



Evaluación del confort térmico interior en software del edificio C aplicando sombreado con paneles solares fotovoltaicos

**Proyecto de
Investigación**

Nancy Roció Cerezo Torres
CC. 1095945658
Rafael Carreño Pinzón
CC. 1098782577

UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de ciencias naturales e ingenierías
Ingeniería electromecánica
Bucaramanga (día, mes y año)



Evaluación del confort térmico interior en software del edificio C aplicando sombreado con paneles solares fotovoltaicos

**Proyecto de
Investigación**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero electromecánico**

DIRECTOR

Javier Ascanio Villabona

CODIRECTOR

Karen Tatiana Jaimes Quintero

Grupo de investigación en sistemas de energía automatización y control

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de ciencias naturales e ingenierías
Ingeniería electromecánica
Bucaramanga (día, mes y año)**

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0

Nota de Aceptación

Aprobado en el ACTA 44 - 11
DICIEMBRE 2023 del comité de
proyectos de grado de Ingeniería
Electrómecánica articulado por
ciclos propedéuticos con la
Tecnología en Operación y
Mantenimiento Electromecánico

Daniel A. Sánchez B.

Firma del Evaluador

[Firma manuscrita]

Firma del Director

DEDICATORIA

Este proyecto va dedica a Dios, mi guía y fortaleza. A mi familia quienes han sido mi soporte y mi motivación.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por estar presentes durante el proyecto siendo mi apoyo incondicional.

A las Unidades Tecnológicas de Santander por haberme brindado la oportunidad de crecer en mi desarrollo persona, académico y profesional.

Al ingeniero Javier Ascanio por brindarme la asesoría necesaria y poder desarrollar el proyecto gracias a sus enseñanzas.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	14
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	15
1.3. OBJETIVOS	15
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.4. ESTADO DEL ARTE.....	16
2. MARCO REFERENCIAL	19
2.1. CONFORT TÉRMICO.....	19
2.2. RECOMENDACIONES PARA EL CONFORT TÉRMICO EN TRABAJOS SEDENTARIOS	21
2.3. CRITERIOS DE VALORACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO.....	22
2.4. CURVAS DE CONFORT	22
2.5. ESTRATEGIA DE MEDICIÓN - MÉTODO FANGER	23
2.6. ÍNDICE DE VALORACIÓN O VOTO MEDIOS ESTIMADO (PMV).....	24
2.7. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA RADIANTE MEDIA	25
2.8. PORCENTAJE ESTIMADO DE INSATISFECHOS (PPD)	26
3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	27
4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO	31
4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ARQUITECTURA DEL EDIFICIO	31
4.2. SOFTWARE DE SIMULACIÓN.....	34
4.2.1. CONDICIONES CLIMÁTICAS	35
4.2.2. UBICACIÓN.....	37
4.3. MODELAMIENTO EN EL SOFTWARE DESIGNBUILDER	39
4.3.1. MODELAMIENTO DEL EDIFICIO C	39
4.3.2. MODELAMIENTO DEL EDIFICIO CON PANELES SOLARES.....	45
4.4. SIMULACIÓN	51
5. RESULTADOS	52

5.1. ANÁLISIS DE IMPACTO DE LAS TEMPERATURAS DEL EDIFICIO APLICANDO CADA ESCENARIO.	52
5.2. ANÁLISIS DEL ESCENARIO CON MAYOR EFICIENCIA.	56
5.3. EVALUACIÓN DE LA TEMPERATURA INTERNA POR PLANTA.....	59
5.3.1. ANÁLISIS EN LA PLANTA 1.....	59
5.3.2. ANÁLISIS EN LA PLANTA 2.....	63
5.3.3. ANÁLISIS EN LA PLANTA 3.....	67
5.3.4. ANÁLISIS DE LA PLANTA 4.....	71
5.4. ANÁLISIS DEL ÍNDICE DE CALOR EN CADA ESCENARIO.....	74
5.4.1. MODELAMIENTO DEL EDIFICIO SIN PANELES FOTOVOLTAICOS EN EL TECHO.	74
5.4.2. MODELAMIENTO DEL EDIFICIO CON PANELES FOTOVOLTAICOS EN EL TECHO.....	76
5.4.3. MODELAMIENTO DEL EDIFICIO CON LOS PANELES FOTOVOLTAICOS UBICADOS EN LA PARTE FRONTAL Y POSTERIOR.	77
5.4.4. MODELAMIENTO DEL EDIFICIO CON LOS PANELES FOTOVOLTAICOS UBICADOS EN EL TECHO Y PARTE FRONTAL Y POSTERIOR.	78
5.4.5. MODELAMIENTO DEL EDIFICIO CON LOS PANELES FOTOVOLTAICOS UBICADOS EN EL TECHO, LATERALES Y PARTE FRONTAL Y POSTERIOR.....	79
<u>6. CONCLUSIONES</u>	<u>80</u>
<u>7. RECOMENDACIONES</u>	<u>81</u>
<u>8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>82</u>
<u>9. ANEXOS.....</u>	<u>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Factores del ambiente térmico[31]	20
Figura 2 Curvas del Confort (Fanger)	23
Figura 3 Gráfica PPD vs PMV[32].....	27
Figura 4 Metodología para la cuantificación de horas de Disconfort térmico.....	28
Figura 5 Metodología para el cálculo de índice de calor [34].....	30
Figura 6. Planos de la estructura de la Planta 1,2,3 y 4 del edificio C	32
Figura 7. Importación de datos climáticos en el software DesigBuilder	36
Figura 8. Ubicación geográfica de la UTS	38
Figura 9. Pantallazo en la Interfaz DesignBuilder con la importación de Locación.....	38
Figura 10. Modelado del Bloque 1 de la primera planta modelada. (a) Vistas en planta isométrica, (b) Norte y (c) Sur	39
Figura 11. Modelado del Bloque 2 de la segunda planta modelada. (a) Vistas en planta isométrica, (b) Norte y (c) Sur	40
Figura 12. Modelado del Bloque 3 de la tercera planta modelada. (a) Vistas en planta isométrica, (b) Norte y (c) Sur	41
Figura 13. Modelado del Bloque 4 de la cuarta planta modelada. (a) Vistas en planta isométrica, (b) Norte	42
Figura 14. Modelos 3D del Edificio C de las Unidades Tecnológicas de Santander	44
Figura 15. Modelamiento del edificio con seguimiento solar.	44
Figura 16. Modelamiento del edificio con paneles fotovoltaicos en el techo.....	46
Figura 17. Modelamiento del edificio con los paneles fotovoltaicos ubicados en la parte frontal y posterior.....	46
Figura 18. Modelamiento del edificio con los paneles fotovoltaicos ubicados en el techo y parte frontal y posterior.	47
Figura 19. Modelamiento del edificio con los paneles fotovoltaicos ubicados en el techo, laterales y parte frontal y posterior.....	48
Figura 20. Interfaz de DesignBuilder con las especificaciones de la construcción de los paneles fotovoltaicos.	51
Figura 21. Seguimiento solar del escenario 3 para el periodo de estudio 2022.....	56
Figura 22. Seguimiento solar del escenario 3	58
Figura 23 IC edificio sin paneles fotovoltaicos en el techo	75
Figura 24 Horas de la clasificación del IC del edificio sin paneles fotovoltaicos en el techo	75
Figura 25 IC edificio con paneles fotovoltaicos en el techo	76
Figura 26 Horas de la clasificación del IC con paneles fotovoltaicos en el techo	76
Figura 27 IC edificio con los paneles fotovoltaicos ubicados en la parte frontal y posterior.	77
Figura 28 Horas de la clasificación del IC con los paneles fotovoltaicos ubicados en la parte frontal y posterior.	77
Figura 29 IC edificio con los paneles fotovoltaicos ubicados en el techo y parte frontal y posterior.....	78

Figura 30 Horas de la clasificación del IC con los paneles fotovoltaicos ubicados en el techo y parte frontal y posterior	78
Figura 31 IC edificio con los paneles fotovoltaicos ubicados en el techo, laterales y parte frontal y posterior.	79
Figura 32 Horas de la clasificación del IC con los paneles fotovoltaicos ubicados en el techo, laterales y parte frontal y posterior.	79

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Tabla de recomendaciones para confort térmico[30].....	21
Tabla 2	Márgenes recomendados para aplicar Fanger [32]	24
Tabla 3	Escala de sensación térmica en función del PMV estimado.....	24
Tabla 4	Variables que intervienen en la ecuación de balance térmico	25
Tabla 5	Escala PMV y PPD	26
Tabla 6.	Clasificación bioclimática.	29
Tabla 1.	Detalles de los materiales utilizados en los componentes principales del edificio.	34
Tabla 2.	Capas termo físicas del panel fotovoltaico	50
Tabla 3.	Temperatura externa vs temperatura interna en el año del edificio	53
Tabla 4.	Temperatura externa vs temperatura interna en la segunda semana del edificio	55
Tabla 5.	Resultados de la temperatura externa vs temperatura interna del edificio en el día 8 de mayo.....	55
Tabla 6.	Temperatura externa vs temperatura interna con el 4 escenario propuesto.	58
Tabla 7.	Temperatura externa vs temperatura interna del año de la planta 1.....	60
Tabla 8.	Temperatura externa vs temperatura interna del mes de mayo de la planta 1. 61	
Tabla 9.	Temperatura externa vs temperatura interna de la segunda semana de la planta 1.	62
Tabla 10.	Temperatura externa vs temperatura interna del día 8 de mayo de la planta 1	62
Tabla 11.	Temperatura externa vs temperatura interna del año de la planta 2.....	64
Tabla 12.	Temperatura externa vs temperatura interna del mes de mayo de la planta 2 .	65
Tabla 13.	Temperatura externa vs temperatura interna de la segunda semana de la planta 2.	66
Tabla 14.	Temperatura externa vs temperatura interna del día 8 de mayo de la planta 2.	66
Tabla 15.	Temperatura externa vs temperatura interna del año de la planta 3.....	68
Tabla 16.	Temperatura externa vs temperatura interna del mes de mayo de la planta 3.	69
Tabla 17.	Temperatura externa vs temperatura interna de la segunda semana de la planta 3	70
Tabla 18.	Temperatura externa vs temperatura interna del día 8 de mayo de la planta 3	70
Tabla 19.	Temperatura externa vs temperatura interna del año de la planta 4.....	71
Tabla 20.	Temperatura externa vs temperatura interna del mes de mayo de la planta 4 .	72
Tabla 21.	temperatura externa vs temperatura interna de la segunda semana de la planta 4	73
Tabla 22.	Temperatura externa vs temperatura interna del día 8 de mayo de la planta 4	73

RESUMEN EJECUTIVO

El confort térmico en los edificios universitarios es un tema indispensable para tener un alto nivel de confort térmico interior para motivar a los estudiantes a realizar diferentes actividades académicas. Este estudio tiene como objetivo evaluar y mejorar el confort térmico de los estudiantes dentro de los espacios de los edificios educativos, por medio del sombreado producido por la implantación de sistemas fotovoltaicos. Como primera fase se evalúa el ambiente interior y exterior del edificio de estudio, para este caso el edificio C de las Unidades Tecnológicas de Santander, ubicada en la ciudad de Bucaramanga con clima cálido seco. Luego, por medio del software especializado en simulación energética, Desing Builder se crean cuatro escenarios de diseño para lograr una mejora del confort térmico de los estudiantes dentro del edificio. El edificio utilizó sistemas de sombreado de la posible implementación de sistemas fotovoltaicos en diferentes posiciones y combinaciones. Los resultados sugirieron que al implementar los paneles en los laterales y frontales de la edificación y proporcionar más sombra disminuyendo las horas de desconfort térmico el confort térmico. Así mismo se logran reducciones significativas de temperatura debido a la interacción entre los edificios y los factores climáticos como la temperatura del aire (T_a) y la humedad relativa mediante el uso de una estrategia pasiva. El caso base concluyó que se produjo un estrés térmico elevado dentro de los espacios de la edificación por encima del rango aceptable con resultados según la metodología del IDEAM.

PALABRAS CLAVE. Confort térmico, Sombreado, refrigeración pasiva, índice de calor, sensación térmica.

INTRODUCCIÓN

Las condiciones de confort térmico en un edificio educativo son fundamental (Abdallah 2022). Publicaciones y trabajos anteriores han estudiado el efecto de las propiedades arquitectónicas y térmicas de los edificios educativos en el confort térmico de los estudiantes(Huang et al. 2015). Varios estudios ven la importancia del ambiente interior en los edificios universitarios a través de mediciones y cuestionarios para examinar la satisfacción de los estudiantes con diferentes espacios de aprendizaje(Kapalo et al. n.d.). Asimismo, (Murakami et al. n.d.) han elaborado patios en los edificios educativos que podrían mejorar los espacios ambientales interiores al proporcionar áreas de sombra y ventilación natural , especialmente en regiones cálidas y secas. Un estudio concluyó que la calidad del aire interior en un edificio educativo afecta fuertemente el rendimiento , el aprendizaje y la atención de los estudiantes(Argunhan and Avci 2018). Aunque hay estudios sobre la influencia de los patios, un conjunto de investigaciones se centró en el efecto del patio en los edificios públicos en general o en los edificios residenciales como una estrategia de diseño pasivo para mejorar el rendimiento térmico(Heras et al. n.d.; Huang et al. n.d.-a, n.d.-b; Jamaludin et al. n.d.; Yang et al. n.d.). Los espacios urbanos con un factor de vista del cielo bajo o una relación alta del patio (H/W), que es la relación entre la altura de los edificios circundantes (H) y el ancho del patio (W), reducen la penetración de la radiación solar y crean confort térmico en climas cálidos y áridos. Esto se determinó durante mediciones de campo en seis sitios dentro de una universidad en Atenas, Grecia(Charalampopoulos et al. 2013).

Por otro lado, se concluyeron numerosos estudios basados en simulaciones numéricas para estudiar el efecto de diversas estrategias pasivas sobre el confort térmico de los estudiantes. Fahmy (Fahmy et al. 2020a). Se mejoró el confort térmico de los estudiantes dentro de los edificios educativos utilizando Design

Builder. Utilizaron estrategias de enfriamiento pasivo, como captadores de viento, dispositivos de sombreado, ventanas bajas de vidrio electrónico, doble fachada y techos dobles (Fahmy et al. 2020b) también se investigó el desempeño climático de 10 patios tradicionales basados en sombra y cobertura solar ubicados en los climas fríos de Ardabil (Teshnehdel et al. 2020).

La mayoría de los edificios educativos en climas cálidos, utilizad modificaciones en sus diseños arquitectónicos. Sin embargo, el problema de la investigación es la falta de evaluaciones del confort térmico de los estudiantes en edificios educativos y mejoras del espacio, con aplicación el sombreado de los equipos de sistemas fotovoltaicos. En base a esto, el propósito del estudio es investigar el efecto de las estrategias sombreado de edificios (una estrategia de enfriamiento pasivo) para la evaluación del confort térmico de los estudiantes en espacios interiores y del edificio C de las Unidades Tecnológicas de Santander. Además, la novedad de este estudio es utilizar la sombra de una futura implantación de sistemas fotovoltaicos teniendo una estrategia pasiva híbrida (estrategias de sombra y generación renovable) para mejorar el confort térmico de los estudiantes en un edificio educativo.

Es así como el estudio tiene como objetivo Evaluar la temperatura interna obtenida en el edificio C de las UTS por medio de la simulación del sombreado local por paneles fotovoltaicos como método de refrigeración pasiva para determinar las horas de desconfort térmico.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La estimación creciente del consumo mundial de energía entre el 2014 a 2020, fue del 56,0% provoca un impacto ambiental adverso (Anon 2007, Anon 2020, Anon n.d.-a), El consumo eficiente de energía en edificaciones en sectores con mayor demanda como la edificación para educación pueden ayudar a mitigarlo(Chenari, Dias Carrilho, and Gameiro Da Silva 2016). El sector de los edificios, representan cerca del 50,0% del total de la energía generada a nivel mundial, también con una tendencia creciente a llegar al 60,0%(Becerik-Gerber et al. 2013; Pérez-Lombard, Ortiz, and Pout 2018; Shaikh et al. 2014). Hasta el 38,0% del consumo total de energía del sector de la edificación es por aire acondicionado (González-Torres et al. 2022), aumentando debido al cambio climático (González-Torres et al. 2022; Heracleous et al. 2022) , y el tiempo de crecimiento de personas dentro de los edificios, representando una oportunidad para mitigar la demanda energética.

Para mejorar el rendimiento energético y térmico de los edificios existentes, las remodelaciones y aplicaciones de sombreado con sistemas fotovoltaicos pueden mejorar la eficiencia energética, disminuir la demanda de energía y mejorar el confort térmico habitacional (Babich et al. 2023; Park et al. 2020). La deficiencia en los estudios y análisis del estudio térmico de los edificios de la UTS, es una necesidad para analizar el confort térmico habitacional. Ya que se podrían estar causando en gran medida el disconfort térmico que se percibe al interior de las aulas de clase. Es por esto que se plantea la pregunta: ¿De qué manera influye la implantación de un sistema solar fotovoltaico como elemento de sombreado en la calidad del confort térmico del edificio C de las UTS?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Está trabajo es una alternativa de solución al análisis del confort térmico en el edificio C de la UTS, por causa de la elevación de temperatura en la zona de estudio a causa del cambio climático. Hoy en día hay escasas de investigaciones sobre el análisis de confort térmico, y más aún del análisis del confort térmico si se implementan sistemas fotovoltaicos para sombreado pasivo en la edificación (Zune et al. 2021). El sombreado ofrece la modificación del sistema térmico del lugar al crear un aislamiento térmico del exterior, mejorando a la sensación térmica ayudado a disminuir la demanda energética por sistemas de refrigeración activas (Zune et al. 2021).

Para las Unidades Tecnológicas de Santander, esta investigación tiene una proyección para futuros estudios en el mejoramiento del confort térmico en las aulas de clase. Estudiando los sistemas de refrigeración pasiva debido a que es una línea de con tendencia investigativa en crecimiento y anclado al plan de transición energético colombiano(Anon n.d.-b, Anon n.d.-c; Mesa Puyo n.d.).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la temperatura interna obtenida en el edificio C de las UTS por medio de la simulación del sombreado local del por paneles fotovoltaicos como método de refrigeración pasiva para determinar las horas de desconfort térmico.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Modelar el edificio de caso de estudio, aplicando caracterización constructiva y condiciones climáticas en sitio, para simular las condiciones termo higrométricas del edificio.

- Simular el modelo generado con sombreado y protección solar por medio de software especializado, para obtener la base de datos de la temperatura interna y horas de confort.
- Comparar los datos obtenidos de las simulaciones por medio del análisis de horas de confort térmico y temperaturas internas obtenidas para establecer el comportamiento como sistemas de refrigeración pasiva.

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 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/m^2 /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. Confort térmico

El confort térmico puede definirse como la manifestación subjetiva de conformidad o satisfacción con el ambiente térmico existente. Cuando se habla de confort térmicamente ideal, es cuando las personas no presentan sensación de frío o calor, la presencia de temperaturas altas o bajas, implican incomodidad para la realización de las actividades estas se presentan como quejas por falta de confort, falta de concentración, bajo rendimiento y en ocasiones hay repercusiones en la salud(Rodríguez Mondelo et al. 2001). Es importante resaltar que además de las variables ambientales tales como la temperatura, radiación y humedad, existen otros factores que afectan la exposición al calor como el metabolismo, tipo de actividad y atuendo entre otras(Rodríguez Mondelo et al. 2001).

En la Figura 1 se muestran los factores del ambiente térmico, dichos factores a medida que se desvían del rango de confort, en los trabajadores causan insatisfacción durante un período de tiempo antes de verse afectado el rendimiento en su tarea. Los problemas de confort son complicados por las consistentes y sustanciales diferencias entre las opiniones de individuos por lo que se refiere a condiciones climáticas. De hecho, es prácticamente imposible que en una oficina o fábrica no se manifieste ninguna queja en cuanto al ambiente térmico (Rodríguez Mondelo et al. 2001)

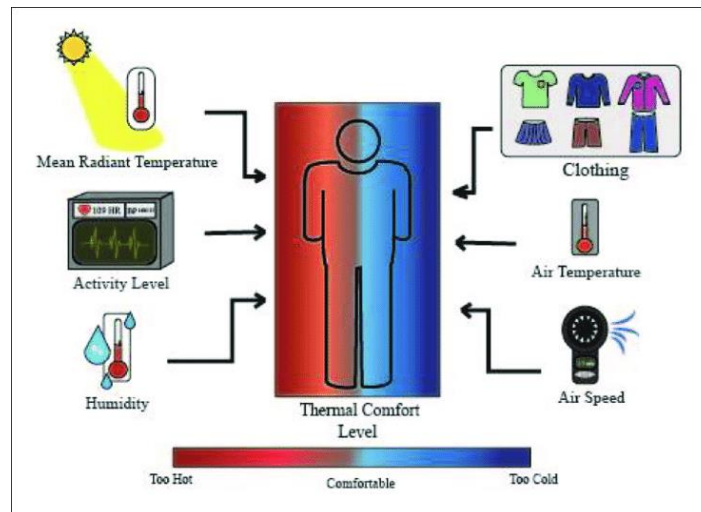


Figura 1 Factores del ambiente térmico(Ghahramani et al. 2020) .

La sensación térmica experimentada por un ser humano está relacionada principalmente con el equilibrio térmico global de su cuerpo. Tal equilibrio depende de la actividad física y de la vestimenta del sujeto, así como de los parámetros ambientales: temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad del aire y humedad del aire. Si estos factores han sido estimados o medidos, la sensación térmica global del cuerpo puede ser estimada mediante el cálculo del voto medio estimado (PMV - predicted mean vote) (Anon n.d.-d; Ghahramani et al. 2020).

El índice “porcentaje estimado de insatisfechos” (PPD - predicted percentage dissatisfied), suministra información acerca de la incomodidad o insatisfacción térmica, mediante la predicción del porcentaje de personas que, probablemente, sentirán demasiado calor o demasiado frío en un ambiente determinado. El PPD puede obtenerse a partir del PMV(Anon n.d.-d). La incomodidad térmica también puede ser motivada por el calentamiento o enfriamiento local indeseado del cuerpo. Los factores de incomodidad local más comunes son la asimetría de la temperatura radiante (superficies frías o calientes), las corrientes de aire (definidas como enfriamiento local del cuerpo debido al movimiento del aire), la diferencia en vertical de la temperatura del aire y por la presencia de suelos fríos o calientes(Anon n.d.-d). La insatisfacción puede ser causada por la incomodidad por frío o por calor del cuerpo en su conjunto. Los límites del bienestar pueden, en este caso, expresarse mediante los índices PMV y PPD. No obstante, la insatisfacción térmica puede ser originada también por los parámetros de incomodidad térmica local(Anon n.d.-d).

2.2. Recomendaciones para el confort térmico en trabajos sedentarios

A continuación, en la Tabla 1 aparecen enumeradas las variables básicas y los intervalos de confianza que le atribuyen distintos autores, y organizaciones, así como un somero comentario sobre las divergencias encontradas entre las diferentes fuentes consultadas (Ghahramani et al. 2020).

Tabla 1 Tabla de recomendaciones para confort térmico(Rodríguez Mondelo et al. 2001).

MÉTOD	APLICACIÓN	VENTAJAS
FANGE	<i>confort</i>	<i>muy completo y</i>
ISC	<i>estrés por calor y/o discomfort</i>	<i>práctico</i>
WBGT	<i>estrés por calor</i>	<i>muy práctico</i>
SWreq	<i>estrés por calor y/o discomfort</i>	<i>muy completo</i>

IREQ	<i>estrés por calor y/o discomfort</i>	<i>muy completo</i>
WCI	<i>estrés por frío</i>	<i>práctico</i>

2.3. Criterios de valoración del confort térmico

La valoración del confort térmico reviste cada día mayor relevancia; cada vez es más importante el porcentaje de operarios que desarrollan su actividad en el sector de oficinas, hospitales, tiendas, etc. en los cuales las agresiones térmicas sólo se dan de forma excepcional. En estas actividades, en cambio, son frecuentes los problemas asociados a la falta de confort térmico, por lo que es necesario disponer de un criterio de valoración para este tipo de situaciones (Anon n.d.-d; Rodríguez Mondelo et al. 2001). El método más elaborado de los hasta ahora desarrollados es el de Fanger, el cual presenta un avance sustancial en la valoración del confort térmico, pues incluye todas las variables que influyen en los intercambios térmicos persona-ambiente: nivel de actividad, características del vestido, temperatura seca o del aire, humedad relativa, temperatura radiante media y velocidad del aire (Anon n.d.-d; Ghahramani et al. 2020; Rodríguez Mondelo et al. 2001).

2.4. Curvas de confort

Las curvas de confort muestran las condiciones de temperatura y humedad más adecuadas para el trabajo, como se observa en la Figura 2.

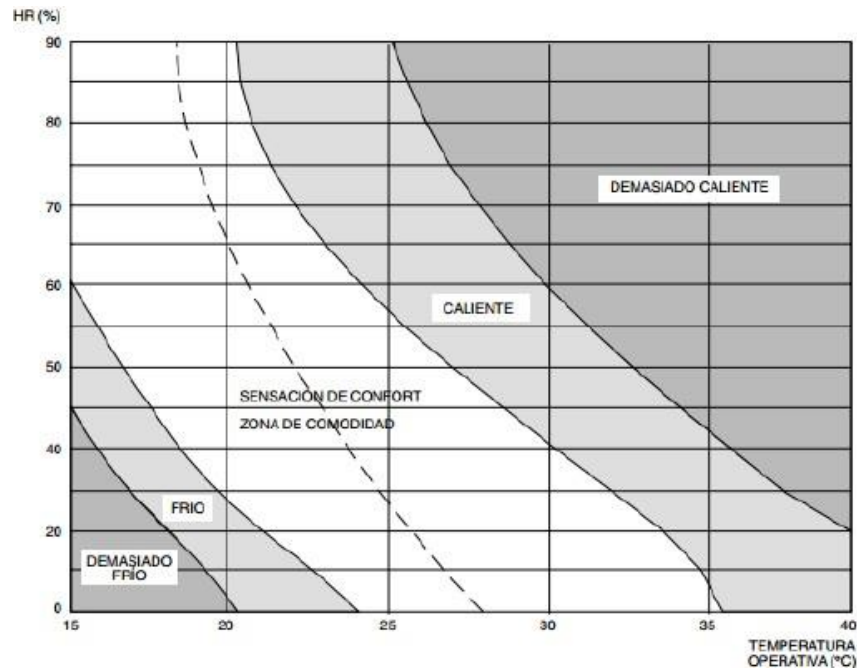


Figura 2 Curvas del Confort (Fanger)

2.5. Estrategia de medición - Método Fanger

Se trata seguramente del método más completo, práctico y operativo para la valoración del confort térmico en espacios interiores, y contempla todas las variables presentes en los intercambios térmicos persona-ambiente, siendo éstos, el nivel de actividad, características de la ropa, temperatura seca del aire, humedad relativa, temperatura radiante media y velocidad relativa del aire. Los desarrollos ofrecidos por Fanger se basan en un muestreo sobre 1300 sujetos, y demuestran que el mejor resultado posible conlleva la insatisfacción del 5% del grupo, es decir, es imposible conseguir unas condiciones ideales en el mismo recinto para la totalidad de las personas (Rodríguez Mondelo et al. 2001). El método es aplicable cuando:

- Para la valoración del confort térmico o bien para ambientes térmicos que no disten excesivamente del confort (valores de IVM entre 2 y -2).
- Para valores de IVM cercanos a ± 3 , se recomienda aplicar cualquiera de los otros métodos.

- Es necesario que los seis parámetros básicos estén dentro de los siguientes márgenes, como se indica en la
- Tabla 2

Tabla 2 Márgenes recomendados para aplicar Fanger (Anon n.d.-d)

PARÁMETROS	RANGO	UNIDADES
ACTIVIDAD METABÓLICA	46 - 232	W/m ²
AISLAMIENTO TÉRMICO-	0 - 2	Clo
TEMPERATURA DEL AIRE	oct-30	°C
TEMPERATURA	oct-40	°C
VELOCIDAD DEL AIRE	0 - 1	m/s
HUMEDAD	30 - 70	%

2.6. Índice de valoración o voto medios estimado (PMV)

Para estudiar la calificación que grupos de personas expuestas a una determinada situación atribuyen a su grado de confort, Fanger emplea una escala numérica de sensaciones, representada en la Tabla 3 (Anon n.d.-d).

Tabla 3 Escala de sensación térmica en función del PMV estimado

Rango de Valores	Sensación Térmica
3	Muy Caluroso
2	Caluroso
1	Ligeramente caluroso
0	Neutra
-1	Ligeramente Frío
-2	Frío
-3	Muy Frío

El PMV que manifiesta un grupo de personas puede expresarse mediante la Ecuación 1

$$PMV = ts * (M - W - E_d - E - E_{res} - C_{res} - R - C)$$

Ecuación 1

En dónde cada variable se describe en la :

Tabla 4 Variables que intervienen en la ecuación de balance térmico

VARIABLE	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDADES
TS	Coefficiente de transferencia de sensación térmica	$0.303 * e^{-0.036M} + 0.028$	m^2/W
W	Energía metabólica producida por el organismo	W	W/m^2
M	Trabajo mecánico externo	M	W/m^2
E	Pérdida de calor por evaporación del sudor	$0.42 * [(M - W) - 58.15]$	W/m^2
R	Pérdida de calor por radiación	$3.96 * 10^{-8} * f_{clo} * [(t_{clo} + 273)^4 - (TRM + 273)^4]$	W/m^2
C	Pérdida de calor por convección	$f_{clo} * h_c * (t_{clo} - t_a)$	W/m^2
ED	Pérdida de calor por difusión de agua por la piel	$3.05 * 10^{-3} * [5733 - 6.99 * (M - W) - pa]$	W/m^2
Cres	Pérdida de calor sensible por respiración	$0.0014 * M * (34 - t_a)$	W/m^2
ERES	Pérdida de calor latente por respiración	$1.7 * 10^{-5} * M * (5867 - pa)$	W/m^2

2.7. Influencia de la temperatura radiante media

La temperatura radiante media se calcula a partir de los valores medidos de la temperatura seca, la temperatura de globo y la velocidad relativa del aire mediante la Ecuación 2.

$$TRM = TG + 1.9\sqrt{v} (TG - TS)$$

Ecuación 2

Dónde:

TRM = temperatura radiante media, °C

TG = temperatura de globo, °C

TS = temperatura seca, °C

v = velocidad relativa del aire, m/s

2.8. Porcentaje estimado de insatisfechos (PPD)

El índice del voto medio estimado es el valor medio de los votos emitidos por un grupo numeroso de personas expuestas al mismo ambiente. No obstante, los votos individuales presentan una dispersión alrededor de dicho valor medio, y es de gran utilidad el prever el porcentaje de personas que van a estar incómodas por frío o por calor. Esta previsión se la consigue mediante el índice PPD, basándose una vez más es la escala de sensación térmica. Se incluye ahora este parámetro en la anterior tabla de "escala de sensación térmica", como se muestra en la tabla 7:

Tabla 5 Escala PMV y PPD

PMV	PPD	SENSACIÓN
3	99%	Muy caluroso
2	77%	Caluroso
1	26%	Ligeramente
0	5%	Neutro
-1	26%	Ligeramente Frío
-2	77%	Frío
-3	99%	Muy frío

Una vez determinado el índice PMV, se puede obtener el porcentaje estimado de personas térmicamente insatisfechas (PPD) mediante la Ecuación 3:

$$PPD = 100 - 95 * e - (0.03353 * PMV^4 + 0.2179 * PMV^2)$$

Ecuación 3

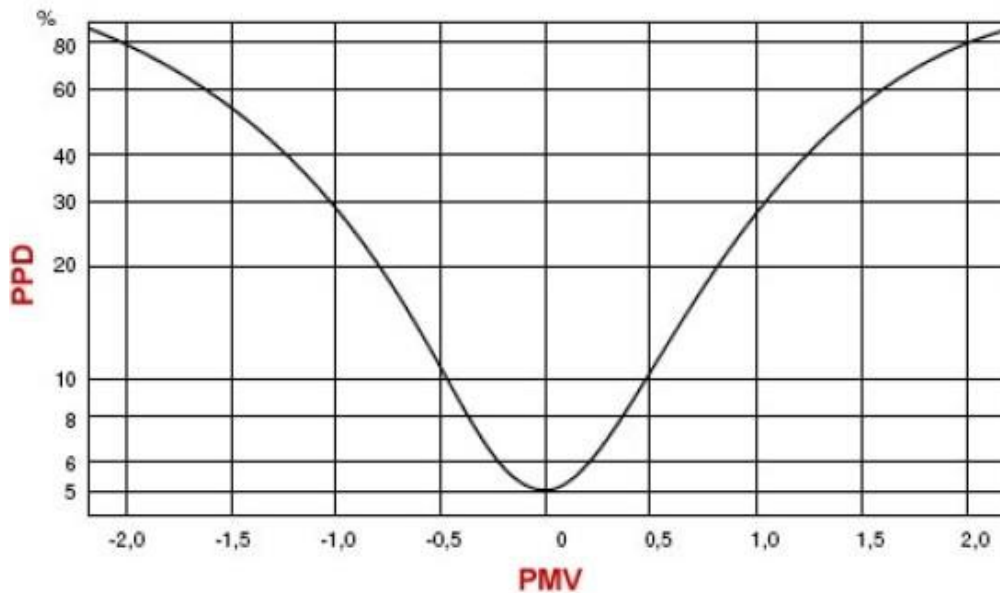


Figura 3 Gráfica PPD vs PMV(Anon n.d.-d)

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

En esta sección se establece la metodología procedimental para el desarrollo de la investigación estructurada en cuatro etapas como se muestra en la Figura 4. La metodología inicia con A) Preparación de modelo, donde se establecen los parámetros climáticos de la zona e información para el modelamiento de los casos; B) Construcción de modelos, partiendo de las características técnicas, estructurales variando los parámetros de sombreado usados para generar la simulación de los modelos en la tercera etapa de C) Simulación, del comportamiento dinámico de la vivienda, para finalmente, obtener los datos de la temperatura y humedad interna de cada una de las zonas de la vivienda; D) Cuantificación de las horas de incomodidad térmica por medio de la metodología usada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia(Ascanio-Villabona et al. 2022); de los resultados de los modelos con relación a las horas de desconfort térmico.

En la Figura 4 se establece la metodología con la cual se realizará el análisis de las horas de confort térmico en el edificio de educación superior.

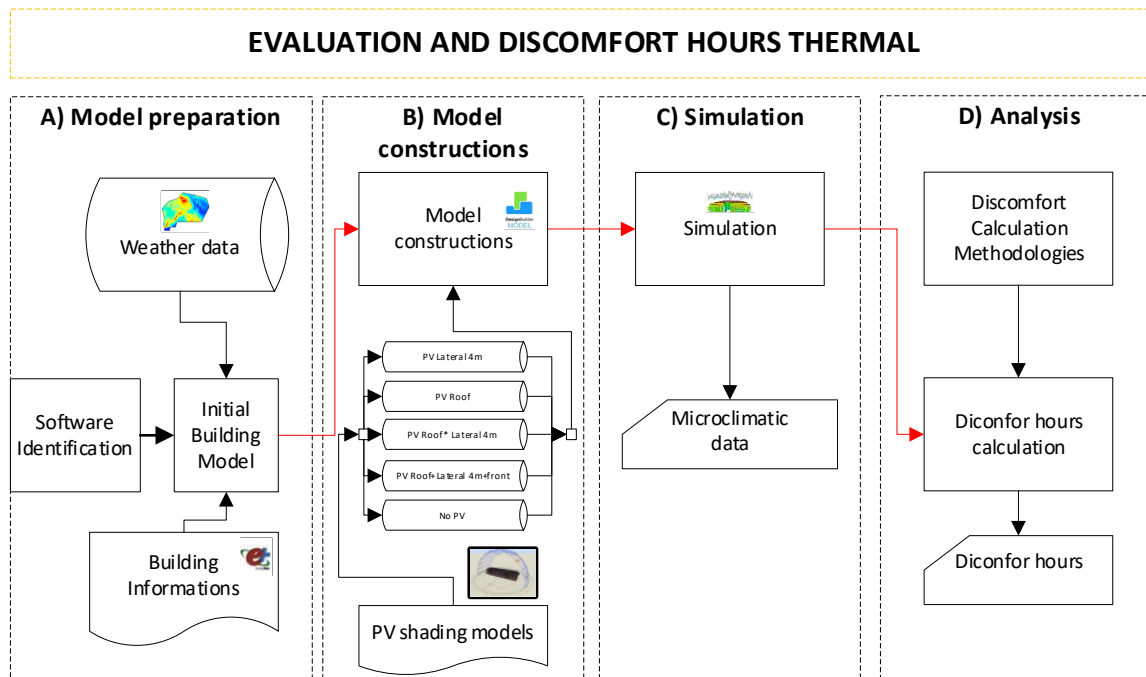


Figura 4 Metodología para la cuantificación de horas de Discomfort térmico.

Para la fase D se opta por el uso la metodología del IDEAM, Esta cuenta con tres diferentes fórmulas dependiendo de la altura que tenga la zona base, además, se toma en consideración la influencia del viento. Para nuestro caso de estudio, se tiene una altitud de 925 m s. n. m, por ello, se da uso del modelo, respetando así el parámetro establecido en la expresión para determinar la sensación térmica experimentada al interior y exterior de la vivienda.

Modelo 1.

$$IC = (36,5 - T) \left(0,05 + 0,04\sqrt{v} + \frac{HR}{250} \right) \quad \text{Altitudes} < 1000 \text{ metros}$$

Modelo 2.

$$IC = (34,5 - T) \left(0,05 + 0,06\sqrt{v} + \frac{HR}{180} \right) \quad 1000 \text{ metros} < \text{Altitudes} < 2000 \text{ metros}$$

Modelo 3.

$$IC = (33,5 - T) \left(0,05 + 0,18\sqrt{v} + \frac{HR}{160} \right) \quad \text{Altitudes} > 2000 \text{ metros}$$

Donde:

- **IC**: Índice de calor
- **T**: Temperatura del aire (°C)
- **HR**: Humedad Relativa (%)
- **v**: Velocidad del viento (m/s)

Una vez se obtiene el índice de calor, se determina la sensación térmica experimentada por la población ubicada en la zona de estudio de acuerdo con la Tabla 6.

Tabla 6. Clasificación bioclimática.

Sensación experimentada	IC
Incómodamente Caluroso	0 - 3,0
Caluroso	3,1 - 5,0
Cálido	5,1 - 7,0
Agradable	7,1 - 11,0
Algo frío	11,1 - 13,0
Frío	13,1 - 15,0
Muy frío	> 15,0

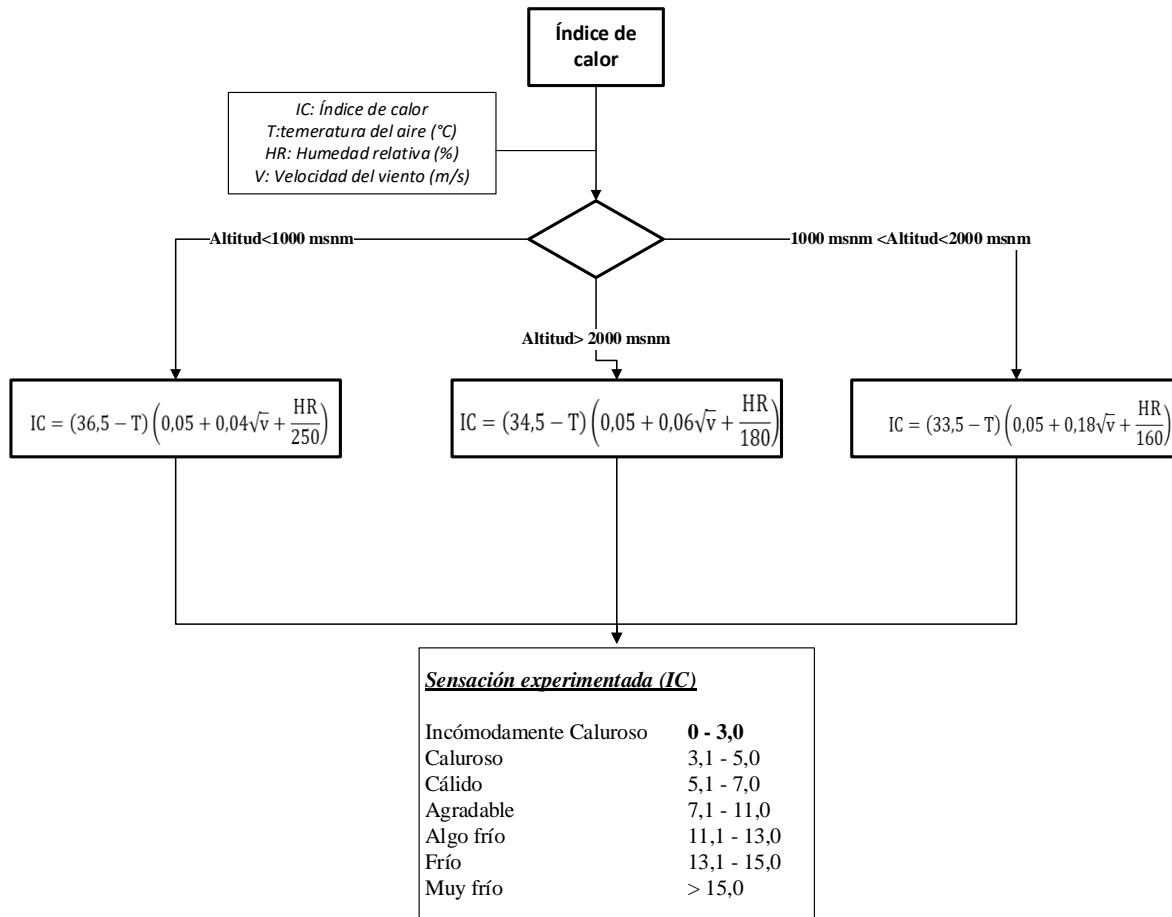


Figura 5 Metodología para el cálculo de índice de calor (Villabonaa et al. 2021)

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

4.1. Características de la arquitectura del edificio

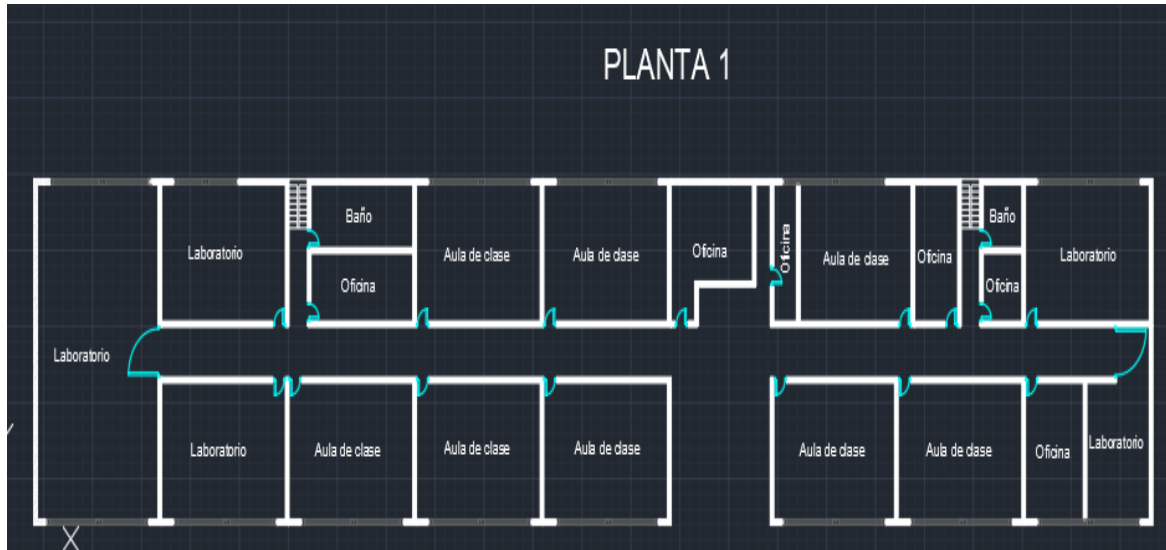
Para el modelo de estudio se seleccionó el edificio C (Tekné) ubicado en las Unidades Tecnológicas de Santander (UTS), Santander, Colombia. Por lo tanto, se inició realizando los planos en 2D del edificio utilizando el Software AutoCAD 2023 y teniendo como diseño de referencia los planos estructurales suministrados por la oficina de infraestructura de la institución UTS. El cual tiene una forma rectangular con una superficie aproximada de 1541 m².

Se trata de un edificio de cuatro plantas con una antigüedad de 17 años aproximadamente; conformado por oficinas, aulas, laboratorios, baños y módulos de estudio. Además, está orientado de modo que el eje de rotación esté alineado en dirección norte. No hay sombra del exterior ni elementos que impidan la entrada del sol al edificio, lo que deja pasar una importante cantidad de energía.

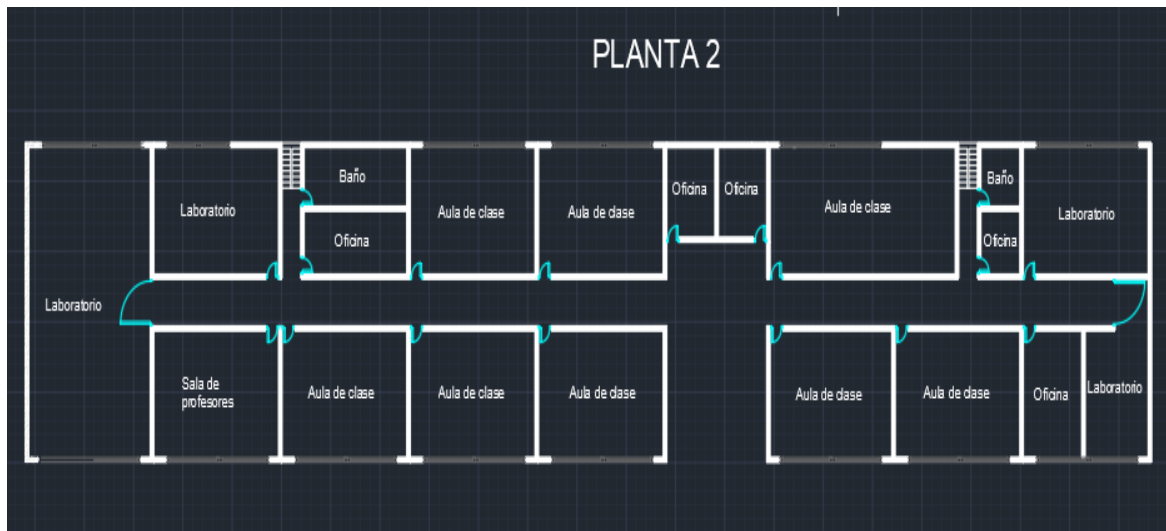
A partir de esto, se logró generar los planos de cada una de las plantas como se muestran en la Figura 6.

Figura 6. Planos de la estructura de la Planta 1,2,3 y 4 del edificio C

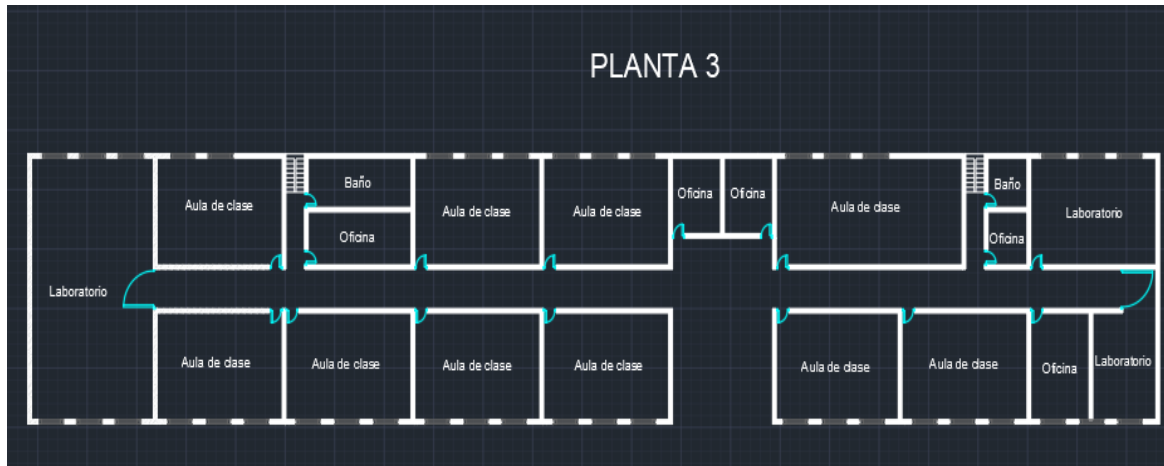
(a)



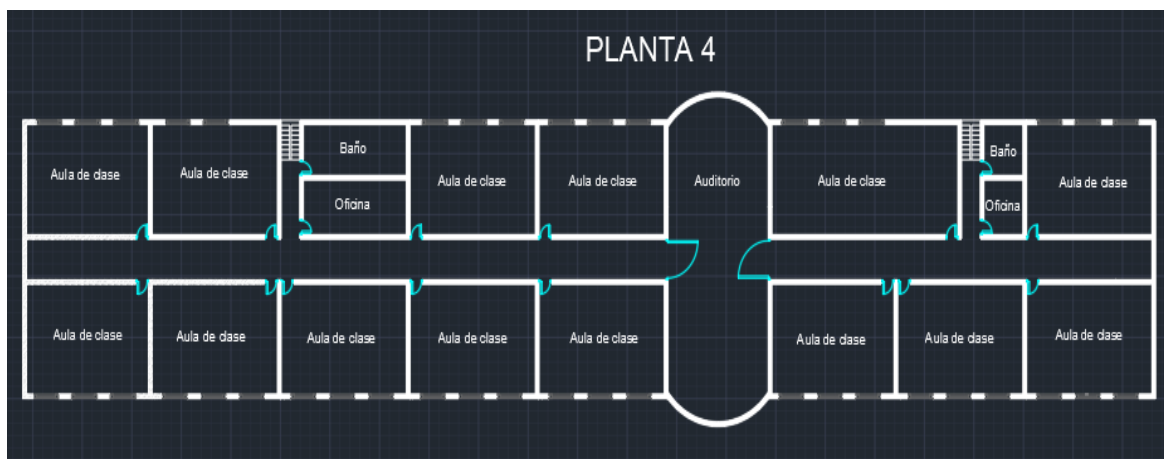
(b)



(c)



(d)



Nota: (a) Plano de la planta 1; (b) plano de la planta 2; (c) plano de la planta 3; (d) plano de la planta 4.

Fuente: Autor, extraído del software AutoCAD.

Los materiales utilizados en la construcción de la estructura del edificio y sus parámetros se adaptaron a partir de un prototipo de diseño arquitectónico estándar que cumplía con los códigos de construcción y se implementó para el proyecto en la Tabla 7 se explican los detalles del edificio.

Tabla 7. Detalles de los materiales utilizados en los componentes principales del edificio.

VENTANAS			TECHOS		PAREDES		
MATERIAL		ESPESOR	MATERIAL	ESPESOR	MATERIAL		ESPESOR
Interno	Exterior				Interno	Exterior	
3 mm (transparente)	3 mm (teórico)	6 mm	Membrana de techo de 9 mm, aislamiento de 210 mm, cubierta de 1 mm	220 mm	Concreto de 99,99 mm, Espacio de aire, ladrillos 99,99 mm	Yeso de 13 mm	213 mm

Para evaluar el efecto térmico de las células solares como dispositivo de sombra sobre la demanda de refrigeración del edificio y la demanda energética total, se realizó un análisis utilizando el software DesignBuilder. El modelo de referencia simulado representó una unidad de edificio académico para estudiantes con de jornada diurna y nocturna en la ciudad de Bucaramanga, Santander.

4.2. Software de simulación

El edificio simulado se modelo utilizando el software DesignBuilder 2023; se trata de una interfaz gráfica de usuario para el solucionador EnergyPlus (Muslim & Vermette, 2023), una conocida herramienta de software de simulación energética , que comenzó en 1996 y su idoneidad para la evaluación energética de edificios ha sido ampliamente validada en la literatura para diferentes propósitos (Mateus et al., 2014).

Con DesignBuilder se evaluó la temperatura interna del edificio como modelo de referencia sin la integración del sistema fotovoltaico como dispositivo de sombra y

con integración del sistema fotovoltaico como dispositivo de sombreado para cuatro escenarios diferentes. Los valores de los parámetros de simulación (iluminación, número de ocupantes, punto de ajuste de calefacción y punto de ajuste de refrigeración) se ingresaron de acuerdo con la función de cada espacio en las condiciones más adecuadas para el modelo construido. Este software permite una comparación rápida con el rendimiento de modelos comparables, así como la producción de hallazgos instantáneos y precisos, lo que la convierte en una técnica conveniente y fácil de usar para analizar y optimizar la envolvente y los alrededores de un edificio. Además, permite a los usuarios investigar cómo el ajuste de materiales específicos en la arquitectura del edificio afecta la eficiencia energética y el uso de la estructura.

El método numérico empleado por DesignBuilder CFD se conoce como método de variables primitivas, que implica la solución de un conjunto de ecuaciones que implican la conservación del calor, la masa y el momento, conocidas como ecuaciones de NavierStokes. Las ecuaciones comprenden un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales de segundo orden no lineales acopladas.

El modelado de dinámica de fluidos computacional (CFD) del software DesignBuilder tiene la capacidad de proporcionar cálculos CFD tanto para las condiciones internas como externas de un modelo de edificio para cada situación posible, e individualmente aplicado a una hora concreta del año, incluyendo una visualización completa de la presión, velocidades y dirección del aire y perfiles de temperatura para cada punto dentro o fuera del modelo.

4.2.1. Condiciones climáticas

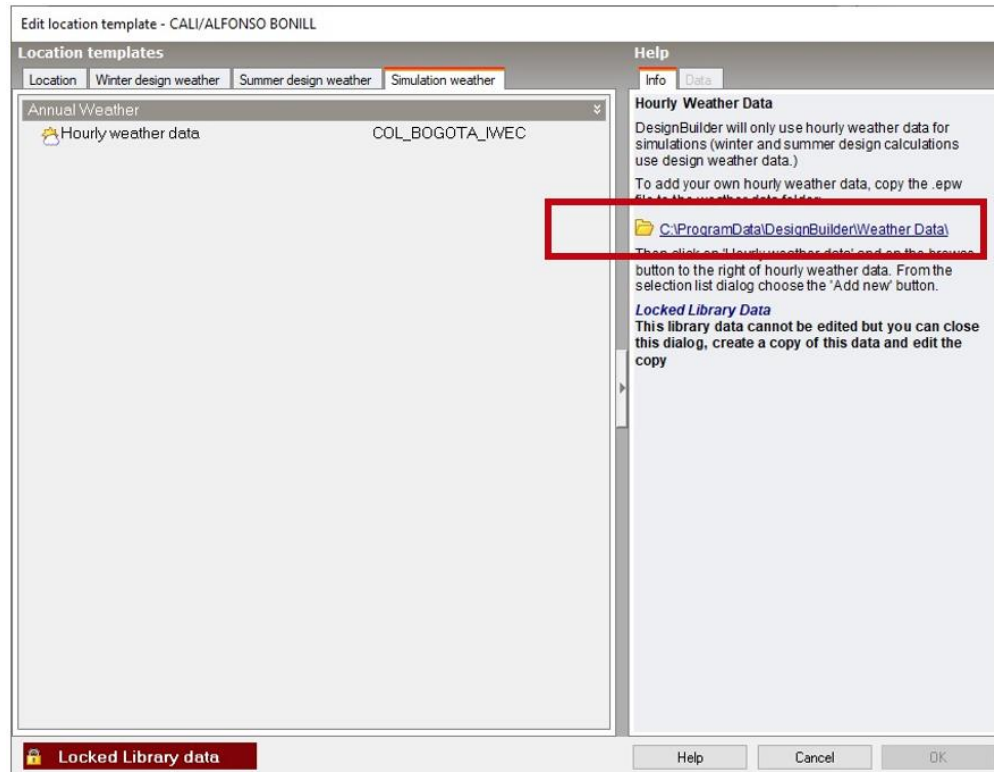
Las principales variables meteorológicas necesarias para el desarrollo de un archivo meteorológico para DesignBuilder™ incluyen la radiación horizontal global (W/), radiación normal directa (W/), humedad relativa (%), presión atmosférica de la estación (Pa), temperatura de bulbo seco (°C), radiación horizontal difusa (W/), temperatura del punto de rocío (°C), dirección del viento (°), velocidad del viento (m/s), visibilidad (km) y agua perceptible (mm). Se pueden utilizar diferentes formatos para ordenar esta información.

Para este proyecto, se utilizaron los datos de una estación meteorológica ubicada en las Unidades Tecnológicas de Santander, por lo que se importaron al software DesignBuilder. Esto nos permitirá, en una fase posterior, ejecutar la simulación de EnergyPlus en DesignBuilder, con el fin de obtener las condiciones de contorno CFD reales. Las ganancias de carga térmica no se tienen en cuenta ya que, se hizo la simulación teniendo en cuenta el confort térmico del edificio, excluyendo las cargas terminas tales como aires acondicionados, calefacción.

Las simulaciones se realizaron para condiciones de diseño desde el 1 de enero del 2022 hasta el 31 de diciembre de 2022, teniendo énfasis en el mes de mayo ya que, es la temporada más calurosa del año, adicionalmente, la locación cuenta con un clima cálido seco.

En la Figura 7 se muestra el ingresos de los datos meteorológicos en el formato permitido por el software.

Figura 7. Importación de datos climáticos en el software DesigBuilder



4.2.2. Ubicación

El edificio Tekné seleccionado de la UTS, se encuentra ubicado en la Calle de los Estudiantes #9-82 Ciudadela Real de Minas-Bucaramanga-Santander como se muestra en la Figura 8.

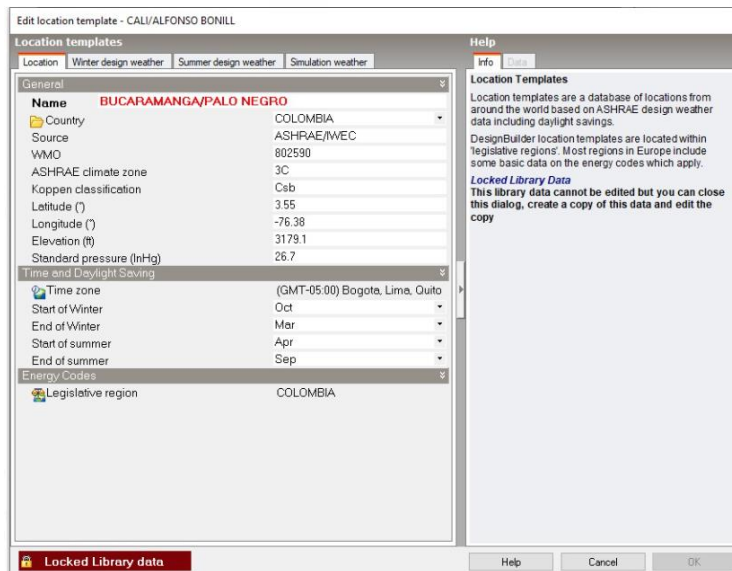
Figura 8. Ubicación geográfica de la UTS



Fuente: (Google Maps, 2023)

De este modo, en la interfaz del software se ingresan los datos de locación como se muestra en la Figura 9.

Figura 9. Pantallazo en la Interfaz DesignBuilder con la importación de Locación.



4.3. Modelamiento en el software DesignBuilder

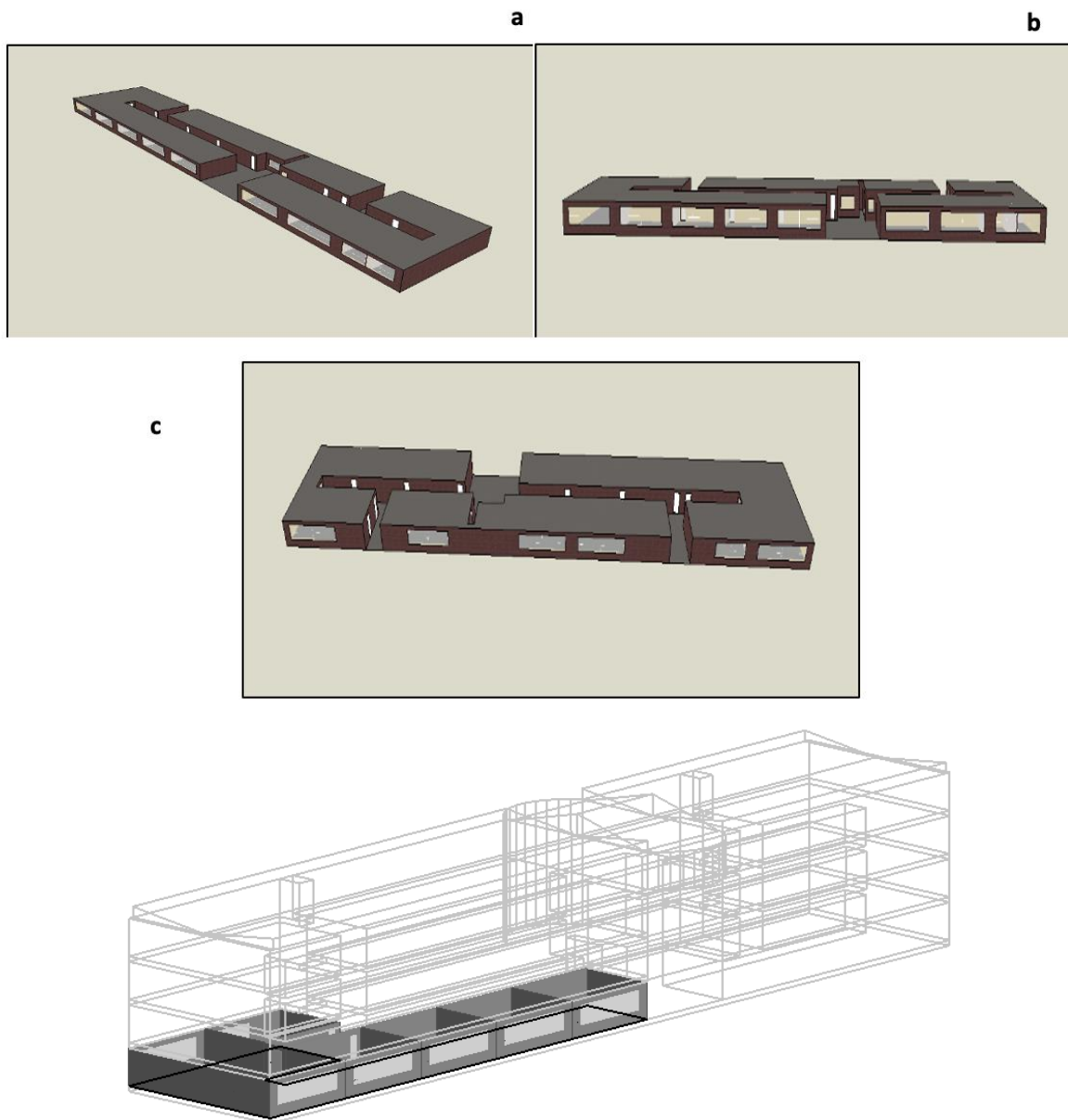
Una vez ingresado los datos climatológicos y la locación del edificio caso de estudio, se inicia con el modelado por bloques de las cuatro plantas teniendo en cuenta las distribuciones físicas de los planos realizados en AutoCAD.

4.3.1. Modelamiento del edificio C

Como se mencionaba anteriormente, el edificio cuenta con cuatro plantas de 1541 m², teniendo en cuenta la Tabla 7 donde se mencionan los materiales y la Figura 6 con los planos en 2D de la estructura y con la información climatológica de ubicación importada en el software, se modelan las plantas en DesignBuilder como se muestran en las Figura 10

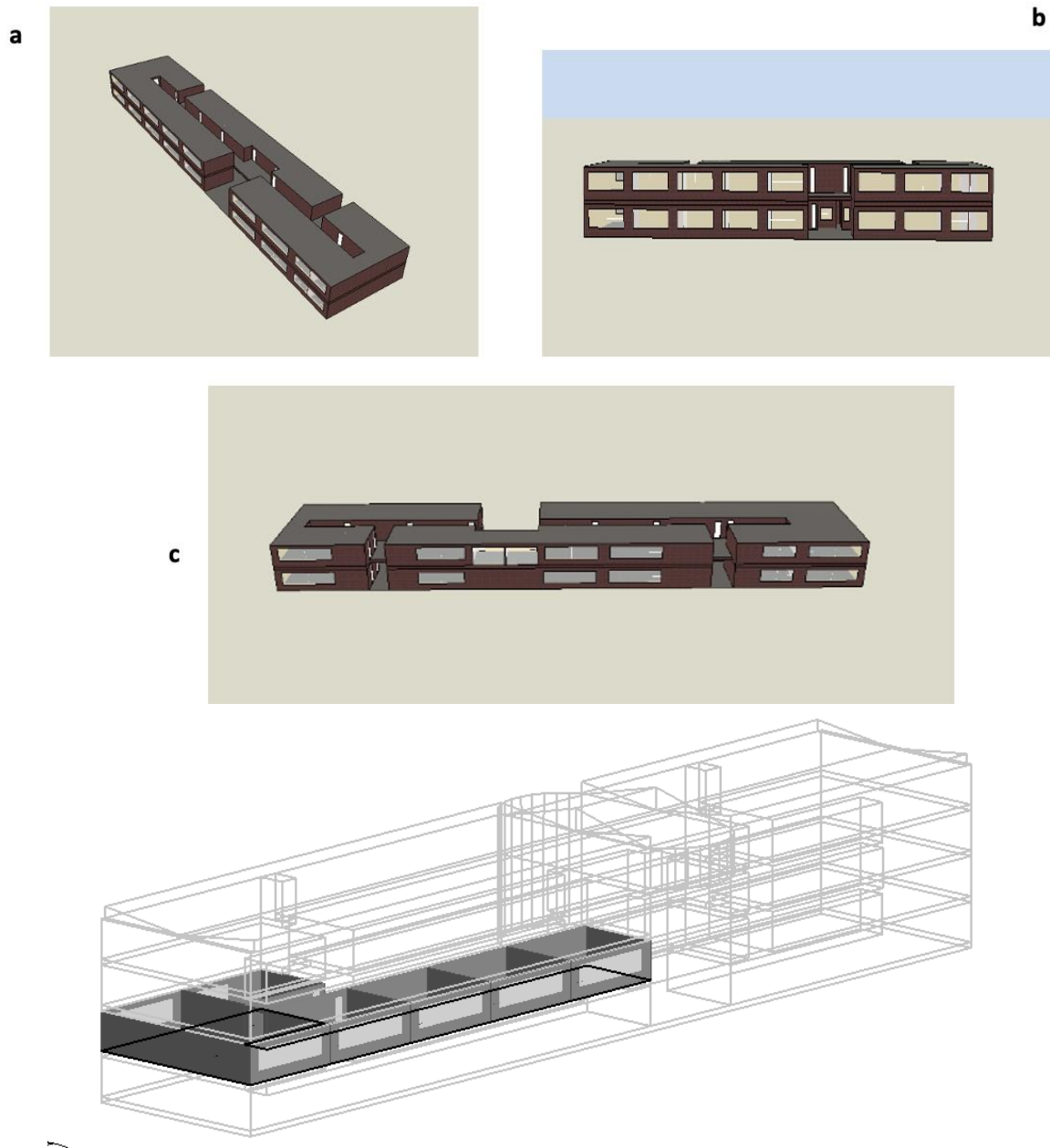
Figura 11Figura 12Figura 13.

Figura 10. Modelado del Bloque 1 de la primera planta modelada. (a) Vistas en planta isométrica, (b) Norte y (c) Sur



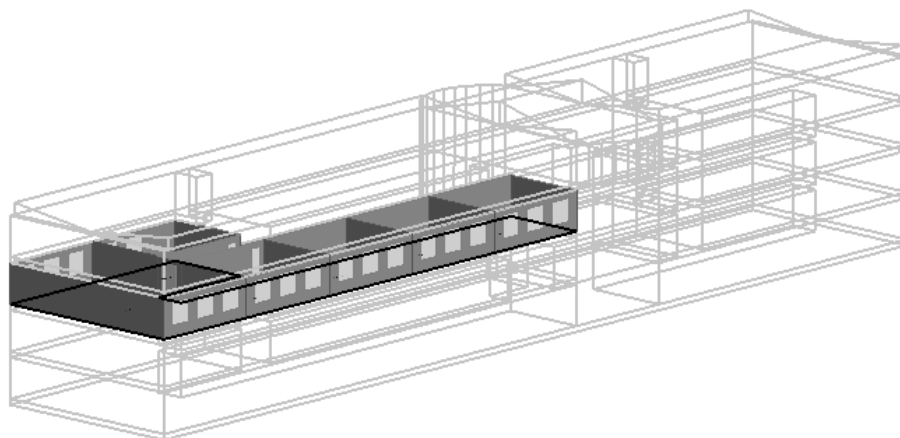
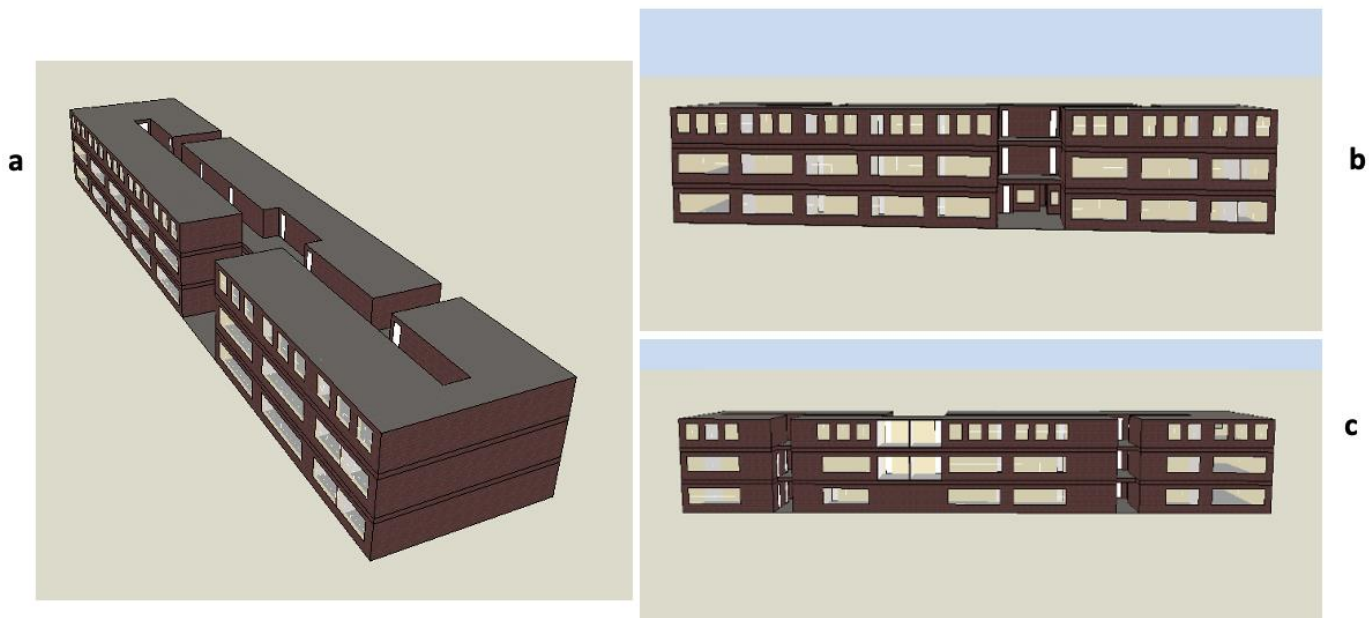
Fuente: Autor, diseñado en el Software DesignBuilder

Figura 11. Modelado del Bloque 2 de la segunda planta modelada. (a) Vistas en planta isométrica, (b) Norte y (c) Sur



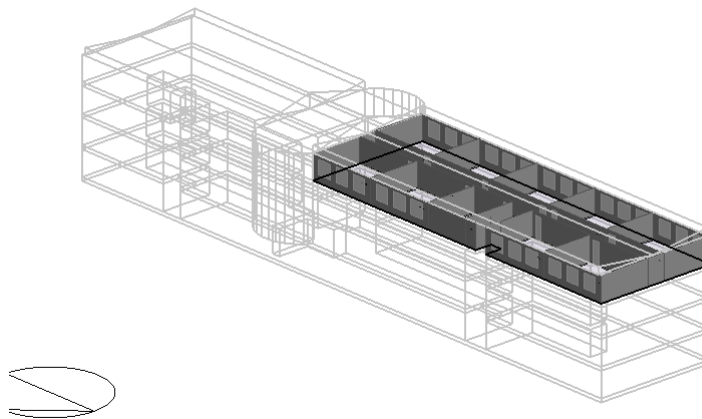
Fuente: Autor, diseñado en el Software DesignBuilder

Figura 12. Modelado del Bloque 3 de la tercera planta modelada. (a) Vistas en planta isométrica, (b) Norte y (c) Sur



Fuente: Autor, diseñado en el Software DesignBuilder

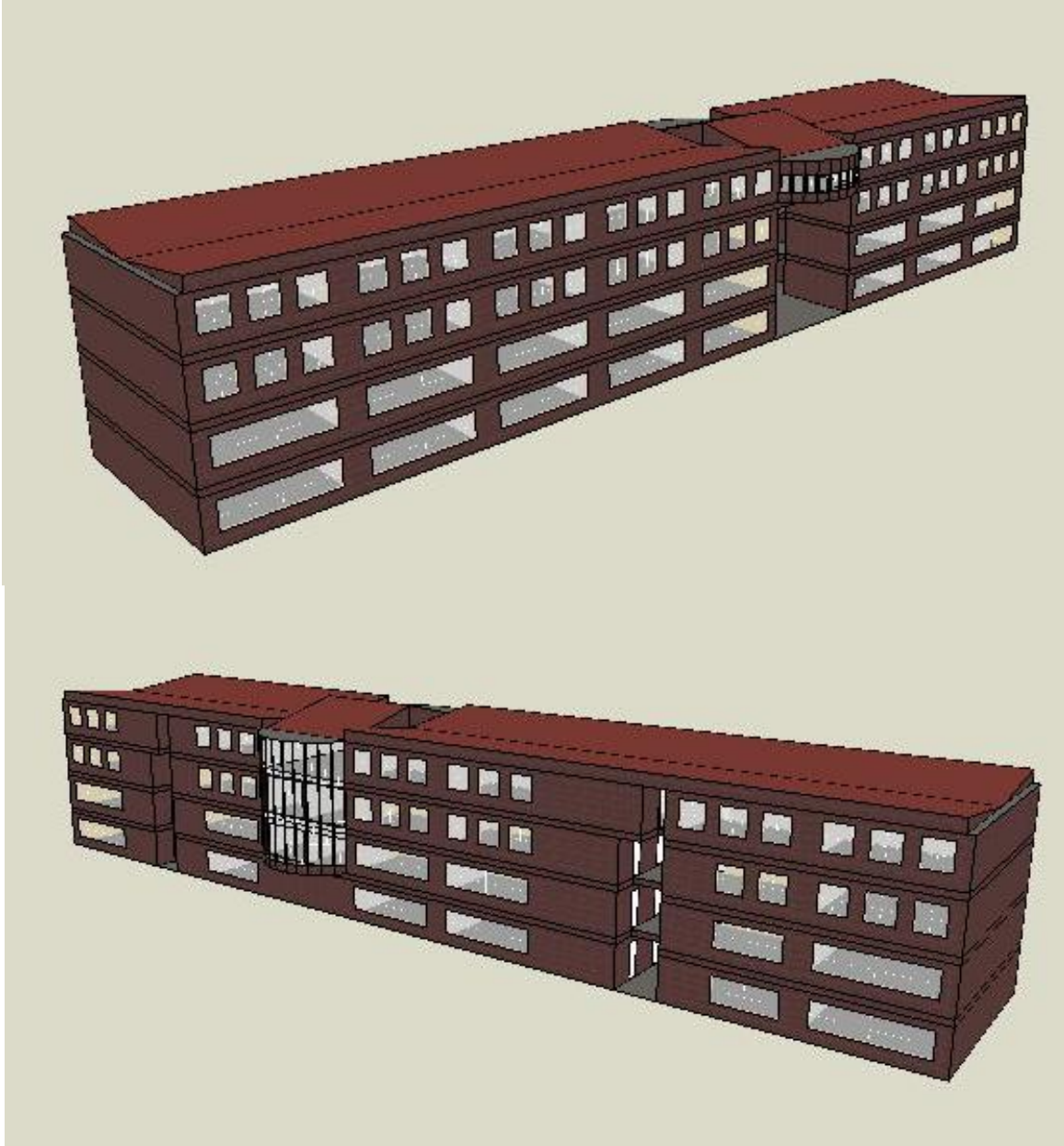
Figura 13. Modelado del Bloque 4 de la cuarta planta modelada. (a) Vistas en planta isométrica, (b) Norte



Fuente: Autor, diseñado en el Software DesignBuilder

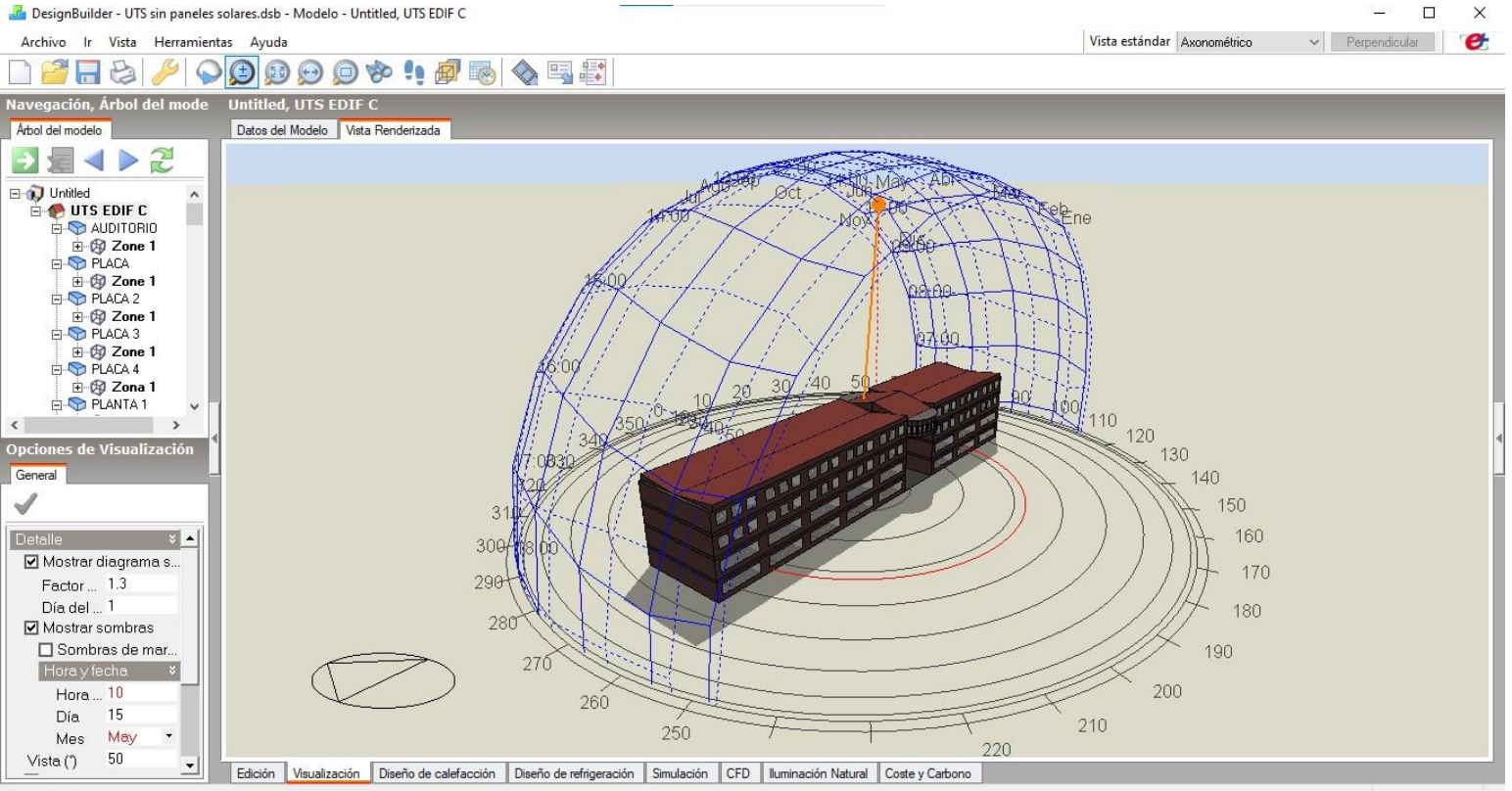
Finalmente, en la Figura 14 se presenta el edificio C modelado en el software con las cuatro plantas y en la Figura 15 se observa el edificio con el seguimiento solar.

Figura 14. Modelos 3D del Edificio C de las Unidades Tecnológicas de Santander



Fuente: Autor, diseñado en el Software DesignBuilder

Figura 15. Modelamiento del edificio con seguimiento solar.



Fuente: Autor, diseñado en el Software DesignBuilder

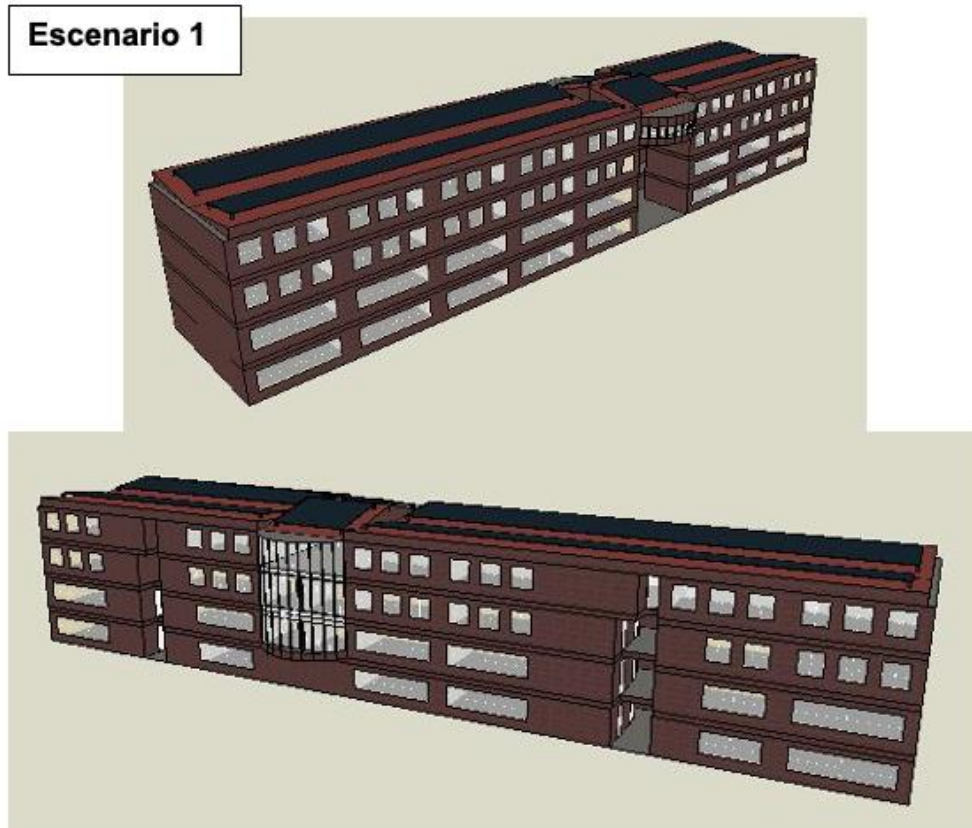
4.3.2. Modelamiento del edificio con paneles solares

El uso de módulos fotovoltaicos en tejados o fachadas puede reducir la incidencia de la radiación solar directa en las superficies de los edificios y/o en el interior de un edificio. Mientras que la mayor demanda energética de los edificios en las ciudades consideradas es para el aire acondicionado, los módulos fotovoltaicos se pueden utilizar como estrategia de sombreado para reducir las cargas térmicas y el consumo de energía. Por tanto, el uso de módulos fotovoltaicos en la superficie que recibe la mayor cantidad de radiación solar directa anual conduce a una mayor generación de energía y una reducción más significativa de la radiación solar directa y la demanda de refrigeración. En climas donde la calefacción es necesaria, la

integración de módulos fotovoltaicos puede aumentar el consumo de energía de calefacción a medida que aumenta la sombra en las superficies del edificio.

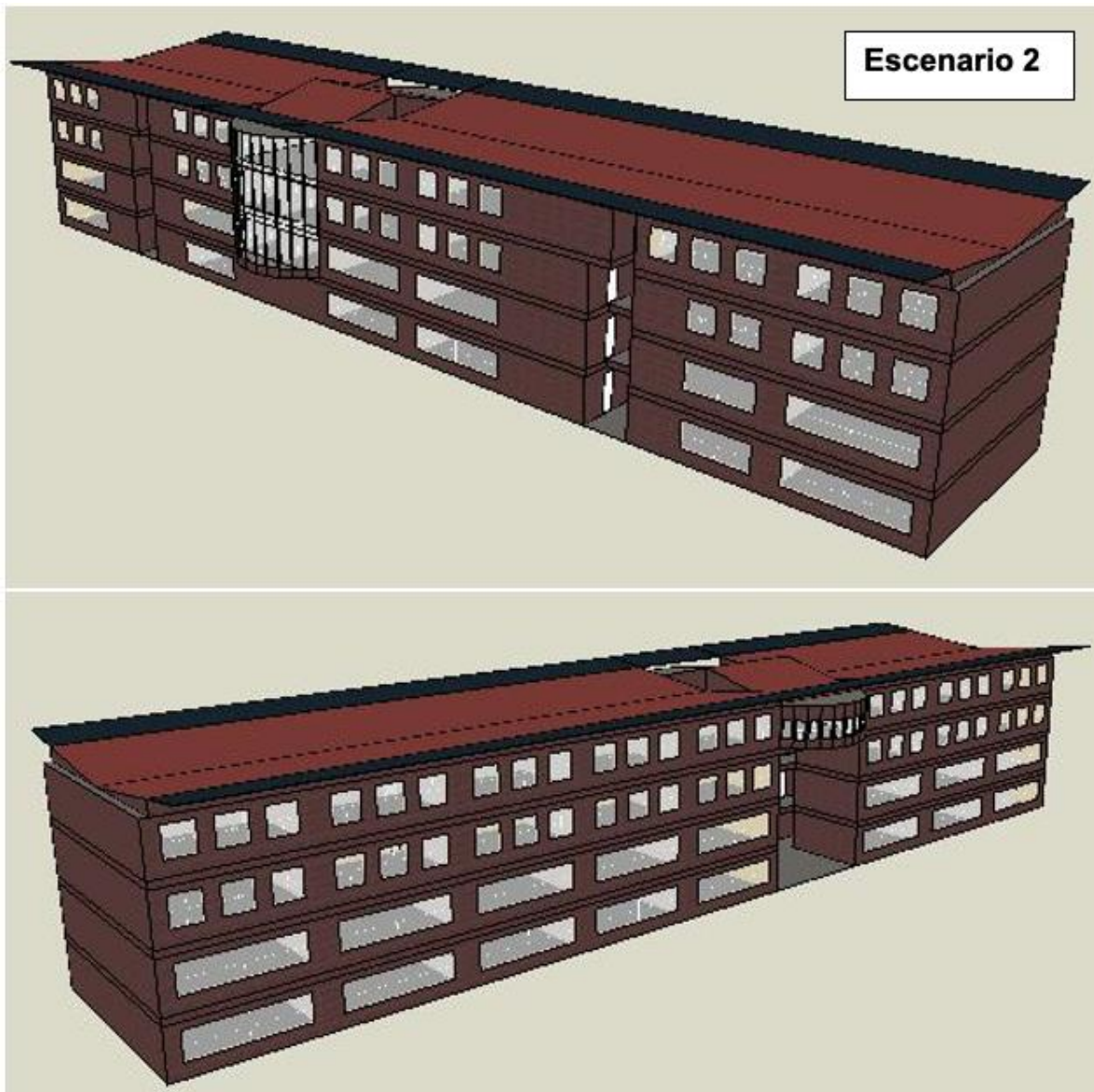
En resumen el uso de la integración fotovoltaica provoca sombras en el interior y/o exterior de los edificios, influyendo en el confort de los ocupantes y en las cargas internas y, en consecuencia, en las demandas de energía eléctrica. Para determinar el efecto de la integración fotovoltaica como método de sombreamiento para el edificio se modelaron 4 escenarios diferentes variando la posición de los paneles como se muestran en las Figura 16Figura 17Figura 18Figura 19.

Figura 16. Modelamiento del edificio con paneles fotovoltaicos en el techo.



Fuente: Autor, diseñado en el Software DesignBuilder

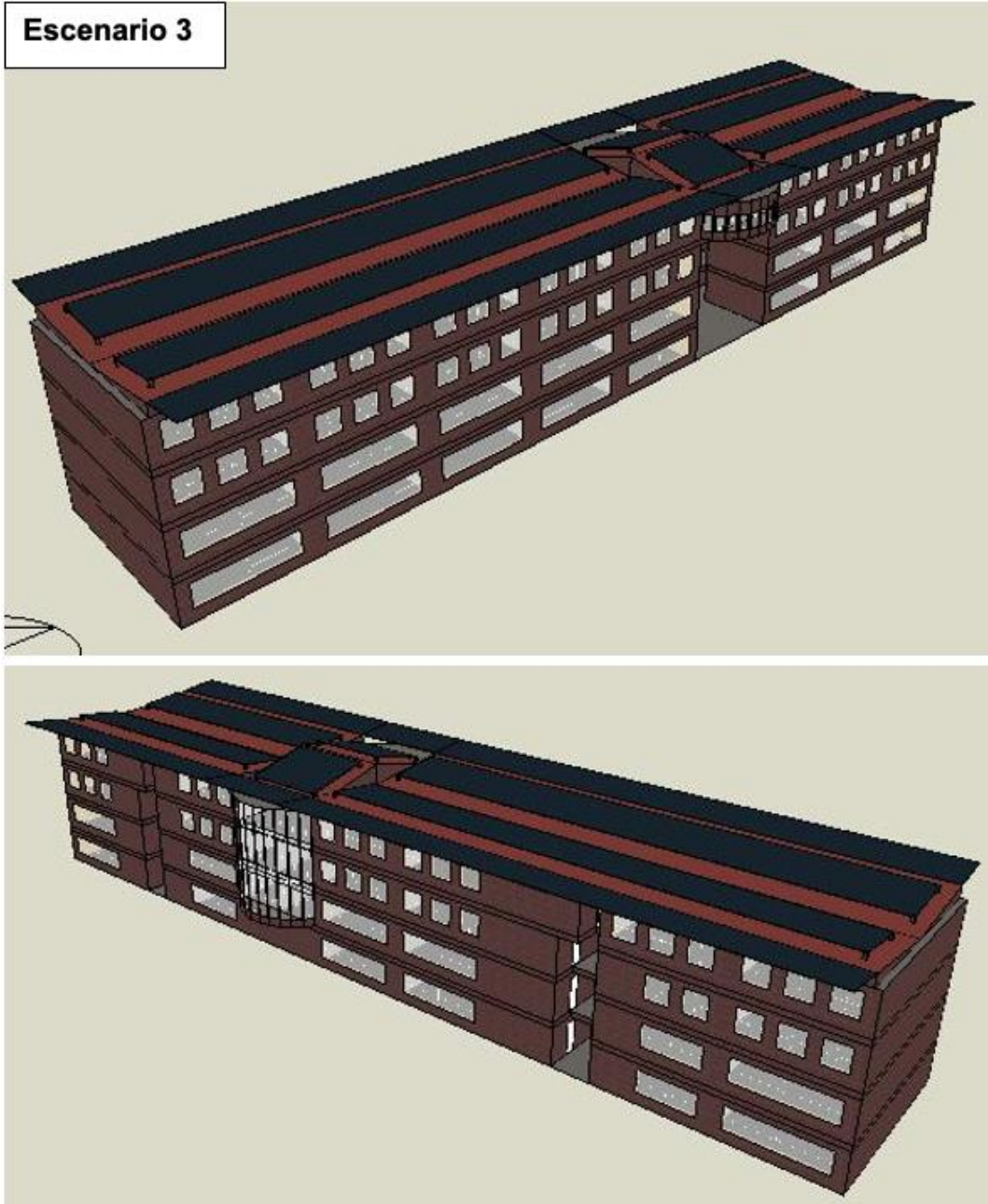
Figura 17. Modelamiento del edificio con los paneles fotovoltaicos ubicados en la parte frontal y posterior.



Fuente: Autor, diseñado en el Software DesignBuilder

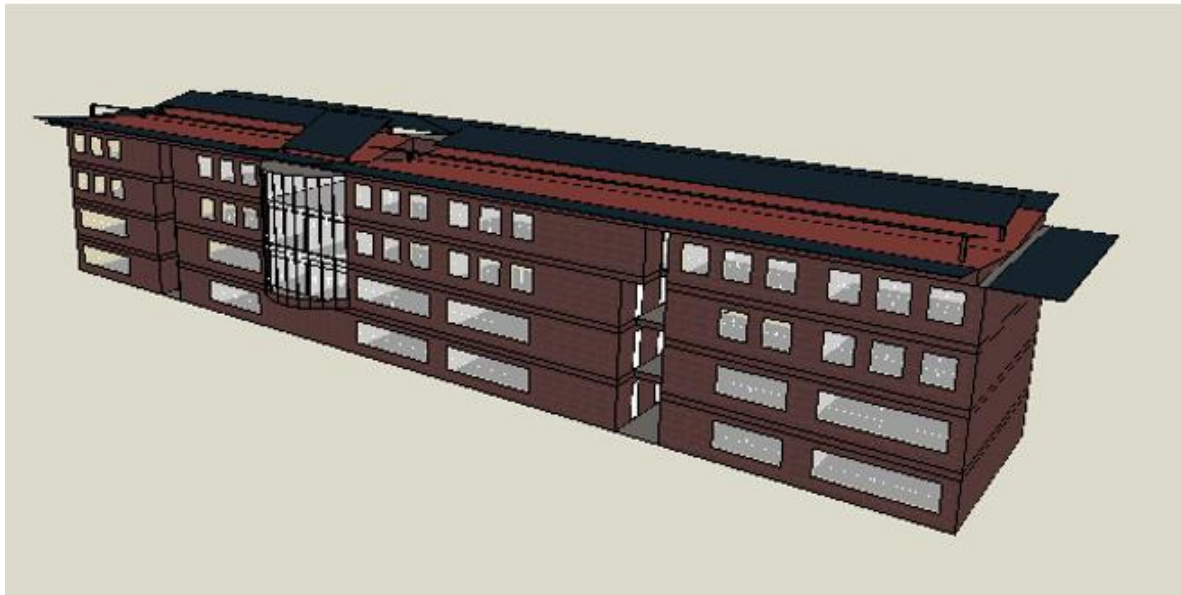
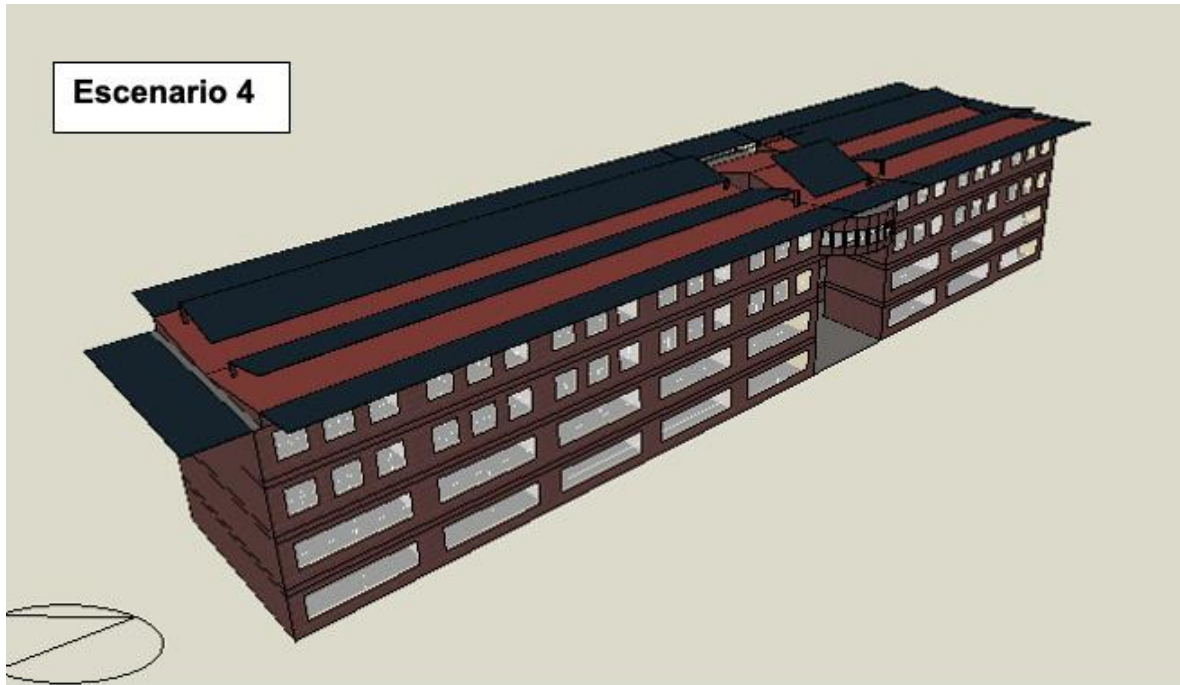
Figura 18. Modelamiento del edificio con los paneles fotovoltaicos ubicados en el techo y parte frontal y posterior.

Escenario 3



Fuente: Autor, diseñado en el Software DesignBuilder

Figura 19. Modelamiento del edificio con los paneles fotovoltaicos ubicados en el techo, laterales y parte frontal y posterior.



Fuente: Autor, diseñado en el Software DesignBuilder

Se eligió un panel característico disponible regionalmente, el silicio monocristalino ,
para formar los paneles fotovoltaicos que se integran con el edificio de los 4

escenario (Sheikh et al., 2021). Las características del panel fotovoltaico se enumeran en la Tabla 8. El conjunto fotovoltaico estaba compuesto por paneles fotovoltaicos suspendidos del tejado y separados del edificio a 0,45 metros. Una separación horizontal entre los paneles impedía que se hicieran sombra entre sí.

De este modo, los paneles se encuentran a una distancia de 0,20 m de cada panel, donde para el escenario 1 el edificio tenía un total de 240 paneles fotovoltaicos con una dimensión de ancho de 4 metros x 47.10 metros por la parte oeste del edificio y 4 metros x 27.26 metros por la parte este del edificio y en el centro cuenta con 10 panel de ancho 7.91 metros x 6.13 metros. En el caso del escenario 2 se simularon 270 paneles laterales un ancho de 4 metros x 88.98 metros de largo. Para el escenario 3 se suma el caso 1 y 3 con un total de 520 paneles ya detallados anteriormente.

Tabla 8. Capas termo físicas del panel fotovoltaico

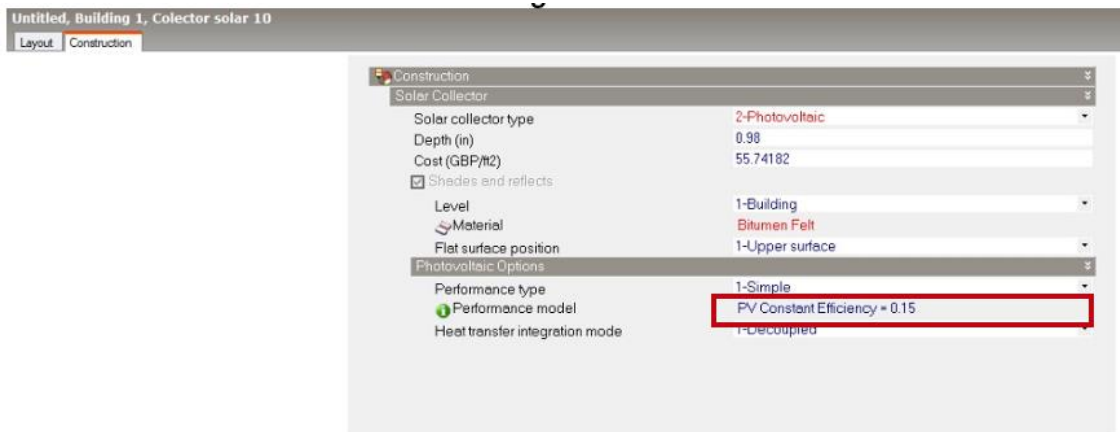
Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Capacidad calorífica específica
	(mm)	(W/m 2 K)	(kg/m 3)	(J/kg K)
Vidrio	2.5	1.8	3000	500
Acetato de etilvinilo	0.3	0,35	960	2090
Silicio	0,2	148	2330	677
Acetato de etilvinilo	0.3	0,35	960	2090
Vidrio	2.5	1.8	3000	500
Tedlar	0,2	0,2	1200	1250

Fuente: Adaptado de: (Dehwah & Asif, 2019)

4.4. Simulación

La simulación se realizó con una inclinación de los paneles solares con la horizontal (α) de 25° teniendo en cuenta el espacio entre filas a lo largo de la superficie del techo y la inclinación de la superficie del techo (β). La eficiencia de los paneles solares se consideró del 15% como se muestra en la Figura 20. Se simularon los 4 escenarios de manera independiente.

Figura 20. Interfaz de DesignBuilder con las especificaciones de la construcción de los paneles fotovoltaicos.



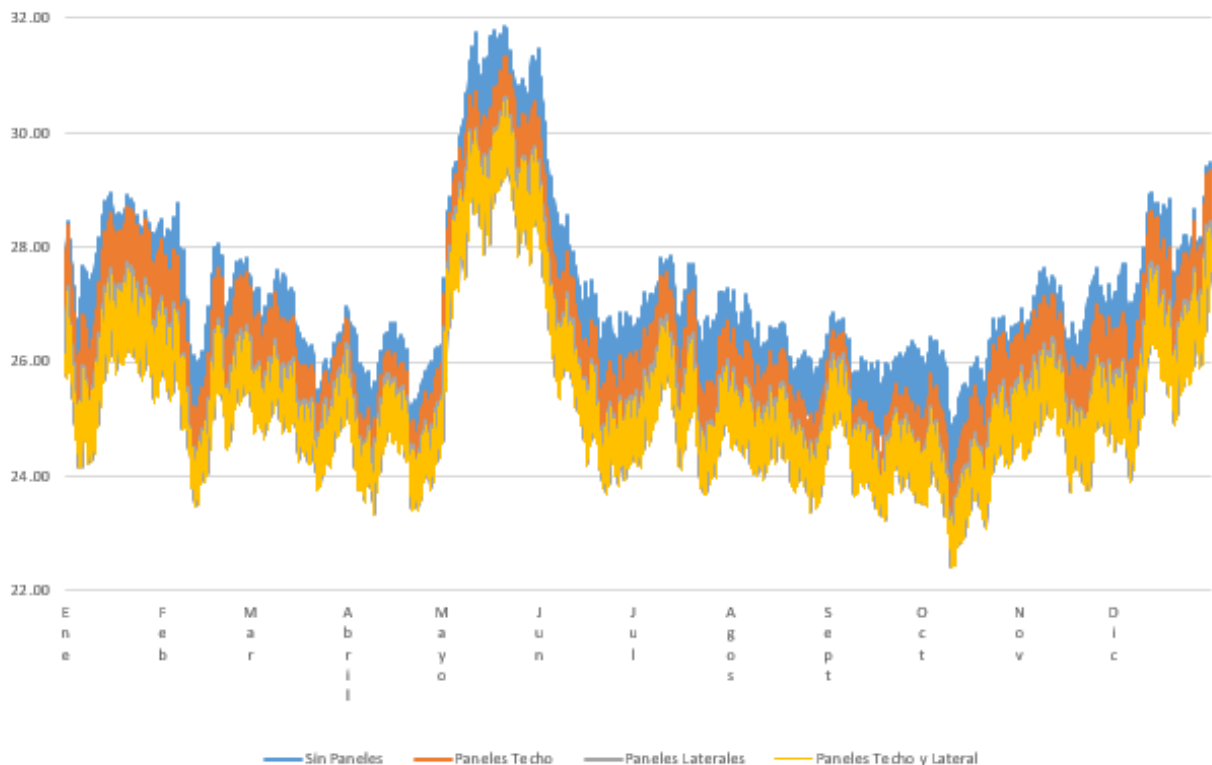
Fuente: Autor, importación de datos en el Software DesignBuilder

5. RESULTADOS

5.1. Análisis de impacto de las temperaturas del edificio aplicando cada escenario.

Una vez modelado el edificio e ingresado los datos climatológicos y de locación de la ciudad de Bucaramanga y los diferentes parámetros, se inicia con la simulación para el año 2022. En la Gráfica 1 se logró evidenciar que en el mes de mayo es el pico de temperatura externa en la ciudad de Bucaramanga.

Gráfica 1. Análisis de las horas de confort térmico de la en el año del edificio



Así mismo la clasificación del índice de confort térmico se presenta en la

De la gráfica anterior se relaciona la Tabla 9 donde se observa la variación positiva de acuerdo con los diferentes sombreamientos de paneles solares, siendo el escenario 3 con los 5 paneles solares en el techo del edificio y los 2 laterales con mayor eficiencia con respecto a la temperatura exterior, la diferencia son 6.03 °C cuando llega al pico de temperatura externa. También se puede evidenciar que cuando la temperatura externa llega al mínimo registrado, la temperatura interna o el confort térmico interno se mantiene estable por ello la temperatura interna es mayor que la externa.

Tabla 9. Temperatura externa vs temperatura interna en el año del edificio

	Temp ext	Sin Paneles	Paneles Techo	Paneles Laterales	Paneles Techo y Lateral
Promedio	22.02	26.67	26.09	25.46	25.38
Max	36.58	31.85	31.32	30.62	30.55
Min	16.48	23.77	22.90	22.41	22.41

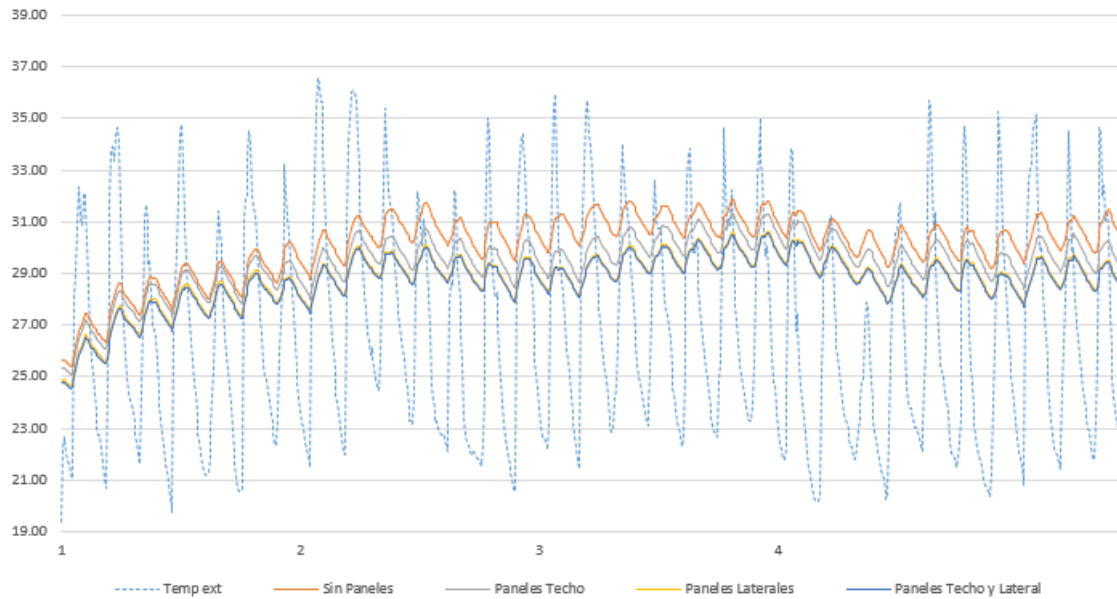
De acuerdo con el pico de temperatura externa máxima de 36.58°C correspondiente al mes de mayo, se realizó un análisis independiente para este periodo y determinar el comportamiento de la temperatura externa vs la interna en los diferentes escenarios propuestos de los paneles solares como sombreamiento como se observa en la Gráfica 2.

Gráfica 2. Temperatura externa vs temperatura interna en el mes de mayo del edificio.

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0



De acuerdo con la gráfica anterior, la segunda semana de mayo las temperaturas aumentan, lo que significa que es la más calurosa del año. Estos resultados indican la necesidad de analizar el comportamiento interno de esta semana (ver Gráfica 3 y Tabla 10)

Gráfica 3. Temperatura externa vs temperatura interna del edificio en la segunda semana de mayo

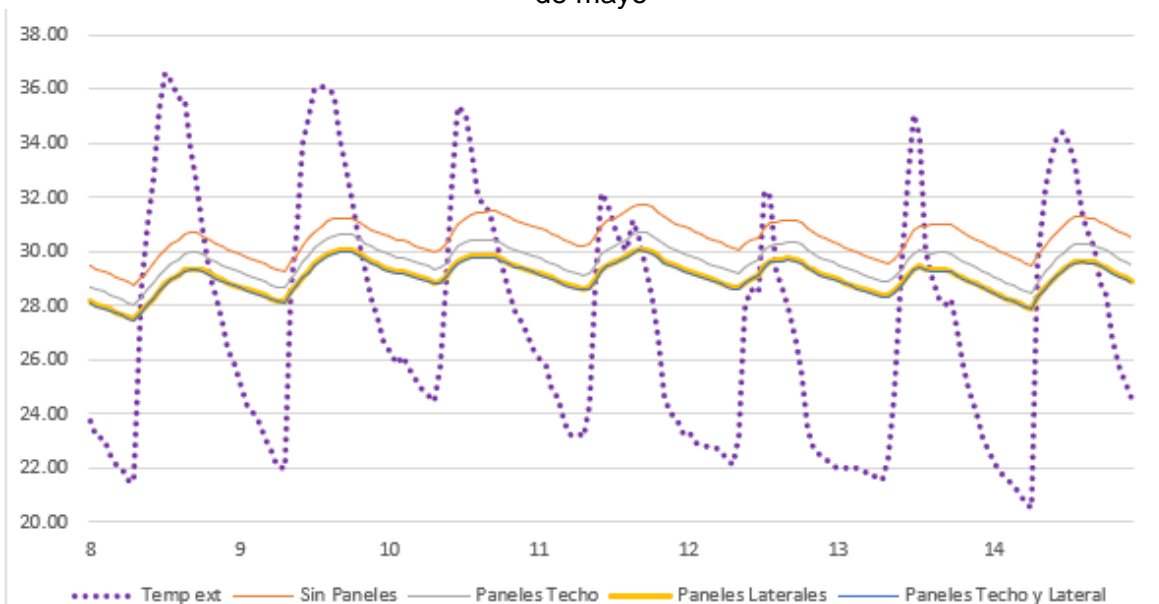


Tabla 10. Temperatura externa vs temperatura interna en la segunda semana del edificio

	Temp ext	Sin Paneles	Paneles Techo	Paneles Laterales	Paneles Techo y Lateral
Promedio	27.37	30.49	29.63	29.06	29.01
Maximo	36.58	31.74	30.72	30.08	30.01
Minimo	20.53	28.77	28.03	27.50	27.45

De acuerdo con los resultados anteriores, el día 8 de mayo se alcanzó una temperatura externa máxima de 36.58°C, de este modo, se analizó en qué hora exacta presentó la mayor temperatura y como impactó en los diferentes escenarios propuestos (Ver Tabla 11 y Gráfica 4).

Gráfica 4. Temperatura externa vs temperatura interna del edificio en el día 8 de mayo

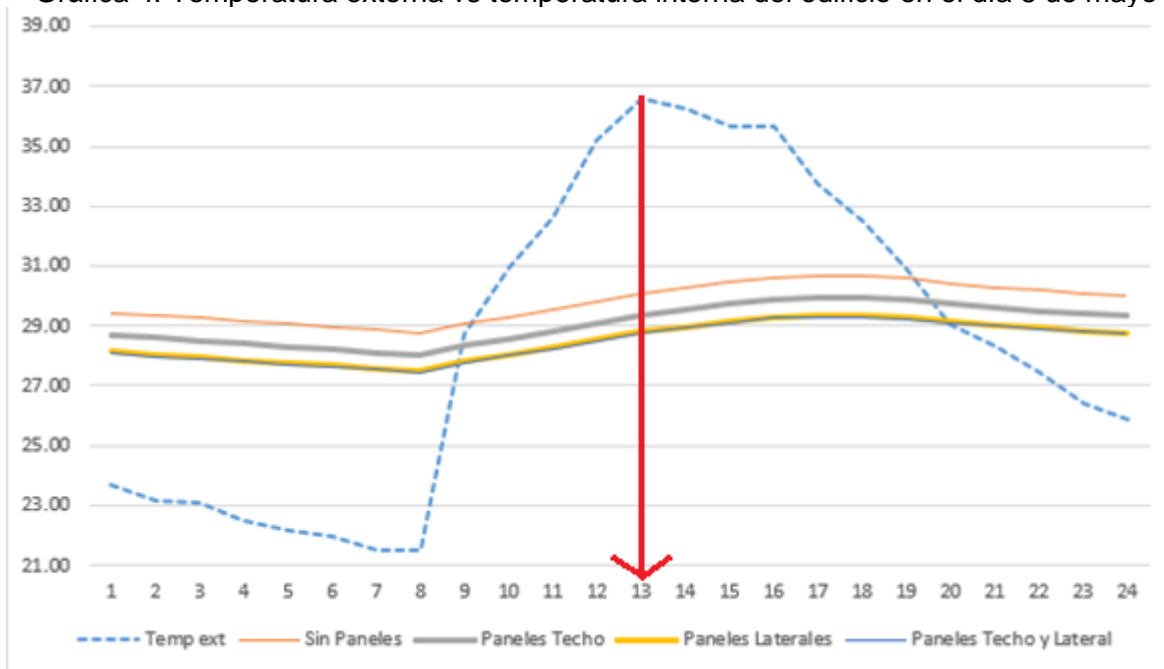


Tabla 11. Resultados de la temperatura externa vs temperatura interna del edificio en el día 8 de mayo

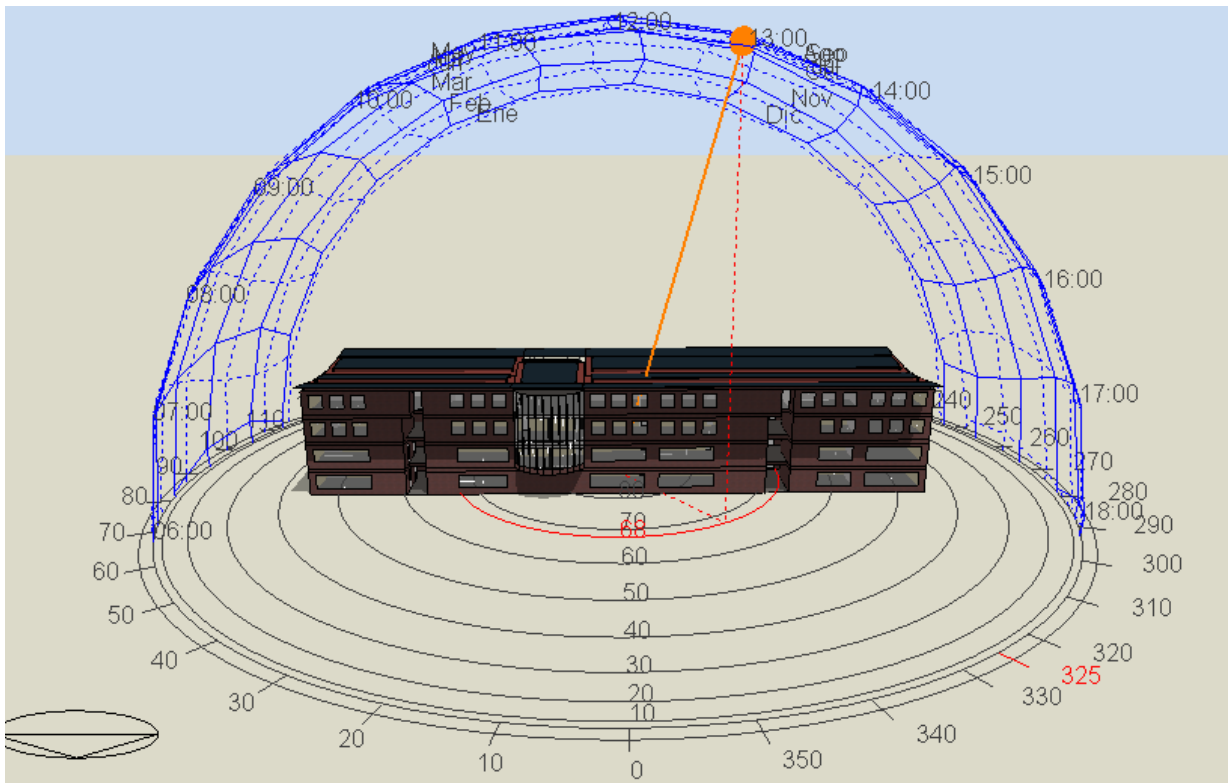
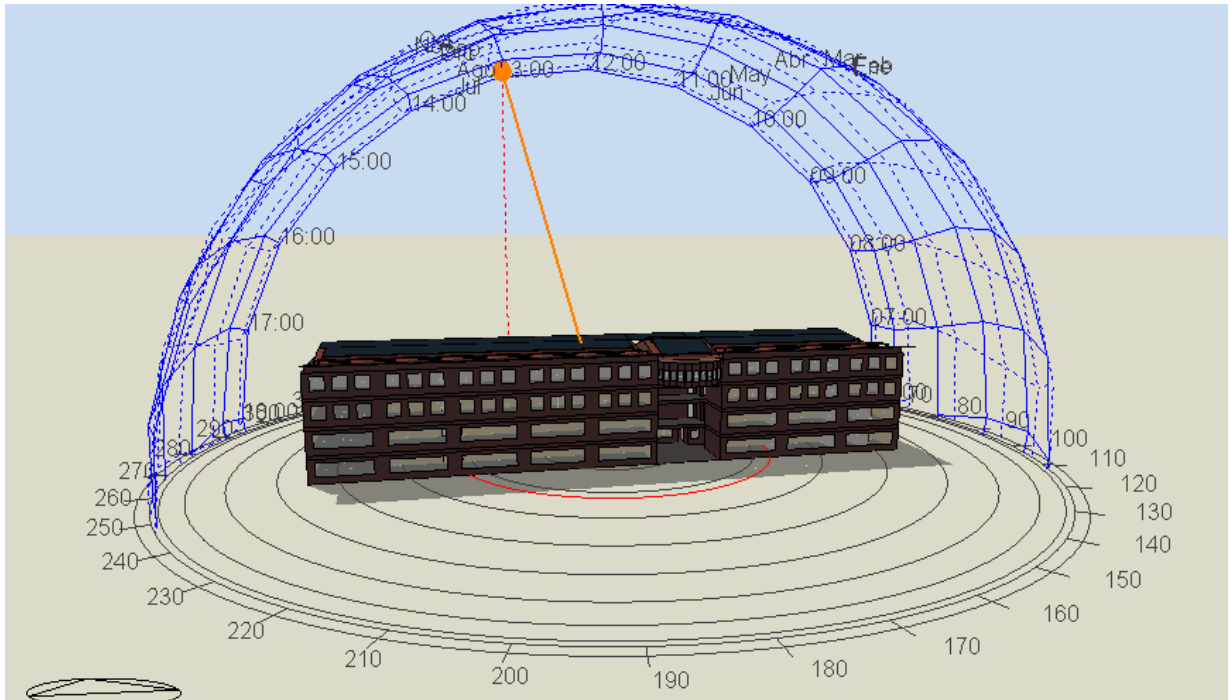
Fecha y Hora	Temp ext	Sin Paneles	Paneles Techo	Paneles Laterales	Paneles Techo y Lateral
Promedio	28.56	29.78	29.06	28.50	28.45
Maximo	36.58	30.68	29.96	29.36	29.30
Minimo	21.48	28.77	28.03	27.50	27.45

Se puede observar de la gráfica y la tabla que el día 8 de mayo a las 13:00 horas se presentó el pico de mayor temperatura externa, indicó que el máximo de temperatura externa es de 36.58°C, la temperatura interna del edificio es de 30.68°C, sin embargo, aplicando el primer escenario de paneles, se observó que la temperatura comienza a descender, llegando a 29.30°C que equivale a una diferencia de 7.28°C respecto a la temperatura exterior y un 1.38°C respecto a la temperatura sin sombreadamiento.

5.2. Análisis del escenario con mayor eficiencia.

En la Figura 21 se presenta el escenario 3, el cual cuenta con 4 paneles en el techo 1 en el centro del techo y 2 laterales con el seguimiento solar simulado para el periodo analizado.

Figura 21. Seguimiento solar del escenario 3 para el periodo de estudio 2022.



Fuente: Autor, Simulado en el Software DesignBuilder

ELABORADO POR:
Oficina de Investigaciones

REVISADO POR:
soporte al sistema integrado de gestión

APROBADO POR: Asesor de planeación
FECHA APROBACION:

De la figura anterior se puede observar que cuando la órbita del sol llega a las 13:00 horas este impacta en la temperatura externa llegando a los 36.58°C y un 30.68°C en la temperatura interna, esto sucede porque el impacto térmico lo absorbe los materiales de construcción del edificio.

Además, se puede observar un resultado interesante al incorporar el escenario 3 al edificio. Se produce un sombreado sobre el edificio ayudando a minimizar el confort térmico interno.

Debido a los resultados anteriores, se evidencio un gran impacto de temperatura externa afectando la interna por el impacto en los materiales de construcción del edificio. Por lo tanto, se realizaron variaciones en la distancia de eje de separación de los paneles con el techo y adecuando paneles solares frontales para evaluar su comportamiento (ver Tabla 12).

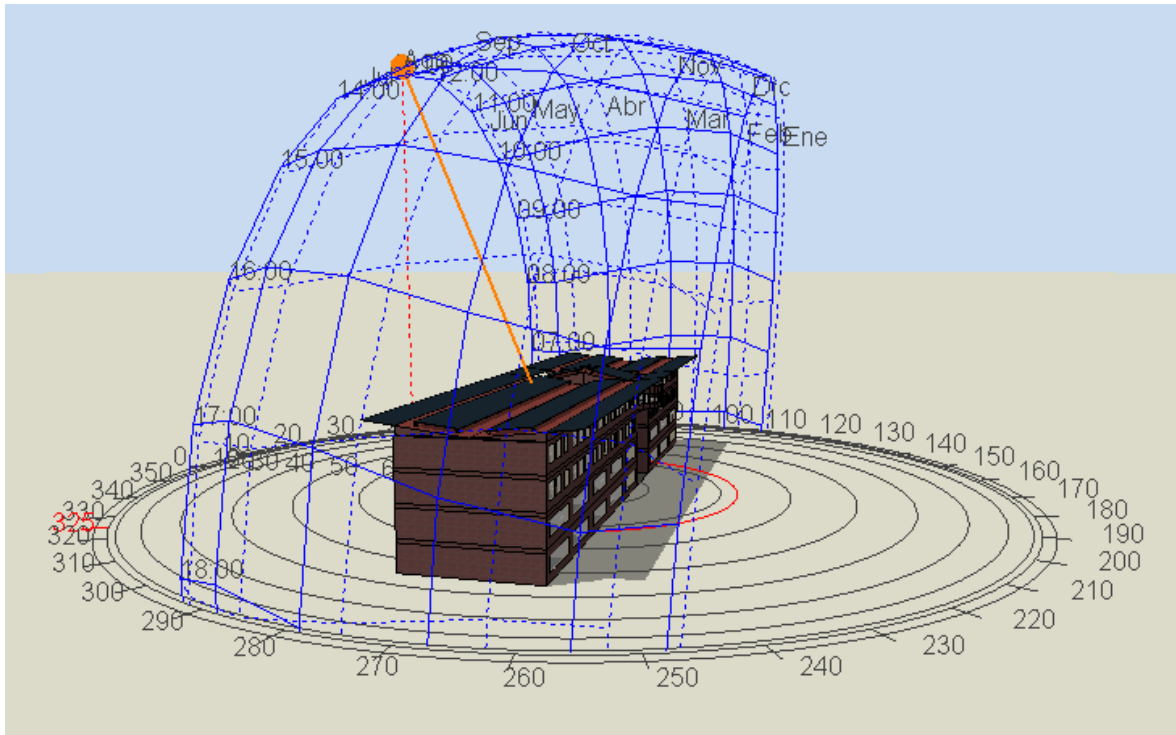
Tabla 12. Temperatura externa vs temperatura interna con el 4 escenario propuesto.

	Temp ext	Sin Paneles	Paneles Techo	Paneles Laterales	Paneles Techo y Lateral	PS lateral, forntal, techo
Promedio	22.02	26.67	26.09	25.46	25.38	25.37
Max	36.58	31.85	31.32	30.62	30.55	30.53
Min	16.48	23.77	22.90	22.41	22.41	22.40

Es importante mencionar que, la diferencia de los paneles en techo y lateral, con una altura de 50 cm de los paneles respecto al techo, son despreciables.

Con la simulación del tercer escenario de los paneles solares en el techo y en los laterales, el análisis de la temperatura externa vs la temperatura interna, junto a la visualización de la órbita del sol en una hora especifica (ver Figura 22), se puede evidenciar que el mayor sombreado con el pico de temperatura es en la parte de la entrada principal al edificio (parte fronal).

Figura 22. Seguimiento solar del escenario 3



5.3. Evaluación de la temperatura interna por planta

Una vez seleccionado y analizado el escenario con mayor eficiencia de sombreadamiento, el día del año en el que presentó mayor pico de temperatura externa y la hora del día en que se produjo mayor confort interno respecto a la temperatura externa y, la diferencia de temperatura de la temperatura interna respecto a la temperatura externa la cual es de 7.28°C, pero teniendo en cuenta que esta temperatura es global del edificio. Con respecto a lo anterior el mayor sombreadamiento que se produce es la parte delantera del edificio, en la entrada principal.

5.3.1. Análisis en la planta 1

Por lo tanto, se continua con el análisis, y ahora de la temperatura interna por planta para analizar el comportamiento de los paneles solares como sombreamiento en las diferentes plantas en el transcurso del periodo 2022 (Ver Gráfica 5 y Tabla 13).

Asimismo, se presentan la

Gráfica 6 y la Tabla 14 donde se observan la temperatura externa vs temperatura interna del mes de mayo de la planta 1. Por otro lado en la Gráfica 7 y la

Tabla 15 la temperatura externa vs temperatura interna de la segunda semana de la planta 1 y por último en la Gráfica 8 y la

Tabla 16 la temperatura externa vs temperatura interna del día 8 de mayo de la planta 1

Gráfica 5. Análisis de impacto de temperatura exterior vs temperatura interna de la planta 1 aplicando los 3 escenarios.

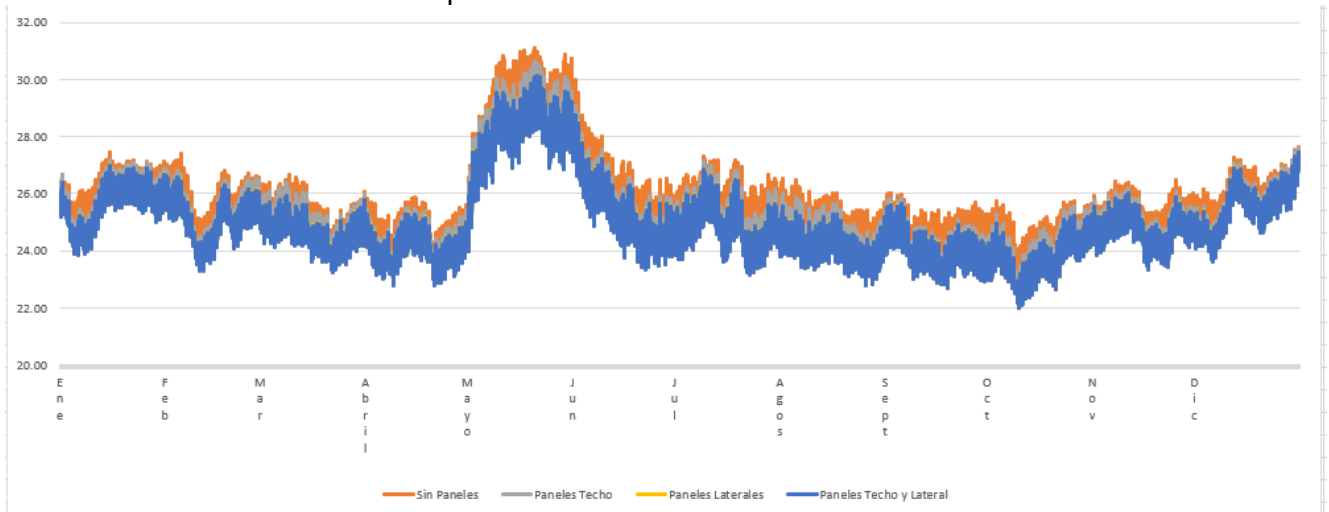


Tabla 13. Temperatura externa vs temperatura interna del año de la planta 1

Fecha y Hora	Temp ext	Sin Paneles	Paneles Techo	Paneles Laterales	Paneles Techo y Lateral
Promedio	22.02	25.65	25.20	24.94	24.93
Max	36.58	31.09	30.66	30.12	30.11
Min	16.48	23.06	22.32	22.01	22.01

Gráfica 6. Análisis de impacto de temperatura exterior vs temperatura interna de la planta 1 aplicando los 3 escenarios en el mes de mayo.

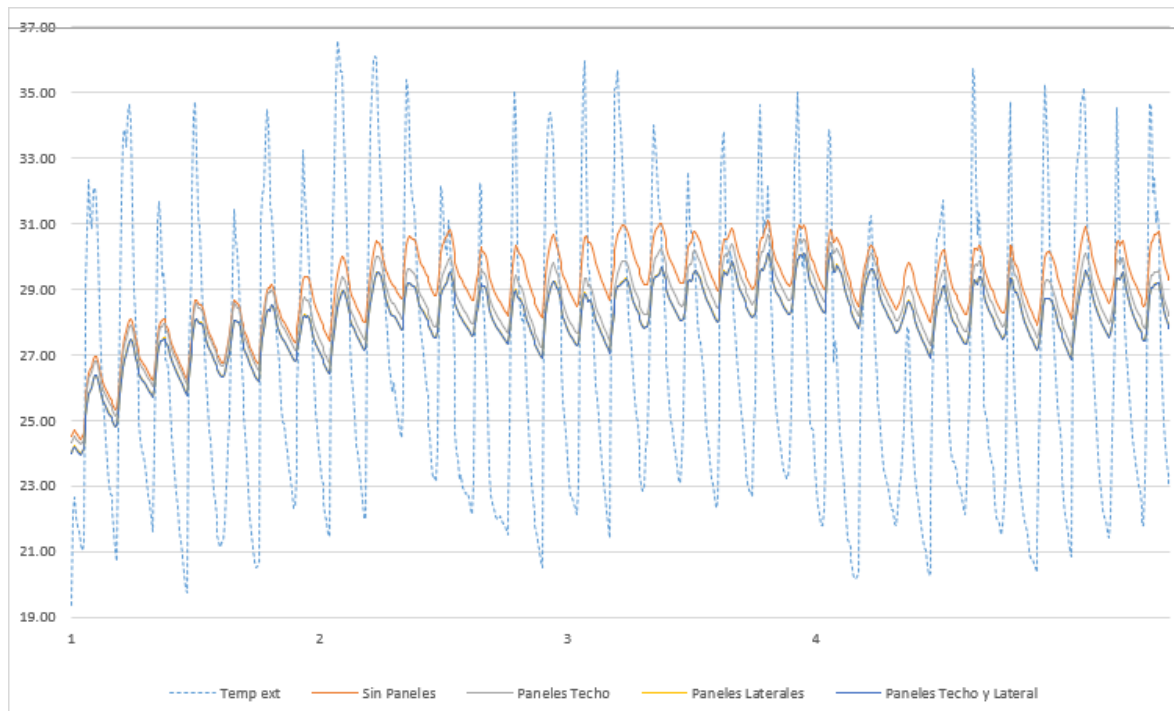


Tabla 14. Temperatura externa vs temperatura interna del mes de mayo de la planta 1.

Fecha y Hora	Temp ext	Sin Paneles	Paneles Techo	Paneles Laterales	Paneles Techo y Lateral
Promedio	26.67	29.03	28.46	28.06	28.05
Maximo	36.58	31.09	30.66	30.12	30.11
Minimo	19.35	24.44	24.26	23.97	23.96

Gráfica 7. Análisis de impacto de temperatura exterior vs temperatura interna de la planta 1 aplicando los 3 escenarios en la segunda semana de mayo.

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0

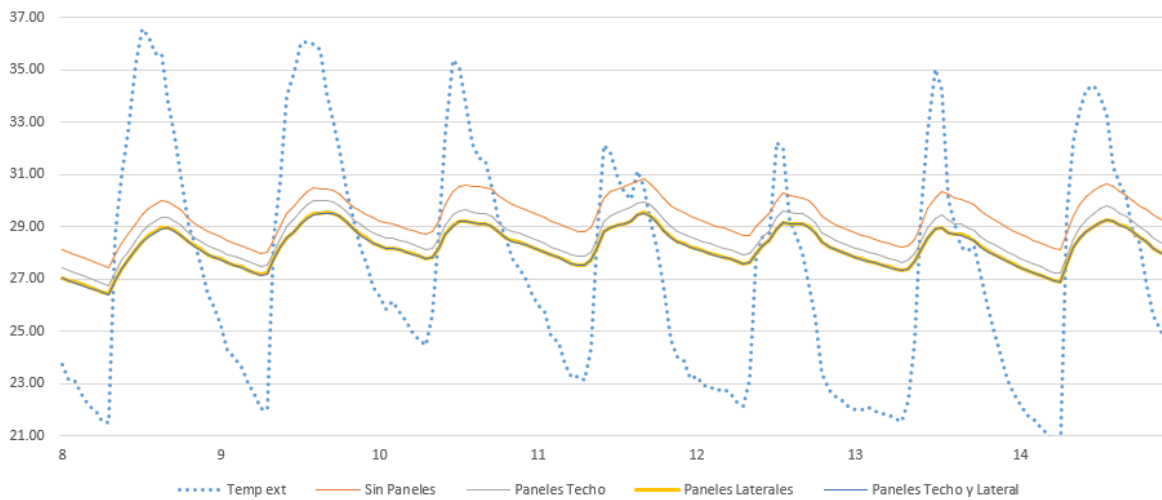


Tabla 15. Temperatura externa vs temperatura interna de la segunda semana de la planta 1.

Fecha y Hora	Temp ext	Sin Paneles	Paneles Techo	Paneles Laterales	Paneles Techo y Lateral
Promedio	27.37	29.35	28.61	28.24	28.22
Maximo	36.58	30.82	30.02	29.54	29.53
Minimo	20.53	27.43	26.76	26.42	26.41

Gráfica 8. Análisis de impacto de temperatura exterior vs temperatura interna de la planta 1 aplicando los 3 escenarios el día 8 de mayo.

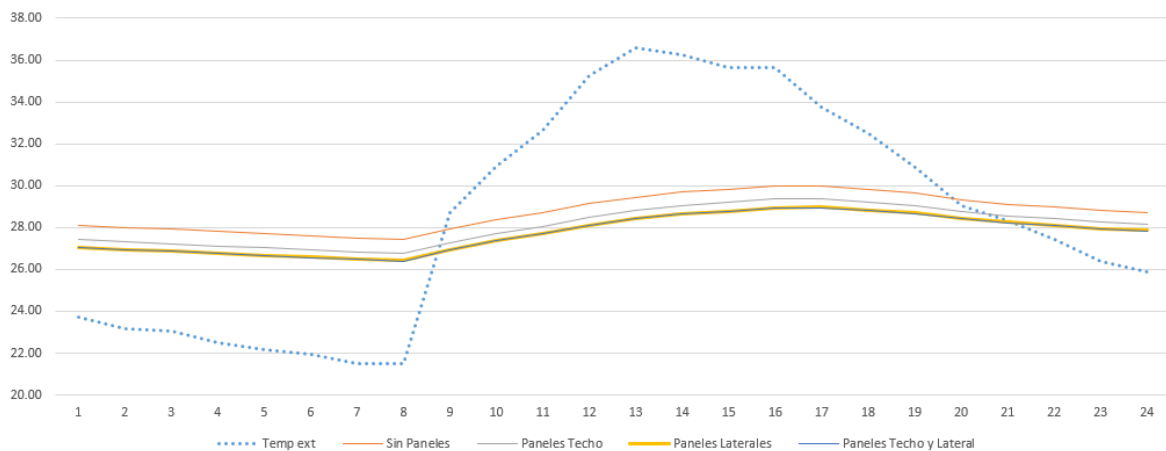


Tabla 16. Temperatura externa vs temperatura interna del día 8 de mayo de la planta 1

Fecha y Hora	Temp ext	Sin Paneles	Paneles Techo	Paneles Laterales	Paneles Techo y Lateral
Promedio	28.56	28.73	28.10	27.74	27.73
Maximo	36.58	29.99	29.36	28.96	28.95
Minimo	21.48	27.43	26.76	26.42	26.41

De los resultados en las gráficas y tablas, se puede observar que, la diferencia de temperatura de la planta 1 con paneles solares en el techo y en los laterales respecto a la temperatura externa es de 7.63°C

5.3.2. Análisis en la planta 2

Se continua con el análisis en la planta 2, evaluando la temperatura interna por planta para analizar el comportamiento de los paneles solares como sombreamiento en las diferentes plantas en el transcurso del periodo 2022 (Ver Gráfica 9 y

Tabla 17). Asimismo, se presentan la Gráfica 10 y la Tabla 18 donde se observan la temperatura externa vs temperatura interna del mes de mayo. Por otro lado en la Gráfica 11 y la

Tabla 19 la temperatura externa vs temperatura interna de la segunda semana y por último en la

Gráfica 12 y la Tabla 20 la temperatura externa vs temperatura interna del día 8 de mayo.

Gráfica 9. Análisis de impacto de temperatura exterior vs temperatura interna de la planta 2 aplicando los 3 escenarios.

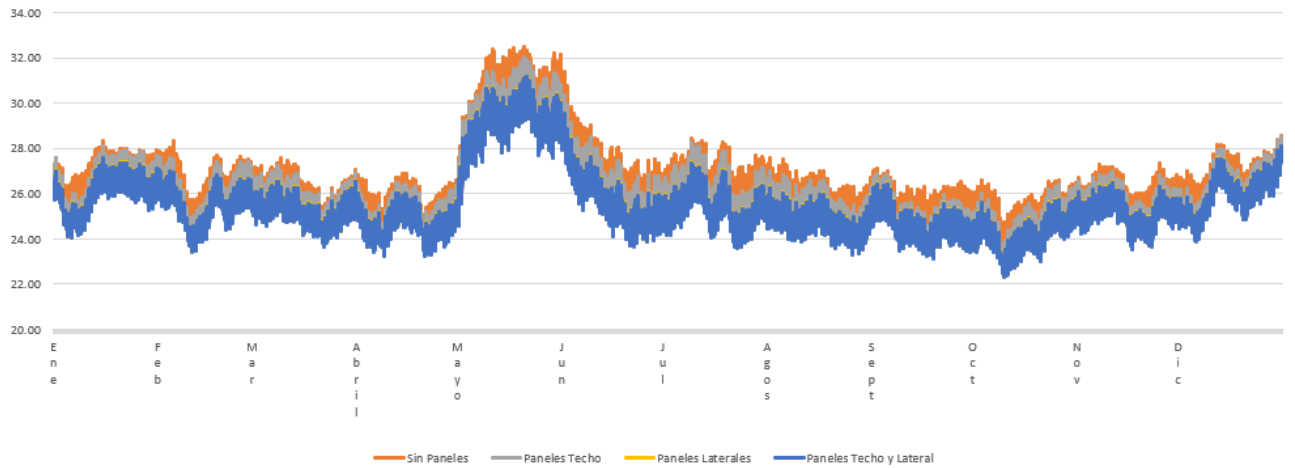


Tabla 17. Temperatura externa vs temperatura interna del año de la planta 2

Fecha y Hora	Temp ext	Sin Paneles	Paneles Techo	Paneles Laterales	Paneles Techo y Lateral
Promedio	22.02	26.51	26.00	25.49	25.46
Max	36.58	32.49	32.05	31.19	31.16
Min	16.48	23.54	22.71	22.31	22.30

Gráfica 10. Análisis de impacto de temperatura exterior vs temperatura interna de la planta 2 aplicando los 3 escenarios en el mes de mayo.

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0

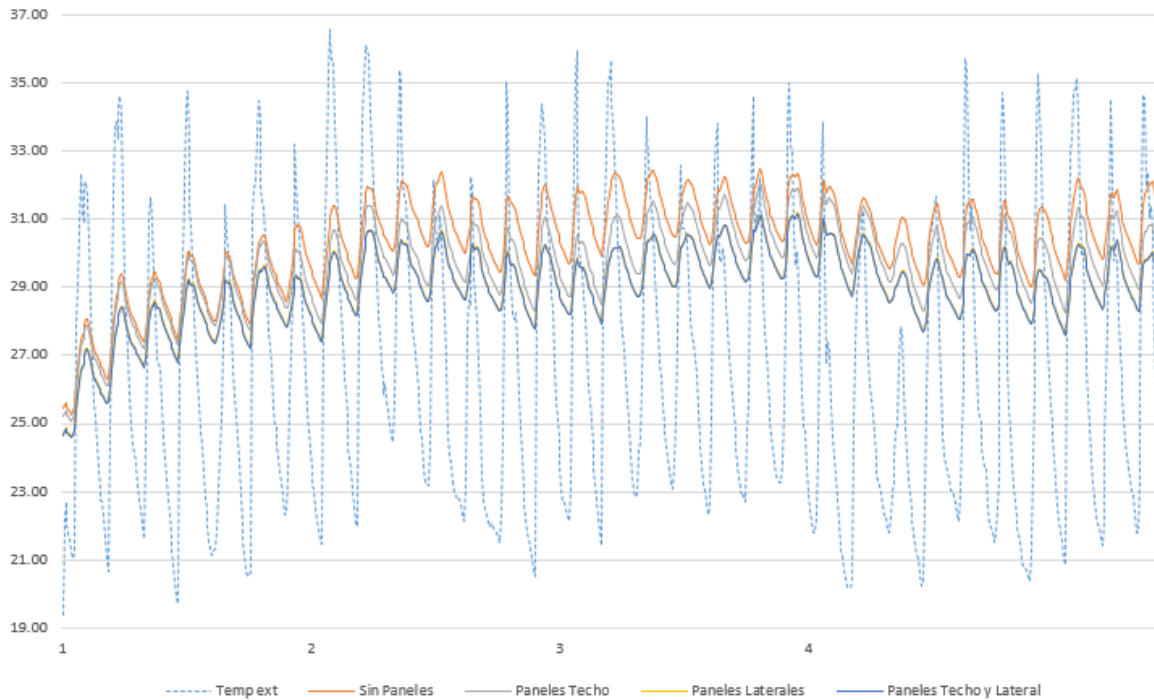


Tabla 18. Temperatura externa vs temperatura interna del mes de mayo de la planta 2

Fecha y Hora	Temp ext	Sin Paneles	Paneles Techo	Paneles Laterales	Paneles Techo y Lateral
Promedio	26.67	30.32	29.69	29.03	29.01
Maximo	36.58	32.49	32.05	31.19	31.16
Minimo	19.35	25.28	25.08	24.62	24.59

Gráfica 11. Análisis de impacto de temperatura exterior vs temperatura interna de la planta 2 aplicando los 3 escenarios para la segunda semana de mayo.

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0

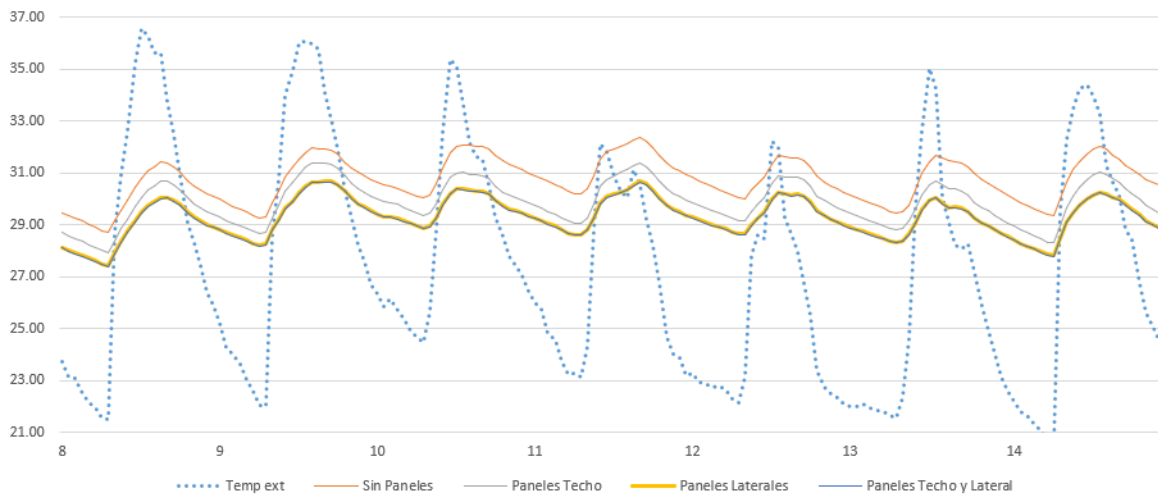


Tabla 19. Temperatura externa vs temperatura interna de la segunda semana de la planta 2.

Fecha y Hora	Temp ext	Sin Paneles	Paneles Techo	Paneles Laterales	Paneles Techo y Lateral
Promedio	27.37	30.73	29.88	29.30	29.28
Maximo	36.58	32.38	31.40	30.69	30.67
Minimo	20.53	28.69	27.91	27.42	27.39

Gráfica 12. Análisis de impacto de temperatura exterior vs temperatura interna de la planta 2 aplicando los 3 escenarios para el 8 de mayo.

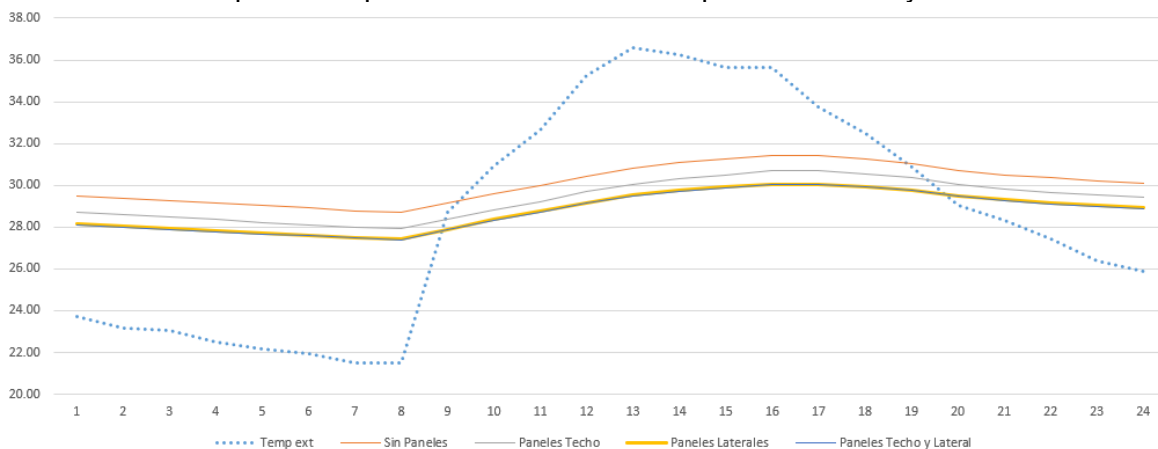


Tabla 20. Temperatura externa vs temperatura interna del día 8 de mayo de la planta 2.

Fecha y Hora	Temp ext	Sin Paneles	Paneles Techo	Paneles Laterales	Paneles Techo y Lateral
Promedio	28.56	30.08	29.34	28.80	28.77
Maximo	36.58	28.69	27.91	27.42	27.39
Minimo	21.48	28.69	27.91	27.42	27.39

Al evaluar los resultados anteriores de la planta 2, se obtiene que la diferencia de temperatura con paneles solares en el techo y en los laterales respecto a la temperatura externa es de 9.19°C.

5.3.3. Análisis en la planta 3.

Posteriormente se analizó la planta 3, evaluando la temperatura interna para analizar el comportamiento de los paneles solares como sombreadamiento en las diferentes plantas en el transcurso del periodo 2022 (Ver Gráfica 13 y Tabla 21). Asimismo, se presentan la Gráfica 14 y la Tabla 22 donde se observan la temperatura externa vs temperatura interna del mes de mayo de la planta 3. Por otro lado en la Gráfica 15 y la Tabla 23 la temperatura externa vs temperatura interna de la segunda semana de la planta 3 y por último en la Gráfica 16 y la Tabla 24 la temperatura externa vs temperatura interna del día 8 de mayo de la planta 3.

Gráfica 13. Análisis de impacto de temperatura exterior vs temperatura interna de la planta 3 aplicando los 3 escenarios.

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0

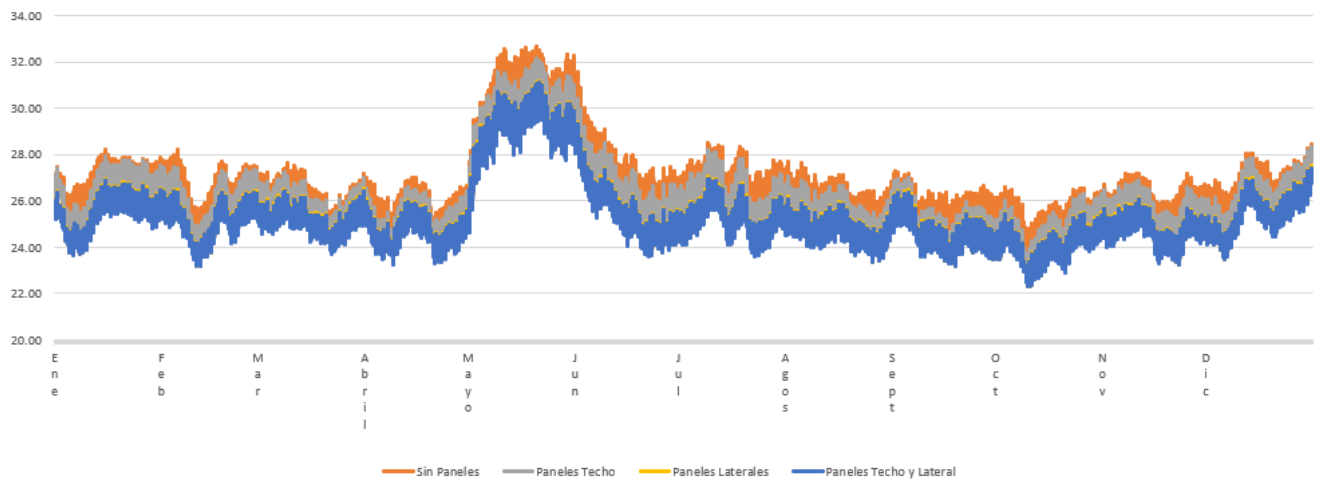


Tabla 21. Temperatura externa vs temperatura interna del año de la planta 3

Fecha y Hora	Temp ext	Sin Paneles	Paneles Techo	Paneles Laterales	Paneles Techo y Lateral
Promedio	22.02	26.63	26.07	25.33	25.27
Max	36.58	32.66	32.17	31.16	31.10
Min	16.48	23.70	22.81	22.31	22.30

Gráfica 14. Temperatura externa vs temperatura interna del mes de mayo de la planta 3.

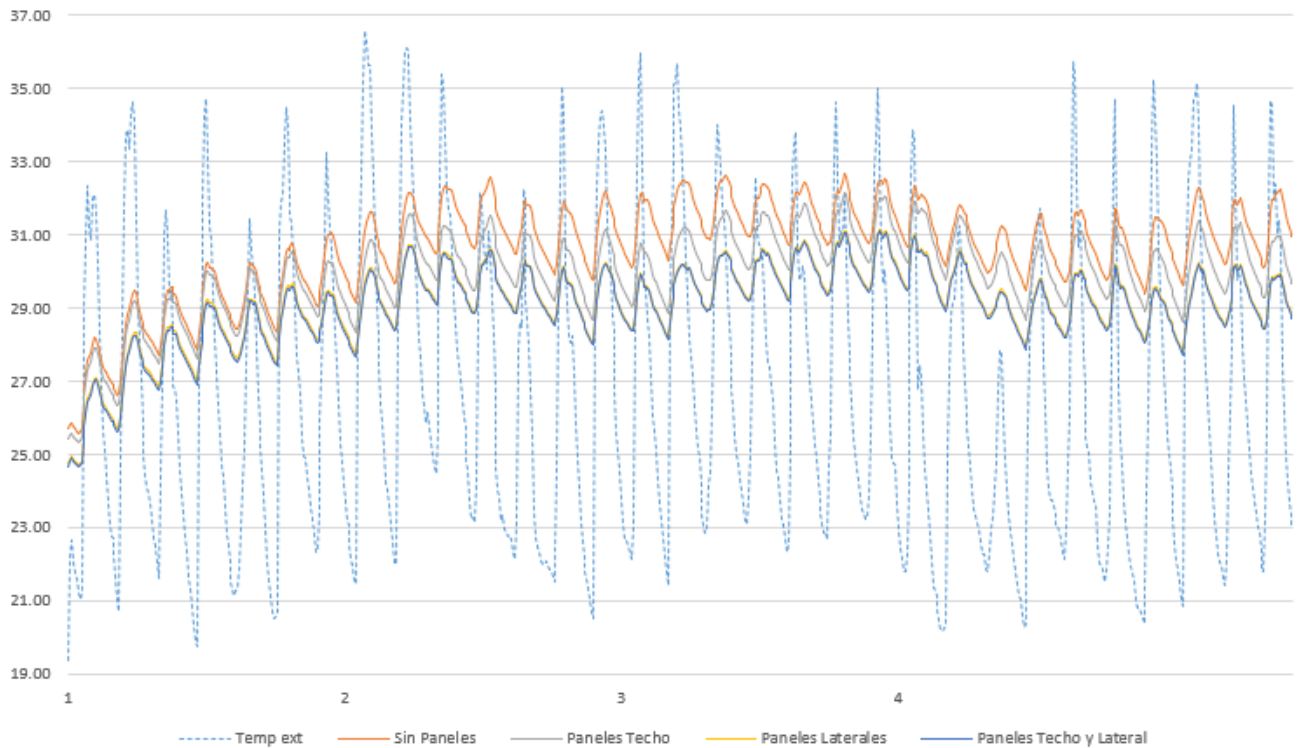


Tabla 22. Temperatura externa vs temperatura interna del mes de mayo de la planta 3.

Fecha y Hora	Temp ext	Sin Paneles	Paneles Techo	Paneles Laterales	Paneles Techo y Lateral
Promedio	26.67	30.62	29.94	29.13	29.07
Maximo	36.58	32.66	32.17	31.16	31.10
Minimo	19.35	25.58	25.31	24.71	24.64

Gráfica 15. Temperatura externa vs temperatura interna de la segunda semana de mayo la planta 3.

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0

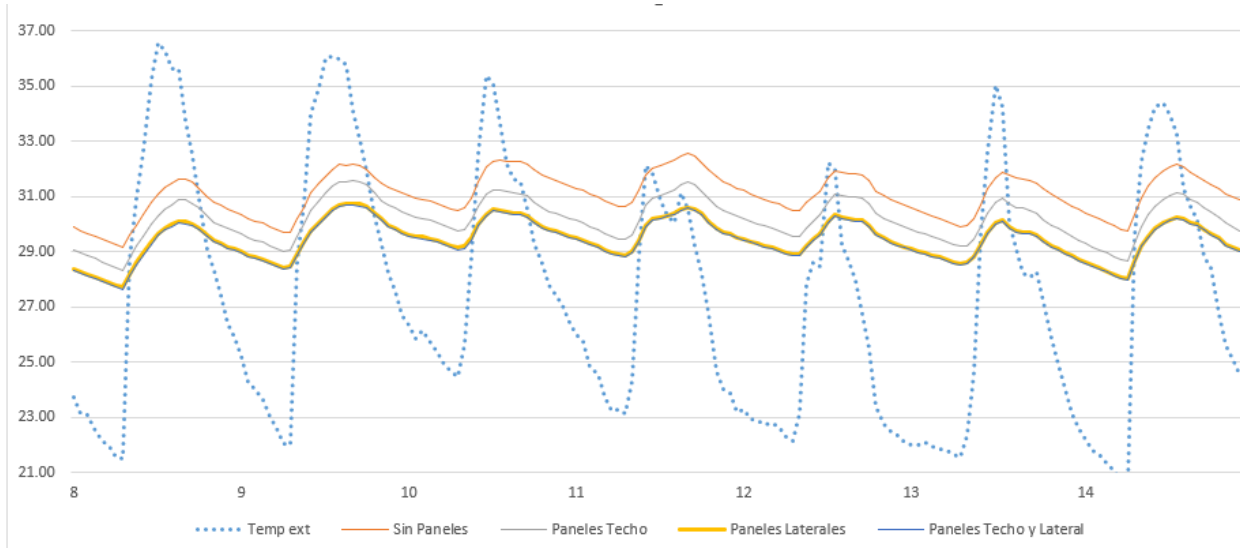


Tabla 23. Temperatura externa vs temperatura interna de la segunda semana de la planta 3

Fecha y Hora	Temp ext	Sin Paneles	Paneles Techo	Paneles Laterales	Paneles Techo y Lateral
Promedio	27.37	31.07	30.17	29.46	29.41
Maximo	36.58	32.56	31.57	30.72	30.67
Minimo	20.53	29.15	28.34	27.71	27.64

Gráfica 16. Temperatura externa vs temperatura interna del día 8 de mayo de la planta 3

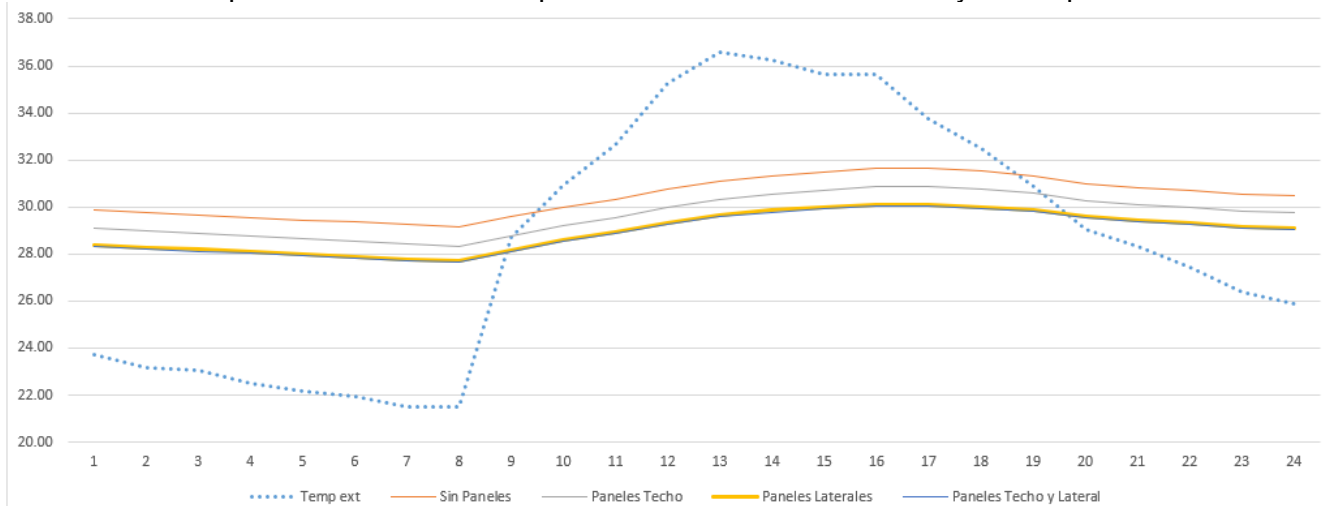


Tabla 24. Temperatura externa vs temperatura interna del día 8 de mayo de la planta 3

Fecha y Hora	Temp ext	Sin Paneles	Paneles Techo	Paneles Laterales	Paneles Techo y Lateral
Promedio	28.56	30.43	29.66	28.98	28.92
Maximo	36.58	29.15	28.34	27.71	27.64
Minimo	21.48	29.15	28.34	27.71	27.64

De este análisis realizado en la planta 3 se puede observar que la diferencia de temperatura con paneles solares en el techo y en los laterales respecto a la temperatura externa es de 8.94°C.

5.3.4. Análisis de la planta 4

Por último, se analizó la planta 4 evaluando la temperatura interna para evaluar el comportamiento de los paneles solares como sombreamiento en las diferentes plantas en el transcurso del periodo 2022 (Ver Gráfica 17 y Tabla 25). Asimismo, se presentan la

Gráfica 18 y la

Tabla 26 donde se observan la temperatura externa vs temperatura interna del mes de mayo. Por otro lado en la

Gráfica 19 y la

Tabla 27 la temperatura externa vs temperatura interna de la segunda semana y por último en la Gráfica 20 y la Tabla 28 la temperatura externa vs temperatura interna del día 8 de mayo.

Gráfica 17. Análisis de impacto de temperatura exterior vs temperatura interna de la planta 4 aplicando los 3 escenarios.

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0

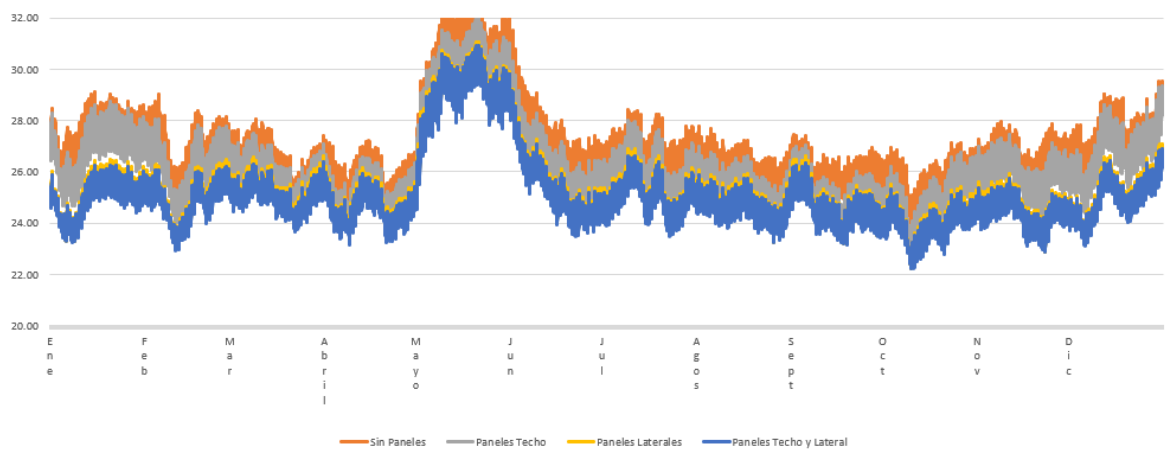


Tabla 25. Temperatura externa vs temperatura interna del año de la planta 4.

Fecha y Hora	Temp ext	Sin Paneles	Paneles Techo	Paneles Laterales	Paneles Techo y Lateral
Promedio	22.02	26.93	26.23	25.22	25.06
Max	36.58	32.62	32.04	31.07	30.93
Min	16.48	23.87	22.87	22.21	22.21

Gráfica 18. temperatura externa vs temperatura interna del mes de mayo de la planta 4

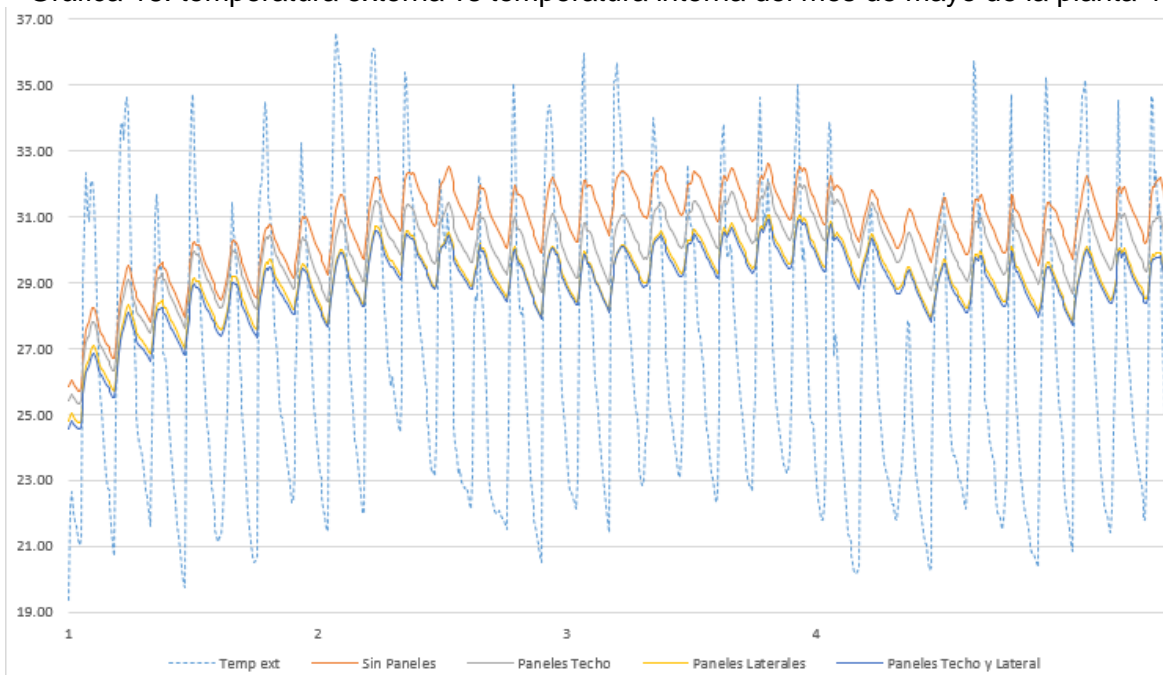


Tabla 26. Temperatura externa vs temperatura interna del mes de mayo de la planta 4

Fecha y Hora	Temp ext	Sin Paneles	Paneles Techo	Paneles Laterales	Paneles Techo y Lateral
Promedio	26.67	30.69	29.93	29.10	28.96
Maximo	36.58	32.62	32.04	31.07	30.93
Minimo	19.35	25.72	25.32	24.74	24.55

Gráfica 19. Temperatura externa vs temperatura interna de la segunda semana de la planta 4

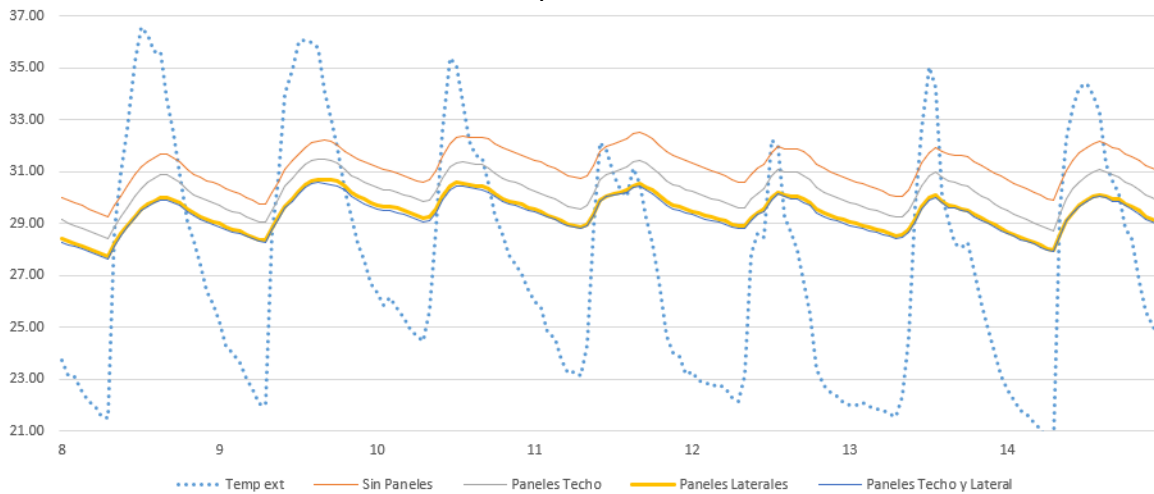


Tabla 27. temperatura externa vs temperatura interna de la segunda semana de la planta 4

Fecha y Hora	Temp ext	Sin Paneles	Paneles Techo	Paneles Laterales	Paneles Techo y Lateral
Promedio	27.37	31.16	30.21	29.43	29.33
Maximo	36.58	32.53	31.50	30.72	30.57
Minimo	20.53	29.26	28.41	27.74	27.64

Gráfica 20. temperatura externa vs temperatura interna del día 8 de mayo de la planta 4

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO,
MONOGRAFÍA, EMPRENDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0

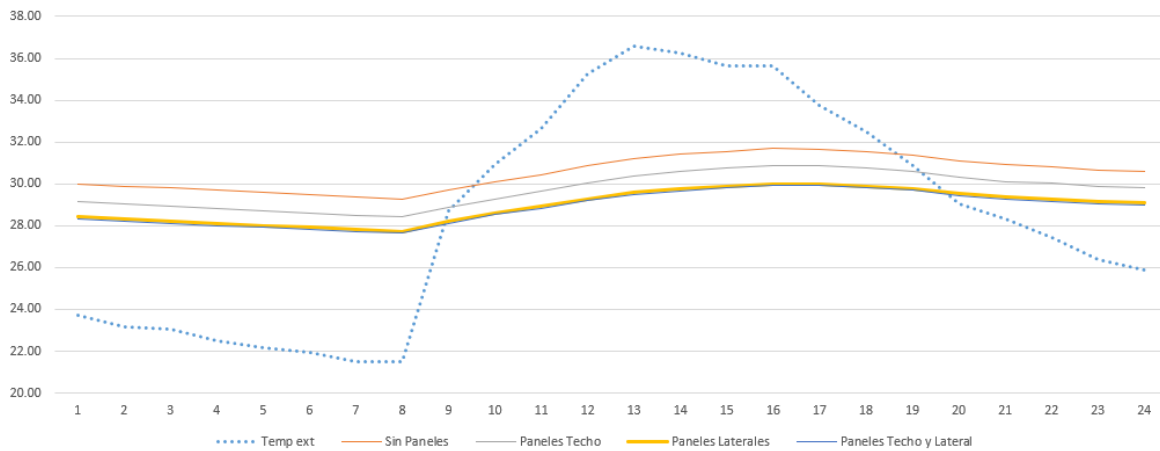


Tabla 28. Temperatura externa vs temperatura interna del día 8 de mayo de la planta 4

Fecha y Hora	Temp ext	Sin Paneles	Paneles Techo	Paneles Laterales	Paneles Techo y Lateral
Promedio	28.56	30.52	29.70	28.95	28.86
Maximo	36.58	29.26	28.41	27.74	27.64
Minimo	21.48	29.26	28.41	27.74	27.64

La implementación de estos tres escenarios en el edificio C de la UTS con los ajustes en la distancia del techo a los paneles muestran los siguientes resultados en general:

- La diferencia de temperatura de la planta 1 con paneles solares en el techo y en los laterales respecto a la temperatura externa es de 7.63°C
- La diferencia de temperatura de la planta 2 con paneles solares en el techo y en los laterales respecto a la temperatura externa es de 9.19°C
- La diferencia de temperatura de la planta 3 con paneles solares en el techo y en los laterales respecto a la temperatura externa es de 8.94°C
- La diferencia de temperatura de la planta 4 con paneles solares en el techo y en los laterales respecto a la temperatura externa es de 8.94°C

Con los datos analizados el mayor confort térmico es la planta 2, alcanzando una diferencia de 9.19° C de la temperatura interna de la planta respecto a la temperatura exterior.

5.4. Análisis del índice de calor en cada escenario.

Para analizar el índice de calor aplicando la metodología del instituto meteorológico e hidrológico de Colombia, se obtienen los siguientes resultados.

5.4.1. Modelamiento del edificio sin paneles fotovoltaicos en el techo.

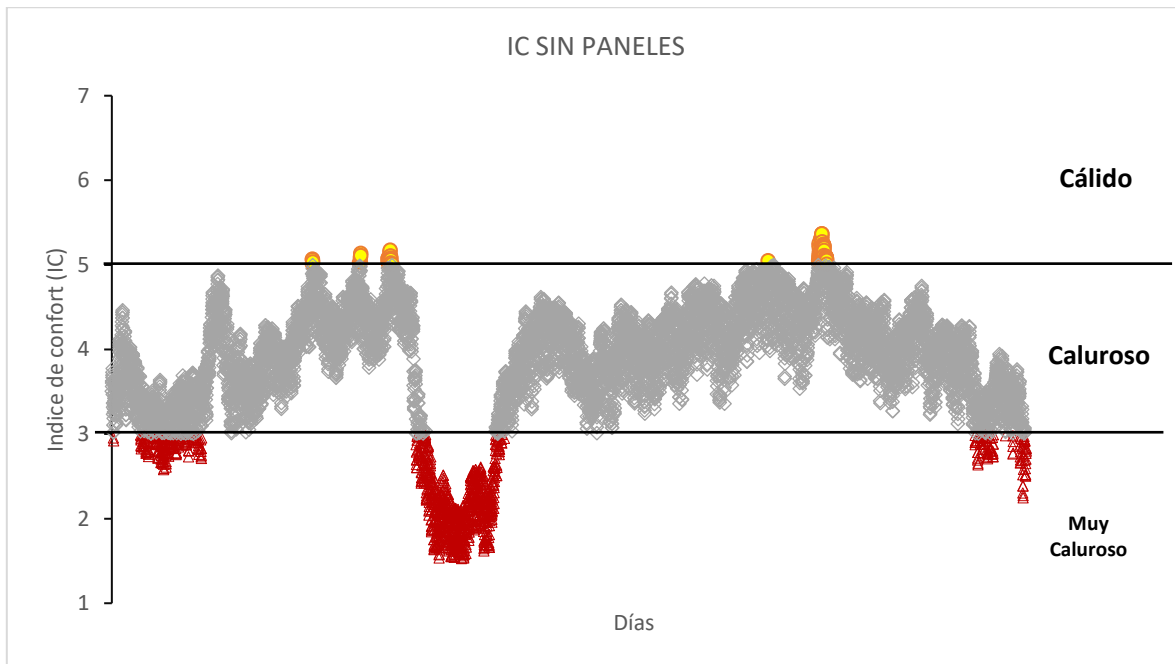


Figura 23 IC edificio sin paneles fotovoltaicos en el techo

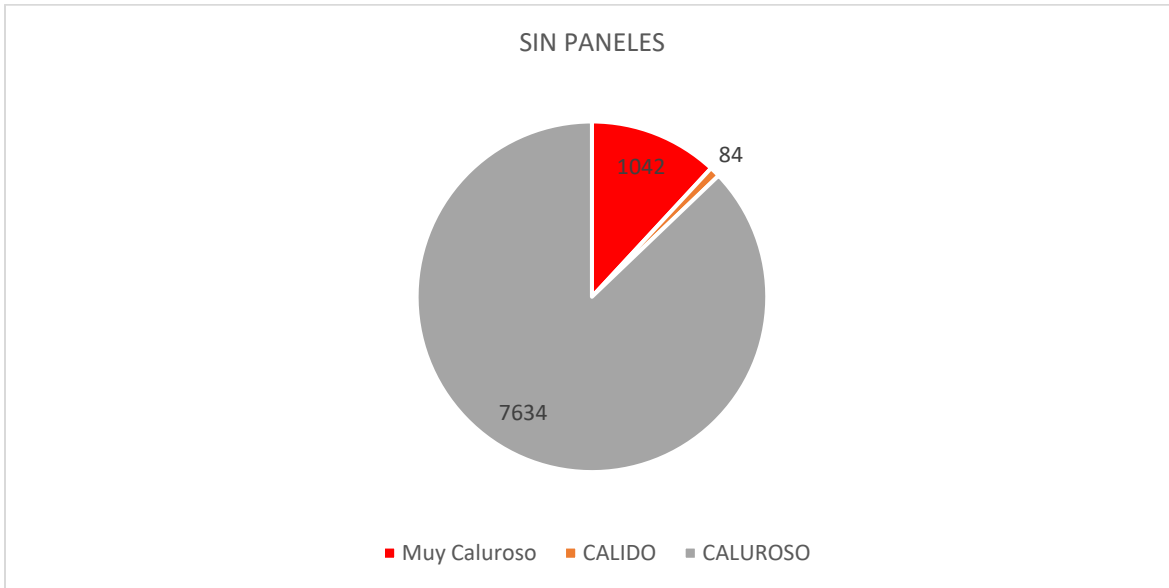


Figura 24 Horas de la clasificación del IC del edificio sin paneles fotovoltaicos en el techo

El índice de calor presente cuando no se han implantado PF representa en muy caluroso, cálido y caluroso el 6%, 29% y el 65% respectivamente de la totalidad de las horas.

5.4.2. Modelamiento del edificio con paneles fotovoltaicos en el techo.

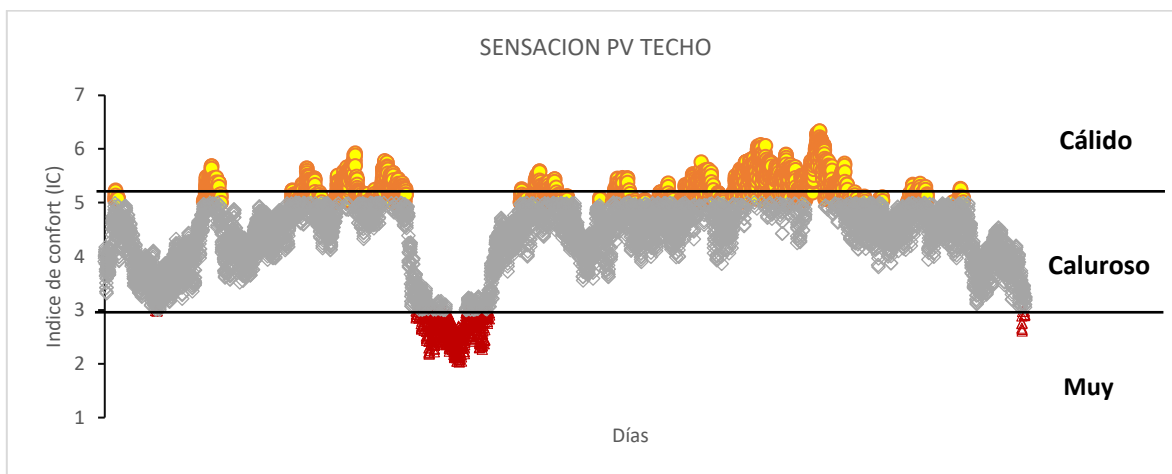


Figura 25 IC edificio con paneles fotovoltaicos en el techo

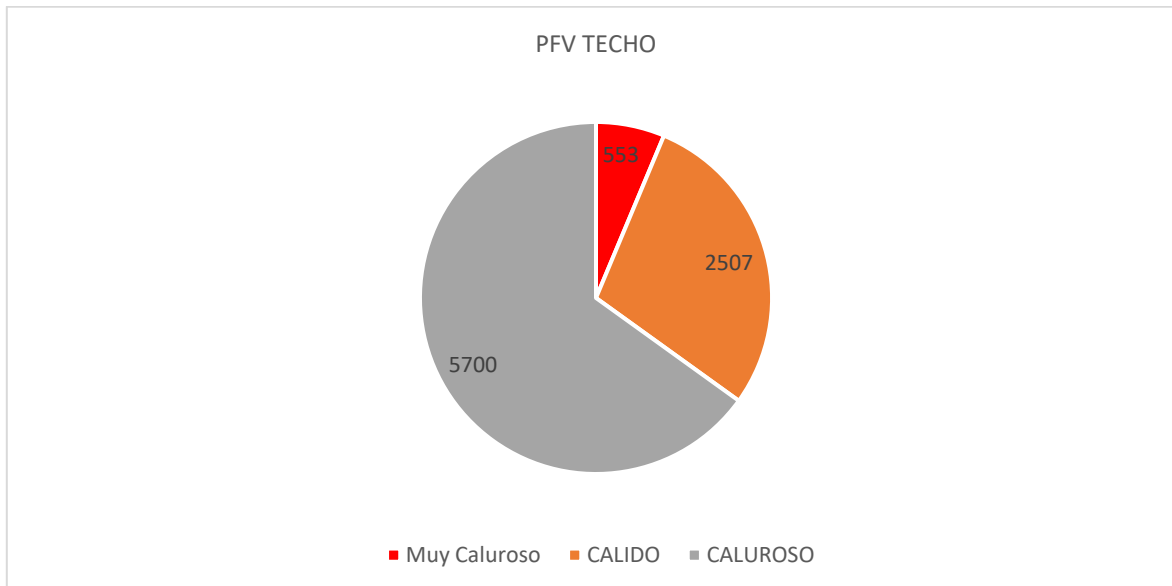


Figura 26 Horas de la clasificación del IC con paneles fotovoltaicos en el techo

El índice de calor presente cuando no se han implantado PF representa en muy caluroso, cálido y caluroso el 7%,24% y 69% respectivamente de la totalidad de las horas.

5.4.3. Modelamiento del edificio con los paneles fotovoltaicos ubicados en la parte frontal y posterior.

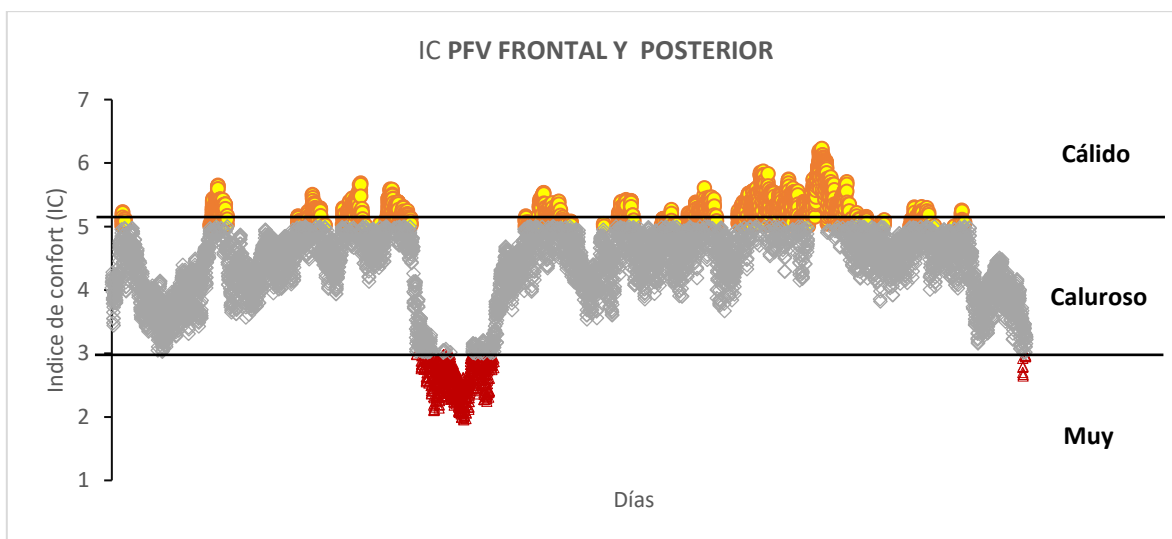


Figura 27 IC edificio con los paneles fotovoltaicos ubicados en la parte frontal y posterior.

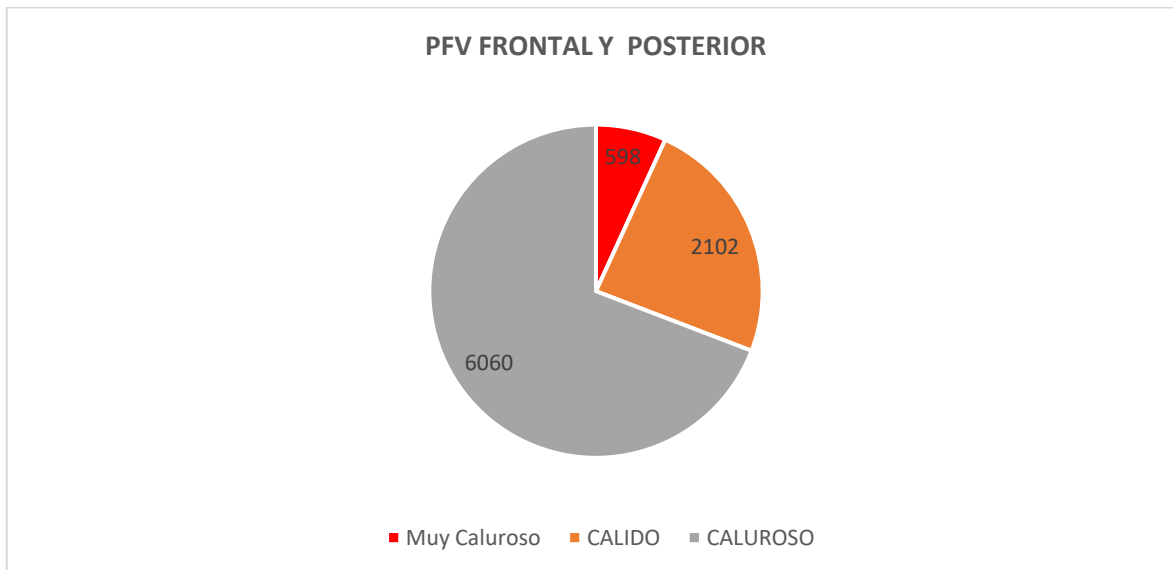


Figura 28 Horas de la clasificación del IC con los paneles fotovoltaicos ubicados en la parte frontal y posterior.

El índice de calor presente cuando no se han implantado PF representa en muy caluroso, cálido y caluroso el 7%,26% y 67% respectivamente de la totalidad de las horas.

5.4.4. Modelamiento del edificio con los paneles fotovoltaicos ubicados en el techo y parte frontal y posterior.

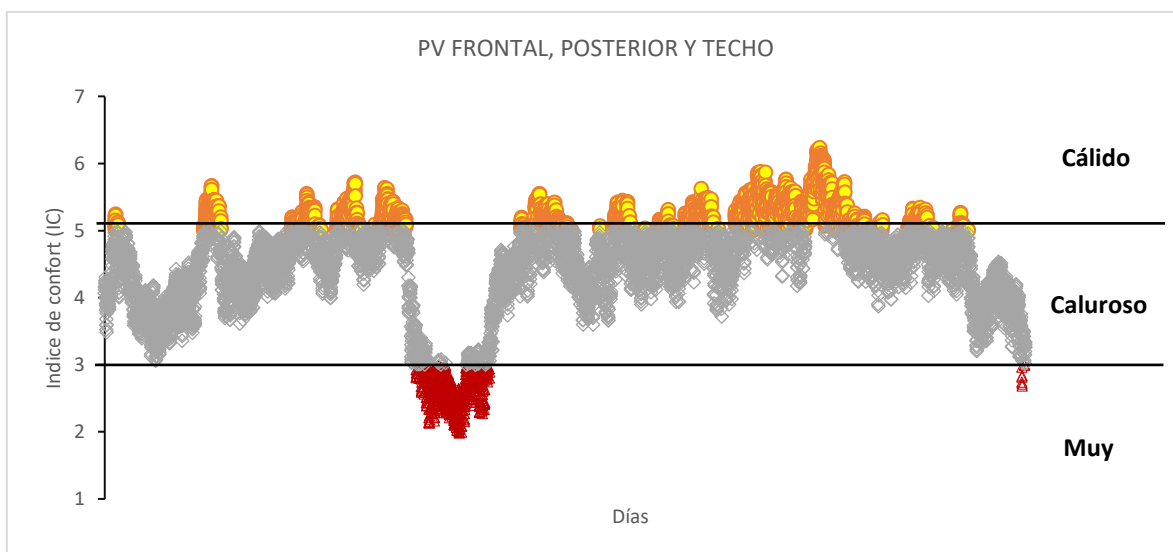


Figura 29 IC edificio con los paneles fotovoltaicos ubicados en el techo y parte frontal y posterior

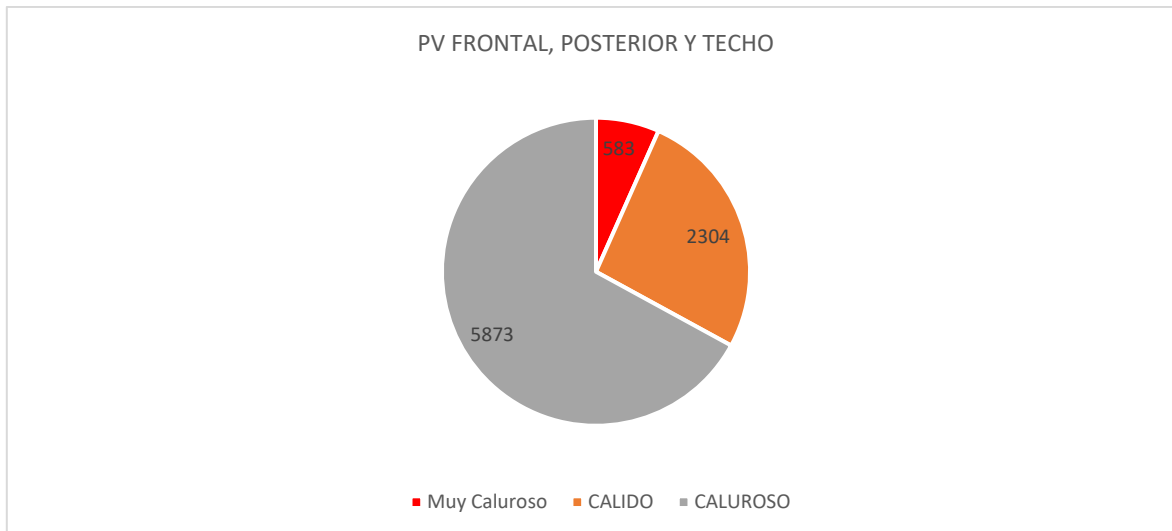


Figura 30 Horas de la clasificación del IC con los paneles fotovoltaicos ubicados en el techo y parte frontal y posterior

El índice de calor presente cuando no se han implantado PF representa en muy caluroso, cálido y caluroso el 7%,26% y 67% respectivamente de la totalidad de las horas

5.4.5. Modelamiento del edificio con los paneles fotovoltaicos ubicados en el techo, laterales y parte frontal y posterior.

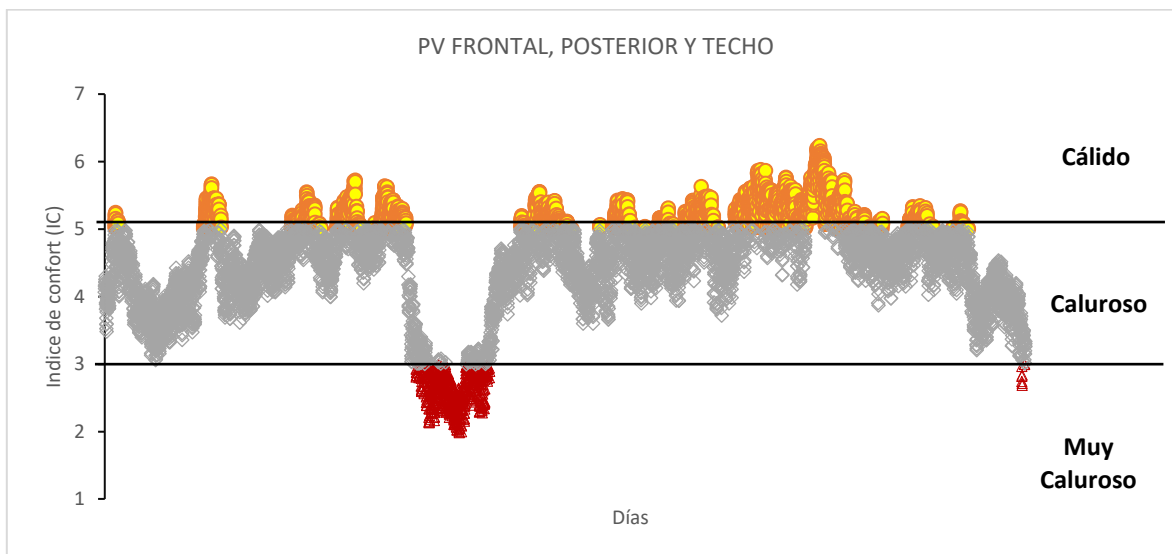


Figura 31 IC edificio con los paneles fotovoltaicos ubicados en el techo, laterales y parte frontal y posterior.

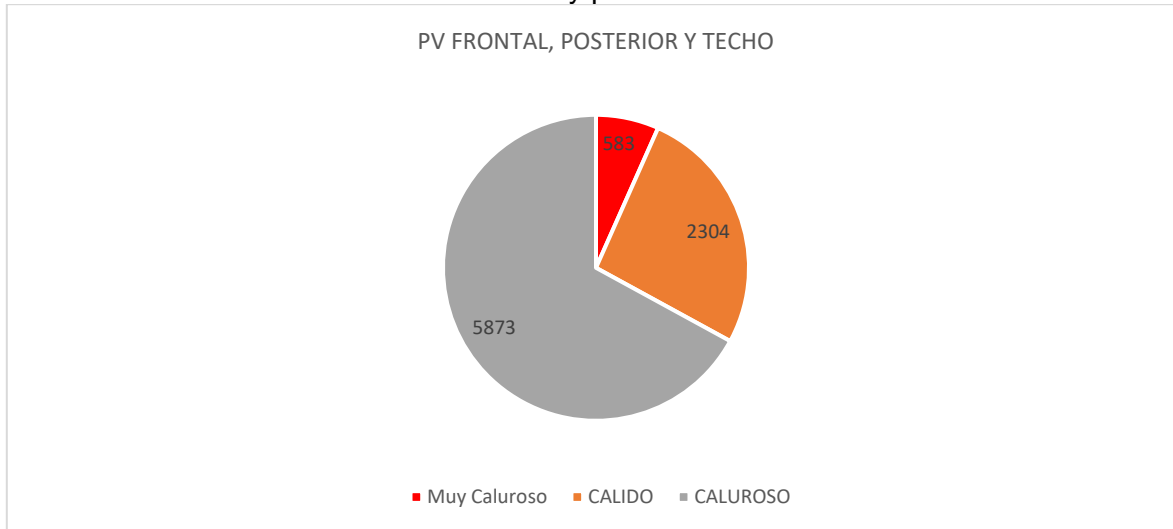


Figura 32 Horas de la clasificación del IC con los paneles fotovoltaicos ubicados en el techo, laterales y parte frontal y posterior.

El índice de calor presente cuando no se han implantado PF representa en muy caluroso, cálido y caluroso el 7%,26% y 67% respectivamente de la totalidad de las horas.

6. CONCLUSIONES

En la investigación se evaluaron cuatro escenarios con diferentes implementaciones de sistemas fotovoltaicos variando las ubicados las posiciones en la parte superior del edificio C de las Unidades Tecnológicas de Santander, Bucaramanga, Colombia; la herramienta para la simulación es el software DesginBuilder para evaluar el comportamiento termo-higrométrico del sombreado generado por los paneles fotovoltaicos instalados. Las conclusiones principales son las siguientes:

- Los paneles instalados en el tejado del edificio en cualquiera de los cuatro escenarios propuestos tienen un potencial para contribuir y disminuir las horas de desconfort térmico en los ocupantes del edificio. En este análisis, los escenarios evidencian que caria el índice de confort hacia el punto favorable

de confort en las cuatro plantas reduciendo la temperatura interna de la planta respecto a la temperatura exterior. Además, un sistema fotovoltaico en cubierta permite comprender mejor la variación de la demanda energética de los edificios, lo cual es fundamental en la arquitectura moderna.

- La colocación, posicionamiento, ubicación, distancia del eje de paneles con respecto al techo y el ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos, se mejoraron en la sección de simulación para lograr un mayor potencial de sombreado para el edificio.
- Los resultados de este análisis presentan 4 escenarios propuestos, se destaca el escenario 3, ya que alcanza una diferencia de 9.19° C y todos los escenarios con sistemas fotovoltaicos mejora el porcentaje de la calificación de los índices de calor eso siendo efecto de la temperatura interna de la planta 2 con respecto a la temperatura exterior del edificio.

7. RECOMENDACIONES

El enfoque se desarrolló para ayudar a los diseñadores a establecer la integración fotovoltaica teniendo en cuenta el sombreado que se genera y la calidad de la integración arquitectónica y, por lo tanto, contemplando los criterios de rendimiento establecidos por las diferentes partes interesadas. Por lo tanto, el alcance de este trabajo puede ampliarse para incluir otras zonas climáticas, tipos de construcción de tejados.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdallah, Amr Sayed Hassan. 2022. "Passive Design Strategies to Improve Student Thermal Comfort in Assiut University: A Field Study in the Faculty of Physical Education in Hot Season." *Sustainable Cities and Society* 86:104110. doi: 10.1016/J.SCS.2022.104110.
- Anon. 2007. *Key World Energy Statistics International*.
- Anon. 2020. "Global Energy Review 2019." *Global Energy Review 2019*. doi: 10.1787/90C8C125-EN.
- Anon. n.d.-a. "Annual Energy Outlook 2012, with Projections To 2035 - Google Libros." Retrieved August 8, 2023 (https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=w9B-U3NwUwoC&oi=fnd&pg=PA2&dq=related:G2iBiaeS8_YJ:scholar.google.com/&ots=mBChZ5LChq&sig=8qpfM8IFIZquSyaS1RlmiphMPkg&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false).
- Anon. n.d.-b. "La Transición Energética Justa En Colombia Seguirá Avanzando de Manera Gradual." Retrieved August 9, 2023 (<https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/la-transici%C3%B3n-energ%C3%A9tica-justa-en-colombia-seguir%C3%A1-avanzando-de-manera-gradual/>).
- Anon. n.d.-c. "Ministerio de Minas y Energía." Retrieved August 8, 2023 (<https://www.minenergia.gov.co/es/>).
- Anon. n.d.-d. "UNE-EN ISO 7730:2006 Ergonomía Del Ambiente Térmico. Determina..." Retrieved November 25, 2023 (<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0037517>).
- Argunhan, Zeki, and Ali Serkan Avci. 2018. "Statistical Evaluation of Indoor Air Quality Parameters in Classrooms of a University." *Advances in Meteorology* 2018. doi: 10.1155/2018/4391579.
- Ascanio-Villabona, J. G., J. Terés-Zubiaga, Y. A. Muñoz-Maldonado, O. Lengerke-Pérez, and L. A. Del Portillo-Valdés. 2022. "Assessing the Thermal Performance of a Conventional Architecture in Dry Warm Climate." 47–58. doi: 10.1007/978-3-031-08288-7_4.
- Babich, Francesco, Giulia Torriani, Jacopo Corona, and Irene Lara-Ibeas. 2023. "Comparison of Indoor Air Quality and Thermal Comfort Standards and Variations in Exceedance for School Buildings." *Journal of Building Engineering* 71:106405. doi: 10.1016/J.JOBE.2023.106405.
- Becerik-Gerber, Burcin, Mohsin K. Siddiqui, Ioannis Brilakis, Omar El-Anwar, Nora El-Gohary, Tarek Mahfouz, Gauri M. Jog, Shuai Li, and Amr A. Kandil. 2013. "Civil Engineering Grand Challenges: Opportunities for Data Sensing, Information Analysis, and Knowledge Discovery." *Journal of Computing in Civil Engineering* 28(4):04014013. doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000290.
- Charalampopoulos, Ioannis, Ioannis Tsiros, Aikaterini Chronopoulou-Sereli, and Andreas Matzarakis. 2013. "Analysis of Thermal Bioclimate in Various Urban Configurations in Athens, Greece." *Urban Ecosystems* 16(2):217–33. doi: 10.1007/S11252-012-0252-5/FIGURES/11.

- Chenari, Behrang, João Dias Carrilho, and Manuel Gameiro Da Silva. 2016. "Towards Sustainable, Energy-Efficient and Healthy Ventilation Strategies in Buildings: A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 59:1426–47. doi: 10.1016/J.RSER.2016.01.074.
- Fahmy, Mohammad, Sherif A. Mahmoud, Ibrahim M. Olwy, and Marwa Abdelalim. 2020a. "Comparison of Occupant Thermal Comfort with and without Passive Design for a Naturally Ventilated Educational Building: A Case Study in Cairo, Egypt." in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 974. IOP Publishing Ltd.
- Fahmy, Mohammad, Sherif A. Mahmoud, Ibrahim M. Olwy, and Marwa Abdelalim. 2020b. "Comparison of Occupant Thermal Comfort with and without Passive Design for a Naturally Ventilated Educational Building: A Case Study in Cairo, Egypt." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 974(1):012027. doi: 10.1088/1757-899X/974/1/012027.
- Ghahramani, Ali, Parson Galicia, David Lehrer, Zubin Varghese, Zhe Wang, and Yogesh Pandit. 2020. "Artificial Intelligence for Efficient Thermal Comfort Systems: Requirements, Current Applications and Future Directions." *Frontiers in Built Environment* 6. doi: 10.3389/FBUIL.2020.00049.
- González-Torres, M., L. Pérez-Lombard, Juan F. Coronel, Ismael R. Maestre, and Da Yan. 2022. "A Review on Buildings Energy Information: Trends, End-Uses, Fuels and Drivers." *Energy Reports* 8:626–37. doi: 10.1016/J.EGYR.2021.11.280.
- Heracleous, C., A. Michael, A. Savvides, and C. Hayles. 2022. "A Methodology to Assess Energy-Demand Savings and Cost-Effectiveness of Adaptation Measures in Educational Buildings in the Warm Mediterranean Region." *Energy Reports* 8:5472–86. doi: 10.1016/J.EGYR.2022.03.140.
- Heras, M. R., M. J. Jiménez, M. J. San Isidro, L. F. Zarzalejo, and M. Pérez. n.d. "Análisis Energético de Un Diseño Solar Pasivo, Incorporado En Un Patio Después de Su Remodelación, Utilizando Un Componente de Cubierta Innovador Basado En Un Concepto de Techo En Dientes de Sierra." *Energía Solar* 78(1):85–96. doi: 10.1016/j.solener.2004.05.019.
- Huang, Kuo-Tsang, Wen-Pin Huang, Tzu-Ping Lin, and Ruey-Lung Hwang. 2015. "Implementation of Green Building Specification Credits for Better Thermal Conditions in Naturally Ventilated School Buildings." doi: 10.1016/j.buildenv.2015.01.006.
- Huang, Zefeng, Bin Cheng, Zhonghua Gou, and Fan Zhang. n.d.-a. "Confort Térmico al Aire Libre y Comportamientos Adaptativos En Un Campus Universitario En La Región Climática Cálida de Verano e Invierno Frío de China." *Construcción y Medio Ambiente* 165. doi: 10.1016/j.buildenv.2019.106414.
- Huang, Zefeng, Bin Cheng, Zhonghua Gou, and Fan Zhang. n.d.-b. "Confort Térmico al Aire Libre y Comportamientos Adaptativos En Un Campus Universitario En La Región Climática Cálida de Verano e Invierno Frío de China." *Construcción y Medio Ambiente* 165. doi: 10.1016/j.buildenv.2019.106414.
- Jamaludin, Adi Ainurzaman, Hazreena Hussein, Ati Rosemary Mohd Ariffin, and Nila Keumala. n.d. "Un Estudio Sobre Diferentes Enfoques de Ventilación Natural En Un Edificio Universitario Residencial Con Disposición de Patio Interno." *Energía y Edificios* 72:340–52. doi: 10.1016/j.enbuild.2013.12.050.
- Kapalo, Peter, Ludmila Mečiarová, Silvia Vilčeková, Eva Krídlová Burdová, Florin Domnita, Ciprian Bacotiu, and Kinga Eva Péterfi. n.d. "Investigación de La Producción de CO 2

- En Función de La Actividad Física de Los Estudiantes.” *Revista Internacional de Investigación En Salud Ambiental* 29(1):31–44. doi: 10.1080/09603123.2018.1506570.
- Mesa Puyo, Diego. n.d. *Transición Energética: Un Legado Para El Presente y El Futuro de Colombia Iván Duque Márquez Presidente de La República*.
- Murakami, Ko, Kenta Sakai, Daisuke Nakamura, Haruno Ishikawa, Sayana Tsushima, and Shin Ichi Tanabe. n.d. “Un Estudio de Campo Sobre La Contaminación Del Aire Interior En Aulas Escolares Con Diferentes Métodos de Ventilación.” *Web de Conferencias E3S* 111. doi: 10.1051/e3sconf/201911101020.
- Park, Ji Hun, Beom Yeol Yun, Seong Jin Chang, Seunghwan Wi, Jisoo Jeon, and Sumin Kim. 2020. “Impact of a Passive Retrofit Shading System on Educational Building to Improve Thermal Comfort and Energy Consumption.” *Energy and Buildings* 216:109930. doi: 10.1016/J.ENBUILD.2020.109930.
- Pérez-Lombard, Luis, José Ortiz, and Christine Pout. 2018. “A Review on Buildings Energy Consumption Information.” *Energy and Buildings* 40(3):394–98. doi: 10.1016/J.ENBUILD.2007.03.007.
- Rodríguez Mondelo, Pedro Manuel, Enrique Gregori Torada, Santiago Comas Úriz, Emilio Castejón Vilella, and Esther Bartolomé Lacambra. 2001. “Ergonomía. Vol. 2, Confort y Estrés Térmico.” Vol. 2:216.
- Shaikh, Pervez Hameed, Nursyarizal Bin Mohd Nor, Perumal Nallagownden, Irraivan Elamvazuthi, and Taib Ibrahim. 2014. “A Review on Optimized Control Systems for Building Energy and Comfort Management of Smart Sustainable Buildings.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 34:409–29. doi: 10.1016/J.RSER.2014.03.027.
- Teshnehdel, Saeid, Seyedasghar Mirnezami, Aniseh Saber, Ali Pourzangbar, and Abdul Ghani Olabi. 2020. “Enfoques Numéricos y Basados En Datos Para Predecir El Confort Térmico En Patios Tradicionales.” *Tecnologías y Evaluaciones de Energía Sostenible* 37:100569. doi: 10.1016/j.seta.2019.100569.
- Villabonaa, Javier Ascanio, Jon Terés Zubiaga, Yesid Alfonso Muñoz Maldonado, Omar Lengerke Pérez, and Luis Alfonso Del Portillo Valdés. 2021. “Assessing the Thermal Performance of a Conventional Architecture in a Dry Warm Climate.” *Heritage and Sustainable Development* 3(2):173–82. doi: 10.37868/HSD.V3I2.66.
- Yang, Li, Xiaodong Liu, Feng Qian, and Shengnan Niu. n.d. “Investigación Sobre El Ambiente Eólico y La Calidad Del Aire de Patios Paralelos En Un Campus Universitario.” *Ciudades y Sociedad Sostenibles* 56. doi: 10.1016/j.scs.2020.102019.
- Zune, May, Renata Tubelo, Lucelia Rodrigues, and Mark Gillott. 2021. “Improving Building Thermal Performance through an Integration of Passivhaus Envelope and Shading in a Tropical Climate.” *Energy and Buildings* 253. doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111521.