



**Análisis de la incidencia del soleamiento y las sombras en una arquitectura
ubicada en clima cálido seco.**

Modalidad: Proyecto de Investigación

Álvaro de Jesús Hernández Sandoval
CC1098799743
Jhon Alexander León Ardila
CC 1098716139

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías
Ingeniería Electromecánica Bucaramanga
(28/07/2022)



**Análisis de la incidencia del soleamiento y las sombras en una arquitectura
ubicada en clima cálido seco.**

Modalidad: Proyecto de Investigación

Álvaro de Jesús Hernández Sandoval
CC1098799743
Jhon Alexander León Ardila
CC 1098716139

Trabajo de Grado para optar al título de: Ingeniería Electromecánica

DIRECTOR

Javier Ascanio Villabona

CODIRECTOR

Karen Tatiana Jaimes Quintero

Grupo de investigación – GISEAC

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de Ciencias Naturales e Ingenierías
Ingeniería Electromecánica Bucaramanga
(28/07/2022)

Nota de Aceptación

Aprobado en el ACTA 29 del 2
SEPTIEMBRE 2022 del comité de proyectos
de grado de Ingeniería Electromecánica
articulado por ciclos propedéuticos con la
Tecnología en Operación y Mantenimiento
Electromecánico

Director: Javier Ascanio Villabona
Evaluador: Obdulio Solano



Firma del Evaluador



Firma del Director

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a Dios principalmente, por habernos permitido llegar a este momento importante dentro del proceso de formación académica, también a nuestros padres por su apoyo en cada uno de nuestros propósitos, por su ayuda incondicional y paciencia. Agradecemos a todos los docentes con los cuales compartimos a lo largo de la carrera, a nuestros familiares y amigos por animarnos en los momentos que sentíamos inalcanzable la meta.

Álvaro de Jesús Hernández Sandoval

Jhon Alexander León Ardila.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto existe como resultado de la perseverancia, el esfuerzo y dedicación y desde luego el trabajo en equipo de quiénes a lo largo de este tiempo hemos compartido conocimientos y capacidades. A nuestros progenitores, quienes en el transcurso de la vida han afirmado, aportado y motivado de manera constante la formación académica. A esta acreditada institución universitaria, la UTS que permitió nuestra formación académica, a cada uno de los docentes del programa de Ingeniería Electromecánica por su dedicación y los conocimientos impartidos y especialmente al docente y director de este trabajo el ingeniero Javier Ascanio, por su tiempo y valiosa labor de orientación.

TABLA DE CONTENIDO

<u>RESUMEN EJECUTIVO</u>	<u>10</u>
<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>11</u>
<u>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</u>	<u>13</u>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	15
1.3. OBJETIVOS	16
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.4. ESTADO DEL ARTE.....	17
<u>2. MARCO REFERENCIAL.....</u>	<u>21</u>
2.1 MARCO TEÓRICO	21
2.1.1 ENFOQUE BIOCLIMÁTICO EN LA ARQUITECTURA	21
2.1.1 CONFORT TÉRMICO	22
2.1.2 TEORÍA DEL BALANCE TÉRMICO	25
2.1.3 ACCESO SOLAR.....	27
2.2 MARCO CONCEPTUAL	28
<u>ACCESO SOLAR:</u>	<u>29</u>

<u>ES LA CONTINUA DISPONIBILIDAD DE LUZ SOLAR DIRECTA QUE POSEE</u>	
<u>UNA EDIFICACIÓN Y SIN OBSTRUCCIÓN DE OTRA DE PROPIEDAD</u>	
<u>(FRANCO & BRIGHT, 2016)..... 29</u>	
<u>3.</u>	<u>DISEÑO DE LA INVESTIGACION..... 31</u>
3.1.	ETAPA I: BÚSQUEDA Y RECOLECCIÓN. 31
3.2.	ETAPA 2: MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DE LA VIVIENDA. 32
3.3.	ETAPA 3: ANÁLISIS DE DATOS 33
<u>4.</u>	<u>DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO..... 34</u>
4.1.	IDENTIFICACIÓN DEL SOFTWARE 35
4.2.	SELECCIÓN ZONA DE CASO DE ESTUDIO 37
4.3.	DATOS CLIMÁTICOS 38
4.4.	MODELADO EN EL SOFTWARE ECOTECT 39
4.4.1.	MODELADO..... 40
4.4.2.	ASIGNACIÓN DE MATERIALES..... 42
4.4.3.	DEFINICIÓN DE LA UBICACIÓN 43
4.4.4.	CARGAR DATOS CLIMATOLÓGICOS 44
4.5.	SIMULACIÓN..... 45
<u>5.</u>	<u>RESULTADOS..... 46</u>
<u>6.</u>	<u>CONCLUSIONES..... 54</u>
<u>7.</u>	<u>RECOMENDACIONES 55</u>
<u>8.</u>	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 56</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fuentes de estrés térmico en las personas.....	23
Figura 2. Diagrama Bioclimático.....	25
Figura 3. Localización y Orientación de la vivienda.....	37
Figura 4. Localización de estación meteorológica.....	39
Figura 5. Descripción del cambio de sistema de unidades del programa Ecotect.	40
Figura 6. creación de la primera planta	40
Figura 7. Barra lateral izquierda con selección en Visualise	41
Figura 8. Dibujo 3D de la vivienda de estudio.	41
Figura 9. cuadro de dialogo para seleccionar los materiales de cada elemento. ...	43
Figura 10. Definición de la ubicación de la vivienda en Ecotect	44
Figura 11. Cargar datos climatológicos al programa Ecotect, extraídos del trabajo de monitoreo de la vivienda caso de estudio.	44
Figura 12. Selección de la pestaña análisis para iniciar con la simulación.	45

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Descripción general de la vivienda.....	38
Tabla 2. Materiales de acabado del edificio.....	42
Tabla 3. Diagrama de la trayectoria de incidencia solar sobre la vivienda en los 12 meses del año, con la hora de pico inicial y final.....	46
Tabla 4. Resultados de la temperatura operativa y temperatura externa de la vivienda caso de estudio.....	51

RESUMEN EJECUTIVO

En la última década, el análisis de la sombra o la luz solar en proyectos arquitectónicos se ha convertido en un papel importante en la mejora del rendimiento térmico y de iluminación de los edificios (Harrison & Jiang, 2018). Por lo tanto, este proyecto realiza el análisis de incidencia del soleamiento y sombras de una vivienda caso de estudio donde se presenta un clima cálido seco mediante la herramienta computacional Ecotect. El desarrollo de este trabajo se lleva por medio de la metodología de investigación experimental con enfoque cuantitativo; para empezar, se recopila la información requerida sobre la vivienda como la geometría, dimensionamiento, ubicación, materiales de construcción para alimentar el programa. Posteriormente se modela y simula obteniendo los resultados del análisis de sombras y la temperatura operativa interna y exterior de la vivienda. los resultados indican que la envolvente de la vivienda caso de estudio no es homogénea ni estanca, esto se debe por las pérdidas y ganancias de calor detectadas durante el año analizado

PALABRAS CLAVES: sombra, luz del sol, herramienta computacional, edificio

INTRODUCCIÓN

La energía es un recurso esencial en casi todos los aspectos de la vida . En los países desarrollados, la demanda y el consumo de energía ahora tienen impactos ambientales, sociales y económicos críticos debido al crecimiento de la población, el desarrollo tecnológico y el progreso económico (Nematchoua et al., 2019). Dado que el sector de la edificación es uno de los principales contribuyentes al consumo de energía , se han propuesto una variedad de estrategias innovadoras para reducir el consumo de energía de los edificios. Una de estas estrategias involucra el estudio de los efectos del sombreado en las estructuras y el uso de la energía solar (Bellia et al., 2018).

En términos generales, el análisis de sombras describe el proceso mediante el cual se estudian los perfiles de sombra de un objeto y su entorno en un momento determinado del día o durante determinados días del año con el fin de aprovechar la radiación solar o bloquearla (Babota et al., 2018). Fundamentalmente, existen tres tipos de herramientas para el análisis de sombras: diagramas de trayectoria solar, dispositivos de heliodón y paquetes de software (Palmero & Oliveira, 2010). Los diagramas de trayectoria solar son herramientas con formato gráfico que determinan los cambios aparentes de posición del sol en cualquier momento del día a lo largo del año (Ralegaonkar & Gupta, 2019)

Estas herramientas son duraderas pero caras de fabricar. Se han introducido paquetes de software para abordar una amplia gama de simulaciones y análisis energéticos de edificios. Estas herramientas han mejorado significativamente la productividad del diseñador (Pawar & Kanade, 2018).

El software de Autodesk Ecotect, que es una herramienta integral de diseño ambiental que cubre una amplia gama de funciones de simulación y análisis necesarias para comprender realmente cómo funcionará y se desempeñará el diseño de un edificio. Los principios de diseño ambiental, como la energía solar, térmica, de sombreado, de iluminación y de flujo de aire, se abordan con mayor eficacia en las primeras fases del proceso de diseño (Sokkar & Alibaba, 2020). Con las herramientas de Ecotect, los arquitectos e ingenieros pueden medir cómo los criterios fundamentales afectarán el rendimiento del edificio en las fases conceptual y detallada del diseño. Los arquitectos y diseñadores trabajan fácilmente en 3D y aplican una amplia gama de herramientas que son importantes para que nuestros clientes impulsen y respalden un futuro sostenible y eficiente en el uso de la energía (Khosla & Sharma, 2019).

A partir de lo anterior en este proyecto se realiza el análisis de la incidencia del soleamiento y las sombras en una vivienda caso de estudio ubicada en clima cálido seco. Esto se realiza por medio de la metodología de investigación de tipo experimental con un enfoque cuantitativo, donde se inicia con la recopilación de los datos requeridos para ingresar en el software de análisis Ecotect; una vez ingresados los datos en el programa se modela la vivienda y posteriormente se realizan los análisis de incidencia durante el año 2022 (desde enero hasta diciembre), obteniendo las figuras de las trayectorias de incidencia de las sombras sobre la vivienda y las temperaturas internas en ella y temperaturas externas en el ambiente.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las condiciones de habitabilidad de cualquier arquitectura o construcción, depende de diversos factores, entre los que se considera el confort, los métodos constructivos empleados, el uso de materiales adecuados y la valoración de los factores de luz y sombra para aprovechamiento de espacios según el diseño. Sin embargo, el soleamiento, es un elemento indispensable, a la hora de considerar el ingreso del sol en ambientes interiores o espacios exteriores donde se busque alcanzar el confort higrotérmico. Lo que se busca con el soleamiento es el aprovechamiento de la luz solar y de otra parte, la bioclimática (Ugarte, 2019)

Existe por tanto una relación entre confort higrotérmico y soleamiento para las construcciones o arquitecturas, puesto que se evalúan y analiza el impacto de factores tales como la humedad, temperatura y ventilación de los espacios habitados y se relaciona directamente con las características de la vivienda, con el clima del entorno y con los habitantes. De todos estos factores, la reglamentación térmica (la cual no existe de manera formal y concreta aun en Colombia) regula específicamente los aspectos térmicos (Cancino & Fuentes, 2015).

Frente a las condiciones o exigencias de confort adecuadas y su relación con el soleamiento, autores como (Courret & Cabrera, 2014), sostienen que, la protección solar de los cierres exteriores de los edificios es un requisito esencial para la eficiencia energética en casi todos los climas. Lo que se busca es aprovechar la

entrada del sol en los espacios interiores en los meses de verano en los climas templados e incluso fríos, pero en los climas cálidos resulta imprescindible.

Sin embargo, es necesario adelantar estudios sobre la afectación por soleamiento y las sombras en una arquitectura ubicada en clima cálido seco. Lo antes descrito se fundamenta en la necesidad de adelantar este tipo de investigaciones, debido a que en la zona de estudio (clima cálido seco) no hay trabajos previos de los que se necesitan mayores datos e información, para poder efectuar una evaluación más precisa sobre la incidencia del soleamiento y las sombras en una arquitectura para clima cálido-seco.

Por consiguiente, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué parámetros se deben considerar a la hora de efectuar un análisis del soleamiento y las sombras de una arquitectura en clima cálido seco, para establecer el comportamiento lumínico, térmico y de viento?

1.2. JUSTIFICACIÓN

En el caso de cualquier tipo de edificación o construcción se puede readaptar y transformar dependiendo de la necesidad del usuario; motivo por el cual es necesario el estudio de diferentes alternativas de adaptación para la mejor integración de los edificios al entorno, como por ejemplo la integración de una construcción frente a fenómenos climatológicos como por ejemplo el la luz solar y el viento, ya que la flexibilidad de este sistema se verá limitada bajo estas condiciones, las cuales darán pautas de diseño más acordes para un mejor manejo de espacios en los edificios arquitectónicos de cualquier ciudad (Leiva, 2017)

Aunado a lo anterior cabe referir que, en diferentes tipos de climas, es necesario efectuar el análisis de la iluminación natural y el soleamiento, en la medida en que esto permite establecer parámetros para el diseño adecuado de las aberturas de una edificación (forma, tamaño, protección, etc.) (Hernández, 2018).

De lo que antecede se puede afirmar, que el desarrollo de esta investigación, es de suma importancia, en la medida en que expone como una construcción, o arquitectura, puede y debe responder a las condiciones ambientales de una región, a partir de un acondicionamiento ambiental. Sobre todo, es de suma relevancia, en la medida, en que permite superar el comportamiento térmico de las viviendas que se han construido, reconociendo la necesidad de aprovechar mejor e integrar el medio ambiente o entorno donde se desarrolla una construcción.

Además, con el desarrollo de esta propuesta de investigación, se plantea debido al creciente interés de la problemática energética a nivel mundial frente a la necesidad de incluir dentro del diseño de edificios el aprovechamiento al máximo de

las características medioambientales proporcionadas por el lugar de sitio. Por lo que la tendencia es la implementación de las técnicas pasivas de climatización.

Finalmente cabe indicar que este estudio contribuye a llenar un vacío de conocimiento que es desarrollado desde el campo de la ingeniería electromecánica, en la medida en que se necesita esto para estudios iniciales de investigación en arquitecturas de clima cálido seco, al tiempo que se analizan los espacios climatizados con el objetivo de demostrar el posible impacto de la incidencia solar en la reducción del consumo energético de una edificación.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar el soleamiento y las sombras de una arquitectura en clima cálido seco, por medio de una herramienta computacional, para establecer el comportamiento lumínico, térmico y de viento

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la zona de la arquitectura y comportamiento climático, estableciendo los parámetros iniciales de diseño para poder efectuar una evaluación más precisa sobre la incidencia del soleamiento y las sombras en una arquitectura para clima cálido-seco.
- Realizar el modelamiento con los parámetros adquiridos para establecer el comportamiento lumínico, térmico y de viento, mediante el uso del software ECOTEC, para obtener el análisis y visualización de sombras, de la radiación solar y de luz diurna.

- Analizar los resultados lumínicos, de temperatura y viento de una arquitectura en clima cálido seco.

1.4. ESTADO DEL ARTE

Para minimizar el consumo de energía, hay muchas iniciativas tomadas por varias instituciones para que los edificios de nueva construcción tengan en cuenta el consumo eléctrico de los edificios. El consumo de energía se puede reducir en la etapa de diseño utilizando los conocimientos de climatología, ingeniería solar, etc. Para estimar el consumo de energía de un edificio, el consumo de energía se analiza utilizando varios métodos. Por lo que, los autores Pawar & Kanade (2018) en su trabajo de investigación sobre optimización energética de edificios con Design Builder Software destacan que mediante el uso de software de simulación de diseño de edificios, en la construcción de nuevas viviendas se puede proyectar la mejor orientación del edificio que proporciona una mayor eficiencia energética.

Por otra parte, los autores Wang et al. (2017) evaluaron el potencial de utilizar el modelo de información de construcción (BIM) para realizar un análisis del ciclo de vida (LCA) de todo el edificio. El consumo de energía del ciclo de vida y las emisiones de CO₂ de un edificio universitario en el medio oeste se calcularon utilizando Autodesk® Ecotect y el modelo BIM. El estudio comparó el rendimiento del ciclo de vida, es decir, CO₂ emisiones y consumos energéticos, entre diferentes configuraciones de diseño, así como su distribución en las etapas de vida del edificio. El análisis de sensibilidad se realizó cambiando varios parámetros alternativos, para identificar qué parámetro tiene más impacto en el rendimiento del edificio. Los resultados preliminares indicaron que el rendimiento del ciclo de vida de todo el edificio se ve afectado por varios parámetros de diseño, con diferentes

grados de sensibilidad. Las conclusiones del estudio son: 1) La combinación de Ecotect y el modelo BIM proporciona una herramienta conveniente para realizar LCA de todo el edificio a través del flujo de datos más fácil del modelo BIM a Ecotect. La carga de trabajo de entrada de datos para el LCA de todo el edificio se puede reducir significativamente. 2) El consumo de energía en la etapa de operación domina el consumo de energía del ciclo de vida del edificio.

Peng (2019) realiza un análisis de sensibilidad cambiando varios parámetros para identificar los parámetros que tienen el mayor impacto en el rendimiento de un edificio. Una comparación de las emisiones de carbono del ciclo de vida para cada etapa mostró que la etapa operativa es la que más contribuye a las emisiones de carbono. Aproximadamente el 85,4% de las emisiones totales de carbono se generaron durante la operación. Los autores mencionan que que Ecotect y el modelado de información de construcción pueden ser útiles para simplificar la estimación de las emisiones de carbono durante el ciclo de vida de un edificio porque pueden proporcionar la mayoría de la información y las herramientas de cálculo necesarias para realizar una evaluación del ciclo de vida (ACV), lo que puede paliar el problema de información insuficiente al ejecutar un LCA de un edificio.

En particular, el desarrollo de enfoques prácticos que tengan en cuenta los efectos de sombra detallados en escenarios complejos puede ser un desafío computacional, y no está claro cómo se comparan los diferentes enfoques cara a cara en contextos urbanos y con superficies de cosecha definidas libremente. En el trabajo de Arias & LeDuc (2022), desarrollaron y demostraron cuatro enfoques de modelado de sombras en escenas urbanas de diversa complejidad; se caracteriza la exactitud y la precisión frente al costo computacional; Las tendencias en tiempo

de ejecución se analizan como funciones de la complejidad de la escena y se examinan las implicaciones de la estimación de energía. Los enfoques convergen dentro de desviaciones del 1%, y el enfoque de mayor rendimiento es tres órdenes de magnitud más rápido que el más costoso desde el punto de vista computacional.

En un entorno urbano, los sistemas fotovoltaicos (PV) integrados de edificios conectados a la red pueden estar sujetos a patrones de sombreado complejos. El estudio de las sombras que proyectan los edificios cercanos y otros elementos alrededor de una superficie fotovoltaica permite reducir las pérdidas de energía debidas al sombreado parcial del módulo y mejorar el ratio de rendimiento del sistema, de modo que los costes de producción de energía pueden ser menores. Los autores Melo et al. (2017) en su estudio presentan una metodología que estima el factor de sombreado irradiación sobre un modelo tridimensional de una superficie receptora en un entorno urbano. Las principales innovaciones introducidas por esta metodología son la construcción de una matriz de sombreado compuesta por valores de factor de sombreado directo alrededor de todo el domo del cielo y el análisis de los impactos de sombreado en componentes de radiación solar directa, difusa isotrópica, difusa circunsolar y difusa iluminante del horizonte. Los autores obtuvieron una serie de resultados similares entre las mediciones reales y las estimaciones realizadas por el complemento.

Los autores Erdélyi et al., (2018) en su proyecto evaluaron la radiación solar directa y difusa potencial agregada en un punto de una zona urbana. Con el modelo de radiación solar tridimensional (3D) (SORAM), el documento realiza contribuciones clave. En primer lugar, el modelo demuestra el uso de una distribución de edificios de la ciudad generada aleatoriamente y un mapa del terreno para simular la

exposición a la radiación solar urbana en 3D en cualquier momento o durante un período de tiempo seleccionado y, validaron los resultados utilizando datos empíricos de luz solar medidos en un área urbana real.

Por ultimo los autores Bani & Jalal (2019), estudiaron la distribución del área de sombra de elementos verticales montados en cubiertas planas en cuanto a su impacto en las oportunidades de aprovechamiento de la energía solar y su efecto positivo en la obstrucción de la transferencia de calor no deseada. Los autores asumieron varios casos para la posición de un ático sobre cubiertas planas de unidades de vivienda. En cada caso estudiaron la distribución espacial de la sombra sobre la cubierta anfitriona y sus vecinas. Dentro de los resultados encontraron que la relación constante general entre la sombra anual promedio y el área lateral de una forma rectangular es 0.88. La mayor insolación positiva obstruida está en orientaciones de 0° y posición de ático de 180° en 413 kWh/m² /año. Generalmente, la posición trasera del ático funciona mejor que las posiciones central y delantera en términos de obstruir la transferencia de calor negativa.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Enfoque Bioclimático en la Arquitectura

El enfoque bioclimático, se trata de la búsqueda de una arquitectura eficiente cuyo objetivo final es mejorar la calidad de vida. Se aborda desde una composición de soluciones arquitectónicas a partir del conjunto de técnicas y los materiales disponibles, con miras a conseguir el resultado del confort deseado, conforme con las exigencias del usuario y a partir del clima local (De Asiain, 2017). La concepción bioclimática es ante todo una especie de compromiso cuyas bases son:

- ✓ Un programa de arquitectura
- ✓ Un paisaje
- ✓ Una cultura
- ✓ Unos materiales locales
- ✓ Cierta noción del bienestar y del abrigo
- ✓ Y cuya síntesis es la envoltura habitable

El buen comportamiento bioclimático de la arquitectura ha de pasar por entender y optimizar, en relación con el edificio, los ciclos de materia, energía e información. La postura Bioclimática se basa principalmente en la búsqueda del confort, y éste, se relaciona directamente con la sensación de bienestar. En el confort influyen multitud de factores, físicos y psicológicos. En general podemos decir que los aspectos que incorpora la postura Bioclimática se desarrollan a partir de una búsqueda del confort físico, psicológico, y cultural. El confort físico se busca a través

de la consideración de aspectos biofísicos y constructivos, el confort psicológico y cultural se introduce a partir de la consideración de aspectos antropológicos – culturales e igualmente constructivos.

Se debe hablar por tanto de aspectos climático-térmicos. Hacen referencia a dos puntos fundamentales: la calidad del aire para la respiración, con sus posibles olores, de difícil evaluación y que se suele considerar a través del parámetro de renovación del aire; y el confort térmico, donde intervienen los complejos fenómenos de intercambio de energía entre el cuerpo y el ambiente y que se suele considerar a través de los parámetros de temperatura del aire y temperatura radiante, humedad del aire, ventilación (velocidad del aire), etc. (De Asiain, 2017).

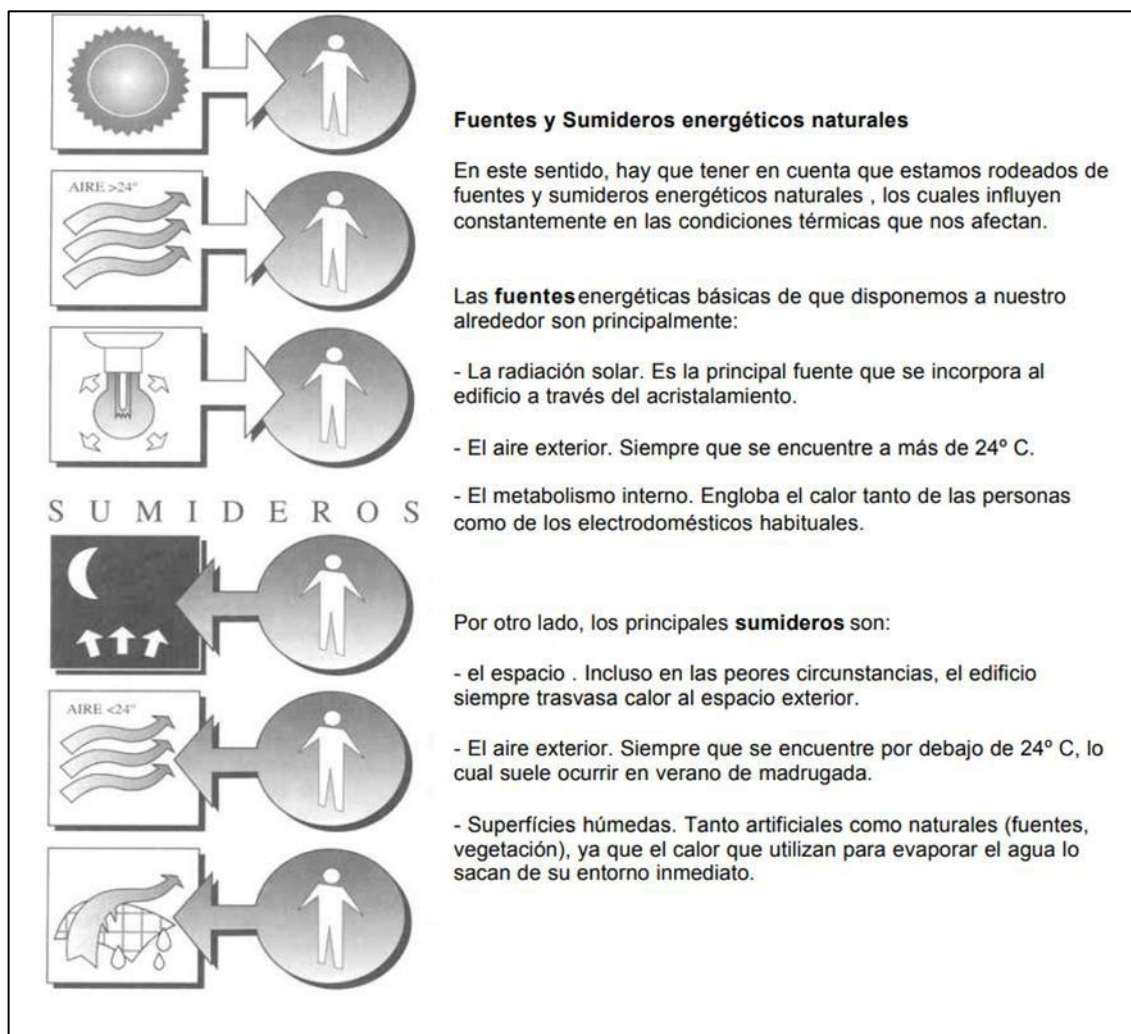
2.1.1 Confort térmico

El confort térmico es una manifestación subjetiva de satisfacción con el medio ambiente y el recinto que una persona ocupa, este se encuentra relacionado directamente con el balance térmico del cuerpo humano, motivo por el cual, la importancia de estudiar las situaciones de estrés térmico en las personas que desarrollan algún tipo de actividad continuamente en los edificios (Sokkar & Alibaba, 2020) (ver Figura 1)

Dentro de los aspectos en el ambiente que afectan el confort térmico, podemos encontrar, la temperatura, la humedad y la velocidad del aire, todos ellos relacionados en el diagrama psicrométrico. Existen diversas formas de transmisión de calor (conducción, convección y radiación), desarrollándose métodos que permiten evaluar en qué medida se alcanzan las condiciones higrotérmicas de

confort, tales como: el método de la temperatura efectiva fundamentado en la velocidad del aire, la temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo en un recinto y el método de Fanger que ha sido el más utilizado para estimar la temperatura de confort (Sun et al., 2022).

Figura 1. Fuentes de estrés térmico en las personas



Fuente: (Sun et al., 2022).

El confort térmico depende de distintos parámetros (Sun et al., 2022). De modo específico, cuatro parámetros físicos caracterizan el ambiente térmico y determinan las condiciones de confort (Ver Figura 2):

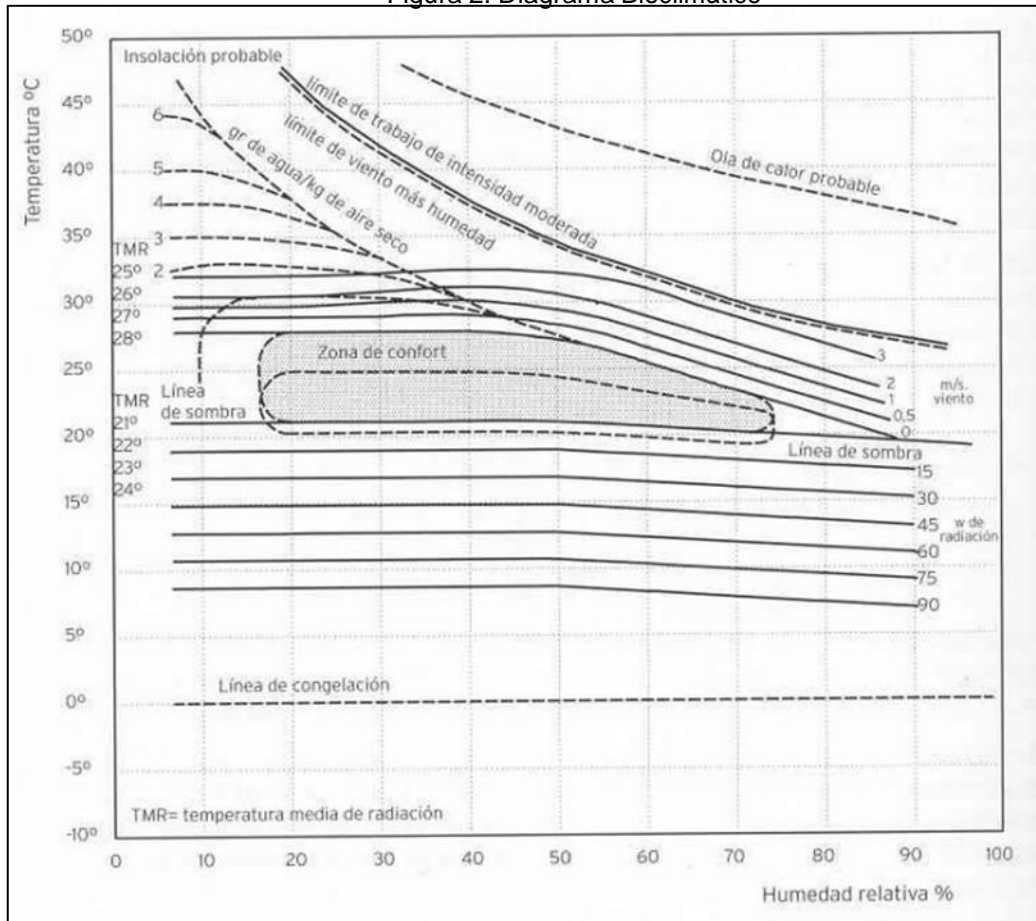
1) La temperatura del aire: afecta los intercambios de calor con y sin transferencia de masa (secos y húmedos), así como el coeficiente de transferencia de calor.

2) Velocidad del viento: afecta en gran medida las pérdidas por convección y evaporación. Cerca del cuerpo vestido, el movimiento del cuerpo puede incrementar la velocidad. Una velocidad mínima de 0,1 m/s, existe siempre, debido a un movimiento permanente de aire natural en todas partes.

3) Humedad relativa: presenta un pequeño impacto cuando no hay sudor, entonces, el intercambio de calor latente respiratorio y la transpiración de la piel son las dos únicas transferencias asociadas a la humedad. De lo contrario, la humedad del aire, afecta fuertemente la evaporación del sudor, y, por lo tanto, la humedad de la piel.

4) La temperatura media radiante: que es la temperatura superficial uniforme de un recinto negro con el cual un individuo intercambia el mismo calor por radiación, que el que intercambia con el entorno real evaluado “Para los espacios exteriores, la temperatura media radiante representa la temperatura superficial uniforme de un recinto ficticio, en el que todas las superficies del recinto se encuentran en la misma temperatura” (Widiastuti et al., 2020).

Figura 2. Diagrama Bioclimático



Fuente: (Sun et al., 2022)

2.1.2 Teoría del balance térmico

Lo que es denominado hoy en día como modelo de balance térmico fue creado por Povl Ole Fanger (1934-2006) publicando hacia 1973 su primer escrito llamado la influencia de las condiciones climáticas en interiores de edificios sobre el ser humano, en este espacio, se define por primera vez dos métodos para cuantificar el confort, PPD (predictive percentage dissatisfied) Porcentaje Previsto de Insatisfechos y PMV (predictive mean vote) Voto Medio Previsto (Chrenko, 1980).

Estos métodos de balance han sido adoptados en la actualidad para los estándares de confort térmico. Durante los experimentos estadísticos se demostró que el disconfort con base en el frío se ve estrechamente relacionado con la temperatura media de la piel y el disconfort por calor se relaciona con la humedad de la piel debido a la sudoración. Las teorías elaboradas por Povl Ole Fanger se basan en experimentos realizados a 1.296 jóvenes en cámaras térmicas donde la vestimenta, la actividad realizada y la exposición a varios ambientes térmicos, demostraban que la población indicaba su confort con base a siete puntos de sensación térmica siendo representado de (-3) a (+3) como negativos por sensación de frío y positivos por sensación de calor, calificando el (0) como una posición neutral (Chrenko, 1980).

Este modelo Fanger combina la teoría de balance térmico con la fisiología y la termorregulación, determinando rangos de confort para los ocupantes del edificio con temperaturas adaptables. Fanger observó que el sistema termorregulador del hombre es mucho más eficiente debido a su capacidad de crear un ambiente en confort, incluso con variables climáticas, donde el equilibrio térmico no contaba con condiciones de confort. El cuerpo se adapta de forma rápida o lenta dependiendo del ambiente en el que se encuentre, de acuerdo con las teorías planteadas por Fanger, el cuerpo emplea mecanismos de defensa fisiológicos hacia el ambiente como la vasodilatación, la sudoración y el temblor del cuerpo con el objetivo de balancear la temperatura interna (Castilla et al., 2010).

Estos métodos PMV y PPD descubiertos por Fanger, creó un inicio en las teorías relacionadas con el confort térmico y la valoración térmica en ambientes interiores como oficinas de trabajo: Sin embargo, se trata de un modelo estacionario, por lo tanto, no tiene en cuenta las variaciones de temperatura a lo largo del día, que es

resultado de investigaciones en cámaras térmicas y que solo es aplicable a humanos expuestos a un largo periodo en condiciones constantes y con una tasa metabólica constante (Chrenko, 1980).

2.1.3 Acceso solar

Según Franco & Bright (2016) con el objetivo de aprovechar la energía del sol, el dueño de una propiedad debe tener acceso a la luz solar y a instalar un sistema recolector de energía que pueda utilizar. En consecuencia, la consideración del acceso solar en los Estados Unidos se apoya en las servidumbres solares (Solar Easement Law), que se ocupan del acceso a la luz solar y los derechos de solares (Solar Rights Act of 1978), que soportan el derecho a instalar un sistema recolector de energía solar.

El acceso solar a un edificio está determinado por cuatro factores: la latitud, la pendiente del terreno, su forma y la orientación. El acceso solar para una ciudad (o cualquier otro entorno urbano) se encuentra determinado por tres factores adicionales como la altura de las edificaciones, la proporción de las calles y la orientación de las mismas (Franco & Bright, 2016).

Actualmente existen dos grandes enfoques para las reglamentaciones de acceso solar: el método de actuación (horas mínimas de asoleación) y el método descriptivo (proyección de sombras que buscan establecer las alturas máximas para las edificaciones). Según la regulación de acceso solar y los derechos solares se pueden aplicar tres niveles sobre la base de los dos enfoques mencionados anteriormente:

- El nivel básico, Apoyado en el enfoque del rendimiento, el cual define la cantidad requerida de radiación solar para cada orientación, ubicación urbana y zona climática.
- El segundo nivel, basado en el enfoque de rendimiento. Indica las horas de insolación que cumplan los requisitos de captación de radiación solar
- El tercer nivel es el método descriptivo. En este se presenta el empleo de las líneas de sección solares como una herramienta simple para garantizar el acceso solar y los derechos solares.

Líneas de sección.

las líneas de sección para el método descriptivo se basan en el concepto de la envolvente solar, que fue creada para que cualquier construcción en su interior tendrá satisfechos sus derechos solares a la vez que no violará los de las construcciones o parcelas del entorno. Cada línea de sección representa el ángulo del sol en el periodo más crítico (Cuadros & Moreno, 2019).

2.2 Marco Conceptual

A continuación se presentan los principales conceptos relacionados con el cuerpo teórico del presente proyecto y que se enuncian para el desarrollo del tema aquí planteado.

Acceso Solar:

Es la continua disponibilidad de luz solar directa que posee una edificación y sin obstrucción de otra de propiedad (Franco & Bright, 2016).

Confort higrotérmico:

Son los factores de humedad, temperatura y ventilación de los espacios habitados y se relaciona directamente con las características de la vivienda, con el clima del entorno y con los habitantes (Franco & Bright, 2016).

Requerimientos Ambientales Interiores:

En el caso de los espacios climatizados, toda construcción debe satisfacer dos requerimientos: reducir la radiación solar directa que incide en la fachada y penetra por las ventanas, y a la vez, favorecer el cumplimiento de los requisitos de iluminación natural interior, dejando penetrar la cantidad necesaria de radiación difusa (Couret & Cabrera, 2014)

Sombra:

Las superficies que no quedan expuestas al Sol en una hora determinada están en sombra. La sombra propia es la superficie real que está sin recibir iluminación directa de la fuente radiante de luz (Cuadros & Moreno, 2019).

Técnicas pasivas de climatización:

Es cuando la energía transferida para y desde el edificio, se da por medio de un proceso natural, por conducción, convección y radiación, donde intervienen los componentes del edificio, tratando de que la intervención de sistemas mecánicos externos sea mínima (Cuadros & Moreno, 2019).

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

De acuerdo con las simulaciones realizadas en el software Autodesk Ecotect Analysis, este proyecto de investigación es de tipo experimental debido a posibilidades de elegir y modificar variables dentro de la herramienta de diseño, con el fin de obtener el comportamiento de la vivienda caso de estudio y utilizando un enfoque cuantitativo.

Según Hernández et al. (2014) el enfoque cuantitativo consta de una secuencia de procesos los cuales son probados, por lo que cada etapa precede de la siguiente; donde se establece la hipótesis y se determinan las variables relevantes para su posterior diseño y de ahí analizar por medio de métodos estadísticos, los valores obtenidos en las mediciones. Por lo tanto, se plantean las siguientes etapas metodológicas:

3.1. ETAPA I: Búsqueda y Recolección.

Para realizar el estudio, se inicia con la búsqueda y recopilación de estudios, tesis de grado, ponencias, congresos, capítulos de libros, revistas indexadas y artículos científicos encontrados en bases de datos. Para esta búsqueda se hace necesario el uso de palabras claves, en este caso son: “análisis de una vivienda con Ecotect”, “análisis de sombras”, “análisis de la incidencia del sol en una vivienda”, “software Ecotect”.

Esto se hace con el fin revisar la literatura disponible y de ahí definir las variables implícitas en el contexto tanto externo como interno del estudio. Entendiendo como,

“variables externas”	haciendo referencia a condiciones	y características
ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR: Asesor de planeación
Oficina de Investigaciones	soporte al sistema integrado de gestión	FECHA APROBACION:

relacionadas con el clima, incidencia solar, ventilación externa y variables internas a los factores endógenos del proyecto arquitectónico como uso, ventilación interna y materialidad.

Adicional a lo anterior, se debe determinar las condiciones climáticas de la zona donde se encuentra ubicada la vivienda caso de estudio, esta información se extrae de repositorios de datos climáticos de organismos internacionales como la Climate One Building, el cual dispone de datos climáticos compatibles con software de simulación como Energy Plues, DaySim y en este caso Ecotect.

3.2. ETAPA 2: Modelamiento y Simulación de la vivienda.

En esta etapa, se definen los datos constructivos que se necesitan inicialmente para ser introducidos en el software Ecotect para obtener el modelamiento estructural de la vivienda caso de estudio, los cuales son mencionados a continuación:

- Dimensiones de la vivienda
- Distribución de espacios
- Orientación de la vivienda
- Materiales de construcción (información recogida durante una inspección de campo realizada en la vivienda)
- Coordenadas de ubicación

A partir de lo anterior, se realizan las simulaciones con las condiciones climáticas recopiladas en la etapa anterior.

3.3. ETAPA 3: Análisis de datos

Se realiza un análisis de los datos obtenidos en la etapa anterior, con el fin de definir el comportamiento lumínico, térmico y del viento de la vivienda caso de estudio.

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

La energía es un recurso esencial en casi todos los aspectos de la vida (Nematchoua et al., 2019). En los países desarrollados, la demanda y el consumo de energía ahora tienen impactos ambientales, sociales y económicos críticos debido al crecimiento de la población, el desarrollo tecnológico y el progreso económico. Dado que el sector de la edificación es uno de los principales contribuyentes al consumo de energía (Ramesh et al., 2019), se han propuesto una variedad de estrategias innovadoras para reducir el consumo de energía de los edificios. Una de estas estrategias involucra el estudio de los efectos del sombreado en las estructuras y el uso de la energía solar (Bellia et al., 2018).

En términos generales, el análisis de sombras describe el proceso mediante el cual se estudian los perfiles de sombra de un objeto y su entorno en un momento determinado del día o durante determinados días del año con el fin de aprovechar la radiación solar o bloquearla (Babota et al., 2018). Fundamentalmente, existen tres tipos de herramientas para el análisis de sombras: diagramas de trayectoria solar, dispositivos de heliodón y paquetes de software. Los diagramas de trayectoria solar son herramientas con formato gráfico que determinan los cambios aparentes de la posición del sol en cualquier momento del día a lo largo del año (Ralegaonkar & Gupta, 2019). Un heliodón es un dispositivo mecánico para simular los cambios de posición estacionales y horarios del sol a través de una fuente de luz artificial y un mecanismo de posicionamiento. Estas herramientas son duraderas pero caras de fabricar. Se han introducido paquetes de software para abordar una amplia gama de simulaciones y análisis energéticos de edificios. Estas herramientas han mejorado significativamente la productividad del diseñador (Sheng et al., 2019).

4.1. Identificación del Software

La metodología para analizar la luz solar/sombreado por medio de un software sobre un edificio consiste en ubicar en la herramienta la edificación de estudio en la posición geográfica con la latitud y longitud del sitio del terreno, y observar la sombra proyectada sobre el modelo.

El análisis de sombreado o asoleamiento en la etapa de proyecto arquitectónico representa una excelente estrategia para reducir el consumo eléctrico (Pawar & Kanade, 2018) y garantizar el confort térmico del usuario (Aram & Alibaba, 2019b; Esabegloo et al., 2016), mientras que se revisa el confort ligero (Moussa & Moawad, 2020; Valladares-Rendón et al., 2017), porque depende de la orientación, la envolvente del edificio y la relación entre la pared sólida y la pared transparente o abertura para identificar el balance de energía por Ganancia Solar Directa, así como los requisitos de carga de energía para el aire acondicionado (Sokkar & Alibaba, 2020).

A nivel urbano, el análisis de sombreado con herramientas computacionales permite diseñar estrategias para aumentar las áreas peatonales que provoquen actividades al aire libre entre los espacios abiertos de los edificios y garantizar el confort térmico como en las explanadas, así como encontrar las diferencias entre zonas invernales y verano (Al-Masrani & Al-Obaidi, 2019; Bournas et al., 2016; F. Peng et al., 2021). Además, el análisis de sombreado identifica el posible error de sobrestimar las cargas de refrigeración o calefacción, lo que supondría un consumo energético innecesario para la climatización de los edificios. Por otra parte, también se puede estimar el impacto lumínico o el aprovechamiento de la luz natural en el

interior de los espacios habitables sin aumentar la carga térmica por radiación (Liu et al., 2021).

Las herramientas de análisis de sombreado permiten evaluar el efecto de la incidencia solar directa en los edificios y luego verificar, durante la etapa de proyecto arquitectónico, el posible impacto en el costo de la climatización, el confort térmico e incluso aspectos de la iluminación natural (Aram & Alibaba, 2019a). También permiten el diseño adecuado de los propios elementos de sombreado como aleros, parasoles y huecos de las aberturas o ventanas de un edificio para que exista un equilibrio entre la Ganancia Solar Directa (SGD) y el confort lumínico para evitar deslumbramientos o sombras, especialmente en zonas desérticas o de alta radiación (Kirimtat et al., 2019).

Ecotect de Autodesk es una herramienta de simulación ambiental BIM que se puede utilizar para el análisis de cargas térmicas, diseño de iluminación, sombras y reflejos, dispositivos de protección solar y radiación solar. Ecotect fue desarrollado por arquitectos con su aplicación en la arquitectura y el proceso de diseño en mente. También puede ser utilizado por ingenieros, autoridades locales, consultores ambientales, diseñadores de edificios, propietarios, constructores y especialistas ambientales (Autodesk, 2021).

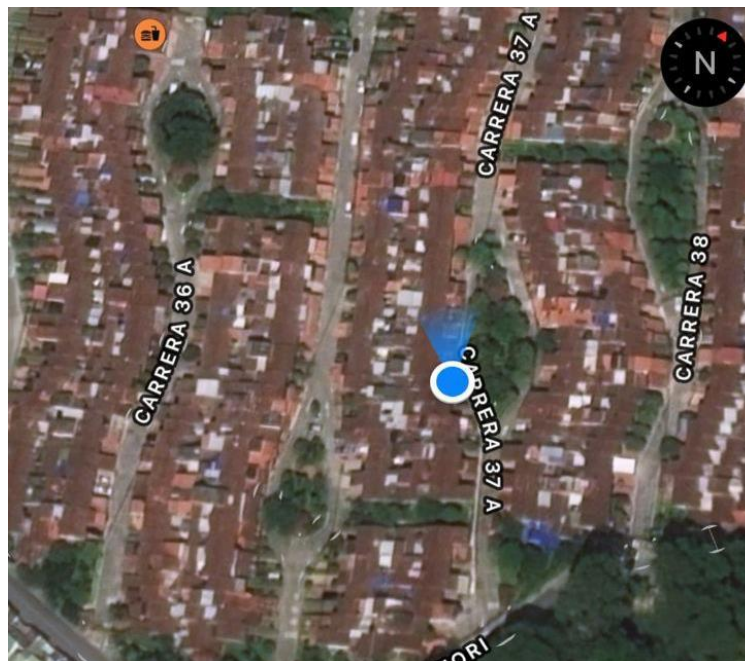
Este software utiliza el método de admisión CIBSE para calcular las cargas de calefacción y refrigeración y el método del factor de luz diurna para calcular los niveles de iluminancia . Los resultados de una encuesta realizada por Attia et al. (2017) mostró que el 64% de los arquitectos que respondieron a la encuesta utilizaron Autodesk Ecotect como herramienta de simulación de rendimiento de

edificios. El estudio también mostró que Ecotect se utilizó principalmente durante la fase conceptual y la fase de desarrollo del diseño del proyecto (Attia & Herde, 2017).

4.2. Selección zona de caso de estudio

Con el fin de delimitar un área de trabajo con criterios de selección como vivienda unifamiliar y que cuente con clima cálido seco. Se selecciona una casa ubicada en la Ronda, Bucaramanga, Santander (ver Figura 3).

Figura 3. Localización y Orientación de la vivienda.



La vivienda tiene un área total de 126 m² los cuales se distribuyen en 2 pisos. En el primer piso se distribuye la cocina, sala comedor, habitación principal con baño privado y las escaleras internas que conducen al segundo piso. En el segundo piso

se encuentran 2 habitaciones y un baño general. La información general sobre este edificio se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción general de la vivienda.

<u>Parámetros básicos</u>	<u>Especificación</u>
Ubicación	7°08'N 73°08'O
Área Total	126 m ²
Altura De La Vivienda	2,5 metros en cada piso
Estructura	concreto/acero/estuco
<u>Envolvente</u>	<u>ladrillo/cemento/estuco</u>

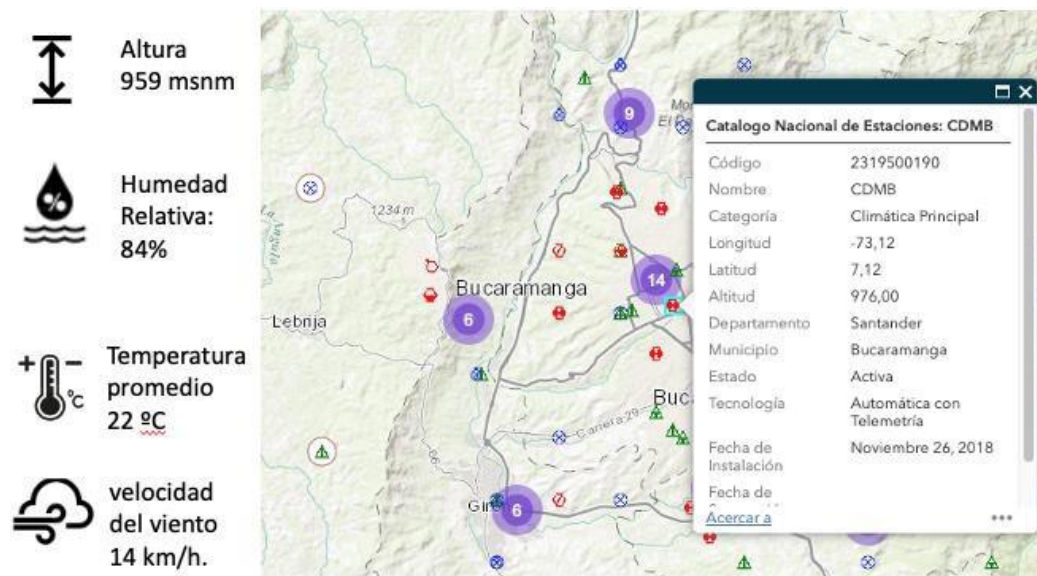
4.3. Datos climáticos

Bucaramanga cuenta con un clima cálido seco bastante imprevisible por lo que sus condiciones climáticas varían según la temporada del año. Estas condiciones locales interactúan con los seres humanos y sus viviendas, de manera que surge la necesidad mejorar el confort de las edificaciones y la calidad de vida aumentando la eficiencia en el consumo energético en el sector residencial. A partir de ahí, las medidas de mitigación para implementar están relacionadas con el diseño, construcción, equipamiento y operación que privilegien la iluminación y ventilación de los edificios.

Durante el año presenta lluvias que se distribuyen en temporada seca y lluviosas. Diciembre, enero y febrero son los meses más secos, a diferencia de junio, julio y agosto que se presenta en menor proporción. La temporada de lluvia inicia de marzo a mayo y septiembre a noviembre (IDEAM, 2019).

Su temperatura promedio es de 22,6 °C y la insolación presentada es de 4 horas diarias o menos durante los meses lluviosos, para los meses secos está entre 5 y 6 horas diarias (IDEAM, 2019). En la Figura 4 se muestra la locación de la estación meteorológica del IDEAM donde se extrajeron los datos de la ciudad.

Figura 4. Localización de estación meteorológica.



Nota: Datos obtenidos de (IDEAM, 2019)

4.4. Modelado en el software Ecotect

Los parámetros importantes del diseño de edificios verdes son los siguientes:

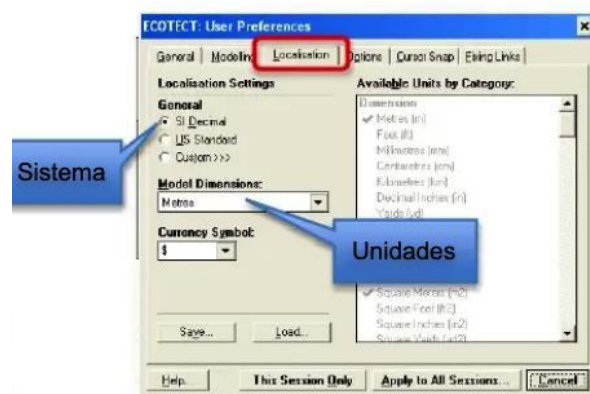
- Orientación del edificio
- Análisis de diseño pasivo
- Análisis de energía solar

4.4.1. Modelado

La orientación del edificio se refiere a la forma en que se sitúa la vivienda en un sitio y el posicionamiento de las ventanas, las líneas del techo y otras características. El software Ecotect analiza el modelo para la mejor orientación utilizando la trayectoria del sol, lo que ayuda a decidir la fachada para proporcionar aberturas en un edificio.

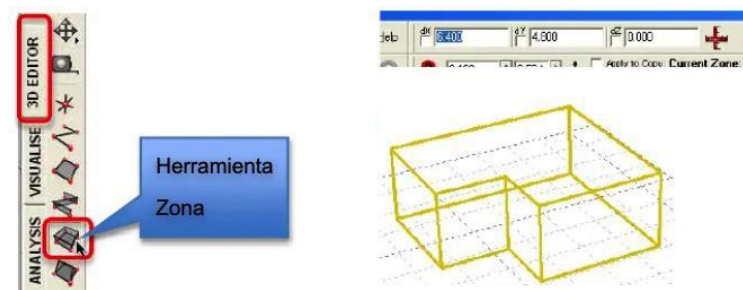
Para empezar con el modelado se inicia cambiando el sistema de unidades como se muestra en la Figura 5.

Figura 5. Descripción del cambio de sistema de unidades del programa Ecotect.



Una vez seleccionado la localización se crea con la herramienta zona el plano del primer piso como se observa en la Figura 6, teniendo en cuenta las dimensiones de la vivienda real. Para el caso de la segunda planta se realizan los mismos pasos.

Figura 6. creación de la primera planta

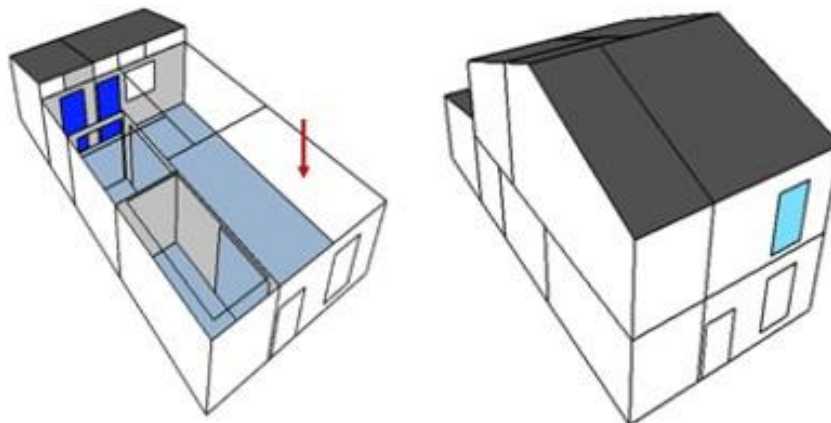


Finalmente en la barra lateral izquierda (ver Figura 7), se visualiza el modelo creado en el programa con las especificaciones de la vivienda caso de estudio mencionadas anteriormente. La Figura 8 muestra una vista 3D del diseño realizado.

Figura 7. Barra lateral izquierda con selección en Visualise



Figura 8. Dibujo 3D de la vivienda de estudio.



ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR: Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

4.4.2. Asignación de materiales

Una vez modelado la vivienda de estudio, se asignan los materiales de construcción los cuales son indispensables para que el análisis arroje resultados que se acerquen a las condiciones del entorno real. Ecotect tiene como predeterminado una biblioteca con diversos tipos de materiales clasificados según la superficie, cerramiento, cubierta, entre otros. Los materiales son asignados al programa teniendo como base la Tabla 2 la cual es recopilada de los materiales de construcción del modelo real.

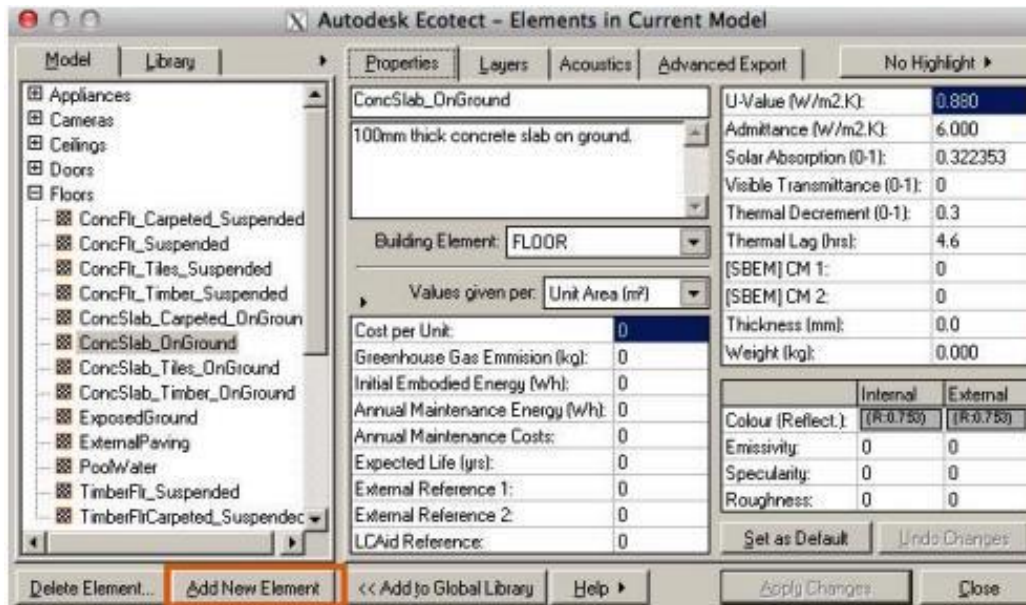
Tabla 2. Materiales de acabado del edificio.

Elemento	Refinamiento
Muro exterior	2cm estuco + 4cm concreto + 2cm acero + 4cm concreto + 2cm estuco
Muro interior	1cm estuco + 2cm concreto + 10cm ladrillo rojo + 2cm concreto + 1cm estuco
Suelo	7cm hormigón fundido + 2cm cemento plástico + 2cm loza cerámica
Cubierta	1,91cm paneles de madera + 1cm impermeabilizante de PVC + 2cm concreto liviano + 3 cm tejas de barro
Acristalamiento	3mm de vidrio transparente (ventanas externas)

En el programa aparecerá un cuadro de dialogo con diversos tipos de materiales (ver

Figura 9) después de pulsar en la zona donde se quiere agregar el material, esto se aplica para cada elemento que compone la vivienda (muro exterior, interior, suelo, cubierta y acristalamiento).

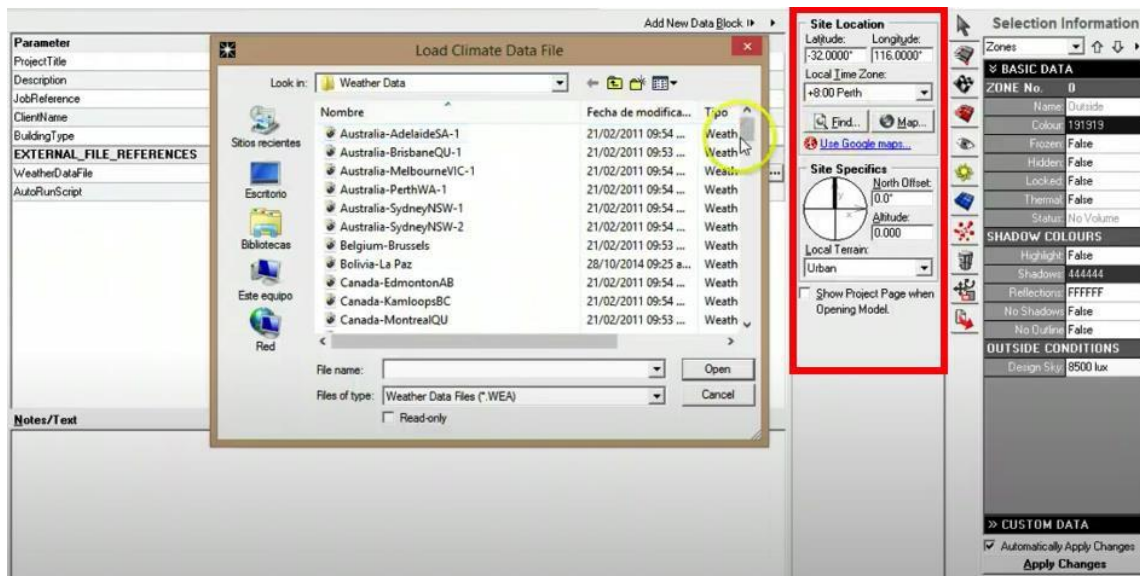
Figura 9. cuadro de dialogo para seleccionar los materiales de cada elemento.




4.4.3. Definición de la ubicación

Posteriormente se configura la localización geográfica donde estará el modelo de estudio, que en este caso será Bucaramanga, Santander, Colombia exactamente ubicada a $7^{\circ}03'32''$ del Norte y $7^{\circ}04'54''$ W y 930m a nivel del mar (ver). Este ítem será de gran importancia para el análisis que se realizará. Este software, situara la vivienda en una realidad solar en función de su posición geográfica, por lo que se podrán proyectar los rayos del solar en el periodo a estudiar.

Figura 10. Definición de la ubicación de la vivienda en Ecotect

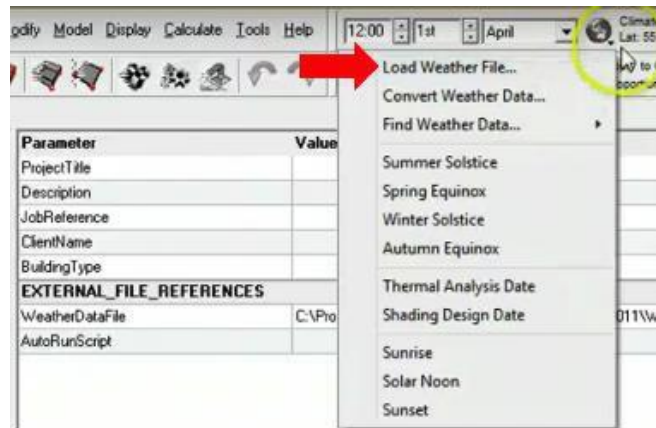


4.4.4. Cargar datos climatológicos

Los datos climatológicos contienen valores de variables como temperatura, humedad relativa, índice de calor, velocidad del viento, y demás. Para este análisis de sombras se hace necesario estos datos, por lo que se cargan como se muestra en la Figura 11 dando clic en el botón . Los archivos cargados fueron proporcionados por las base de datos que contiene el mismo software.

Estos datos son cargados del monitoreo realizado con el fin de que el modelo simulado en el programa Ecotect sea lo más parecido posible a la realidad de la vivienda de estudio.

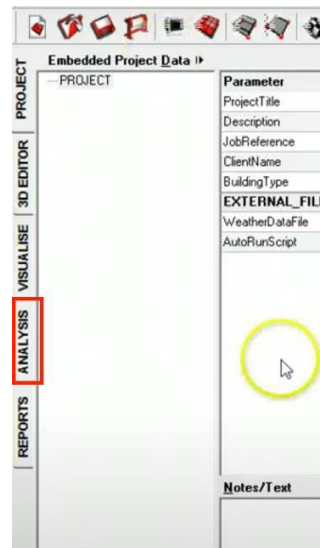
Figura 11. Cargar datos climatológicos al programa Ecotect, extraídos del trabajo de monitoreo de la vivienda caso de estudio.



4.5. Simulación

Una vez comprobado y revisado el modelo de posibles errores de geometría y materiales de construcción, se pueden obtener los resultados de la simulación en la pestaña de “*análisis*”.

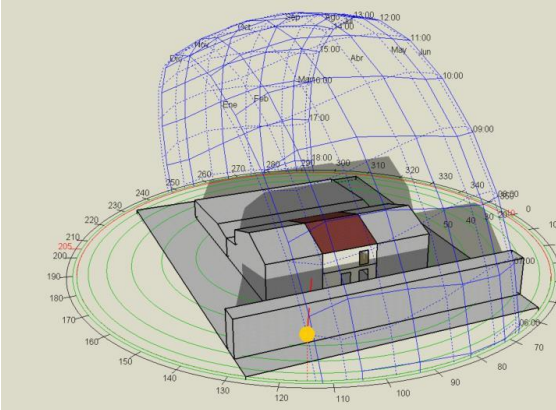
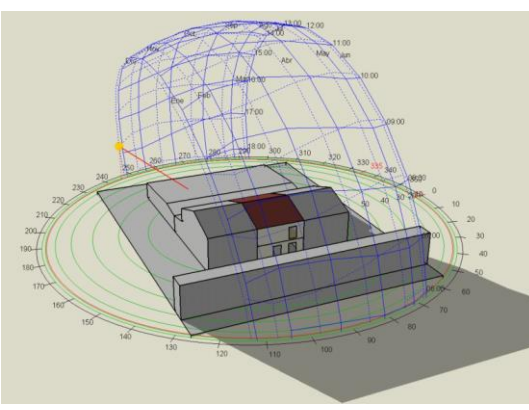
Figura 12. Selección de la pestaña análisis para iniciar con la simulación.



5. RESULTADOS

Se creó un modelo de una vivienda unifamiliar en el programa Ecotect el cual fue simulado hora a hora durante el día en los 12 meses del año 2022. La Tabla 3 muestra una vista 3D y el diagrama de trayectoria de la incidencia solar sobre la vivienda caso de estudio de la hora pico inicial y final para cada mes del año. La información del proyecto como la ubicación del sitio, la orientación, la altitud y el terreno, se ingresó en el modelo. El archivo meteorológico de Gainesville se importó del DOE al software.

Tabla 3. Diagrama de la trayectoria de incidencia solar sobre la vivienda en los 12 meses del año, con la hora de pico inicial y final.

Mes	Hora pico inicial	Hora pico final
1		

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

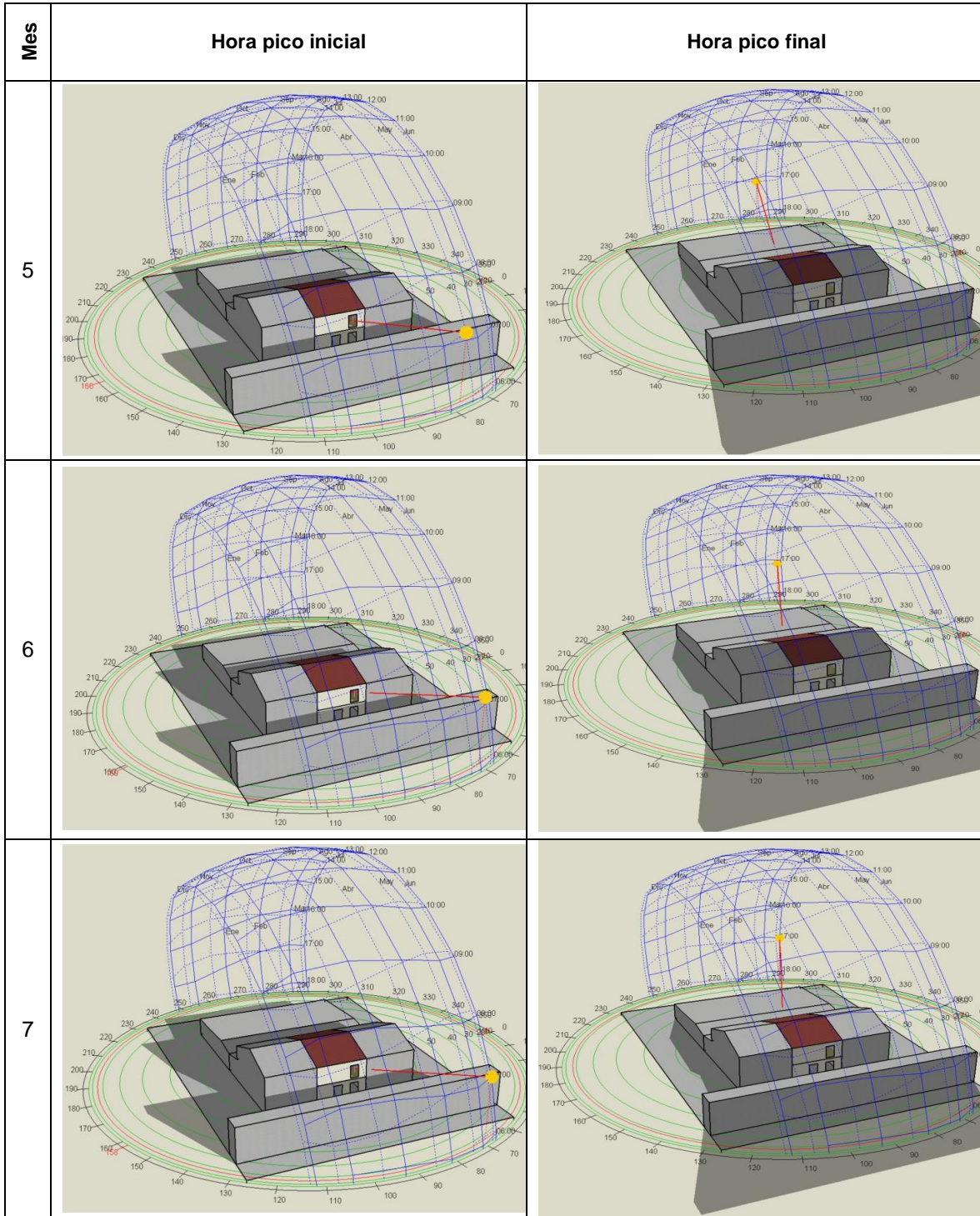
APROBADO POR: Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Mes	Hora pico inicial	Hora pico final
2		
3		
4		

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR: Asesor de planeación
FECHA APROBACION:



ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

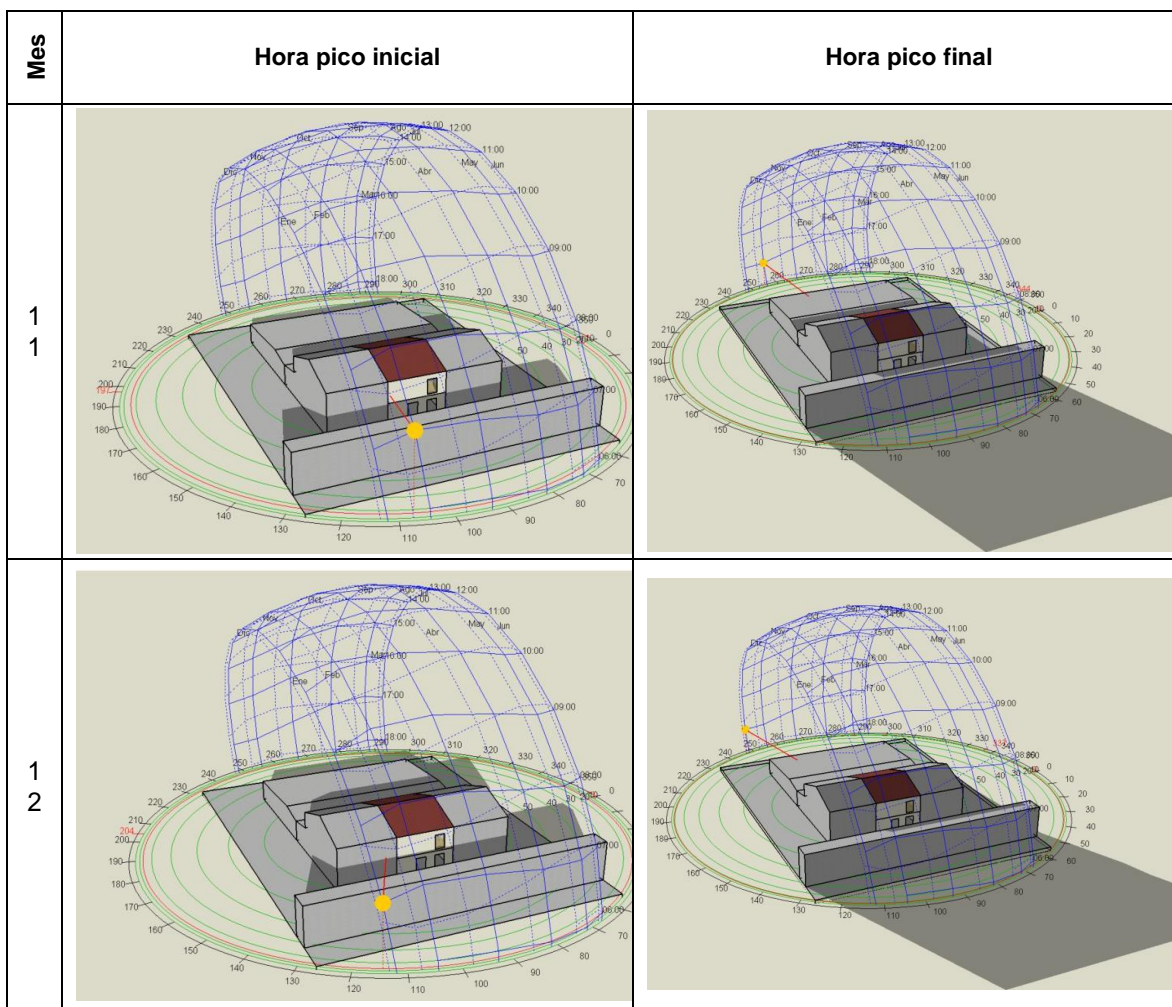
APROBADO POR: Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

Mes	Hora pico inicial	Hora pico final
8		
9		
10		

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR: Asesor de planeación
FECHA APROBACION:



De las anteriores ilustraciones se permite la interpretación visual de dónde está exactamente el sol y sus impactos en las distintas partes del edificio durante las diferentes horas del día. Como puede observarse el área sombreado del piso es mayor en la hora pico final, caso contrario de la hora pico inicial.

El software Ecotect puede calcular la temperatura operativa y temperatura externa que se presenta en la vivienda durante el año simulado como se observa en la Tabla 4. En estas gráficas se observa la evolución de las temperaturas del

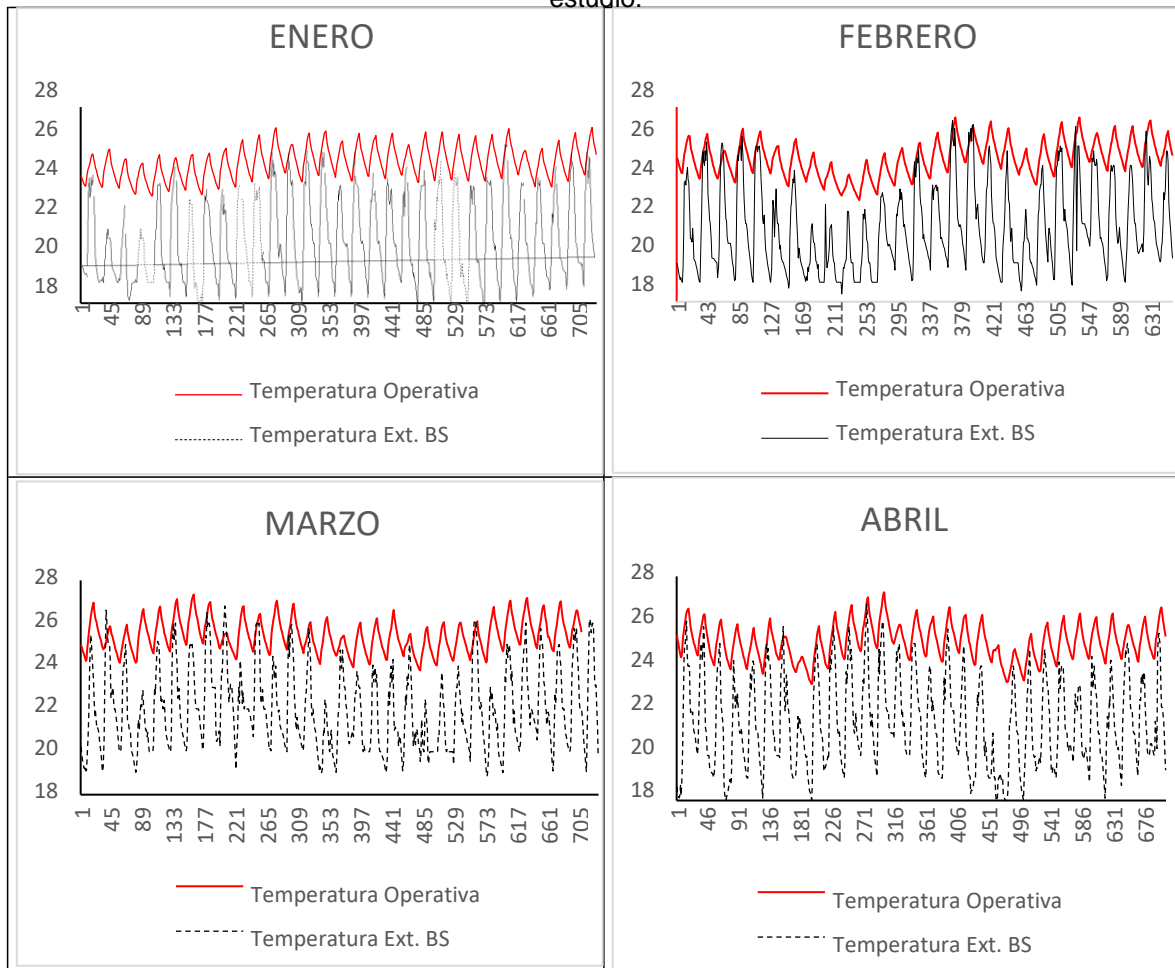
ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

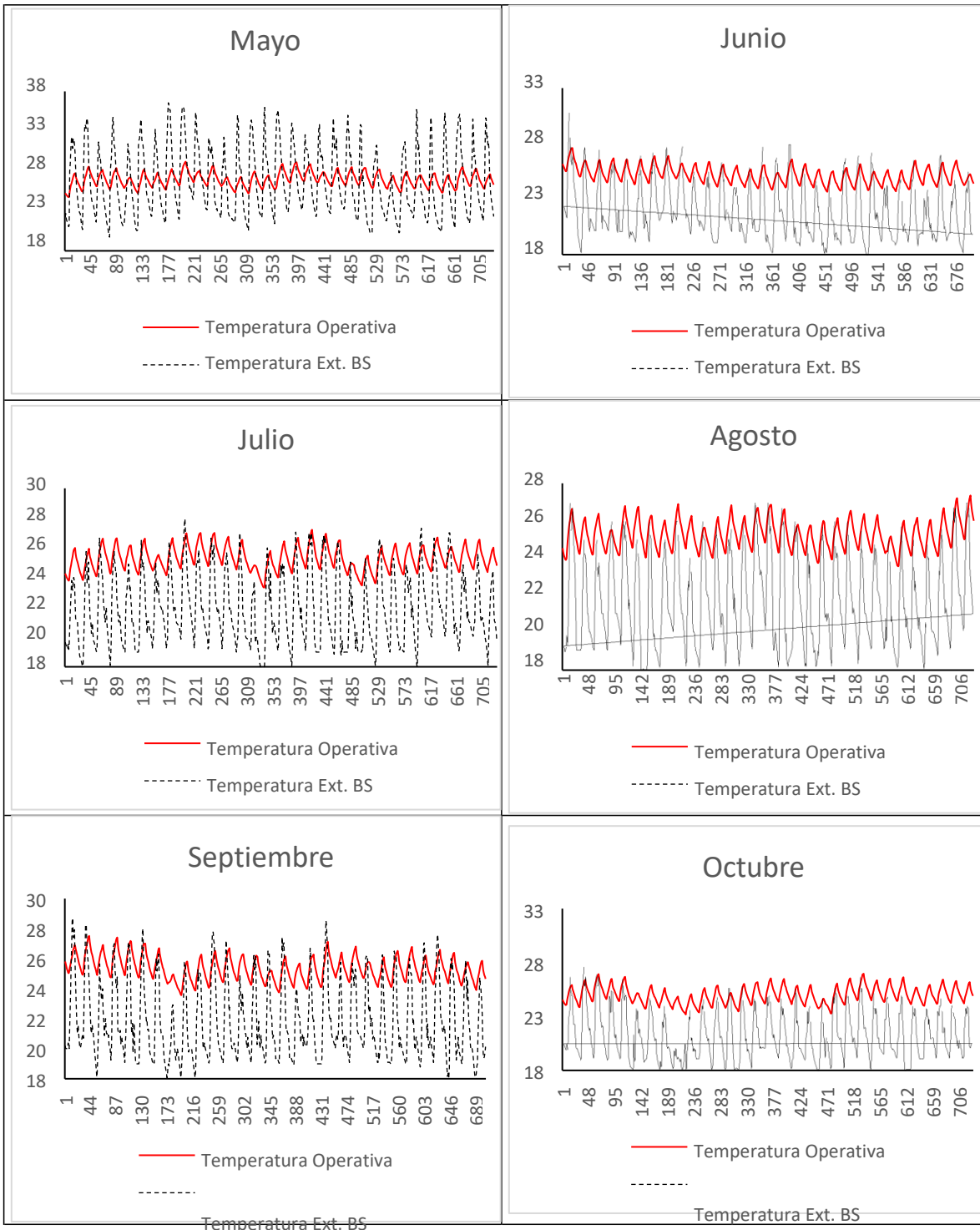
REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR: Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

modelo de vivienda durante el periodo de un mes, desde el 1 de mayo al 30 de este mes.

Tabla 4. Resultados de la temperatura operativa y temperatura externa de la vivienda caso de estudio.

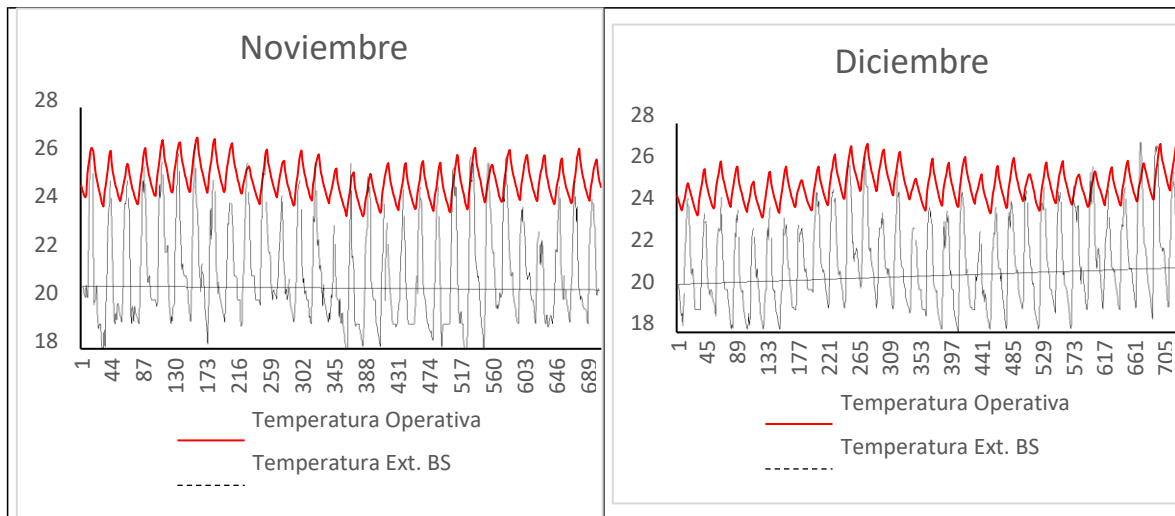




ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR: Asesor de planeación
FECHA APROBACION:



El comportamiento observado de las gráficas anteriores se caracteriza por la tendencia variable de la temperatura operativa sobre la temperatura externa que cubre la vivienda.

De estas gráficas se determina y previsualiza la temperatura operativa interior de la vivienda donde se presenta un patrón que no disminuye a más de 23° C como temperatura mínima y no supera los 35° C. La tendencia de la gráfica de mayo indica un aumento de temperatura exterior que supera los 35°C durante todo el mes.

De las gráficas que corresponden al mes de enero, febrero, marzo, abril, julio, septiembre, octubre, noviembre y diciembre se observa que los ambientes de la vivienda alcanzan el máximo de temperatura en el interior superando la máxima temperatura exterior, donde se presenta que los ambientes en estos periodos en la vivienda permanecen más calientes durante esta época.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo se modeló una vivienda caso de estudio el cual se encuentra ubicada en las coordenadas 7°08'N 73°08'O presentando un clima cálido seco, en la herramienta computacional Ecotect. El software fue alimentado con datos referentes a la geometría y dimensiones de la vivienda, materiales de construcción e ingresando la base de datos climatológicas correspondiente a la ubicación del estudio.

A partir de los datos ingresados en el software, se modeló la vivienda caso de estudio para posteriormente realizar el análisis por medio de las simulaciones que permite la herramienta.

Esta herramienta informática Ecotect indica que la envolvente de la vivienda caso de estudio no es homogénea ni estanca, esto se debe por las pérdidas y ganancias de calor detectadas durante el año analizado. Esto demuestra la necesidad de optimizar la envolvente y la capacidad de aislante de la vivienda por medio de estrategias pasivas sin requerir de otros medios activos de control de temperaturas que generan un mayor consumo energético.

El programa informático ECOTECT es una herramienta muy útil que tiene en cuenta el concepto energético de los edificios, como apoyo a las decisiones de diseño con resultados rápidos, sin demorar el proceso de diseño para que las alternativas puedan ser evaluadas en la etapa inicial del proyecto.

7. RECOMENDACIONES

Este trabajo sirve como base para futuras investigaciones sobre el análisis y predicción del confort térmico de la vivienda caso de estudio dentro de largos periodos de tiempo con herramientas computacionales.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Masrani, S. M., & Al-Obaidi, K. M. (2019). Dynamic shading systems: A review of design parameters, platforms and evaluation strategies. *Automation in Construction*, 102, 195-216. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.014>
- Aram, R., & Alibaba, H. Z. (2019a). Analyzing Atrium Volume Designs for Hot and Humid Climates. *Sustainability*, 11(22), 6213. <https://doi.org/10.3390/su11226213>
- Aram, R., & Alibaba, H. Z. (2019b). Thermal Comfort and Energy Performance of Atrium in Mediterranean Climate. *Sustainability*, 11(4), 1213. <https://doi.org/10.3390/su11041213>
- Arias-Rosales, A., & LeDuc, P. R. (2022). Shadow modeling in urban environments for solar harvesting devices with freely defined positions and orientations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 164, 112522. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112522>
- Attia, S. G., & Herde, A. D. (2017). *EARLY DESIGN SIMULATION TOOLS FOR NET ZERO ENERGY BUILDINGS: A COMPARISON OF TEN TOOLS*. 8.
- Autodesk. (2021). *Autodesk empowers innovators everywhere to make the new possible*. Architecture, Engineering & Construction. <https://www.autodesk.com/>
- Babota, F., Manea, D. L., Aciu, C., Munteanu, C., Cobîrzan, N., & Tămaș-Gavrea, D. R. (2018). Determination of optimal dimensions of fixed shadowing systems (pergolas) to reduce energy consumption in buildings in Romania. *Procedia Manufacturing*, 22, 358-363. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.054>
- Bani, R. khasraw, & Jalal, S. J. (2019). Impact of shadow distribution on optimizing insolation exposure of roofs according to harness or transfer of solar energy in Sulaimani city, Iraq. *Renewable Energy*, 136, 452-462. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.002>

Bellia, L., Marino, C., Minichiello, F., & Pedace, A. (2018). An Overview on Solar Shading Systems for Buildings. *Energy Procedia*, 62, 309-317. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.392>

Bournas, I., Abugabbara, M., Balcerzak, A., Dubois, M.-C., & Javed, S. (2016). Energy renovation of an office building using a holistic design approach. *Journal of Building Engineering*, 7, 194-206. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2016.06.010>

Cancino, C. F. E., & Fuentes, A. C. (2015). Confort higro-térmico en vivienda social y la percepción del habitante. *Revista INVI*, 30(85), 227-242.

Castilla, M., Álvarez, J. D., Berenguel, M., Pérez, M., Rodríguez, F., & Guzmán, J. L. (2010). Técnicas de Control del Confort en Edificios. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 7(3), 5-24. [https://doi.org/10.1016/S1697-7912\(10\)70038-8](https://doi.org/10.1016/S1697-7912(10)70038-8)

Chrenko, R. A. (1980). Indoor climate: Effects on human confort, performance and health: P. O. Fanger and O. Valbjorn, eds, Danish Building Research Institute, Copenhagen (1979) 895 pp. *International Journal of Refrigeration*, 3(3), 173-174. [https://doi.org/10.1016/0140-7007\(80\)90103-6](https://doi.org/10.1016/0140-7007(80)90103-6)

Couret, D. G., & Cabrera, R. M. (2014). Sistema de elementos de protección solar para los edificios en Cuba. Estudio de caso. *Revista Científica de Arquitectura y Urbanismo*, 35(3), 5-17.

Cuadros, R., & Moreno, E. (2019). *Determinar el impacto de sombras por contrucciones en altura de las UPZ Las Nieves y Sagrado Corazón en Bogotá mediante condiciones de soleamiento* [Universidad Distrital Francisco José de Caldas].

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/22636/MorenoSanabriaEduardoJulian2019.pdf;jsessionid=5FCC49E4CC4A85E0BEB894E5CD1BCA8B?sequence=1>

De Asiain, M. (2017). *Estrategias bioclimaticas en arquitectura* [Diplomado

Internacional, Universidad Autónoma de Chiapas].

<https://es.slideshare.net/jeancarlosugarteherrera/estrategias-bioclimaticas-enarquitectura>

Erdélyi, R., Wang, Y., Guo, W., Hanna, E., & Colantuono, G. (2018). Three-dimensional SOLar RAdiation Model (SORAM) and its application to 3-D urban planning. *Solar Energy*, 101, 63-73. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.12.023>

Esabegloo, A., Haghshenas, M., & Borzoui, A. (2016). Comparing the results of thermal simulation of rasoulia house in Yazd by design builder software, with experimental data. *Iran University of Science & Technology*, 26(2), 121-130. <https://doi.org/10.22068/ijaup.26.2.121>

Franco, R., & Bright, P. (2016). Acceso solar en la arquitectura y la ciudad: Aproximación histórica. *Revista de Arquitectura*, 18(2), 95-106. <https://doi.org/10.14718/REVARQ.2016.18.2.9>

Harrison, S., & Jiang, L. (2018). An investigation into the energy performance gap between the predicted and measured output of photovoltaic systems using dynamic simulation modelling software—A case study. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 13(1), 23-29. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctx016>

Hernández, J. J. (2018). *ESTRATEGIAS DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO ENFOCADO EN EL CONFORT TÉRMICO*. [Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia]. https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/18383/1/ESTRATEGIAS%20DE%20DISE%20C3%91O%20BIOCLIMATICO%20ENFOCADO%20EN%20EL%20CONFORT%20TERMICO_JUAN%20JOSE%20HERNANDEZ.pdf

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). «Capítulo 1. Definiciones de los enfoques cuantitativo y cualitativo, sus similitudes y diferencias» en *Metodología de la investigación* (sexta). McGraw Hill Education.

IDEAM. (2019). *Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos*.

Khosla, S., & Sharma, U. (2019). Modelling and Analysis of Sustainable Green Building Design Using Autodesk Ecotect Analysis. En A. K. Agnihotri, K. Reddy, & A. Bansal (Eds.), *Sustainable Engineering* (pp. 235-242). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6717-5_23

Kirimtat, A., Krejcar, O., Ekici, B., & Fatih Tasgetiren, M. (2019). Multi-objective energy and daylight optimization of amorphous shading devices in buildings. *Solar Energy*, 185, 100-111. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.04.048>

Leiva Paladines, X. C. (2017). *Estrategia de Diseño Solar Pasivo para brindar Confort Térmico en Viviendas de la Ciudad de Loja, Sector Amable*. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2320>

Liu, H., Pan, Y., Yang, Y., & Huang, Z. (2021). Evaluating the impact of shading from surrounding buildings on heating/ cooling energy demands of different community forms. *Building and Environment*, 206, 108322. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108322>

Melo, E. G., Almeida, M. P., Zilles, R., & Grimoni, J. A. B. (2017). Using a shading matrix to estimate the shading factor and the irradiation in a three-dimensional model of a receiving surface in an urban environment. *Solar Energy*, 92, 15-25. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.02.015>

Moussa, R. R., & Moawad, D. R. M. (2020). Investigating the Efficiency of Building Energy Simulation Software on Architectural Design Process. *Proceedings of the 2020 9th International Conference on Software and Information Engineering (ICSIE)*, 37-40. <https://doi.org/10.1145/3436829.3436860>

Nematchoua, M. K., Yvon, A., Roy, S. E. J., Ralijaona, C. G., Mamiharijaona, R., Razafinjaka, J. N., & Tefy, R. (2019). A review on energy consumption in the residential and commercial buildings located in tropical regions of Indian Ocean: A case of Madagascar island. *Journal of Energy Storage*, 24, 100748. <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.04.022>

Palmero-Marrero, A. I., & Oliveira, A. C. (2010). Effect of louver shading devices on building energy requirements. *Applied Energy*, 87(6), 2040-2049. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.11.020>

Pawar, B. S., & Kanade, G. N. (2018). *Energy Optimization of Building Using Design Builder Software*. 4(1), 5.

Peng, C. (2019). Calculation of a building's life cycle carbon emissions based on Ecotect and building information modeling. *Journal of Cleaner Production*, 112, 453-465. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.078>

Peng, F., Xiong, Y., & Zou, B. (2021). Identifying the optimal travel path based on shading effect at pedestrian level in cool and hot climates. *Urban Climate*, 40, 100988. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100988>

Ralegaonkar, R. V., & Gupta, R. (2019). Review of intelligent building construction: A passive solar architecture approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(8), 2238-2242. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.04.016>

Ramesh, T., Prakash, R., & Shukla, K. K. (2019). Life cycle energy analysis of buildings: An overview. *Energy and Buildings*, 42(10), 1592-1600. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.007>

Sheng, Y., Yap, T. C., Young, C., & Cutler, B. (2019). Virtual Heliodon: Spatially Augmented Reality for Architectural Daylighting Design. *IEEE Virtual Reality Conference*, 63-70. <https://doi.org/10.1109/VR.2009.4811000>

Sokkar, R., & Alibaba, H. Z. (2020). Thermal Comfort Improvement for Atrium Building with Double-Skin Skylight in the Mediterranean Climate. *Sustainability*, 12(6), 2253. <https://doi.org/10.3390/su12062253>

Sun, K., Chen, X., Maleki Dastjerdi, S., & Yang, Q. (2022). Dynamic simulation of hydrogen-based off-grid zero energy buildings with hydrogen storage considering Fanger model thermal comfort. *International Journal of Hydrogen Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.03.248>

Ugarte, J. (2019). *GUIA DE ARQUITECTURA BIOCLIMATICA* (p. 19). INSTITUTO DE ARQUITECTURA TROPICAL.

Valladares-Rendón, L. G., Schmid, G., & Lo, S.-L. (2017). Review on energy savings by solar control techniques and optimal building orientation for the strategic placement of façade shading systems. *Energy and Buildings*, 140, 458-479. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.073>

Wang, E., Shen, Z., & Barryman, C. (2017). A Building LCA Case Study Using Autodesk Ecotect and BIM Model. *Faculty Publications in Construction Engineering & Management*. <https://digitalcommons.unl.edu/constructionmgmt/6>

Widiastuti, R., Zaini, J., & Caesarendra, W. (2020). Field measurement on the model of green facade systems and its effect to building indoor thermal comfort. *Measurement*, 166, 108212. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108212>