

HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES PARA ANÁLISIS ENERGÉTICO DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL

Autores:

ROGER LIBARDO MANTILLA MEJIA

MARLON MILLAN MARTINEZ



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS

**ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECO-
MUNICACIONES**

BUCARAMANGA

2014

**HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES PARA ANÁLISIS ENERGÉTICO DE VI-
VIENDAS DE INTERÉS SOCIAL**

Autores:

ROGER LIBARDO MANTILLA MEJIA

MARLON MILLAN MARTINEZ

**Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero Electricista**

DIRECTOR: MSc. GERMÁN ALFONSO OSMA PINTO

CODIRECTOR: Dr. GABRIEL ORDÓÑEZ PLATA



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS

**ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECO-
MUNICACIONES**

BUCARAMANGA

2014

DEDICATORIA

A mi familia que me apoyó incondicionalmente en la realización y cumplimiento de esta meta, especialmente a mi madre Luz Martha que ha sido siempre el pilar y refuerzo en todo aspecto de mi vida.

Roger Libardo Mantilla Mejía.

A mis padres que en su inmenso entendimiento y paciencia, formaron en mí el carácter necesario para sobrellevar cualquier contratiempo.

A mi madre que sin importar las circunstancias, me motiva constantemente a alcanzar mis sueños.

A todos aquellos que con entrañable tesón nunca desfallecieron, aunque oscuro y tumultuoso fuese el camino. Que con esperanzas sórdidas, a pesar de la incertidumbre continuaron en el noble empeño de tener un mejor futuro.

Vivet somniati, somnium nam viva.

Marlon Millán Martínez.

AGRADECIMIENTOS

A nuestra alma mater por brindarnos la oportunidad de formarnos profesionalmente, así como a la E3t que nos proveyó de las herramientas necesarias para llevar a cabo este proyecto de investigación.

A nuestro codirector, PhD. Gabriel Ordoñez Plata, por las recomendaciones y acompañamiento en este proyecto.

Agradecemos a nuestro director, MSc. Germán Alfonso Osma Pinto, por el compromiso, colaboración y guía durante la realización de este trabajo de grado.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	20
1.1 EDIFICACIONES ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES	21
1.2 ANÁLISIS ENERGÉTICO EN EDIFICACIONES	24
1.3 VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL VIS	26
1.4 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN	27
1.4.1 Objetivo general	28
1.4.2 Objetivos específicos	28
1.4.3 Alcances.....	28
1.5 RESEÑA DEL TRABAJO REALIZADO	29
2. ELABORACIÓN DE UN DIRECTORIO DE INFORMACIÓN SOBRE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES EXISTENTES PARA EL ANÁLISIS ENERGÉTICO DE EDIFICACIONES	31
2.1 BÚSQUEDA DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES PARA ANÁLISIS ENERGÉTICO DE EDIFICACIONES.....	32
2.2 ESTRUCTURACIÓN DEL DIRECTORIO DE INFORMACIÓN	34
3. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES PARA ANÁLISIS ENERGÉTICO DE EDIFICACIONES	37
3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PASOS PARA LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN ...	37
3.2 FASES PARA LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA	37
3.2.1 Búsqueda de las herramientas en el directorio.....	38
3.2.2 Selección de los factores a evaluar	39
3.2.3 Evaluación de los factores seleccionados en las herramientas.....	43

4. SELECCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES PARA ANÁLISIS ENERGÉTICO DE VIS	47
4.1 APLICACIÓN DE LA PRIMERA FASE DE LA METODOLOGÍA.....	47
4.2 SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS FACTORES.....	49
4.2.1 Evaluación de las herramientas.....	49
4.2.2 Herramientas seleccionadas	57
5. DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL SELECCIONADA	59
5.1 DESCRIPCIÓN DE LA VIS	59
5.2 ESPECIFICACIONES CONSTRUCTIVAS	61
5.2.1 Fachada	61
5.2.2 Muros interiores.....	62
5.2.3 Placa entrepiso, pisos y enchapes	62
5.3 ESPECIFICACIONES ENERGÉTICAS.....	63
6. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LA VIS CON DESIGNBUILDER .	66
6.1 GENERALIDADES DESIGNBUILDER.....	66
6.1.1 Etapas del proceso de simulación y análisis de la VIS con DesignBuilder	66
6.1.2 Jerarquía y herencia de la información en los modelos.....	67
6.1.3 Datos del modelo.....	68
6.1.4 Bloques.....	69
6.1.5 Datos climáticos horario para la simulación	69
6.2 MODELADO GEOMÉTRICO DE LA VIS.....	69
6.3 SIMULACIONES.....	70
6.4 RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	72
6.4.1 Consumos energéticos anuales	72
6.4.2 Confort térmico anual.....	74
6.4.3 Ganancias	75

6.4.4	Iluminación natural	76
7.	SIMULACIÓN Y ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LA VIS CON EQUEST	79
7.1.	GENERALIDADES DE EQUEST	79
7.1.1.	Bloques de construcción de la simulación	80
7.1.2.	Datos necesarios.....	81
7.2.	MODELADO DE LA VIS.....	82
7.3.	SIMULACIONES	83
7.4.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	83
7.4.1.	Consumo energético	84
7.4.2.	Confort visual.....	86
8.	SIMULACIÓN Y ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LA VIS CON AUTODESK ECOTECT ANALYSIS.....	89
8.1.	CREACIÓN DEL MODELO DE INFORMACIÓN DEL EDIFICIO BIM (BUILDING INFORMATION MODELING).....	89
8.2.	CREACIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE LA VIS	90
8.3.	APROPIACIÓN DE LA HERRAMIENTA <i>AUTODESK ECOTECT ANALYSIS</i>	91
8.3.1.	Importación del modelo a analizar	91
8.3.2.	Definición de materiales y zonas	92
8.3.3.	Selección de archivos climáticos para la localización del proyecto	94
8.3.4.	Tipos de simulaciones que permite la herramienta	95
8.4.	RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES.....	96
8.4.1.	Consumo energético	97
8.4.2.	Confort térmico	97
8.4.3.	Ganancias	98
9.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE HERRAMIENTAS	100
10.	CONCLUSIONES	105

11. OBSERVACIONES.....	107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
BIBLIOGRAFÍA.....	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estrategias para lograr eficiencia energética en edificaciones.	23
Tabla 2. Muestra del listado de páginas encontradas con los motores de búsqueda.....	33
Tabla 3. Características de las herramientas mencionadas en el directorio.....	36
Tabla 4. Factores para la evaluación de las herramientas.....	43
Tabla 5. Método de calificación para los factores 1, 2, 3, 4 y 5.....	44
Tabla 6. Método de calificación para "Interfaz gráfica amigable para el usuario".....	45
Tabla 7. Descripción calificación para "Representatividad de su uso en los artículos consultados"	45
Tabla 8. Listado de herramientas seleccionadas	48
Tabla 9. Listado final de herramientas seleccionadas.....	49
Tabla 10. Características generales de EnergyPlus.	50
Tabla 11. Evaluación de los factores para EnergyPlus.....	51
Tabla 12. Características generales de DOE-2.....	52
Tabla 13. Evaluación de los factores para DOE-2.	52
Tabla 14. Características generales de eQUEST.	53
Tabla 15. Evaluación de los factores para eQUEST.....	53
Tabla 16. Características generales de DesignBuilder.	54
Tabla 17. Evaluación DesignBuilder.....	54
Tabla 18. Características generales de ESP-r.....	55
Tabla 19. Evaluación ESP-r.....	56
Tabla 20. Características generales de Ecotect.....	56
Tabla 21. Evaluación Ecotect.	57
Tabla 22. Área construida	61
Tabla 23. Cuadro de cargas apartamento tipo.....	64
Tabla 24. Cuadro de cargas servicios generales.....	64
Tabla 25. Potencia asignada a iluminación.....	65
Tabla 26. Etapas del proceso de simulación en DesignBuilder.....	67
Tabla 27. Etiquetas en DesignBuilder.....	68

Tabla 28. Simulaciones realizadas en DesignBuilder.	71
Tabla 29. Opciones de simulación en DesignBuilder.	71
Tabla 30. Consumo de energía total anual calculado en DesignBuilder	72
Tabla 31. Desglose del consumo de energía anual calculado en DesignBuilder	72
Tabla 32. Niveles de iluminancia calculados en DesignBuilder.....	77
Tabla 33. Bloques para la caracterización y modelado con eQUEST	80
Tabla 34. Datos necesarios para la caracterización de la edificación en eQUEST.	82
Tabla 35. Consumo total anual calculado en eQUEST.	84
Tabla 36. Consumo eléctrico anual total calculado con <i>Autodesk Ecotec Analysis</i>	97
Tabla 37. Comparación de las capacidades de las herramientas	101
Tabla 38. Comparación de resultados entre las herramientas seleccionadas.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura del contenido del trabajo realizado.....	30
Figura 2. Numero de herramientas en el directorio del DOE.....	35
Figura 3. Estructura del directorio de información.....	36
Figura 4. Selección del campo de aplicación.....	39
Figura 5. Iluminación natural.....	41
Figura 6. Análisis térmico.....	41
Figura 7. Ventilación natural.....	42
Figura 8. Consumo de energía eléctrica.....	42
Figura 9. Aplicación de la metodología de evaluación.....	46
Figura 10. Filtrado de la base de datos para "Análisis energético".....	48
Figura 11. Resultados de evaluación.....	58
Figura 12. Proyecto Altos de Betania INVISBU.....	60
Figura 13. Fachada frontal Altos de Betania.....	62
Figura 14. Jerarquía y herencia de la información en los modelos en DesignBuilder.....	67
Figura 15. Modelo final de la VIS con DesignBuilder.....	70
Figura 16. Zona con el mayor consumo de energía promedio anual debido a iluminación en DesignBuilder.....	73
Figura 17. Consumo de energía debido a equipos al interior del apartamento con el mayor consumo en DesignBuilder.....	74
Figura 18. Temperaturas de confort de la edificación calculadas en DesignBuilder.....	75
Figura 19. Ganancias internas en la edificación calculadas en DesignBuilder.....	76
Figura 20. Modelo final de la VIS con eQUEST.....	83
Figura 21. Consumo mensual total calculado en eQUEST.....	84
Figura 22. Consumo energético en un día del mes de enero calculado en eQUEST.....	85
Figura 23. Reducción de energía destinada a iluminación artificial calculado en eQUEST.....	86
Figura 24. Niveles de iluminancia del apartamento seis del piso quinto, calculados en eQUEST.....	87

Figura 25. Niveles de iluminancia del apartamento cuatro del piso uno, calculados en eQUEST.	88
Figura 26. Modelo tridimensional realizado en Autodesk Revit Architecture 11.....	90
Figura 27. Importación de datos a Autodesk Ecotect Analysis.	91
Figura 28. Modificación de propiedades para materiales	92
Figura 29. Asignación de materiales constructivos en Autodesk Ecotect Analysis.	93
Figura 30. Modificación de zonas en <i>Autodesk Ecotect Analysis</i>	93
Figura 31. Selección de archivos climáticos.....	94
Figura 32. Tipos de simulación de la herramienta <i>Autodesk Ecotect Analysis</i>	95
Figura 33. Visualización del modelo tridimensional en Autodesk Ecotect Analysis.....	96
Figura 34. Horas de desconfort térmico en la edificación calculadas en <i>Autodesk Ecotec Analysis</i>	98
Figura 35. Ganancias térmicas de la edificación calculadas en <i>Autodesk Ecotec Analysis</i>	98
Figura 36. Comparación del desglose de consumos de energía por apartamentos.	103
Figura 37. Comparación de niveles de iluminancia entre DesignBuilder y eQUEST.....	104

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE ESPACIOS EN LA VIS	156
ANEXO B. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES PARA LAS VIS	158
ANEXO C. DISEÑO URBANÍSTICO EN LAS VIS.....	165
ANEXO D. LISTADO DE HERRAMIENTAS PARA ANÁLISIS ENERGÉTICO.....	169
ANEXO E. HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LOS ARTÍCULOS DE DISEÑO ENERGÉTICO DE EDIFICACIONES.....	173
ANEXO F. ESPECIFICACIONES CONSTRUCTIVAS DE LA EDIFICACIÓN	179
ANEXO G. CONFORT TÉRMICO.....	182
ANEXO H. CONFORT VISUAL	193
ANEXO I. CREACIÓN DEL MODELO Y CARACTERIZACIÓN DE LA VIS CON DESIGNBUILDER	200
ANEXO J. CREACIÓN DEL MODELO Y CARACTERIZACIÓN DE LA VIS CON EQUEST	233
ANEXO K. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CREACIÓN DEL MODELO PARA LA SIMULACIÓN EN AUTODESKS ECOTECH ANALYSIS.....	252

RESUMEN

TÍTULO: HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES PARA ANÁLISIS ENERGÉTICO DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL.*

AUTORES: ROGER LIBARDO MANTILLA MEJIA **

MARLON MILLAN MARTINEZ **

PALABRAS CLAVES: VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL, SIMULACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICACIONES, SELECCIÓN DE SOFTWARE, USO RACIONAL Y EFICIENTE DE LA ENERGÍA.

Las herramientas de simulación energética permiten analizar factores relacionados al consumo de energía en las edificaciones, como las viviendas, éstas son de gran ayuda en el desarrollo de investigaciones y proyectos encaminados a disminuir el porcentaje de uso final de la energía eléctrica.

Debido a la gran cantidad de herramientas computacionales para análisis energético y la falta de información detallada y ordenada de las mismas, se elaboró un directorio de información de éstas, lo cual posibilita su clasificación y posterior proceso de selección según las necesidades de análisis y especificaciones particulares, además de las restricciones dado el caso.

Se elaboró una metodología de evaluación de las herramientas computacionales de análisis energético, que describe un procedimiento a seguir para la selección de las mismas y propone algunos factores claves que permiten identificar cuáles de éstas cumplen con los requisitos de un análisis a nivel residencial, como las viviendas de interés social.

A partir de la aplicación de la metodología se seleccionaron las herramientas DesignBuilder, eQUEST y Autodesk Ecotect Analysis, y se realizaron simulaciones con cada una de ellas, tomando como base un modelo común de viviendas multifamiliares de interés social, que permitió analizar su funcionalidad y la aplicabilidad de éstas en dichas edificaciones.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico- Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: MSc. Germán Osma Pinto. Codirector: Dr. Gabriel Ordóñez Plata.

ABSTRAC

TITLE: COMPUTER TOOLS FOR ENERGY ANALYSIS IN SOCIAL WELFARE HOUSING.*

AUTHORS: ROGER LIBARDO MANTILLA MEJÍA**
MARLON MILLÁN MARTÍNEZ**

KEY WORDS: SOCIAL WELFARE HOUSING, BUILDING ENERGY SIMULATION, SOFTWARE SELECTION, RATIONAL AND EFFICIENT USE OF ENERGY.

Energy simulation tools make possible to analyze elements related to energy consumption in buildings, such as houses, they are of great help in the development of research and projects aimed to reduce the percentage of end-use electrical energy.

Due to the large amount of computational tools for energy analysis but at the same time because of the lack of detailed and organized information of these tools, a directory of information of these tools was created, which allows its classification and later process of selection according to the analysis needs and individual specifications, besides restrictions if applicable.

An evaluation methodology of the computational tools of energy analysis was made, which describes a procedure to follow in order to the selection of these tools and proposes some key factors which allow to identify which ones of these tools fulfill the requirements of the analysis of the residential buildings, such as social welfare houses.

From the application of the methodology DesignBuilder, eQUEST and Autodesk Ecotect Analysis tools were chosen, and some simulations were made with every one of them, based on a common model of multifamily social housing in a residential complex, which allowed analyzing their functionality and applicability of these in such buildings.

* Bachelor Thesis

** Department of Physical-Mechanical Engineerings. School of Electrical, Electronic and of Telecommunications Engineerings. Director: MSc. Germán Osma Pinto. Codirector: Dr. Gabriel Ordóñez Plata.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, los impactos ambientales que producen las edificaciones son objeto de estudio [1], en particular los relacionados con la utilización de materias primas para la construcción, el consumo de recursos naturales como el agua, los combustibles fósiles, y emisión de contaminantes (principalmente CO₂) [2].

El uso de energía proveniente de recursos naturales, en su mayoría de origen fósil (carbón, petróleo), generan un incremento de CO₂ en la atmosfera [3], hecho que demanda de la sociedad tomar conciencia del efecto del mal manejo de éstos y de las acciones que se pueden emprender a fin de mejorar la eficiencia energética de las edificaciones.

Es por esto que, campos como el análisis del consumo total de energía en una edificación es un área de investigación que viene en crecimiento [4].

Para reducir el impacto ambiental que produce una edificación es necesario entenderla como un sistema capaz de generar, recibir, almacenar y distribuir energía térmica y eléctrica; características que con un análisis correcto pueden contribuir al diseño de edificaciones energéticamente eficientes [5].

En particular, el análisis energético de las viviendas de interés social-VIS debe tener en cuenta una serie de especificaciones técnicas para verificar el cumplimiento de parámetros de calidad. Es importante que el diseño de las viviendas en general contribuya a la reducción de costos y consumo energético en la sociedad [6], y a construir espacios que generen confort a los ocupantes de las mismas.

Dicho análisis debe ser realizado por profesionales, el cual puede estar basado en herramientas computacionales para generar juicios de valor, que permitan orientar las acciones necesarias en el diseño de la edificación.

Sin embargo, actualmente la mayoría de profesionales que contribuyen al diseño de edificaciones desconocen la existencia de éstas, afectando la calidad de los diseños y un funcionamiento energético poco eficiente en los proyectos de VIS.

Con este trabajo de grado se quiere solventar la carencia de información sobre mecanismos que ofrezcan a ingenieros y arquitectos la oportunidad de realizar diseños y construcción de viviendas con mayor calidad técnica que propendan al uso racional de energía URE.

A partir de la identificación de las herramientas de simulación existentes para análisis energético de edificaciones, y la aplicación de una metodología que permita la revisión y evaluación de éstas, se busca realizar la selección de algunas herramientas que puedan ser utilizadas en el caso específico de viviendas de interés social.

1.1 EDIFICACIONES ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES

La eficiencia energética es el conjunto de acciones que permiten mejorar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos [7]. También se refiere a la utilización de tecnología que necesita menos energía para realizar la misma tarea; conceptos más apropiados en la ingeniería, porque presentan una alternativa de eficiencia a través de la implementación de diversas medidas e inversiones a nivel tecnológico y de gestión.

En Colombia se ha generalizado el concepto de Uso Racional y Eficiente de Energía (URE), el cual busca la disminución de la intensidad energética, el mejoramiento de la eficiencia energética de los sectores de consumo y la disminución de los gases de efecto invernadero [8].

Uno de los sectores de consumo de gran importancia son las edificaciones siendo una base en la economía de un país, ya que provee y mantiene la infraestructura sobre la cual todos los sectores desarrollan su actividad.

Un edificio energéticamente eficiente (E.E.E.) es aquel que minimiza el uso de las energías convencionales, a fin de ahorrar y hacer un uso racional de la energía [9].

Estos edificios se diseñan para aprovechar la energía sobrante de otras fuentes, como el calor generado por electrodomésticos, iluminación, calor metabólico de las personas, etc; asimismo, emplean fuentes de energía renovables, iluminación eficiente, aprovechamiento de la energía solar, entre otros [10].

En el caso de las empresas, la disminución de los gastos energéticos y de mantenimiento las hace más rentables, en el sector residencial mediante un diseño que minimice el empleo de calefacción, aire acondicionado, iluminación y al mismo tiempo aumente la sensación de confort, permitirá mejorar la calidad de vida de sus ocupantes [10].

La selección de las estrategias para lograr una mayor eficiencia energética dependen del tipo de edificación y las futuras demandas energéticas, para esto se emplea la técnica de análisis energético del ciclo de vida. La optimización energética de la edificación abarca desde la escogencia de los materiales y/o componentes, diseño arquitectónico en relación al entorno, uso de la edificación, mantenimiento, reparación, modificaciones, demolición y reciclado de ser el caso [10].

Se debe tener en cuenta las condiciones climáticas y termodinámicas del entorno en el que se lleva a cabo el análisis, para extraer beneficios de los recursos naturales y elaborar soluciones propias a favor de un mayor ahorro de energía, sin menoscabo de la calidad de vida. A continuación en la Tabla 1 se muestran algunas estrategias de diseño de edificaciones.

Aspectos de la edificación	Zonas de estaciones climáticas [10]	Zonas del trópico [11]
----------------------------	-------------------------------------	------------------------

Orientación del edificio	Correcta orientación del edificio	Adecuada implantación, forma y orientación de la edificación
		Adecuada implantación y forma de la edificación para producir mayor movimiento del aire fuera y dentro de las edificaciones
Efectos de la luz solar	Entrada de sol invernal mediante sistemas arquitectónicamente diseñados "ad hoc"	Adecuada selección de tecnologías de ventanas y de fachadas de vidrios
		Orientación y protección de las ventanas y otras aberturas, con parasoles, aleros, celosías, persianas, etc.
		Uso de cristales de alta tecnología que permitan una apropiada transmisión de luz natural con una controlada ganancia de calor solar
		Ubicación y tamaños adecuados de las ventanas y otras aberturas en función del uso
Sombras	Control de la sombra de los edificios	Aprovechamiento del contexto urbano y del paisajismo para el sombreado
	Mitigación de la exposición directa del sol de verano	Utilización de protecciones solares y otras técnicas de bloqueo solar
Envolvente	Duplicidad en el espesor del aislamiento térmico en azoteas y cerramientos exteriores	Alta permeabilidad en las fachadas y en los cerramientos interiores
	Empleo de aislamiento térmico en la envolvente del edificio (muros, techos, aberturas).	Selección de los componentes constructivos opacos en función de su inercia térmica y características superficiales
Infiltración de aire del exterior	Reducción de pérdidas de calor por infiltraciones de aire exterior en el invierno	Reducción de pérdidas de calor por infiltraciones de aire exterior en las zonas del país con clima frío
Uso de energía Eléctrica	Uso de sistemas eléctricos de calefacción, aire acondicionado, ventilación e iluminación eficientes	Utilización de acabados finales interiores de colores claros y reflectivos
		Control del deslumbramiento exterior e interior de las edificaciones
		Empleo de superficies reflectantes para reorientar la luz, y dotar los ambientes de mayor y mejor iluminación natural
		Control del deslumbramiento exterior e interior de las edificaciones
		Utilización del paisajismo para canalizar el movimiento del aire dentro de la parcela
		Ubicación y tamaños de ventanas y/o aberturas que estimulen la circulación y renovación del aire

Tabla 1. Estrategias para lograr eficiencia energética en edificaciones.

Estas iniciativas que buscan soluciones a medida para cada ubicación y diseño, fundamentaron una nueva visión del proceso arquitectónico dando lugar a la arquitectura bioclimática, desarrollada y normalizada [12].

Los diseños planteados según estos criterios bioclimáticos alcanzan un elevado grado de cobertura de las necesidades energéticas del edificio (aporte de luz natural, control de la temperatura interior, etc.), pero en algunos casos se deben complementar con sistemas pasivos basados en energías renovables que proporcionen energía útil, con la premisa de alcanzar el equilibrio energético en la utilización del edificio [12].

1.2 ANÁLISIS ENERGÉTICO EN EDIFICACIONES

A menudo las causas del consumo excesivo de energía en edificios y las altas facturas de servicios públicos no pueden ser determinadas por una inspección superficial. El profesional y/o diseñador tiene el reto de crear un diseño que reduzca el consumo y por tanto el costo de la energía.

Técnicas explícitas son necesarias para identificar fiablemente el problema energético de un edificio. Es importante tener presentes las técnicas de medición de campo, y cómo cada una de las características y propiedades del edificio afecta el consumo total de energía [13].

Para caracterizar los requerimientos energéticos, las condiciones de bienestar y confort en los edificios, se considera al edificio como un sistema complejo que está interactuando constantemente con múltiples factores que afectan la eficiencia energética de éste, los cuales se deben desglosar para poder analizar el impacto global sobre consumo de energía en el edificio; dicho análisis se debe enfocar en aspectos como [14]:

- Localización del edificio.
- Orientación y distribución interior.
- Tipos de materiales de construcción.
- Características arquitectónicas.
- Ocupación de los habitantes.
- Ventilación.
- Emisiones de CO₂.

- Utilización de energías renovables.
- Densidad de puntos de luz (iluminación natural y artificial).
- Necesidades de agua caliente.
- Flujo de calor en el edificio.
- Climatización.

El análisis energético es por lo tanto el proceso de estimación de las necesidades de energía y el consumo de combustible de calefacción, ventilación y aire acondicionado (“HVAC: *heating, ventilation, and air conditioning*”), energía eléctrica, y otros sistemas, ya sea para términos de operación a corto o largo plazo.

Para realizar dicho análisis se efectúa una simulación por computador, en donde se desarrollan tanto, modelos simplificados y detallados que pueden ser utilizados para las predicciones de energía. Los procedimientos simplificados de análisis de energía son rápidos, sin embargo, tienden a tomar atajos en los métodos de cálculo de energía y por lo general no son sensibles a las características de diseño [13].

Para simular el comportamiento energético se puede utilizar varios métodos que se presentan a continuación:

- Métodos estáticos
- Métodos de correlación
- Métodos dinámicos

Los métodos de cálculo estático o estacionario valoran energéticamente la vivienda planteando balances energéticos en régimen estacionario al conjunto del edificio, en base mensual o estacional, incorporando en los mismos una valoración de pérdidas/ganancias de transmisión, además de ganancias solares e internas [15].

Los métodos de correlación constituyen un intento de acercarse a la rapidez y sencillez del cálculo de los métodos estáticos, incorporando consideraciones dinámicas a la respuesta de los edificios y de sus sistemas de climatización; para ello, se procede a realizar simulaciones precisas de una serie de edificios tipo, sometidos a

condiciones de contorno determinadas y luego ajustar analíticamente los resultados de las simulaciones en función de los parámetros variados [15].

Los métodos dinámicos son los que retienen en su proceso de valoración energética los procesos transitorios de la respuesta del edificio sometido a sus condiciones de contorno dependientes del tiempo; se busca caracterizar adecuadamente tanto los consumos energéticos totales, como las condiciones de confort interiores [15].

Para los métodos dinámicos existen gran cantidad de modelos, entre los más conocidos están el S3PAS, SUNCODE, APACHE, PASSPORT+, TRNSYS, M2M, DOE, EnergyPlus, entre otros, todos ellos presentan ventajas e inconvenientes, pero lo más común en todos, es que el manejo de los datos tanto de entrada como de salida es un poco engorroso debido principalmente a la gran cantidad de información [15].

Por lo general, todos los modelos de simulación se componen de tres grandes cuerpos: la definición geométrica, constructiva y operacional del edificio y sus sistemas; en segundo lugar está el bloque de simulación, en donde se plantea y resuelve el sistema de ecuaciones que representan al edificio; por último, se encuentra el bloque de análisis de resultados, en donde se pueden obtener diferentes niveles de información, dependiendo de los objetivos a cumplir [16].

En síntesis, el análisis energético se basa en un cálculo estimativo de los elementos que componen una edificación y el entorno donde se encuentra, por medio de medidas de campo y simulaciones por computador que ayudan a los diseñadores a tomar decisiones efectivas para el uso racional y eficiente de la energía [14].

1.3 VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL VIS

El Comité de Derechos Urbanísticos de la Organización de Naciones Unidas (ONU), en su observación general No 4 de 1991, establece como derecho el acceso a una vivienda y a la mejora continua de las condiciones de existencia [17].

En cumplimiento a lo expresado anteriormente, y según el Art. 117 de la Ley 1450 de 2011 de Colombia, se define una vivienda de interés social (VIS) como “la unidad habitacional que cumple con los estándares de calidad en diseño urbanístico, arquitectónico y de construcción y cuyo valor no exceda los 135 SMMLV” [18].

La vivienda de interés social (VIS) además de cumplir con lo expresado en el folleto #21 de las Naciones Unidas, debe en su diseño y construcción velar por el uso sostenible de los recursos naturales [6].

Es primordial realizar un estudio de la composición familiar, género de los miembros del hogar y de sus actividades básicas y complementarias. El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial concluyó que en una VIS debe por lo menos tener tres áreas autónomas, funcionales, formales y estructurales, que se exponen en el Anexo A [6].

Estos proyectos de vivienda deben contemplar opciones que contribuyan con el uso sostenible de los recursos naturales, por esta razón la ubicación, diseño de los espacios, aprovechamiento de la vegetación deben ser pensados para reducir el consumo de energía y de agua, situaciones que contribuyen a la sostenibilidad de los recursos naturales y a la disminución de los gastos de las familias.

Un diseño adecuado de la vivienda garantiza el uso eficiente de la energía, disminuyendo los costos de consumo con espacios naturalmente ventilados e iluminados, evitando a los hogares el uso de sistemas mecánicos de calefacción o ventilación [6].

1.4 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

A continuación se presentan los objetivos de este trabajo y sus respectivos alcances.

1.4.1 Objetivo general

Realizar la identificación de herramientas computacionales para análisis energético de edificaciones aplicables en el caso de viviendas de interés social.

1.4.2 Objetivos específicos

El cumplimiento del objetivo general del trabajo de grado comprende:

- Elaborar un directorio de información sobre herramientas computacionales existentes para análisis energético de edificaciones.
- Proponer una metodología que permita evaluar herramientas computacionales para el análisis energético de edificaciones.
- Seleccionar tres (3) herramientas computacionales para el análisis energético de edificaciones según las especificaciones técnicas y ambientales presentes en Colombia para el caso de viviendas de interés social.

1.4.3 Alcances

La elaboración de un directorio de información sobre las herramientas computacionales para el análisis energético, provee un listado de dichas herramientas y aporta algunos aspectos característicos; como país y compañía de creación, costo de licencia, lenguaje de programación, requisitos de hardware, una pequeña descripción, y el link de descarga o de proveedores; asimismo información de características técnicas para las cuales fueron diseñados.

La metodología de evaluación a proponer describe factores claves que permiten identificar si la herramienta computacional cumple con los criterios para realizar un análisis adecuado de las VIS, con el fin de verificar su funcionalidad.

Para la selección de las tres herramientas se investigó cuáles software son los más utilizados en el análisis energético de edificaciones a nivel mundial, a través de la revisión de aproximadamente 191 artículos referentes al tema. Asimismo, se aplicaron factores de evaluación de éstas a fin de verificar el cumplimiento de las condiciones para realizar un análisis energético adecuado [19]–[209].

1.5 RESEÑA DEL TRABAJO REALIZADO

En el desarrollo de este trabajo de investigación se busca seleccionar tres (3) herramientas computacionales convenientes para el análisis energético de VIS, para ello se realizó un directorio de información y una metodología de evaluación de éstas.

Posteriormente, simular un modelo con las características de calidad de una vivienda y realizar el respectivo análisis energético con cada uno de las herramientas seleccionadas.

En la Figura 1 se muestra la estructuración del trabajo realizado en este documento.

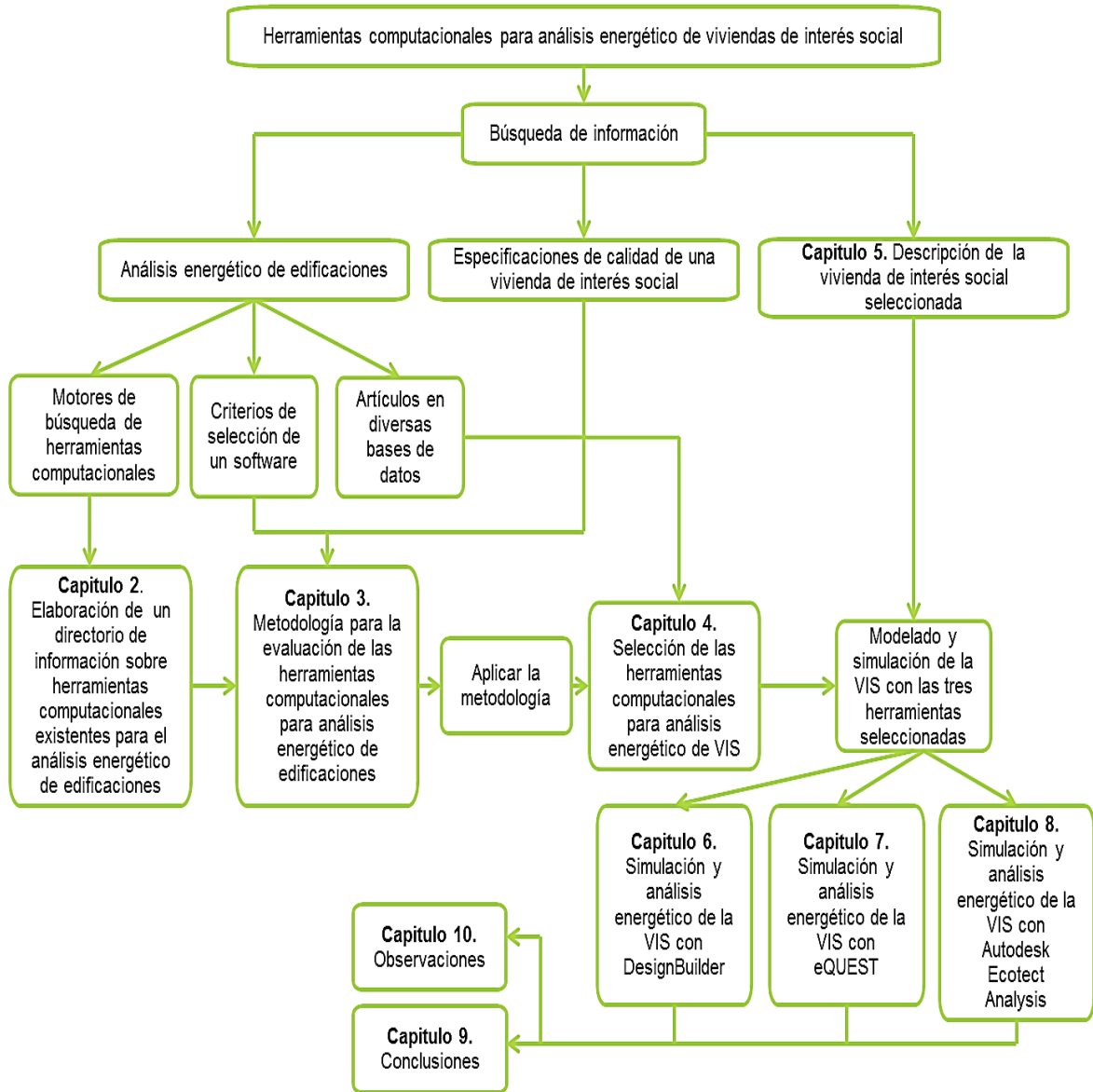


Figura 1. Estructura del contenido del trabajo realizado.

1. ELABORACIÓN DE UN DIRECTORIO DE INFORMACIÓN SOBRE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES EXISTENTES PARA EL ANÁLISIS ENERGÉTICO DE EDIFICACIONES

El uso de herramientas computacionales para análisis energético en edificaciones por parte de profesionales, se ha convertido en una forma fundamental de apoyo en la toma de decisiones para el diseño de una edificación energéticamente eficiente [109].

Dada la amplitud de opciones disponibles de herramientas de análisis energético en edificaciones, se presenta una barrera en el proceso de selección debido a que existen pocos centros de información y directorios que muestren las herramientas de una manera ordenada y precisa, que permita a los profesionales clasificar según el campo de aplicación, y verificar las características más importantes en éstas [109].

A fin de cumplir el objetivo general de este proyecto, se planteó la construcción de un directorio que contenga una estructura clara y ordenada, en la que se puede seleccionar grupos de herramientas existentes para el análisis energético de edificaciones, según su área de aplicación u otras características relevantes. Para ello, se realizó una búsqueda exhaustiva por diferentes bases de datos y paginas online enfocados al tema en cuestión.

2.1 BÚSQUEDA DE HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES PARA ANÁLISIS ENERGÉTICO DE EDIFICACIONES

Para la consecución de la información necesaria en la elaboración del directorio mencionado anteriormente, se propuso realizar una consulta de los diferentes motores de búsqueda, con los cuales se pudiesen encontrar dichas herramientas. Resultado de ello, la Tabla 2 muestra el listado de algunas páginas encontradas, así como una descripción de la línea de trabajo de las mismas²; las cuales en su gran mayoría son directorios desarrollados por diferentes entidades gubernamentales y no gubernamentales³, que contienen información de programas para análisis energético en edificaciones.

Motores de Búsqueda	Link	Línea de trabajo
Analysis buildings tools	http://www.sketchup.com/green/analysis.html	Software y plug-in Sketchup
	http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/subjects_sub.cfm	Directorio de información de software
	http://www.wbdg.org/resources/energyanalysis.php	Directorio de información de software
	http://www.nrel.gov/analysis/analysis_tools_tech_build.html	Directorio de información de software
	http://usa.autodesk.com/ecotect-analysis/	Software Autodesk Ecotect Analysis
	http://www.cacx.org/resources/rcxtools/cboa/index.html	Software C-BOA
	http://www.energystar.gov/index.cfm?c=business.EPA BUM CH3 InvestAnalysis	Información
	http://www.bentley.com/en-US/Products/Building+Analysis+and+Design/Building-Performance.htm	Proveedor de software de la empresa Bentley
	http://www.icfi.com/insights/products-and-tools/beacon	Software BEACON
	http://china.lbl.gov/COMBAT_Tool	Software COMBAT

² Listado completo se encuentra en la hoja "Motores de búsqueda" del documento Base de datos Energy Building Tools Software.xlsx anexado en formato digital.

³ Las páginas fueron consultadas en Enero de 2013.

Energy building analysis tools	http://www.graphisoft.com/openbim/interoperability/energy/	Directorio de información de software
	http://doe2.com/DOE2/	Software DOE2
	http://www.energygauge.com/	Proveedor de software
	http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/detailed-energy-analysis	Información
	http://www.ppg.com/corporate/ideascape/glass/tools/Pages/GlassEnergyAnalysis-Tool.aspx	Software online
Energy building analysis	http://www.southern-energy.com/content/whole+building+energy+analysis+/19340	Empresa que diseña y desarrolla proyectos de energía en viviendas y edificaciones
	http://www.buildingperformancecenter.org/services/building-analysis/	Asesoría técnica
	http://www.ecbcs.org/annexes/annex53.htm	Información
	http://www.beau.group.shef.ac.uk/	Consultoría

Tabla 2. Muestra del listado de páginas encontradas con los motores de búsqueda.

Además de las páginas consultadas anteriormente, también se realizó una búsqueda de artículos en diversas publicaciones y bases de datos como IBPSA, ELSEVIER, etc; en los cuales se aborda la temática de simulación energética de edificaciones u otros temas relacionados.

La importancia de esta búsqueda radica en la necesidad de establecer un punto de partida al momento de definir cuáles herramientas son aplicables para viviendas de interés social VIS, asimismo conocer el desempeño de las mismas para las condiciones de cada caso tratado en los mencionados artículos [210],[211].

La información de los artículos se compiló en un documento de Excel, en el cual se especifican ciertas características de éstos, necesarias para la identificación de las herramientas, además de conocer el contexto en el cual se desarrolla la simulación. Las características son las siguientes:

- Título del artículo: se especifica el título del artículo, dado que es necesario para poder encontrar éste en las bases de datos.

- Año de publicación: se especifica el año en el cual fue publicado el artículo, lo que permite tener una idea de las condiciones tecnológicas en las que se desarrolló el artículo.
- País de publicación: se debe especificar el país donde el artículo fue publicado, con el fin de tener una idea de las condiciones en las cuales fue planteado el mismo.
- Herramientas utilizadas: se especifican las herramientas usadas para la simulación de los casos de estudio especificados en los artículos.
- Tipo de aplicación: se especifica los campos de aplicación para los cuales fueron usadas las herramientas.
- Revista: se debe definir la revista donde fue encontrado el artículo en cuestión.
- Base de datos: se debe definir la base de datos donde fue encontrado el artículo en cuestión.

Algunas de las herramientas mencionadas en los artículos consultados, no se encontraron en los directorios y paginas ya mencionadas, por lo cual se fueron anejando al directorio en construcción. Algunas de las herramientas utilizadas en los artículos encontrados⁴ son: EnergyPlus, TRNSYS, DOE-2, eQUEST, IES-VE, ESP-r, TRACE, DAYSIM, DesT, RETscreen, IDA, Ecotect, BEOpt, THERM, WINDOW, Modelica, CONTAM, BESTEST, LIDER, BEES, DesignBuilder.

2.2 ESTRUCTURACIÓN DEL DIRECTORIO DE INFORMACIÓN

La construcción del directorio se basó principalmente en la información encontrada en las búsquedas anteriormente mencionadas, a su vez se tomó como referencia el modelo planteado por la comisión de Eficiencia Energética y Energía Renovable

⁴ El listado completo de los artículos se anexa en la hoja "Listado de artículos" del documento Base de datos Energy Building Tools Software.xlsx

(EEER), del Departamento de Energía de los Estados Unidos (U.S DOE); en el cual se presenta un listado de herramientas computacionales para análisis energético, ordenadas por orden alfabético, país, sistema operativo o campo de aplicación [212].

En el 2 010, el número de herramientas listadas llegó a más de 389, casi cuadruplicándose desde 1 997. Este crecimiento se muestra en la Figura 2 [109].

Las características de las herramientas computacionales que se tuvieron en cuenta para la elaboración de este directorio, se seleccionaron con el fin de permitir una identificación plena de las mismas, y a su vez favorecer su búsqueda.

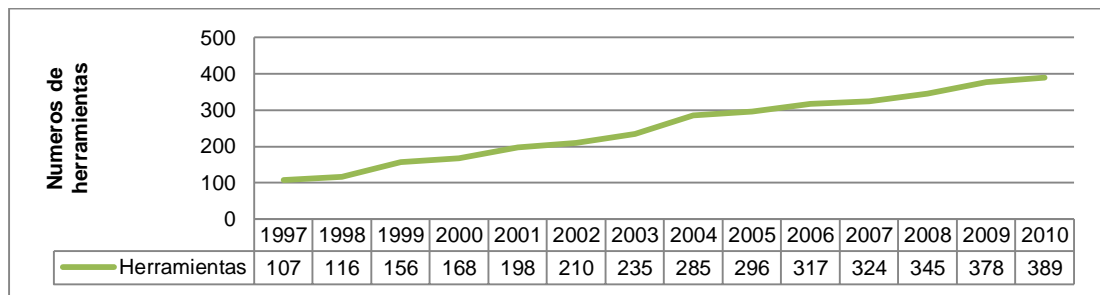


Figura 2. Número de herramientas en el directorio del DOE.

A continuación en la Tabla 3 se presentan las características seleccionadas, así como la explicación de cada una de éstas.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Nombre	Nombre de la herramienta.
País	País donde fue desarrollada la herramienta.
Costo de licencia	Valor o precio de la licencia y demás costos de la herramienta.
Requisitos para el uso del software	Requerimientos de hardware y sistema operativo para el funcionamiento de la herramienta.
Compañía o fabricante	Compañía de fabricación de la herramienta.
Descripción de la herramienta	Se da una idea de su campo de aplicación y de sus posibles limitaciones.

Campo de aplicación	Área específica de aplicación para el análisis energético de la edificación.
Link de descarga o contacto con proveedores	El link de descarga de las últimas versiones que se encuentran disponibles para los usuarios y para contactar con los proveedores.

Tabla 3. Características de las herramientas mencionadas en el directorio.

Actualmente, el directorio compila la información de aproximadamente 500 herramientas y se encuentra actualizado a enero de 2014. En la Figura 3 que se muestra a continuación, se presenta la estructura del directorio⁵.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Nombre de la herramienta	País	Costo de Licencia	Requisitos para el uso del software	Compañía	Campos de Aplicación	Descripción	Link
2	1D-HAM	Suecia	USD 420	Win 95/98/NT/2000	Bolcon	Análisis térmico	1D-HAM soluciona el problema del transporte del calor, del aire y de la humedad en una pared porosa de varias capas. Soluciones analíticas para el acoplamiento entre las células de cómputo para un determinado flujo de aire. La humedad se transfiere por difusión y convección en fase de vapor. Los datos climáticos se suministran a través de un archivo de datos con una resolución máxima de valores por hora durante todo el año.	http://www.buildingphysics.com
3	3E plus	EE.UU	gratuita	Windows Xp, vista ,7	North American Insulation Fabricantes Assoc.	Análisis térmico	Diseñado para facilitar el cálculo de pérdidas de calor y así determinar la cantidad de aislamiento necesario para utilizar menos energía ,determinar temperaturas superficiales sobre la tubería caliente y fría y las emisiones de gas de invernadero.	http://www.pipeinsulation.org
4	AAMASKY	EE.UU	USD 50	Lotus 1-2-3.	Lawrence Berkeley National Laboratory	Sistemas HVAC, Sistemas de iluminación	Análisis de componentes o totalidad de calefacción, refrigeración, y consumo de energía de iluminación atribuida a los tragaluces en edificios comerciales, así como los impactos de demanda pico. También proporciona las pautas horarias y mensuales de los niveles de iluminación de la luz del día.	http://www.aamanet.org/pubstore/Daylighting_Basics-Daylighting_and_Energy_Savings_Fact_Sheet.pdf

Figura 3. Estructura del directorio de información.

⁵ El directorio se encuentra en el archivo Base de datos Energy Building Tools Software.xlsx.

2. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES PARA ANÁLISIS ENERGÉTICO DE EDIFICACIONES

En este capítulo se presenta la metodología de evaluación de las herramientas, sus pasos y una explicación detallada de cada uno de éstos. La importancia de esta metodología radica en la necesidad de establecer una correcta evaluación de las herramientas y una selección más apropiada de acuerdo a las necesidades y características de cada caso.

3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PASOS PARA LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Con el fin de identificar las herramientas más indicadas para hacer un análisis energético de un tipo de edificación específico en condiciones particulares, se estableció una metodología que permite de manera ordenada y sistemática evaluarlas.

Como primer paso en la evaluación se debe revisar el contenido del directorio y agrupar las herramientas según el caso de aplicación, y a partir de ello seguir la estrategia, la cual se divide en tres fases que se mencionan a continuación.

- Búsqueda de las herramientas en el directorio conformado en este proyecto.
- Selección de los factores a evaluar.
- Evaluación de los factores seleccionados en las herramientas.

3.2 FASES PARA LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

El directorio creado en este proyecto contiene gran cantidad de herramientas para análisis energético de edificaciones, las cuales fueron consultadas en diferentes bases de datos (US DOE, IBPSA, entre otros), donde se mencionan sus cualidades más representativas.

Los factores a evaluar representan aspectos fundamentales a tener en cuenta para el uso adecuado de la herramienta en un contexto en específico, éstos brindan información detallada del funcionamiento y de las opciones de simulación.

La evaluación de los factores se realiza conforme a las características expuestas en el directorio, a la información que brinde el proveedor de la herramienta y a experiencias que hayan tenido otros profesionales al usar dicha herramienta.

3.2.1 Búsqueda de las herramientas en el directorio

En esta fase se efectúa la búsqueda de las herramientas según las características mencionadas en el directorio. Se recomienda en primera instancia filtrar la información expuesta según el campo de aplicación, debido a que en este ítem se encuentra el área en el que se desempeña la herramienta y por tanto la base de la selección. En la Figura 4 se muestra la información filtrada de la casilla “campo de aplicación”.

Requisitos para el uso del software	Compañía	Campos de Aplicación	Descripción
Win 95/98/NT/2000	Bolcon	<ul style="list-style-type: none"> Ordenar de A a Z Ordenar de Z a A Ordenar por color Borrar filtro de "Campos de Aplicación" Filtrar por color Filtros de texto Buscar <input checked="" type="checkbox"/> (Seleccionar todo) <input checked="" type="checkbox"/> Análisis acústico <input checked="" type="checkbox"/> Análisis acústico, Ventilación/flujo de <input checked="" type="checkbox"/> Análisis de optimización <input checked="" type="checkbox"/> Análisis del ciclo de vida, Sistemas H <input checked="" type="checkbox"/> Análisis del impacto ambiental, Anál <input checked="" type="checkbox"/> Análisis energético 	<p>1D-HAM soluciona el problema del acople de calor unidimensional, el transporte de aire y humedad en una pared porosa de varias capas. El programa se basa en la técnica de diferencias finitas con diferencias hacia adelante explícitas en el tiempo. La humedad se transfiere por difusión y convección en fase de vapor. No se produce transporte de agua líquida. Los datos climáticos se suministran a través de un archivo de datos con una resolución máxima de valores por hora durante todo el año.</p> <p>Diseñado para facilitar el cálculo de pérdidas de calor y así determinar la cantidad de aislamiento necesario para utilizar menos energía, determinar temperaturas superficiales sobre la tubería caliente y fría y las emisiones de</p> <p>Análisis de componentes o totalidad de calefacción, refrigeración, y consumo de energía de iluminación atribuible a los tragaluces en edificios comerciales, así como los impactos de demanda pico. También</p> <p>Hojas de cálculo que facilitan el cumplimiento del código IECC.</p> <p>El software "ACOUSALLE" permite un primer dimensionado de diversos espacios interiores (oficinas, salas de clase, pequeños auditorios, salas industrial, etc), de conformidad con las reglas establecidas de la acústica geométrica, onda y estadísticas.</p> <p>Predicir los niveles de ruido en espacios cerrados y permite un número ilimitado de fuentes de sonido, caminos, habitaciones para crear múltiples escenarios, por lo que el diseñador puede optimizar el diseño de los criterios acústicos de una sala o espacio dado.</p>
windows Xp, vista ,7	North Americ Insulation Fal Assoc.		
Lotus 1-2-3.	Lawrence Be National Labo		
windows Xp, vista ,7	ABACODE		
Windows 3,1 o superior, no es compatible con Windows XP/Vista	Solar Energy Building Phys Laboratory (L		
Windows NT, XP, Vista, o 7. Hardware debe ser 486 o superior, 8 MB RAM, 30 MB de espacio libre en disco duro, VGA o de mayor resolución (SGVA de 256 colores recomendado).	AcousticCalc		

Figura 4. Selección del campo de aplicación.

Entre las áreas o campos de aplicación a seleccionar se encuentran análisis acústico, análisis del impacto ambiental, análisis térmico, análisis del ciclo de vida, análisis energético, auditoria y/o gestión de la energía, cálculo de la demanda y/o consumo energético, evaluación comparativa del consumo energético, modelado de la construcción, sistemas de energía renovable, sistemas de iluminación, sistemas HVAC, ventilación/flujo de aire, modelado de sistemas de ventanales.

Posteriormente se eligen cuáles de esas herramientas cumplen con los requerimientos establecidos; por último, se seleccionan las herramientas a partir de la revisión de las demás características descritas en la Tabla 3, que se adapten a sus necesidades y exigencias.

3.2.2 Selección de los factores a evaluar

Los factores a evaluar en la herramienta deben cumplir las condiciones y requerimientos de las viviendas de interés social en cuanto al uso eficiente y racional de la energía.

El diseño y construcción de viviendas de interés social debe cumplir con normas de calidad que propendan un uso sostenible de los recursos naturales. Algunos componentes para el diseño de la VIS a tener en cuenta son [6]:

- **Materiales de construcción:** La selección de los materiales de construcción de las VIS se realiza con el fin de garantizar una mayor eficiencia y confort térmico en la vivienda [213]. Los materiales recomendados según las Cartilla “Los materiales de construcción de la Viviendas de interés social” se presentan en el Anexo B.
- **Diseño urbanístico (condiciones climáticas, ubicación espacial):** Un diseño urbanístico eficiente pretende aprovechar las condiciones climáticas favorables según la localización del proyecto. La ubicación espacial de la edificación depende principalmente de las condiciones climáticas del entorno en el que se encuentra [6]; se mencionan en el Anexo C.
- **Diseño de fachada:** La correcta ubicación de ventanas y elección de acabados de construcción, contribuyen al aprovechamiento del entorno de la edificación.

Conforme a las anteriores características se podrían realizar diversos análisis energéticos en la VIS como son:

1. **Iluminación natural:** el aprovechamiento de la luz natural permite reducir el uso de la luz artificial en la iluminación de interiores [214]. En la Figura 5 se muestra un ejemplo de ello.



Figura 5. Iluminación natural [215].

2. Análisis térmico (flujo de calor, radiación solar, uso por parte de los habitantes, etc): El desempeño térmico de una edificación básicamente está determinado por las propiedades térmicas de los materiales, como la absorción o emisión de la radiación solar (resistencia térmica y coeficiente de conductividad térmica) [216]. En la Figura 6 se muestra un ejemplo de ello.



Figura 6. Análisis térmico [217].

- Ventilación natural (flujo de aire): La ventilación natural es el proceso de intercambio de aire del interior de una edificación por aire fresco del exterior, sin la necesidad de utilizar equipos de climatización [11]. En la Figura 7 se muestra un ejemplo de ello.

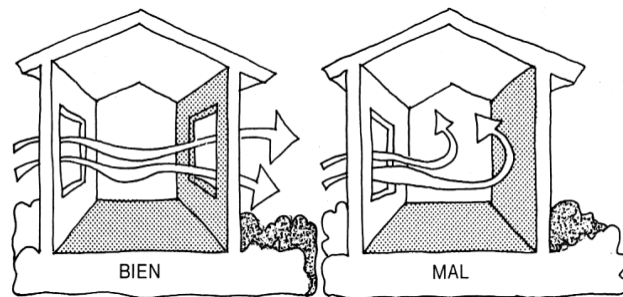


Figura 7. Ventilación natural [218].

- Consumo energético de electricidad hora a hora: Consumo energético por cargas eléctricas (electrodomésticos y equipos electrónicos) y consumo de energía para iluminación. En la Figura 8 se representa un modelo de consumo de la energía eléctrica en una vivienda con generación fotovoltaica y uso de la red.



Figura 8. Consumo de energía eléctrica [219].

Los factores se eligen a partir de los requerimientos que tienen los profesionales para ejecutar un análisis apropiado y en cumplimiento de las recomendaciones establecidas en las Guías de Asistencia Técnica para las VIS. Los factores se presentan en la Tabla 4.

Factor	Descripción
Uso de planos DWG.	La herramienta permite el uso de planos DWG en el proceso de simulación.
Interfaz gráfica amigable para el usuario.	La herramienta posee una interfaz gráfica clara y ordenada, conteniendo orden en los menús, fácil acceso a las herramientas más usadas, iconos fácilmente reconocibles e ilustrativos, y similar a programas que están en nuestro entorno común.
Estudios de su aplicación a entorno tropical según los artículos.	Con este factor se evalúa si la herramienta ha sido probada para las condiciones de un entorno tropical, según lo consultado en los artículos consultados.
Representatividad de su uso en artículos.	Este factor hace referencia al uso de la herramienta en los artículos consultados.
Información sobre el uso de la herramienta.	Este factor hace referencia a las ayudas disponibles en la web, que tiene la herramienta para ser utilizada, por ejemplo manuales, tutoriales, videos tutoriales, foros, etc.
Utilización de valores por defecto.	La herramienta posee valores predefinidos para ciertas características de diseño, además de permitir cambiarlos de manera fácil y eficiente.
Archivos climáticos basados en datos reales.	Este factor hace referencia al uso de archivos climáticos reales por parte de la herramienta.
Disponibilidad de licencias en la E3t.	La Escuela E3t se tiene licencia para el uso de la herramienta.
Enlaces con otros programas.	Con este criterio se evalúa si la herramienta permite la integración con otros programas.

Tabla 4. Factores para la evaluación de las herramientas.

3.2.3 Evaluación de los factores seleccionados en las herramientas

Se verifica el cumplimiento de cada uno de los factores mencionados anteriormente, y para ello se hace necesario una investigación más a fondo de la herramienta a través del contacto con el proveedor, buscar las experiencias que han tenido otros profesionales en cuanto al uso de la herramienta.

A fin de evaluar cada uno de los factores seleccionados, se optó por calificar éstos con un puntaje entre uno (1) y cinco (5), permitiendo así una valoración objetiva de cada uno de éstos, dado que se establece la condición para la asignación de cada puntuación.

En la Tabla 5 que se presenta a continuación, se explica la forma de calificar los siguientes factores:

1. Uso de planos DWG.
2. Utilización de valores por defecto.
3. Archivos climáticos basados en datos reales.
4. Disponibilidad de licencias en la E3T.
5. Enlaces con otros programas.

Calificación	Descripción
1	La herramienta no presenta el factor a evaluar.
5	La herramienta presenta el factor a evaluar.

Tabla 5. Método de calificación para los factores 1, 2, 3, 4 y 5.

A continuación, en la Tabla 6 se presenta la manera para evaluar los factores “Interfaz gráfica amigable para el usuario” y “Información sobre el uso de la herramienta”.

Calificación	Descripción
1	La herramienta no presenta el factor a evaluar.
2	La herramienta tiene el factor a evaluar, pero se presenta en una forma poco ordenada y clara.
3	La herramienta tiene el factor a evaluar, se presenta en una forma ordenada.
4	La herramienta posee el factor a evaluar, se presenta de forma clara y ordenada.

5	La herramienta posee el factor a evaluar, además éstas se presentan de forma clara, ordenada y eficaz (o en gran cantidad).
----------	---

Tabla 6. Método de calificación para "Interfaz gráfica amigable para el usuario".

En la Tabla 7 se muestra la forma de evaluar el factor “Representatividad de uso en los artículos consultados”.

Calificación	Descripción
1	La herramienta es utilizada entre 0 y 9 veces en los artículos consultados
2	La herramienta es utilizada entre 10 y 19 veces en los artículos consultados
3	La herramienta es utilizada entre 20 y 29 veces en los artículos consultados
4	La herramienta es utilizada entre 30 y 39 veces en los artículos consultados
5	La herramienta es utilizada más de 40 veces en los artículos consultados

Tabla 7. Descripción calificación para "Representatividad de su uso en los artículos consultados"

Para el factor “Estudios de su aplicación a entorno tropical según los artículos” se califica con un uno (1) si no se encuentran estudios en entornos tropicales en los artículos consultados, y cinco (5) en caso que se encuentre al menos un estudio al respecto.

En resumen, se presenta en la Figura 9 el procedimiento a seguir para la aplicación de la metodología de evaluación.



Figura 9. Aplicación de la metodología de evaluación.

3. SELECCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES PARA ANÁLISIS ENERGÉTICO DE VIS

La selección de tres herramientas computacionales para análisis energético de VIS, se realiza con el fin de evaluar la aplicabilidad de éstas en dichas viviendas, además comparar los resultados que se obtendrán en las simulaciones a realizar en capítulos posteriores; esta selección se efectúa siguiendo la metodología establecida. Ésta se desarrolla en el contexto de investigación del grupo E3T-GISEL-VIS.

4.1 APLICACIÓN DE LA PRIMERA FASE DE LA METODOLOGÍA

Se inicia con la revisión de herramientas según el campo de aplicación para una serie de áreas genéricas que representan los tipos de análisis y simulaciones que se efectúan en una edificación.

Dado que se realiza un análisis de toda la VIS, se seleccionó el campo de aplicación de “Análisis energético”, las herramientas agrupadas allí poseen la capacidad de ejecutar un conjunto de análisis general de la edificación. A continuación en la Figura 10, se presenta la búsqueda de las herramientas en el directorio.

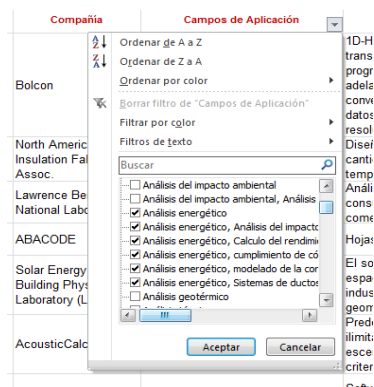


Figura 10. Filtrado de la base de datos para "Análisis energético".

Realizada la búsqueda en el directorio, se han encontrado 46 herramientas que cumplen con el criterio de búsqueda anteriormente mencionado, el listado de éstas se presenta en el Anexo D.

Con motivo de encaminar la búsqueda hacia el análisis de la VIS, se verifica el costo de la licencia y la descripción de la herramienta. En la Tabla 8 se muestra el listado de las herramientas que cumplen con lo anterior, además de la descripción de cada una de éstas.

Nombre	Descripción
Cepenergy Management software for buildings	Es una herramienta para el análisis de la matriz de energía (electricidad, agua, combustible), y las emisiones de CO ₂ en edificios.
Design Advisor	Herramienta de simulación de energía que da estimaciones del modelo energético, confort, rendimiento, luz natural y el costo a largo plazo de los servicios públicos.
DesignBuilder	DesignBuilder puede ser utilizado para las simulaciones de muchos tipos comunes de HVAC, edificios con ventilación natural y control de luz natural, estrategias avanzadas de protección solar, etc
DOE-2	Cada hora, el programa calcula y analiza la energía de toda una edificación, la eficiencia energética y el costo global de operación.
EcoDesigner (ArchiCAD 15)	EcoDesigner permite a los arquitectos evaluar de forma rápida y eficiente alternativas de diseño basados en el consumo de energía, emisiones de carbono y el balance mensual de energía.
Ecotect	Integra las capacidades de análisis en línea de energía, agua y las emisiones de carbono con herramientas que le permiten visualizar y simular el funcionamiento de un edificio en su entorno.
EnergyPlus	EnergyPlus calcula las cargas de calefacción y refrigeración necesarias para mantener puntos de ajuste de control térmico, las condiciones de todo un sistema secundario de HVAC y el consumo de energía.
eQUEST	Herramienta de diseño de rendimiento energético que evalúa el rendimiento de todo el edificio en todo el proceso.
ESP-r	ESP-r es una herramienta de modelado de energía integrado para la simulación del comportamiento térmico, visual y acústico de los edificios, el uso de energía y las emisiones de gases.

Tabla 8. Listado de herramientas seleccionadas

Para reducir el número de opciones se verifica la vigencia de la herramienta en la actualidad, y que en los últimos años hayan sido utilizadas por los profesionales, lo cual se constata en los artículos consultados. En el Anexo E se presenta la información de esto. A continuación en la Tabla 9, se muestran las herramientas seleccionadas para la evaluación, a partir de lo mencionado anteriormente.

Nombre	Descripción
DesignBuilder	DesignBuilder puede ser utilizado para las simulaciones de muchos tipos comunes de HVAC, edificios con ventilación natural y control de luz natural, estrategias avanzadas de protección solar, etc
DOE-2	Cada hora, el programa calcula y analiza la energía de toda una edificación, la eficiencia energética y el costo global de operación.
Ecotect	Integra las capacidades de análisis en línea de energía, agua y las emisiones de carbono con herramientas que le permiten visualizar y simular el funcionamiento de un edificio en su entorno.
EnergyPlus	EnergyPlus calcula las cargas de calefacción y refrigeración necesarias para mantener puntos de ajuste de control térmico, las condiciones de todo un sistema secundario de HVAC y el consumo de energía.
eQUEST	Herramienta de diseño de rendimiento energético que evalúa el rendimiento de todo el edificio en todo el proceso
ESP-r	ESP-r es una herramienta de modelado de energía integrado para la simulación del comportamiento térmico, visual y acústico de los edificios, el uso de energía y las emisiones de gases.

Tabla 9. Listado final de herramientas seleccionadas

4.2 SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS FACTORES

Los factores mencionados y descritos en la sección 3.2.2, han sido seleccionados para la evaluación de las herramientas, y se aplica lo indicado en la sección 3.2.3.

4.2.1 Evaluación de las herramientas

La evaluación se efectúa con base en la información expuesta en el directorio de búsqueda, paginas oficiales online y manuales de cada una de las herramientas seleccionadas.

4.2.1.1 Evaluación de EnergyPlus

EnergyPlus es el programa de simulación energética de edificios del Departamento de Energía de EEUU para el modelado y cálculo de calefacción, refrigeración, iluminación, ventilación y otros flujos energéticos. Incorpora numerosas funcionalidades de simulación novedosas como intervalos de simulación inferiores a una hora, flujo multizona, confort térmico y sistemas fotovoltaicos [220].

Aunque no posea un interfaz gráfico "amigable", se puede definir el modelo del edificio mediante y posterior importarlo para realizar el análisis con EnergyPlus [221]. Las características generales de ésta herramienta se presentan en la Tabla 10.

Características	Herramienta
	EnergyPlus
Sistema operativo y especificaciones de Hardware	Disponible para Windows XP / Vista, Mac OS y Linux.
País	EE.UU
Costo	Gratuito (inscripción en la página oficial)
Compañía	U S Department of Energy
Campo de aplicación	Análisis energético
Link	http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/

Tabla 10. Características generales de EnergyPlus.

A continuación en la Tabla 11 se presentan los resultados de la evaluación de los factores para la herramienta EnergyPlus [222].

Factor	Calificación EnergyPlus
Uso de planos DWG.	5
Interfaz gráfica amigable para el usuario.	1
Estudios de su aplicación a entorno tropical según los artículos.	5
Representatividad de su uso en artículos.	5
Información sobre el uso de la herramienta.	5
Utilización de valores por defecto	4
Archivos climáticos basados en datos reales.	5
Disponibilidad de licencias en la E3t.	1
Enlaces con otros programas.	5
Total	36

Tabla 11. Evaluación de los factores para EnergyPlus.

4.2.1.2 Evaluación de DOE-2

Es un programa de análisis energético de edificaciones que puede predecir el consumo y costo de la energía de todo tipo de edificaciones. Utiliza una descripción de la distribución del edificio, construcciones, uso, sistemas de acondicionamiento (iluminación, climatización, etc) y tarifas de los servicios proporcionados por el usuario, junto con los datos del tiempo, para llevar a cabo una simulación por hora de la construcción, además de estimar la factura de los servicios públicos [223].

El propósito de DOE-2 es ayudar en el análisis del uso de la energía en las edificaciones; no está destinada a ser la única fuente de información utilizada para el diseño de edificios [223]. Las características generales de ésta herramienta se presentan en la Tabla 12.

Características	Herramienta
	DOE-2
Sistema operativo y especificaciones de Hardware	Windows 7/8/XP pero funciona para 95/98/ME/NT/2000, 4 MB de RAM.
País	EE.UU.
Costo	Gratis.
Compañía	<i>Lawrence Berkeley National Laboratory.</i>
Campo de aplicación	Análisis energético.

Link	http://doe2.com/
-------------	---

Tabla 12. Características generales de DOE-2.

A continuación en la Tabla 13, se presenta los resultados de la evaluación de los factores para la herramienta DOE-2 [223].

Factor	Calificación DOE-2
Uso de planos DWG.	1
Interfaz gráfica amigable para el usuario.	1
Estudios de su aplicación a entorno tropical según los artículos.	1
Representatividad de su uso en artículos.	2
Información sobre el uso de la herramienta.	4
Utilización de valores por defecto	5
Archivos climáticos basados en datos reales.	1
Disponibilidad de licencias en la E3T.	1
Enlaces con otros programas.	1
Total	17

Tabla 13. Evaluación de los factores para DOE-2.

4.2.1.3 Evaluación de eQUEST

Es un programa que permite calcular el consumo de energía del edificio hora a hora. Realiza los cálculos en función de la forma del edificio, las propiedades térmicas de los materiales de construcción, los efectos de las sombras, la ocupación, el funcionamiento de las luces y equipos, las condiciones ambientales, los controles de temperatura y humedad (el consumo de energía), del funcionamiento del sistema de climatización primario y secundario y del tipo y eficiencia del combustible del equipo [224]. Las características generales de ésta herramienta se presentan en la Tabla 14.

Características	Herramienta
	eQUEST

Sistema operativo y especificaciones de Hardware	Microsoft Windows 98/NT/2000/XP/Vista
País	EE.UU.
Costo	Gratis.
Compañía	James J. Hirsch and Associates
Campo de aplicación	Análisis energético.
Link	http://doe2.com/

Tabla 14. Características generales de eQUEST.

A continuación en la Tabla 15, se presenta los resultados de la evaluación de los factores para la herramienta eQUEST [224].

Factor	Calificación eQUEST
Uso de planos DWG.	5
Interfaz gráfica amigable para el usuario.	5
Estudios de su aplicación a entorno tropical según los artículos.	5
Representatividad de su uso en artículos.	2
Información sobre el uso de la herramienta.	5
Utilización de valores por defecto	5
Archivos climáticos basados en datos reales.	5
Disponibilidad de licencias en la E3T.	1
Enlaces con otros programas.	5
Total	38

Tabla 15. Evaluación de los factores para eQUEST.

4.2.1.4 Evaluación DesignBuilder

DesignBuilder es un software diseñado para el análisis energético de edificaciones, especializado en el análisis térmico, de iluminación natural y HVAC. Sus avanzadas prestaciones permiten evaluar parámetros de desempeño relacionados con los niveles de confort, los consumos de energía y las emisiones de CO₂, contribuyendo

de manera significativa a la práctica de la arquitectura sustentable [225]. Las características generales de ésta herramienta se presentan en la Tabla 16.

Características	Herramienta
	DesignBuilder
Sistema operativo y especificaciones de Hardware	Windows 7, Vista, XP; procesador de 1000 MHz; 2 GB de RAM; 200 MB de espacio en el disco duro
País	Reino Unido
Costo	Licencia Universidad
Compañía	DesignBuilder Software Ltd
Campo de aplicación	Análisis energético.
Link	http://www.designbuilder.co.uk

Tabla 16. Características generales de DesignBuilder.

A continuación en la Tabla 17, se presenta los resultados de la evaluación de los factores para la herramienta DesignBuilder [226].

Factor	Calificación DesignBuilder
Uso de planos DWG.	5
Interfaz gráfica amigable para el usuario.	5
Estudios de su aplicación a entorno tropical según los artículos.	1
Representatividad de su uso en artículos.	1
Información sobre el uso de la herramienta.	5
Utilización de valores por defecto	5
Archivos climáticos basados en datos reales.	5
Disponibilidad de licencias en la E3T.	5
Enlaces con otros programas.	5
Total	37

Tabla 17. Evaluación DesignBuilder.

4.2.1.5 Evaluación ESP-r

ESP-r es una herramienta integrada de modelado de energía para la simulación del comportamiento térmico, visual y acústico de los edificios, el uso de energía y las emisiones de gases asociados a los sistemas de control ambiental. Al llevar a cabo sus evaluaciones, el sistema está preparado para el modelo de calor, de aire, humedad y los flujos de energía eléctrica a una resolución determinada por cada usuario [227].

Las características generales de ESP-r se presentan en la Tabla 18.

Características	Herramienta
	ESP-r
Sistema operativo y especificaciones de Hardware	Windows NT / 2000/XP, Pentium o superior, 512 MB de memoria.
País	Reino Unido
Costo	Licencia Universidad
Compañía	Department of Mechanical Engineering, University of Strathclyde
Campo de aplicación	Análisis energético.
Link	http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm

Tabla 18. Características generales de ESP-r.

A continuación en la Tabla 19, se presenta los resultados de la evaluación de los factores para la herramienta ESP-r [228].

Factor	Calificación ESP-r
Uso de planos DWG.	5
Interfaz gráfica amigable para el usuario.	2
Estudios de su aplicación a entorno tropical según los artículos.	1
Representatividad de su uso en artículos.	1

Información sobre el uso de la herramienta.	5
Utilización de valores por defecto	5
Archivos climáticos basados en datos reales.	1
Disponibilidad de licencias en la E3t.	1
Enlaces con otros programas.	5
Total	26

Tabla 19. Evaluación ESP-r

4.2.1.6 Evaluación Ecotect

Ecotect es una herramienta de diseño que permite simular el comportamiento energético de un edificio desde su concepción hasta su construcción. Combina un amplio rango de análisis funcionales con una visualización dinámica de los resultados. Permite considerar un mayor número de aspectos para un rendimiento óptimo de la construcción, con el fin de lograr un impacto menor sobre el medio ambiente. Evalúa alternativas para la eficiencia energética, neutralidad de emisión de CO₂ [229].

Las características generales de Ecotect se presentan en la Tabla 20.

Características	Herramienta
	Ecotect
Sistema operativo y especificaciones de Hardware	Windows 7,Vista,Xp,NT;procesador Intel Pentium II;300 MHz; 128 MB de RAM;85 MB de espacio en el disco duro
País	Reino Unido
Costo	Licencia Universidad
Compañía	Centre for Research in the Built Environment
Campo de aplicación	Análisis energético.
Link	http://usa.autodesk.com/ecotect-analysis/

Tabla 20. Características generales de Ecotect.

A continuación en la Tabla 21, se presenta los resultados de la evaluación de los factores para la herramienta Ecotect [230].

Factor	Calificación Ecotect
Uso de planos DWG.	5
Interfaz gráfica amigable para el usuario.	5
Estudios de su aplicación a entorno tropical según los artículos.	1
Representatividad de su uso en artículos.	1
Información sobre el uso de la herramienta.	5
Utilización de valores por defecto	5
Archivos climáticos basados en datos reales.	5
Disponibilidad de licencias en la E3T.	5
Enlaces con otros programas.	5
Total	37

Tabla 21. Evaluación Ecotect.

4.2.2 Herramientas seleccionadas

Teniendo en cuenta los resultados que se obtuvieron en la evaluación de cada herramienta, se decidió seleccionar las tres herramientas que sumaron la puntuación más alta. A continuación se muestra en la Figura 11 la puntuación total de cada herramienta.

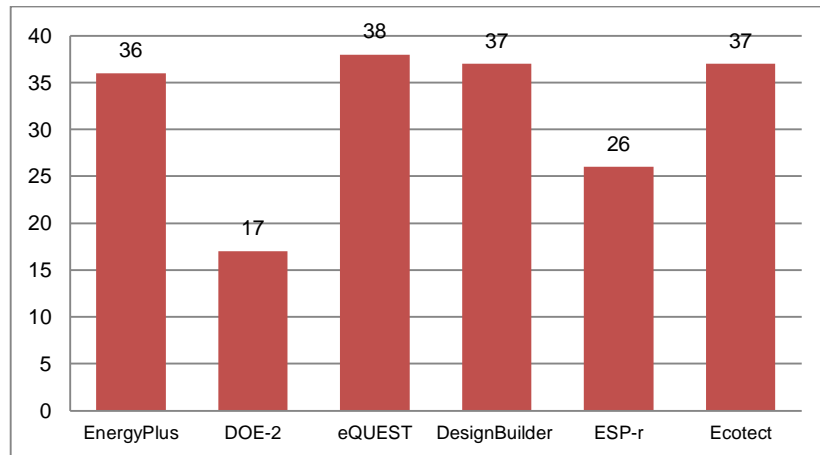


Figura 11. Resultados de evaluación.

De acuerdo al resultado de la evaluación se eligieron las herramientas eQUEST, DesignBuilder y Ecotect para realizar el análisis energético de las VIS.

4. DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL SELECCIONADA

La mayoría de proyectos de construcción de VIS que se están desarrollando actualmente o se desarrollarán en el municipio de Bucaramanga, están basados en una estrategia de vivienda creada por el INVISBU (Instituto de Vivienda de Interés Social y Reforma Urbana del Municipio de Bucaramanga), en la que al observar una carencia de zonas y suelos aptos para la construcción; decide adelantar proyectos de alta densificación, en los que el espacio público sea un valor agregado para el habitante [231]; reemplazando la vivienda unifamiliar por vivienda multifamiliar [232].

5.1 DESCRIPCIÓN DE LA VIS

Se decidió realizar la simulación y análisis energético con las tres herramientas seleccionadas, a un modelo de edificación multifamiliar de 5 pisos, conformado por 6 apartamentos en cada uno [233]. Este modelo de edificación permite realizar un análisis más detallado y acorde con la realidad, ya que hace parte de un proyecto aprobado por el INVISBU (ver Figura 12), que se está construyendo en la actualidad.



Figura 12. Proyecto Altos de Betania INVISBU.

El proyecto tiene como nombre “Altos de Betania”, localizado en el Barrio Café Madrid, al costado oriental de la vía palenque-café Madrid, colindando al norte con el proyecto INGESER Villas de San Ignacio, al sur con el proyecto ETAPA 9 BETANIA Villas de San Ignacio y al oriente con el proyecto ETAPA 8 BETANIA Villas de san Ignacio; exactamente en la Latitud $7^{\circ} 9'22.45''N$, longitud $73^{\circ} 8'30.09''O$. La estructura está a 656 msnm en el municipio de Bucaramanga, Departamento de Santander.

Las simulaciones se realizaron teniendo en cuenta las mismas condiciones ambientales y características técnicas, con las que se construyó la edificación elegida en cada una de las tres herramientas seleccionadas, con el fin de estudiar las condiciones de confort térmico y visual (ver Anexo G y Anexo H) y el comportamiento del consumo energético. A partir de ello analizar los resultados y verificar la idoneidad de cada una de ellas en el análisis energético de la VIS.

5.2 ESPECIFICACIONES CONSTRUCTIVAS

El proyecto Altos de Betania da la oportunidad de contar con un lugar digno para las familias de escasos recursos, ya que cumple con los requerimientos mínimos de espacio de una VIS (ver Anexo A). Cada apartamento consta de sala comedor, cocina y ropas, una alcoba principal, una alcoba auxiliar, 1 baño y un balcón [234]. El área que conforma cada apartamento y en total el piso tipo se muestran en la Tabla 22.

Área total construida				
Apartamentos	Área por apartamento [m ²]	Circulación D [m ²]	Escalera por Apto [m ²]	Subtotal [m ²]
Apto 01	42,48	4,4	1,33	48,21
Apto 02	42,12	4,4	1,33	47,85
Apto 03	42,76	4,4	1,33	48,49
Apto 04	42,76	4,4	1,33	48,49
Apto 05	42,12	4,4	1,33	47,85
Apto 06	42,48	4,4	1,33	48,21
Total piso	252,72	26,41	7,98	-
Área construida cada piso				287,11
Área total construida del edificio				1 435,55

Tabla 22. Área construida

5.2.1 Fachada

La mampostería a la vista está compuesto de ladrillos de arcilla cocida, sólidos y microperforados cuyas dimensiones son 25 cm x 6,5 cm x 12 cm, los cuales se llevaran a cabo en la fachada, culata, punto fijo y en el interior del apartamento en la zona del balcón, mesón tipo americano y muro de cocina. El bordillo perimetral sobre la cubierta tendrá el mismo tipo de ladrillo a una altura de 0,30 m.

La puerta de la entrada principal es metálica, enchape en zonas húmedas como el baño y la cocina, muros en ladrillo a la vista como se aprecia en la Figura 13, muros

interiores en mampostería H-10, mesón para cocina incluye muro de apoyo, Lavadero prefabricado, ventana tipo para alcobas, ventana celosía para baño y cocina, puerta ventana para balcón.



Figura 13. Fachada frontal Altos de Betania [235].

5.2.2 Muros interiores

Muro sísmico en el interior de cada apartamento de 10 cm, de concreto de 3 000 psi con esfuerzo estructural.

Los muros en el interior en mampostería H-10 son de ladrillos de arcilla cocida de 10 cm de espesor, el mortero de 1,5 cm que une los ladrillos, es uniforme tanto vertical como horizontalmente.

5.2.3 Placa entrepiso, pisos y enchapes

El antepiso es de concreto de 2 500 psi con un espesor de 0,10 m, incluye una malla electrosoldada de 5mm de 2,4m x 6m, separación 0,2m, la cual sólo se aplicará en el primer piso.

La placa entrepiso posee un espesor de 10 cm de concreto de 3 000 psi con esfuerzo estructural.

El piso del apartamento posee un recubrimiento con mortero 1:3, y con un espesor de 0,05 m sobre el piso como acabado interior en éste y en zonas comunes.

La cubierta y el piso de baño tienen un recubrimiento de mortero impermeabilizado de espesor de 0,05 m con el debido control de pendientes, contempla el recubrimiento de cubierta en mortero 1:3 (una parte de cemento y 3 de arena) con impermeabilizante integral tipo Sika-1 o similar, para dar acabado final.

5.3 ESPECIFICACIONES ENERGÉTICAS

Se describen las especificaciones asociadas al sistema de iluminación general y equipos eléctricos. La iluminación general está compuesta por lámparas fluorescentes ahorradoras de energía, con casquillo de rosca. En relación a los equipos eléctricos, se encontró que en cada apartamento puede haber al menos un computador de escritorio y otros pequeños electrodomésticos. En el Anexo F se muestra en detalle el inventario de luminarias y equipos eléctricos que pueden conformar la edificación.

El cálculo de la potencia asignada para iluminación en cada nivel, se realizó, a partir de la revisión de los planos de “Instalaciones de fuerza e iluminación” del apartamento tipo [236], además de los cuadros de carga respectivos para el apartamento tipo y el tablero de servicios generales que se presentan a continuación.

Cuadro de cargas apartamento tipo												
Circ	Luces	Tomas		Carga (VA)				Fases	Corriente (A)	Cond AWG	Prot (A)	Observaciones
		Com	Esp	Fase			Total					
				A	B	C						
1	-	7	1	1 440	-	-	1 440	1	12	12	1*20	Tomacorrientes generales
2	-	1	2	1 200	-	-	1 200	1	10	12	1*20	Lavadora y plancha
3	-	2	1	540	-	-	540	1	4,5	12	1*20	circuito cocina
4	8	-	-	800	-	-	800	1	6,67	14	1*15	luces
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Libre
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Libre
Total	8	10	4	3 980	-	-	3 980	2	11,05	1*8+8	2*30	Acometida monofásica bifilar

Tabla 23. Cuadro de cargas apartamento tipo.

Cuadro de cargas												
Circ	Luces	Tomas		Carga (VA)				Fases	Corriente (A)	Cond AWG	Prot (A)	Observaciones
		Com	Esp	Fase			Total					
				A	B	C						
1	-	-	1	1 450	-	-	1 450	1	6,97	4	3*50	Bomba Hidro-neumática 4HP*, Rendimiento=0,8 factor de potencia= 0,85
3	-	-		-	1 450	-	1 450	1	6,97			
5	-	-		-	-	-	1 450	1 450	1			
2	5	-	-	300	-	-	300	1	2,5	14	1*15	Luces punto fijo escaleras
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	5	-	-	1 750	1 450	1 450	4 650	1	12,91	4	2*30	Acometida monofásica bifilar

Tabla 24. Cuadro de cargas servicios generales.

Teniendo en cuenta la carga de iluminación de cada apartamento y las luces de las escaleras, y asignando un factor de potencia de 0,9 (para lámparas fluorescentes); se realizó el cálculo de la potencia asignada a la iluminación por piso que se encuentra es la siguiente Tabla 25.

Potencia asignada para iluminación	
Piso	Potencia (W)
1	4 374
2	4 374
3	4 374
4	4 374
5	4 374

Tabla 25. Potencia asignada a iluminación

5. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LA VIS CON DESIGNBUILDER

En este capítulo se presenta el proceso de simulación y análisis de resultados de según la herramienta DesignBuilder.

6.1 GENERALIDADES DESIGNBUILDER

DesignBuilder es un programa que se desarrolla como un entorno de modelización de edificios intuitivo y visual en donde se integran diferentes módulos para el cálculo energético y ambiental [237], ofreciendo una amplia gama de información sobre el desempeño térmico, lumínico y energético de los edificios.

La versión que se utilizó para la simulación es la 3.4.0.033 (licencia proporcionada por la E3T). Los módulos que se utilizaron para las simulaciones son los siguientes.

- El módulo de visualización ofrece una representación visual del modelo geométrico y el sombreado en distintos instantes del año [237]:
- El módulo de EnergyPlus es el motor de simulación y análisis que incorpora funciones como el cálculo de cargas de climatización, condiciones de confort, emisiones de CO₂, entre otros [237].
- El módulo Daylighting mediante el motor de simulación de iluminación natural Radiance, calcula y genera graficas de iluminancias y factor de *Luz Día* e informes resumen de accesibilidad a la luz natural de la edificación [237].

6.1.1 Etapas del proceso de simulación y análisis de la VIS con DesignBuilder

El proceso de simulación y análisis de una edificación en DesignBuilder, se desarrolla a través de una serie de etapas o fases que son mostradas en la Tabla 26.

Fase 1. Modelado geométrico	Se crea la geometría de la edificación, a través de la edición de bloques, la adición de particiones (muros internos), aberturas personalizadas (ventana, puertas, etc.)
Fase 2. Definición de envolventes y usos	Se introducen parámetros que afectan al envolvente de la edificación, como composición de cerramientos, acristalamientos, así como las condiciones de uso para cada zona del edificio, especificando su ocupación, temperaturas de refrigeración, calefacción, ganancias de calor aportadas por artefactos eléctricos.
Fase 3. Definición de las instalaciones de iluminación	Se definen la potencia instalada de iluminación, y otras de iluminación exterior y focalizada.
Fase 4. Definición de las instalaciones de climatización	Se modela las instalaciones del sistema de climatización, especificando componentes como ventilación mecánica, calefacción, ventilación, etc.
Fase 5. Simulaciones y resultados	Se calculan las cargas y demandas de los sistemas de calefacción, refrigeración, calcula condiciones de confort. Los resultados se pueden visualizar en varios formatos en intervalos de tiempo deseados.

Tabla 26. Etapas del proceso de simulación en DesignBuilder.

6.1.2 Jerarquía y herencia de la información en los modelos

En DesignBuilder la información asignada a los modelos se organiza jerárquicamente de acuerdo a los niveles mostrados en la Figura 14.

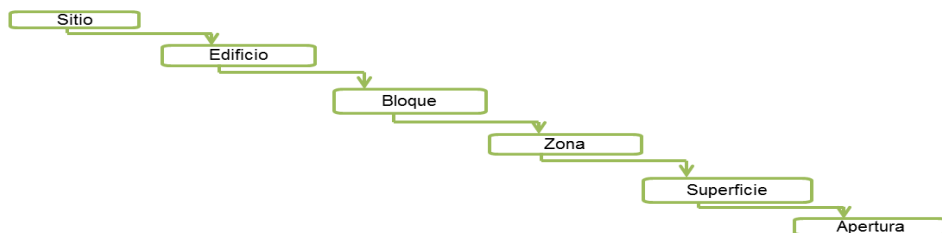


Figura 14. Jerarquía y herencia de la información en los modelos en DesignBuilder.

La información proporcionada al programa se hace de forma escalonada o jerárquica como se mostró anteriormente, de tal manera que los datos de cada nivel son heredados del nivel superior inmediato y posibilitando cambiarlos de manera explícita [238].

6.1.3 Datos del modelo

Al crear un edificio, los datos predeterminados se cargan automáticamente en el nivel edificio desde las plantillas establecidas, las cuales representan un gran número de características físicas y energéticas que son necesarias para las simulaciones y los análisis.

Las etiquetas que contienen dichas plantillas, se presentan en la Tabla 27.

Lugar (nivel sitio)	Esta plantilla permite editar la información del lugar del proyecto, como la ubicación geográfica y los datos climáticos horarios que son utilizados para la simulación dinámica
Actividad (nivel edificio, bloque, zona o superficie)	Permite definir los parámetros relacionados con el uso de las zonas que influyen directamente en las condiciones térmicas de la edificación.
Cerramientos (nivel edificio, zona o bloque)	Se emplean para modelar la conducción de calor a través de elementos de la edificación, ya que se definen las propiedades termofísicas y visuales de los materiales que los componen.
Aberturas (nivel superficie)	Se definen las características detalladas de las ventanas, superficies acristaladas, huecos, puertas y rejillas.
Iluminación (nivel zona)	Establecen parámetros genéricos de iluminación artificial en la edificación, allí se define el tipo de iluminación que posee una zona en específico, ya sea general y/o iluminación de escritorio y exhibición.
HVAC	Es posible especificar datos de los sistemas de climatización disponibles en la edificación, como calefacción, refrigeración, en específico se puede modelar la ventilación natural que será el tipo de climatización de la VIS.

Tabla 27. Etiquetas en DesignBuilder.

6.1.4 Bloques

Los bloques son las formas geométricas básicas que se emplean para crear modelos en DesignBuilder, éstos se generan dibujando perímetros en dos dimensiones sobre planos horizontales, verticales o inclinados, los cuales luego se extruyen para generar formas tridimensionales; además, es posible editarlos para subdividir en zonas o espacios, mediante particiones interiores [238].

6.1.5 Datos climáticos horario para la simulación

Los datos climáticos horarios y ubicación del modelo se utilizan en la herramienta para simular la posición global y obtener valores aproximados del comportamiento de los ángulos de entrada de los rayos del sol y el comportamiento térmico de la edificación a lo largo del año [239]

DesignBuilder emplea el formato de datos climáticos horarios de EnergyPlus, que tienen la extensión ".EPW", para definir las condiciones externas del lugar durante las simulaciones [238]. Se seleccionó el archivo .EPW⁶ de la UIS para la zona del edificio de VIS dado que no se cuenta con los datos de éste.

6.2 MODELADO GEOMÉTRICO DE LA VIS

El modelado geométrico se puede realizar de tres diferentes formas; la primera es realizar el modelado tridimensional mediante operaciones como extrusión, corte, unión, etc; la segunda permite importar planos en 2D en DFX con referencia a puntos o de planos gráficos, como base para trazar el modelo; la tercera posibilita la

⁶ Archivo tomado de "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".

importación de modelos desde software BIM (*Building Information Model*) como *Autodesk Revit* y *Grafisoft ArchiCad* [240].

La geometría de la edificación se construyó siguiendo dicha jerarquía, como se muestra en el Anexo I. El modelo final renderizado de la VIS se muestra en la Figura 15.



Figura 15. Modelo final de la VIS con DesignBuilder.

6.3 SIMULACIONES

En este capítulo se describen las simulaciones que se efectuaron con el fin de estudiar y analizar el comportamiento energético y las condiciones del confort de dicha edificación, y a partir de ello comprobar la aplicabilidad de esta herramienta en el análisis energético de una VIS.

Las simulaciones serán clasificadas de acuerdo al tipo de análisis que se llevará a cabo, por ello, se han definido tres grupos, que se componen como se muestra en la Tabla 28.

Simulaciones	Resultados
Comportamiento energético	Consumo energético total anual. Desglose de consumos. Consumo energético anual por zonas.
Confort térmico	Horas totales de confort en el año. Temperaturas de confort. Ganancias térmicas.
Confort visual	Niveles de iluminación.

Tabla 28. Simulaciones realizadas en DesignBuilder.

Algunos resultados son analizados a partir de datos promedio mensuales y totales anuales. Dado que los consumos de este tipo de edificaciones no varían drásticamente en todo el año, es preciso conocer los parámetros que representan un comportamiento fuera de lo común y que indiquen los valores más altos en éstos.

Al iniciar la simulación es necesario realizar la edición de los datos de cálculo, los ajustes que se realizaron se muestran en la Tabla 29.

Periodo de simulación	Desde el 1 enero hasta el 31 Diciembre
Intervalo de resultados	Mensual y anual Diario
Método de simulación	EnergyPlus
Etapas por hora	4 etapas, se seleccionó este valor, ya que garantiza la muestra de los cambios en los parámetros de la edificación, seleccionados en la simulación, sin extender los tiempos de la misma.
Tipo de control de temperatura	Temperatura del aire, controla la temperatura media del aire para alcanzar las temperaturas de funcionamiento de calefacción y refrigeración. Este valor no influye en nuestra simulación
Configuración de cálculos solares	Se incluyó el sombreado de los bloques de componente.
Resultados de las simulaciones	Reportes anuales de consumos de equipos, datos climáticos, consumos de iluminación, aire exterior. Reportes mensuales de electricidad en las zonas, ganancias, consumo de electricidad, reportes de confort.

Tabla 29. Opciones de simulación en DesignBuilder.

6.4 RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se muestran los resultados de las simulaciones realizadas en la herramienta y sus respectivos análisis, con el propósito de cuantificar los consumos y el confort de la edificación, además de demostrar la aplicabilidad de la herramienta en el modelado y simulación de una VIS.

6.4.1 Consumos energéticos anuales

Los consumos energéticos totales de la edificación se muestran en la Tabla 30.

Parámetro	Valor
Energía total	39 188,38 (kWh)
Energía total por área	32,45 (kWh/m ²)

Tabla 30. Consumo de energía total anual calculado en DesignBuilder.

Los resultados presentados anteriormente fueron calculados para las 8760 horas del año y un área total de 1 207,5 m². A continuación en la Tabla 31 se presenta el desglose del consumo de electricidad debido a la iluminación y equipos al interior de la edificación.

Parámetro	Consumo (kWh)
Iluminación interior	10 716,57
Equipos en el interior	28 471,81

Tabla 31. Desglose del consumo de energía anual calculado en DesignBuilder.

Se puede observar que el consumo en su mayoría proviene del gasto que hacen los equipos al interior del edificio, con un porcentaje del 73% y un 27% iluminación. El bajo consumo de electricidad en iluminación, es debido a las pocas luminarias asignada en la edificación y al poco uso de éstas durante el día, como se presentara más adelante.

Los datos de consumo total en iluminación más representativos de las zonas que integran el modelo de la edificación se toman a partir de la comparación de cada apartamento en un mismo piso.

En la Figura 16 se muestra los consumos de iluminación para el primer piso de la zona “Sala comedor, cocina ropas”, ya que representa el mayor consumo de iluminación.

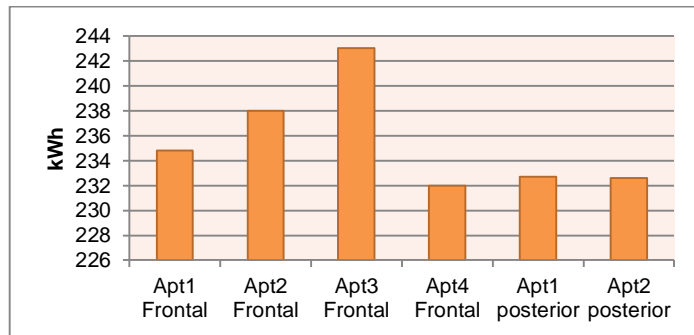


Figura 16. Zona con el mayor consumo de energía promedio anual debido a iluminación en DesignBuilder.

Se observa que el apartamento cuatro y tres de la fachada frontal, representan el menor y mayor consumo de energía respectivamente en toda la edificación. No se presentan variaciones de consumo en los demás niveles, en cuanto a las zonas de los respectivos apartamentos.

El consumo de los equipos en el interior de la vivienda, es debido al uso del computador y equipos varios. El comportamiento de éste es igual al de la iluminación y por ello se escogió el apartamento tres de la fachada frontal, como se muestra en la Figura 17.

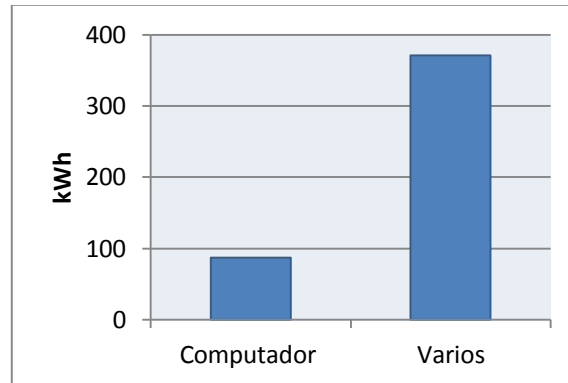


Figura 17. Consumo de energía debido a equipos al interior del apartamento con el mayor consumo en DesignBuilder.

El computador se caracteriza por un consumo bajo en comparación al de equipos varios que componen la potencia más alta, además de un funcionamiento en promedio continuo como el de la nevera.

6.4.2 Confort térmico anual

Uno de los resultados que arroja la herramienta es la cantidad de horas al año en las que no se presenta confort en la edificación, cuyo cálculo se basa en el método Simple ASHRAE 55-2004; en el cual se calcula la temperatura operativa como un promedio de la temperatura del aire y la temperatura radiante media y se verifica si el valor está dentro de la región de confort.

Las horas de desconfort en todo el año fueron de 8 472, es decir, que solo se obtuvieron 288 horas de confort en el edificio, por lo cual los ocupantes de éste sólo experimentarían confort térmico 12 días en dicho periodo.

A continuación en la Figura 18 se muestra las temperaturas obtenidas mes a mes, las cuales dan un indicio del porque no se presenta confort en la edificación.

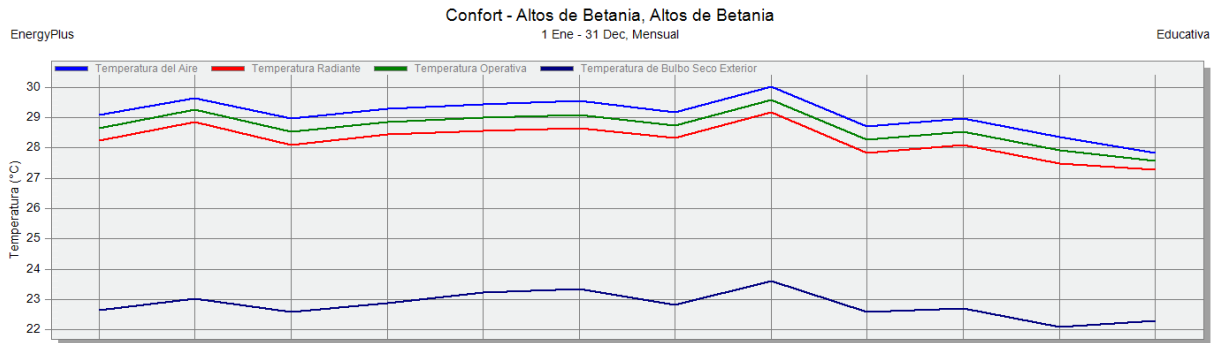


Figura 18. Temperaturas de confort de la edificación calculadas en DesignBuilder.

Se puede ver que la temperatura operativa está por encima de 28 °C durante casi todo el año, y al comparar dicha temperatura en el método ASHRAE, con la temperatura de bulbo seco al exterior que en promedio es de 23 °C, se evidencia en la franja (gráfica ASHRAE) que no es posible sentir confort, solo se sentiría confort si la temperatura operativa estuviese entre 22 y 26 °C.

Como se observa en la Figura 18, la temperatura exterior no excede los 24 °C y conforme a lo mencionado anteriormente, se confirma la falta de confort térmico en la edificación.

6.4.3 Ganancias

En la Figura 19 se presentan los resultados que se obtuvieron de las ganancias de energía de algunos factores que conforman la edificación.

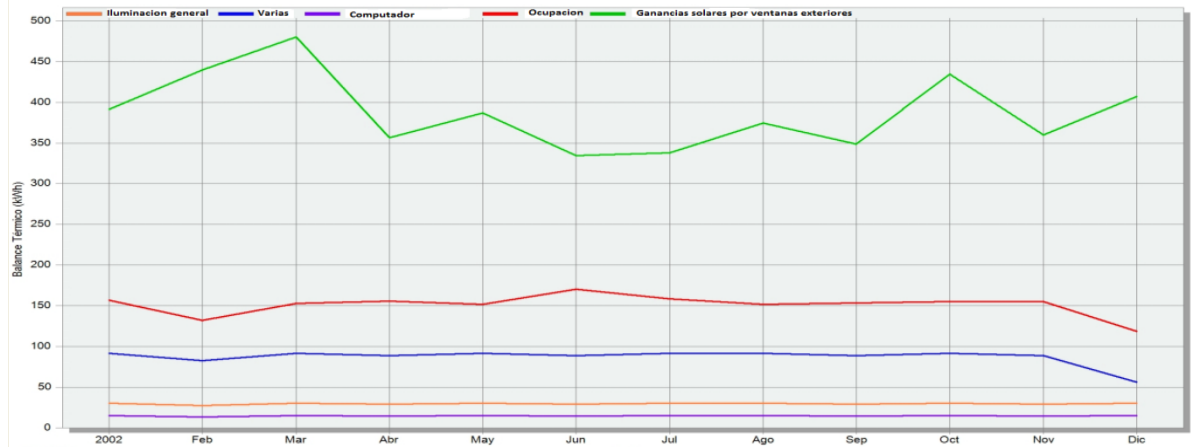


Figura 19. Ganancias internas en la edificación calculadas en DesignBuilder.

Se observa que las ganancias más importantes son las generadas por el sol en las ventanas exteriores, con valores de entre 350 kWh y 480 kWh, en comparación a las producidas por la iluminación artificial con valores menores a 50 kWh. Conforme a lo anterior se podría aprovechar al máximo dicha energía solar para evitar el uso de iluminación artificial durante el día.

Las ganancias de calor en las ventanas y en la ocupación también podrían influir en la sensación de discomfort en la edificación, debido a que son mayores que la pérdida de calor que produce la ventilación exterior.

6.4.4 Iluminación natural

Uno de los parámetros que indica confort visual en una edificación, es el nivel de iluminación o iluminancia (ver Anexo H).

Con el fin de analizar el comportamiento de la luz natural en diferentes condiciones y sus efectos en el confort visual de los ocupantes del edificio, se realizaron las simulaciones para tres días representativos, en donde se tiene en cuenta tres distintas posiciones del sol a lo largo del año, estos son:

- 10 de abril
- 21 de junio - solsticio de verano
- 21 de diciembre - solsticio de invierno

Además el cielo se modeló “intermedio” en la hora de mayor radicación (12 meridiano) simulando condiciones promedio de iluminación sobre la edificación.

Analizando los resultados de todos los apartamentos, se vio que las zonas en donde se registran niveles de iluminancia son la “sala comedor cocina ropas”, “Alcoba auxiliar” y “Alcoba principal”. Por lo anterior se consideró el análisis de un grupo de apartamentos de la fachada posterior, considerando la iluminancia máxima.

A continuación en la Tabla 32 se presenta los niveles de iluminancia máxima en luxes para cada zona de los apartamentos por piso.

Apartamentos		Fechas representativas		
		10 abril	21 junio	21 diciembre
Piso 1	Alcoba auxiliar	739	1 088	541
	Sala comedor cocina ropas	262	299	495
	Alcoba principal	945	732	1 161
Piso 2	Alcoba auxiliar	787	1 132	539
	Sala comedor cocina ropas	291	341	534
	Alcoba principal	990	778	1197
Piso 3	Alcoba auxiliar	778	1 064	559
	Sala comedor cocina ropas	277	321	523
	Alcoba principal	975	756	1202
Piso 4	Alcoba auxiliar	804	1 123	581
	Sala comedor cocina ropas	291	321	515
	Alcoba principal	951	791	1 232
Piso 5	Alcoba auxiliar	804	1 100	588
	Sala comedor cocina ropas	292	346	492
	Alcoba principal	966	780	1 216

Tabla 32. Niveles de iluminancia calculados en DesignBuilder.

Se evidencia un cambio considerable en la iluminancia de las zonas con respecto a la posición del sol durante el año. Además, en la alcoba auxiliar a medida que se aumenta la altura es mayor la iluminancia, ya que la ventana que se encuentra en éstas recibe los rayos del sol sin ninguna interferencia. En la alcoba principal y en la “sala comedor cocina ropas” dichos niveles son aleatorios.

Los valores de iluminancia mostrados en la Tabla 32, se encuentran por encima del nivel promedio sugerido por el RETILAP para espacios interiores residenciales, por lo cual se afirma que a dicha hora del día no es necesario el uso de iluminación artificial, generando un ahorro en el consumo de energía debido a ésta.

6. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LA VIS CON EQUEST

En este capítulo se presenta el proceso de simulación y análisis que se llevó a cabo en la VIS seleccionada, por medio de la herramienta eQUEST

7.1. GENERALIDADES DE EQUEST

eQUEST está diseñado para proporcionar un análisis del rendimiento de todo el edificio, que puede ser utilizado por los profesionales de la construcción, propietarios de edificaciones, diseñadores, operadores de servicios públicos, personal regulador y educadores [241].

Consta de tres asistentes principales, dos que implican el diseño del edificio y sus instalaciones y otro que realiza un estudio del rendimiento energético (EEM), todo ello representado por medio de una interfaz gráfica amigable que facilita la interpretación y preparación del proceso de modelado y simulación. Dichos asistentes se mencionan a continuación [241]:

- Asistente de diseño esquemático (“Asistente SD”).
- Asistente del desarrollo de diseño (“Asistente DD”).
- El Asistente de medición de la eficiencia energética (EEM).

Contiene un modo de interfaz detallado que permite al usuario de forma sencilla introducir los datos descriptivos del edificio a estudiar, que incluye una representación bidimensional y tridimensional de la geometría de la edificación; además permite importar archivos CAD para facilitar su definición.

La simulación del consumo de energía hora a hora durante todo el año, la realiza el motor de cálculo DOE-2, a partir de la información introducida en los asistentes,

teniendo en cuenta además de los datos meteorológicos de la ubicación dada. Durante la simulación, eQUEST calcula la energía del edificio según los distintos usos asignados, por ejemplo, la iluminación, consumo eléctrico (computadores, equipos ofimáticos, aparatos eléctricos en general), calefacción, refrigeración y ventilación [242].

7.1.1. Bloques de construcción de la simulación

El proceso de simulación requiere de la creación de un modelo, y para ello eQUEST se compone de pasos o bloques de construcción [241], en los que se describe toda la información necesaria para la realización de esta. En la Tabla 33 se muestran dichos bloques.

Bloque	Descripción
Análisis de objetivos.	Es necesario considerar el modelo geométrico simplificado que represente los componentes más importantes de la edificación, se deberá tener claridad en lo que se quiere simular y que resultados se desean obtener.
Datos meteorológicos y del sitio de la edificación.	Se introducen importantes características del sitio incluyendo, la latitud, longitud y altitud, además de la información sobre la estructura y edificios adyacentes.
Envolvente, estructura, materiales, sombreado de la edificación.	Se definen todas las características tanto geométricas, como constructivas de la edificación, y para ello se debe tener una idea de las dimensiones y materiales de construcción del edificio existente.
Operación y programación del edificio.	Se determinan los horarios y el calendario de funcionamiento de la ocupación, equipos internos, los sistemas de climatización. eQUEST proporciona operaciones por defecto, basados en el tipo de edificación.
Cargas internas	Se representan las cargas internas de las personas, luminarias y equipos para calcular las ganancias de calor, además de los efectos de ellos en el consumo de energía por refrigeración y calefacción.
Rendimiento y equipos HVAC	En este proyecto no se incluirá ningún tipo de sistema de climatización, ya la construcción real no los posee.

Tabla 33. Bloques para la caracterización y modelado con eQUEST

7.1.2. Datos necesarios

La información que se debe suministrar antes de crear el modelo y en el transcurso de la simulación y el modelado [241] se mencionan Tabla 34.

Parámetro	Fuente	Esquemático	Desarrollo del diseño	Documentos de Construcción
Arquitectónico				
Áreas del edificio y de la zona	Planos de planta	x	x	x
Materiales del envolvente del edificio	Secciones de pared		x	x
Áreas de superficie (por orientación)	Alturas del edificio	x	x	x
Áreas de fenestración (por orientación)	Alturas del edificio	x	x	x
Fenestración valor U y SC	Horario ventana			x
	Especificaciones			x
Mecánico				
Zonificación HVAC	Planos de HVAC		x	x
Caudales de diseño	Planos de HVAC		x	x
Descripciones de equipo	Horarios de equipo			x
	Especificaciones			x
Diagramas de control	Diagramas de control			x
	Especificaciones			
Eléctrico				
Aparatos de iluminación	Diseño de iluminación		x	x
	Programa de iluminación			x
Cargas internas				
Ocupación máxima (según zona)	Propietario, operador	x	x	x
La iluminación máxima (según zona)	Planes de iluminación		x	x
Equipos pico (según zona)	Mecanismo o dueño		x	x
Operaciones				
Por zona:				
Horarios de ocupación, luces y equipos	Propietario u operador	x	x	x
Horarios del termostato	Propietario u operador	x	x	x
Por sistema de terminal:				

Operaciones exteriores de aire	Horario de equipos de climatización			x
Las temperaturas de la cubierta caliente y fría	Horario de equipos de climatización			x
Horarios de ventilación	Propietario u operador	x	x	x
Ventilador kw	Horario de equipos de climatización		x	x
Por sistema principal:				
Horarios de entrada y salida	Secuencias de control			x
Económico				
Horarios de servicios públicos (todos los combustibles)	Representante de servicios públicos	x	x	x
Costos de equipos	Diseñador o fabricante		x	x
Parámetros de los costos del ciclo de vida	Propietario	x	x	x

Tabla 34. Datos necesarios para la caracterización de la edificación en eQUEST.

7.2. MODELADO DE LA VIS

El modelado se realiza conforme avanza el proceso de caracterización de la edificación. Ya que la herramienta es muy intuitiva el modelo se desarrolla con poca información y de forma automática.

La creación y caracterización del modelo se muestra en detalle en el Anexo J, y en la Figura 20 se ve el modelo final que se conformó en la herramienta.

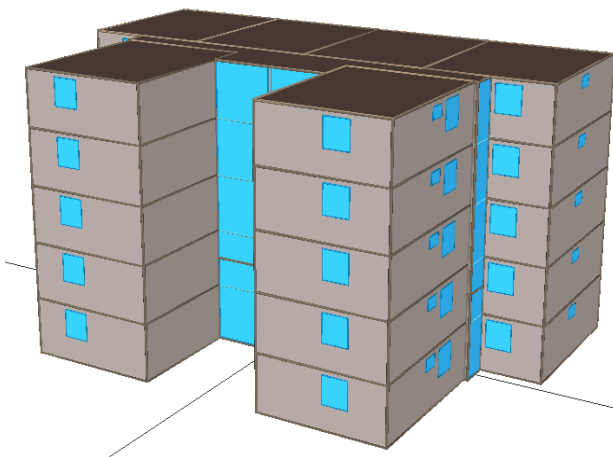


Figura 20. Modelo final de la VIS con eQUEST.

7.3. SIMULACIONES

Se describen las simulaciones que se efectuaron, con el fin de estudiar el comportamiento energético y las condiciones de confort de la edificación, además se comprueba la aplicabilidad de la herramienta en el análisis energético de una VIS.

Se realizaron las simulaciones para el cálculo de los consumos energéticos mes a mes de todo el edificio, consumo anual total, uso final de la energía y porcentajes de reducción de energía destinada a iluminación artificial debido a la iluminación natural.

En cuanto al confort, solo es posible mirar los niveles de iluminancia de las zonas descritas en el edificio, ya que la herramienta no realiza el cálculo de factores que nos lleven a un análisis confort térmico.

7.4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se muestran los resultados y el análisis de cada uno de las simulaciones mencionadas.

7.4.1. Consumo energético

El consumo total anual de la edificación es de 36 146 KWh, cuyo valor se calculó a partir del consumo de los equipos varios y la iluminación; el desglose del consumo se muestra en la Tabla 35.

Parámetro	Consumo (kWh)
Iluminación interior	6 464
Equipos en el interior	29 682

Tabla 35. Consumo total anual calculado en eQUEST.

De lo anterior se observa que el 82% del consumo energético proviene de los equipos al interior de la edificación y el restante 18% es por la iluminación artificial.

El consumo mensual total en la edificación se detalla en la Figura 21.

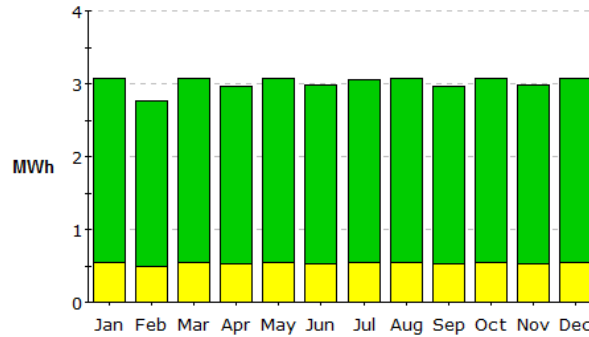


Figura 21. Consumo mensual total calculado en eQUEST.

Se observa que los meses con el consumo más alto, son enero, marzo y diciembre, siendo éste último donde se presenta un mayor consumo de energía por equipos e iluminación. Lo anterior se debe a que en éstos hay un menor porcentaje de reducción de energía debido a iluminación natural (ver Figura 25).

Además se observa que febrero es el mes con el menor consumo, debido a que éste tiene menos días que los demás.

En la Figura 22 se muestra el consumo horario en el mes de enero, en donde es posible verificar con claridad que la hora en donde se presenta el mayor consumo de energía en aproximadamente a las 6 p.m.; el menor consumo se da en las horas de la madrugada.

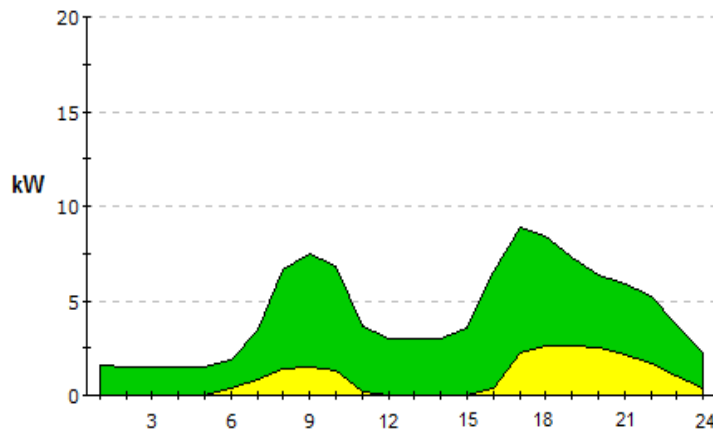


Figura 22. Consumo energético en un día del mes de enero calculado en eQUEST.

Al analizar los resultados del consumo energético por zonas y niveles, se puede ver que el consumo debido a equipos e iluminación varía dependiendo de la zona.

La herramienta permite ver el porcentaje de reducción de energía destinada a iluminación a partir del aprovechamiento de la iluminación natural, y la Figura 23 muestra el promedio de dicha reducción de energía en toda la edificación. Se observa que la mayor reducción se da a la una de la tarde en la mayoría de los meses.

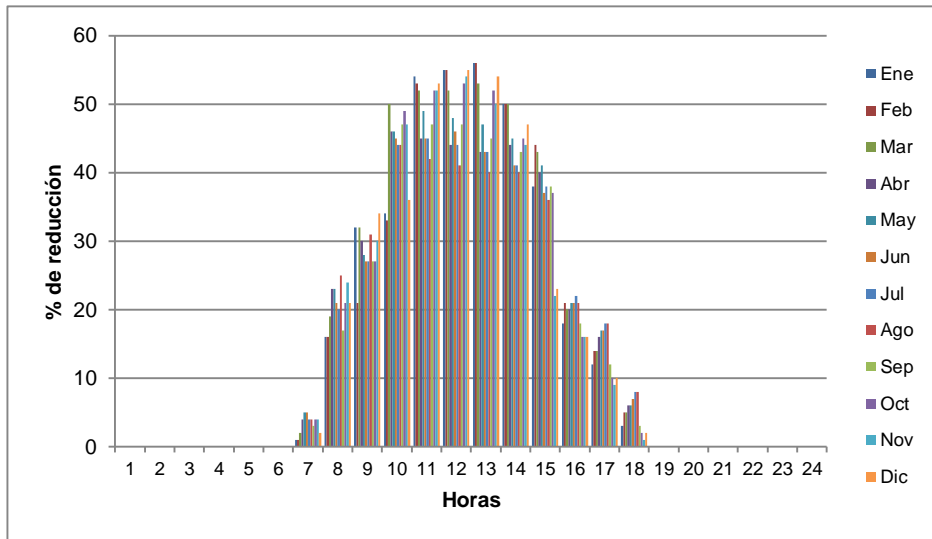


Figura 23. Reducción de energía destinada a iluminación artificial calculado en eQUEST.

7.4.2. Confort visual

Para evaluar el confort visual en la edificación, se considera el cálculo del nivel de iluminancia emitida por la iluminación natural, analizando los resultados arrojados para la zona con menor y mayor número de iluminancia a lo largo del día. En la Figura 24 se muestran los niveles de iluminancia en las 24 horas del día del apartamento seis del quinto piso, el cual posee los valores más elevados con respecto

a los demás y en el que se observa que en la mayoría del día sin necesidad de luz artificial cumple con los niveles de confort visual, que para una vivienda están en el orden de los 300 luxes.

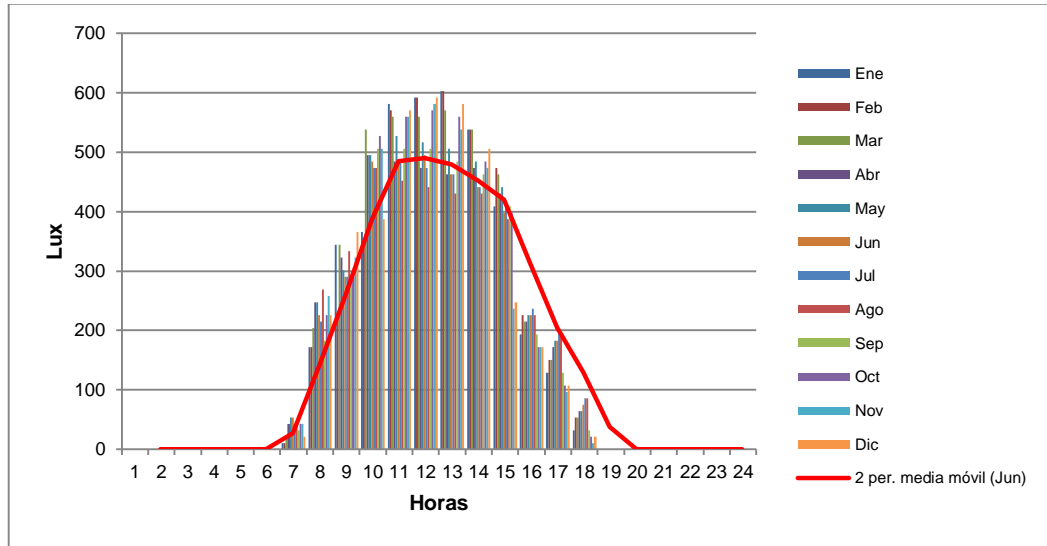


Figura 24. Niveles de iluminancia del apartamento seis del piso quinto, calculados en eQUEST.

La zona con el menor confort visual debido a la iluminación natural es el apartamento cuatro del primer piso, que en la mayoría del día necesita de la ayuda de luz artificial para satisfacer el confort visual. Como se muestra en la Figura 25, el máximo nivel alcanzado es de alrededor de 200 luxes en las horas con mayor incidencia del sol y en algunos meses del año.

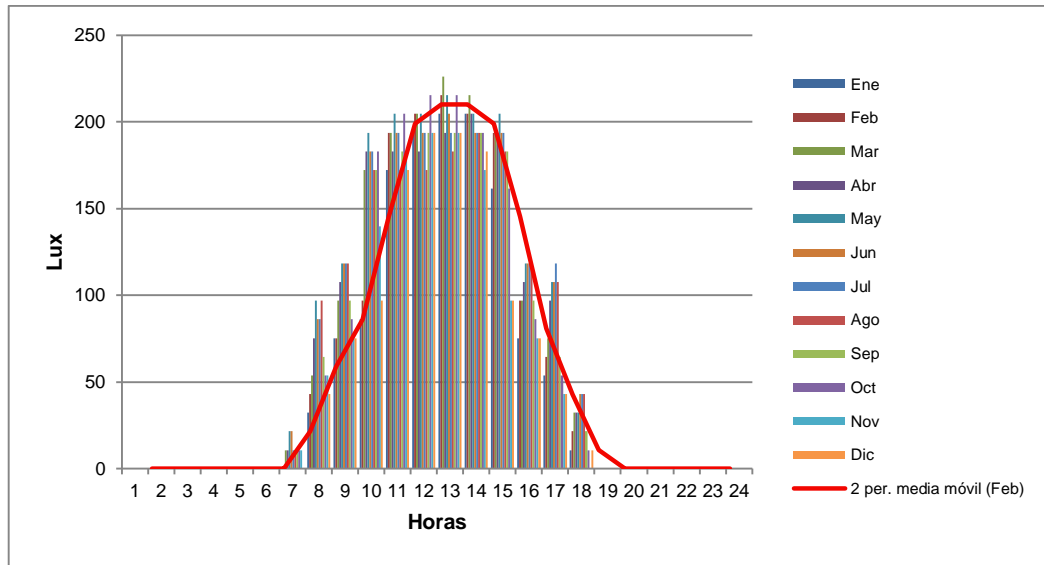


Figura 25. Niveles de iluminancia del apartamento cuatro del piso uno, calculados en eQUEST.

7. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LA VIS CON AUTODESK ECOTECT ANALYSIS

Este capítulo tiene como finalidad evaluar la validez que tiene la herramienta *Autodesk Ecotect Analysis* para realizar un análisis energético de un proyecto de VIS. Los parámetros a verificar en la simulación son la ganancia térmica, iluminación natural y artificial, y el consumo energético de toda la edificación.

8.1. CREACIÓN DEL MODELO DE INFORMACIÓN DEL EDIFICIO BIM (BUILDING INFORMATION MODELING)

Para llevar a cabo la creación del BIM, se realizó la apropiación de la herramienta *Autodesk Ecotect Analysis*, con el fin de adquirir las habilidades requeridas en su manejo; además de ello, se definió el proyecto de VIS a evaluar y la recopilación de toda información necesaria que permitan la construcción del modelo tridimensional del mismo.

Ya estando definido el modelo tridimensional, se debe definir los materiales constructivos y las condiciones de operación de la edificación, por último se realizan las simulaciones requeridas.

Cabe aclarar que dicho modelo se realizó mediante una de las herramientas compatibles con *Autodesk Ecotect Analysis*, como lo son *Graphisoft Archicad*, *Google Sketchup*, *Autodesk Revit Architecture*, entre otros; esto se debe a la facilidad que presentan éstas últimas en la creación de un modelo tridimensional.

Las especificaciones tanto del programa usado para crear el modelo tridimensional, como la construcción del mismo se presentaran más adelante.

8.2. CREACIÓN DEL MODELO TRIDIMENSIONAL DE LA VIS

La creación del modelo tridimensional no se realizó con *Autodesk Ecotect Analysis*, esto se debe a la complejidad del proyecto de VIS, y la facilidad que presentan otras herramientas enfocadas en la creación de BIM.

Se seleccionó la herramienta *Autodesk Revit Architecture 11*, ya que ésta posee una interfaz mucho más intuitiva (muy parecida a *Autodesk Autocad*), además permite guardar los archivos en formato gbXML, el cual será necesario para la exportación a *Autodesk Ecotect Analysis*.

Asimismo, es necesario definir los conceptos de zonas geométricas y zonas térmicas, puesto que mediante estas se realizará el análisis del mismo [243], [244].

El modelo se realizó mediante zonas térmicas dado que permite realizar la mayor parte de las simulaciones requeridas. Los detalles del proceso de creación del modelo 3D se explican en el Anexo K. A continuación, en la Figura 26 se muestra el modelo tridimensional creado en *Autodesk Revit Architecture 11*.



Figura 26. Modelo tridimensional realizado en Autodesk Revit Architecture 11.

8.3. APROPIACIÓN DE LA HERRAMIENTA *AUTODESK ECOTECT ANALYSIS*

La herramienta *Autodesk Ecotect Analysis* solo se usó para realizar las simulaciones requeridas en este trabajo de grado. Los aspectos a tener en cuenta para realizar las simulaciones son los siguientes:

- Importación del modelo a analizar.
- Definición de materiales y zonas.
- Selección de archivos climáticos para la localización del proyecto.
- Tipo de simulaciones que permite la herramienta.

8.3.1. Importación del modelo a analizar

Respecto a la importación del modelo a analizar, *Autodesk Ecotect Analysis* permite importar una gran variedad de archivos, siendo necesario establecer con qué tipo de documento se realizan las simulaciones.

A continuación, en la Figura 27 se muestra el procedimiento para importar archivos.

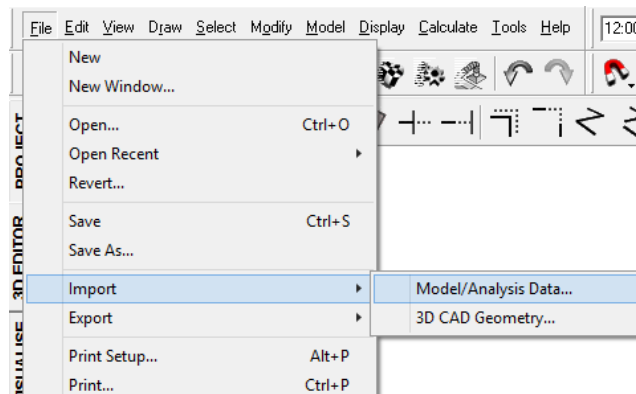


Figura 27. Importación de datos a Autodesk Ecotect Analysis.

8.3.2. Definición de materiales y zonas

Para la asignación de los materiales constructivos de los elementos del proyecto, *Autodesk Ecotect Analysis* posee el panel “*Material Assignment*” donde se define dos tipos de materiales, primario⁷ y alternativo⁸ para éstos [244].

En caso de que el tipo de material para el elemento constructivo no exista en las librerías de la herramienta, la misma permite crear o modificar las propiedades que se deseen de éstos. A continuación, en la Figura 28 se presenta lo mencionado anteriormente.

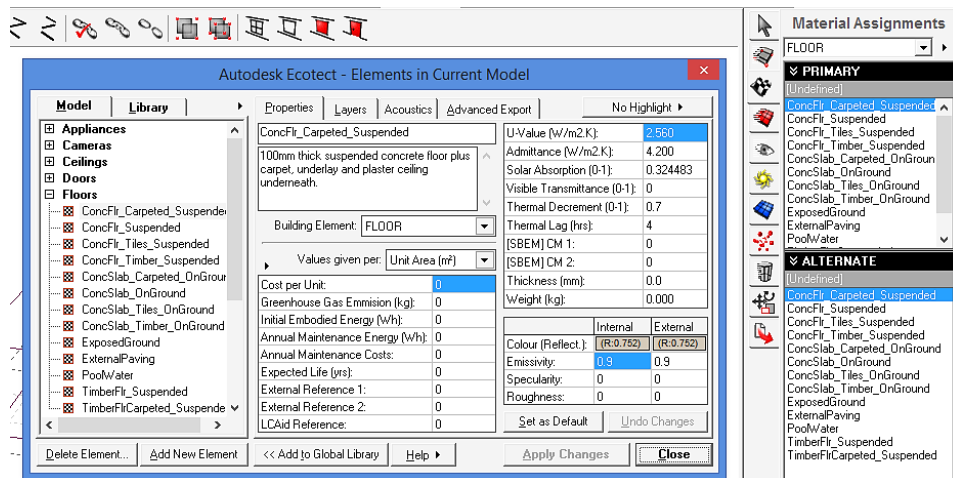


Figura 28. Modificación de propiedades para materiales

En la Figura 29 que se presenta a continuación, se muestra la forma como la herramienta mencionada asigna los materiales.

⁷ Especifica el material que compone el elemento [244].

⁸ Material que se tiene en cuenta para el análisis, cuando hay dos zonas se encuentre contiguas [244].

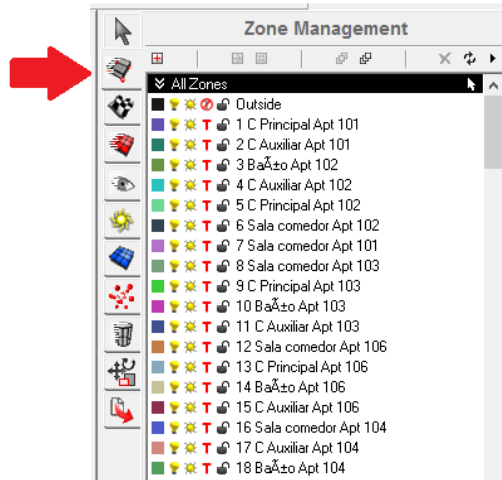


Figura 29. Asignación de materiales constructivos en Autodesk Ecotect Analysis.

De igual manera a como son asignados los materiales, se definen las características de las zonas creadas en la herramienta. A continuación, en la Figura 30 se muestra la asignación de las propiedades de las zonas.

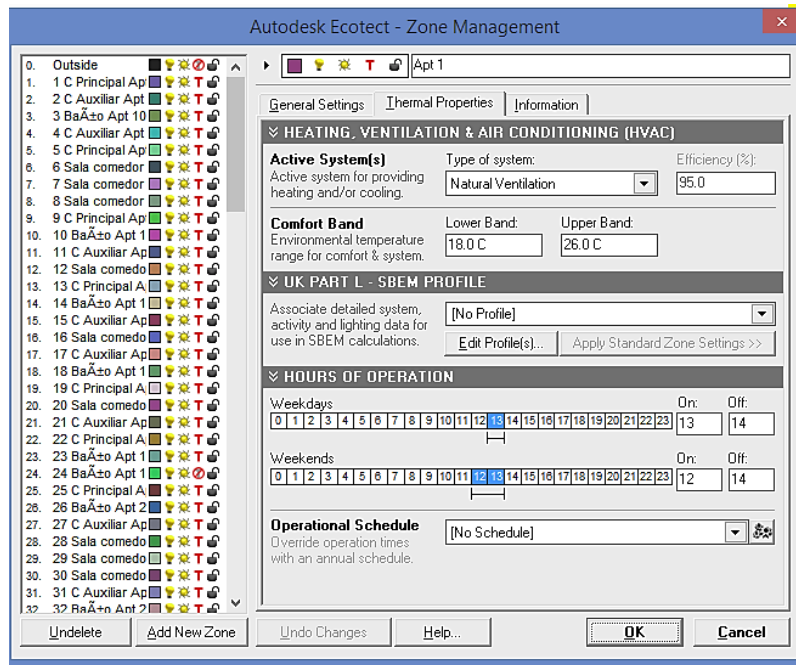


Figura 30. Modificación de zonas en Autodesk Ecotect Analysis.

Como se muestra en la imagen, el cuadro de dialogo se establecen las condiciones de uso para cada zona en particular, así como la adyacencia entre dos o más de éstas. Las especificaciones de los materiales y de las zonas térmicas se encuentran en el Anexo K.

8.3.3. Selección de archivos climáticos para la localización del proyecto

La herramienta *Autodesk Ecotect Analysis* tiene establecido, dentro de sus librerías, algunos archivos climáticos de ciertas ubicaciones del mundo.

Estos archivos se pueden consultar en la opción “*Convert Weather Data*”, que aparece seleccionando la opción “*Tools*”. En la Figura 31 que se presenta a continuación, se muestra lo mencionada anteriormente.

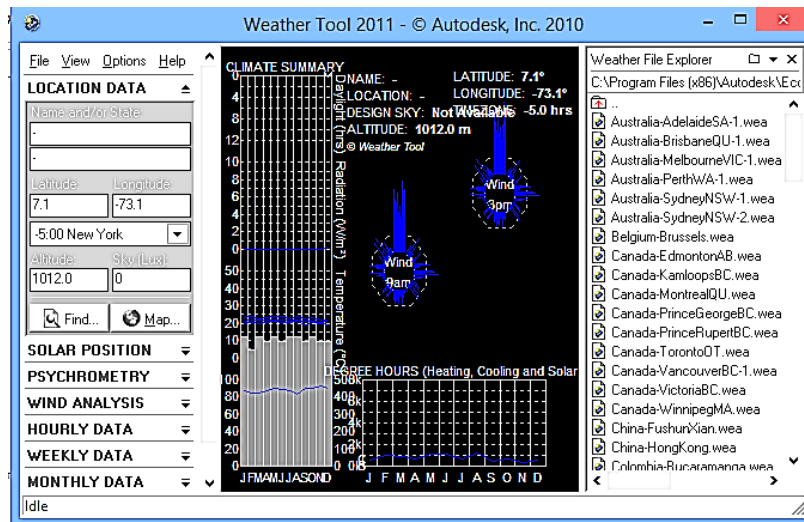


Figura 31. Selección de archivos climáticos

En caso que no se encuentre la localización que se requiere para realizar el análisis, *Autodesk Ecotect Analysis* permite cargar los archivos climáticos para ello, tal como se muestra en la Figura 31.

8.3.4. Tipos de simulaciones que permite la herramienta

Para la selección del tipo de simulación requerida para el análisis del proyecto, se debe dar clic en la opción “*Calculate*”, de la barra de herramientas principal de *Autodesk Ecotect Analysis*.

Inmediatamente se despliega un cuadro de dialogo, que contiene los diversos tipos de simulación que la herramienta, tal como se muestra en la Figura 32 que se presenta a continuación.

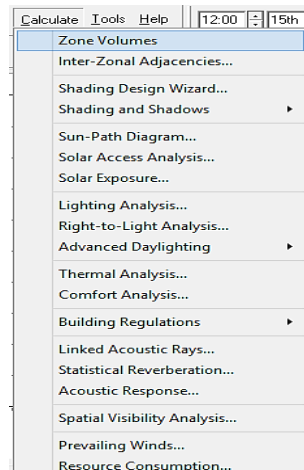


Figura 32. Tipos de simulación de la herramienta *Autodesk Ecotect Analysis*.

Como se puede apreciar, *Autodesk Ecotect Analysis* permite realizar diferentes tipos de simulaciones, como los son análisis de iluminación, confort térmico y consumo energético.

Aunque esta herramienta permite calcular el consumo eléctrico de la edificación, se requiere posicionar la ubicación de las luminarias, electrodomésticos y equipos electrónicos dentro de las zonas térmicas [245].

8.4. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

Los valores de los parámetros para materiales y zonas térmica, fueron asignado de la mismas forma como se expuso en el Anexo I. A continuación, en la Figura 33 se muestra el modelo exportado a *Autodesk Ecotect Analysis*.

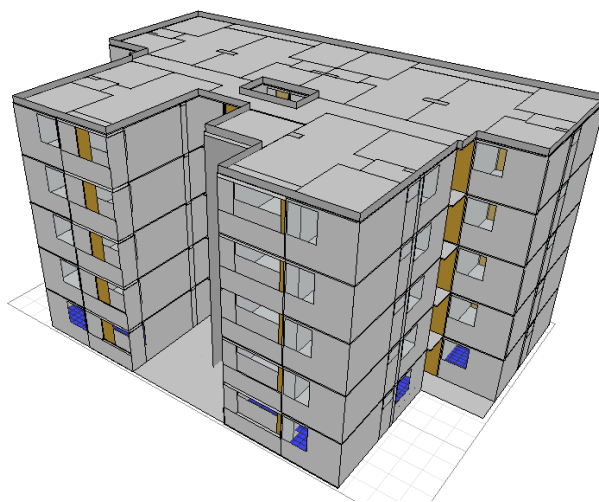


Figura 33. Visualización del modelo tridimensional en Autodesk Ecotect Analysis.

A continuación se muestran los resultados de las simulaciones realizadas en la herramienta, esto con el fin de cuantificar los consumos y la sensación de confort dentro de la edificación; de esta manera poder de demostrar la aplicabilidad de la ésta en el diseño de VIS.

8.4.1. Consumo energético

Autodesk Ecotect Analysis no presenta los consumos relacionados a los consumos de iluminación y equipos internos de la VIS, por lo cual solo se presenta el resultado del consumo eléctrico anual total.

A continuación en la Tabla 36, se presenta el consumo eléctrico anual total calculado.

Parámetro	Valor
Energía total	40 261,5 (kWh)
Energía total por área	33,3 (kWh/m ²)

Tabla 36. Consumo eléctrico anual total calculado con *Autodesk Ecotect Analysis*.

8.4.2. Confort térmico

La herramienta *Autodesk Ecotect Analysis* permite calcular la cantidad de horas al año en las que no se presenta confort térmico en la edificación, para ello se calcula la temperatura operativa y se verifica si el valor está dentro de la región de confort, dependiendo del nivel de vestimenta (CLO) de los ocupantes de la edificación.

A continuación en la Figura 34 se muestra las temperaturas obtenidas mes a mes, las cuales dan un indicio del porque no se presenta confort en la edificación.

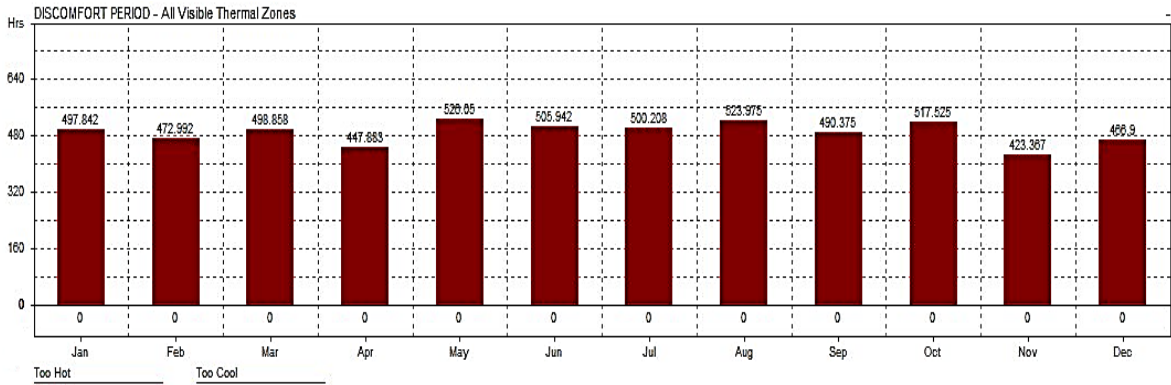


Figura 34. Horas de disconfort térmico en la edificación calculadas en Autodesk Ecotec Analysis.

Como se puede observar en la Figura 34, se aprecia que en la edificación se tiene aproximadamente 5 872 horas de disconfort térmico anuales.

8.4.3. Ganancias

En la Figura 35 se presentan los resultados que se obtuvieron de las ganancias de energía de algunos factores que conforman la envolvente de la edificación, para el día más caluroso del año.

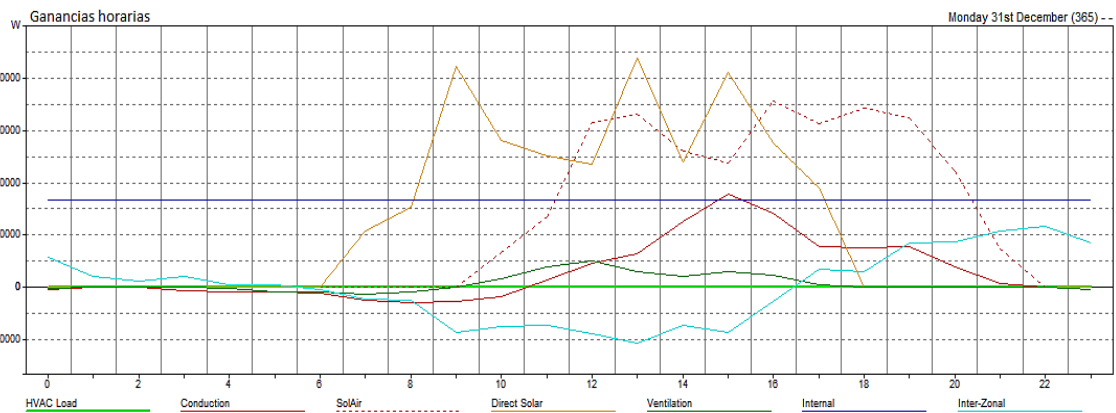


Figura 35. Ganancias térmicas de la edificación calculadas en Autodesk Ecotec Analysis.

Los resultados obtenidos son calculados para el día más caluroso del año, que según *Autodesk Ecotect Analysis* es el 31 de diciembre.

Como se observa, las ganancias debidas a ventilación natural son alrededor de 5 [kW], por debajo de los valores obtenidos por radiación directa y conducción (45 y 20 [kW] respectivamente), lo cual permite inferir que esto afecta el confort térmico que se experimenta en la edificación.

8. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE HERRAMIENTAS

A fin de complementar la metodología de selección, se realizaron una serie de simulaciones para un proyecto de VIS con cada una de las herramientas seleccionadas, con lo cual se corrobora la aplicabilidad de éstas para llevar a cabo el análisis energético en este tipo de edificaciones.

En dichas simulaciones se pudieron observar las capacidades o atributos que poseen cada una de éstas, permitiendo de esta manera evidenciar sus similitudes y diferencias; asimismo, en la Tabla 37 se muestran los factores que posibilitan comprobar la aplicabilidad de las mismas para el análisis energético de VIS.

Comparación de las capacidades de las herramientas			
Parámetro	ECOTECT	eQUEST	DESIGNBUILDER
Creación del modelo geométrico			
Importación de la geometría del edificio a programas CAD	X	X	X
Exportación de la geometría del edificio a programas CAD	X	-	X
Número de zonas y equipamiento ilimitado	X	X	X
Importación y exportación de modelos a otros programas de simulación	X	-	X
Descripción geométrica completa			
Paredes, pisos y techos	X	X	X
Ventanas, tragaluces, puertas y sombreado exterior	X	X	X
Caracterización del modelo geométrico y ocupación			
Personalización de las condiciones climáticas de la edificación	X	X	X
Personalización de materiales constructivos	X	X	X

Modificación de la ocupación y tipos de actividades del edificación	X	X	X
Modificación de horario de ocupación de la edificación	X	X	X
Modificación de horario de uso equipos, iluminación y ventanas de la edificación	-	X	X
Modificación de consumos de equipos eléctricos y de iluminación	X	X	X
Tipos de simulaciones			
Consumo energético anual	X	X	X
Consumo energético mensual	X	X	X
Consumo energético por zonas	-	X	X
Análisis de confort térmico	X	-	X
Análisis de niveles de iluminación interior	X	X	-
Análisis de exposición solar	X	-	X
Evaluación de la producción de CO ₂	-	X	X
Análisis de sistemas de climatización	X	X	X
Paneles fotovoltaicos y colectores solares	-	-	-
Análisis de costos energéticos	X	X	X
Reporte de resultados			
Valores separados por comas	X	X	-
Presentación en archivo .txt	X	X	X
Presentación en tablas	X	X	-
Gráficos	X	X	X
HTML	X	X	X
Excel	-	-	X

Tabla 37. Comparación de las capacidades de las herramientas

Resultados de simulación

Los resultados obtenidos permiten verificar las condiciones de confort térmico y visual, así como el consumo energético de la edificación, ya que contemplando dichos

aspectos se desarrollará un diseño energéticamente eficiente según lo establecido por el M.V.D.T⁹ para tal fin.

En la Tabla 38 se presenta la comparación de los resultados obtenidos en las tres herramientas.

Resultados	DesignBuilder	eQUEST	Autodesk Ecotect Analysis
Consumo energético anual	39 188 kWh	36 146 kWh	40 261 kWh
Consumo energético por área	32 kWh/m ²	29,5 kWh/m ²	33 kWh/m ²
Confort térmico	288 horas de confort	No se calculó	2888 horas de confort

Tabla 38. Comparación de resultados entre las herramientas seleccionadas.

Los consumos de energía son aproximadamente iguales en Ecotect y DesignBuilder, sin embargo se aprecia una diferencia con eQUEST. Se puede inferir que esto ocurre debido al ahorro de iluminación artificial que ésta calcula conforme al uso de iluminación natural como se muestra en la Figura 23.

El desglose de consumos de energía anual por apartamentos se calculó en las herramientas DesignBuilder y eQUEST, los cuales se obtuvieron para el primer piso de la edificación debido a que Designbuilder arroja los mismos consumos para cada nivel del edificio.

Dado que Autodesk Ecotect Analysis no permite analizar los consumos por zonas, no es posible comparar con las demás herramientas. En la Figura 36 se muestra la comparación de éstas.

⁹ Ministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial

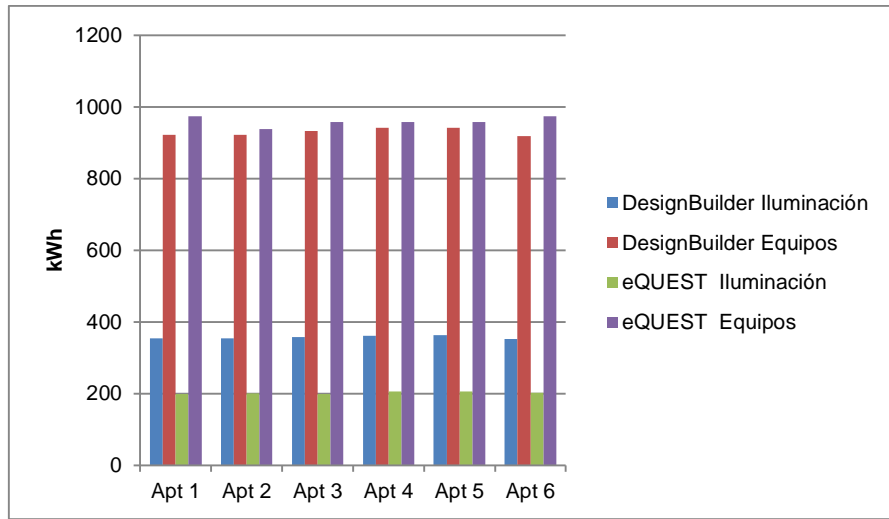


Figura 36. Comparación del desglose de consumos de energía por apartamentos.

En la Figura 36 se observa que el consumo de equipos para los seis (6) apartamentos calculado con las dos herramientas son aproximadamente iguales, debido a la similitud con la que se caracterizan el perfil de funcionamiento y la densidad de potencia de los equipos en éstas.

También se aprecia que el consumo de iluminación es semejante en cada apartamento, aunque difieren de los calculados con cada herramienta, lo cual se debe a que eQUEST contempla el ahorro de energía por iluminación natural.

Los niveles de iluminación en la edificación se calcularon en las herramientas, DesignBuilder y eQUEST. A partir de los resultados arrojados por éstas, se realizó la comparación a los apartamentos con el mayor y menor registro de iluminancia, en los meses de abril, junio y diciembre, durante el día, específicamente en la mañana (8 a.m.), al medio día (12 meridiano) y en la tarde (4 p.m.). La Figura 37 muestra la comparación de éstos.

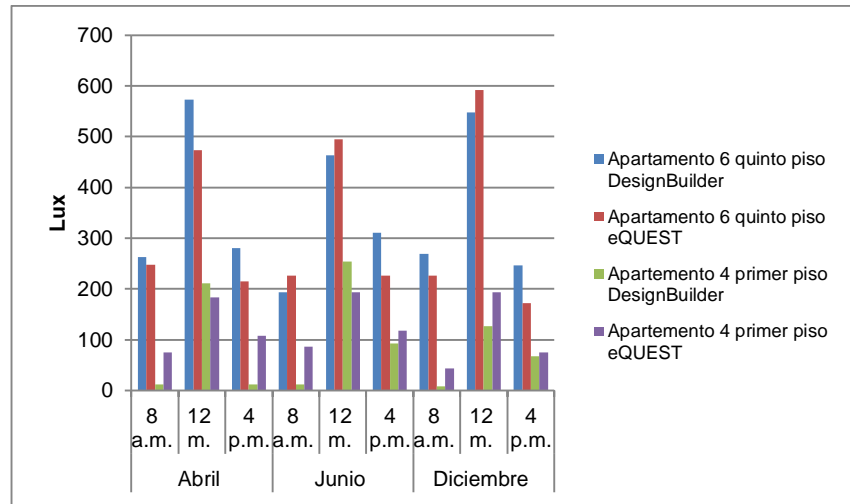


Figura 37. Comparación de niveles de iluminancia entre DesignBuilder y eQUEST

Como se observa en la Figura 36, los niveles de iluminancia en DesignBuilder y eQUEST difieren un poco, debido a las diferencias en los algoritmos de cálculo y las características de los modelos; sin embargo se aprecia el mismo patrón de iluminación en éstas a lo largo del año, a causa de simular con el mismo archivo climático. Además se evidenció una paridad en los resultados de las herramientas, al presentar el mayor y menor nivel de iluminancia en los apartamentos 6 del quinto piso y 4 del primer piso respectivamente.

La comparación con Ecotect no fue posible, ya que ésta no arroja los resultados de iluminancia en las zonas de la edificación con el nivel de detalle necesario.

9. CONCLUSIONES

Las herramientas computacionales para análisis energético son un grupo de gran tamaño por lo que se requiere de una clasificación para llevar un proceso de selección. Debido a esto se elaboró el directorio “*Base de datos Energy Building Tools Software*”, que compila información relevante de software existentes.

Dada la gran cantidad de herramientas computacionales encontradas, se estableció una metodología que permite discernir cuáles de éstas son útiles para el análisis energético de VIS; para ello se contemplaron tres (3) fases para su desarrollo.

La selección de las herramientas se llevó a cabo teniendo en cuenta los requerimientos necesarios para el diseño de VIS. Mediante la aplicación de la metodología que se estableció que eQUEST, DesignBuilder y Autodesk Ecotect Analysis son las más adecuadas para realizar un análisis energético, acorde a las especificaciones técnicas y ambientales presentes en Colombia.

- **DesignBuilder**

A partir de las simulaciones realizadas y posterior análisis de los resultados obtenidos, se pudo evidenciar que DesignBuilder permite desarrollar el proyecto de forma personalizada en las primeras etapas de diseño, de esta manera construir un modelo detallado con los elementos que lo caracterizan como condiciones climáticas, materiales constructivos (según lo mencionado en las cartillas guía del M.V.D.T), geometría de la estructura, etc.

- **eQUEST**

Igual que DesignBuilder, la herramienta eQUEST permite desarrollar el proceso de modelado, caracterización y simulación de VIS de manera personalizada, con la diferencia que ésta lo lleva a cabo más ordenada e intuitivamente; los resultados que se obtienen del análisis con ésta, solo permiten verificar el consumo energético y el confort visual de la edificación.

- **Autodesk Ecotect Analysis**

El proceso de modelado para realizar las simulaciones en Autodesk Ecotect Analysis se llevó a cabo a partir de la herramienta Autodesk Revit Architecture, dado la simplicidad que ésta ofrece para tal fin.

Asimismo, Autodesk Ecotect Analysis facilita la caracterización de los elementos constructivos de forma personalizada e intuitiva, además los resultados obtenidos de las simulaciones permiten verificar confort térmico y el consumo energético total anual de la edificación.

Como se evidenció en los resultados presentados, se puede afirmar que las herramientas proveen de forma total o parcial, simulaciones que permiten un adecuado análisis energético en proyectos de VIS.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede inferir que la metodología planteada para la selección de las herramientas mencionadas anteriormente, generó un resultado acertado en la búsqueda de las mismas, además de ser aplicable para el contexto colombiano.

10. OBSERVACIONES

Las herramientas de análisis energético presentadas en el directorio de búsqueda creado en este proyecto de grado, no representa la totalidad de las existentes en el mundo para tal fin, por lo cual puede ser ampliado en posteriores investigaciones. De igual manera, algunas herramientas posiblemente estén descontinuadas y no se encuentran disponibles.

La selección de los factores de evaluación están acorde a las disposiciones específicas de este proyecto de grado, siendo estas principalmente económicas, a priori al manejo de las herramientas y la disponibilidad de éstas por parte de la universidad.

Los modelos obtenidos para las simulaciones en las herramientas, no son representaciones geométricas exactas, ya que el análisis realizado no requiere un modelo complejo para las simulaciones.

El análisis de resultados no se hizo detalladamente, debido a que esto no representa un objetivo a cumplir en el desarrollo del proyecto.

Los resultados obtenidos no son enfocados en la comparación de modelos, a fin de verificar si la VIS pose o no elementos que contribuyan a la eficiencia energética, por ello no se tuvieron en cuenta métodos o modelos de certificación energética para realizar las simulaciones.

Los factores principales que afectan el resultado de los consumos energéticos en la edificación, son los perfiles de funcionamiento de iluminación y aparatos, y las densidades de potencia de los mismos; es por ello que en la caracterización del modelo se deben tener claro éstos valores para evitar errores en la simulación.

Aunque Autodesk Ecotect Analysis realiza un análisis de iluminación no se proporcionan datos para determinar el confort visual de la edificación.

Se recomienda realizar un estudio meteorológico para obtener los datos climáticos específicos de la zona del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] U. Europea, “Energy efficient buildings save money : Recast of the Energy Performance of Buildings Directive,” in *MEMO/08/693*, 2008, no. November.
- [2] S. K. Constantinos A. Balaras, Kalliopi Droutsa, Elena Dascalaki, “Heating energy consumption and resulting environmental impact of European apartment buildings,” *ELSEVIER*, vol. 37, no. 5, pp. 429–442, 2005.
- [3] L. C. Muñoz, “Ahorro energético en la vivienda: climatización y agua caliente.” España, pp. 1–5, 2002.
- [4] C. Thormark, “A low energy building in a life cycle—its embodied energy, energy need for operation and recycling potential,” *ELSEVIER*, vol. 37, no. 4, pp. 429–435, 2002.
- [5] F. Manteca, “Diseño de edificios de elevada eficiencia energetica en Construcción sostenible,” in in *Construcción Sostenible*, EOIwiki, 2011, pp. 1–14.
- [6] V. y D. T. Ministerio De Ambiente, *Calidad en la Vivienda de Interés Social*. Colombia, 2011, pp. 1–67.
- [7] FUNDACIONCHILE y ChileCompra, “Guía Práctica de Eficiencia Energética,” no. 56 2. Chile, pp. 1–20, 2008.
- [8] O. Baez, “PROGRAMA NACIONAL DE USO RACIONAL Y EFICIENTE DE LA ENERGIA - PROURE PLAN DE ACCION INDICATIVO 2010 – 2015,” 2011.
- [9] S. B. Hernández, “Construcción de Edificios Energéticamente Eficientes Eficiencia Energética y la Construcción.” Universidad de Costa rica, pp. 1–15, 2009.
- [10] A. Martín, “LOS EDIFICIOS ENERGETICAMENTE EFICIENTES. LA REGULACION ESPAÑOLA,” 2011. [Online]. Available: <http://grupoglobalgreen.blogspot.com/2011/05/los-edificios-energeticamente.html>.
- [11] G. S. Maria Eugenia Sosa Griffin, *manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico*, Primera ed. Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2004.

- [12] Pilar Navarro Rivero; Ramón García Déniz, “TECNOLOGIAS PARA LA EDIFICACIÓN ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE.” España, pp. 427–460, 2013.
- [13] L. O. Degelman and V. I. Soebarto, “Whole Building Energy Performance - Simulation and Prediction for Retrofits.” Texas, 1996.
- [14] “Análisis Energético de Edificios.” [Online]. Available: <http://www.asesoresgreenbuilding.com/analisis-energetico-de-edificios.html>.
- [15] X. G. Casals, “REGULACIÓN Y CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS: ASIGNATURA PENDIENTE EN ESPAÑA.” Universidad Pontificia Comillas, Madrid, pp. 42–47, 2004.
- [16] M. N. G. Guillermo Gómez Prada, Jesús Maellas Benito, Borja Plaza Gallardo, “Estado Del Arte De La Modelización Energética De Edificios.” Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE), pp. 1–22, 2007.
- [17] Comité de Derechos Urbanísticos, “El derecho a una vivienda adecuada,” no. 1991, 2000.
- [18] Lexbase Colombia, “La Vivienda de Interés Social (VIS)—Avances y Retrocesos Legislativos,” 2011. [Online]. Available: <http://www.portafolio.co/opinion/blogs/juridica/la-vivienda-interes-social-vis-avances-y-retrocesos-legislativos>.
- [19] A. L. Pisello, J. E. Taylor, X. Xu, and F. Cotana, “Inter-building effect: Simulating the impact of a network of buildings on the accuracy of building energy performance predictions,” *Build. Environ.*, vol. 58, pp. 37–45, Dec. 2012.
- [20] Y. Pan, R. Yin, and Z. Huang, “Energy modeling of two office buildings with data center for green building design,” *Energy Build.*, vol. 40, no. 7, pp. 1145–1152, Jan. 2008.
- [21] N. Aste, A. Angelotti, and M. Buzzetti, “The influence of the external walls thermal inertia on the energy performance of well insulated buildings,” *Energy Build.*, vol. 41, no. 11, pp. 1181–1187, Nov. 2009.
- [22] S. Attia, E. Gratia, A. De Herde, and J. L. M. Hensen, “Simulation-based decision support tool for early stages of zero-energy building design,” *Energy Build.*, vol. 49, pp. 2–15, Jun. 2012.

- [23] G. Dall'O', L. Sarto, N. Sanna, and A. Martucci, "Comparison between predicted and actual energy performance for summer cooling in high-performance residential buildings in the Lombardy region (Italy)," *Energy Build.*, vol. 54, pp. 234–242, Nov. 2012.
- [24] T. Konstantinou and U. Knaack, "An approach to integrate energy efficiency upgrade into refurbishment design process, applied in two case-study buildings in Northern European climate," *Energy Build.*, vol. 59, pp. 301–309, Apr. 2013.
- [25] A. Rosato, S. Sibilio, and G. Ciampi, "Dynamic performance assessment of a building-integrated cogeneration system for an Italian residential application," *Energy Build.*, vol. 64, pp. 343–358, Sep. 2013.
- [26] J. C. Lam, K. K. W. Wan, D. Liu, and C. L. Tsang, "Multiple regression models for energy use in air-conditioned office buildings in different climates," *Energy Convers. Manag.*, vol. 51, no. 12, pp. 2692–2697, Dec. 2010.
- [27] a. H. Fakra, F. Miranville, H. Boyer, and S. Guichard, "Development of a new model to predict indoor daylighting: Integration in CODYRUN software and validation," *Energy Convers. Manag.*, vol. 52, no. 7, pp. 2724–2734, Jul. 2011.
- [28] B. Rezaie, I. Dincer, and E. Esmailzadeh, "Energy options for residential buildings assessment," *Energy Convers. Manag.*, vol. 65, pp. 637–646, Jan. 2013.
- [29] J. Zhu, D. a. S. Chew, S. Lv, and W. Wu, "Optimization method for building envelope design to minimize carbon emissions of building operational energy consumption using orthogonal experimental design (OED)," *Habitat Int.*, vol. 37, pp. 148–154, Jan. 2013.
- [30] J. Ferreira and M. Pinheiro, "In search of better energy performance in the Portuguese buildings—The case of the Portuguese regulation," *Energy Policy*, vol. 39, no. 12, pp. 7666–7683, Dec. 2011.
- [31] A. A. Chowdhury, M. G. Rasul, and M. M. K. Khan, "Thermal-comfort analysis and simulation for various low-energy cooling-technologies applied to an office building in a subtropical climate," *Appl. Energy*, vol. 85, no. 6, pp. 449–462, Jun. 2008.
- [32] A. I. Palmero-Marrero and A. C. Oliveira, "Effect of louver shading devices on building energy requirements," *Appl. Energy*, vol. 87, no. 6, pp. 2040–2049, Jun. 2010.

- [33] J. Wang, Z. (John) Zhai, Y. Jing, and C. Zhang, "Influence analysis of building types and climate zones on energetic, economic and environmental performances of BCHP systems," *Appl. Energy*, vol. 88, no. 9, pp. 3097–3112, Sep. 2011.
- [34] T. Olofsson and T. M. I. Mahlia, "Modeling and simulation of the energy use in an occupied residential building in cold climate," *Appl. Energy*, vol. 91, no. 1, pp. 432–438, Mar. 2012.
- [35] A. L. Pisello, M. Goretti, and F. Cotana, "A method for assessing buildings' energy efficiency by dynamic simulation and experimental activity," *Appl. Energy*, vol. 97, pp. 419–429, Sep. 2012.
- [36] J. Yao, "Energy optimization of building design for different housing units in apartment buildings," *Appl. Energy*, vol. 94, pp. 330–337, Jun. 2012.
- [37] T. Hong, W.-K. Chang, and H.-W. Lin, "A fresh look at weather impact on peak electricity demand and energy use of buildings using 30-year actual weather data," *Appl. Energy*, vol. 111, pp. 333–350, Nov. 2013.
- [38] L. Magnier and F. Haghghat, "Multiobjective optimization of building design using TRNSYS simulations, genetic algorithm, and Artificial Neural Network," *Build. Environ.*, vol. 45, no. 3, pp. 739–746, Mar. 2010.
- [39] H. Sozer, "Improving energy efficiency through the design of the building envelope," *Build. Environ.*, vol. 45, no. 12, pp. 2581–2593, Dec. 2010.
- [40] D. Saelens, W. Parys, and R. Baetens, "Energy and comfort performance of thermally activated building systems including occupant behavior," *Build. Environ.*, vol. 46, no. 4, pp. 835–848, Apr. 2011.
- [41] K. Van Ooteghem and L. Xu, "The life-cycle assessment of a single-storey retail building in Canada," *Build. Environ.*, vol. 49, pp. 212–226, Mar. 2012.
- [42] A. Mavrogianni, P. Wilkinson, M. Davies, P. Biddulph, and E. Oikonomou, "Building characteristics as determinants of propensity to high indoor summer temperatures in London dwellings," *Build. Environ.*, vol. 55, pp. 117–130, Sep. 2012.
- [43] P. Ihm and M. Krarti, "Design optimization of energy efficient residential buildings in Tunisia," *Build. Environ.*, vol. 58, pp. 81–90, Dec. 2012.

- [44] C. Buratti, E. Moretti, E. Belloni, and F. Cotana, "Unsteady simulation of energy performance and thermal comfort in non-residential buildings," *Build. Environ.*, vol. 59, pp. 482–491, Jan. 2013.
- [45] E. Carnielo and M. Zinzi, "Optical and thermal characterisation of cool asphalts to mitigate urban temperatures and building cooling demand," *Build. Environ.*, vol. 60, pp. 56–65, Feb. 2013.
- [46] D. Katunsky, A. Korjenic, J. Katunska, M. Lopusniak, S. Korjenic, and S. Doroudiani, "Analysis of thermal energy demand and saving in industrial buildings: A case study in Slovakia," *Build. Environ.*, vol. 67, pp. 138–146, Sep. 2013.
- [47] M. a. Lozano, J. C. Ramos, and L. M. Serra, "Cost optimization of the design of CHCP (combined heat, cooling and power) systems under legal constraints," *Energy*, vol. 35, no. 2, pp. 794–805, Feb. 2010.
- [48] S. Martínez-Lera and J. Ballester, "A novel method for the design of CHCP (combined heat, cooling and power) systems for buildings," *Energy*, vol. 35, no. 7, pp. 2972–2984, Jul. 2010.
- [49] F. Meggers, V. Ritter, P. Goffin, M. Baetschmann, and H. Leibundgut, "Low exergy building systems implementation," *Energy*, vol. 41, no. 1, pp. 48–55, May 2012.
- [50] Y.-Y. Jing, H. Bai, and J.-J. Wang, "Multi-objective optimization design and operation strategy analysis of BCHP system based on life cycle assessment," *Energy*, vol. 37, no. 1, pp. 405–416, Jan. 2012.
- [51] K.-H. Lee, D.-W. Lee, N.-C. Baek, H.-M. Kwon, and C.-J. Lee, "Preliminary determination of optimal size for renewable energy resources in buildings using RETScreen," *Energy*, vol. 47, no. 1, pp. 83–96, Nov. 2012.
- [52] F. Calise, M. Dentice d'Accadia, A. Palombo, and L. Vanoli, "Dynamic simulation of a novel high-temperature solar trigeneration system based on concentrating photovoltaic/thermal collectors," *Energy*, pp. 1–15, Nov. 2012.
- [53] C. Marino, a. Nucara, M. Pietrafesa, and a. Pudano, "An energy self-sufficient public building using integrated renewable sources and hydrogen storage," *Energy*, vol. 57, pp. 95–105, Aug. 2013.

- [54] U. Desideri, L. Arcioni, D. Leonardi, L. Cesaretti, P. Perugini, E. Agabini, and N. Evangelisti, "Design of a multipurpose 'zero energy consumption' building according to European Directive 2010/31/EU: Architectural and technical plants solutions," *Energy*, vol. 58, pp. 157–167, Sep. 2013.
- [55] S. F. Larsen, C. Filippín, a. Beascochea, and G. Lesino, "An experience on integrating monitoring and simulation tools in the design of energy-saving buildings," *Energy Build.*, vol. 40, no. 6, pp. 987–997, Jan. 2008.
- [56] F. F. Al-ajmi and V. I. Hanby, "Simulation of energy consumption for Kuwaiti domestic buildings," *Energy Build.*, vol. 40, no. 6, pp. 1101–1109, Jan. 2008.
- [57] H. Poirazis, Å. Blomsterberg, and M. Wall, "Energy simulations for glazed office buildings in Sweden," *Energy Build.*, vol. 40, no. 7, pp. 1161–1170, Jan. 2008.
- [58] H. Radhi, "A systematic methodology for optimising the energy performance of buildings in Bahrain," *Energy Build.*, vol. 40, no. 7, pp. 1297–1303, Jan. 2008.
- [59] D. J. Sailor, "A green roof model for building energy simulation programs," *Energy Build.*, vol. 40, no. 8, pp. 1466–1478, Jan. 2008.
- [60] T. Catalina, J. Virgone, and E. Blanco, "Development and validation of regression models to predict monthly heating demand for residential buildings," *Energy Build.*, vol. 40, no. 10, pp. 1825–1832, Jan. 2008.
- [61] O. T. Masoso and L. J. Grobler, "A new and innovative look at anti-insulation behaviour in building energy consumption," *Energy Build.*, vol. 40, no. 10, pp. 1889–1894, Jan. 2008.
- [62] Y. Gao, J. J. Roux, L. H. Zhao, and Y. Jiang, "Dynamical building simulation: A low order model for thermal bridges losses," *Energy Build.*, vol. 40, no. 12, pp. 2236–2243, Jan. 2008.
- [63] U. Eicker and D. Pietruschka, "Design and performance of solar powered absorption cooling systems in office buildings," *Energy Build.*, vol. 41, no. 1, pp. 81–91, Jan. 2009.
- [64] Z. Tian and J. a. Love, "Energy performance optimization of radiant slab cooling using building simulation and field measurements," *Energy Build.*, vol. 41, no. 3, pp. 320–330, Mar. 2009.

- [65] T. Hong, "A close look at the China Design Standard for Energy Efficiency of Public Buildings," *Energy Build.*, vol. 41, no. 4, pp. 426–435, Apr. 2009.
- [66] C. E. Ochoa and I. G. Capeluto, "Advice tool for early design stages of intelligent facades based on energy and visual comfort approach," *Energy Build.*, vol. 41, no. 5, pp. 480–488, May 2009.
- [67] T. Nikolaou, I. Skias, D. Kolokotsa, and G. Stavrakakis, "Virtual Building Dataset for energy and indoor thermal comfort benchmarking of office buildings in Greece," *Energy Build.*, vol. 41, no. 12, pp. 1409–1416, Dec. 2009.
- [68] J. Kneifel, "Life-cycle carbon and cost analysis of energy efficiency measures in new commercial buildings," *Energy Build.*, vol. 42, no. 3, pp. 333–340, Mar. 2010.
- [69] P. J. Mago, A. Hueffed, and L. M. Chamra, "Analysis and optimization of the use of CHP–ORC systems for small commercial buildings," *Energy Build.*, vol. 42, no. 9, pp. 1491–1498, Sep. 2010.
- [70] N. Fumo, P. Mago, and R. Luck, "Methodology to estimate building energy consumption using EnergyPlus Benchmark Models," *Energy Build.*, vol. 42, no. 12, pp. 2331–2337, Dec. 2010.
- [71] A. Smith, N. Fumo, R. Luck, and P. J. Mago, "Robustness of a methodology for estimating hourly energy consumption of buildings using monthly utility bills," *Energy Build.*, vol. 43, no. 4, pp. 779–786, Apr. 2011.
- [72] M. Bojić, N. Nikolić, D. Nikolić, J. Skerlić, and I. Miletić, "A simulation appraisal of performance of different HVAC systems in an office building," *Energy Build.*, vol. 43, no. 6, pp. 1207–1215, Jun. 2011.
- [73] S. Jaber and S. Ajib, "Optimum, technical and energy efficiency design of residential building in Mediterranean region," *Energy Build.*, vol. 43, no. 8, pp. 1829–1834, Aug. 2011.
- [74] G. Kanagaraj and A. Mahalingam, "Designing energy efficient commercial buildings—A systems framework," *Energy Build.*, vol. 43, no. 9, pp. 2329–2343, Sep. 2011.
- [75] A. Joudi, H. Svedung, and M. Rönnelid, "Energy efficient surfaces on building sandwich panels—A dynamic simulation model," *Energy Build.*, vol. 43, no. 9, pp. 2462–2467, Sep. 2011.

- [76] Z. (John) Zhai, M.-H. Johnson, and M. Krarti, "Assessment of natural and hybrid ventilation models in whole-building energy simulations," *Energy Build.*, vol. 43, no. 9, pp. 2251–2261, Sep. 2011.
- [77] A. Molin, P. Rohdin, and B. Moshfegh, "Investigation of energy performance of newly built low-energy buildings in Sweden," *Energy Build.*, vol. 43, no. 10, pp. 2822–2831, Oct. 2011.
- [78] a. L. S. Chan, "Developing future hourly weather files for studying the impact of climate change on building energy performance in Hong Kong," *Energy Build.*, vol. 43, no. 10, pp. 2860–2868, Oct. 2011.
- [79] J. Kolarik, J. Toftum, B. W. Olesen, and K. L. Jensen, "Simulation of energy use, human thermal comfort and office work performance in buildings with moderately drifting operative temperatures," *Energy Build.*, vol. 43, no. 11, pp. 2988–2997, Nov. 2011.
- [80] M. C. Ruiz and E. Romero, "Energy saving in the conventional design of a Spanish house using thermal simulation," *Energy Build.*, vol. 43, no. 11, pp. 3226–3235, Nov. 2011.
- [81] S.-M. Kim, J.-H. Lee, S. Kim, H. J. Moon, and J. Cho, "Determining operation schedules of heat recovery ventilators for optimum energy savings in high-rise residential buildings," *Energy Build.*, vol. 46, pp. 3–13, Mar. 2012.
- [82] S. Flores Larsen, C. Filippín, and S. González, "Study of the energy consumption of a massive free-running building in the Argentinean northwest through monitoring and thermal simulation," *Energy Build.*, vol. 47, pp. 341–352, Apr. 2012.
- [83] N. Garrido-Soriano, M. Rosas-Casals, A. Ivancic, and M. D. Álvarez-del Castillo, "Potential energy savings and economic impact of residential buildings under national and regional efficiency scenarios. A Catalan case study," *Energy Build.*, vol. 49, pp. 119–125, Jun. 2012.
- [84] M. Bhandari, S. Shrestha, and J. New, "Evaluation of weather datasets for building energy simulation," *Energy Build.*, vol. 49, pp. 109–118, Jun. 2012.
- [85] I. Danielski, "Large variations in specific final energy use in Swedish apartment buildings: Causes and solutions," *Energy Build.*, vol. 49, pp. 276–285, Jun. 2012.

- [86] D. Griego, M. Krarti, and A. Hernández-Guerrero, "Optimization of energy efficiency and thermal comfort measures for residential buildings in Salamanca, Mexico," *Energy Build.*, vol. 54, pp. 540–549, Nov. 2012.
- [87] C. Balocco, V. Gori, E. Marmonti, and L. Citi, "Building–plant system energy sustainability. An approach for transient thermal performance analysis," *Energy Build.*, vol. 49, pp. 443–453, Jun. 2012.
- [88] Í. P. Dos Santos and R. Rüter, "The potential of building-integrated (BIPV) and building-applied photovoltaics (BAPV) in single-family, urban residences at low latitudes in Brazil," *Energy Build.*, vol. 50, pp. 290–297, Jul. 2012.
- [89] N. Yaghoobian and J. Kleissl, "An indoor–outdoor building energy simulator to study urban modification effects on building energy use – Model description and validation," *Energy Build.*, vol. 54, pp. 407–417, Nov. 2012.
- [90] R. Dylewski and J. Adamczyk, "Economic and ecological indicators for thermal insulating building investments," *Energy Build.*, vol. 54, pp. 88–95, Nov. 2012.
- [91] Y. Uno and Y. Shimoda, "Energy saving potential of cooperative management between DHC plant and building HVAC system," *Energy Build.*, vol. 55, pp. 631–636, Dec. 2012.
- [92] J. Allegrini, V. Dorer, and J. Carmeliet, "Influence of the urban microclimate in street canyons on the energy demand for space cooling and heating of buildings," *Energy Build.*, vol. 55, pp. 823–832, Dec. 2012.
- [93] S. Zhou and J. Zhao, "Optimum combinations of building envelop energy-saving technologies for office buildings in different climatic regions of China," *Energy Build.*, vol. 57, pp. 103–109, Feb. 2013.
- [94] D. Greenberg, K. Pratt, B. Hincey, N. Jones, L. Schumann, J. Dobbs, Z. Dong, D. Bosworth, and B. Walter, "Sustain: An experimental test bed for building energy simulation," *Energy Build.*, vol. 58, pp. 44–57, Mar. 2013.
- [95] N. Soares, J. J. Costa, a. R. Gaspar, and P. Santos, "Review of passive PCM latent heat thermal energy storage systems towards buildings' energy efficiency," *Energy Build.*, vol. 59, pp. 82–103, Apr. 2013.

- [96] M.-T. Ke, C.-H. Yeh, and J.-T. Jian, "Analysis of building energy consumption parameters and energy savings measurement and verification by applying eQUEST software," *Energy Build.*, vol. 61, pp. 100–107, Jun. 2013.
- [97] V. Granadeiro, J. R. Correia, V. M. S. Leal, and J. P. Duarte, "Envelope-related energy demand: A design indicator of energy performance for residential buildings in early design stages," *Energy Build.*, vol. 61, pp. 215–223, Jun. 2013.
- [98] A. Jeanjean, R. Olives, and X. Py, "Selection criteria of thermal mass materials for low-energy building construction applied to conventional and alternative materials," *Energy Build.*, vol. 63, pp. 36–48, Aug. 2013.
- [99] S. Firląg and B. Zawada, "Impacts of airflows, internal heat and moisture gains on accuracy of modeling energy consumption and indoor parameters in passive building," *Energy Build.*, vol. 64, pp. 372–383, Sep. 2013.
- [100] F. W. Yu, K. T. Chan, R. K. Y. Sit, and J. Yang, "Energy simulation of sustainable air-cooled chiller system for commercial buildings under climate change," *Energy Build.*, vol. 64, pp. 162–171, Sep. 2013.
- [101] a. Boyano, P. Hernandez, and O. Wolf, "Energy demands and potential savings in European office buildings: Case studies based on EnergyPlus simulations," *Energy Build.*, vol. 65, pp. 19–28, Oct. 2013.
- [102] H. Kim, A. Stumpf, and W. Kim, "Analysis of an energy efficient building design through data mining approach," *Autom. Constr.*, vol. 20, no. 1, pp. 37–43, Jan. 2011.
- [103] Y. Hang, M. Qu, and F. Zhao, "Economical and environmental assessment of an optimized solar cooling system for a medium-sized benchmark office building in Los Angeles, California," *Renew. Energy*, vol. 36, no. 2, pp. 648–658, Feb. 2011.
- [104] J. C. DeBlois, M. M. Bilec, and L. a. Schaefer, "Design and zonal building energy modeling of a roof integrated solar chimney," *Renew. Energy*, vol. 52, pp. 241–250, Apr. 2013.
- [105] M. M. Q. Carvalho, E. L. La Rovere, and a. C. M. Gonçalves, "Analysis of variables that influence electric energy consumption in commercial buildings in Brazil," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no. 9, pp. 3199–3205, Dec. 2010.

- [106] S. B. Sadineni, S. Madala, and R. F. Boehm, "Passive building energy savings: A review of building envelope components," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 8, pp. 3617–3631, Oct. 2011.
- [107] R. Pacheco, J. Ordóñez, and G. Martínez, "Energy efficient design of building: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 6, pp. 3559–3573, Aug. 2012.
- [108] S. Deng, Y. J. Dai, R. Z. Wang, and X. Q. Zhai, "Case study of green energy system design for a multi-function building in campus," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 1, no. 3, pp. 152–163, Oct. 2011.
- [109] S. Attia, J. L. M. Hensen, L. Beltrán, and A. De Herde, "Selection criteria for building performance simulation tools: contrasting architects' and engineers' needs," *J. Build. Perform. Simul.*, vol. 5, no. 3, pp. 155–169, May 2012.
- [110] Á. L. León, S. Domínguez, M. a. Campano, and C. Ramírez-Balas, "Reducing the Energy Demand of Multi-Dwelling Units in a Mediterranean Climate Using Solar Protection Elements," *Energies*, vol. 5, no. 12, pp. 3398–3424, Sep. 2012.
- [111] H.-W. Lin and T. Hong, "On variations of space-heating energy use in office buildings," *Appl. Energy*, vol. 111, pp. 515–528, Nov. 2013.
- [112] J.-M. Dussault, L. Gosselin, and T. Galstian, "Integration of smart windows into building design for reduction of yearly overall energy consumption and peak loads," *Sol. Energy*, vol. 86, no. 11, pp. 3405–3416, Nov. 2012.
- [113] S. Bertagnolio, G. Masy, J. Lebrun, and P. André, "BUILDING AND HVAC SYSTEM SIMULATION WITH THE HELP OF AN." IBPSA-USA, pp. 53–60, 2008.
- [114] Mi. Wetter and P. Haves, "A MODULAR BUILDING CONTROLS VIRTUAL TEST BED FOR THE INTEGRATION OF HETEROGENEOUS SYSTEMS." IBPSA-USA, 2008.
- [115] O. Baumann and C. Reiser, "FEDERATION TOWER MOSCOW – DIFFERENT ROOM CLIMATES UNDER ONE ROOF." IBPSA-USA, pp. 77–83, 2008.
- [116] Y. Pan, G. Wu, F. Yang, and Zhi, "CFD AND DAYLIGHT SIMULATION CALIBRATED WITH SITE MEASUREMENT FOR WAITING HALL OF SHANGHAI SOUTH RAILWAY STATION." IBPSA-USA, pp. 84–91, 2008.

- [117] A. Mcnamara, J. Perlman, R. Perez, and B. Power, "SIMULATED PERFORMANCE OF SOLAR DOMESTIC HOT WATER TECHNOLOGIES IN NEW YORK STATE." IBPSA-USA, 2008.
- [118] S. Horowitz, C. Christensen, M. Brandemuehl, and M. Krarti, "AN ENHANCED SEQUENTIAL SEARCH METHODOLOGY FOR IDENTIFYING COST-OPTIMAL BUILDING PATHWAYS." IBPSA-USA, 2008.
- [119] Z. Tian, W. Tian, J. A. Love, and D. Ph, "COMPARATIVE SIMULATION OF A HIGH PERFORMANCE BUILDING WITH EE4-DOE2 . 1E AND ENERGYPLUS." IBPSA-USA, pp. 108–115, 2008.
- [120] M. Malhotra and J. Haberl, "SIMULATION OF OFF-GRID , OFF-PIPE , SINGLE-FAMILY DETACHED RESIDENCES IN U . S . CLIMATES," no. Awea 2007. IBPSA-USA, pp. 116–123, 2008.
- [121] S. Dutton, L. Shao, and S. Riffat, "VALIDATION AND PARAMETRIC ANALYSIS OF ENERGYPLUS : AIR FLOW NETWORK MODEL USING CONTAM University of Nottingham , Nottingham , UK University of Nottingham , Nottingham , UK α For α V H = V met x A o □." IBPSA-USA, 2008.
- [122] L. Glicksman and M. A. Menchaca, "COOLVENT: A MULTIZONE AIRFLOW AND THERMAL ANALYSIS SIMULATOR FOR NATURAL VENTILATION IN BUILDINGS." IBPSA-USA, 2008.
- [123] J. Good, A. Frisque, and D. Phillips, "THE ROLE OF WIND IN NATURAL VENTILATION SIMULATIONS USING AIRFLOW NETWORK MODELS." IBPSA-USA, 2008.
- [124] T. Moore, "POTENTIAL AND LIMITATIONS FOR HYDRONIC RADIANT SLABS USING WATERSIDE FREE COOLING AND DEDICATED OUTSIDE AIR SYSTEMS." IBPSA-USA, pp. 148–155, 2008.
- [125] R. Brahme, G. Dobbs, and Thierry Carrier, "BRACKETING RESIDENTIAL ' NET-ZERONESS ' DURING DESIGN STAGE." IBPSA-USA, pp. 156–163, 2008.
- [126] T. P. . McDowell and J. W. . Thornton, "SIMULATION AND MODEL CALIBRATION OF A LARGE-SCALE SOLAR SEASONAL STORAGE SYSTEM." IBPSA-USA, pp. 174–181, 2008.

- [127] T. White, Mi. Dec, D. Troy-Glumac, and B. Thornton, "EFFECTIVE EARLY COLLABORATION BETWEEN ENGINEERS AND ARCHITECTS FOR SUCCESSFUL ENERGY-EFFICIENT DESIGN," no. Dd. IBPSA-USA, pp. 182–189, 2008.
- [128] P. Im and J. S. Haberl, "DEVELOPMENT OF A SIMPLIFIED SIMULATION TOOL FOR HIGH PERFORMANCE K-5 SCHOOLS IN HOT AND HUMID CLIMATES." IBPSA-USA, pp. 190–197, 2008.
- [129] Y. C. Huang, K. P. Lam, and G. Dobbs, "A SCALABLE LIGHTING SIMULATION TOOL FOR INTEGRATED BUILDING DESIGN." IBPSA-USA, 2008.
- [130] T. Webster, F. Bauman, F. Buhl, and A. Daly, "MODELING OF UNDERFLOOR AIR DISTRIBUTION (UFAD) SYSTEMS." IBPSA-USA, pp. 214–221, 2008.
- [131] S. Cho and J. S. Haberl, "DEVELOPMENT OF A SIMULATION TOOLKIT FOR THE SELECTION OF HIGH- PERFORMANCE SYSTEMS FOR OFFICE BUILDINGS (Phase I : Calibrated Simulation of the Case Study Building)." IBPSA-USA, pp. 222–229, 2008.
- [132] R. J. Hitchcock, R. Mitchell, M. Yazdanian, E. Lee, and C. Huizenga, "COMFEN A COMMERCIAL FENESTRATION / FAÇADE DESIGN TOOL." IBPSA-USA, pp. 246–252, 2008.
- [133] T. Lee and D. Ferrari, "SIMULATING THE IMPACT ON BUILDINGS OF CHANGING CLIMATE - CREATION AND APPLICATION OF ERSATZ FUTURE WEATHER DATA FILES." IBPSA-USA, pp. 253–260, 2008.
- [134] R. Versage, A. P. Melo, and R. Lamberts, "IMPACT OF DIFFERENT DAYLIGHTING SIMULATION RESULTS ON THE PREDICTION OF TOTAL ENERGY CONSUMPTION," no. 2006. IBPSA-USA, pp. 1–7, 2010.
- [135] S. Kleindienst and M. Andersen, "SOLAR HEAT SURPLUS AND SOLAR HEAT SCARCITY : THE INCLUSION OF SOLAR HEAT GAIN IN A DYNAMIC AND HOLISTIC DAYLIGHT ANALYSIS." IBPSA-USA, 2010.
- [136] A. Nassiopoulos and F. Bourquin, "REAL-TIME MONITORING OF BUILDING ENERGY BEHAVIOUR : A CONCEPTUAL FRAMEWORK." IBPSA-USA, 2010.

- [137] T. Leibling, C. Reiser, and O. Baumann, "DEVELOPMENT OF A CALIBRATION METHODOLOGY FOR THE ENERGY SIMULATION OF AN EXISTING BUILDING FROM 1969." IBPSA-USA, 2010.
- [138] S. Ali, "ANALYSIS OF PROCEDURES AND WORKFLOW FOR CONDUCTING ENERGY ANALYSIS USING AUTODESK REVIT , GBXML AND TRACE 700." IBPSA-USA, pp. 56–63, 2010.
- [139] C. Baker, P. Vaidya, and A. D'Souza, "MODELING PROTOCOL FOR EARLY ENERGY DESIGN ASSISTANCE FOR SIMBUILD 2010 CONFERENCE," no. Architecture 2030. IBPSA-USA, pp. 64–76, 2010.
- [140] W. Sheta and S. Sharples, "A BUILDING SIMULATION SUSTAINABILITY ANALYSIS TO ASSESS DWELLINGS IN A NEW CAIRO DEVELOPMENT." IBPSA-USA, pp. 94–101, 2010.
- [141] Y. Pan, Q. Li, H. Zhou, Z. Huang, Z. He, and J. Huang, "VISUALEPLUS: A CHINESE INTERACTIVE GRAPHICAL USER INTERFACE (GUI) FOR ENERGYPLUS." IBPSA-USA, pp. 126–133, 2010.
- [142] S. Andolsun, C. H. Culp, and Jeff Harberl, "ENERGYPLUS VS DOE-2: THE EFFECT OF GROUND COUPLING ON HEATING AND COOLING ENERGY CONSUMPTION OF A SLAB-ON-GRADE CODE HOUSE IN A COLD CLIMATE." IBPSA-USA, 2010.
- [143] C. Waddell and S. Kaserekar, "SOLAR GAIN AND COOLING LOAD COMPARISON USING ENERGY MODELING SOFTWARE." IBPSA-USA, 2010.
- [144] M. Azarbayjani and J. Anderson, "BEYOND ARROWS: CFD MODELING OF A NEW, NATURALLY VENTILATED, DOUBLE SKIN FACADE CONFIGURATION IN A CHICAGO HIGH-RISE OFFICE BUILDING." IBPSA-USA, pp. 170–176, 2010.
- [145] P. Lyons, J. Wong, and M. Bhandari, "A COMPARISON OF WINDOW MODELING METHODS IN ENERGYPLUS 4.0." IBPSA-USA, pp. 177–184, 2010.
- [146] D. Kang and R. K. Strand, "A NEW MODEL FOR CALCULATING THE CONVECTIVE AND RADIANT IMPACT OF RADIATORS AND BASEBOARDS IN ENERGYPLUS." IBPSA-USA, 2010.

- [147] X. Li, Y. Li, and J. E. Seem, “DYNAMIC MODELING OF MECHANICAL DRAFT COUNTER-FLOW WET COOLING TOWER WITH MODELICA.” IBPSA-USA, pp. 193–200, 2010.
- [148] M. Mirsadeghi, D. Cóstola, B. Blocken, and J. L. . Hensen, “TOWARDS THE APPLICATION OF DISTRIBUTED SIMULATION IN HAM ENGINEERING.” IBPSA-USA, pp. 207–214, 2010.
- [149] A. Jain and A. Osborne, “THERMODYNAMICS OF THE MICROCLIMATE : EFFECTS OF EXTERNAL ELEMENTS ON INTERNAL HEAT GAINS.” IBPSA-USA, pp. 223–229, 2010.
- [150] A. Rosheidat and H. Bryan, “OPTIMIZING THE EFFECT OF VEGETATION FOR PEDESTRIAN THERMAL COMFORT AND URBAN HEAT ISLAND MITIGATION IN A HOT ARID URBAN ENVIRONMENT.” IBPSA-USA, pp. 230–237, 2010.
- [151] C. Yimprayoon and M. Navvab, “QUANTIFICATION OF AVAILABLE SOLAR IRRADIATION ON ROOFTOPS USING ORTHOPHOTOGRAPH AND LIDAR DATA University of Michigan , Ann Arbor , MI.” IBPSA-USA, pp. 238–243, 2010.
- [152] S. Dutton and L. Shao, “WINDOW OPENING BAHAVIOUR IN A NATURALLY VENTILATED SCHOOL,” no. Dutton 2009. IBPSA-USA, pp. 260–268, 2010.
- [153] Z. Liu, H. Kim, M. Malhotra, J. Mukhopadhyay, and J. Baltazar, “GOING BEYOND A RESNET CERTIFICATION FOR CODE-COMPLIANT SIMULATIONS: A COMPARISON OF DETAILED RESULTS OF THREE RESNET- CERTIFIED , CODE-COMPLIANT RESIDENTIAL SIMULATION.” IBPSA-USA, pp. 277–284, 2010.
- [154] M. Malhotra and J. Haberl, “SIMULATED BUILDING ENERGY PERFORMANCE OF SINGLE-FAMILY DETACHED RESIDENCES DESIGNED FOR OFF-GRID , OFF-PIPE OPERATION.” IBPSA-USA, 2010.
- [155] K. Otto, R. Taylor, R. Brahme, and W. Sisson, “WHAT DOES IT TAKE FOR THE RESIDENTIAL BUILDING SECTOR TO REACH NET-ZERO ENERGY?,” no. Eia 2009. IBPSA-USA, pp. 293–300, 2010.
- [156] J. An and S. Mason, “INTEGRATING ADVANCED DAYLIGHT ANALYSIS INTO BUILDING ENERGY ANALYSIS,” no. Cbecs 1995. IBPSA-USA, 2010.
- [157] K. Lagios, J. Niemasz, and C. F. Reinhart, “ANIMATED BUILDING PERFORMANCE SIMULATION (ABPS) – LINKING RHINOCEROS / GRASSHOPPER WITH RADIANCE /

- DAYSIM Kera Lagios , Jeff Niemasz and Christoph F Reinhart Harvard University , Graduate School of Design Cambridge , MA 02138 USA.” IBPSA-USA, pp. 321–327, 2010.
- [158] S. Cho and J. S. Haberl, “INTEGRATING SOLAR THERMAL AND PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN WHOLE BUILDING ENERGY SIMULATION.” IBPSA-USA, 2010.
- [159] A. Strzalka, U. Eicker, V. Coors, and J. Schumacher, “MODELING ENERGY DEMAND FOR HEATING AT CITY SCALE.” IBPSA-USA, 2010.
- [160] R. Zhang and K. P. Lam, “COMPARISON OF BUILDING LOAD PERFORMANCE BETWEEN FIRST PRINCIPLE BASED AND IMPLEMENTABLE SHADING CONTROL ALGORITHM,” no. 2006. IBPSA-USA, 2010.
- [161] M. Saxena, G. Ward, T. Perry, L. Hescong, and R. Higa, “DYNAMIC RADIANCE – PREDICTING ANNUAL DAYLIGHTING WITH VARIABLE FENESTRATION OPTICS USING BSDFS.” IBPSA-USA, pp. 402–409, 2010.
- [162] C. F. Reinhart and J. Wienold, “THE DAYLIGHTING DASHBOARD - A SIMULATION-BASED DESIGN ANALYSIS FOR DAYLIT SPACES.” IBPSA-USA, 2010.
- [163] Y. T. Chae and R. K. Strand, “DEVELOPMENT OF A DEDICATED OUTDOOR AIR SYSTEM (DOAS) MODULE FOR A WHOLE BUILDING ANNUAL ENERGY SIMULATION PROGRAM.” IBPSA-USA, pp. 458–465, 2010.
- [164] T. Webster, K. H. Lee, F. Bauman, S. Schiavon, T. Hoyt, A. Daly, and J. Feng, “INFLUENCE OF SUPPLY AIR TEMPERATURE ON UNDERFLOOR AIR DISTRIBUTION (UFAD) SYSTEM ENERGY PERFORMANCE.” IBPSA-USA, 2010.
- [165] Z. O’Neill, S. Narayanan, and R. Brahme, “MODEL-BASED THERMAL LOAD ESTIMATION IN BUILDINGS.” IBPSA-USA, pp. 474–481, 2010.
- [166] P. Im and J. S. Haberl, “ANALYSIS OF THE ENERGY SAVINGS POTENTIAL IN K-5 SCHOOLS IN HOT AND HUMID CLIMATES : APPLICATION OF HIGH PERFORMANCE MEASURES AND RENEWABLE ENERGY SYSTEMS.” IBPSA-USA, pp. 482–489, 2010.
- [167] L. (Leon) Wang, W. S. Dols, and Q. Chen, “AN INTRODUCTION TO THE CFD CAPABILITIES IN CONTAM 3.0.” IBPSA-USA, pp. 490–496, 2010.

- [168] M. Popovac, "ROBUST EDDY VISCOSITY TURBULENCE MODELING WITH ELLIPTIC RELAXATION FOR EXTERNAL BUILDING FLOW ANALYSIS." IBPSA-USA, pp. 497–505, 2010.
- [169] M. Jones and S. Ledinger, "PUSHING THE LIMITS OF SIMULATION COMPLEXITY - A BUILDING ENERGY PERFORMANCE SIMULATION OF AN EXHIBITION CENTER IN THE U.A .E." IBPSA-USA, 2010.
- [170] J. Zhu, L. Shen, R. Yin, and Y. Lu, "A TWO-STAGE SIMULATION-BASED ON-LINE OPTIMIZATION SCHEME FOR HVAC DEMAND RESPONSE." IBPSA-USA, pp. 9–16, 2012.
- [171] E. Asadi, M. G. da Silva, C. H. Antunes, and L. Dias, "MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION MODEL FOR BUILDING RETROFIT STRATEGIES." IBPSA-USA, pp. 17–24, 2012.
- [172] M. Basarkar, J. O'Donnell, P. Haves, K. Settlemyre, and T. Maile, "MAPPING HVAC SYSTEMS FOR SIMULATION IN ENERGYPLUS." IBPSA-USA, pp. 25–31, 2012.
- [173] M. Malhotra and P. Im, "DEVELOPMENT OF A FLEXIBLE , MULTIZONE , MULTIFAMILY BUILDING SIMULATION MODEL." IBPSA-USA, pp. 32–39, 2012.
- [174] M. Georgescu, B. Eisenhower, and I. Mezié, "CREATING ZONING APPROXIMATIONS TO BUILDING ENERGY MODELS USING THE KOOPMAN OPERATOR." IBPSA-USA, pp. 40–47, 2012.
- [175] E. Yazdanshenas, A. Marston, and O. Baumann, "AN INVESTIGATION TO OPTIMIZE THE MECHANICAL SYSTEMS TO MEET COMFORT CRITERIA IN A LARGE ATRIUM." IBPSA-USA, pp. 48–55, 2012.
- [176] B. Urban, D. Elliott, and O. Sachs, "TOWARDS BETTER MODELING OF RESIDENTIAL THERMOSTATS," no. 2006. IBPSA-USA, pp. 56–62, 2012.
- [177] S. Dutton, H. Zhang, Y. Zhai, E. Arens, Y. B. Smires, S. Brunswick, K. Konis, and P. Haves, "APPLICATION OF A STOCHASTIC WINDOW USE MODEL IN ENERGYPLUS," no. Nicol 2001. IBPSA-USA, pp. 63–70, 2012.
- [178] M. Bhandari and R. Srinivasan, "WINDOW-WALL INTERFACE CORRECTION FACTORS : THERMAL MODELING OF INTEGRATED FENESTRATION AND OPAQUE ENVELOPE

- SYSTEMS FOR IMPROVED PREDICTION OF ENERGY USE.” IBPSA-USA, pp. 71–74, 2012.
- [179] M. Maing, “VIRTUAL MOCK-UP MODELING AS STUDY MODEL OF BUILDING ENVELOPE PERFORMANCE AND DESIGN.” IBPSA-USA, pp. 75–82, 2012.
- [180] S. Attia and O. Wanas, “THE DATABASE OF EGYPTIAN BUILDING ENVELOPES (DEBE): A DATABASE FOR BUILDING ENERGY SIMULATIONS.” IBPSA-USA, pp. 96–103, 2012.
- [181] M. Munshi, D. Tuhus-dubrow, J. An, B. Coffey, and A. Ten, “PRACTICAL TECHNIQUES FOR AUTOMATED CALIBRATION OF EXISTING MODELS FOR USE IN BUILDING OPERATIONS,” no. Wetter 2009. IBPSA-USA, pp. 120–127, 2012.
- [182] S. Singh, A. Martinez, K. Kensek, and M. Schiler, “COMPARISON OF TWO DIFFERENT SIMULATION PROGRAMS WHILE CALIBRATING THE SAME BUILDING.” IBPSA-USA, pp. 128–135, 2012.
- [183] H. Blervaque, P. Stabat, S. Filfli, C. Muresan, D. Marchio, D. E. Buildings, and M. Loing, “COMPARATIVE ANALYSIS OF AIR-TO-AIR HEAT PUMP MODELS FOR BUILDING ENERGY SIMULATION.” IBPSA-USA, pp. 136–143, 2012.
- [184] G. Marsicek, S. Klein, and Greg Nellis, “FEASIBILITY OF COMBINED SOLAR / HEAT PUMP SYSTEMS FOR REDUCED RESIDENTIAL CONDITIONING ENERGY CONSUMPTION.” IBPSA-USA, pp. 152–159, 2012.
- [185] L. Wang, P. Haves, and J. Breshears, “THE ENERGY SAVING POTENTIAL OF MEMBRANE-BASED ENTHALPY RECOVERY IN VAV SYSTEMS FOR COMMERCIAL OFFICE BUILDINGS.” IBPSA-USA, pp. 160–167, 2012.
- [186] T. C. Moore and P. J. Ouzts, “ZONAL APPROACH TO MODELING THERMALLY STRATIFIED ATRIA Timothy C . Moore and Peter J . Ouzts Integrated Environmental Solutions , Ltd ., Glasgow , Scotland.” IBPSA-USA, pp. 168–176, 2012.
- [187] J. W. Degraw, W. P. Bahnfleth, and A. Musser, “STREAMLINED MULTIZONE MODEL CREATION,” no. 1989. IBPSA-USA, pp. 177–184, 2012.
- [188] S. J. Emmerich, W. S. Dols, and B. Polidoro, “APPLICATION OF A NATURAL VENTILATION SYSTEM DESIGN TOOL TO A SCHOOL BUILDING.” IBPSA-USA, pp. 185–192, 2012.

- [189] A. Love, "ASSESSING THERMAL BRIDGES IN COMMERCIAL WALL SYSTEMS." IBPSA-USA, pp. 201–210, 2012.
- [190] M. Soltaniehha, J. A. Gardzelewski, G. Tan, and A. Denzer, "PASSIVHAUS AND NET ZERO ENERGY RESIDENTIAL DESIGNS IN A COLD CLIMATE : A SIMULATION BASED DESIGN PROCESS FOR THE NEXT GENERATION OF GREEN HOMES Mahdokht Soltaniehha , Jon A . Gardzelewski , Gang Tan , and Anthony Denzer WY." IBPSA-USA, pp. 227–235, 2012.
- [191] A. Parekh and P. E. C. Kirney, "THERMAL AND MECHANICAL SYSTEMS DESCRIPTORS FOR SIMPLIFIED ENERGY USE EVALUATION OF CANADIAN HOUSES." IBPSA-USA, pp. 279–286, 2012.
- [192] C. Luo, A. Marston, and O. Baumann, "OPTIMIZATION OF TYPICAL US HVAC SYSTEMS THROUGH IMPROVED CONTROLS." IBPSA-USA, pp. 390–399, 2012.
- [193] P. Wilkinson and C. Olmsted, "MODELING HVAC OPTIMIZATION CONTROL STRATEGIES FOR HIGH PERFORMANCE BUILDINGS." IBPSA-USA, pp. 400–405, 2012.
- [194] D. Cóstola, B. J. . Blocken, and J. L. . Hensen, "ON INTER-MODEL COMPARISON EXERCISES OF WHOLE BUILDING HAM SIMULATION USING THE BESTEST BUILDING." IBPSA-USA, pp. 406–413, 2012.
- [195] A. Fallahi, N. Shukla, and J. Kosny, "NUMERICAL THERMAL PERFORMANCE ANALYSIS OF PCMS INTEGRATED WITH RESIDENTIAL ATTICS." IBPSA-USA, pp. 431–439, 2012.
- [196] J. Cai and J. E. Braun, "EFFICIENT AND ROBUST TRAINING METHODOLOGY FOR INVERSE BUILDING MODELING," no. 1. IBPSA-USA, pp. 456–461, 2012.
- [197] M. Brugman and P. Erickson, "A PROCESS FOR , AND RESULTS FROM , WHOLE CAMPUS ENERGY CONSERVATION BY STATISTICAL EXTRAPOLATION OF CALIBRATED ENERGY MODELS." IBPSA-USA, pp. 484–495, 2012.
- [198] W. Wang, J. Zhang, D. Moser, G. Liu, R. Athalye, and B. Liu, "ENERGY AND COST SAVINGS OF RETRO-COMMISSIONING AND RETROFIT MEASURES FOR LARGE OFFICE BUILDINGS," no. Eia 2003. IBPSA-USA, pp. 496–503, 2012.

- [199] T. Zakrzewski, "THE RENOVATION AND REHABILITATION OF HISTORIC BUILDING ENVELOPES : AN IN □ DEPTH BUILDING PERFORMANCE AND THERMAL COMFORT ANALYSIS Thomas Zakrzewski." IBPSA-USA, pp. 504–512, 2012.
- [200] F. Macdonald, R. Jost, I. Beausoleil-Morrison, T. Mcdowell, A. Ferguson, and M. Kummert, "A DEMONSTRATION OF THE RUN-TIME COUPLING BETWEEN ESP-r AND TRNSYS." IBPSA-USA, pp. 521–528, 2012.
- [201] T. S. Nouidui, M. Wetter, and W. Zuo, "VALIDATION OF THE WINDOW MODEL OF THE MODELICA BUILDINGS LIBRARY." IBPSA-USA, pp. 529–536, 2012.
- [202] D. Kim and J. E. Braun, "REDUCED-ORDER BUILDING MODELING FOR APPLICATION TO MODEL-BASED PREDICTIVE CONTROL." IBPSA-USA, pp. 554–561, 2012.
- [203] L. Ghobad, W. Place, and J. Hu, "THE IMPACT OF SYSTEMS INTEGRATION ON THE DAYLIGHTING PERFORMANCE OF SKYLIGHTS IN OFFICES." IBPSA-USA, pp. 577–584, 2012.
- [204] R. Guglielmetti and J. Scheib, "CHALLENGES TO INTEGRATED DAYLIGHTING AND ELECTRIC LIGHTING SIMULATION METHODS IN A WHOLE-BUILDING ENERGY SIMULATION CONTEXT Rob Guglielmetti , Jennifer Scheib LIGHTING SIMULATION: ALGORITHMS , METHODS , AND TOOLS." IBPSA-USA, pp. 585–594, 2012.
- [205] N. L. Jones and D. P. Greenberg, "HARDWARE ACCELERATED COMPUTATION OF DIRECT SOLAR RADIATION THROUGH TRANSPARENT SHADES AND SCREENS." IBPSA-USA, pp. 595–602, 2012.
- [206] J. Zhang, C. K. Heng, L. C. Malone-Lee, Y. C. Huang, Daniel Jun Chung Hii, I. Nazim, and P. Janssen, "PRELIMINARY EVALUATION OF A DAYLIGHT PERFORMANCE INDICATOR FOR URBAN ANALYSIS : FACADE VERTICAL DAYLIGHT FACTOR PER UNIT FLOOR AREA C." IBPSA-USA, pp. 638–646, 2012.
- [207] F. Betz, J. McNeill, B. Talbert, H. Thimmanna, and N. Repka, "ISSUES ARISING FROM THE USE OF CHILLED BEAMS IN ENERGY MODELS." IBPSA-USA, pp. 655–667, 2012.
- [208] H. Kim, J.-C. Baltazar, and J. Habberl, "COST-EFFECTIVE RECOMMENDATIONS FOR 15 % ABOVE CODE ENERGY EFFICIENCY MEASURES BASED ON THE ASHRAE 90. 1-2007

- FOR SMALL OFFICE BUILDINGS IN TEXAS,” vol. 2007, no. Ashrae 2007. IBPSA-USA, pp. 684–691, 2012.
- [209] L. Hendricken, K. Otto, J. Wen, P. Gurian, and W. Sisson, “CAPITAL COSTS AND ENERGY SAVINGS ACHIEVED BY ENERGY CONSERVATION MEASURES FOR OFFICE BUILDINGS IN THE GREATER PHILADELPHIA REGION.” IBPSA-USA, pp. 692–706, 2012.
- [210] ELSEVIER B.V., “ScienceDirect,” 2013. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/>.
- [211] IBSA, “IBSA International Building Performance Simulation Association,” 2013. [Online]. Available: <http://www.ibpsa.org/>.
- [212] U.S. Department of Energy, “Building Energy Software Tools Directory,” 2011. [Online]. Available: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/alpha_list.cfm.
- [213] V. y D. T. Ministerio De Ambiente, “Los materiales en la construcción de vivienda de interés social.” Colombia, pp. 1–44, 2011.
- [214] L. Assaf, “El Aprovechamiento Energético del Alumbrado Natural en Edificios.” Buenos Aires, Argentina, pp. 1–19, 2006.
- [215] Arizona Solar Center, “Solar Passive Heating,” 2009. [Online]. Available: http://www.oocities.org/kevgibson/solar_passive_heating.htm.
- [216] VÍCTOR RAÚL GALDÁMEZ DUARTE Y HAZAEL ALEXANDER GUZMÁN SARMIENTO, “EVALUACIÓN TÉRMICA, ENERGÉTICA Y ECONÓMICA DEL USO DE AISLANTES TÉRMICOS EN EDIFICIOS DE OFICINA ACONDICIONADOS EN EL SALVADOR.” ANTIGUO CUSCATLÁN, EL SALVADOR, p. 28, 2011.
- [217] Solucioneespeciales.net, “Precauciones y mitos en el aislamiento térmico de nuestra casa,” 2014. [Online]. Available: <http://aislaconpoliuretano.com/precauciones-y-mitos-en-el-aislamiento-termico-de-nuestra-casa.htm>.
- [218] A. Fernández, Rodolfo ; Carella, “CONSERVACIÓN DE NERGÍA VIVIENDAS Y EDIFICIOS,” 1981. [Online]. Available: http://www.arquinstal.com.ar/eficiencia/ure_esso/ure.html.

- [219] ENERGÉTICA FUTURA, “COMIENZA A AHORRAR ELECTRICIDAD EN TU HOGAR,” 2014. [Online]. Available: <http://energeticafutura.com/tienda/es/conectado-a-red/13-kit-solar-autoconsumo-300w.html>.
- [220] U.S. Department of Energy, “EnergyPlus,” *Building Technologies Office*, 2013. [Online]. Available: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>.
- [221] A. Consulting, “EnergyPlus,” 2013. [Online]. Available: <http://www.designbuilder.es/productos/caracteristicas-de-designbuilder/energyplus>.
- [222] the E. O. L. B. N. Laboratory, “Getting Started with EnergyPlus.” 2013.
- [223] JAMES J. HIRSCH & ASSOCIATES, “DOE-2.2 Building Energy Use and Cost Analysis Program,” vol. 1, no. October, 2004.
- [224] JAMES J. HIRSCH & ASSOCIATES, “eQUEST Introductory Tutorial, version 3.63,” no. April, 2009.
- [225] Sol-arq, “DesignBuilder,” 2012. .
- [226] D. Software, “DesignBuilder Simulation + CFD Training Guide.” Reino Unido, 2011.
- [227] Universidad de Strathclyde, “ESP-r,” 2013. .
- [228] J. W. Hand, “THE ESP-r COOKBOOK Strategies for Deploying Virtual Representations of the Built Environment.” Reino Unido, 2011.
- [229] AUTODESK, “Autodesk Ecotect Analysis,” 2013. .
- [230] G. Herrera, “CURSO DE ECOTECT 5 . 5 ARCHISOFT 2007.” 2007.
- [231] INVISBU, “UNA APROXIMACIÓN AL PROBLEMA DE LA VIVIENDA SOCIAL.” Bucaramanga, Colombia, 2010.
- [232] B. Luis, “PROGRAMA DE GOBIERNO 2012-2015.” Bucaramanga, Colombia, 2012.
- [233] C. Sivia, “INFORME DE GESTIÓN INVISBU.” Bucaramanga, Colombia, 2011.
- [234] INVISBU, “Especificaciones técnicas,” no. 1. Bucaramanga, Colombia, 2012.

- [235] INVISBU, “Altos de Betania,” 2013. [Online]. Available: <http://www.invisbu.gov.co/index.php/nuestra-gestion/programas-y-proyectos/proyecto-2-altos-de-betania>.
- [236] C. Pedro, “Plano Instalaciones de fuerza e iluminación torre tipo.” Bucaramanga, Colombia, 2011.
- [237] aurea Consulting, “DESIGNBUIDER Descripción y Capacidades.” pp. 1–17.
- [238] aurea Consulting, “Manual de DesignBuilder en español.” España, 2011.
- [239] M. Oscar, Pulido; Marvin, “EVALUACION DE LAS ESTRATEGIAS DE CONFORT VUSIAL Y TÉRMICO ESTABLECIDAS PARA EL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA SEGÚN LINEAMIENTOS DEL SISTEMA DE CERTIFICACIÓN LEED A PARTIR DE LA HERRAMIENTA DESIGNBUILDER. Creación del modelo virtual.” Bucaramanga, Colombia, 2012.
- [240] aurea Consulting, “DESIGNBUILDER Características , Simulación y diseño,” 2013. .
- [241] JAMES J. HIRSCH & ASSOCIATES, “eQUEST Introductory Tutorial, version 3.64,” no. December. EE.UU, 2010.
- [242] F. J. Rey; C. Cano; E. Velasco; F. Flores Murrieta; F. Varela Diez; and G. Hernandez, “ESTUDIO ENERGÉTICO, ECONÓMICO Y AMBIENTAL MEDIANTE SIMULACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE RECUPERADORES DE CALOR APLICADOS A UN CENTRO DE SALUD.” España, 2007.
- [243] J. José, N. Alvarado, R. E. Paredes, and E. R. Martínez, “TRATAMIENTO DE DATOS METEOROLÓGICOS PARA LA SIMULACIÓN ENERGÉTICA.” Perú, pp. 12–17, 2012.
- [244] G. Herrera, “CURSO DE ECOTECT 5 . 5 ARCHISOFT 2007.” 2007.
- [245] Natural Frequency, “MODELLING,” *ECOTECT TUTORIALS*, 2013. [Online]. Available: http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/Ecotect_Modelling_Tutorials.
- [246] Facultad de Arquitectura-UR, “Confort térmico.” 2010.

- [247] S. Juan, D. Tecnol, and I. Qu, "Climatización considerando el ahorro de energía y el confort térmico de las personas en ambientes dedicados a tareas de oficina." Argentina, 2010.
- [248] M. G. Merçon, "Confort Térmico y Tipología Arquitectónica en Clima Cálido-Húmedo." Cataluña, 2008.
- [249] R. P. R. TORRES, "ESTÁNDAR LOCAL DE CONFORT TÉRMICO PARA LA CIUDAD DE COLIMA." Coquimatlán, Colima, 2007.
- [250] A. G. Muñoz, "El confort térmico adaptativo." España, 2012.
- [251] R. Gómez, Gabriel; Bojórquez, Gonzalo; Ruiz, "El confort térmico : dos enfoques teóricos enfrentados," vol. 2. Colima, Mexico, pp. 45–57, 2007.
- [252] G. Boj, R. Torres, E. L. Confort, D. O. S. E. Te, R. Enfrentados, and C. Colima, "El confort térmico : dos enfoques teóricos enfrentados," vol. 2. Colima, Mexico, pp. 45–57, 2007.
- [253] Sol-arq, "Modelos de confort simples," 2012. .
- [254] A. G. Arias, "¿ Qué es la luz?" La Habana, Cuba, pp. 51–53, 2007.
- [255] R. Ana, Hernández; Fernando, "Condiciones necesarias para el confort visual." Valencia, España, 2011.
- [256] FEGEMU AUTOMATISMOS, "Conceptos básicos de iluminación." p. 2, 2013.
- [257] L. Amalia, "AGUDEZA VISUAL." 2007.
- [258] M. D. M. Y. ENERGÍA., "REGLAMENTO TÉCNICO DE ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO." Colombia, 2010.
- [259] J. M. Monteoliva, A. Villalba, and A. Pattini, "Impacto de la utilización de bases climáticas regionales en la simulación de alta precisión de iluminación natural," vol. 16, pp. 57–64, 2012.
- [260] DANE, "Boletín Censo general 2005." Colombia, pp. 9–14, 2010.
- [261] B. Leticia and A. Díaz, "Caracterización de las familias en Colombia," no. 64. Bogota, Colombia, 2012.

BIBLIOGRAFÍA

- Al-ajmi, Farraj F., and V.I. Hanby. 2008. "Simulation of Energy Consumption for Kuwaiti Domestic Buildings." *Energy and Buildings* 40(6): 1101–9.
- Ali, Shariq. 2010. "ANALYSIS OF PROCEDURES AND WORKFLOW FOR CONDUCTING ENERGY ANALYSIS USING AUTODESK REVIT , GBXML AND TRACE 700." 56–63.
- Allegrini, Jonas, Viktor Dorer, and Jan Carmeliet. 2012. "Influence of the Urban Microclimate in Street Canyons on the Energy Demand for Space Cooling and Heating of Buildings." *Energy and Buildings* 55: 823–32.
- Amalia, Lorente. 2007. "AGUDEZA VISUAL."
- An, John, and Sam Mason. 2010. "INTEGRATING ADVANCED DAYLIGHT ANALYSIS INTO BUILDING ENERGY ANALYSIS." (Cbecs 1995).
- Ana, Hernández; Fernando, Ramos. 2011. "Condiciones Necesarias Para El Confort Visual."
- "Análisis Energético de Edificios." <http://www.asesoresgreenbuilding.com/analisis-energetico-de-edificios.html>.
- Andolsun, Simge, Charles H. Culp, and Jeff Harberl. 2010. "ENERGYPLUS VS DOE-2: THE EFFECT OF GROUND COUPLING ON HEATING AND COOLING ENERGY CONSUMPTION OF A SLAB-ON-GRADE CODE HOUSE IN A COLD CLIMATE."
- Arias, Arnaldo González. 2007. "¿ Qué Es La Luz?" 51–53.
- Arizona Solar Center. 2009. "Solar Passive Heating."
- Asadi, Ehsan, Manuel Gameiro da Silva, Carlos Henggeler Antunes, and Luís Dias. 2012. "MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION MODEL FOR BUILDING RETROFIT STRATEGIES." 17–24.
- Assaf, Leonardo. 2006. "El Aprovechamiento Energético Del Alumbrado Natural En Edificios." 1–19.
- Aste, Niccolò, Adriana Angelotti, and Michela Buzzetti. 2009. "The Influence of the External Walls Thermal Inertia on the Energy Performance of Well Insulated Buildings." *Energy and Buildings* 41(11): 1181–87.

- Attia, Shady, Elisabeth Gratia, André De Herde, and Jan L.M. Hensen. 2012. "Simulation-Based Decision Support Tool for Early Stages of Zero-Energy Building Design." *Energy and Buildings* 49: 2–15.
- Attia, Shady, Jan L.M. Hensen, Liliana Beltrán, and André De Herde. 2012. "Selection Criteria for Building Performance Simulation Tools: Contrasting Architects' and Engineers' Needs." *Journal of Building Performance Simulation* 5(3): 155–69.
<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19401493.2010.549573>.
- Attia, Shady, and Omar Wanas. 2012. "THE DATABASE OF EGYPTIAN BUILDING ENVELOPES (DEBE): A DATABASE FOR BUILDING ENERGY SIMULATIONS." 96–103.
- aurea Consulting. 2011. "Manual de DesignBuilder En Español."
- aurea Consulting. 2013. "DESIGNBUILDER Características , Simulación Y Diseño."
- aurea Consulting. "DESIGNBUILDER Descripción Y Capacidades." 1–17.
- AUTODESK. 2013. "Autodesk Ecotect Analysis."
- Azarbayjani, Mona, and Jim Anderson. 2010. "BEYOND ARROWS: CFD MODELING OF A NEW, NATURALLY VENTILATED, DOUBLE SKIN FACADE CONFIGURATION IN A CHICAGO HIGH-RISE OFFICE BUILDING." 170–76.
- Baez, Omar. 2011. "PROGRAMA NACIONAL DE USO RACIONAL Y EFICIENTE DE LA ENERGIA - PROURE PLAN DE ACCION INDICATIVO 2010 – 2015."
- Baker, Chris, Prasad Vaidya, and Alan D'Souza. 2010. "MODELING PROTOCOL FOR EARLY ENERGY DESIGN ASSISTANCE FOR SIMBUILD 2010 CONFERENCE." (Architecture 2030): 64–76.
- Balocco, Carla, Virginia Gori, Enrico Marmonti, and Luca Citi. 2012. "Building–plant System Energy Sustainability. An Approach for Transient Thermal Performance Analysis." *Energy and Buildings* 49: 443–53.
- Basarkar, Mangesh, James O'Donnell, Philip Haves, Kevin Settlemyre, and Tobias Maile. 2012. "MAPPING HVAC SYSTEMS FOR SIMULATION IN ENERGYPLUS." 25–31.

- Baumann, Oliver, and Claudius Reiser. 2008. "FEDERATION TOWER MOSCOW – DIFFERENT ROOM CLIMATES UNDER ONE ROOF." 77–83.
- Bertagnolio, S., G. Masy, J Lebrun, and P. André. 2008. "BUILDING AND HVAC SYSTEM SIMULATION WITH THE HELP OF AN." 53–60.
- Betz, Fred, James McNeill, Bill Talbert, Harshana Thimmana, and Norbert Repka. 2012. "ISSUES ARISING FROM THE USE OF CHILLED BEAMS IN ENERGY MODELS." 655–67.
- Bhandari, Mahabir, Som Shrestha, and Joshua New. 2012. "Evaluation of Weather Datasets for Building Energy Simulation." *Energy and Buildings* 49: 109–18.
- Bhandari, Mahabir, and Ravi Srinivasan. 2012. "WINDOW-WALL INTERFACE CORRECTION FACTORS: THERMAL MODELING OF INTEGRATED FENESTRATION AND OPAQUE ENVELOPE SYSTEMS FOR IMPROVED PREDICTION OF ENERGY USE." 71–74.
- Blervaque, Hubert, Pascal Stabat, Sila Filfli, Cristian Muresan, Dominique Marchio, D Energy Buildings, and Moret Loing. 2012. "COMPARATIVE ANALYSIS OF AIR-TO-AIR HEAT PUMP MODELS FOR BUILDING ENERGY SIMULATION." 136–43.
- Boj, Gonzalo, Ruiz Torres, E L Confort, D O S Enfoques Te, Ricos Enfrentados, and Colima Colima. 2007. "El Confort Térmico : Dos Enfoques Teóricos Enfrentados." 2: 45–57.
- Bojić, Milorad, Novak Nikolić, Danijela Nikolić, Jasmina Skerlić, and Ivan Miletić. 2011. "A Simulation Appraisal of Performance of Different HVAC Systems in an Office Building." *Energy and Buildings* 43(6): 1207–15.
- Boyano, a., P. Hernandez, and O. Wolf. 2013. "Energy Demands and Potential Savings in European Office Buildings: Case Studies Based on EnergyPlus Simulations." *Energy and Buildings* 65: 19–28.
- Brahme, Rohini, Gregory Dobbs, and Thierry Carrier. 2008. "BRACKETING RESIDENTIAL ' NET-ZERONESS ' DURING DESIGN STAGE." 156–63.
- Brugman, Matthew, and Paul Erickson. 2012. "A PROCESS FOR , AND RESULTS FROM , WHOLE CAMPUS ENERGY CONSERVATION BY STATISTICAL EXTRAPOLATION OF CALIBRATED ENERGY MODELS." 484–95.

- Buratti, C., E. Moretti, E. Belloni, and F. Cotana. 2013. "Unsteady Simulation of Energy Performance and Thermal Comfort in Non-Residential Buildings." *Building and Environment* 59: 482–91.
- Cai, Jie, and James E. Braun. 2012. "EFFICIENT AND ROBUST TRAINING METHODOLOGY FOR INVERSE BUILDING MODELING." (1): 456–61.
- Calise, Francesco, Massimo Dentice d'Accadia, Adolfo Palombo, and Laura Vanoli. 2012. "Dynamic Simulation of a Novel High-Temperature Solar Trigeneration System Based on Concentrating Photovoltaic/thermal Collectors." *Energy*: 1–15.
- Carnielo, Emiliano, and Michele Zinzi. 2013. "Optical and Thermal Characterisation of Cool Asphalts to Mitigate Urban Temperatures and Building Cooling Demand." *Building and Environment* 60: 56–65.
- Carvalho, M.M.Q., E.L. La Rovere, and a.C.M. Gonçalves. 2010. "Analysis of Variables That Influence Electric Energy Consumption in Commercial Buildings in Brazil." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(9): 3199–3205.
- Casals, Xavier Garcia. 2004. "REGULACIÓN Y CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS: ASIGNATURA PENDIENTE EN ESPAÑA." 42–47.
- Catalina, Tiberiu, Joseph Virgone, and Eric Blanco. 2008. "Development and Validation of Regression Models to Predict Monthly Heating Demand for Residential Buildings." *Energy and Buildings* 40(10): 1825–32.
- Chae, Young Tae, and Richard K Strand. 2010. "DEVELOPMENT OF A DEDICATED OUTDOOR AIR SYSTEM (DOAS) MODULE FOR A WHOLE BUILDING ANNUAL ENERGY SIMULATION PROGRAM." 458–65.
- Chan, a.L.S. 2011. "Developing Future Hourly Weather Files for Studying the Impact of Climate Change on Building Energy Performance in Hong Kong." *Energy and Buildings* 43(10): 2860–68.
- Cho, Soolyeon, and Jeff S Haberl. 2008. "DEVELOPMENT OF A SIMULATION TOOLKIT FOR THE SELECTION OF HIGH- PERFORMANCE SYSTEMS FOR OFFICE BUILDINGS (Phase I : Calibrated Simulation of the Case Study Building)." 222–29.

- Cho, Soolyeon, and Jeff S Haberl. 2010. "INTEGRATING SOLAR THERMAL AND PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN WHOLE BUILDING ENERGY SIMULATION."
- Chowdhury, Ashfaque Ahmed, M.G. Rasul, and M.M.K. Khan. 2008. "Thermal-Comfort Analysis and Simulation for Various Low-Energy Cooling-Technologies Applied to an Office Building in a Subtropical Climate." *Applied Energy* 85(6): 449–62.
- Comite de Derechos Urbanisticos. 2000. "El Derecho a Una Vivienda Adecuada." (1991).
- Constantinos A. Balaras, Kalliopi Droutsas, Elena Dascalaki, Simon Kontoyiannidis. 2005. "Heating Energy Consumption and Resulting Environmental Impact of European Apartment Buildings." *ELSEVIER* 37(5): 429–42.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778804002464>.
- Consulting, Aurea. 2013. "EnergyPlus." <http://www.designbuilder.es/productos/caracteristicas-de-designbuilder/energyplus>.
- Cóstola, Daniel, Bert J.E Blocken, and Jan L.M Hensen. 2012. "ON INTER-MODEL COMPARISON EXERCISES OF WHOLE BUILDING HAM SIMULATION USING THE BESTEST BUILDING." 406–13.
- Dall'O', Giuliano, Luca Sarto, Nicola Sanna, and Angelo Martucci. 2012. "Comparison between Predicted and Actual Energy Performance for Summer Cooling in High-Performance Residential Buildings in the Lombardy Region (Italy)." *Energy and Buildings* 54: 234–42.
- DANE. 2010. "Boletín Censo General 2005." 9–14.
- Danielski, Itai. 2012. "Large Variations in Specific Final Energy Use in Swedish Apartment Buildings: Causes and Solutions." *Energy and Buildings* 49: 276–85.
- DeBlois, Justin C., Melissa M. Bilec, and Laura a. Schaefer. 2013. "Design and Zonal Building Energy Modeling of a Roof Integrated Solar Chimney." *Renewable Energy* 52: 241–50.
- Degelman, Larry O, and Veronica I Soebarto. 1996. "Whole Building Energy Performance - Simulation and Prediction for Retrofits."
- Degraw, Jason W., William P. Bahnfleth, and Amy Musser. 2012. "STREAMLINED MULTIZONE MODEL CREATION." (1989): 177–84.

- Deng, S., Y.J. Dai, R.Z. Wang, and X.Q. Zhai. 2011. "Case Study of Green Energy System Design for a Multi-Function Building in Campus." *Sustainable Cities and Society* 1(3): 152–63.
- Desideri, Umberto, Livia Arcioni, Daniela Leonardi, Luca Cesaretti, Perla Perugini, Elena Agabiti, and Nicola Evangelisti. 2013. "Design of a Multipurpose 'zero Energy Consumption' Building according to European Directive 2010/31/EU: Architectural and Technical Plants Solutions." *Energy* 58: 157–67.
- Dussault, Jean-Michel, Louis Gosselin, and Tigran Galstian. 2012. "Integration of Smart Windows into Building Design for Reduction of Yearly Overall Energy Consumption and Peak Loads." *Solar Energy* 86(11): 3405–16.
- Dutton, Spencer, and Li Shao. 2010. "WINDOW OPENING BEHAVIOUR IN A NATURALLY VENTILATED SCHOOL." (Dutton 2009): 260–68.
- Dutton, Spencer, Li Shao, and Saffa Riffat. 2008. "VALIDATION AND PARAMETRIC ANALYSIS OF ENERGYPLUS : AIR FLOW NETWORK MODEL USING CONTAM University of Nottingham , Nottingham , UK University of Nottingham , Nottingham , UK A For A V H = V Met x A O □."
- Dutton, Spencer, Hui Zhang, Yongchao Zhai, Ed Arens, Youness Bennani Smires, Sam Brunswick, Kyle Konis, and Phil Haves. 2012. "APPLICATION OF A STOCHASTIC WINDOW USE MODEL IN ENERGYPLUS." (Nicol 2001): 63–70.
- Dylewski, Robert, and Janusz Adamczyk. 2012. "Economic and Ecological Indicators for Thermal Insulating Building Investments." *Energy and Buildings* 54: 88–95.
- Eicker, Ursula, and Dirk Pietruschka. 2009. "Design and Performance of Solar Powered Absorption Cooling Systems in Office Buildings." *Energy and Buildings* 41(1): 81–91.
- ELSEVIER B.V. 2013. "ScienceDirect." <http://www.sciencedirect.com/>.
- Emmerich, Steven J., W. Stuart Dols, and Brian Polidoro. 2012. "APPLICATION OF A NATURAL VENTILATION SYSTEM DESIGN TOOL TO A SCHOOL BUILDING." 185–92.
- ENERGÉTICA FUTURA. 2014. "COMIENZA A AHORRAR ELECTRICIDAD EN TU HOGAR."
- ENERGÍA., MINISTERIO DE MINAS Y. 2010. "REGLAMENTO TÉCNICO DE ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO."

- Europea, Unión. 2008. "Energy Efficient Buildings Save Money : Recast of the Energy Performance of Buildings Directive." In *MEMO/08/693*, Brussels.
- F. J. Rey; C. Cano; E. Velasco; F. Flores Murrieta; F. Varela Diez; and Gallego Hernandez. 2007. "ESTUDIO ENERGÉTICO, ECONÓMICO Y AMBIENTAL MEDIANTE SIMULACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE RECUPERADORES DE CALOR APLICADOS A UN CENTRO DE SALUD."
- Facultad de Arquitectura-UR. 2010. "Confort Térmico."
- Fakra, a.H., F. Miranville, H. Boyer, and S. Guichard. 2011. "Development of a New Model to Predict Indoor Daylighting: Integration in CODYRUN Software and Validation." *Energy Conversion and Management* 52(7): 2724–34.
- Fallahi, Ali, Nitin Shukla, and Jan Kosny. 2012. "NUMERICAL THERMAL PERFORMANCE ANALYSIS OF PCMS INTEGRATED WITH RESIDENTIAL ATTICS." 431–39.
- FEGEMU AUTOMATISMOS. 2013. "Conceptos Básicos de Iluminación." 2.
- Fernández, Rodolfo; Carella, Alfredo. 1981. "CONSERVACIÓN DE ENERGÍA VIVIENDAS Y EDIFICIOS."
- Ferreira, Joaquim, and Manuel Pinheiro. 2011. "In Search of Better Energy Performance in the Portuguese buildings—The Case of the Portuguese Regulation." *Energy Policy* 39(12): 7666–83.
- Firląg, Szymon, and Bernard Zawada. 2013. "Impacts of Airflows, Internal Heat and Moisture Gains on Accuracy of Modeling Energy Consumption and Indoor Parameters in Passive Building." *Energy and Buildings* 64: 372–83.
- Flores Larsen, Silvana, Celina Filippín, and Silvina González. 2012. "Study of the Energy Consumption of a Massive Free-Running Building in the Argentinean Northwest through Monitoring and Thermal Simulation." *Energy and Buildings* 47: 341–52.
- Fumo, Nelson, Pedro Mago, and Rogelio Luck. 2010. "Methodology to Estimate Building Energy Consumption Using EnergyPlus Benchmark Models." *Energy and Buildings* 42(12): 2331–37.
- FUNDACIONCHILE y ChileCompra. 2008. "Guía Práctica de Eficiencia Energética." (56 2): 1–20.

- Gao, Y., J.J. Roux, L.H. Zhao, and Y. Jiang. 2008. "Dynamical Building Simulation: A Low Order Model for Thermal Bridges Losses." *Energy and Buildings* 40(12): 2236–43.
- Garrido-Soriano, Nuria, Martí Rosas-Casals, Aleksander Ivancic, and M^a Dolores Álvarez-del Castillo. 2012. "Potential Energy Savings and Economic Impact of Residential Buildings under National and Regional Efficiency Scenarios. A Catalan Case Study." *Energy and Buildings* 49: 119–25.
- Georgescu, Michael, Bryan Eisenhower, and Igor Mezié. 2012. "CREATING ZONING APPROXIMATIONS TO BUILDING ENERGY MODELS USING THE KOOPMAN OPERATOR." 40–47.
- Ghobad, Ladan, Wayne Place, and Jianxin Hu. 2012. "THE IMPACT OF SYSTEMS INTEGRATION ON THE DAYLIGHTING PERFORMANCE OF SKYLIGHTS IN OFFICES." 577–84.
- Glicksman, Leon, and Maria Alejandra Menchaca. 2008. "COOLVENT: A MULTIZONE AIRFLOW AND THERMAL ANALYSIS SIMULATOR FOR NATURAL VENTILATION IN BUILDINGS."
- Gómez, Gabriel; Bojórquez, Gonzalo; Ruiz, Raúl. 2007. "El Confort Térmico : Dos Enfoques Teóricos Enfrentados." 2: 45–57.
- Good, Joel, Andrea Frisque, and Duncan Phillips. 2008. "THE ROLE OF WIND IN NATURAL VENTILATION SIMULATIONS USING AIRFLOW NETWORK MODELS."
- Granadeiro, Vasco, João R. Correia, Vítor M.S. Leal, and José P. Duarte. 2013. "Envelope-Related Energy Demand: A Design Indicator of Energy Performance for Residential Buildings in Early Design Stages." *Energy and Buildings* 61: 215–23.
- Greenberg, Donald, Kevin Pratt, Brandon Hincey, Nathaniel Jones, Lars Schumann, Justin Dobbs, Zhao Dong, David Bosworth, and Bruce Walter. 2013. "Sustain: An Experimental Test Bed for Building Energy Simulation." *Energy and Buildings* 58: 44–57.
- Griego, Danielle, Moncef Krarti, and Abel Hernández-Guerrero. 2012. "Optimization of Energy Efficiency and Thermal Comfort Measures for Residential Buildings in Salamanca, Mexico." *Energy and Buildings* 54: 540–49.
- Guglielmetti, Rob, and Jennifer Scheib. 2012. "CHALLENGES TO INTEGRATED DAYLIGHTING AND ELECTRIC LIGHTING SIMULATION METHODS IN A WHOLE-BUILDING ENERGY

SIMULATION CONTEXT Rob Guglielmetti , Jennifer Scheib LIGHTING SIMULATION: ALGORITHMS , METHODS , AND TOOLS.” 585–94.

Guillermo Gómez Prada, Jesús Maellas Benito, Borja Plaza Gallardo, Manuela Nieto García. 2007. “Estado Del Arte De La Modelización Energética De Edificios.” 1–22.

Hand, Jon William. 2011. “THE ESP-R COOKBOOK Strategies for Deploying Virtual Representations of the Built Environment.”

Hang, Yin, Ming Qu, and Fu Zhao. 2011. “Economical and Environmental Assessment of an Optimized Solar Cooling System for a Medium-Sized Benchmark Office Building in Los Angeles, California.” *Renewable Energy* 36(2): 648–58.

Hendricken, Liam, Kevin Otto, Jin Wen, Patrick Gurian, and William Sisson. 2012. “CAPITAL COSTS AND ENERGY SAVINGS ACHIEVED BY ENERGY CONSERVATION MEASURES FOR OFFICE BUILDINGS IN THE GREATER PHILADELPHIA REGION.” 692–706.

Hernández, Sergio Bonilla. 2009. “Construcción de Edificios Energéticamente Eficientes Eficiencia Energética Y La Construcción.” 1–15.

Herrera, Gaston. 2007a. “CURSO DE ECOTECH 5 . 5 ARCHISOFT 2007.”

Herrera, Gaston. 2007b. “CURSO DE ECOTECH 5 . 5 ARCHISOFT 2007.”

Hitchcock, Robert J, Robin Mitchell, Mehry Yazdanian, Eleanor Lee, and Charlie Huizenga. 2008. “COMFEN A COMMERCIAL FENESTRATION / FAÇADE DESIGN TOOL.” 246–52.

Hong, Tianzhen. 2009. “A Close Look at the China Design Standard for Energy Efficiency of Public Buildings.” *Energy and Buildings* 41(4): 426–35.

Hong, Tianzhen, Wen-Kuei Chang, and Hung-Wen Lin. 2013. “A Fresh Look at Weather Impact on Peak Electricity Demand and Energy Use of Buildings Using 30-Year Actual Weather Data.” *Applied Energy* 111: 333–50.

Horowitz, Scott, Craig Christensen, Michael Brandemuehl, and Moncef Krarti. 2008. “AN ENHANCED SEQUENTIAL SEARCH METHODOLOGY FOR IDENTIFYING COST-OPTIMAL BUILDING PATHWAYS.”

- Huang, Yi Chun, Khee Poh Lam, and Gregory Dobbs. 2008. "A SCALABLE LIGHTING SIMULATION TOOL FOR INTEGRATED BUILDING DESIGN."
- IBSA. 2013. "IBSA International Building Performance Simulation Association." <http://www.ibpsa.org/>.
- Ihm, Pyeongchan, and Moncef Krarti. 2012. "Design Optimization of Energy Efficient Residential Buildings in Tunisia." *Building and Environment* 58: 81–90.
- Im, Piljae, and Jeff S Haberl. 2008. "DEVELOPMENT OF A SIMPLIFIED SIMULATION TOOL FOR HIGH PERFORMANCE K-5 SCHOOLS IN HOT AND HUMID CLIMATES." 190–97.
- Im, Piljae, and Jeff S Haberl. 2008. 2010. "ANALYSIS OF THE ENERGY SAVINGS POTENTIAL IN K-5 SCHOOLS IN HOT AND HUMID CLIMATES : APPLICATION OF HIGH PERFORMANCE MEASURES AND RENEWABLE ENERGY SYSTEMS." 482–89.
- INVISBU. 2010. "UNA APROXIMACIÓN AL PROBLEMA DE LA VIVIENDA SOCIAL."
- INVISBU. 2012. "Especificaciones Técnicas." (1).
- INVISBU. 2013. "Altos de Betania."
- Jaber, Samar, and Salman Ajib. 2011. "Optimum, Technical and Energy Efficiency Design of Residential Building in Mediterranean Region." *Energy and Buildings* 43(8): 1829–34.
- Jain, Anupam, and Aran Osborne. 2010. "THERMODYNAMICS OF THE MICROCLIMATE : EFFECTS OF EXTERNAL ELEMENTS ON INTERNAL HEAT GAINS." 223–29.
- JAMES J. HIRSCH & ASSOCIATES. 2004. "DOE-2.2 Building Energy Use and Cost Analysis Program." 1(October).
- JAMES J. HIRSCH & ASSOCIATES. 2009. "eQUEST Introductory Tutorial, Version 3.63." (April).
- JAMES J. HIRSCH & ASSOCIATES. 2010. "eQUEST Introductory Tutorial, Version 3.64." (December).
- Jeanjean, Anaïs, Régis Olives, and Xavier Py. 2013. "Selection Criteria of Thermal Mass Materials for Low-Energy Building Construction Applied to Conventional and Alternative Materials." *Energy and Buildings* 63: 36–48.

- Jing, You-Yin, He Bai, and Jiang-Jiang Wang. 2012. "Multi-Objective Optimization Design and Operation Strategy Analysis of BCHP System Based on Life Cycle Assessment." *Energy* 37(1): 405–16.
- Jones, Marcus, and Stephan Ledinger. 2010. "PUSHING THE LIMITS OF SIMULATION COMPLEXITY - A BUILDING ENERGY PERFORMANCE SIMULATION OF AN EXHIBITION CENTER IN THE U.A .E."
- Jones, Nathaniel L., and Donald P. Greenberg. 2012. "HARDWARE ACCELERATED COMPUTATION OF DIRECT SOLAR RADIATION THROUGH TRANSPARENT SHADES AND SCREENS." 595–602.
- José, Juan, Natividad Alvarado, Rafael Espinoza Paredes, and Eduardo Ramos Martínez. 2012. "TRATAMIENTO DE DATOS METEOROLÓGICOS PARA LA SIMULACIÓN ENERGÉTICA." 12–17.
- Joudi, Ali, Harald Svedung, and Mats Rönnelid. 2011. "Energy Efficient Surfaces on Building Sandwich panels—A Dynamic Simulation Model." *Energy and Buildings* 43(9): 2462–67.
- Juan, San, Desarrollo Tecnol, and Industria Qu. 2010. "Climatización Considerando El Ahorro de Energía Y El Confort Térmico de Las Personas En Ambientes Dedicados a Tareas de Oficina."
- Kanagaraj, G., and Ashwin Mahalingam. 2011. "Designing Energy Efficient Commercial buildings— A Systems Framework." *Energy and Buildings* 43(9): 2329–43.
- Kang, Daeho, and Richard K. Strand. 2010. "A NEW MODEL FOR CALCULATING THE CONVECTIVE AND RADIANT IMPACT OF RADIATORS AND BASEBOARDS IN ENERGYPLUS."
- Katunsky, Dusan, Azra Korjenic, Jana Katunska, Martin Lopusniak, Sinan Korjenic, and Saeed Doroudiani. 2013. "Analysis of Thermal Energy Demand and Saving in Industrial Buildings: A Case Study in Slovakia." *Building and Environment* 67: 138–46.
- Ke, Ming-Tsun, Chia-Hung Yeh, and Jhong-Ting Jian. 2013. "Analysis of Building Energy Consumption Parameters and Energy Savings Measurement and Verification by Applying eQUEST Software." *Energy and Buildings* 61: 100–107.

- Kim, Donghun, and James E Braun. 2012. "REDUCED-ORDER BUILDING MODELING FOR APPLICATION TO MODEL-BASED PREDICTIVE CONTROL." 554–61.
- Kim, Hyojin, Juan-Carlos Baltazar, and Jeff Habberl. 2012. "COST-EFFECTIVE RECOMMENDATIONS FOR 15 % ABOVE CODE ENERGY EFFICIENCY MEASURES BASED ON THE ASHRAE 90. 1-2007 FOR SMALL OFFICE BUILDINGS IN TEXAS." 2007(Ashrae 2007): 684–91.
- Kim, Hyunjoo, Annette Stumpf, and Wooyoung Kim. 2011. "Analysis of an Energy Efficient Building Design through Data Mining Approach." *Automation in Construction* 20(1): 37–43.
- Kim, Sang-Min, Ji-Hyun Lee, Sooyoung Kim, Hyeun Jun Moon, and Jinsoo Cho. 2012. "Determining Operation Schedules of Heat Recovery Ventilators for Optimum Energy Savings in High-Rise Residential Buildings." *Energy and Buildings* 46: 3–13.
- Kleindienst, Siân, and Marilynne Andersen. 2010. "SOLAR HEAT SURPLUS AND SOLAR HEAT SCARCITY: THE INCLUSION OF SOLAR HEAT GAIN IN A DYNAMIC AND HOLISTIC DAYLIGHT ANALYSIS."
- Kneifel, Joshua. 2010. "Life-Cycle Carbon and Cost Analysis of Energy Efficiency Measures in New Commercial Buildings." *Energy and Buildings* 42(3): 333–40.
- Kolarik, Jakub, Jørn Toftum, Bjarne W. Olesen, and Kasper L. Jensen. 2011. "Simulation of Energy Use, Human Thermal Comfort and Office Work Performance in Buildings with Moderately Drifting Operative Temperatures." *Energy and Buildings* 43(11): 2988–97.
- Konstantinou, Thaleia, and Ulrich Knaack. 2013. "An Approach to Integrate Energy Efficiency Upgrade into Refurbishment Design Process, Applied in Two Case-Study Buildings in Northern European Climate." *Energy and Buildings* 59: 301–9.
- Laboratory, the Ernest Orlando Lawrence Berkeley National. 2013. "Getting Started with EnergyPlus."
- Lagios, Kera, Jeff Niemasz, and Christoph F. Reinhart. 2010. "ANIMATED BUILDING PERFORMANCE SIMULATION (ABPS) – LINKING RHINOCEROS / GRASSHOPPER WITH RADIANCE / DAYSIM Kera Lagios , Jeff Niemasz and Christoph F Reinhart Harvard University , Graduate School of Design Cambridge , MA 02138 USA." 321–27.

- Lam, Joseph C., Kevin K.W. Wan, Dalong Liu, and C.L. Tsang. 2010. "Multiple Regression Models for Energy Use in Air-Conditioned Office Buildings in Different Climates." *Energy Conversion and Management* 51(12): 2692–97.
- Larsen, S. Flores, C. Filippín, a. Beascochea, and G. Lesino. 2008. "An Experience on Integrating Monitoring and Simulation Tools in the Design of Energy-Saving Buildings." *Energy and Buildings* 40(6): 987–97.
- Lee, Kyoung-Ho, Dong-Won Lee, Nam-Choon Baek, Hyeok-Min Kwon, and Chang-Jun Lee. 2012. "Preliminary Determination of Optimal Size for Renewable Energy Resources in Buildings Using RETScreen." *Energy* 47(1): 83–96.
- Lee, T, and D Ferrari. 2008. "SIMULATING THE IMPACT ON BUILDINGS OF CHANGING CLIMATE - CREATION AND APPLICATION OF ERSATZ FUTURE WEATHER DATA FILES." 253–60.
- Leibing, Tobias, Claudius Reiser, and Oliver Baumann. 2010. "DEVELOPMENT OF A CALIBRATION METHODOLOGY FOR THE ENERGY SIMULATION OF AN EXISTING BUILDING FROM 1969."
- León, Ángel L., Samuel Domínguez, Miguel a. Campano, and Cristina Ramírez-Balas. 2012. "Reducing the Energy Demand of Multi-Dwelling Units in a Mediterranean Climate Using Solar Protection Elements." *Energies* 5(12): 3398–3424.
- Leticia, Blanca, and Arteaga Díaz. 2012. "Caracterización de Las Familias En Colombia." (64).
- Lexbase Colombia. 2011. "La Vivienda de Interés Social (VIS)—Avances Y Retrocesos Legislativos." <http://www.portafolio.co/opinion/blogs/juridica/la-vivienda-interes-social-vis—avances-y-retrocesos-legislativos>.
- Li, Xiao, Yaoyu Li, and John E Seem. 2010. "DYNAMIC MODELING OF MECHANICAL DRAFT COUNTER-FLOW WET COOLING TOWER WITH MODELICA." 193–200.
- Lin, Hung-Wen, and Tianzhen Hong. 2013. "On Variations of Space-Heating Energy Use in Office Buildings." *Applied Energy* 111: 515–28.
- Liu, Zi, Hyojin Kim, Mini Malhotra, Jaya Mukhopadhyay, and Juan-carlos Baltazar. 2010. "GOING BEYOND A RESNET CERTIFICATION FOR CODE-COMPLIANT SIMULATIONS: A

COMPARISON OF DETAILED RESULTS OF THREE RESNET- CERTIFIED , CODE-COMPLIANT RESIDENTIAL SIMULATION.” 277–84.

Love, Andrea. 2012. “ASSESSING THERMAL BRIDGES IN COMMERCIAL WALL SYSTEMS.” 201–10.

Lozano, Miguel a., Jose C. Ramos, and Luis M. Serra. 2010. “Cost Optimization of the Design of CHCP (combined Heat, Cooling and Power) Systems under Legal Constraints.” *Energy* 35(2): 794–805.

Luis, Bohorquez. 2012. “PROGRAMA DE GOBIERNO 2012-2015.”

Luo, Chen, Annie Marston, and Oliver Baumann. 2012. “OPTIMIZATION OF TYPICAL US HVAC SYSTEMS THROUGH IMPROVED CONTROLS.” 390–99.

Lyons, Peter, Justin Wong, and Mahabir Bhandari. 2010. “A COMPARISON OF WINDOW MODELING METHODS IN ENERGYPLUS 4.0.” 177–84.

Macdonald, Francesca, Romain Jost, Ian Beausoleil-Morrison, Timothy Mcdowell, Alex Ferguson, and Michaël Kummert. 2012. “A DEMONSTRATION OF THE RUN-TIME COUPLING BETWEEN ESP-R AND TRNSYS.” 521–28.

Magnier, Laurent, and Fariborz Haghighat. 2010. “Multiobjective Optimization of Building Design Using TRNSYS Simulations, Genetic Algorithm, and Artificial Neural Network.” *Building and Environment* 45(3): 739–46.

Mago, Pedro J., Anna Hueffed, and Louay M. Chamra. 2010. “Analysis and Optimization of the Use of CHP–ORC Systems for Small Commercial Buildings.” *Energy and Buildings* 42(9): 1491–98.

Maing, Minjung. 2012. “VIRTUAL MOCK-UP MODELING AS STUDY MODEL OF BUILDING ENVELOPE PERFORMANCE AND DESING.” 75–82.

Malhotra, Mini, and Jeff Haberl. 2008. “SIMULATION OF OFF-GRID , OFF-PIPE , SINGLE-FAMILY DETACHED RESIDENCES IN U . S . CLIMATES.” (Awea 2007): 116–23.

Malhotra, Mini, and Jeff Haberl. 2008. 2010. “SIMULATED BUILDING ENERGY PERFORMANCE OF SINGLE-FAMILY DETACHED RESIDENCES DESIGNED FOR OFF-GRID , OFF-PIPE OPERATION.”

- Malhotra, Mini, and Piljae Im. 2012. "DEVELOPMENT OF A FLEXIBLE , MULTIZONE , MULTIFAMILY BUILDING SIMULATION MODEL." 32–39.
- Manteca, Florencio. 2011. "Diseño de Edificios de Elevada Eficiencia Energetica En Construcción Sostenible." In *Construcción Sostenible*, EOIwiki, 1–14.
- Maria Eugenia Sosa Griffin, Giovanni Siem. 2004. *Manual de Diseño Para Edificaciones Energéticamente Eficientes En El Trópico*. Primera ed. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Marino, C., a. Nucara, M. Pietrafesa, and a. Pudano. 2013. "An Energy Self-Sufficient Public Building Using Integrated Renewable Sources and Hydrogen Storage." *Energy* 57: 95–105.
- Marsicek, Greg, Sanford Klein, and Greg Nellis. 2012. "FEASIBILITY OF COMBINED SOLAR / HEAT PUMP SYSTEMS FOR REDUCED RESIDENTIAL CONDITIONING ENERGY CONSUMPTION." 152–59.
- Martín, Arturo. 2011. "LOS EDIFICIOS ENERGETICAMENTE EFICIENTES. LA REGULACION ESPAÑOLA." <http://grupoglobalgreen.blogspot.com/2011/05/los-edificios-energeticamente.html>.
- Martínez-Lera, S., and J. Ballester. 2010. "A Novel Method for the Design of CHCP (combined Heat, Cooling and Power) Systems for Buildings." *Energy* 35(7): 2972–84.
- Masoso, O.T., and L.J. Grobler. 2008. "A New and Innovative Look at Anti-Insulation Behaviour in Building Energy Consumption." *Energy and Buildings* 40(10): 1889–94.
- Mavrogianni, Anna, Paul Wilkinson, Michael Davies, Phillip Biddulph, and Eleni Oikonomou. 2012. "Building Characteristics as Determinants of Propensity to High Indoor Summer Temperatures in London Dwellings." *Building and Environment* 55: 117–30.
- McDowell, Timothy P ., and Jeff W . Thornton. 2008. "SIMULATION AND MODEL CALIBRATION OF A LARGE-SCALE SOLAR SEASONAL STORAGE SYSTEM." 174–81.
- Mcnamara, Andrew, Jeffrey Perlman, Richard Perez, and Bright Power. 2008. "SIMULATED PERFORMANCE OF SOLAR DOMESTIC HOT WATER TECHNOLOGIES IN NEW YORK STATE."

- Meggers, Forrest, Volker Ritter, Philippe Goffin, Marc Baetschmann, and Hansjürg Leibundgut. 2012. "Low Exergy Building Systems Implementation." *Energy* 41(1): 48–55.
- Merçon, Mariana Guimarães. 2008. "Confort Térmico Y Tipología Arquitectónica En Clima Cálido-Húmedo."
- Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2011a. *Calidad En La Vivienda de Interés Social*. Colombia.
- Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2011b. "Los Materiales En La Construcción de Vivienda de Interés Social." 1–44.
- Mirsadeghi, M., D. Cóstola, B. Blocken, and J.L.M Hensen. 2010. "TOWARDS THE APPLICATION OF DISTRIBUTED SIMULATION IN HAM ENGINEERING." 207–14.
- Molin, Andreas, Patrik Rohdin, and Bahram Moshfegh. 2011. "Investigation of Energy Performance of Newly Built Low-Energy Buildings in Sweden." *Energy and Buildings* 43(10): 2822–31.
- Monteoliva, J M, A Villalba, and A Pattini. 2012. "Impacto de La Utilización de Bases Climáticas Regionales En La Simulación de Alta Precisión de Iluminación Natural." 16: 57–64.
- Moore, Timothy. 2008. "POTENTIAL AND LIMITATIONS FOR HYDRONIC RADIANT SLABS USING WATERSIDE FREE COOLING AND DEDICATED OUTSIDE AIR SYSTEMS." 148–55.
- Moore, Timothy C., and Peter J. Ouzts. 2012. "ZONAL APPROACH TO MODELING THERMALLY STRATIFIED ATRIA Timothy C . Moore and Peter J . Ouzts Integrated Environmental Solutions , Ltd ., Glasgow , Scotland." 168–76.
- Munshi, Madhav, Dan Tuhus-dubrow, John An, Brian Coffey, and Atelier Ten. 2012. "PRACTICAL TECHNIQUES FOR AUTOMATED CALIBRATION OF EXISTING MODELS FOR USE IN BUILDING OPERATIONS." (Wetter 2009): 120–27.
- Muñoz, Alfonso Godoy. 2012. "El Confort Térmico Adaptativo."
- Muñoz, Luis Cano. 2002. "Ahorro Energético En La Vivienda: Climatización Y Agua Caliente." 1–5.
- Nassiopoulos, Alexandre, and Frédéric Bourquin. 2010. "REAL-TIME MONITORING OF BUILDING ENERGY BEHAVIOUR : A CONCEPTUAL FRAMEWORK."

- Natural Frequency. 2013. "MODELLING." *ECOTECT TUTORIALS*.
http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/Ecotect_Modelling_Tutorials.
- Nikolaou, T., I. Skias, D. Kolokotsa, and G. Stavrakakis. 2009. "Virtual Building Dataset for Energy and Indoor Thermal Comfort Benchmarking of Office Buildings in Greece." *Energy and Buildings* 41(12): 1409–16.
- Nouidui, Thierry Stephane, Michael Wetter, and Wangda Zuo. 2012. "VALIDATION OF THE WINDOW MODEL OF THE MODELICA BUILDINGS LIBRARY." 529–36.
- O'Neill, Zheng, Satish Narayanan, and Rohini Brahme. 2010. "MODEL-BASED THERMAL LOAD ESTIMATION IN BUILDINGS." 474–81.
- Ochoa, Carlos Ernesto, and Isaac Guedi Capeluto. 2009. "Advice Tool for Early Design Stages of Intelligent Facades Based on Energy and Visual Comfort Approach." *Energy and Buildings* 41(5): 480–88.
- Olofsson, Thomas, and T.M.I. Mahlia. 2012. "Modeling and Simulation of the Energy Use in an Occupied Residential Building in Cold Climate." *Applied Energy* 91(1): 432–38.
- Van Ooteghem, Kevin, and Lei Xu. 2012. "The Life-Cycle Assessment of a Single-Storey Retail Building in Canada." *Building and Environment* 49: 212–26.
- Oscar, Pulido; Marvin, Meneses. 2012. "EVALUACION DE LAS ESTRATEGIAS DE CONFORT VUSIAL Y TÉRMICO ESTABLECIDAS PARA EL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA SEGÚN LINEAMIENTOS DEL SISTEMA DE CERTIFICACIÓN LEED A PARTIR DE LA HERRAMIENTA DESIGNBUILDER. Creación Del Modelo Virtual."
- Otto, Kevin, Russell Taylor, Rohini Brahme, and William Sisson. 2010. "WHAT DOES IT TAKE FOR THE RESIDENTIAL BUILDING SECTOR TO REACH NET-ZERO ENERGY?" (Eia 2009): 293–300.
- Pacheco, R., J. Ordóñez, and G. Martínez. 2012. "Energy Efficient Design of Building: A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(6): 3559–73.
- Palmero-Marrero, Ana I., and Armando C. Oliveira. 2010. "Effect of Louver Shading Devices on Building Energy Requirements." *Applied Energy* 87(6): 2040–49.

- Pan, Yiqun, Qiqiang Li, Hui Zhou, Zhizhong Huang, Zongjian He, and Joe Huang. 2010. "VISUALEPLUS: A CHINESE INTERACTIVE GRAPHICAL USER INTERFACE (GUI) FOR ENERGYPLUS." 126–33.
- Pan, Yiqun, Gang Wu, Fujun Yang, and Zhi. 2008. "CFD AND DAYLIGHT SIMULATION CALIBRATED WITH SITE MEASUREMENT FOR WAITING HALL OF SHANGHAI SOUTH RAILWAY STATION." 84–91.
- Pan, Yiqun, Rongxin Yin, and Zhizhong Huang. 2008. "Energy Modeling of Two Office Buildings with Data Center for Green Building Design." *Energy and Buildings* 40(7): 1145–52.
- Parekh, Anil, and P Eng Chris Kirney. 2012. "THERMAL AND MECHANICAL SYSTEMS DESCRIPTORS FOR SIMPLIFIED ENERGY USE EVALUATION OF CANADIAN HOUSES." 279–86.
- Pedro, Cruz. 2011. "Plano Instalaciones de Fuerza E Iluminación Torre Tipo."
- Pilar Navarro Rivero; Ramón Garcia Déniz. 2013. "TECNOLOGIAS PARA LA EDIFICACIÓN ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE." 427–60.
- Pisello, Anna Laura, Michele Goretti, and Franco Cotana. 2012. "A Method for Assessing Buildings' Energy Efficiency by Dynamic Simulation and Experimental Activity." *Applied Energy* 97: 419–29.
- Pisello, Anna Laura, John E. Taylor, Xiaoqi Xu, and Franco Cotana. 2012. "Inter-Building Effect: Simulating the Impact of a Network of Buildings on the Accuracy of Building Energy Performance Predictions." *Building and Environment* 58: 37–45.
- Poirazis, Harris, Åke Blomsterberg, and Maria Wall. 2008. "Energy Simulations for Glazed Office Buildings in Sweden." *Energy and Buildings* 40(7): 1161–70.
- Popovac, Mirza. 2010. "ROBUST EDDY VISCOSITY TURBULENCE MODELING WITH ELLIPTIC RELAXATION FOR EXTERNAL BUILDING FLOW ANALYSIS." 497–505.
- Radhi, Hassan. 2008. "A Systematic Methodology for Optimising the Energy Performance of Buildings in Bahrain." *Energy and Buildings* 40(7): 1297–1303.

- Reinhart, Christoph F, and Jan Wienold. 2010. "THE DAYLIGHTING DASHBOARD - A SIMULATION-BASED DESIGN ANALYSIS FOR DAYLIT SPACES."
- Rezaie, Behnaz, Ibrahim Dincer, and Ebrahim Esmailzadeh. 2013. "Energy Options for Residential Buildings Assessment." *Energy Conversion and Management* 65: 637–46.
- Rosato, Antonio, Sergio Sibilio, and Giovanni Ciampi. 2013. "Dynamic Performance Assessment of a Building-Integrated Cogeneration System for an Italian Residential Application." *Energy and Buildings* 64: 343–58.
- Rosheidat, Akram, and Harvey Bryan. 2010. "OPTIMIZING THE EFFECT OF VEGETATION FOR PEDESTRIAN THERMAL COMFORT AND URBAN HEAT ISLAND MITIGATION IN A HOT ARID URBAN ENVIRONMENT." 230–37.
- Ruiz, M.C., and E. Romero. 2011. "Energy Saving in the Conventional Design of a Spanish House Using Thermal Simulation." *Energy and Buildings* 43(11): 3226–35.
- Sadineni, Suresh B., Srikanth Madala, and Robert F. Boehm. 2011. "Passive Building Energy Savings: A Review of Building Envelope Components." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(8): 3617–31.
- Saelens, Dirk, Wout Parys, and Ruben Baetens. 2011. "Energy and Comfort Performance of Thermally Activated Building Systems Including Occupant Behavior." *Building and Environment* 46(4): 835–48.
- Sailor, D.J. 2008. "A Green Roof Model for Building Energy Simulation Programs." *Energy and Buildings* 40(8): 1466–78.
- Santos, Ísis Portolan Dos, and Ricardo Rütther. 2012. "The Potential of Building-Integrated (BIPV) and Building-Applied Photovoltaics (BAPV) in Single-Family, Urban Residences at Low Latitudes in Brazil." *Energy and Buildings* 50: 290–97.
- Saxena, Mudit, Grag Ward, Timothy Perry, Lisa Heschong, and Randall Higa. 2010. "DYNAMIC RADIANCE – PREDICTING ANNUAL DAYLIGHTING WITH VARIABLE FENESTRATION OPTICS USING BSDFS." 402–9.
- Sheta, Wael, and Steve Sharples. 2010. "A BUILDING SIMULATION SUSTAINABILITY ANALYSIS TO ASSESS DWELLINGS IN A NEW CAIRO DEVELOPMENT." 94–101.

- Singh, Sukreet, Andrea Martinez, Karen Kensek, and Marc Schiler. 2012. "COMPARISON OF TWO DIFFERENT SIMULATION PROGRAMS WHILE CALIBRATING THE SAME BUILDING." 128–35.
- Sivia, Camargo. 2011. "INFORME DE GESTIÓN INVISBU."
- Smith, Aaron, Nelson Fumo, Rogelio Luck, and Pedro J. Mago. 2011. "Robustness of a Methodology for Estimating Hourly Energy Consumption of Buildings Using Monthly Utility Bills." *Energy and Buildings* 43(4): 779–86.
- Soares, N., J.J. Costa, a.R. Gaspar, and P. Santos. 2013. "Review of Passive PCM Latent Heat Thermal Energy Storage Systems towards Buildings' Energy Efficiency." *Energy and Buildings* 59: 82–103.
- Software, Designbuilder. 2011. "DesignBuilder Simulation + CFD Training Guide."
- Sol-arq. 2012a. "DesignBuilder."
- Sol-arq. 2012b. "Modelos de Confort Simples."
- Soltaniehha, Mahdokht, Jon A. Gardzelewski, Gang Tan, and Anthony Denzer. 2012. "PASSIVHAUS AND NET ZERO ENERGY RESIDENTIAL DESIGNS IN A COLD CLIMATE : A SIMULATION BASED DESIGN PROCESS FOR THE NEXT GENERATION OF GREEN HOMES Mahdokht Soltaniehha , Jon A . Gardzelewski , Gang Tan , and Anthony Denzer WY." 227–35.
- Solucioneespeciales.net. 2014. "Precauciones Y Mitos En El Aislamiento Térmico de Nuestra Casa."
- Sozer, Hatice. 2010. "Improving Energy Efficiency through the Design of the Building Envelope." *Building and Environment* 45(12): 2581–93.
- Strzalka, Aneta, Ursula Eicker, Volker Coors, and Jürgen Schumacher. 2010. "MODELING ENERGY DEMAND FOR HEATING AT CITY SCALE."
- Thormark, Catarina. 2002. "A Low Energy Building in a Life Cycle—its Embodied Energy, Energy Need for Operation and Recycling Potential." *ELSEVIER* 37(4): 429–35. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132301000336>.

- Tian, Zhen, and James a. Love. 2009. "Energy Performance Optimization of Radiant Slab Cooling Using Building Simulation and Field Measurements." *Energy and Buildings* 41(3): 320–30.
- Tian, Zhen, Wei Tian, James A Love, and D Ph. 2008. "COMPARATIVE SIMULATION OF A HIGH PERFORMANCE BUILDING WITH EE4-DOE2 . 1E AND ENERGYPLUS." 108–15.
- TORRES, RAÚL PÁVEL RUIZ. 2007. "ESTÁNDAR LOCAL DE CONFORT TÉRMICO PARA LA CIUDAD DE COLIMA."
- U.S. Department of Energy. 2011. "Building Energy Software Tools Directory." http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/alpha_list.cfm.
- US-DOE. 2013. "EnergyPlus." *Building Technologies Office*. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>.
- Universidad de Strathclyde. 2013. "ESP-R."
- Uno, Yoshitaka, and Yoshiyuki Shimoda. 2012. "Energy Saving Potential of Cooperative Management between DHC Plant and Building HVAC System." *Energy and Buildings* 55: 631–36.
- Urban, Bryan, Diana Elliott, and Olga Sachs. 2012. "TOWARDS BETTER MODELING OF RESIDENTIAL THERMOSTATS." (2006): 56–62.
- Versage, Rogério, Ana Paula Melo, and Roberto Lamberts. 2010. "IMPACT OF DIFFERENT DAYLIGHTING SIMULATION RESULTS ON THE PREDICTION OF TOTAL ENERGY CONSUMPTION." (2006): 1–7.
- VÍCTOR RAÚL GALDÁMEZ DUARTE Y HAZAEL ALEXANDER GUZMÁN SARMIENTO. 2011. "EVALUACIÓN TÉRMICA, ENERGÉTICA Y ECONÓMICA DEL USO DE AISLANTES TÉRMICOS EN EDIFICIOS DE OFICINA ACONDICIONADOS EN EL SALVADOR." 28.
- Waddell, Cassie, and Shruti Kaserekar. 2010. "SOLAR GAIN AND COOLING LOAD COMPARISON USING ENERGY MODELING SOFTWARE."
- Wang, Jiangjiang, Zhiqiang (John) Zhai, Youyin Jing, and Chunfa Zhang. 2011. "Influence Analysis of Building Types and Climate Zones on Energetic, Economic and Environmental Performances of BCHP Systems." *Applied Energy* 88(9): 3097–3112.

- Wang, Liangzhu (Leon), W Stuart Dols, and Qingyan Chen. 2010. "AN INTRODUCTION TO THE CFD CAPABILITIES IN CONTAM 3.0." 490–96.
- Wang, Liping, Philip Haves, and John Breshears. 2012. "THE ENERGY SAVING POTENTIAL OF MEMBRANE-BASED ENTHALPY RECOVERY IN VAV SYSTEMS FOR COMMERCIAL OFFICE BUILDINGS." 160–67.
- Wang, Weimin, Jian Zhang, Dave Moser, Guopeng Liu, Rahul Athalye, and Bing Liu. 2012. "ENERGY AND COST SAVINGS OF RETRO-COMMISSIONING AND RETROFIT MEASURES FOR LARGE OFFICE BUILDINGS." (Eia 2003): 496–503.
- Webster, Tom, Fred Bauman, Fred Buhl, and Allan Daly. 2008. "MODELING OF UNDERFLOOR AIR DISTRIBUTION (UFAD) SYSTEMS." 214–21.
- Webster, Tom, Kwang Ho Lee, Fred Bauman, Stefano Schiavon, Tyler Hoyt, Allan Daly, and Jingjuan Feng. 2010. "INFLUENCE OF SUPPLY AIR TEMPERATURE ON UNDERFLOOR AIR DISTRIBUTION (UFAD) SYSTEM ENERGY PERFORMANCE."
- Wetter, Michael, and Philip Haves. 2008. "A MODULAR BUILDING CONTROLS VIRTUAL TEST BED FOR THE INTEGRATION OF HETEROGENEOUS SYSTEMS."
- White, Thomas, Michelle Dec, Dana Troy-Glumac, and Brian Thornton. 2008. "EFFECTIVE EARLY COLLABORATION BETWEEN ENGINEERS AND ARCHITECTS FOR SUCCESSFUL ENERGY-EFFICIENT DESIGN." (Dd): 182–89.
- Wilkinson, Patrick, and Chris Olmsted. 2012. "MODELING HVAC OPTIMIZATION CONTROL STRATEGIES FOR HIGH PERFORMANCE BUILDINGS." 400–405.
- Yaghoobian, Neda, and Jan Kleissl. 2012. "An Indoor–outdoor Building Energy Simulator to Study Urban Modification Effects on Building Energy Use – Model Description and Validation." *Energy and Buildings* 54: 407–17.
- Yao, Jian. 2012. "Energy Optimization of Building Design for Different Housing Units in Apartment Buildings." *Applied Energy* 94: 330–37.
- Yazdanshenas, Eshagh, Annie Marston, and Oliver Baumann. 2012. "AN INVESTIGATION TO OPTIMIZE THE MECHANICAL SYSTEMS TO MEET COMFORT CRITERIA IN A LARGE ATRIUM." 48–55.

- Yimprayoon, Chanikarn, and Mojtaba Navvab. 2010. "QUANTIFICATION OF AVAILABLE SOLAR IRRADIATION ON ROOFTOPS USING ORTHOPHOTOGRAPH AND LIDAR DATA University of Michigan , Ann Arbor , MI." 238–43.
- Yu, F.W., K.T. Chan, Rachel K.Y. Sit, and J. Yang. 2013. "Energy Simulation of Sustainable Air-Cooled Chiller System for Commercial Buildings under Climate Change." *Energy and Buildings* 64: 162–71.
- Zakrzewski, Thomas. 2012. "THE RENOVATION AND REHABILITATION OF HISTORIC BUILDING ENVELOPES: AN IN-DEPTH BUILDING PERFORMANCE AND THERMAL COMFORT ANALYSIS Thomas Zakrzewski." 504–12.
- Zhai, Zhiqiang (John), Mary-Hall Johnson, and Moncef Krarti. 2011. "Assessment of Natural and Hybrid Ventilation Models in Whole-Building Energy Simulations." *Energy and Buildings* 43(9): 2251–61.
- Zhang, Ji, Chye Kiang Heng, Lai Choo Malone-Lee, Yi Chun Huang, Daniel Jun Chung Hii, Ibrahim Nazim, and Patrick Janssen. 2012. "PRELIMINARY EVALUATION OF A DAYLIGHT PERFORMANCE INDICATOR FOR URBAN ANALYSIS: FACADE VERTICAL DAYLIGHT FACTOR PER UNIT FLOOR AREA C." 638–46.
- Zhang, Rui, and Khee Poh Lam. 2010. "COMPARISON OF BUILDING LOAD PERFORMANCE BETWEEN FIRST PRINCIPLE BASED AND IMPLEMENTABLE SHADING CONTROL ALGORITHM." (2006).
- Zhou, Siyu, and Jing Zhao. 2013. "Optimum Combinations of Building Envelope Energy-Saving Technologies for Office Buildings in Different Climatic Regions of China." *Energy and Buildings* 57: 103–9.
- Zhu, Jianjun, David a.S. Chew, Sainan Lv, and Weiwei Wu. 2013. "Optimization Method for Building Envelope Design to Minimize Carbon Emissions of Building Operational Energy Consumption Using Orthogonal Experimental Design (OED)." *Habitat International* 37: 148–54.
- Zhu, Jianmin, Ling Shen, Rongxin Yin, and Yan Lu. 2012. "A TWO-STAGE SIMULATION-BASED ON-LINE OPTIMIZATION SCHEME FOR HVAC DEMAND RESPONSE." 9–16.

ANEXO A. REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE ESPACIOS EN LA VIS

Para seleccionar las áreas que componen el diseño arquitectónico de las VIS se han tenido en cuenta dos aspectos que engloban las necesidades de quienes habitan estas viviendas.

La composición de los grupos familiares

El conocimiento de la composición familiar promedio de un sector de la población y/o grupo específicos de hogares, determina los requerimientos espaciales en la vivienda. El diseño de una VIS debe responder a [6]:

- La vida marital de la pareja exige que la vivienda cuente con un dormitorio independiente para la pareja, el cual pueden compartir solo con los hijos menores de 3 años (cuando los haya).
- El género de los miembros del hogar, independientemente de la edad de cada persona, la vivienda debe disponer de un dormitorio separado para cada género con capacidad máxima de 3 personas por habitación.
- La movilidad de personas con discapacidad física, obliga al diseñador a incorporar los parámetros de accesibilidad indispensables para la movilidad de estos individuos.

Las funciones básicas de los miembros del hogar

Las VIS deben tener en cuenta en su diseño las siguientes funciones esenciales de los individuos [6]:

- Biológicas como lo son el reposo, el sueño, la alimentación, el aseo y la reproducción.

- Psicosociales entre los cuales están la protección, privacidad, comunicación afectiva, información, reflexión, disfrute estético, entretenimiento, ocio, educación y desarrollo de la vida en el marco personal, familiar y comunitario.
- Generación de ingresos que hace referencia a la adecuación de espacios para el desempeño de funciones relacionadas con éste.

Como resultado del estudio de los anteriores aspectos de los individuos, se determina el diseño del área privada de la vivienda, de por lo menos tres áreas autónomas, formales, funcionales y estructurales [6]:

- Área sanitaria destinada a brindar los servicios sanitarios y de aseo requeridos en la vivienda, la cual debe contener servicio de aseo personal (ducha y lavamanos), de lavado y planchado de ropa con acceso a un patio con ventilación directa e instalación eléctrica para ducha eléctrica, plancha e iluminación.
- Área de alimentación la cual se compone de los servicios de almacenamiento, lavado, preparación y consumo de alimentos, con iluminación natural y ventilación directa, instalación eléctrica para iluminación, nevera y electrodomésticos de cocina, instalación para una estufa (eléctrica o de gas natural o propano) según la oferta de la localidad.
- Área de dormitorios que sea adaptable para el funcionamiento de una o más alcobas, con el debido mobiliario para la protección de la ropa y un diseño que permita independizar el área de dormitorio de la pareja de la de los demás. Debe tener instalación eléctrica para iluminación y equipos domésticos, con iluminación y ventilación natural en cada una de las áreas adaptadas.
- Área multifuncional la cual pueda ser utilizada como área social, estudio o un espacio para desarrollar actividades productivas. Con instalación eléctrica para iluminación y equipos domésticos, con iluminación y ventilación natural en cada una de las áreas adaptadas.

ANEXO B. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES PARA LAS VIS

La adecuada selección de los materiales para la construcción de la VIS, se ve reflejada en la sostenibilidad de la vivienda de acuerdo a los factores climáticos, las cualidades de dichos materiales (inercia térmica) y una respuesta arquitectónica óptima [213].

Sostenibilidad en la vivienda

La sostenibilidad ambiental en la extracción y manufactura de materiales está relacionada con la adopción en los procesos de producción de los correctivos necesarios para mitigar el manejo del impacto sobre los recursos naturales renovables y no renovables.

Toda obra de arquitectura o urbanismo responde a un propósito determinado. Para que ésta sea sostenible, deberá tener en cuenta los siguientes aspectos generales [213]:

- La escogencia adecuada de los materiales que garanticen un debido aislamiento acústico y térmico.
- La selección de los materiales y el sistema constructivo deben responder a la identidad cultural de la región donde se desarrolla la obra.
- Los costos de mantenimiento de la edificación, que se derivan directamente de la escogencia de los materiales y el sistema constructivo, deben tender a una arquitectura sostenible y que guarda concordancia con las condiciones económicas de los habitantes.
- Las edificaciones deben estar adaptadas al clima y a la geografía.
- Deben emplear en su construcción recursos renovables, de preferencia producidos en la región.

- Durante la vida de la edificación, se debe optimizar el uso de materiales, agua y energía.

Inercia y aislamiento térmico de los materiales

La selección de los materiales constructivos debe realizarse en función de su inercia térmica y características superficiales, con el propósito de lograr una mayor eficiencia y confort climático de la vivienda, por lo que es necesario tener en cuenta lo siguiente [213].

- La inercia térmica es alta cuando el tiempo que tarda en fluir el calor al interior de la edificación es prolongado, se dice que la edificación es pesada.
- La inercia térmica es baja cuando el tiempo que tarda en fluir el calor al interior de la edificación es corto o inmediato y su capacidad de amortiguamiento es pequeña, se dice que la edificación es liviana.

De ahí que, en edificaciones localizadas en clima frío y templado se recomienda utilizar materiales con alta inercia térmica; mientras que en aquellas de clima cálido húmedo los materiales recomendados deben ser ligeros y de poca capacidad térmica.

A continuación, en las Tabla B.1 y B.2 se presentan los materiales recomendados para cada uno de los climas, según las actividades de construcción en las cuales incide la inercia térmica [213].

Actividades de construcción	Clima frío 12-17,5 °C		Clima templado 17,5-24 °C	
	Tradicional	Convencional	Tradicional	Convencional
Muros	Adobe	Unidades de mampostería	Esterilla de guadua con barro	Unidades de mampostería
	Tapia pisada	Pañetes	Adobe	Pañetes
Cubiertas	Estructura en madera	Teja de fibrocemento	Estructura en madera	Teja de fibrocemento

	Teja de barro	Teja de barro	Teja de zinc	Teja de barro
Pisos	Madera	Alfombra	Madera	Alfombra
		Madera		Madera
		Vinilo		Vinilo, pisos cerámicos
Ventanas	Maderas con basculantes verticales	Aluminio	Maderas con basculantes verticales	Aluminio
		Vidrio		Vidrio
		Ángulo		Ángulo

Tabla B.1. Materiales recomendados para clima frío y templado según la incidencia térmica.

Actividades de construcción	Clima cálido seco < 24 °C		Clima cálido húmedo < 24 °C	
	Tradicional	Convencional	Tradicional	Convencional
Muros	Esterilla de guadua con barro	Unidades de mampostería huecas	Muros en madera y guadua	Unidades de mampostería huecas
		Pañetes		Madera
	Adobe	Divisiones ligeras en materiales internos		Bahareque encementado
Cubiertas	Estructura en madera	Teja de barro	En fibras naturales	Teja de zinc
		Teja de fibrocemento		Teja de fibrocemento
		Teja de zinc		
Pisos	Baldosín	Vinilo	Baldosín	Baldosín de cemento
		Baldosín de cemento		Tableta cerámica
		Tableta cerámica		
Ventanas	Madera en basculantes verticales de gran abertura	Calados	Calados	Calados
		Madera		Madera
		Lámina		
		Anjeo		Anjeo

Tabla B.2. Materiales recomendados para clima cálido según la incidencia térmica.

* TRADICIONAL: Es aquella vivienda que está construida con materiales propios de la región y cuyo proceso constructivo ha sido transmitido de generación en generación.

* CONVENCIONAL: Es aquella vivienda construida con sistemas constructivos artesanales mejorados que utiliza materiales modernos o industrializados.

Materiales y las respuestas arquitectónicas

La arquitectura bioclimática contribuye a preservar el medio ambiente e integra al hombre a un ecosistema más equilibrado, por cuanto considera el confort de manera global, y no únicamente el control térmico o el control de asoleamiento [213].

El clima es el elemento crítico en la concepción de una arquitectura bioclimática. Tanto la evolución del sol y las temperaturas, como el régimen de los vientos y precipitaciones contribuyen a determinar un ambiente físico, al que el profesional debe responder con un diseño que procure un bienestar constante en el tiempo.

Teniendo en cuenta que el comportamiento de cada material es diferente según las condiciones bioclimáticas, la escogencia de éstos debe ajustarse a la incidencia de cada uno de los factores arriba descritos.

Los siguientes son los aspectos que se deben tener en cuenta para brindar una adecuada solución arquitectónica [213]:

- El control solar
- El aislamiento térmico
- Las cubiertas
- Los espacios externos

Control solar



Sirve para aprovechar o contrarrestar los efectos térmicos de la radiación solar, de acuerdo con las condiciones específicas del clima [213]. A continuación, en la Tabla B.3 se presentan las diferentes formas constructivas para el fin ya mencionado.

	<p>CLIMA CÁLIDO HÚMEDO. Sombra interna; impide el ingreso directo de la radiación solar al interior de las edificaciones y evita así la elevación de la temperatura.</p>
	<p>CLIMA CÁLIDO SECO. Sombra externa con vegetación; contrarresta la acción de la radiación solar directa sobre las edificaciones, e impide los aumentos de la temperatura ambiental interna.</p>
	<p>CLIMA FRÍO. Asoleo externo; expone al sol las partes externas absorbentes de calor en la edificación, para contrarrestar con ellas la baja temperatura en las noches.</p>
	<p>CLIMA MUY FRÍO. Asoleo máximo externo e interno; utiliza al máximo la radiación solar para elevar la temperatura en climas muy fríos. Es usado generalmente con otros elementos que evitan la pérdida de calor durante la noche.</p>

Tabla B.3. Tipo de construcción según la incidencia solar y condiciones ambientales.

Aislamiento térmico

El aislamiento térmico en las edificaciones sirve para mantener dentro de la vivienda ambientes con características de temperatura y humedad adecuadas [213]. En la Tabla B.4, se mencionan las características de los materiales en función de clima.

	<p>CLIMA CÁLIDO HÚMEDO. Se deben utilizar materiales ligeros, de poca capacidad térmica, con techo aislante, para una máxima utilización de los vientos que contrarrestan las altas temperaturas.</p>
	<p>CLIMA CÁLIDO SECO O CLIMA FRÍO SECO. Se deben utilizar materiales que brindan un máximo aislamiento, ya que absorben calor.</p>


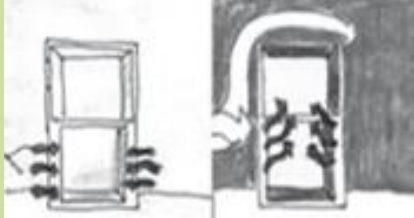
	<p>CLIMA TEMPLADO. Se deben utilizar materiales que generan gran aislamiento pero que no impidan la ventilación, para liberar humedad ambiental interna, a la vez que aísla el interior del exterior.</p>
	<p>CLIMA FRÍO. En climas con una gran diferencia de temperatura entre el día y la noche, se deben utilizar materiales combinados, con paredes de gran capacidad térmica en las áreas de uso diurno que refresquen el ambiente y materiales ligeros en las áreas de uso nocturno que generen calor.</p>

Tabla B.4. Características de los materiales en función del clima.

Cubiertas

La forma de inclinación de las cubiertas protege de los efectos mecánicos y la humedad causada por las lluvias [213]. En la Tabla B.5 se muestra el tipo de cubiertas según las condiciones de lluvia.




		
<p>CUBIERTAS PLANAS HORIZONTALES, usadas en climas con lluvias escasas y leves que no demandan protección.</p>	<p>CUBIERTAS CON PENDIENTE, se utilizan en climas con lluvias de intensidad considerable y ofrecen un nivel medio de protección</p>	<p>CUBIERTAS INCLINADAS CON PROTECCIÓN, protegen contra lluvias intensas, brindan máxima resistencia mecánica e impermeabilización.</p>

Tabla B.5. Tipo de cubiertas según las condiciones de lluvia.

Espacios externos

Los espacios externos, al igual que los internos, requieren del control de la radiación solar, de los vientos y la humedad para obtener una temperatura ambiental, humedad atmosférica y ventilación adecuadas a cada clima [213]. A continuación en la Tabla B.6 se presentan la disposición de los espacios externos según las condiciones climáticas.

	<p>CÁLIDO-HÚMEDO. Los espacios externos deben estar protegidos del asoleamiento y las lluvias, sin impedir la ventilación natural.</p>
	<p>CÁLIDOS - SECOS. Los espacios externos deben estar protegidos del asoleamiento con sombra, mediante aleros generosos.</p>
	<p>TEMPLADOS O FRÍOS. Los espacios externos deben aprovechar la radiación solar para incrementar la temperatura ambiental en el día y almacenarla para ser utilizada en la noche.</p>
	<p>FRÍOS A MUY FRÍOS. En climas muy fríos, el control mediante muros altos, especialmente en los patios de las edificaciones, permite elevar la temperatura ambiental aprovechando el máximo de radiación solar y controlando el efecto de vientos fuertes.</p>

Tabla B.6. Disposición de los espacios externos según las condiciones climáticas.

ANEXO C. DISEÑO URBANÍSTICO EN LAS VIS

El diseño urbanístico contempla una serie de variables e indicadores a tener en cuenta, a continuación se mencionan dos de ellos.

1. Clima

Es importante tener en cuenta las condiciones climáticas del territorio en el momento de proyectar el diseño urbanístico de las VIS, con el fin de evitar riesgos a la salud y al bienestar general de sus futuros habitantes, buscando garantizar mayor comodidad y generando con ello valores agregados que redunden en mejores condiciones para el crecimiento y desarrollo de la población [6].

Recomendaciones generales de acuerdo al clima en donde se desarrollaría el proyecto.

➤ Clima frío

En este clima es conveniente permitir el mayor tiempo de exposición de las fachadas a los rayos solares. Para ello se recomiendan [6]:

- Vías vehiculares y senderos peatonales orientados en sentido Sureste – Noroeste o Suroeste - Noreste.
- Fachadas exteriores e interiores de las viviendas orientadas Sureste– Noroeste o Este -Oeste.
- Protección de las fachadas a los vientos, para minimizar el impacto del viento sobre las edificaciones con la siembra de árboles de mediano y bajo porte que no impidan el acceso de los rayos solares a las viviendas.

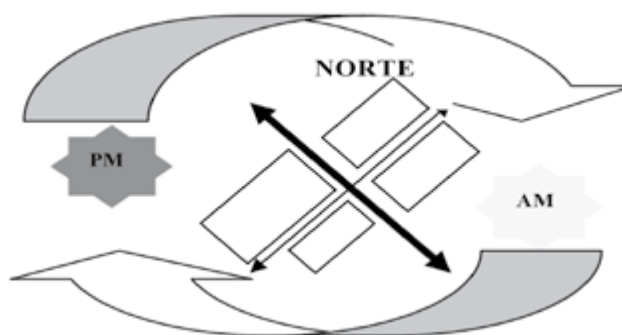


Figura C.1. Exposición de las fachadas en clima frío

➤ Clima templado

Se recomienda orientar las calles de tal forma que las fachadas aprovechen mejor la llegada de los vientos frescos y conservar la misma orientación del clima frío con respecto a los rayos solares [6].

➤ Clima cálido húmedo

Es necesario disminuir la incidencia del sol en el interior de las viviendas y aumentar la exposición a los vientos frescos, por lo cual se recomiendan [6]:

- Vías vehiculares y senderos peatonales con una orientación en sentido Oriente-Occidente.
- Fachadas exteriores e interiores de las viviendas orientadas en sentido Norte-Sur.
- Recurrir a diseños arquitectónicos con elementos que disminuyan la incidencia del sol en las viviendas y aumenten la velocidad de los vientos, como aleros, retrocesos, balcones, etc., y diseños paisajísticos con árboles frondosos de mediano y alto porte.

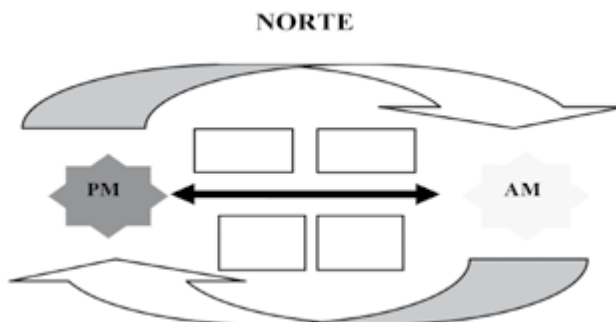


Figura C.2. Exposición de las fachadas en clima cálido húmedo

➤ Clima cálido seco

Es necesario disminuir la incidencia del sol en el interior de las viviendas y favorecer las edificaciones con la exposición a los vientos frescos, por ello se recomiendan [6]:

- Vías vehiculares y senderos peatonales orientados en dirección transversal a los vientos dominantes, para que las viviendas reciban directamente los vientos, en lo posible con orientación en sentido Oriente-Occidente.
- Fachadas exteriores e interiores de las viviendas orientadas en sentido Norte-Sur.
- Recurrir a diseños arquitectónicos con elementos que disminuyan la incidencia del sol en las viviendas como aleros, retrocesos y/o balcones.
- Diseño de vías vehiculares y senderos peatonales que permitan plantar árboles que provoquen sombra sobre los pavimentos y el techo de las viviendas.
- Que las viviendas sean de fachada discontinua (no alineada), para favorecer el paso del viento fresco.

2. Fachada urbana

Los volúmenes construidos y las fachadas de las viviendas son los elementos que conforman, delimitan y confieren identidad al proyecto de VIS [6].

En el diseño de los espacios exteriores urbanos de los planes de VIS es importante considerar la construcción de una fachada urbana terminada y adecuada a las condiciones climáticas anteriormente mencionadas [6].

En aquellos proyectos en los cuales la entrega de viviendas prevea la construcción por desarrollo progresivo, se recomienda entregar la fachada terminada y capacitar a la familia sobre la manera como debe mantenerse la fachada y consolidar de manera armónica el espacio público desde el inicio del proyecto, condición que de otra manera es difícil de lograr [6].

ANEXO D. LISTADO DE HERRAMIENTAS PARA ANÁLISIS ENERGÉTICO

Se muestra en la Tabla D.1 el listado de las herramientas computacionales encontradas en la base de datos “Energy Building Tools Software.xlsx” con el criterio de búsqueda “análisis energético” y su respectiva descripción.

Nombre	Descripción
Acuity energy platform	Mejorar el manejo eficiente de la energía en la industria y comercio
AECOSim Energy Simulator	Es una aplicación rigurosa e intuitiva para el diseño, simulación y análisis de sistemas mecánicos del edificio, las condiciones ambientales y la eficiencia energética. Se utiliza en el diseño y la modernización de trabajo, el software contribuye a un mejor rendimiento, edificios más sostenibles que consuman menos energía, proporcionar una mayor productividad de los ocupantes, comodidad y seguridad, y control de costos de ciclo de vida operativo de energía para sus propietarios.
ArchiPhysik	ArchiPHYSIK es el programa de certificación energética integrada con la construcción de las pruebas físicas del calor, la humedad, el aislamiento acústico y para evitar el sobrecalentamiento del verano. Interfaz en de CAD en 3D. Las construcciones, áreas y volúmenes se toman y se actualiza desde el archivo CAD.
Autodesk Green Building Studio	Software de análisis energético que puede ayudar a los arquitectos y diseñadores a realizar un análisis de todo un edificio, optimizar la eficiencia energética y el trabajo hacia la cero emisión de carbono en un proceso de diseño.
BSim	Bsim es una herramienta integrada de software para el análisis de edificios e instalaciones. Bsim contiene un conjunto de herramientas avanzadas para la simulación y el cálculo del ambiente térmico interior, el consumo de energía, iluminación natural, la simulación de la humedad, la ventilación natural y el rendimiento eléctrico de sistemas fotovoltaicos integrados.
Building Energy Analyzer	Proporciona un análisis económico rápido para edificios comerciales e industriales. Building Energy Analyzer (BEA) calcula las cargas anuales y mensuales y los costos asociados con el aire acondicionado, la calefacción, en las instalaciones de generación de energía térmica, el almacenamiento y los sistemas de recuperación de calor para un determinado edificio y ubicación.
Cepenergy Management Software for Buildings	Programa que sirve para evaluar: Eficiencia Energética, generación de CO ₂ , utilización del recurso Agua, incluye herramientas para valorar curvas de Abatimiento y Evaluación de Proyectos.
COMBAT Tool	Herramienta creada para facilitar a los encargados de formular políticas, administradores de instalaciones y profesionales de construcción de readaptación, estimar el ahorro de energía de edificios comerciales (públicos) de adaptación, coste y plazo de amortización.

COMFIE	Realiza simulaciones por hora de los edificios, con el fin de proporcionar a los ingenieros mecánicos o arquitectos con estimaciones precisas las necesidades de energía de un edificio y perfiles de temperatura.
Cymap Mechanical	Nuestro software de mecánica permite el análisis detallado de todos los cálculos de energía asociados a los edificios, tales como la pérdida de calor, aumento de calor, consumo de energía, interfaz con SBEM / SAP y el modelado de la planta. Después, el ingeniero puede diseñar tuberías y conductos utilizando nuestra técnica de dibujo único, con vistas en 3D.
CYPE-Building Services	Software que utiliza para diseñar edificios de acuerdo con los códigos de construcción de España (CTE), Portugal (RCCTE) y Francia (RT-2005).
DEROB-LTH	Herramienta utilizada para explorar el complejo comportamiento dinámico de edificios de diferentes diseños. El comportamiento se expresa en términos de temperatura, calefacción y cargas de refrigeración y los diferentes índices de confort.
Design Advisor	Herramienta de simulación de energía que da estimaciones de modelo energético, confort, rendimiento y luz natural, y el costo a largo plazo de los servicios públicos.
DesignBuilder	Ofrece una amplia gama de datos de desempeño ambiental tales como: consumo de energía, datos internos de confort y tamaños de los componentes HVAC. La producción se basa en detallados sub-pasos de simulación por hora de tiempo utilizando el motor de simulación EnergyPlus. DesignBuilder puede ser utilizado para las simulaciones de muchos tipos comunes de HVAC, edificios con ventilación natural, edificios con control de luz natural, fachadas dobles, estrategias avanzadas de protección solar, etc.
DIN V 18599	DIN V 18599 es herramientas de evaluación de todos los tipos de energía que requiere el EPBD (calefacción, ventilación, refrigeración, iluminación, agua caliente sanitaria). Desarrollado por el estudio de campo de pruebas alemán para edificios no residenciales del Ministerio Federal de Edificios.
DOE-2	Cada hora, el programa calcula y analiza la energía de toda una edificación, la eficiencia energética y el costo global de operación. Se puede utilizar para analizar la eficiencia de energía de los diseños propuestos o la eficacia de las nuevas tecnologías. Otros usos incluyen la utilidad de gestión de la demanda y programas de reembolso, el desarrollo y la aplicación de normas de eficiencia energética y la certificación de cumplimiento,
Easy EnergyPlus	Es una interfaz de idioma chino para EnergyPlus que está siendo desarrollado por la Escuela de Ciencias Ambientales e Ingeniería de la Universidad de Tianjin en China.
EcoAdvisor	Herramienta de apoyo a las decisiones para la sostenibilidad de los edificios comerciales. EcoAdvisor es altamente gráfico y muy interactivo.
EcoDesigner(ArchiCAD 15)	EcoDesigner permite a los arquitectos evaluar de forma rápida y eficiente alternativas de diseño basados en el consumo de energía, emisiones de carbono y el balance mensual de energía. Los arquitectos que usan EcoDesigner fácilmente pueden analizar en una primera etapa, su diseño energéticamente eficiente.
ECOTECT	Análisis Ecotect ofrece una amplia gama de simulación energética de los edificios y análisis de funcionalidad que puede mejorar el rendimiento de los edificios existentes y en la construcción de nuevos modelos. Integra las capacidades de análisis en línea de energía, agua y las emisiones de carbono con herramientas que le permiten visualizar y simular el funcionamiento de un edificio en el contexto de su entorno.
EE4 CBIP	El software EE4 simula el uso de la energía del diseño del edificio propuesto y el diseño del edificio de referencia propuesto por Model National <i>Energy Code for Buildings</i> (MNECB) para Canadá.

ENER-WIN	Herramienta de diseño energético para grandes edificios comerciales. Realiza un análisis de energía de todo el edificio de hasta 8760 horas/año, para 98 zonas y 20 diferentes tipos de paredes y ventanas. Calcula flujos transitorios térmicos, cargas HVAC, iluminación natural, consumo de energía, cargos de la demanda, costos de ciclo de vida, y las temperaturas flotantes en zonas no acondicionadas.
EnerCAD	Un entorno de diseño interactivo para la evaluación y optimización energética de los edificios. El software está diseñado y mantenido por un equipo multidisciplinar de arquitectos, físicos e ingenieros como parte del proceso de diseño de todo el edificio. La física de construcción es comprensible para los arquitectos, diseñadores de edificios y no especialistas.
EnergyGauge Summit Premier	Calcula el ahorro de energía para la deducción de la eficiencia energética en edificios comerciales. También calcula el rendimiento energético de los edificios LEED, así como el cumplimiento del código de energía.
EnergyGauge	Es una herramienta de fácil de uso y muy sofisticada de simulación energética de viviendas, diseñada específicamente para la evaluación de la eficiencia energética de la vivienda de los Estados Unidos. El software utiliza los poderosos y muy respetados software de simulación horaria energética de edificios -DOE 2.1, para simular y análisis combinado de ambos, el uso de energía y los impactos económicos y financieros de la vivienda energéticamente eficiente.
EnergyPlus	Programa de nueva generación de simulación energética de Edificios, que se basa en las características y capacidades más populares de BLAST y DOE-2. EnergyPlus calcula las cargas de calefacción y refrigeración necesarias para mantener puntos de ajuste de control térmico, las condiciones de todo un sistema secundario de HVAC y el consumo de energía de equipos de la planta principal.
EnergyPro	Programa integral para el análisis de energía que puede ser usado para evaluar diferentes aspectos de una edificación, entre otros el cumplimiento de normas establecidas por el estado de California, EE.UU.
eQUEST	Herramienta de diseño de rendimiento energético que evalúa el rendimiento de todo el edificio en todo el proceso.
ESP-r	ESP-r es una herramienta de modelado de energía integrado para la simulación del comportamiento térmico, visual y acústico de los edificios, uso de energía y las emisiones de gases asociados a los sistemas de control ambiental. Al llevar a cabo sus evaluaciones, el sistema está equipado con modelos de calor, aire, humedad y los flujos de energía eléctrica a una resolución determinada por el usuario.
Evergreen LED	Herramienta web para calcular con precisión el ahorro de energía, ahorro de carbono, ahorro de costes y retorno de la inversión en LED y proyectos de eficiencia energética de iluminación para uso comercial y residencial.
FEDS	Proporciona un método integral para identificar mejoras energéticas que ofrecen el máximo ahorro. FEDS (Facility Energy Decision System) realiza evaluaciones y análisis de la eficiencia energética de los edificios individuales, varios edificios o todos los edificios de una instalación completa. FEDS también evalúa si las opciones de descentralización son económicamente óptimo para las plantas de energía y los bucles centrales térmicas.
Flownex	Permite a los ingenieros predecir, diseñar y optimizar; caudales, presiones, temperaturas, y las tasas de transferencia de calor en los sistemas de fluidos. Estos sistemas incluyen desde sistemas de ventilación, agua y sistemas de distribución de gas hasta diseños de calderas y los ciclos completos de generación de energía.

FSEC 3.0	Herramienta que permite un análisis detallado de toda la edificación y sus componentes como el calor, humedad y transporte de contaminantes
Hevacomp Simulator	Hevacomp Simulador V8i ofrece una manera rápida y fácil de realizar análisis de energía del edificio mediante simulación dinámica con EnergyPlus. Con Hevacomp Simulator, se diseñan simulaciones precisas de la construcción, sobre todo para edificios compatibles con UK Parte L. Hevacomp Simulator le permite utilizar un modelo de construcción común para el cálculo de estado estacionario y las simulaciones de construcción complejos.
IES Virtual Environment	Una serie de herramientas de análisis de desempeño que permite el diseño y operación de edificios confortables que consumen menos energía. Ya sea trabajando en un nuevo proyecto de construcción o renovación, el VE permite a los diseñadores analizar diferentes opciones, identificar las mejores soluciones pasivas, comparar tecnologías bajas en carbono y renovables, y sacar conclusiones sobre el uso de energía, emisiones de CO2, confort de los ocupantes.
National Energy Audit (NEAT)	El programa está diseñado para su uso por los organismos del Estado y los servicios públicos para determinar la manera más rentable las medidas de adaptación de hogares unifamiliares y pequeños multifamiliares construidos en el sitio, para incrementar la eficiencia energética y los niveles de confort.
QwickLoad	Calculo de las pérdidas y ganancias de calor de la edificación, cálculo de la carga de los sistemas de climatización y cálculo de la carga del edificio completo.
TRACE Load 700	Software para evaluar el efecto de la orientación del edificio, el tamaño, la forma y de masas basado en datos meteorológicos por hora y características de transferencia de calor de aire y humedad.
TREAT	Herramienta de análisis integral incluye herramientas para la construcción de reequipamiento sobre calefacción y refrigeración (aislamiento y la infiltración), ventanas y puertas, agua caliente, ventilación, iluminación y electrodomésticos, entre otros. Cálculos de alta precisión que tienen en cuenta el calor residual (carga base), la ganancia de calor solar, y cálculos de ahorro de energía.
TRNSYS	Un programa de simulación de energía cuyo enfoque de sistema modular hace que sea una de las herramientas más flexibles. TRNSYS incluye una interfaz gráfica, un motor de simulación, y una biblioteca de componentes que van desde la construcción de modelos distintos a la norma equipos de climatización con energías renovables y tecnologías emergentes.
Umberto	Herramienta para el cálculo y análisis del material y el flujo de energía basado en un modelado gráfico de los sistemas de proceso. Ha sido desarrollado por el Instituto de Informática Ambiental, en cooperación con Instituto de investigación de Energía y Medio Ambiente desde 1993.
VIP+	Programa de análisis energético de todo el edificio que calcula la eficiencia energética por hora para un año. VIP+ también puede usarse para los cálculos económicos y ambientales.
VIPWEB	Programa de análisis de energía que calcula el rendimiento energético por hora para un año completo en la web.
VisualDOE	Programa de simulación energética con una interfaz de Windows DOE-2.1E. A través de la interfaz gráfica, los usuarios pueden construir un modelo de la geometría del edificio con formas estándar de bloques, usando un sistema incorporado en la elaboración de herramientas, o la importación de archivos DXF.

Tabla D.1. Listado de herramientas para análisis energético.

ANEXO E. HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LOS ARTÍCULOS DE DISEÑO ENERGÉTICO DE EDIFICACIONES

Se realizó una búsqueda en las bases de datos de *ELSEVIER (SciVerse ScienceDirect)*, *IBPSA* y *Energy and Power Source*, en donde se examinaron artículos relacionados con el diseño energético de edificaciones; en los cuales se pretende encontrar las herramientas computacionales que utilizan los autores, para realizar algún tipo de trabajo de diseño y simulación energético de edificaciones.

En cuanto a la base de datos de *ELSEVIER*, se consultaron 92 artículos en diversas revistas mencionadas en la Tabla E.1. Por otro lado, en la base de datos de *IBPSA* se revisaron 100 artículos en su totalidad, de una compilación de conferencias llamada *SimBuild Conferences*, y por último se consultó un artículo en la revista *Energies* de la base de datos *Energy and Power Source*.

Revista	Número de Artículos	Porcentaje
Applied Energy	8	8,70%
Automation in Construction	1	1,09%
Building and Environment	9	9,78%
Energy	8	8,70%
Energy and Buildings	53	57,61%
Energy Conversion and Management	3	3,26%
Energy Policy	1	1,09%
Habitat Internation	1	1,09%
Renewable and Sustainable Energy Reviews	4	4,35%
Renewable Energy	2	2,17%
Solar Energy	1	1,09%
Sustainable Cities and Society	1	1,09%
Total	92	100,00%

Tabla E.1. Revistas de ELSEVIER.

De la tabla anterior, se puede observar que la revista con el mayor número de artículos consultados es *Energy and Buildings* con un 57,61% del total consultados.

Las herramientas examinadas se utilizan para desarrollar variados tipos de aplicación, en su mayoría análisis de sistemas HVAC, evaluación del rendimiento energético, simulación de iluminación natural y calor solar, simulación térmica, análisis de confort térmico y simulación del consumo de la energía.

En total, se relacionan 73 herramientas en los diferentes artículos encontrados, en parte varias de ellas se emplean en un solo artículo, por lo cual las ocasiones en que fueron utilizadas dichas herramientas sobrepasan al número de artículos revisados. A continuación en la Tabla E.2 se muestra la frecuencia de uso para las herramientas consultadas.

Herramientas utilizadas en los artículos revisados					
EnergyPlus	72	EC700	1	HOT2000	1
TRNSYS	31	PVSOL	1	ROM	1
DOE-2	19	ASTER	1	ecoENERGY	1
eQUEST	13	LINGO	1	SPOT	1
IES-VE	13	SIMEDIF	1	OpenStudio	1
DesignBuilder	8	CAPSOL	1	LIDAR	1
ESP-r	7	RADIUSOL	1	gnXML	1
TRACE	6	CODYRUN	1	VisualEPLUS	1
DAYSIM	6	VIP-Energy	1	ENVI-met	1
Ecotect	5	CES Selector	1	IC3	1
DeST	4	Solterm	1	Energy Gauge	1
RETscreen	4	TEKLA	1	REM/Rate	1
IDA	4	BEST	1	Evalglare	1
BEOpt	3	Tianzheng Building Energy Consumption	1	BCVTB	1
THERM	3	Green Building Studio	1	Daylighting Dashboard	1
WINDOW	3	TUF-IOBES	1	INSEL	1
Modelica	3	Builopt-VIE	1	CoolVent	1
CONTAM	3	MULTEA	1	Ptolemy II	1
BESTEST	3	HESpro	1	Star-CD	1
LIDER	2	WUFI	1	Codecomp	1
BEES	2	KOOPMAN OPERATOR	1	Lightscape	1

SimaPro	2	Star CCM+	1	CSIRO	1
VisualDOE	2	Virtual Mock-up	1	COMFEN	1
GenOpt	2	Solar Advisor	1		
FLUENT	2	LoopDA	1		
Número total de ocasiones que se utilizan las herramientas en los artículos					270

Tabla E.2. Frecuencia de uso de las herramientas encontradas.

A fin de condensar la información presentada en la Tabla E.2, se procedió agrupar aquellas herramientas que tuviesen poca frecuencia de uso. En la Figura E.1 que se presenta un Top 10 de las herramientas más utilizadas.

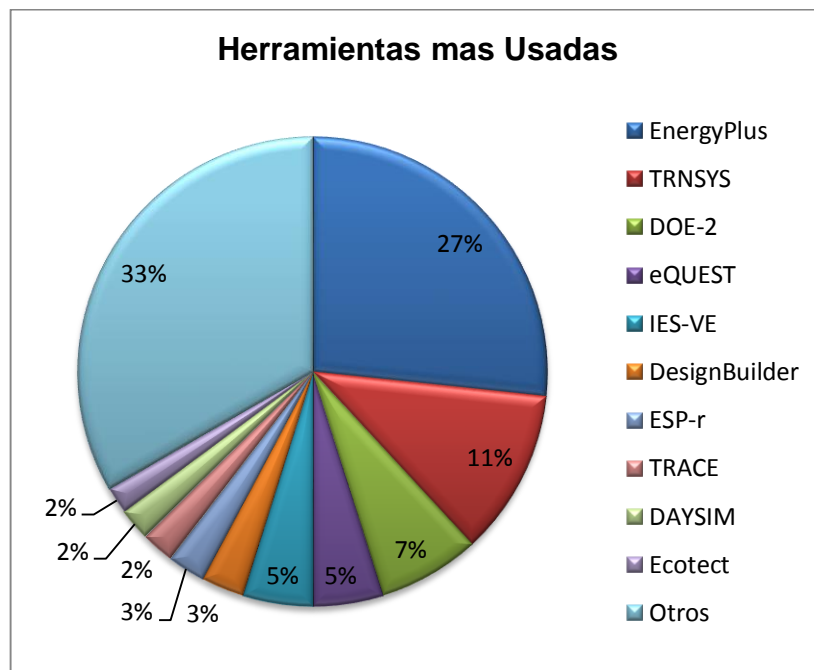


Figura E.1. Herramientas más usadas en los artículos revisados.

De la figura anterior se puede observar que la herramienta con mayor porcentaje de uso es EnergyPlus con un 27%, seguido de TRNSYS con un 11%, DOE-2 con un 7%, eQUEST con un 5% y IES-VE con un 5%; que en sumatoria representan más

de la mitad de las herramientas empleadas por los autores de los artículos consultados.

Los artículos revisados se publicaron a partir del año 2008 y hasta el año 2013. En su mayoría la revisión se hizo de forma aleatoria, y por eso se muestra una gran variedad de publicaciones en diferentes fechas. En la Figura E.2 que se muestra a continuación, se muestra la frecuencia de uso de las cinco herramientas más empleadas los últimos cinco años.

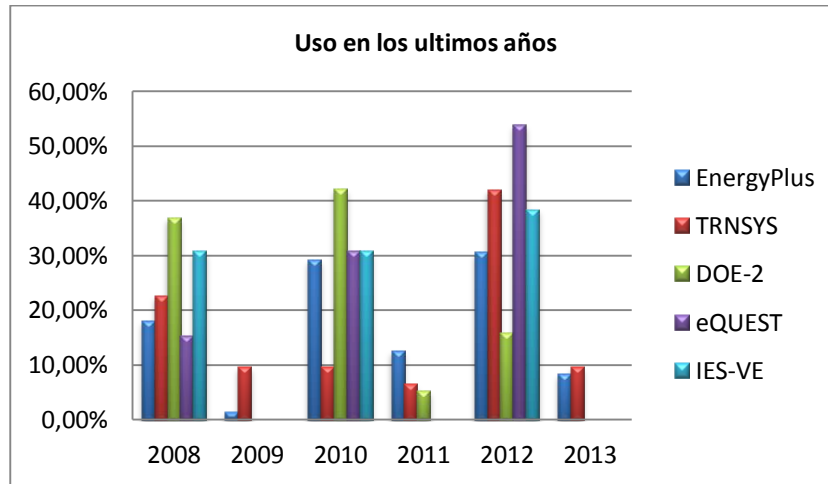


Figura E.2. Porcentaje de uso de las herramientas en los últimos años

En la figura anterior se puede observar que en los años 2009 y 2011 no se encontraron un número significativo de artículos en los que se usaron las herramientas, por ello el porcentaje tan bajo o nulo por parte de DOE-2, eQUEST y IES-VE.

Por otro lado, también se aprecia que herramientas como EnergyPlus, TRNSYS, eQUEST e IES-VE han presentado un aumento en su uso en los últimos 5 años, con lo cual se infiere que estas herramientas son confiables y que posiblemente han desarrollado nuevas versiones, mejorando así sus características y funciones.

A fin de tener una idea más clara del tipo de aplicación que pueda tener las herramientas expuestas en la Figura E.2, a continuación en la Tabla E.3 se presentan los campos de aplicación para las mismas.

EnergyPlus	TRNSYS	DOE-2	eQUEST	IES-VE
Simulación del comportamiento térmico transitorio, cálculo de la demanda, el consumo y el rendimiento de las cargas de la edificación, simulación de sistemas HVAC y modelado de la edificación.	Simulación del comportamiento térmico de la edificación, confort térmico, simulación de sistemas HVAC y cálculo de la demanda y consumo de las cargas de la edificación	Evaluación del desempeño, rendimiento y eficiencia de sistemas y cargas de la edificación, simulación de sistemas HVAC,	calibración y modelamiento de la edificación, calcular el consumo de energía anual en la edificación, simulación de sistemas HVAC	Simulación térmica, iluminación natural, eléctrica y sistemas HVAC

Tabla E.3. Tipos de aplicación de las herramientas.

Además de clasificar las herramientas por año, frecuencia de uso y revistas, también es necesario tener una idea de cuales fueron los países que emplean las mismas. A continuación, en la Tabla E.4 se presentan aquellos países que han utilizado las cinco herramientas mencionadas en la Figura 45.

EnergyPlus	TRNSYS	DOE-2	eQUEST	IES-VE
USA	USA	USA	USA	USA
China	China	China	-	China
Canadá	Canadá	Canadá	Canadá	Canadá
Portugal	Portugal	-	-	-
Italia	Italia	-	-	-
Bélgica	Bélgica	-	-	-
Alemania	Alemania	-	-	-
Australia	-	Australia	-	-
España	-	-	España	-
Reino unido	-	-	-	Reino Unido
Holanda	Francia	Corea del Sur	Taiwán	Singapur
Serbia	Austria			

Israel	Polonia
Egipto	Suiza
Sudáfrica	Grecia
México	Kuwait
Brasil	
Argentina	

Tabla E.4 Países que utilizan las herramientas

Como se observa, los países que más utilizan las herramientas ya mencionadas son Estados Unidos y Canadá, seguidos de China y algunos países de Europa, esto se debe en gran medida a como se construyen las edificaciones y a las condiciones climáticas de esas regiones; dado que poseen características similares como estaciones climáticas, materiales de construcción y la necesidad de mejorar la eficiencia en el consumo de energía en las edificaciones.

Todo ello conlleva a que se realice un buen análisis energético para garantizar el mayor confort en las estaciones frías y calurosas, además de garantizar el buen uso de la energía que se destina a los sistemas que proveen ese confort.

ANEXO F. ESPECIFICACIONES CONSTRUCTIVAS DE LA EDIFICACIÓN

Contiene las especificaciones y características de componentes constructivos de la edificación, como ventanas, rejillas y puertas; además se describen los equipos e indumentaria de la vivienda referente a iluminación y consumo de energía, como lámparas, computadores y equipos varios.

Ventanas

Las características mencionadas en la Tabla F.1 se obtuvieron a partir de la consulta de planos y especificaciones de materiales del proyecto Altos de Betania y se emplearon para definir los parámetros en la etiqueta de actividad en DesignBuilder.

En la edificación se instalaron 5 tipos de ventanas en cada apartamento, ubicadas en la habitación principal (V2), habitación auxiliar (V4), balcón (V5), baño (V3) y cocina (V1). Las especificaciones se muestran a continuación.

Ventana	Tipo	Dimensiones (m)		Material	Grosor (m)		Vibrio
		Ancho	Alto		Marco	División	
V1	Abertura practicable	1,9	0,6	Acero cold Rolled	0,04	0,10	Incoloro de 4mm
V2	Abertura practicable	1,2	1,3	Acero cold Rolled	0,04	0,02	Incoloro de 4mm
V3	Celosía	0,85	0,55	Acero cold Rolled	0,04	0,10	Incoloro de 4mm
V4	Abertura practicable	1,2	1,2	Acero cold Rolled	0,04	0,02	Incoloro de 4mm
V5	celosía	2,1	1,25	Acero cold Rolled	0,04	0,02	Incoloro de 4mm

Tabla F.1. Características de las ventanas

Carpinterías

Se especifican las características de las puertas instaladas en el exterior e interior de la vivienda. En cada apartamento hay 4 tipos de puertas ubicadas en la entrada principal (P1), la entrada al balcón (P4), la entrada de las habitaciones (P2) y la entrada al baño (P3). Las especificaciones se muestran en la Tabla F.2.

Puerta	Dimensiones (m)			Material	Marco (m)		
	Ancho	Alto	Profundo		Ancho	Profundo	Material
P1	0,9	2,25	0,2	Acero Cold Rolled	0,02	0,10	Acero Cold Rolled
P2	0,8	2,25	0,36	Madera contrachapada	0,02	0,10	Madera contrachapada
P3	0,6	2,25	0,36	Madera contrachapada	0,02	0,10	Madera contrachapada
P4	0,8	2,25	0,2	Acero Cold Rolled	0,02	0,10	Acero Cold Rolled

Tabla F.2. Características de las puertas.

Iluminación, computadores y equipos varios

El diseño de la iluminación en el edificio proyectó 8 salidas de iluminación con una potencia de 100 (VA) por salida. Se instalaron tres tipos de luminarias ubicadas en el interior y exterior de cada apartamento.

Conforme a la situación actual del país, se contempló el uso de un computador por apartamento y otros equipos varios utilizados esencialmente en la cocina y el entretenimiento del hogar, como una nevera, un televisor, un equipo de sonido y una licuadora.

Las características y especificaciones energéticas de la iluminación y equipos anteriormente mencionados, se muestran en la Tabla F.3.

Dispositivo	N° por apartamento	Potencia o consumo (W)	Consumo total (W)
Computador	1	150	150
Equipos varios	2	300; 150	450
Lámpara ahorradora	7	90	630
Lámpara de aplique	1	90	90
Lámpara incandescente	1 (escalera)	54	54

Tabla F.3. Características de iluminación y equipos al interior de la vivienda

ANEXO G. CONFORT TÉRMICO

El concepto de confort térmico es un tema que agrupa una gran variedad de factores, los cuales por su propia naturaleza son objeto de investigación a fin de tener una definición de los mismos. Es por ello, los significados que se atribuyen al confort térmico son de carácter fisiológico o subjetivo [246], por lo cual sólo puede ser definido en términos generales o estadísticos [247].

Ejemplo de lo anteriormente mencionado, son las definiciones de confort térmico que proporcionan la norma *ISO 7730* y el *standard 55* de la Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y acondicionamiento de aire (ASHRAE), la primera la define como “aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico”, y la otra “aquella sensación la cual expresa satisfacción con el ambiente y es evaluada de manera subjetiva” [247].

Aunque estas definiciones dan una idea clara y general sobre confort térmico, representan un desafío al momento de plantear modelo físico que cumpla con lo mencionado anteriormente; además contemplan la interacción de la persona con las condiciones ambientales a las que se encuentran sometidos [247].

Consideración del clima estudiado

Se entiende por clima el conjunto de los valores promedios de las condiciones atmosféricas que caracterizan una región, los cuales se obtienen mediante la recopilación de datos meteorológicos durante un tiempo determinado [248].

A fin de establecer las condiciones de confort térmico, es necesario conocer las condiciones climáticas de la región donde se piensa realizar el proyecto.

Clima tropical

El clima cálido-húmedo es propio de las regiones tropicales, entre 0° latitud (Ecuador) y 23° latitud Norte y Sur, es decir, entre los trópicos de Cáncer y Capricornio, respectivamente; el cual es consecuencia de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), el cual está formado, por la convergencia de aire cálido y húmedo de latitudes por encima y por debajo del ecuador [248].

En estas áreas la lluvia simplemente se intensifica con el aumento de la insolación solar y disminuye a medida que el sol ilumina otras latitudes. En el clima de las zonas intertropical las temperaturas medias son altas, con variaciones poco acusadas entre día-noche y estacionales. La humedad es muy alta, frecuente nebulosidad y fuertes precipitaciones irregulares. Es decir, las temperaturas medias mensuales son elevadas y bastante uniformes a lo largo del año, siendo la media anual superior a los 20 °C [248].

A continuación, en la Figura G.1 se presenta el diagrama bioclimático de la ciudad de Bucaramanga, Santander-Colombia[239].

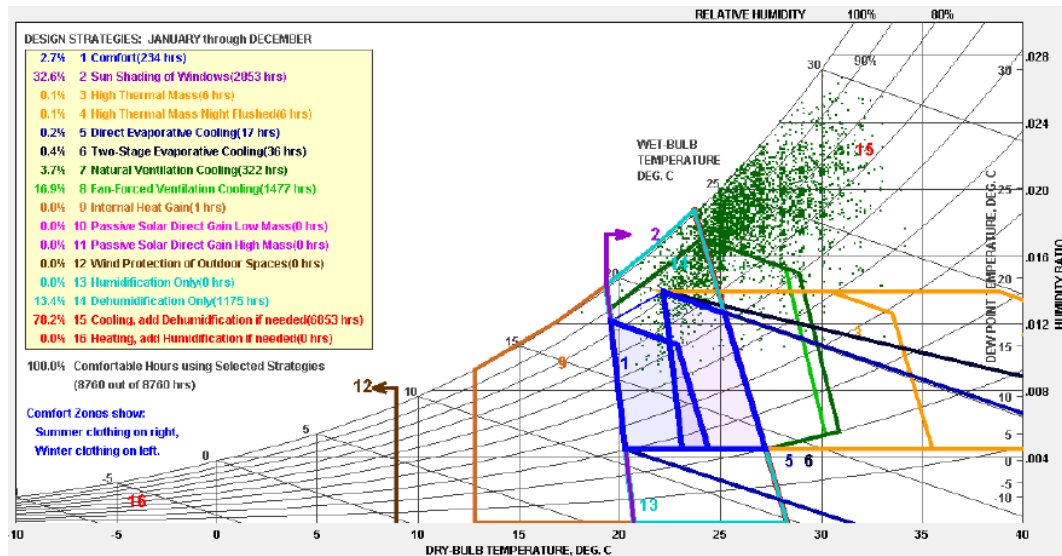


Figura G.1. Diagrama bioclimático de Bucaramanga

Modelos de confort térmico

En la actualidad, existen dos métodos que permiten medir el confort térmico en edificaciones, a su vez cada uno aborda esta problemática de manera distinta. Dichos modelos se les conoce como confort estático o enfoque cuantitativo, y confort adaptativo o enfoque cualitativo [249].

Confort estático o enfoque cuantitativo

Este modelo contempla a las personas como un receptor pasivo de estímulos térmicos, el cual se basa en la suposición de que los efectos de un ambiente térmico determinado, son debidos únicamente por la termodinámica y los intercambios de masa en la superficie del cuerpo [246].

Según este modelo, los principales factores que intervienen en la sensación de confort percibida por las personas, los cuales se mencionan a continuación [246]:

- Temperatura del aire
- Temperatura radiante
- Humedad relativa
- Velocidad del aire
- Tipo de vestimenta
- Tasa de metabolismo

Siendo estos dos últimos, factores que dependen exclusivamente de la condición metabólica y sociocultural de cada persona. A continuación, en la Figura G.2 se ilustra la interacción entre individuo y entorno según el modelo de confort estático [246].

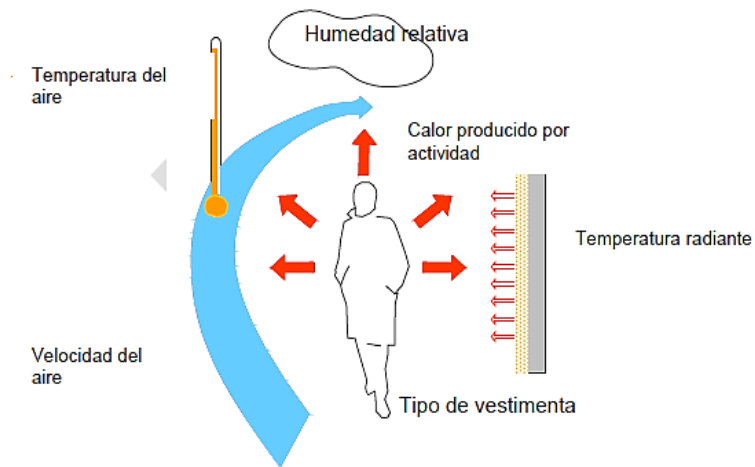


Figura G.2. Principales factores que afectan el confort según el modelo estático.

Como se dijo anteriormente, el modelo estático se basa en un equilibrio térmico para cada individuo, el cual se asume como la condición básica en la cual no se accionen mecanismos de termorreguladores [246]. La ecuación que representa dicho equilibrio fue propuesta por P.O Fagert en 1973, la cual se presenta a continuación [250]:

$$M - W = \pm CV \pm R \pm CC + EV + D + A \quad \mathbf{G.1}$$

Donde:

- *M*: Velocidad de metabolismo.
- *W*: Energía mecánica efectiva exterior.
- *CV*: Intercambios por convección.
- *R*: Intercambios por radiación.
- *RS*: Intercambios de calor latente (evaporación respiratoria) y sensible de productos de la respiración.
- *EV*: Pérdidas por evapotranspiración.
- *D*: Difusión de vapor de agua desde la piel.

- *A: Energía acumulada.*

Así mismo, (Fanger 1972) propuso los indicadores PWV y PPD para comprobar el confort térmico basado en el modelo estático. A continuación se presenta las ecuaciones para calcular éstos indicadores [250]:

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot \left\{ \begin{array}{l} (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5\,733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] \\ -1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5\,867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \\ -3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \end{array} \right\} \quad \text{G.2}$$

$$PPD = 100 - 95e^{-(0,03353PMV^4 + 0,2179PMV^2)} \quad \text{G.3}$$

Donde:

- *t_{cl}: Temperatura de la superficie de la ropa.*
- *PMV: Voto medio previsto.*
- *PPD: Porcentaje previsto de insatisfechos.*
- *F_{cl}: Factor de superficie de la ropa*
- *Pa: Presión parcial de vapor de agua.*

Las principales desventajas de este modelo son las siguientes:

- Es necesario conocer detalladamente aspectos como la ropa y tasa metabólica de cada persona, lo cual en últimas terminan siendo definidas de manera subjetiva [251].
- Las predicciones del modelo solo son aplicables a personas que habiten edificios con sistemas de climatización artificiales [252].

Confort adaptativo o enfoque cualitativo

El enfoque cualitativo del confort térmico parte de observar una serie de acciones, que las personas pueden realizar para alcanzar éste, lo cual implica sistemas complejos donde interactúan variables físicas y biológicas que pudiesen ser medibles como clima, metabolismo, aislamiento térmico; y a su vez condiciones psicológicas calificables pero de difícil cuantificación (adaptación, tolerancia, deseo, etc) [249].

Además, este modelo asume que las personas que habitan de manera regular en edificaciones con sistema de climatización artificiales, son más propensos a tolerar en menor proporción las variaciones de las condiciones ambientales[239].

Para dar una idea más clara del concepto de este modelo, es necesario definir el término de adaptación, el cual significa una disminución gradual de la respuesta del organismo a una estimulación repetida del ambiente [250].

A partir de esta definición general es posible distinguir claramente tres categorías de adaptación térmica [250]:

- Ajuste de comportamiento: Se trata de ajustes de actividad, poner y quitar ropa, regular aire acondicionado, dormir una siesta en día de calor, etc.
- Fisiológicos: Se refiere a los cambios en la respuesta psicológica como resultado de la exposición a factores térmicos del medioambiente. Sin embargo estos procesos se dan con exposiciones prolongadas a condiciones extremas.
- Psicológicos: Se refiere a la percepción alterada y la posterior reacción a la información sensorial debido a experiencias pasadas y a las expectativas.

A continuación, en la Tabla G.1 se presentan los factores y parámetros que intervienen en el confort térmico según el modelo adaptativo [246].

Parámetros	Factores
------------	----------

Ambientales	Adaptabilidad del espacio	Fisiológicos	Socioculturales y Psicológicos
<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura del aire • Temperatura radiante de las superficies • Humedad relativa • Velocidad del aire 	<ul style="list-style-type: none"> • Movilidad del ocupante dentro del espacio • Modificación de elementos y dispositivos de control ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> • Sexo, edad y peso • Tasa de metabolismo y estado de salud • Intercambio de calor por ingestión • Historial térmico • Tiempo de permanencia • Variabilidad temporal y estímulos físicos ambientales 	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de vestimenta • Expectativas • Contacto visual con el exterior

Tabla G.1. Parámetros y factores de confort térmico según el modelo adaptativo.

Para la evaluación del confort térmico según el modelo adaptativo, se han planteado varios métodos lo que se mencionaran a continuación. Así mismo, se calculara bajo estos modelos la zona de confort térmico para la ciudad de Bucaramanga, Colombia [239], donde se tomarán ± 2 °C para la misma.

- **Formula de Auliciems y De Dear**

Esta fórmula fue propuesta por *Aulicems* y *De Dear*, y relaciona la temperatura exterior con la sensación de confort experimentada, mediante la temperatura de neutralidad T_n [239]; a este método se le conoce también como neutralidad térmica.

$$T_n = 17,6 + 0,31 * T_{prom} \quad \text{G.4}$$

Donde:

- T_n = Temperatura de neutralidad térmica.
- T_{prom} = Temperatura promedio exterior.

En la Tabla G.2 que se presenta a continuación, se muestra la temperatura de confort para la ciudad de Bucaramanga.

Temperaturas de confort - neutralidad térmica - Bucaramanga, Colombia [°C]												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Max. Media mensual	23,16	23,17	22,87	23,17	23,17	23,18	23,18	23,28	23,18	23,19	23,09	23,05
Min. Media mensual	23,05	23,05	22,05	23,05	23,06	23,06	22,6	23,06	22,47	22,57	22,07	21,68
Temperatura Externa	23,11	23,11	22,46	23,11	23,12	23,12	22,89	23,17	22,83	22,88	22,58	22,37
Temperatura de confort	24,76	24,76	24,56	24,76	24,77	24,77	24,7	24,78	24,68	24,69	24,6	24,53
Zona-limite superior	26,76	26,76	26,56	26,76	26,77	26,77	26,7	26,78	26,68	26,69	26,6	26,53
Zona-limite inferior	22,76	22,76	22,56	22,76	22,77	22,77	22,7	22,78	22,68	22,69	22,6	22,53

Tabla G.2. Temperatura de confort según Aulicems y de Dear para Bucaramanga (Colombia).

Existen otros tres métodos, los cuales contemplan el funcionamiento de la edificación para la definición de la temperatura de confort térmico [253].

- **Modo pasivo**

Método propuesto por *Humphreyr & Nicol* en 2000, aplicado para edificios en modo pasivo [253].

$$T_c = 12,9 + 0,54 * T_{prom} \quad \mathbf{G.5}$$

Dónde:

- T_c = Temperatura de confort
- T_{prom} = Temperatura promedio exterior

La Tabla G.3 que se presenta a continuación, muestra la zona de confort según el modo pasivo [239].

Temperaturas de confort - modo pasivo - Bucaramanga, Colombia [°C]												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Max. Media mensual	23,16	23,17	22,87	23,17	23,17	23,18	23,18	23,28	23,18	23,19	23,09	23,05
Min. Media mensual	23,05	23,05	22,05	23,05	23,06	23,06	22,6	23,06	22,47	22,57	22,07	21,68
Temperatura Externa	23,11	23,11	22,46	23,11	23,12	23,12	22,89	23,17	22,83	22,88	22,58	22,37
Temperatura de confort	25,38	25,38	25,03	25,38	25,38	25,38	25,26	25,41	25,23	25,26	25,09	24,98
Zona-límite superior	27,38	27,38	27,03	27,38	27,38	27,38	27,26	27,41	27,23	27,26	27,09	26,98
Zona-límite inferior	23,38	23,38	23,03	23,38	23,38	23,38	23,26	23,41	23,23	23,26	23,09	22,98

Tabla G.3. Temperatura de confort según modo pasivo para Bucaramanga (Colombia)

Este modelo es más apropiado para regiones con variaciones del clima mayores, dado que la zona de confort calculado con éste, cubre las temperaturas máximas y mínimas presentes en el año [239].

- **Modo mecánico**

Modelo presentado por Humphreys & Nicol en 1998, contempla el uso de la edificación en modo mecánico. A continuación se presenta la ecuación que representa dicho modelo [253].

$$T_c = 23,9 + 0,295(T_{prom} - 22)e^{\left[\frac{-(T_{prom}-22)}{33,94}\right]^2} \tag{G.6}$$

A continuación en la Tabla G.4, se presentan los resultados de confort para una edificación en modo mecánico [239].

Temperaturas de confort - modo mecánico - Bucaramanga, Colombia [°C]												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Max. Media mensual	23,16	23,17	22,87	23,17	23,17	23,18	23,18	23,28	23,18	23,19	23,09	23,05
Min. Media mensual	23,05	23,05	22,05	23,05	23,06	23,06	22,6	23,06	22,47	22,57	22,07	21,68
Temperatura Promedio	23,11	23,11	22,46	23,11	23,12	23,12	22,89	23,17	22,83	22,88	22,58	22,37
Temperatura de confort	24,23	24,23	24,04	24,23	24,23	24,23	24,16	24,25	24,14	24,16	24,07	24,01
Zona-límite superior	26,23	26,23	26,04	26,23	26,23	26,23	26,16	26,25	26,14	26,16	26,07	26,01
Zona-límite inferior	22,23	22,23	22,04	22,23	22,23	22,23	22,16	22,25	22,14	22,16	22,07	22,01

Tabla G.4. Temperatura de confort según modo mecánico para Bucaramanga (Colombia)

- **Modo de funcionamiento desconocido**

Modelo presentado por Humphreys & Nicol en 1998, contempla el uso de la edificación en modo de funcionamiento desconocido. A continuación se presenta la ecuación que representa dicho modelo [253].

$$T_c = 24,2 + 0,43(T_{prom} - 22)e^{\left[\frac{-(T_{prom}-22)}{28,28}\right]^2} \quad \text{G. 7}$$

A continuación en la Tabla G.5, se presentan los resultados de confort para una edificación en modo de funcionamiento desconocido [239].

Temperaturas de confort - funcionamiento desconocido - Bucaramanga, Colombia [°C]												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Max. Media mensual	23,16	23,17	22,87	23,17	23,17	23,18	23,18	23,28	23,18	23,19	23,09	23,05
Min. Media mensual	23,05	23,05	22,05	23,05	23,06	23,06	22,6	23,06	22,47	22,57	22,07	21,68
Temperatura Externa	23,11	23,11	22,46	23,11	23,12	23,12	22,89	23,17	22,83	22,88	22,58	22,37
Temperatura de confort	24,68	24,68	24,4	24,68	24,68	24,68	24,58	24,7	24,56	24,58	24,45	24,36
Zona-límite superior	26,68	26,68	26,4	26,68	26,68	26,68	26,58	26,7	26,56	26,58	26,45	26,36
Zona-límite inferior	22,68	22,68	22,4	22,68	22,68	22,68	22,58	22,7	22,56	22,58	22,45	22,36

Tabla G.5. Temperatura de confort según modo de funcionamiento discontinuo para Bucaramanga (Colombia)

ANEXO H. CONFORT VISUAL

No es objeto de este anexo dar el significado de luz, a pesar de lo fácil que fuese, no hay un concepto generalizado que la pueda definir [254]; por tal motivo, se asume tal termino como recurso energético en sí mismo.

El aprovechamiento de la luz natural como fuente de iluminación en el diseño arquitectónico de edificaciones, es uno de los desafío al cual se enfrenta los diseñadores, a fin de reducir la dependencia del uso de iluminación artificial, y por ende el consumo de energía eléctrica del edificio [239].

El confort visual es un estado generado por la armonía o equilibrio de cantidad de variables, las cuales están relacionadas con la naturaleza, estabilidad y cantidad de luz, y todo ello en relación con las exigencias visuales de las tareas y en el contexto de los factores personales [255].

Otras variables que intervienen en el confort visual que experimenta una persona, son la geometría del sitio, textura y colores de superficies; las cuales influyen física y psicológicamente al ocupante de la edificación, y a su vez el las estrategias arquitectónicas aplicables para dar solución a las circunstancias del lugar [239].

Factores que determinan el confort visual

Los requisitos que un sistema de iluminación debe cumplir para proporcionar las condiciones necesarias para el confort visual son los siguientes [255].

- Iluminación uniforme
- Luminancia óptima
- Ausencia de brillos deslumbrantes
- Condiciones de contraste adecuadas

- Colores correctos
- Ausencia de luces intermitentes o efectos estroboscópicos.

Es importante examinar la luz en el lugar deseado no sólo con criterios cuantitativos, sino también cualitativos. El primer paso es estudiar la actividad realizada en el mismo, la precisión que requieren las tareas realizadas, la cantidad de trabajo, la movilidad de las personas, etc [255].

De igual manera, la iluminación del área de trabajo debe incluir componentes de radiación difusa y directa, dado que la combinación de ambos producirá sombras de mayor o menor intensidad, permitiendo a los ocupantes del lugar percibir la forma y posición de los objetos situados en el puesto de trabajo [255].

Conceptos de iluminación

A fin de entender el concepto de confort visual o lumínico, es necesario definir términos relacionados con el mismo. A continuación se presentan algunos conceptos necesarios.

➤ **Flujo luminoso o potencia luminosa**

Cantidad de luz emitida por una fuente luminosa. Por lo tanto es un factor que depende únicamente de las propiedades intrínsecas de la fuente, su unidad es el lumen (lm) [256].

➤ **Intensidad luminosa**

Flujo emitido en un ángulo y en una dirección. Se utiliza para expresar cómo se reparte la luz de una fuente en las distintas direcciones, ya que las fuentes luminosas normalmente no emiten el mismo flujo luminoso en todas las direcciones. La intensidad se mide en candelas (cd) [256].

➤ **Rendimiento luminoso**

Cantidad de energía que se convierte en luz con relación a la energía total consumida. Permite medir la eficacia luminosa de una fuente. Se mide en flujo luminoso por unidad de energía consumida (lumen/Watt) [256].

➤ **Iluminancia**

Luz que llega a una superficie determinada. Su unidad, el lux, equivale al flujo luminoso de un lumen que incide homogéneamente sobre una superficie de un metro cuadrado [256].

➤ **Luminancia**

Flujo reflejado por los cuerpos, o el flujo emitido si un el objeto es una fuente de luz. Es el único concepto que mide realmente lo que nosotros vemos de la luz, ya que hace referencia a la claridad o brillo con que vemos las distintas superficies. La luminancia se mide en candelas por superficie (cd/m^2) [256].

➤ **Color**

La luz ordinaria consiste en radiaciones electromagnéticas de diferentes longitudes de onda que corresponden a cada una de las bandas del espectro visible. Mezclando luz roja, amarilla y azul, podemos obtener la mayoría de los colores visibles, incluyendo el blanco. La percepción del color de un objeto depende del color de la luz con la que se ilumina y de la manera en que el propio objeto refleja la luz [255].

Los contrastes de color resultan afectados por el color de la luz elegida y, por esa razón, de ello dependerá la calidad de la iluminación en una aplicación concreta. El color de la luz que se va a utilizar deberá decidirse en función de la tarea que se

deba realizar bajo ella. Si el color es próximo al blanco, la reproducción del color y la difusión de la luz serán mejores [255].

➤ **Temperatura de color**

Las fuentes de luz pueden crear atmósferas cálidas o frías en su apariencia. La temperatura de color, expresada en grados Kelvin (°K), es una forma de describir esta tonalidad. Cuanto mayor sea la temperatura de color, la luz será más fría y azulosa [256].

La sensación de satisfacción con la iluminación de un ambiente determinado depende de esta temperatura. Por ejemplo, para una bombilla de filamento incandescente de 100 W se tiene una temperatura colorimétrica de 2 800 K, la de un tubo fluorescente es de 4 000 K y la de un cielo encapotado es de 10 000 K [255].

Kruithof definió, a través de observaciones empíricas, un diagrama de bienestar para diferentes niveles de iluminación y temperaturas colorimétricas en un ambiente determinado, como se muestra en la Figura 48, que se presenta a continuación [255].

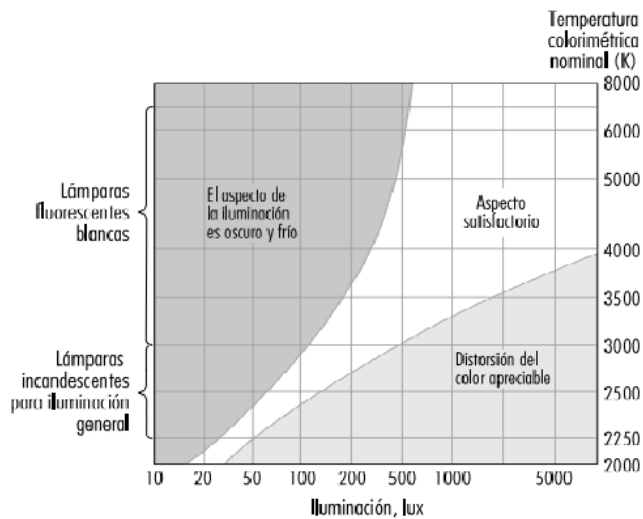


Figura H.1. Confort en función de la iluminancia y temperatura colorimétrica

Los colores de las lámparas eléctricas pueden subdividirse en tres grupos en relación con sus temperaturas colorimétricas:

- Blanco de luz diurna: alrededor de 6 000 K
- Blanco neutro: alrededor de 4 000 K
- Blanco cálido: alrededor de 3 000 K.

➤ **Contraste**

Diferencia de luminancia entre un objeto y su entorno o entre diferentes partes de un objeto [256].

➤ **Reflectancia**

Proporción de la luz que es reflejada por una superficie, es una cantidad no dimensional que varía entre 0 y 1 [255]. Ésta propiedad se relaciona con los colores, puesto que dependiendo de éste se absorbe o emite determinada longitud de onda [239].

➤ **Agudeza visual**

La agudeza visual (AV) es una medida de la capacidad del sistema visual para detectar, reconocer o resolver detalles espaciales, en un test de alto contraste y con un buen nivel de iluminación. Una persona con buena agudeza visual es capaz de apreciar detalles pequeños en una imagen [257].

Niveles de iluminación o iluminancia

Cada actividad requiere un nivel específico de iluminación en el área donde se realiza. En general, cuanto mayor sea la dificultad de percepción visual, mayor deberá ser el nivel medio de la iluminación [255].

Al elegir un cierto nivel de iluminación para un puesto de trabajo determinado, deberán estudiarse los siguientes puntos [255].

- La naturaleza de la actividad
- La reflectancia del objeto y de su entorno inmediato
- Las diferencias con la luz natural y la necesidad de iluminación diurna
- La edad del ocupante.

A continuación, en la Tabla H.1 se presentan los niveles de iluminancia establecido en el *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP*, para áreas generales en edificaciones [258].

Tipo de Recinto y actividad	UGR [L]	Niveles de iluminancia [lx]		
		Mínimo	Medio	Máximo
Áreas generales en las edificaciones				
Áreas de circulación, corredores	28	50	100	150
Escaleras, escaleras mecánicas	25	100	150	200
Vestidores, baños	25	100	150	200
Almacenes, Bodegas	25	100	150	200

Tabla H.1. Niveles de iluminancia en áreas generales de edificaciones.

Factores que afectan a la visibilidad de los objetos

La visibilidad de un objeto puede resultar alterada de muchas maneras, una de las más importantes es el contraste de luminancias debido a factores de reflexión, sombras o a los colores del propio objeto y a los factores de reflexión del color. Lo que el ojo realmente percibe son las diferencias de luminancia entre un objeto y su entorno o entre diferentes partes del mismo objeto [255].

Un factor adicional es el intervalo de tiempo durante el que se produce la visión. El tiempo de exposición será mayor o menor en función de si el objeto y el observador están estáticos, o de si uno de ellos o ambos se están moviendo. La capacidad del ojo para adaptarse automáticamente a las diferentes iluminaciones de los objetos también puede influir considerablemente en la visibilidad [255].

Distribución de la luz y deslumbramiento

Cuando existe una fuente de luz brillante en el campo visual se producen brillos deslumbrantes; el resultado es una disminución de la capacidad de distinguir objetos. Las personas que sufren los efectos del deslumbramiento constante y sucesivamente pueden sufrir fatiga ocular, así como trastornos funcionales, aunque en muchos casos ni siquiera sean conscientes de ello [255].

El deslumbramiento puede ser directo (cuando su origen está en fuentes de luz brillante situadas directamente en la línea de visión) o reflejado (cuando la luz se refleja en superficies de alta reflectancia). En el deslumbramiento participan los factores siguientes [255].

- Luminancia de la fuente de luz.
- Ubicación de la fuente de luz: el deslumbramiento se produce cuando la fuente de luz se encuentra en un ángulo de 45 grados con respecto a la línea de visión del observador.
- Distribución de luminancias entre diferentes objetos y superficies, cuanto mayores sean las diferencias de luminancia entre los objetos situados en el campo de visión, más brillos se crearán y mayor será el deterioro de la capacidad de ver provocado por los efectos ocasionados en los procesos de adaptación de la visión.
- Tiempo de exposición: incluso las fuentes de luz de baja luminancia pueden provocar deslumbramiento si se prolonga demasiado la exposición.

ANEXO I. CREACIÓN DEL MODELO Y CARACTERIZACIÓN DE LA VIS CON DESIGNBUILDER

Para comenzar el diseño del modelo es necesario abrir DesignBuilder, que para este caso se trabajó con la versión 2.4.2.026, debido a que la Universidad posee la licencia de esta.

Creación de un nuevo sitio

Crear un nuevo archivo de trabajo es el primer paso para empezar a modelar, se abrirá una ventana en donde se deberá especificar datos, como el título del proyecto, las especificaciones de la ubicación y el tipo de análisis. En la opción de ubicación del proyecto, se requieren algunos parámetros físicos y climatológicos (archivos “epw”) de dicho sitio, como las coordenadas geográficas, la altura sobre el nivel del mar, presión atmosférica, zona horaria, legislación de la región, clima para la simulación.

Los datos climatológicos mencionados anteriormente, se encuentran consignados en archivos climáticos horario, con un formato “EPW” compatible con esta herramienta. El archivo climático para la simulación que se utilizó en este caso es “Colombia-BucaramangaWEA”, creado a partir de datos tomados de la estación climatológica de la E3T y cuyos principales parámetros climáticos son mostrados en la Tabla I.1.

Parámetro	Valor
Temperatura del aire	Entre 24 °C y 27 °C
Radiación solar	Entre 4,5 kW/m ² dia y 5,5 kW/m ² dia
Velocidad del viento	1,0 m/s y 1,5 m/s

Humedad relativa	80%
------------------	-----

Tabla I.1. Parámetros climatológicos de Bucaramanga

Para cargar este archivo a la base de datos del programa se requiere seguir las siguientes instrucciones:

El primer paso es copiar los archivos que contiene todos los datos (el archivo de clima EnergyPlus “*.epw”, informe de síntesis de los datos “*.stat” y diseño de condiciones diarias “*.ddy”) [259], en la carpeta de datos climáticos (Archivo>Carpetas>Carpeta de datos climáticos) como se observa en la Figura I.1.

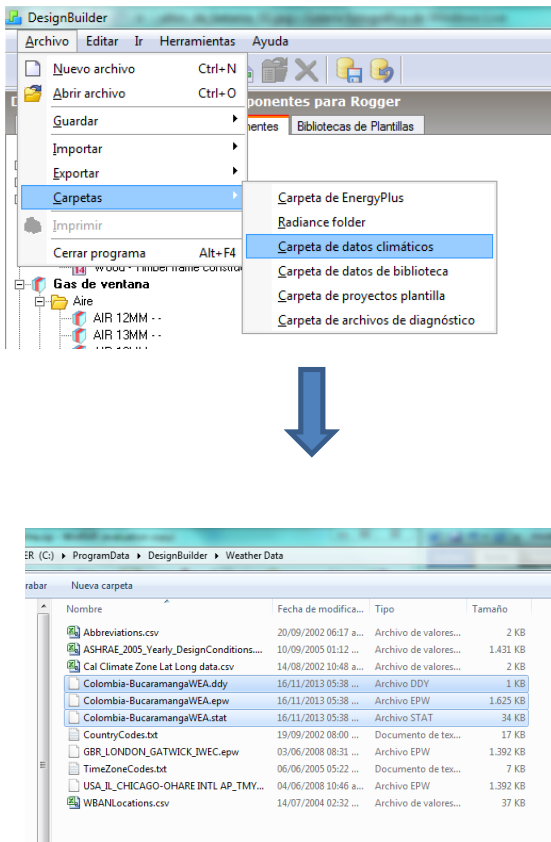


Figura I.1. Consignación del archivo climático en la carpeta de DesignBuilder.

Luego de ubicarse en la pantalla inicial y hacer clic en “Bibliotecas de componentes”, se hace clic en el símbolo +, a la izquierda del título “clima horario”, para desplegar la lista de países, como se ve en la Figura I.2.

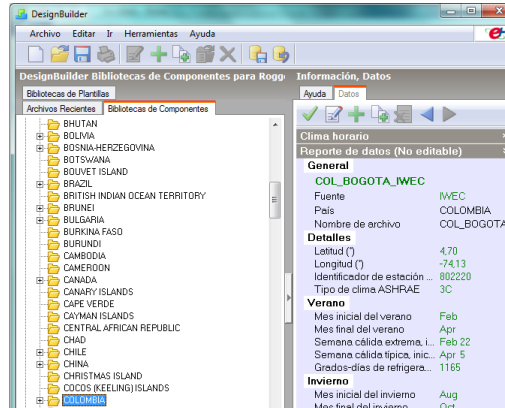


Figura I.2. Carpetas de archivos climáticos de países en DesignBuilder.

Allí se puede ingresar el nuevo paquete de datos climáticos horarios, haciendo clic en el símbolo verde “+” en la barra de herramientas. Seguido de ello aparece una ventana en donde se edita la nueva ciudad y se selecciona el archivo epw, como se demuestra en la Figura I.3.

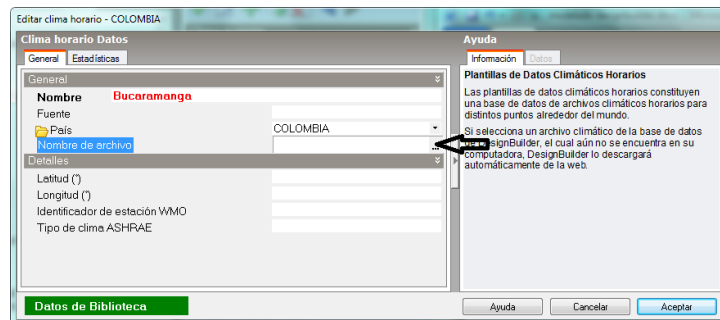


Figura I.3. Añadir nueva ciudad a los archivos climáticos en DesignBuilder.

Se oprime clic, como lo indica la flecha negra para abrir la siguiente ventana en la que se cargará el archivo climático “Colombia-BucaramangaWEA.epw”.

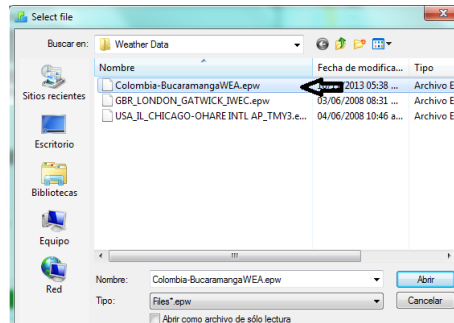


Figura I.4. Cargar archivo climatológico de Bucaramanga en DesignBuilder.

Una vez que el archivo “.epw” ha sido seleccionado, DesignBuilder carga la información sobre la Latitud, Longitud y el Identificador de estación WMO, como se muestra en la Figura I.5. También busca el archivo .stat correspondiente y, si lo encuentra en la carpeta de datos climáticos, también se carga la información de la etiqueta Estadísticas.

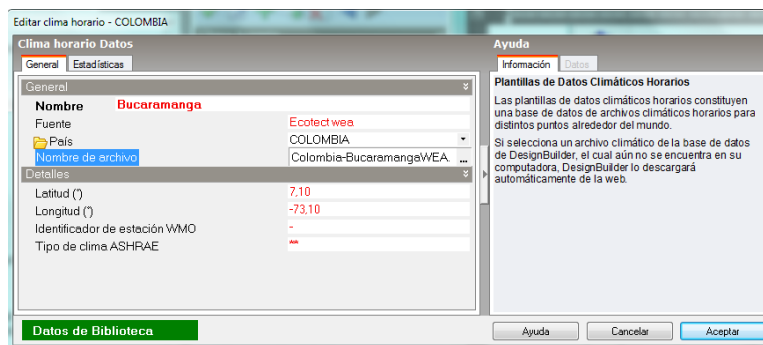


Figura I.5. Nuevo archivo climático de Colombia en DesignBuilder.

Se creó una nueva base de datos climáticos para la ciudad de Bucaramanga en la herramienta, que se seleccionará para utilizarlos en la simulación del modelo de la VIS.

Inserción del plano CAD de la VIS

Al establecer las características de sitio en donde se modelará la edificación, aparecerá una plantilla en blanco, en la que se podrá insertar los planos 2D y 3D. En este caso se importará un plano 2D, como se describe a continuación.

Se elige la opción “archivo” en importar, se selecciona importar archivo de dibujo 2-D, como se muestra en la Figura I.6.

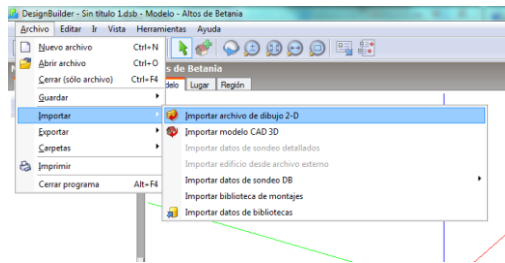


Figura I.6. Importar plano 2D en DesignBuilder.

A continuación se muestra una ventana que sirve para la elección del tipo de archivo en el cual se encuentran los planos, en este caso será una archivo DFX, debido a que es un archivo de fácil elaboración si se tienen los planos en formato DWG, además se permite definir la escala y posición, como se muestra en la Figura I.7.

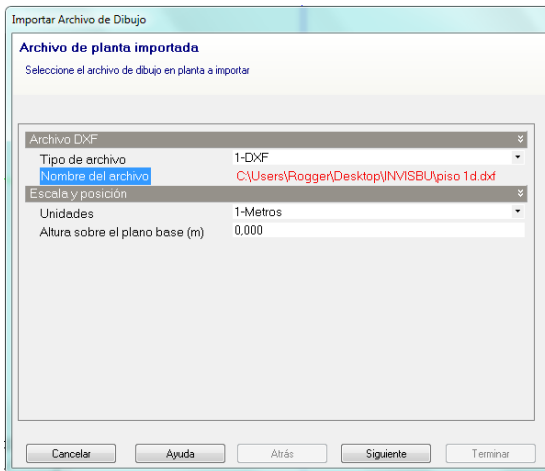


Figura I.7. Selección del archivo a importar en DesignBuilder.

Luego aparecerá una ventana donde se debe especificar las capas que se desean ver en la plantilla de DesignBuilder; una vez seleccionadas las capas, el plano aparecerá en la plantilla de dibujo, como se ve en la Figura I.8. Este plano 2-D será de mucha utilidad, ya que reducirá el tiempo de elaboración del modelo al servir como guía exacta de las medidas del edificio.

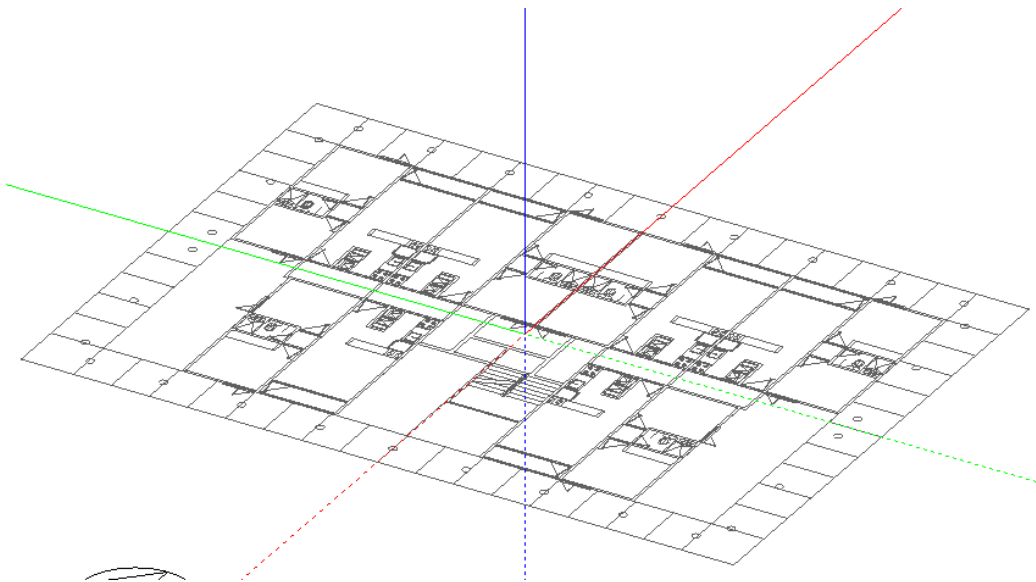


Figura I.8. Plano importado de la VIS en DesignBuilder.

Creación de un nuevo edificio

La creación de la estructura, se hace a través de la opción “añadir edificio al sitio”, con el fin de establecer algunos datos de la estructura y especificar información básica sobre el proyecto, el propietario y el analista, como se muestra en la Figura I.9.

La elección del tipo de modelo de edificio dependerá de lo que se desee hacer con el modelo y de la cantidad de información disponible. Las opción que se escogió para este caso, es “*Draw building+standard data*” que se utiliza para propósitos generales y permite crear el modelo en 3D.

En detalles del proyecto, se define el sector al cual pertenece la edificación. Solo existen plantillas predefinidas para el Reino Unido e Irlanda del norte y entre las opciones se encuentran, restaurantes y cafés, oficinas y talleres de negocios, instituciones residenciales para instituciones educativas, centros educativos, bibliotecas y museos, parqueaderos, espacios residenciales, entre otros. La opción por la que se optó es “espacios residenciales”, ya que describe mejor el uso de la edificación.

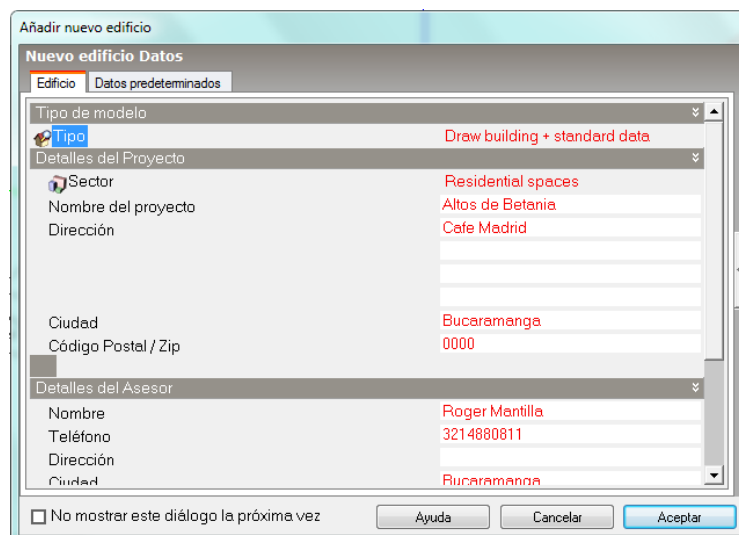


Figura I.9. Creación de una nueva edificación en DesignBuilder.

Creación de bloques

Los bloques constituyen los elementos básicos en la creación del modelo de la edificación. Son tres los tipos de bloque que se pueden crear:

- Los bloques de edificio generan partes o sectores específicos del edificio, modelando automáticamente muros exteriores, suelos, entresijos y/o techos.
- Los bloques de contorno son bloques sólidos que pueden ser manipulados fácilmente hasta lograr la forma geométrica deseada.
- Los bloques de componente son bloques sólidos que pueden ser empleado para modelar elementos accesorios de la construcción, como balcones, salientes, bardas e incluso construcciones vecinas.

Los bloques se crean en el nivel edificio, dibujando perímetros que luego se pueden extrudir horizontal o verticalmente. El tipo de bloque que se escogió es el predeterminado (bloque de edificio) para crear el contorno de la estructura. Para crear el perímetro base sobre el plano seleccionado y crear el volumen en 3D por extrusión,

se definen algunos parámetros en el panel opciones de dibujo (ver Figura I.10), como la forma del extruido, la altura, el grosor del muro.

La forma del perímetro se dejará en polígono debido a que la edificación no es genérica y el tipo de línea será recta.

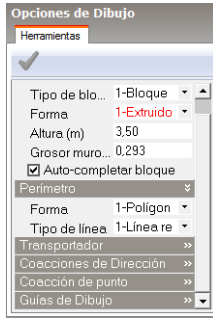


Figura I.10. Opciones de dibujo del modelo en DesignBuilder

Las alturas y grosor de los muros a definir se tomaron en base a los planos suministrados por el INVISBU. En la Tabla I.2 se muestran dichas especificaciones.

Especificaciones del bloque	
Pisos	Altura (m)
1	2,40
2	2,40
3	2,40
4	2,40
5	2,40
Azotea	0,35
Ancho de muros (m)	
	0,1

Tabla I.2. Especificaciones para la creación de bloques

Ya establecidas las opciones de dibujo, se procederá a crear el contorno o perímetro de la edificación para la placa (forjado). Esta operación se hizo a partir de un bloque de componente de 0,4 m de alto, con una adyacencia al “Terreno”, el bloque se ve en la Figura I.11.

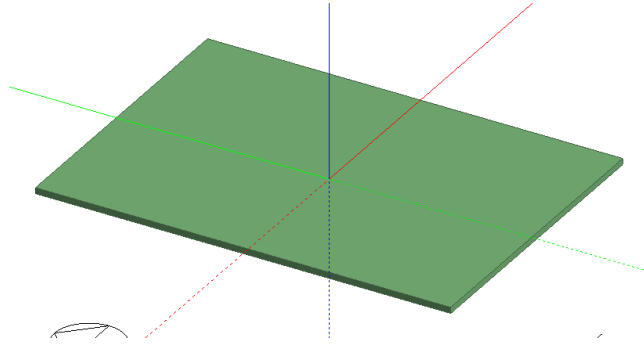


Figura I.11. Forjado de la edificación en DesignBuilder.

Para el modelado del primer piso se crearon 3 bloques, dos de ellos representan los dos apartamentos de la fachada posterior, y el otro representa los 4 apartamentos restantes de la fachada frontal.

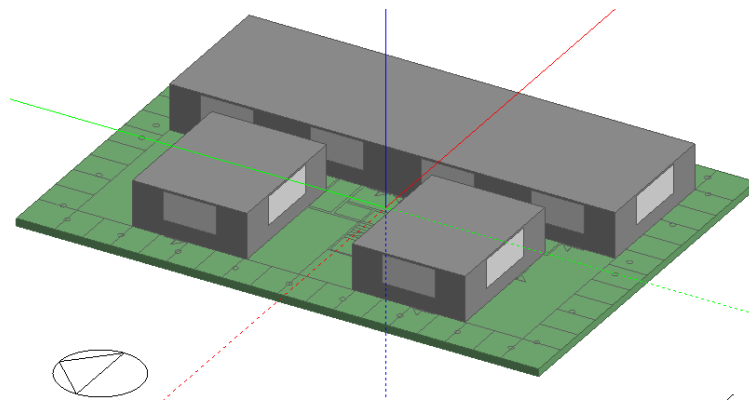


Figura I.12. Creación de los bloques que conforman el primer piso del edificio en DesignBuilder.

En la siguiente operación se creará la escalera que va desde el primer piso hasta el segundo, el muro de apoyo de la escalera, y los pasillos del segundo piso; a partir de la extrusión y corte de bloques de componente.

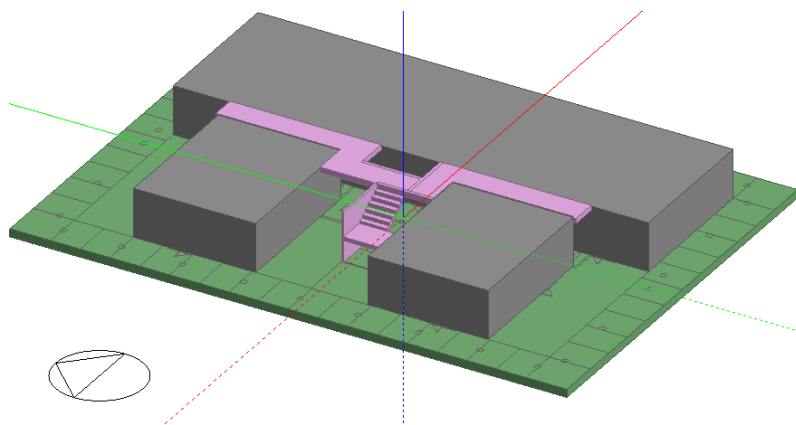


Figura I.13. Creación de pasillos y escaleras a partir de bloques componente en DesignBuilder.

Particiones

Debido a que los cinco pisos son iguales, se realizará primero las particiones, las cuales se utilizan para la simulación y modelado de paredes internas de cada bloque, estableciendo en él diferentes zonas y con ello un mayor realismo al flujo térmico y lumínico en las simulaciones. Con el fin de dar el máximo detalle al primer piso y clonarlo para reproducirlo en los otros cuatro pisos.

La elaboración de las particiones se hace con la herramienta “dibujar partición”, esta operación se le realizó a los tres bloques definidos anteriormente; a continuación se muestra la partición del bloque “Apartamento piso 1 frontal 1”, que contiene uno de los apartamentos de la fachada posterior.

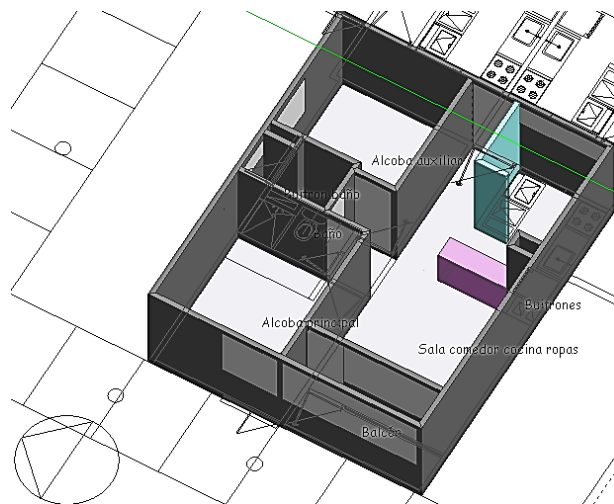


Figura I.14. Creación de las particiones en los apartamentos de la edificación en DesignBuilder.

Se crearon por cada apartamento cinco zonas que representan ocupación, las cuales son alcoba principal, alcoba auxiliar, baño, balcón y sala comedor-cocina-ropas.

Aberturas

La creación de aberturas se hace sobre las superficies deseadas. Para efectuar esta operación se debe ir a la superficie por medio del panel de navegación o haciendo doble clic sobre ésta, si está en el nivel zona. Se crearán las puertas, ventanas, rejillas de los baños y cocinas, y los huecos de los balcones. En la Figura I.15 se muestra las aberturas que se modelaron en el bloque “Apartamento piso 1 frontal 1”.

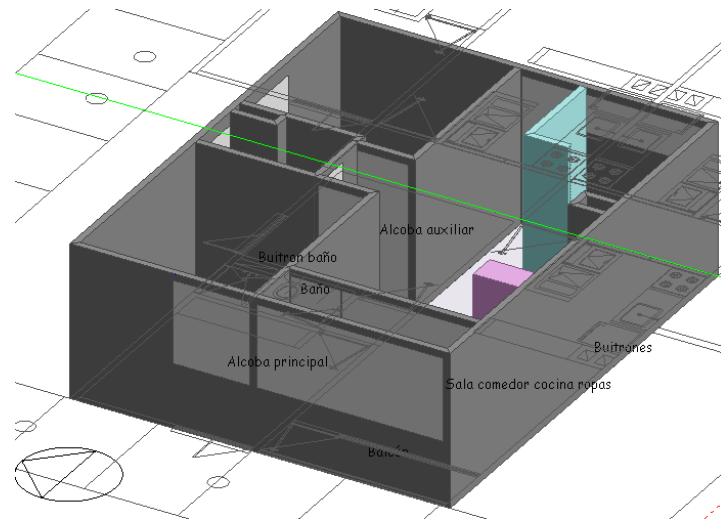


Figura I.15. Aberturas creadas a los apartamentos del edificio en DesignBuilder.

Detalles arquitectónicos

Se modelaron los detalles de las barandas de los pasillos y escaleras con los bloques de componente, además el muro que separa las ventanas de los cuartos auxiliares del pasillo principal.

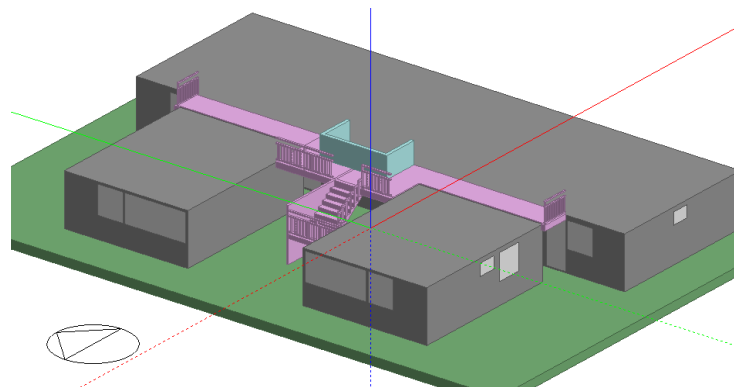


Figura I.16. Creación de los detalles arquitectónicos de la edificación en DesignBuilder.

Ya modelados los detalles de la edificación, se procede a clonar todos los bloques cinco veces, para crear todos los pisos que componen el edificio. El modelo final se muestra en la Figura I.17.

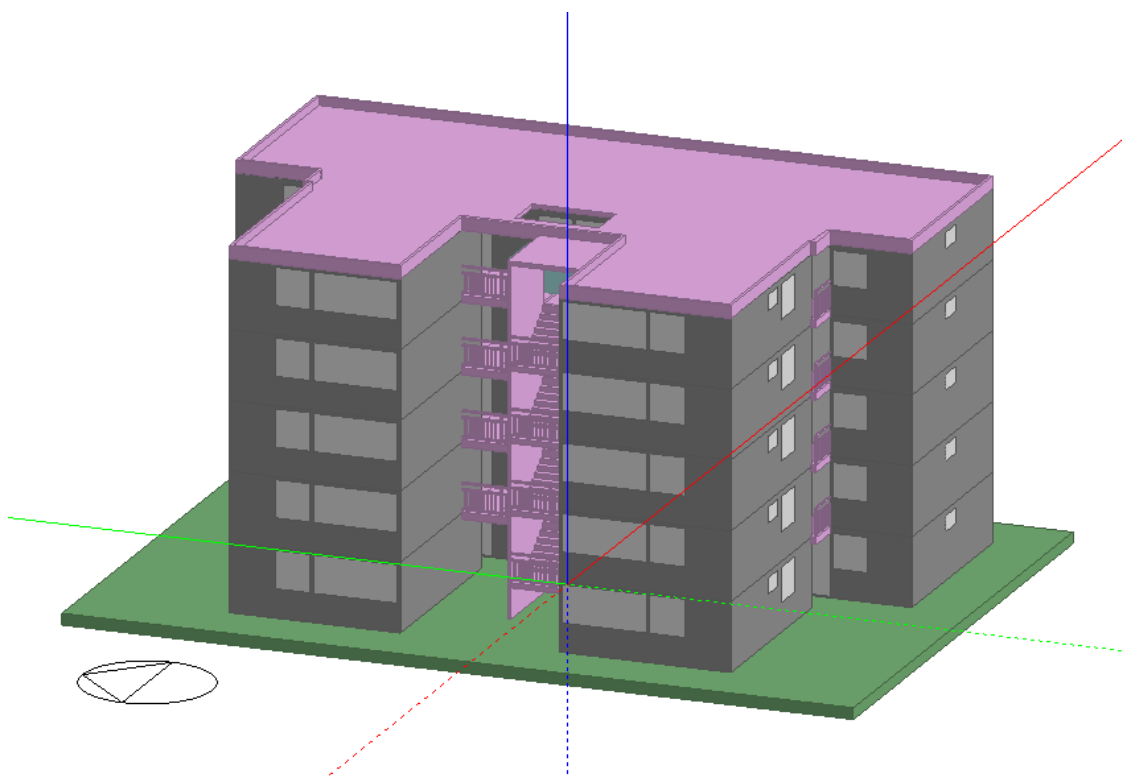


Figura I.17. Modelo final de la VIS con DesignBuilder.

Datos del modelo

Finalizado el modelo geométrico de la edificación, el siguiente paso es adecuar los parámetros de las plantillas que se cargaron automáticamente al crear el edificio, a los datos reales. Para ello se llenarán las características que la herramienta requiere para realizar las simulaciones, éstas se mencionan a continuación.

Datos de actividad

Proporcionan los datos relacionados con el uso del edificio. La información incluye aspectos como la ocupación, uso de los equipos, temperaturas internas de diseño, niveles de iluminancia y tasas de ventilación.

Densidad (personas/m²)

Este dato permite establecer el número de personas por unidad de área, es usado en las simulaciones junto con las condiciones metabólicas y los días festivos para calcular las ganancias de calor asociadas a las personas

La densidad se calculó dependiendo del área de los apartamentos y el número de personas que lo ocupan. Teniendo en cuenta el área total de un apartamento de 42 m² y el número promedio de personas por hogar en Colombia es de 4 aproximadamente [260]; el dato dio un valor de 0,095 (personas/m²).

Programación de la ocupación

La programación consiste en determinar un perfil de ocupación diario para cada día de la semana y mes del año, en la herramienta existen datos predeterminados, pero se decidió por definir un perfil propio ya que en las plantillas predefinidas no existen datos parecidos a nuestro caso. En edición de los datos de ocupación se deben escoger las características y parámetros, repartidos en tres pestañas, General, Días de diseño y perfiles.

Los datos seleccionados de la pestaña general se muestran en la Figura I.18.

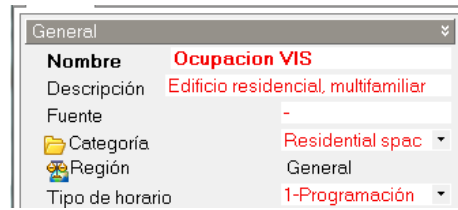
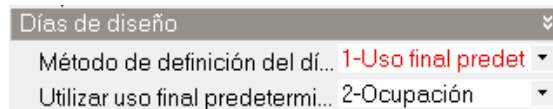


Figura I.18. Datos generales de la plantilla de ocupación (DesignBuilder).

En la casilla de tipo horario, se dan dos opciones, la primera “1-Programacion 7/12” y la segunda “2-Programación compacta”; se seleccionó la primer opción ya que con ella es posible definir la ocupación para todos los días del año, dando lugar así a un mayor nivel de personalización y detalle en este parámetro.

En la pestaña días de diseño, se escogen las siguientes opciones.



En la pestaña perfiles, es en donde se definirá el perfil horario de ocupación para cada día de la semana y meses del año.

El perfil de ocupación se establece considerando una tipología de familia Nuclear-completa [261], es decir, se componen de padres con hijos, y si los hogares los componen 4 personas en promedio, entonces serán 2 padres y dos hijos escolares. El padre (jefe del hogar) trabaja 8 horas diarias desde las 8 a.m. hasta las 6 p.m., tiempo de almuerzo de las 12 m hasta las 2 p.m., todos los meses del año excepto los días de vacaciones en el mes de diciembre; la madre (gestora del hogar) hace labores del hogar y se encarga del cuidado de los hijos, y los hijos estudian de 6:30 a.m. a 12 del mediodía con vacaciones en los meses de junio y diciembre.

El perfil que se creó se nombró “Ocupación VIS”, en donde se programa la ocupación de las viviendas de la siguiente manera:

Los días de lunes a viernes, en los que la ocupación no varía, y en todos los meses excepto diciembre y junio, se estableció el siguiente perfil.

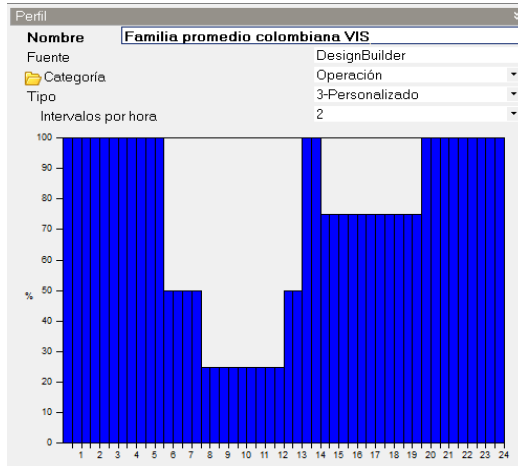


Figura I.19. Perfil de ocupación de la vivienda en los días de lunes a viernes (DesignBuilder).

Para el mes de junio cuando los hijos tienen vacaciones, el perfil es el siguiente.

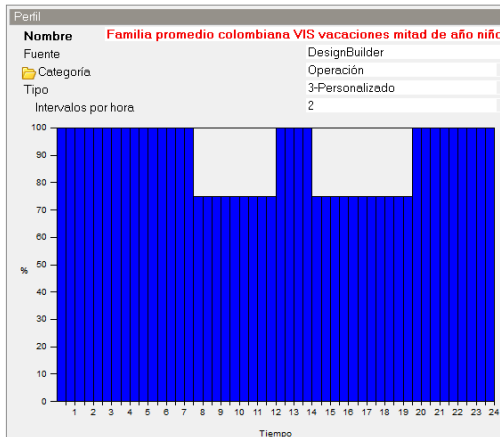


Figura I.20. Perfil de ocupación para el mes de junio (DesignBuilder).

El perfil para el mes de diciembre es:

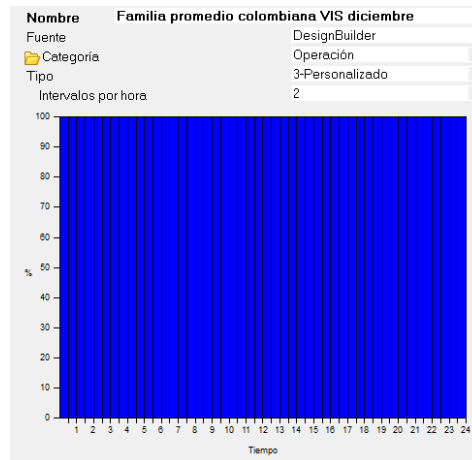


Figura I.21. Perfil de ocupación para diciembre (DesignBuilder).

Los días sábado y domingo de todos los meses excepto diciembre, el perfil será el mismo que para el mes de diciembre de los días de lunes a viernes.

Los días sábado y domingo del mes de diciembre se simularan sin ocupación, considerando en promedio los días que la familia se va de viaje en ese mismo mes.

Condiciones metabólicas

La tasa metabólica que se establece de acuerdo a la intensidad de las actividades, que determina la cantidad de calor generada por una persona en el interior de la edificación, se expresa en watts por persona y la herramienta determina este valor de acuerdo a la actividad que se escoja siguiendo los datos expuestos en el *ASH-RAE Handbook of fundamentals*.

El factor metabólico permite tener en cuenta distintas complejidades físicas de los ocupantes, por ejemplo, se puede indicar un factor de 1 para hombres, 0,85 para mujeres y 0,75 para niños o bien un valor promedio para caracterizar todas las complejidades. Teniendo en cuenta que en la vivienda habitan un hombre, una mujer y dos niños, este factor dio un valor de 0,84.

La vestimenta en las diferentes épocas del año permiten generar resultados de confort térmico, ya que reducen las pérdidas de calor del cuerpo humano, se clasifican de acuerdo a su valor de aislamiento, su unidad es el *Clo*, equivalente a ($m^2 \times C/W$).

Los datos seleccionados para esta pestaña se muestran en la Tabla I.3.

Parámetro	Valor	
	Tasa metabólica	Actividad
<i>Seated quiet</i>		108,0
Factor metabólico	0,84	
Vestimenta	Invierno	Verano
	1,0	0,5

Tabla I.3. Datos de las condiciones metabólicas (DesignBuilder).

Días festivos

Se añaden los días festivos para identificar los días en que el edificio puede permanecer desocupado, aunque en este caso podría ser todo lo contrario, son definidos 16 días festivos que se asocian a conmemoraciones de fechas históricas, patrias y religiosas. Las fechas se definen en los días calendarios del 2014, en especial las de semana santa; a excepción de los días festivos domingos, se muestran a continuación el archivo “festivos de Colombia” que se creó en el calendario de días festivos de la herramienta, como se ve en la Figura I.22.

Días festivos Datos		
General Lista		
Nombre	Fecha de inicio	Número de días
Año nuevo	enero 1	1
Día de los Reyes Magos	enero 6	1
Día de San José	marzo 24	1
jueves Santo	abril 17	1
viernes Santo	abril 18	1
Día del trabajo	mayo 1	1
La Ascensión del Señor	junio 2	1
Corpus Christi	junio 23	1
El sagrado corazón de Jesús	junio 30	1
Batalla de Boyacá	agosto 7	1
La asunción de la Virgen María	agosto 18	1
Día de la Raza	octubre 13	1
Todos los santos	noviembre 3	1
Independencia de Cartagena	noviembre 17	1
Día de la inmaculada concepción	diciembre 8	1
Día de Navidad	diciembre 25	1

Figura I.22. Días festivos en Colombia (DesignBuilder).

Control ambiental

Permite establecer las temperaturas de funcionamiento para la calefacción, la refrigeración y la ventilación natural. En la edificación no se utilizarán sistemas de climatización (refrigeración y calefacción), ni ventilación mecánica, pero sí se tendrá en cuenta la ventilación natural para simular el control de ingreso de aire exterior, por tanto se ha fijado el valor de la temperatura de enfriamiento en 24 °C de acuerdo a la temperatura de confort para espacios residenciales y un valor Delta de temperatura de -50 °C, con el fin de que la ventilación natural no sea controlada por un diferencia de temperaturas de aire interior y exterior, sino mantener una ventilación natural constante (ventanas abiertas).

Condiciones de iluminación

Se establece el nivel de iluminación requerida en (lux) para las zonas de la edificación y la densidad de iluminación de escritorio y exhibición. El valor de iluminancia

(luxes) que se escogió y se recomienda en la guía didáctica “Alumbrado interior de edificaciones residenciales” para cada zona se muestra en la Tabla I.4, además de los valores de Densidad de Potencia en Iluminación (DPI) adoptados del estándar ASHRAE 90.1 de 2007.

Zona de la edificación	Nivel de iluminancia (luxes)	DPI (W/m ²)
Zonas generales (pasillos y escaleras)	100	10,8
Baños	100	11
Habitaciones	150	11
Cocina y ropas	200	13
Sala y comedor	300	17

Tabla I.4. Niveles de iluminación según zonas de la vivienda

Aire Fresco mínimo por persona

Define los requerimientos de aire fresco de cada persona en la zona, esta información se emplea para los cálculos de la ventilación natural. Al seleccionar la simulación de ventilación natural, el tipo de flujo se establece como “2-Aire fresco mínimo por persona” y el valor se deja por defecto 8 (l/s-persona). Este valor sirve para calcular la tasa máxima de suministro de aire exterior; su unidad significa Tasa de aire fresco por persona (l/s-persona).

Ganancias por computadores y equipos varios

Establece las ganancias de calor relacionadas con computadoras, equipos ofimáticos y aparatos diversos por unidad de área de suelo, además permite establecer el horario de funcionamiento de éstos. Se asume que en los apartamentos por lo menos hay un computador y su potencia es de 150 W, en equipos varios se considerará una nevera de 300 W y un televisor de 150 W, el área total por apartamento de 42

m². Se calculó la carga por unidad de área para dichos aparatos en cada apartamento y se muestra a continuación.

- Ganancia por computadores: 3,57 (W/m²).
- Ganancia por equipos varios: 11 (W/ m²).

A continuación en la Tabla I.5 se muestra un resumen de los parámetros diligenciados en la pestaña de actividad.

Parámetro		Valor/Dato	
Ocupación	Densidad	0,095 (personas/m ²)	
	Programación	Ocupación VIS	
Metabolismo	Tasa metabólica	Actividad	W/persona
		<i>Seated quiet</i>	108,0
	Factor metabólico	0,84	
	Vestimenta	Invierno	Verano
1,0		0,5	
Días festivos		Festivos de Colombia	
Control ambiental (Ventilación natural)	Temperatura de enfriamiento (°C)	Delta Temperatura	
	24	-50	
Aire fresco mínimo	8 (l/s-persona)		
Iluminación	Nivel mínimo de iluminancia (lux)	Densidad de iluminación (W/m ²)	
	300	17	
Ganancias	Computadores (W/m ²)	Aparatos varios (W/m ²)	
	4	11	

Tabla I.5. Resumen de los parámetros en la plantilla de actividad (DesignBuilder).

Datos de cerramientos

Es la pestaña en la cual se pueden definir los datos asociados a los cerramientos de la edificación, incluyendo muros exteriores, muros interiores (particiones internas), suelos, cubiertas o techos, entre otros. Estos se definen como agrupaciones de capas de materiales, cada una referenciada a un material y un espesor, datos suficientes para definir las características térmicas de los elementos constructivos del edificio.

Muros Exteriores

Los muros exteriores de la edificación, son de dos diferentes tipos de materiales, estos se muestran en la Tabla I.6.

Muro Fachada		Muro costado	
Material	Espesor (m)	Material	Espesor (m)
Mampostería H-10	0,10	Concreto de 3 000 psi reforzado	0,10
Friso	0,015		

Tabla I.6. Características de los muros exteriores de la edificación en DesignBuilder.

En la herramienta solo es posible definir una sola configuración de materiales para los muros exteriores. Para modelar este cerramiento de la mejor manera, se decidió que estos serán, como el muro de la fachada. Mampostería H-10m en el exterior, que se recrea con el material predefinido “*Brick*”, y una capa de friso de 1,5 cm para el interior, caracterizado, con el material predefinido “*Mortar*”. La representación del muro se muestra en la Figura I.23.

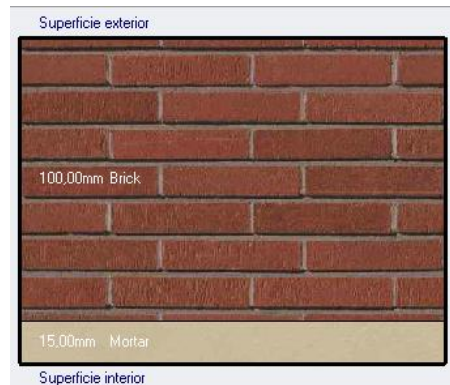


Figura I.23. Representación de los muros exteriores en DesignBuilder.

Muros Interiores (particiones)

Los muros al interior que separan las áreas de baños, alcobas y sala comedor, y cocina y ropas, son básicamente de un solo tipo de material, el concreto de 3000 psi reforzado, que se modeló con el material predefinido “*Cast Concrete (Dense)*”, en una sola capa con un grosor de 0,10 m. La Figura I.24 muestra lo mencionado anteriormente.



Figura I.24 Representación de los muros interiores en DesignBuilder.

Cubierta plana

Este tipo de cubierta se escoge para caracterizar el techo de la edificación, ya que su forma es plana. Está compuesta por tres capas, las cuales se mencionan a continuación.

Material	Espesor (m)
Concreto de 3000 psi reforzado	0,10
Mortero impermeabilizado	0,05

Tabla I.7 Características de la cubierta del edificio

Los materiales escogidos que representan las capas en el modelo, se muestran en la Figura I.25.



Figura I.25. Representación de la cubierta en DesignBuilder.

Suelo sobre el terreno

Es el suelo de la planta más baja de la construcción, la cual está en contacto con el terreno o la superficie externa. Este suelo se compone de dos capas que se mencionan en la Tabla I.8.

Material	Espesor (m)
Concreto de 2500 psi reforzado	0,10
Mortero 1:3	0,05

Tabla I.8 Características del suelo sobre el terreno de la edificación

Las capas seleccionadas en la herramienta se ilustran en la Figura I.26.



Figura I.26. Representación del suelo sobre el terreno en DesignBuilder.

Suelo interior

El suelo que no está en contacto con el terreno, este caso se presenta para las edificaciones que tienen más de un piso. Los suelos de los pisos 2, 3, 4, 5 son interiores y su composición es similar a la del suelo sobre el terreno, ya que posee dos capas las cuales se mencionan en la Tabla I.9.

Material	Espesor (m)
Concreto de 3000 psi reforzado	0,10
Mortero 1:3	0,05

Tabla I.9. Características del suelo interior del edificio

Su representación en el modelo se ilustra en la Figura I.27.

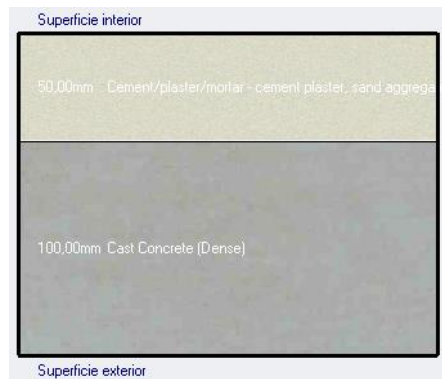


Figura I.27 Representación del suelo interior en DesignBuilder.

Puertas exteriores

Representan las puertas que dan al exterior de los apartamentos, como pasillos o que están en contacto con el ambiente exterior, ubicadas en la entrada principal y en el balcón de estos. Estas están fabricadas en lámina de acero en frío *Cold-Rolled* calibre 20, pintadas con anticorrosivo blanco. En la Figura I.28 se muestran el material seleccionado y su respectiva representación en la herramienta.

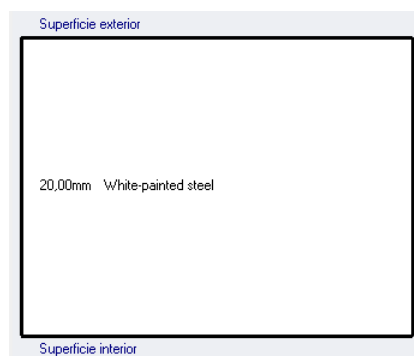


Figura I.28 Representación de las puertas exteriores en DesignBuilder.

Puertas interiores

Son las puertas en el interior de los apartamentos, ubicadas en la entrada de cada habitación y del baño. Son fabricadas con madera contrachapada con un espesor 36 mm y su representación en la herramienta se ilustra en la Figura I.29.



Figura I.29. Representación de las puertas interiores en DesignBuilder.

Bloque componente

Los bloques componentes se emplean para incluir el efecto sombreado y reflexión provocada por objetos como dispositivos de sombreado, edificios cercanos, arboles, entre otros. El material del bloque componente se usa para definir la absorción solar y visible de sus superficies en las simulaciones. Se elige un programa de transmitancia en off y la transmitancia máxima en 0,000, para caracterizar estos bloques como sólidos, no los atraviesa los rayos de luz y no cambian a través del tiempo.

Los bloques componentes utilizados en el modelo de la edificación en su mayoría caracterizan los pasillos y escaleras, y por ello se consideró definir su material en general como hormigones para los pasillo y ladrillos en las escaleras.

A continuación en la Tabla I.10 se muestra un resumen de los detalles que se seleccionaron en la herramienta para la pestaña cerramientos.

Cerramiento		Capas de material	Espe- sor (m)	Material seleccionado
Muros	Externos	Mampostería H-10	0,10	<i>Brick</i>
		friso	0,015	<i>Mortar</i>
	Internos	Concreto de 3 000 psi reforzado	0,10	<i>Cast Concrete (Dense)</i>
Cubierta plata		Concreto de 3 000 psi reforzado	0,10	<i>Cast Concrete (Dense)</i>
		Mortero impermeabilizado	0,05	<i>Cement/plaster/mortar- cement screed</i>
Suelos	Suelo sobre el terreno	Concreto de 2 500 psi reforzado	0,10	<i>Cast Concrete</i>
		Mortero 1:3	0,05	<i>Cement/Plaster/mortar- cement plaster,sand aggregate</i>
	Suelo interior	Concreto de 3 000 psi reforzado	0,10	<i>Cast Concrete (Dense)</i>
		Mortero 1:3	0,05	<i>Cement/Plaster/mortar- cement plaster,sand aggregate</i>
Puertas	Exteriores	Acero en frío <i>Cold-Rolled</i>	0,2	<i>White-painted steel</i>
	Interiores	Madera contrachapada	0,36	<i>Plywood (lightweight)</i>
Bloque componente		Concreto de 3 000 psi reforzado	0,15	Hormigones

Tabla 1.10. Resumen de los parámetros en la plantilla de cerramientos (DesignBuilder).

Datos de aberturas

En esta pestaña se editan los datos predeterminados de la plantilla de aberturas, como el acristalamiento, puertas, rejillas y sombreado de todo el edificio.

Acristalamiento

Los datos de acristalamiento exterior aplican para cualquier acristalamiento ubicado en los muros exteriores del modelo.

Ventanas exteriores

En primer lugar se determina el tipo de cristal de las ventanas exteriores. En la edificación se ha instalado vidrio incoloro de 4 mm en todas las ventanas de los apartamentos, a partir de ello se escogió en la herramienta una sola capa de material y el tipo de hoja “*Generic Clear 4mm glass*”, por su parecido a la real.

En la distribución de las ventanas, se definen los valores referentes a marcos y divisiones, como el material, el ancho y profundidad del marco, el ancho y profundidad de los divisores, la profundidad del reborde, la altura y profundidad del alféizar. Las características que se consignaron para dichos parámetros se encuentran especificadas en el Anexo F.

Las ventanas no cuentan con ningún tipo de sombreado o dispositivos de sombreado como persianas, laminas, vidrio electrocrómico, pantallas difusas; ni sombreado local, como lamas o voladizos, por lo tanto esas casillas no se seleccionan.

Para modelar la apertura de las ventanas exteriores, se fijó un porcentaje de apertura del 50 % del total de acristalamiento, en cuanto al programa de operación de la apertura se asume que las ventanas estarán totalmente abiertas durante el día, desde las 8 a.m. hasta las 11 p.m.

Rejillas

Los parámetros de las rejillas son definidos en el Anexo F. Se seleccionó el tipo de rejilla preestablecida “*Grille large, drak slats*”. La programación de operación de apertura será idéntica a las ventanas.

Puertas

Las puertas externas e internas se modelaron de acuerdo a los parámetros descritos en el Anexo F. Se fijó un porcentaje de apertura del 50 % y un porcentaje de tiempo

de apertura del 5 % con respecto al tiempo de ocupación total de los habitantes de la vivienda, que equivale a 1,2 horas al día abiertas.

Datos de iluminación

Se definen datos de los sistemas de iluminación que son utilizados en la edificación y serán empleados en el modelo. Entre los parámetros genéricos, se encuentra la selección del tipo de luminaria y la determinación de la energía de iluminación ($W/m^2/100$ lux), que será fundamental para calcular las ganancias finales de calor debidas al sistema de iluminación.

Cuando se selecciona el tipo de luminaria, se establece automáticamente el valor de la fracción radiante y la fracción visible, que son dos de las cuatro fracciones en que se divide el calor calculado por EnergyPlus; las otras dos fracciones son la fracción de aire de retorno (tipo de luminaria ventilada) que se define como un campo de ingreso y la fracción del calor convectivo proveniente de la iluminación calculado por EnergyPlus.

El primer dato a definir es la energía de iluminación ($W/m^2/100$ lux), que se calcula a partir de la potencia instalada correspondiente a iluminación en la edificación. Al no conocer la potencia exacta y real instalada en la edificación actualmente, se tomará el valor de la carga instalada de iluminación descrita el cuadro de carga, para calcular este dato.

De acuerdo a la Tabla I.11, se calcula el valor de potencia por metro cuadrado para el total de la edificación, como se muestra en la Tabla 68.

Nivel	Potencia por piso (W)	Área (m ²)	(W/m ²)
Piso 1	4 374	287,11	15,23
Piso 2	4 374	287,11	15,23
Piso 3	4 374	287,11	15,23

Piso 4	4 374	287,11	15,23
Piso 5	4 374	287,11	15,23
Total	21 870	1435,55	15,23

Tabla I.11. Datos de iluminación por piso del edificio

El tipo de luminaria presente en la edificación, en los apartamentos y en las escaleras es del tipo 2- superficial, debido a que todas las luminarias están en la superficie de los techos o muros, enroscadas en plafones (Roseta). Los parámetros establecidos en la herramienta se mencionan en la siguiente tabla.

Parámetro	Valor/Dato
Energía de iluminación	15,23(W/m ² -100 lux) por piso
Tipo de luminaria	2-Superficial
Fracción radiante	0,72
Fracción visible	0,18

Tabla I.12 Datos de la plantilla de iluminación (DesignBuilder).

Datos del sistema HVAC

Como ya se mencionó anteriormente, en este tipo de edificación no existe ningún mecanismo de climatización artificial, por lo cual se simulará solo el efecto de la ventilación natural en el modelo.

La ventilación natural se activa en la herramienta, para poder simular efecto de la ventilación e infiltraciones naturales en el modelo. Para empezar se debe seleccionar el método de definición del aire exterior, que establece la tasa máxima de aire exterior que ingresa a la zona. Las opciones se mencionan a continuación

- 1-Por zona: se define la tasa de ventilación natural de la zona en cambios de aire por hora.
- 2-Aire fresco mínimo por persona: la tasa máxima de ventilación natural se define a partir de los requerimientos de aire fresco, tal como se establece en la etiqueta de actividad.

Para este caso se seleccionará la segunda opción, aplicando la programación creada para el funcionamiento de las ventanas.

Por último se genera la visualización del modelo final (renderizado), con las características mencionadas en los cerramientos y aberturas.



Figura 1.30. Modelo final renderizado en DesignBuilder.

ANEXO J. CREACIÓN DEL MODELO Y CARACTERIZACIÓN DE LA VIS CON EQUEST

Lo primero que se realiza es ejecutar la herramienta, en este caso se trabajó con la versión más reciente (eQUEST 3.65), inmediatamente se despliega una ventana con las siguientes opciones:

- Abrir proyecto reciente
- Abrir proyecto existente
- Crear un nuevo proyecto a través de los asistentes
- Generar un archivo de clima *Skycalc* (herramienta de diseño de *skylighting* basado en hojas de cálculo).

Se escoge la opción crear un nuevo proyecto y se elige el asistente SD para la creación del modelado, ya que la VIS seleccionada no posee áreas ni zonas con diferente tipo de construcción y todos los niveles poseen las mismas características, además no se tendrán en cuenta para la simulación de sistemas de climatización.

Luego se despliega la primera ventana de muchas, en las que se diligenciará toda la información del modelo y se especificaran las características de la edificación. Este proceso se muestra a continuación

Información general

En la información general se introdujeron los datos del proyecto, como el nombre, tipo de edificación, la ubicación geográfica donde se carga el archivo climático de Bucaramanga, generado a partir del archivo utilizado en la simulación con DesignBuilder, el código de análisis, la empresa de servicios públicos; características generales de la edificación como el área en total, el número de pisos y los sistemas de climatización existentes. La información de la ventana se ilustra en la Figura J.1.

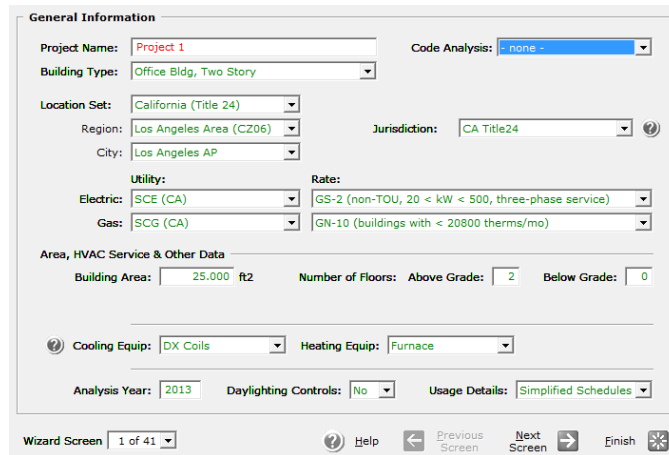


Figura J.1. Información general asistente SD (eQUEST).

Los parámetros establecidos allí se muestran en detalle en la Tabla J.1.

Parámetro	Selección	Descripción	
Nombre del proyecto	Altos de Betania	Se le asigna el nombre al proyecto.	
Tipo de edificación	Multifamiliar de altura media	La herramienta posee este tipo de edificación precargada y es especialmente para edificios de 5 pisos.	
Ubicación (archivo climático)	Colombia-BucaramangaWEA.BIN	Se carga el archivo climático con formato BIN compatible con DOE-2.	
Jurisdicción	ASHRAE 90.1	Se escogió ASRAE ya que Designbuilder también se rige por estas normas	
Código de análisis	LEED-NC (Appendix G)	Código presente la norma ASHRAE	
Región/Zona	3B- Warm,Dry	La región característica de sur América es la 3, y el clima en Bucaramanga es Cálido y seco, por estar en una zona tropical montañosa.	
Servicios Públicos	Electricidad Gas	Ninguno Ninguno	No se requiere simular No se requiere simular
Área construida	1435,55 (m ²) 15452 (ft ²)	Área total construida	
Número de pisos	Nivel por encima Nivel bajo	5 0	Todos los cinco pisos se encuentran por encima de la superficie No existen sótanos ni parqueaderos subterráneos
Detalles de uso	Perfiles de uso final por hora	Se considera la programaciones con perfiles personalizados y no estándares (on-off)	

Equipo HVAC	Equipo de refrigeración	Sin refrigeración	-
	Equipo de calefacción	Sin calefacción	-

Tabla J.1. Parámetros (información general en eQUEST).

Huella del Edificio

En esta ventana se realizará la “huella de la edificación”, es decir, se definirá la forma geométrica del edificio en 2D, mediante el establecimiento de dimensiones geométricas y el dibujado del perímetro a partir de la importación de planos CAD como guía para el trazado. A demás se crearan y caracterizarán las zonas térmicas que componen la construcción.

El primer paso es diligenciar las dimensiones que se muestran en detalle en la Tabla J.2.

Parámetro		Dato	
Orientación del edificio		Occidente, ya que la fachada frontal queda hacia el norte.	
Parámetro		Valor (ft)	Valor (m)
Dimensiones de la “huella”	X1	51,18	15,6
	Y1	76,44	23,3
	Profundidad de la zona perimetral	40,518	12,35
Alturas	Piso a piso	7,874	2,40
	Piso a techo	7,382	2,25

Tabla J.2 Dimensiones de la huella del edificio (eQUEST).

Seguido se procede a dibujar el perímetro de la edificación con ayuda del plano 2D; el proceso se muestra a continuación.

En la “pestaña forma de la huella” se selecciona la opción “custom” que arroja una ventana la cual permite importar el archivo CAD como se muestra en la Figura J.2.

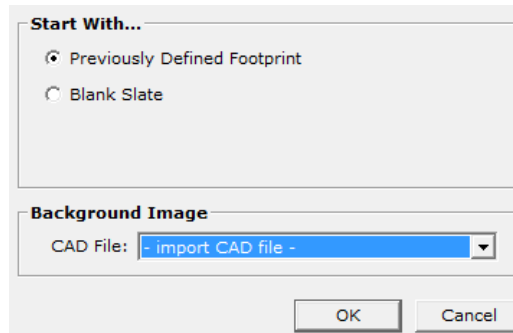


Figura J.2 Importación plano CAD en eQUEST.

Después de oprimir OK se elige el archivo guía desde el computador y se abre, luego se eligen las unidades del plano original y se selecciona aplicar. Luego se despliega otra ventana, en la que se dibuja el contorno por medio de la ubicación de vértices con ayuda de los vértices descritos por el plano importado. En la Figura J.3 se muestra el perímetro ya creado.

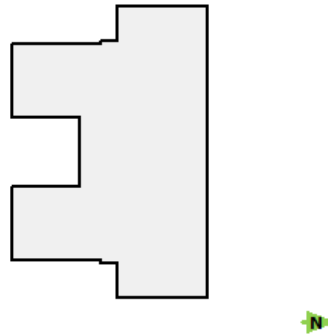


Figura J.3 Huella del edificio en eQUEST.

Ya creado el perímetro, el siguiente paso es demarcar las zonas térmicas, en total 7 zonas, cada apartamento representa una zona y el pasillo otra, en la Figura J.4 se ve muestran dichas zonas.

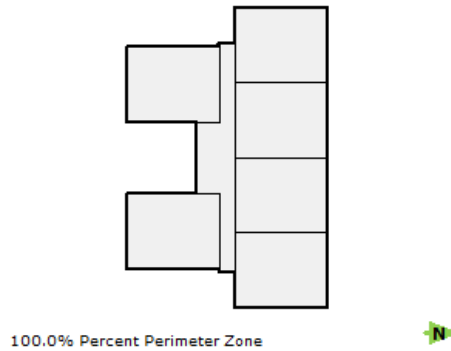


Figura J.4. Zonas creadas en la edificación en eQUEST.

Por último se nombran las zonas de cada uno de los niveles (planta baja, nivel medio que son pisos 2,3 y 4, y nivel superior) y se selecciona el tipo de zona (con adionada o incondicionada), como se muestra en la imagen. Las zonas que se crearon son el Apartamento 1, Apartamento 2, Apartamento 3, Apartamento 4, Apartamento 5, Apartamento 6 y Pasillo (incondicionada).

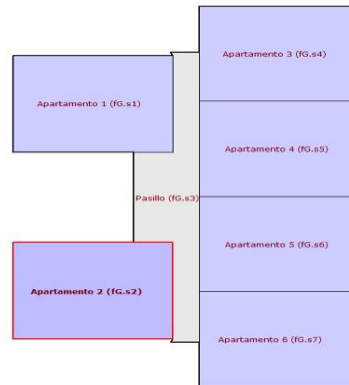


Figura J.5. Definición y descripción de las zonas creadas en eQUEST.

Además se crean los materiales de los techos y paredes exteriores, en la Tabla J.3 se especifican dichos materiales.

Componente	Material	Selección
Techo	Concreto de 3 000 psi reforzado (0,10 m)	Concrete, HW, 4 inch (Hf-C5)
Pared exterior	Mampostería H-10	Brick, common, 4 inch (BK01)
	Friso (0,015 m)	Cement mortar, 1 inch (CK01)

Tabla J.3. Materiales del techo y paredes exteriores

Construcción del envoltante de la edificación

En esta ventana se definen los materiales, acabados y características de las superficies del techo, la pared exterior del nivel superior y de la planta baja (ver Figura J.6). Dicha información se usará para determinar el aislamiento, definir la superficie de absorción solar y la resistencia exterior de dichos componentes.

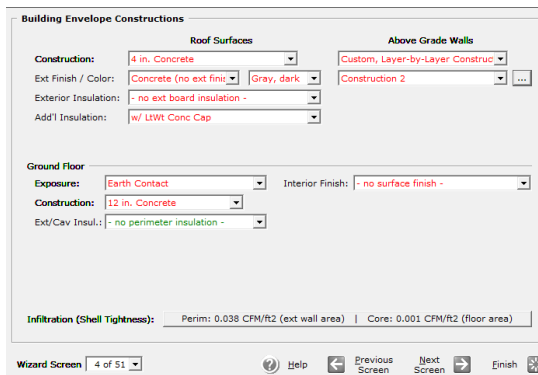


Figura J.6 Materiales y acabados de superficies y componentes de la construcción (eQUEST).

Los parámetros seleccionados se muestran en la Tabla J.4.

Superficies del Techo		
Parámetro	Material	Selección
Material de construcción	Concreto de 3 000 psi reforzado (0,10 m)	4 in. Concrete
Acabado exterior /color	Sin acabado / gris oscuro	Concrete(no ext finish) / Gray, dark

Aislamiento exterior	No posee aislamiento	No ext board insulation
Aislamiento adicional	Sin aislamiento adicional	No LtWt Conc Cap
Paredes del nivel superior		
Material de construcción	Mampostería H-10	Brick, common, 4 inch (BK01)
	Friso (0,015 m)	Cement mortar, 1 inch (CK01)
Planta baja		
Exposición	Contacto con el terreno	Earth Contact
Material de construcción	Concreto de 2 500 psi reforzado (0,40 m)	12 in. Concrete
Aislamiento exterior	No hay aislamiento	No perimeter insulation
Acabado interior	No existe acabado	No surface finish

Tabla J.4 Materiales seleccionados en eQUEST.

Construcción interior de la edificación

Se definen y seleccionan los materiales y aislamiento y acabado de los techos, las paredes y pisos al interior de la edificación, en la Figura J.7 se muestran los parámetros a seleccionar.

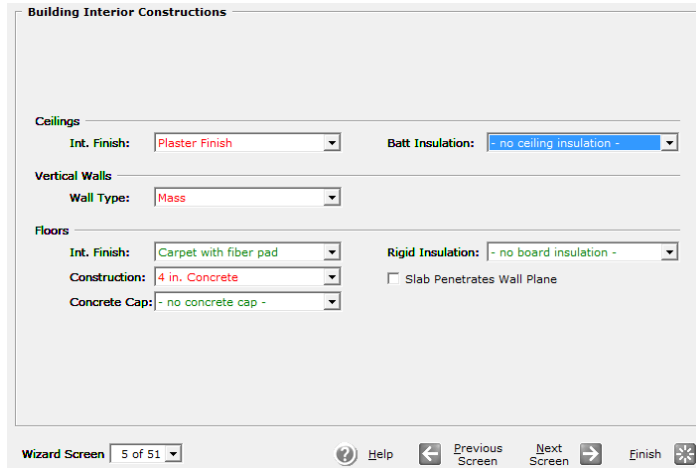


Figura J.7. Materiales y acabados para los componentes interiores de la edificación eQUEST.

En la Tabla J.5 se especifican los datos elegidos que representan la construcción real.

Parámetro	Material	Selección
Techos		
Acabado interior	No tiene acabado	Ninguno
Paredes		
Tipos de pared	Concreto de 3 000 psi reforzado (0,10 m)	Mass
Pisos	Acabado interior	Ninguno
	Construcción	Concreto de 3 000 psi reforzado (0,10 m)
	Capa de concreto	Mortero (0,05 m)
		4 in. Concrete
		2 in. LW Concrete

Tabla J.5. Materiales seleccionados para el interior del edificio en eQUEST.

Puertas exteriores

Se describen el tipo, los materiales, dimensiones y el número de las puertas exteriores de la edificación, en la Figura J.8 se aprecian los parámetros a seleccionar.

Figura J.8. Características de las puertas exteriores en eQUEST.

Al realizar el modelo de la forma como se pensó, en la edificación, no se presenta ninguna puerta exterior real, sin embargo, para cuestiones de simulación, se han definido 4 puertas que se ubicaron en las entradas de cada pasillo, caracterizando los vacíos en estas superficies. Las dimensiones y materiales de las puertas se muestran en detalle en la Tabla J.6.

Puerta	Tipo	Material	Dimensiones			
			Ancho		Alto	
			(m)	(ft)	(m)	(ft)
Entradas Sur (entrada al pasillo sur y por las escaleras)	Entrada de aire	Sin vidrio (abierto)	2,7	8,85	2,15	7,05
Entradas Oriente y occidente	Entrada de aire	Sin vidrio (abierto)	1,2	3,94	2,15	7,05

Tabla J.6 Materiales y características de las puertas exteriores.

Ventanas exteriores

El método de especificación del área de la ventana, es utilizado para indicar la proporción de la ventana con respecto a la pared, el más utilizado es el de indicar las dimensiones del piso al techo; las clases de vidrios y tipos de marcos para las ventanas, son seleccionados para indicar el ángulo de incidencia de los rayos del sol, el coeficiente de sombra y el valor U. Dicha información se podrá diligenciar en la ventana que se muestra en la Figura J.9.

The screenshot shows the 'Exterior Windows' dialog box with the following configuration:

- Window Area Specification Method:** Percent of Net Wall Area (floor to ceiling)
- Describe Up To 3 Window Types:**
 - 1: Glass Category: Single Clr/Tint; Glass Type: Single Clear 1/8in (1000); Frame Type: Alum w/o Brk, Operable; Frame Wd (in): 1,57
 - 2: - select another
- Window Dimensions, Positions and Quantities:**

	Typ Window Width (ft)*	Window Ht (ft)	Sill Ht (ft)	% Window (floor to ceiling, including frame):			
				East	West	North	South
1:	3,94	4,10	328,00	14,2	14,2	14,2	14,2

Estimated building-wide gross (flr-to-flr) % window is 13.3% and net (flr-to-ceiling) is 14.2%.
 * - A window width of 0 results in one long window per facet (check adjoining box if window width is to take precedence over % window)

Figura J.9. Materiales y características de las ventanas exteriores eQUEST.

La herramienta permite ubicar y dimensionar las ventanas en cualquier superficie, es decir, posibilita crear la ventana en el lugar correcto y con las dimensiones exactas en la edificación. Para ello se oprime en el botón “Custom window/Door Placement”, luego se diligencian las coordenadas y dimensiones, siempre y cuando se encuentre en el nivel y superficie indicada. En la Figura J.10 se muestra como se creó la ventana de la habitación principal del apartamento 1 ubicado en la fachada posterior.

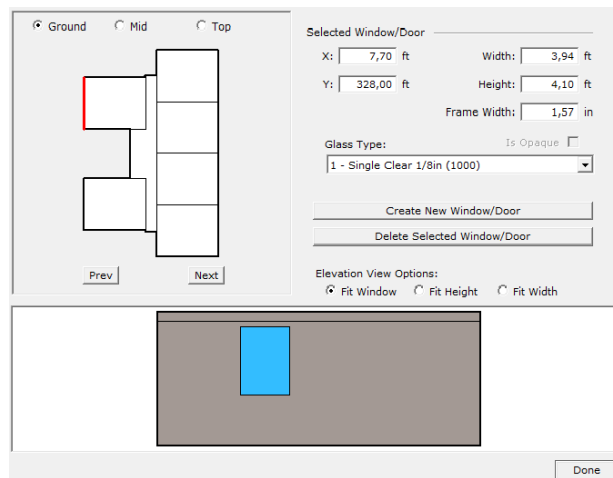


Figura J.10. Modelado de las ventanas exteriores de la VIS eQUEST.

Sombreado y persianas exteriores

Se definen las especificaciones y características de los voladizos y aletas en las ventanas, además se puede escoger si poseen persianas o cortinas que eviten el paso de los rayos del sol. Para este proyecto no se consideraran ninguno de estos dispositivos de sombreado, ya que en la edificación real no se encuentran.

Claraboyas en el tejado

En esta ventana se podrán seleccionar y especificar los siguientes parámetros:

- Principales zonas de tragaluz en el techo. Permite seleccionar los tragaluces para tres zonas precargadas en la herramienta (perímetro, centro, todas las zonas) o ubicarlas de forma personalizada, en cualquier parte de la azotea.
- Diagrama de distribución del tragaluz. Se pueden instalar o desinstalar claraboyas en las zonas seleccionadas, con igual porcentaje de cobertura.
- Cantidad de tragaluces. Indique el porcentaje de cobertura en la superficie por claraboya, y el número total.
- Dimensiones típicas del tragaluz. Indicar y / o confirmar las dimensiones típicas de claraboya.
- Tipo de acristalamiento del tragaluz. Seleccione la forma y el tipo de acristalamiento presente en las claraboyas.
- Personaliza el tragaluz. Las opciones incluyen la creación de mallas enteras de claraboyas, y la asignación de diferentes tipos de acristalamiento.

En el presente análisis no existen ningún tipo de tragaluz en la azotea.

Definición de la temporada

Allí, como se muestra en Figura J.11, se determinan las estaciones o temporadas operativas para el edificio y se especificarán los festivos que se celebran en el sitio. Con respecto a los festivos que se pueden elegir, la herramienta preestableció los más representativos del Estados Unidos y no se podrán personalizar, así que en esta simulación se considerarán solo los que coinciden con los que se celebran en Colombia.

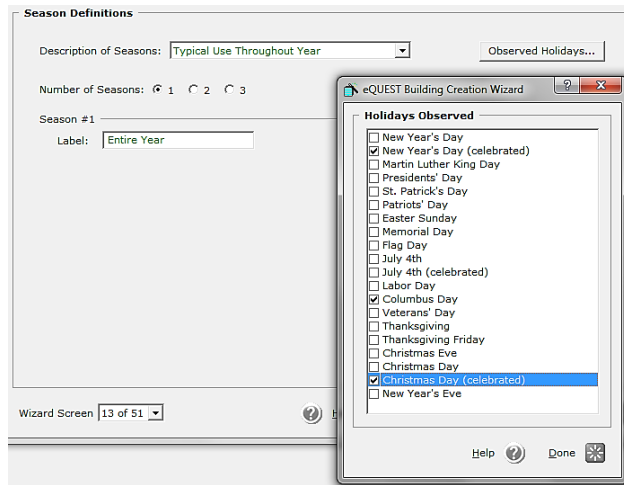


Figura J.11. Definición de las temporadas y tiempo de simulación en eQUEST.

Los parámetros seleccionados se muestran en la Tabla J.7.

Parámetro	Selección
Descripción de la temporada	Uso típico a lo largo del año
Numero de temporadas	1
Designación de la temporada	Año entero
Días Festivos	Año Nuevo (1 enero)
	Día de la Raza (14 octubre)
	Navidad (25 Diciembre)

Tabla J.7 Selección del tiempo de simulación eQUEST.

Solo se definió una temporada, ya que la herramienta no permite personalizar el porcentaje de ocupación en los horarios de operación que se mencionan a continuación.

Horarios de operación del edificio

En esta ventana se introducirá información sobre el calendario de operaciones de la edificación. Entre las opciones que brinda la herramienta, se escogió la que representa mejor los horarios de operación de vivienda, se detallan en la Tabla J.8.

Todo el año		
Uso	Tiempo del día desocupado, uso típico	
Días se la semana	Salen a las	Llegan a las
Lunes	7 a.m.	1 p.m.
Martes	7 a.m.	1 p.m.
Miércoles	7 a.m.	1 p.m.
Jueves	7 a.m.	1 p.m.
Viernes	7 a.m.	1 p.m.
Sábado	9 a.m.	2 p.m.
Domingo	Ocupado todo el día	
Festivos	Ocupado todo el día	

Tabla J.8. Horarios de operación eQUEST.

Asignación de actividad en las áreas de la edificación

Se asignan las actividades en las áreas, su densidad de ocupantes y las tasas de ventilación de aire. Para cada área hay entradas, como el tipo de actividad, el porcentaje de superficie total, la densidad de ocupación, la tasa de ventilación y casillas de verificación para indicar si el área de actividad se debe asignar a la primera planta, a zonas del medio o perimetrales o cualquier combinación de ellas. Los datos que se diligenciaron se mencionan en la Tabla J.9.

Parámetro	Valor	Descripción
Porcentaje de área	Unidades de viviendas	88 %
	Corredor o pasillo (incluyendo escaleras)	12 %
		Este valor sirve como referencia a valores como, las densidades de carga de los ocupantes, luces, equipos, además de las tasas de ventilación

Densidad de ocupación	Unidades de viviendas	113,35 (Sf/person)	Se calculó a partir del área total destinada para las viviendas en ft ² (2720,3 ft ²) y el número de personas que habitan los seis apartamentos (24 personas en promedio). Este valor se utiliza para determinar el número máximo de personas que ocupan un espacio durante la simulación y sirve de base para calcular las ganancias de calor producidas por las personas.
	Corredor o pasillo (incluyendo escaleras)	185,085 (Sf/person)	Se calculó, teniendo en cuenta que en el pasillo se encuentran un reducido número de personas, se aproximó a 2 personas, en un área total de (370,17 ft ²)
Tasas de ventilación por persona	Unidades de viviendas	30 (CFM/per)	Este valor se deja por defecto, ya que la herramienta lo calcula automáticamente conforme a los dos anteriores valores. El dato indica la velocidad de flujo de aire del exterior mínima permitida por persona en las zonas anteriormente determinadas.
	Corredor o pasillo (incluyendo escaleras)	27,76 (CFM/per)	

Tabla J.9. Asignación de la actividad en las zonas eQUEST.

El perfil de ocupación seleccionado es el “occup Profile (s1)”, establecido automáticamente por la herramienta y queda definido de la siguiente manera.

De lunes a viernes quedo como se ve en la Figura J.11.

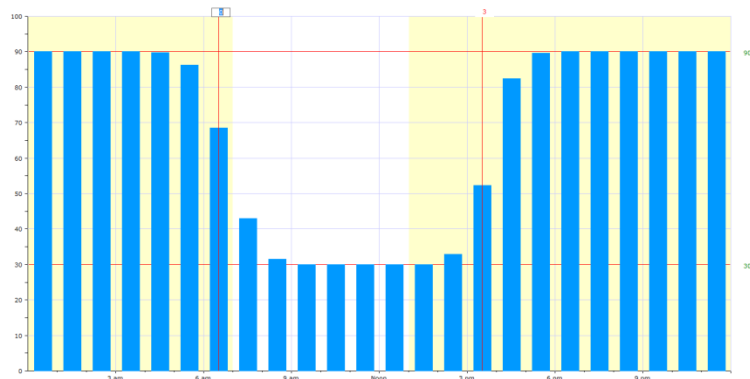


Figura J.11 Perfil de ocupación de lunes a viernes (eQUEST).

Los días sábados quedan como se ve en la Figura J.12.

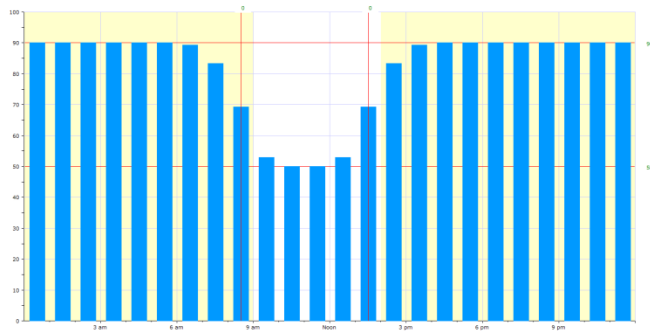


Figura J.12 Perfil de ocupación de los sábados (eQUEST).

Los domingos y festivos como se ve en la Figura J.13.

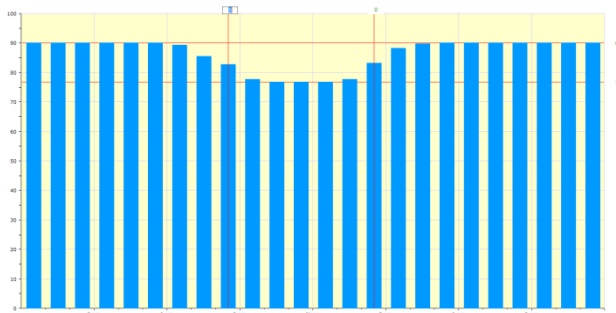


Figura J.14 Perfil de ocupación de los domingos y festivos (eQUEST).

Usos finales para el modelo (no climatización)

En esta ventana se indican los usos finales que se van a incluir en la simulación. Cuando se habla de usos finales, la herramienta se refiere a los parámetros que contribuyen con el consumo de energía final en la edificación, se definen de la siguiente manera:

Usos finales interiores

- Iluminación artificial interior.

- Equipos de oficina.
- Equipos de cocina.
- Equipos varios.
- Refrigeración autónoma.
- Cargas de procesos.
- Motores.
- Compresores de aire.

Usos finales exteriores

- Iluminación exterior.
- Refrigeración remota.
- Agua caliente sanitaria.

Para la simulación solo se tendrán en cuenta los siguientes usos finales:

- Iluminación artificial interior.
- Equipos de cocina.
- Equipos varios.

El servicio de lavandería también hace parte de los usos finales y para considerar su cálculo se introdujo la información que se encuentra en la Tabla J10.

Localización del equipo	En la unidad de vivienda
Número de unidades de viviendas por piso	6 (units/floor)
Cargas de lavandería /unidad/ semana	3 cargas por unidad de vivienda en una semana
Tipo de lavadora	Eje vertical
Combustible	Electricidad

Tabla J.10. Caracterización de la lavandería en la edificación eQUEST.

Cargas y perfiles de iluminación interior

En esta ventana se asignan las densidades de potencia destinadas a iluminación, para cada una de la áreas definidas anteriormente, considerando un perfil de uso, conforme a el tipo de edificación. La información se muestra en la Figura J.15.

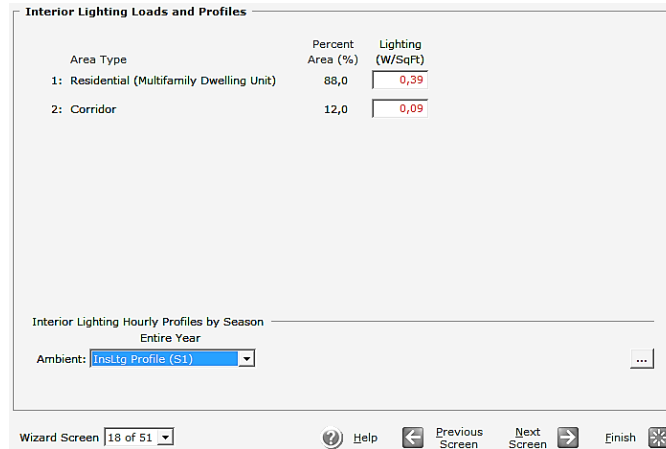


Figura J.15. Cargas y perfiles de iluminación en eQUEST.

Las densidades de potencia calculadas se muestran en la Tabla J.11.

Áreas	Densidad de potencia (W/ft ²)
Unidad de vivienda multifamiliar	1,59
Corredor	0,09

Tabla J.11. Densidad de potencia de iluminación para las zonas definidas en eQUEST.

El perfil seleccionado, se generó automáticamente en la herramienta de acuerdo a los horarios de ocupación descritos anteriormente, este se personalizó para adecuarlo a la realidad. Como ejemplo se muestra el perfil elegido para los días de lunes a viernes.

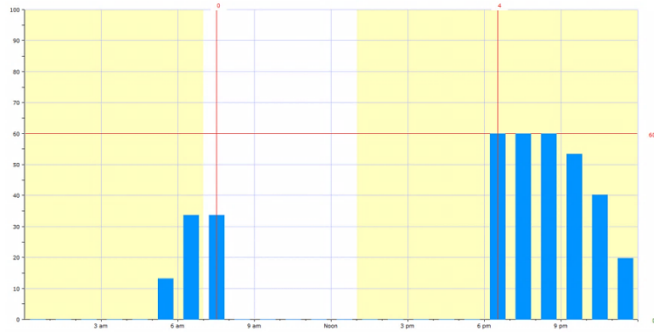


Figura J.16. Perfil de iluminación eQUEST.

Cargas y perfiles para cocina

Para el cálculo de la densidad de potencia en el área de cocina, se consideró un electrodoméstico infaltable en cualquier vivienda y que consumen mayor energía, la nevera, con un consumo promedio de 300W. El cálculo dio como resultado una densidad de potencia de 0.66 (W/ft²). El perfil seleccionado, es el perfil que automáticamente la herramienta considera preciso para la cocina en este tipo de viviendas.

Cargas y perfiles para quipos varios

Entre los equipos varios, se encuentran otros electrodomésticos que tampoco pueden faltar en una vivienda de este tipo como, un computador (150 W) y un televisor (150 W), sumando una carga de 300 W. El cálculo de la densidad dio como resultado 0,66 (W/ ft²). El perfil seleccionado, es el perfil que automáticamente la herramienta considera preciso para el uso de equipos varios en este tipo de viviendas.

Modelo 3D final

Al finalizar el proceso de modelado, la herramienta automáticamente genera el modelo geométrico de la edificación en 3D, a partir de los parámetros y datos cargados anteriormente.

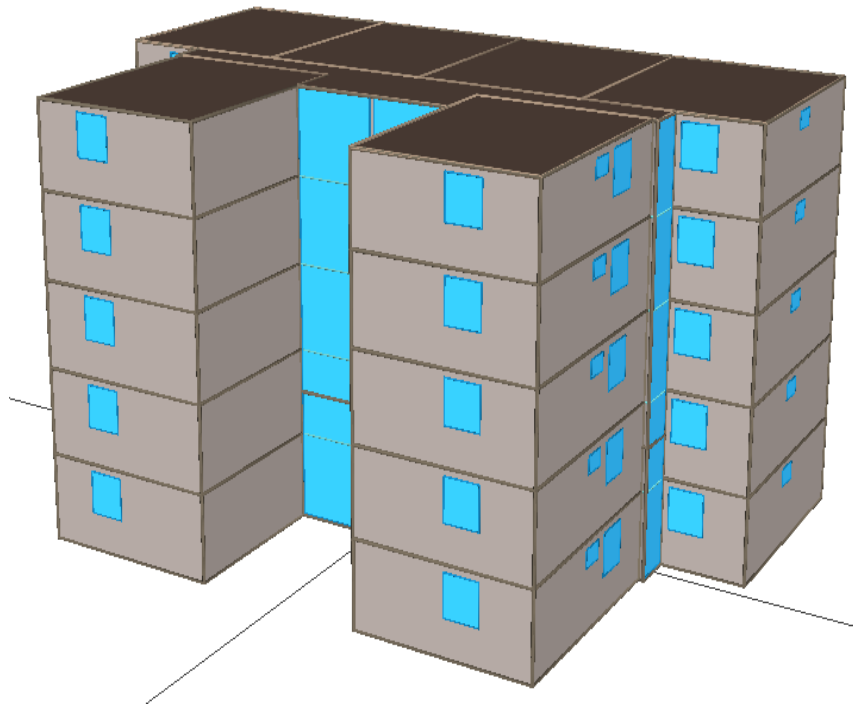


Figura J.17. Modelo 3D final en eQUEST

ANEXO K. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE CREACIÓN DEL MODELO PARA LA SIMULACIÓN EN AUTODESKS ECOTECT ANALYSIS

En este anexo se detalla el proceso de creación del modelo tridimensional en *Autodesk Revit Architecture 11*, además de presentar la información que se definió para poder realizar las simulaciones en la herramienta *Autodesk Ecotect Analysis 11*.

Creación del modelo en *Autodesk Revit Architecture 11*

Tal como se dijo en el Capítulo 8, la creación del modelo tridimensional se realizó mediante la herramienta *Autodesk Revit Architecture 11*, por lo cual este anexo se centra en describir el proceso de modelado del proyecto de VIS.

En primer lugar se procedió a importar los planos facilitados por el INVISBU, esto con el fin de tener una guía para continuar el proceso de modelado.

A continuación en la Figura K.1 se presenta el procedimiento para importar los archivos **.dwg**, que corresponden a los planos del proyecto de VIS.

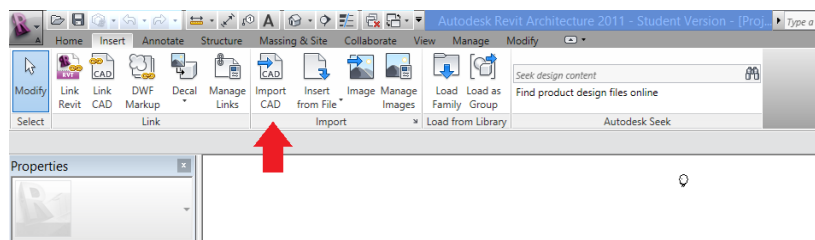


Figura K.1 Importación de planos .dwg a Autodesk Revit Architecture 11.

Al pulsar la opción *Import CAD* se despliega un cuadro de dialogo donde se selecciona el archivo a importar, el cual se cargará haciendo clic en *Open*.

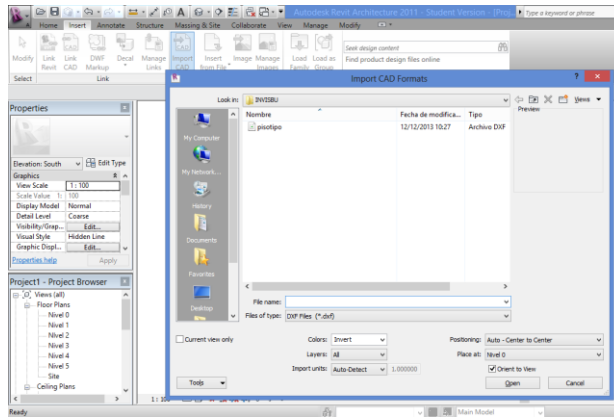


Figura K.2. Selección del archivo .dwg.

A continuación en la Figura K.3 se presentan el plano del proyecto de VIS en la herramienta *Autodesk Revit Architecture 11*.

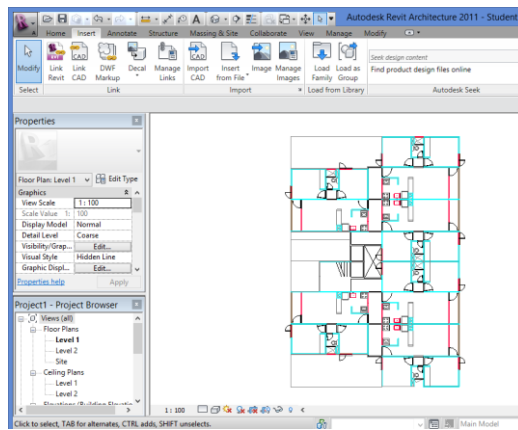


Figura K.3. Visualización del plano importado a *Autodesk Revit Architecture 11*.

Por defecto la herramienta solo define dos niveles para realizar el proyecto, por lo cual es necesario definir la cantidad de éstos, para la elaboración del modelo tridimensional. A continuación, en las Figuras K.4 y K.5 se observa la definición y creación de los pisos del modelo tridimensional.

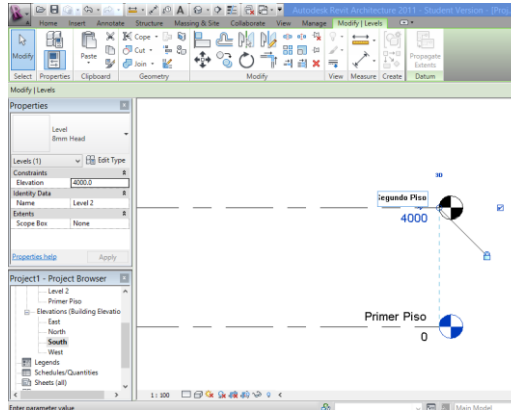


Figura K.4 Definición de las distancias entre pisos

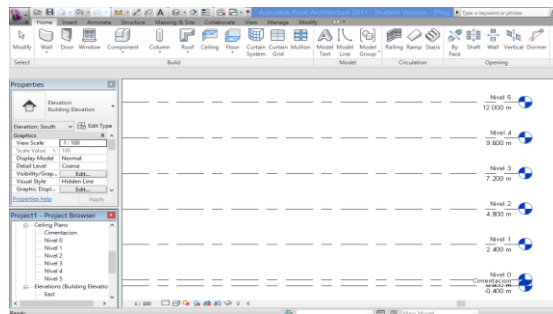


Figura K.5 Niveles definidos para el proyecto

Elaboración elementos constructivos

Posterior a la importación del archivo **.dwg**, que se usó como guía para la creación del modelo, lo cual se hizo con los elementos básicos de construcción.

Dichos elementos constructivos se encuentran en la opción *Home* de la barra de herramientas que se encuentra en la parte superior de la pantalla. A continuación, en la Figura K.6 se presenta lo anteriormente descrito.

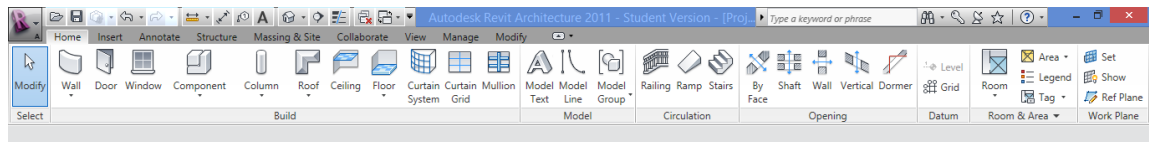


Figura K.6 Elementos constructivos en Autodesk Revit Architecture 11.

Todos los parámetros de los elementos se modifican en el cuadro de dialogo *Properties*, ubicado en la parte izquierda de la pantalla. En la Figura K.7 se presenta lo mencionado anteriormente.

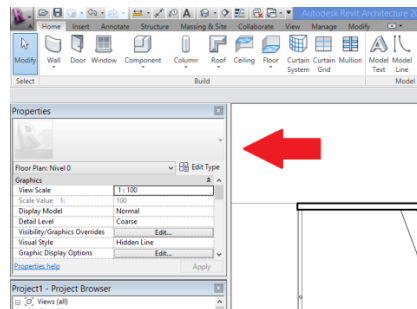


Figura K.7 Modificación de parámetros de los elementos constructivos.

- **Creación de muros**

Los muros del modelo se dibujó partir de la opción *Wall* de la barra *Home*; las definición de las propiedades del mismo se realizó en cuadro *Properties*. En la Figura K.8 que se presenta a continuación, se observa lo mencionado anteriormente.

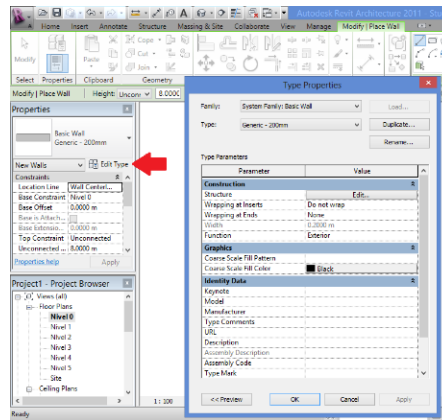


Figura K.8. Definición de las propiedades de muros en Autodesk Revit Architecture 11.

Después de definir las características de los muros, se procedió a trazar los muros teniendo como guía el plano exportado. A continuación en la Figura K.9, se presenta la visualización 3d de los muros creados.

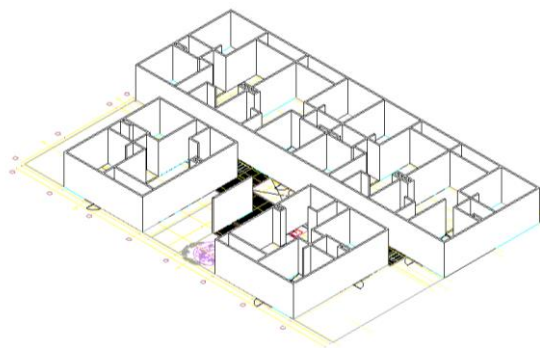


Figura K.9. Proceso de modelado (Muros en Autodesk Revit Architecture 11).

- **Creación de puertas y ventanas**

La herramienta *Autodesk Revit Architecture 11* define de forma similar la construcción de las puertas y ventanas, es necesario que exista un muro para su inserción en el mismo.

El procedimiento a seguir en ambos caso es muy similar, solo basta con pulsar la opción *Door* o *Window*, según se requiera y después definir los parámetros de las mismas, tal como se indica en las Figuras K.10 y K.11 que se presentan a continuación.

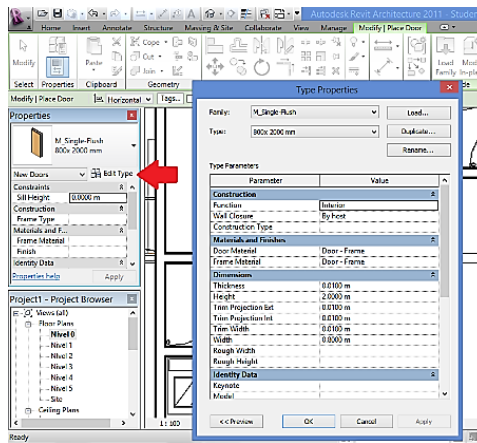


Figura K.10. Creación de puertas en *Autodesk Revit Architecture 11*.

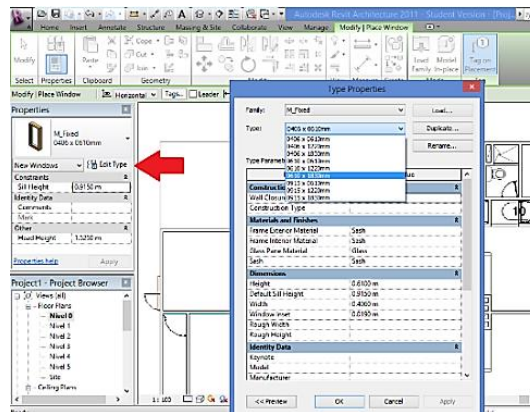


Figura K.11. Creación de ventanas en *Autodesk Revit Architecture 11*.

Por último, se debe seleccionar el muro en el cual se ubica la puerta o ventana, además de la dirección de apertura de la misma. En la Figura K.12 que se presenta a continuación, se muestra la fase del proceso de modelado hasta este momento.

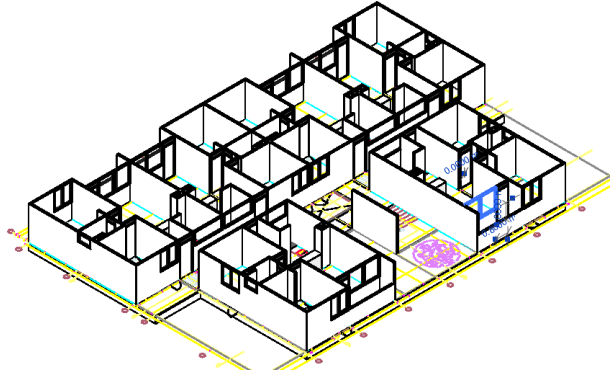


Figura K.12. Proceso de modelado (Puertas y Ventanas en *Autodesk Revit Architecture 11*).

- **Creación de Pisos**

Para crear de los pisos que dividen cada nivel se seleccionó la opción *Floor*, se definió el tipo y los parámetros del mismo. Después de esto, se dibuja el elemento siguiendo la guía del plano. A continuación, en la Figura K.13 se muestra el proceso anteriormente descrito.

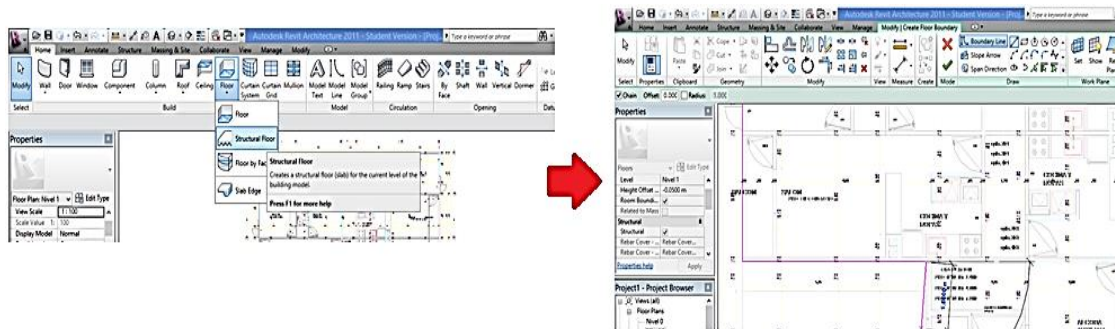


Figura K.13. Creación de un piso en *Autodesk Revit Architecture 11*.

En la Figura K.14 que se presenta a continuación, se muestra la loza de cimentación del edificio con los muros ya creados.

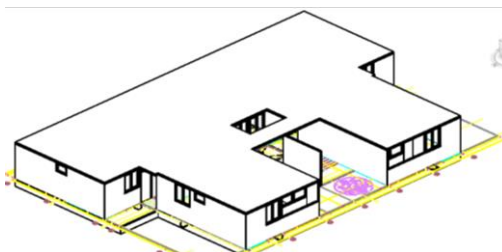


Figura K.14. Proceso de modelado (Creación de piso en Autodesk Revit Architecture 11).

- **Creación de escaleras**

Para la creación de las escaleras se debe pulsar la opción *Stairs*, que se encuentra en la *Home*; posterior a ello, es necesario seleccionar la opción de dibujo para crear la misma.

Se optó por diseñar la escalera mediante la opción *Run*, la cual permite crear la misma a partir de dos tramos rectos perpendiculares, dado que *Autodesk Revit Architecture 11* define por defecto la altura de ésta como la distancia comprendida entre dos niveles.

Así mismo, es necesario definir parámetros como el ancho de la escalera, número y altura de los peldaños de la misma. A continuación en la Figura K.15 se muestra el proceso de diseño de una escalera.

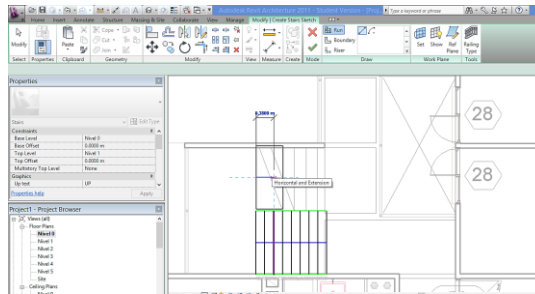


Figura K.15. Creación de escaleras en Autodesk Revit Architecture 11.

A continuación en la Figura K.16, se presenta el modelo de la planta baja y cimentación del proyecto de VIS.

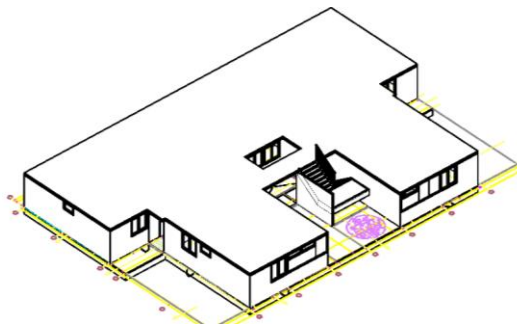


Figura K.17. Proceso de modelado. Creación de escaleras en Autodesk Revit Architecture 11.

- **Creación de barandales**

Para crear el cerramiento de las zonas abiertas en los pisos superiores, se procede a seleccionar la opción *Railing*, donde se pedirá que se dibuje la ubicación del mismo. A continuación, en la Figura K.17 se ilustra el proceso de diseño para los barandales.

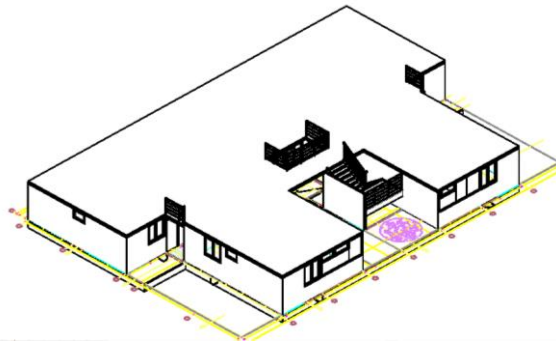


Figura K.17. Barandales creados en *Autodesk Revit Architecture 11*.

- **Configuración de zonas**

Para poder guardar el archivo en la extensión *.XML*, *Autodesk Revit Architecture 11* exige la creación de las zonas térmicas, éstas se crean seleccionando la opción *Room* y pulsando lugar donde se dese crear la misma.

Así mismo, la opción *Room* requiere que la zona sea una región completamente cerrada, por lo cual no se tiene en cuenta los balcones, buitrones y pasillos de la edificación.

Dado que los demás piso poseen los mismos elementos constructivos, por lo que no se ahondara en la explicación del proceso para de diseño para éstos. A continuación en la Figura K.18 se muestra el modelo terminado del edificio.

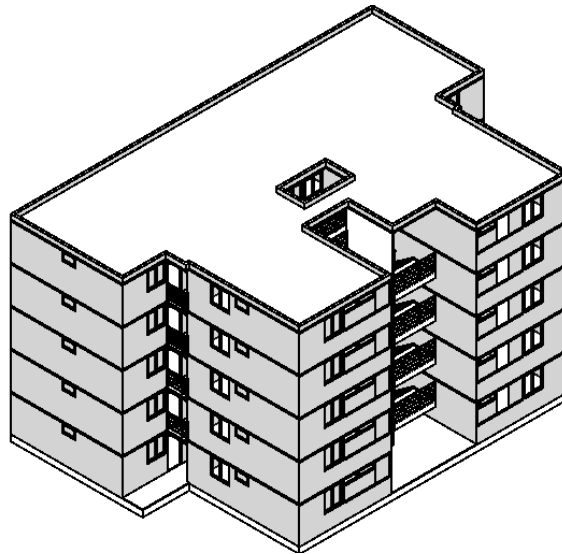


Figura K.18. Modelo tridimensional creado en *Autodesk Revit Architecture 11*.

Asignación de materiales y datos necesarios para simulación

Después de haber creado el modelo tridimensional en *Autodesk Revit Architecture 11*, se exportó el mismo a *Autodesk Ecotect Analysis*, como se mostró en el Capítulo 8. Al importar el modelo, se despliega un cuadro de dialogo donde aparecen las zonas térmicas y los materiales constructivos de la edificación.

Dicho cuadro de diálogo permite modificar los materiales de los elementos constructivos, lo cual se ilustra en la Figura k.19 que se presenta a continuación.

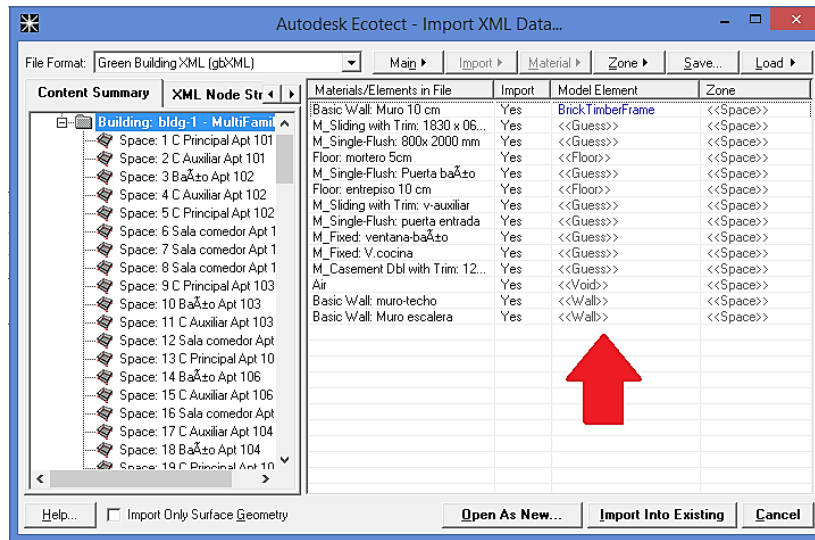


Figura K.19. Asignación de materiales para elementos constructivos en Autodesk Ecotect Analysis.

A continuación en la Tabla K.1 se presenta los materiales seleccionado para los elementos constructivos en *Autodesk Ecotect Analysis*.

Elemento Constructivo	Material	Asignación en la herramienta
Ventanas alcobas	Marco de Acero Cold Rolled con vidrio incoloro de 4 mm	SingleGlazed_Alum-Frame
Ventanas cocina y baño	Celosía de Acero Cold Rolled	SingleGlazed_Alum-Frame
Puertas interiores	Marco de Acero Cold Rolled, panel madera contrachapada	FoamCore_Plywood
Puertas exteriores	Marco y panel de Acero Cold Rolled	FoamCore_Plywood
Muros	Mampostería H-10 con friso de 15 mm	BrickPlaster
Pisos	Entre-pisos de 10 cm en concreto de 2 500 psi reforzado	ConcFlr_Suspended
	Mortero 1:3 de 5 cm	ConcFlr_Suspended_5mm

Tabla K.1. Asignación de materiales en Autodesk Ecotect Analysis.

Otro aspecto a tener en cuenta, es la asignación de los datos característicos de las zonas térmicas creadas. Dichos parámetros se definen tal como se mostró en el Capítulo 8.

A continuación se listan los parámetros de las zonas, y la manera de definirlos en la herramienta *Autodesk Ecotect Analysis*.

Configuración general

En la viñeta *General Settings* del cuadro de dialogo *Zone Properties*, se presentan los parámetros generales de la zona térmica a configurar.

➤ Condiciones internas de diseño

En este ítem se definen los datos de humedad, nivel de iluminación, velocidad del aire y tipo de vestimenta de los ocupantes de la zona. A continuación en la Tabla K.2 se muestran los valores de los parámetros mencionados.

Parámetro	Valor
Nivel de iluminación	300 lux
Velocidad del aire	1 m/s
Humedad	86 %
Vestimenta	1 clo

Tabla K.2. Parámetros de condiciones internas de diseño en Autodesk Ecotect Analysis.

➤ Ocupación y operación

En esta opción se definen las condiciones de ocupación y de operación para cada zona; aquí se debe establecer, el valor de metros cuadrados por persona, la actividad desarrolla y el horario típico de uso de la edificación.

Como se mencionó anteriormente, cada apartamento posee 42 [m²] y 4 ocupantes, dando como resultado 10,5 [m²/persona], el cual se establece en la opción de ocupación.

Para elaborar el horario típico de ocupación de la vivienda, se tuvo en cuenta los días festivos que establecidos en el calendario de Colombia para el 2013. En las Figuras K.20, K.21 y K.22 se observan los perfiles horarios de ocupación.

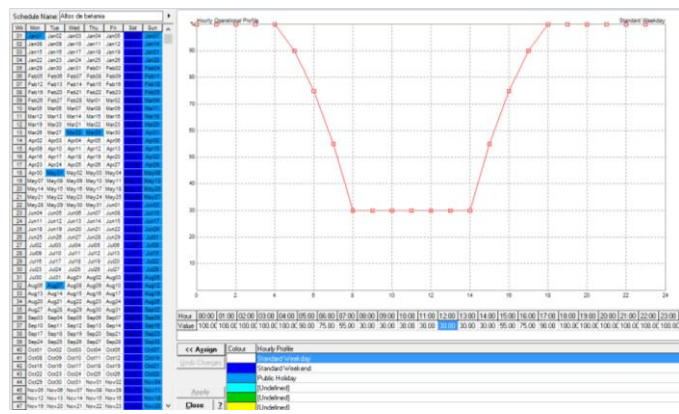


Figura K.20. Horario típico de ocupación de lunes a viernes en Autodesk Ecotect Analysis.

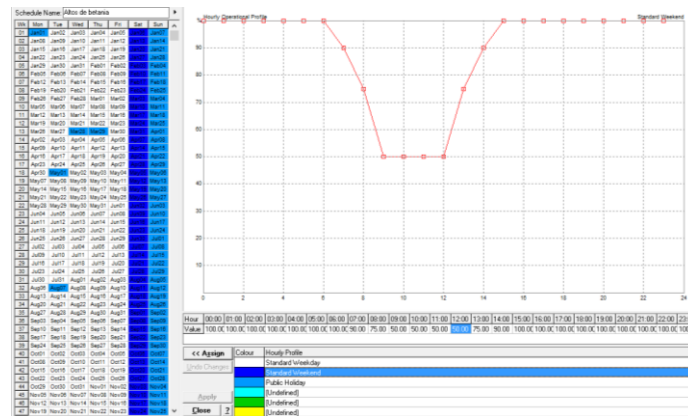


Figura K.20. Horario típico de ocupación para el día sábado en Autodesk Ecotect Analysis.

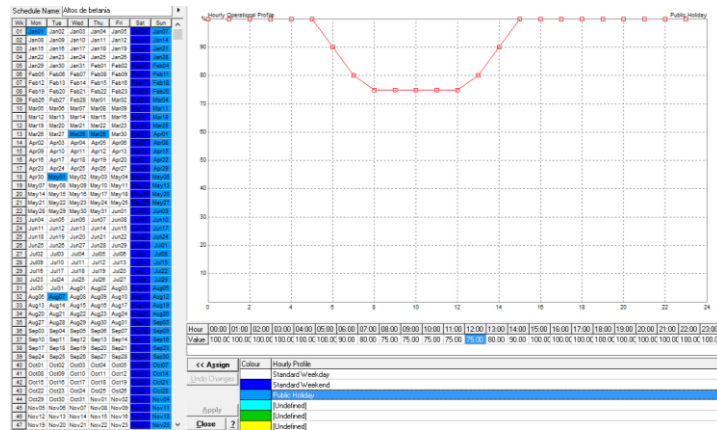


Figura K.21. Horario típico de ocupación para días festivos y dominicales en Autodesk Ecotect Analysis.

Propiedades térmicas

En esta opción, se pueden realizar los cambios concernientes a las propiedades térmicas de la zona, como el tipo de ventilación de la edificación y los valores de la banda de confort; además se pueden cargar los perfiles de iluminación de las mismas.

Fue necesario crear tres perfiles diferentes, que representaran las áreas de cada zona, debido al tipo específico de actividad desarrollada en la misma, esto se realizó en la opción *Edit Profile* de la viñeta *Thermal Properties*.

Así mismo, se estableció el tipo de sistema de ventilación natural y una banda de confort térmico de 22 °C a 26 °C.

A continuación en la Figura K.22 se muestra como se definió el perfil de las alcobas.

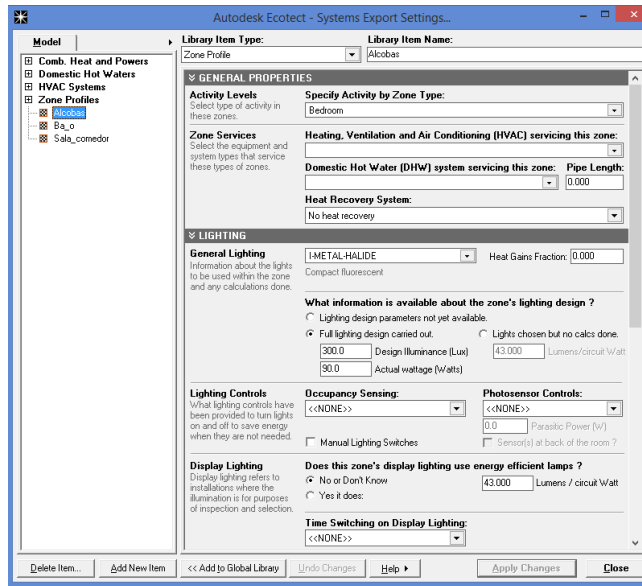


Figura K.22. Creación de perfil de iluminación en Autodesk Ecotect Analysis