvas del desglose de consumo energético, se observa que para el 6 y 13 de agosto se presentan consumos casi nulos, hecho asociado a que dichos días son considerados por el software como domingos, a pesar de ser mostrados como martes, hecho que se asocia al año de simulación preestablecido por los desarrolladores de *DesignBuilder* (2002). Por las razones anteriormente expuestas se seleccionó como día crítico el 14 de agosto.

ANEXO M. ANÁLISIS DEL DESGLOSE DE CONSUMOS ENERGÉTICOS

En este anexo se presentan los desgloses de consumo de energía para cada uno de los parámetros variados analizados en el capítulo 6 de simulaciones.

Variación área de acristalamiento

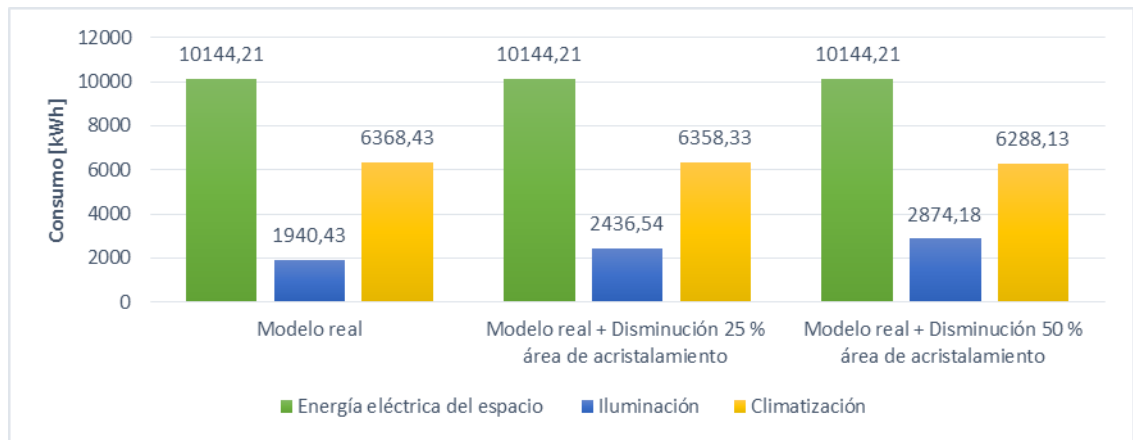


Figura M.1. Desglose del consumo energético para los valores tipo de la variación del área de acristalamiento.

Variación posición de las ventanas

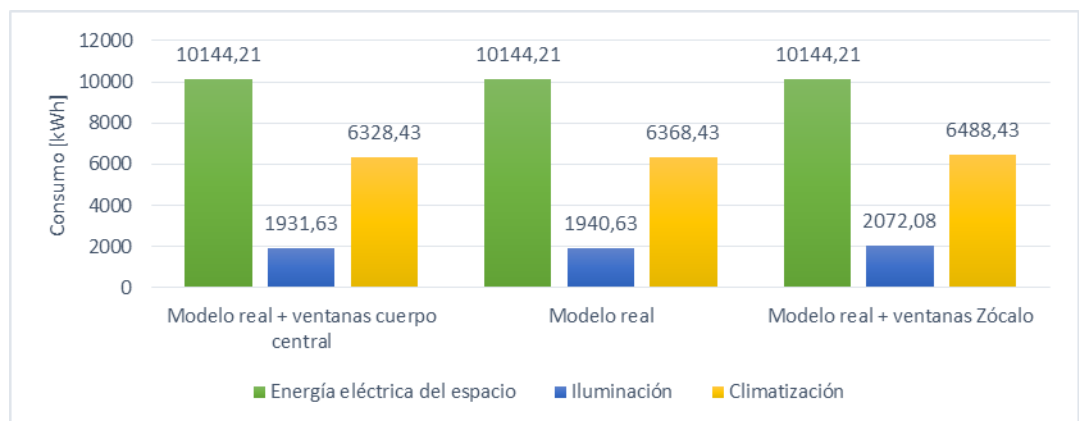


Figura M.2. Desglose del consumo energético para los valores tipo de la variación de la posición de las ventanas.

Variación diámetro tubos solares

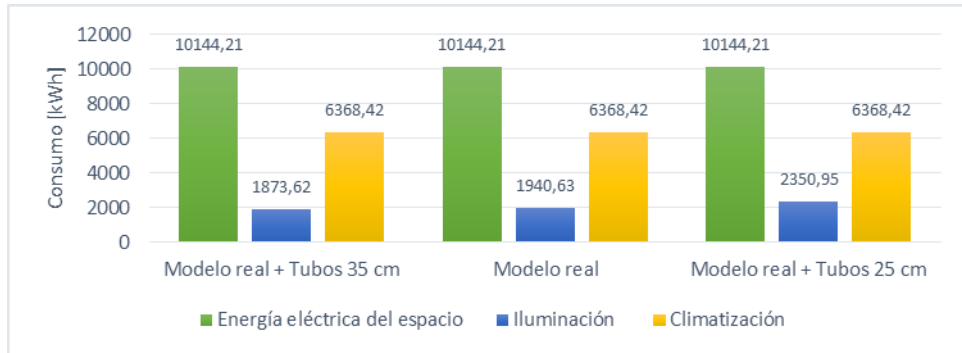


Figura M.3. Desglose del consumo energético para los valores del diámetro de los tubos solares.

Variación espesor del sustrato

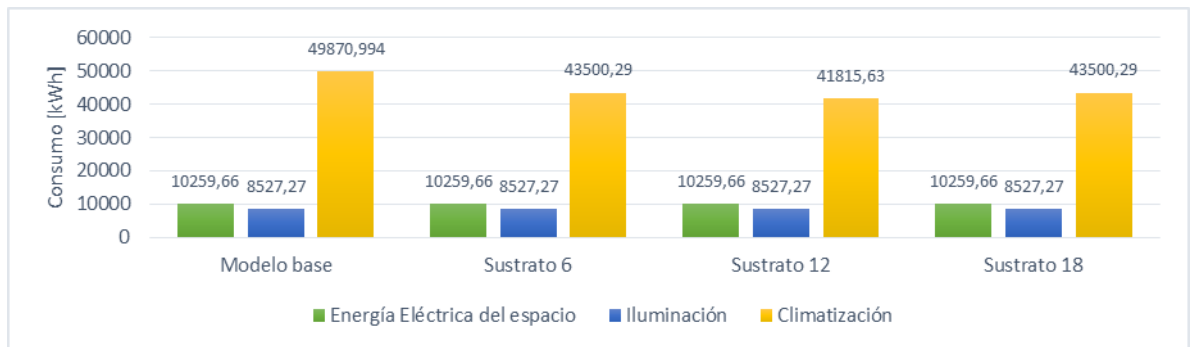


Figura M.4. Desglose del consumo energético para los valores tipo de la variación del espesor del sustrato del techo verde.

Variación altura de las plantas

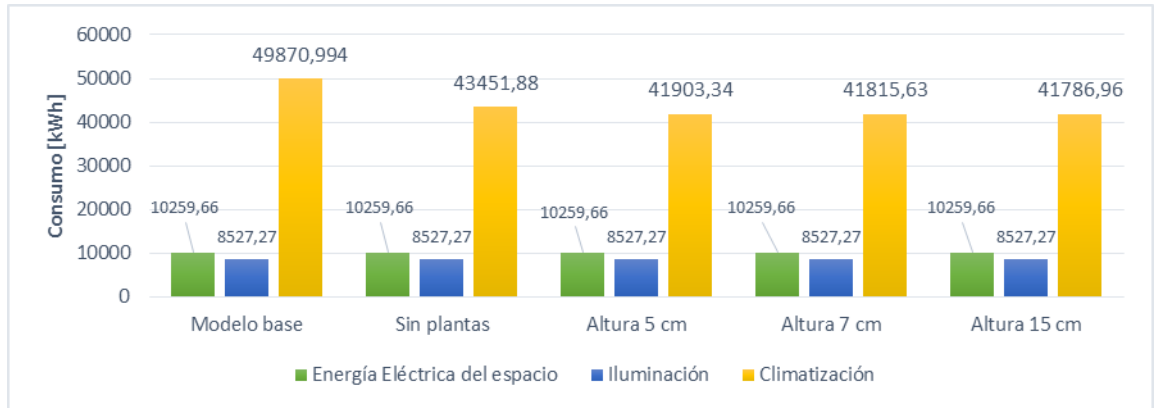


Figura M.5. Desglose del consumo energético para los valores tipo de la variación de la altura de las plantas del techo verde.

ANEXO N. SIMULACIONES DAYLIGHTING

A continuación se presentan los resultados de simulaciones Daylighting que reflejan el comportamiento de la luz en el modelo real, así como en el modelo real con configuraciones de tubos solares de 25 y 35 cm. El día de simulación se determinó de acuerdo con la carta solar del sitio mostrada en la Figura N.1.

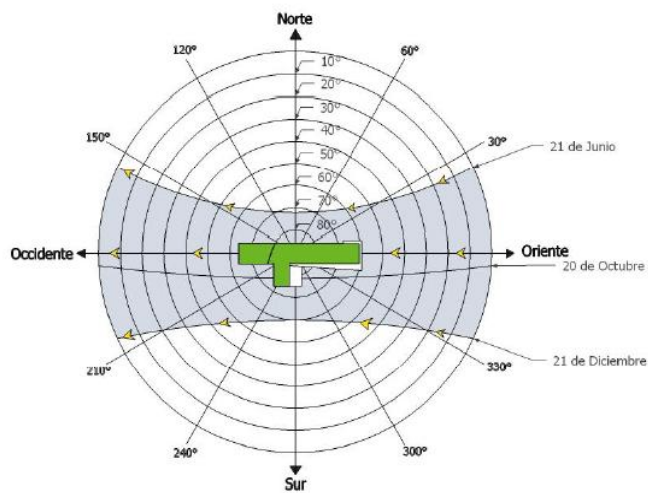


Figura N.1. Carta solar del sitio.

Resultados modelo real

Para el análisis de la iluminación natural aportada por los tubos solares definidos para el modelo real, se seleccionaron dos espacios tipos cada uno con presencia de tubos de distinto diámetro, considerando además una influencia menor de la iluminación natural proveniente de otros dispositivos como ventanales externos.

El análisis se realiza para los espacios denominados como Coordinación pregrado y las oficinas tipo modulares para el día 20 de octubre a las 12 meridiano, día y

hora en el que la trayectoria del sol para más por encima de la cubierta del quinto piso del Edificio de ingeniería Eléctrica, para un escenario de cielo intermedio.

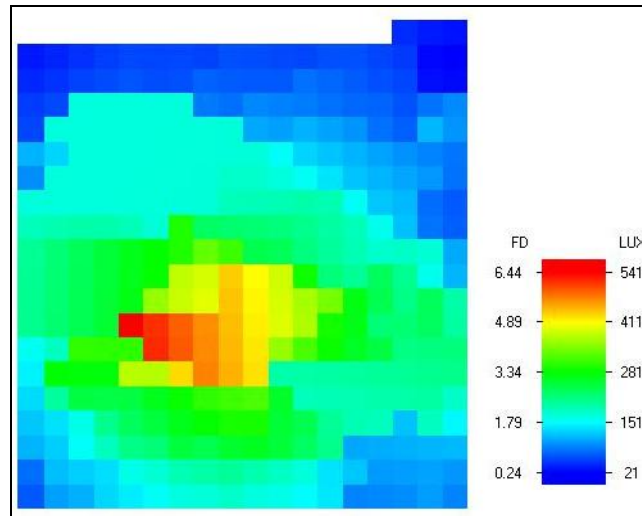


Figura N.2. Mapa de distribución de iluminancias para la oficina de coordinación pregrado.

De acuerdo con el mapa de distribución de iluminancias para la sala de espera de coordinación pregrado mostrado en la Figura N.2, se observa un valor máximo de 541 luxes en el punto de mayor concentración de iluminancia para un tubo solar de 35 cm de diámetro. Al comparar este valor con lo establecido por el RETILAP se encuentra que cumple con el valor mínimo de iluminancia establecido para espacios destinados a oficinas.

La Figura N.3, presenta el mapa de distribución de iluminancias para las oficinas tipo modulares, en ella se observa que los valores máximos iluminancia presentados son de 862 luxes, también son verificables los aportes en iluminación natural de los tubos solares de 35 cm (círculos azules) que proporcionan valores de iluminancia por encima de los 431 luxes, y los tubos solares de 25 cm (círculos rojos) que presentan valores por encima de los 300 luxes.

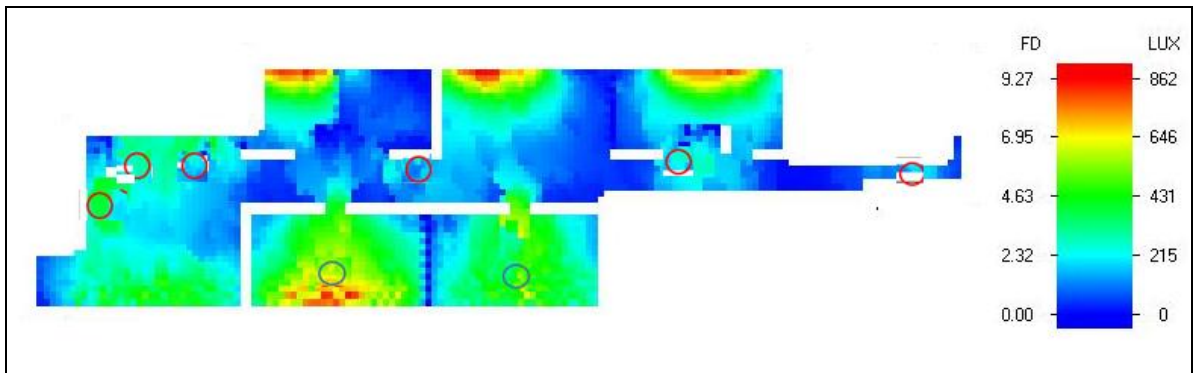


Figura N.3. Mapa de distribución de iluminancias para las oficinas tipo modulares en el modelo real.

Resultados variación del diámetro de tubos solares a 25 cm

En la simulación en la que se varió el diámetro de los tubos solares a 25 cm se observaron los resultados de distribución de iluminancias mostrados en la Figura N.4. Dicha simulación se realizó para el 20 de octubre a las 12 del día para un escenario de cielo intermedio. Se observa que esta configuración de diámetro de tubos solares aporta un valor promedio de 400 luxes, sin embargo es importante tener en cuenta que este valor puede verse influenciado por la iluminación natural asociada a otros dispositivos como ventanales exteriores.

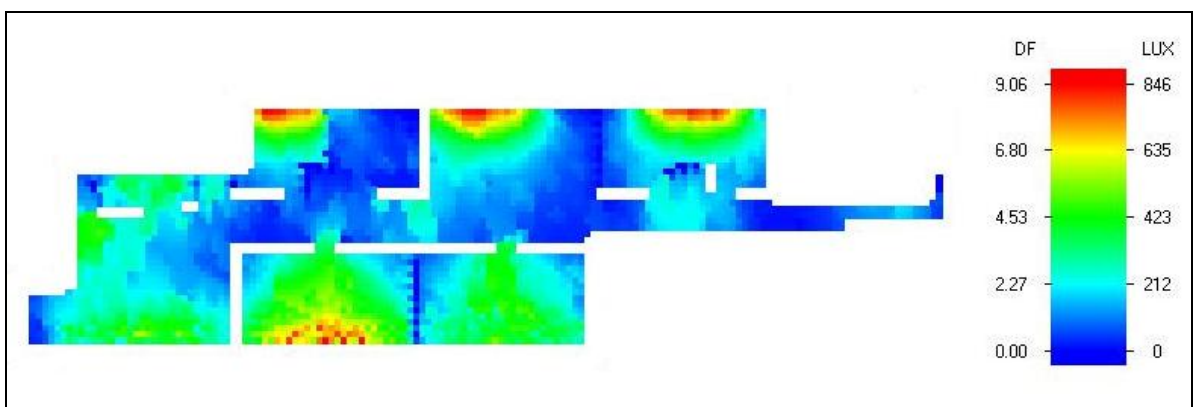


Figura N.4. Mapa de distribución de iluminancias para las oficinas tipo modulares en la configuración de tubos solares de 25 cm.

Resultados variación del diámetro de tubos solares a 35 cm

Los resultados de distribución de iluminancias para los tubos solares con diámetros de 35 cm para las oficinas tipo modulares son mostrados en la Figura N.5. Como se puede observar dichos tubos ofrecen un valor medio de 550 luxes lo que mejora las condiciones de iluminación natural en el espacio iluminado. Por esta razón se prevé un mayor ahorro en el consumo destinado a iluminación, hecho evidenciable en el desglose de consumos para la variación del diámetro de los tubos solares.

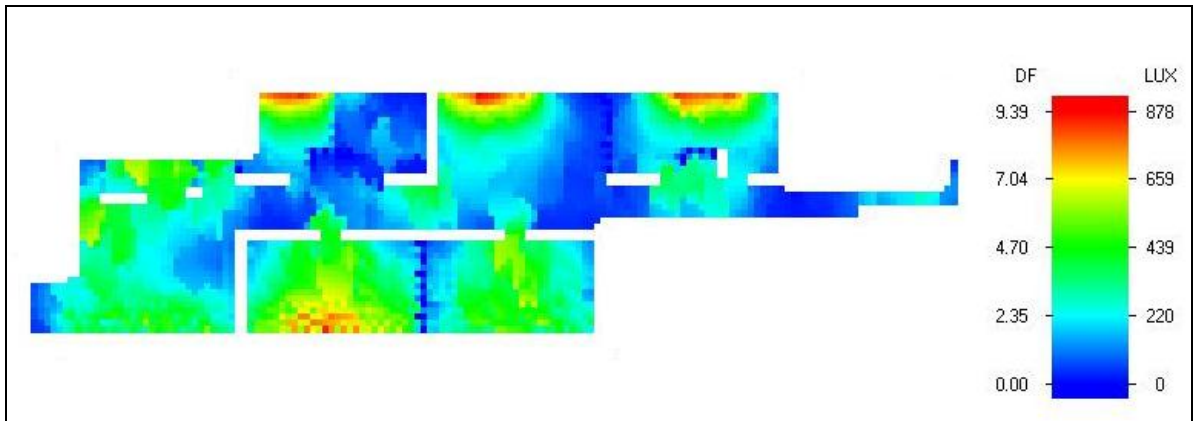


Figura N.5. Mapa de distribución de iluminancias para las oficinas tipo modulares en la configuración de tubos solares de 35 cm

ⁱ Este plan institucional de reforzamiento estructural de las edificaciones responde a una exigencia sobre el cumplimiento de la Ley 400 de 1997 modificada por la ley 1229 de julio de 2008 y del reglamento sismo resistente NSR-10,

ⁱⁱ La construcción verde tiene como objetivos: optimizar la eficiencia energética y acuífera, establecer estrategias de responsabilidad ambiental, reducir los sólidos, seleccionar materiales durables y de poco mantenimiento y proteger la calidad interna del aire.