

**FACHADAS ADAPTABLES PARA ISLAS DE CALOR URBANAS EN CALI
VALLE**

NATALIA SAAVEDRA SOTO

Facultad de Creación y Hábitat, Universidad Javeriana Cali

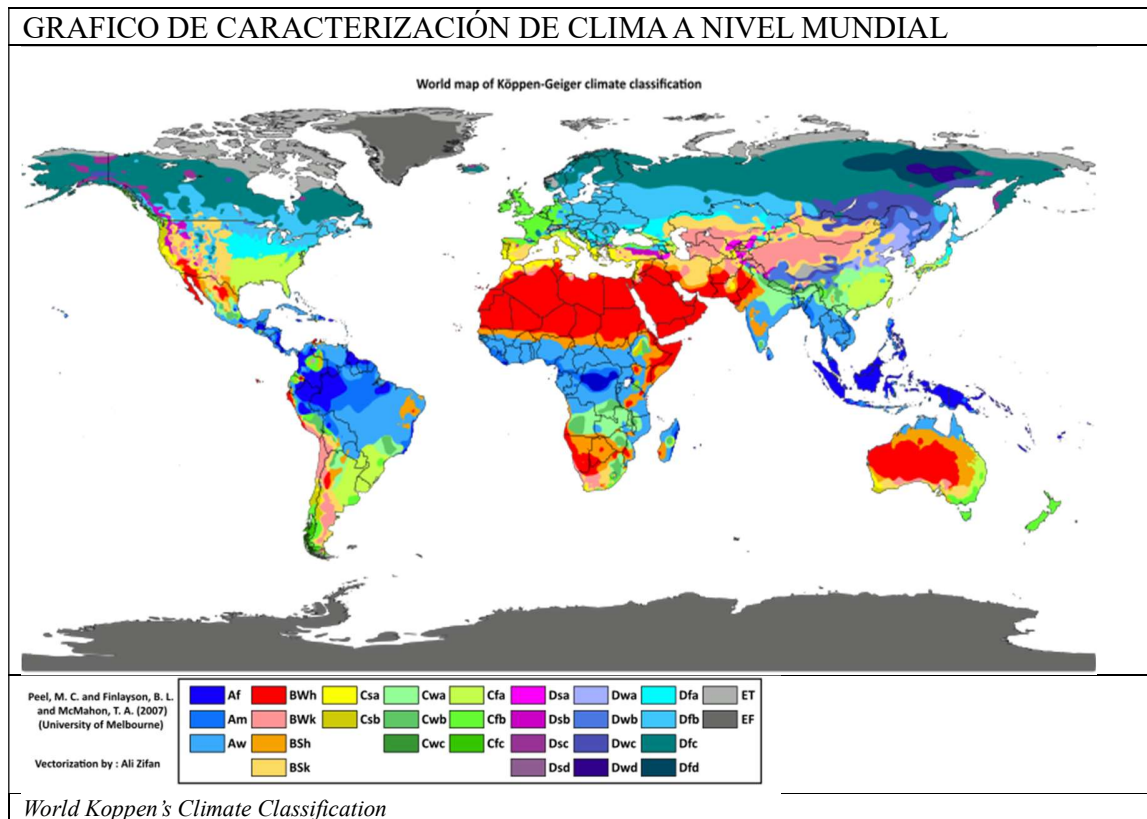
DR. MARIA CLARA BETANCOURT VELASCO

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	3
2.	PLANTEAMIENTO Y PREGUNTA PROBLEMA	6
3.	OBJETIVOS.....	8
3.1	OBJETIVO GENERAL:	8
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	8
4.	MARCO TEÓRICO	9
5.	MARCO REFERENCIAL	13
5.1	CASO DE ESTUDIO 1: CASA MARIKA ALBERTON - GLENN MURCUTT 13	
5.2	CASO DE ESTUDIO 2: EL CENTRO PRODUCTIVO COMUNITARIO LAS TEJEDORAS – NATURA FUTURA	15
6.	METODOLOGÍA	17
6.1	DISEÑO Y APLICACIÓN DE CONCEPTOS	20
6.1.1	VENTILACIÓN	20
6.1.2	ILUMINACIÓN	22
6.1.3	INCIDENCIA DEL SOL Y RADIACIÓN	24
6.1.4	SOMBREO	28
6.2	DISEÑO ARQUITECTÓNICO	30
6.3	LISTADO MATERIALES CON PROPIEDADES TÉCNICAS	35
6.4	SIMULACIONES Y ANÁLISIS	35
6.4.1	DESCRIPCIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN	36
6.4.2	ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO PARA FACHADAS.....	37
6.4.3	ANALISIS DEL DESEMPEÑO VISUAL	38
6.4.4	ANALISIS DEL DESEMPEÑO TÉRMICO	42
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
8.	CONCLUSIONES	47
9.	BIBLIOGRAFIA.....	50
10.	NOTAS	53

1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Cali, que está ubicada a 3 27'0" N, 76 32'0" O, en el suroccidente colombiano dentro de un contexto climático tropical, es la capital del departamento del Valle del Cauca y la tercera ciudad más poblada del país, después de Bogotá y Medellín. Esta ciudad fue seleccionada teniendo en cuenta su definición de clima y se tiene como determinante su reciente crecimiento de islas de calor debido al aumento de la densificación poblacional y urbana (Carolina et al., 2018).



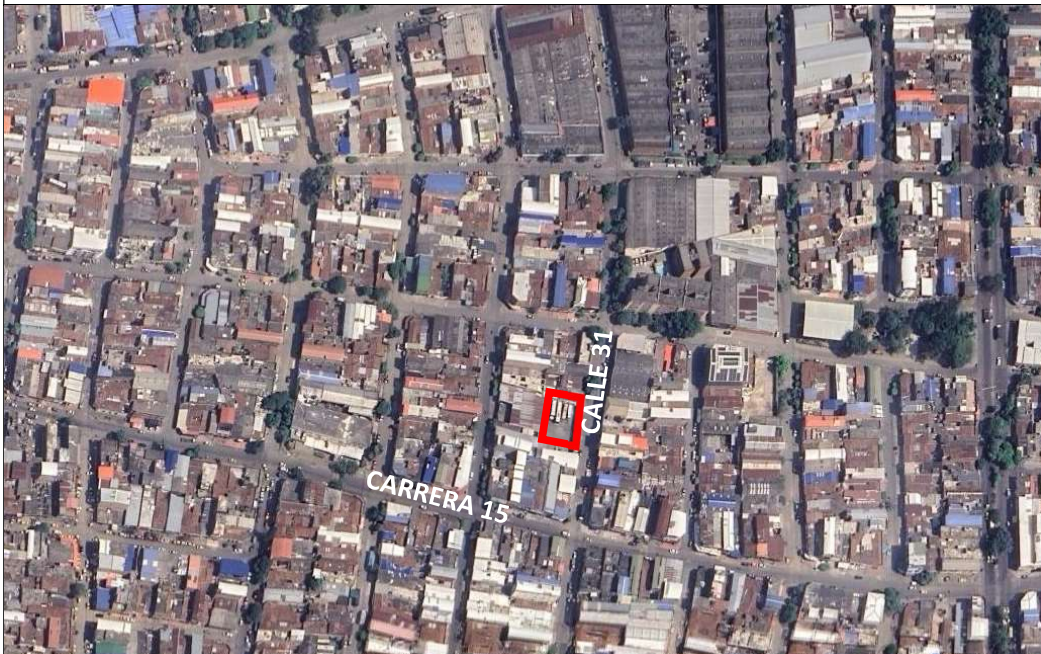
Cali es una ciudad con clima tropical, cálido y seco, según definición del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM. De esta manera, cuenta con dos estaciones al año: una estación seca en los meses de diciembre a febrero, y otra en julio y agosto; y dos estaciones lluviosas de abril a mayo y de septiembre a noviembre; la temperatura promedio es 25°C, con variaciones durante el día y la noche entre 17 y 34°C, las lluvias en la ciudad de Cali cuentan con un promedio de 1mm. de precipitación y con una humedad promedio del 72% en todo el año, los vientos que inciden mayormente sobre la ciudad provienen del mar pacifico, el cual se ubica al occidente de la ciudad.

Cali en la actualidad se encuentra en constante expansión urbana y debido a esto se enfrenta al desafío de la generación de islas de calor (PRECIADO VARGAS & ALDANA OLAVE, 2011), las cuales producen un aumento significativo en las temperaturas locales. Este fenómeno es

incrementado por la densificación urbana y la actividad humana e impacta negativamente en el confort interior de los edificios, aumentando la necesidad de soluciones arquitectónicas que promuevan la sostenibilidad y el bienestar de los usuarios. En este contexto, el presente trabajo se centra en el diseño de un edificio con fachadas adaptables que responda a estos desafíos climáticos, con el objetivo de lograr un óptimo confort interior térmico, lumínico y una mejor calidad del aire, así como una alta eficiencia energética.

El edificio está implantado en la comuna 8 en el barrio Benjamín Herrera, entre las calles 30 A y 31; y entre las carreras 12 y 11G, el barrio se encuentra ubicado en el distrito de Aguablanca al este de la ciudad.

Ubicación lote.



Fuente. Elaboración propia – Google Maps.

El proyecto arquitectónico está enfocado en el diseño de un edificio que integre estrategias pasivas de climatización, ventilación e iluminación, concebido como un centro comunitario. Su propósito principal es minimizar el consumo de recursos durante el desarrollo de las actividades a realizar en su interior. A través del diseño de fachadas adaptables, el edificio permitirá a los usuarios modificar la relación entre la edificación y su entorno climático y urbano, maximizando así los niveles de confort en los espacios interiores. Estas soluciones buscan responder de manera eficiente a las condiciones ambientales y urbanas, que son los factores determinantes para garantizar el bienestar dentro del edificio.

La metodología utilizada incluye la comparación de resultados de simulaciones virtuales con diferentes configuraciones de fachadas adaptables, está complementada por un análisis de los valores de conductividad térmica (valores K) de una variedad de materiales accesibles a nivel local. A través de este enfoque, se busca identificar las soluciones de diseño más efectivas,

que no solo respondan a las condiciones climatológicas específicas de Cali, sino que también optimicen los niveles de confort interior y reduzcan el consumo energético de los edificios.

Finalmente, no solo se pretende contribuir al conocimiento teórico sobre fachadas adaptables y su relación con las islas de calor, sino también proponer un modelo práctico que puede ser utilizado en futuros desarrollos urbanos en Cali y ciudades similares que estén ubicadas en la franja climática tropical. Al integrar la sostenibilidad con el diseño adaptativo, se busca fomentar un ambiente interior más confortable y resiliente frente a los retos que presenta el cambio climático.

2. PLANTEAMIENTO Y PREGUNTA PROBLEMA

La ciudad de Cali, en las últimas décadas ha incrementado el cambio de uso del suelo, de zonas de vegetación a zonas de construcción (aumento de actividad humana), esta una de las causas del incremento de la temperatura y a su vez este, demuestra la influencia de las emisiones de calor antropogénicas (PRECIADO VARGAS & ALDANA OLAVE, 2011), todos estos cambios han generado en la ciudad el crecimiento de áreas denominadas islas de calor urbanas.

Según la investigación “*Identificación de Zonas y Formulación de Propuestas para el Tratamiento de Islas de Calor en la ciudad de Santiago de Cali*” (Internacional de Agricultura Tropical et al., n.d.), las comunas del municipio representan islas de calor con intensidades que van desde débil como las comunas 1, 18, 20 y 22, cuya diferencia con la Temperatura Superficial promedio (23,07 °C) no supera los 2 °C, hasta fuerte como la comuna 4, ubicada al norte de la ciudad, con una diferencia de más de 4 °C.

La Isla de Calor Urbana (ICU) resulta de una combinación de factores controlables e incontrolables, que se pueden clasificar en variables de efecto temporal (como la velocidad del aire y la cobertura de nubes), permanente (como áreas verdes y materiales de construcción) y cíclico (como radiación solar y calor humano). Así entonces, el calor que se acumula en las áreas urbanas proviene de la radiación solar y fuentes antropogénicas, como vehículos y aire acondicionado. Mientras que la radiación solar calienta directamente el ambiente en menor medida, muchas estructuras urbanas absorben esta radiación, contribuyendo indirectamente al aumento de temperatura. (RIZWAN et al., 2008)

Las ICUS tienen una extensión espacial pequeña sobre el planeta, ya que generalmente está confinada dentro de las áreas urbanas, que sólo cubren el 1e3%¹ de la superficie global. Sin embargo, los impactos de la ICU en el consumo de energía de los edificios no son pequeños, porque la mayoría de los edificios y el consumo energético se concentran en áreas urbanas. Como la urbanización generalmente aumenta la intensidad de la ICU, se proyecta que las ciudades en el futuro experimentarán incluso un aumento de temperatura mayor en comparación con el entorno rural. (Li et al., 2019)

La isla de calor urbana hace referencia a un área dentro de una ciudad donde se concentran gran cantidad de edificios, un alto tráfico vehicular y actividades humanas que generan emisiones de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero. Estas emisiones, producto principalmente del uso de combustibles fósiles en transporte, industria, calefacción y generación de electricidad, hacen que las actividades humanas contribuyan significativamente a la contaminación y, en consecuencia, al aumento de la temperatura global.

El consumo promedio de energía eléctrica en los edificios varía considerablemente según factores como la ubicación geográfica, el tipo de construcción, el clima y otros elementos específicos. A nivel global, se estima que los edificios representan aproximadamente el 30% del consumo total de energía y son responsables de alrededor del 28% de las emisiones de

gases de efecto invernadero vinculadas al uso de electricidad (Al-Mohammed & Ouahrani, 2024).

En el entorno urbano, la concentración de edificios y la alta densidad de población influyen directamente en la acumulación de calor en el ambiente. Uno de los principales factores que contribuyen a este fenómeno es la gran cantidad de energía necesaria para climatizar los espacios al interior de los edificios. Climatizar un edificio conlleva un alto consumo energético, este consumo y las máquinas necesarias para la climatización, generan una alta acumulación de calor en el exterior, que a través de diferentes procesos físicos este es llevado del espacio interior al exterior, elevando la temperatura del aire y es así como un edificio contribuye con la generación del efecto de la isla de calor urbana (ICU). (Mazzeo & Kontoleon, 2020).

El aumento de temperatura, junto con la continua exposición a ruidos generados por actividades humanas, influyen en el confort tanto dentro como fuera de los edificios. Este intercambio de calor entre los edificios y el ambiente es fundamental, ya que hace más crítica la isla de calor urbana (ICU) y aumenta el consumo energético de los edificios producido al suplir las necesidades de confort térmico, también afecta así al bienestar de sus habitantes (Mazzeo & Kontoleon, 2020).

La demanda energética de estos edificios puede ser reducida por medio de los procesos de transferencia como conducción, convección y radiación son fundamentales en el intercambio de calor para diversas estructuras, tanto naturales como artificiales, tienen distintos niveles de absorción y liberación de radiación solar. Esta investigación se enfocará especialmente en una ICU desarrollada en Cali, en el barrio Benjamín Herrera ubicado en la zona noreste de la ciudad.

Este problema plantea interrogantes sobre las estrategias actuales para mitigar los efectos de las actividades humanas en el entorno urbano y sobre cómo adaptar los edificios a las condiciones climáticas sin depender de un consumo excesivo de energía.

En este contexto, surge la siguiente pregunta: **¿De qué manera se puede mejorar el confort interior climático y lumínico, así como la eficiencia energética de edificios ubicados en climas tropicales, especialmente en áreas afectadas por el efecto de isla de calor?**

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL:

Evaluar el desempeño de un modelo arquitectónico que transforme el confort interior climático y lumínico, a través del uso de fachadas adaptables y materiales de baja conductividad en un edificio ubicado en isla de calor en el trópico.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Desarrollar un prototipo arquitectónico que permita cuantificar el rendimiento energético y el confort interior del edificio propuesto, comparando diversas configuraciones de fachadas y tipos de materiales.
- Determinar cuáles son las mejores características de diseño para las fachadas adaptables que contribuyen a la regulación de la temperatura y la luz natural del espacio interior, evaluando su impacto en el confort climático y psicológico de los ocupantes.
- Analizar la eficiencia de materiales con baja conductividad térmica utilizados en la reducción de transferencia de calor del edificio, identificando sus beneficios en entornos de alta temperatura.

4. MARCO TEÓRICO

Las fachadas adaptables son capaces de reaccionar a cambios ambientales y combinándolas con el uso de materiales de baja conductividad térmica se presentan como soluciones innovadoras para mitigar estos desafíos y mejorar el confort térmico, lumínico y psicológico.

El confort térmico es el estado de satisfacción de las personas con el ambiente térmico que las rodea. Según la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), el confort térmico se define como "aquella condición de la mente que expresa satisfacción con el entorno térmico" (ASHRAE, 2017). Este concepto se refiere a la percepción subjetiva de una persona en relación con la temperatura, la humedad, la velocidad del aire y la radiación térmica del entorno, así como a factores personales como el tipo de vestimenta y el nivel de actividad. Para mejorar el confort térmico interior y aportar a la reducción del consumo energético del edificio ubicado dentro de la isla de calor se define un **rango de confort térmico entre 24 y 26 grados centígrados**. Con el fin de determinar las temperaturas límites de confort en el clima de Cali se utiliza como referencia la carta psicométrica de Givoni que permite determinar la estrategia bioclimática a adoptar en función de las condiciones higrotérmicas del edificio en una determinada época del año. (Givoni, 1992)

Para lograr el confort térmico, se deben equilibrar unos factores específicos, principalmente que la temperatura del ambiente sea adecuada y no cause sensaciones de frío o calor extremo. La definición del rango para alcanzar el confort térmico es fundamental en la reducción del consumo energético del edificio que, en el caso de este proyecto, está ubicado dentro de la isla de calor y esto es determinante para el control de las temperaturas; es por esto por lo que se acatan recomendaciones basadas en el modelo de Fanger, el cual consiste en un modelo adaptativo de confort térmico, que toma en cuenta el ajuste natural que los individuos pueden hacer a las condiciones ambientales. Aunque el modelo original de Fanger se centra en parámetros como temperatura del aire, velocidad del viento, humedad y temperatura radiante, se ha modificado para incluir factores de adaptación. Esto se debe a que el confort humano no es solo un estado físico, sino que también depende de las expectativas, la cultura y las condiciones climáticas (Fanger, 1970).

El confort lumínico es el estado en el que la iluminación de un espacio permite a las personas realizar sus actividades de manera efectiva, cómoda y sin causar cansancio visual o incomodidad. Este concepto no solo abarca la cantidad de luz, sino también su calidad, distribución, color, y la ausencia de deslumbramiento o penumbra, lo que permite crear ambientes agradables y funcionales (Boyce, 1981) El confort lumínico se vuelve crucial en el consumo energético de un edificio, pues si se ven afectados el bienestar, la productividad y la salud de los ocupantes de un espacio, el edificio se ve obligado a incorporar modificaciones que hagan que el espacio logre el confort deseado y estas a su vez aumenten el consumo. Para obtener espacios con un rango de confort lumínico adecuado, según el uso específico, se consideran tanto la luz natural como la artificial, y se busca optimizar factores como la

temperatura de color, la intensidad, el contraste y la direccionalidad de la luz al interior del espacio.

Las ventanas pueden brindar experiencias tanto positivas como negativas: acceso a la vista y la luz natural, pero también deslumbramiento y malestar térmico. Una vista desde una ventana proporciona información sobre el tiempo y el clima, disminuye la sensación de claustrofobia y puede tener una contribución positiva a la salud ocular al proporcionar un horizonte lejano al que mirar. En la investigación “Las ventanas, la vista y las características de la oficina predicen el malestar físico y psicológico” los autores pudieron concluir que a pesar de que algunos usuarios comunicaron que al estar cerca de una ventana y percibir tener una iluminación de mejor calidad, se pueden dar lugar a problemas térmicos y de deslumbramiento, la mayoría de usuarios comunicaron que el aporte lumínico y psicológico que tiene el desarrollar distintas actividades cerca de una ventana puede aportar a la reducción del malestar en el trabajo y mejorar la calidad del sueño, lo que indica que las condiciones físicas en el desarrollo diario del ser humano influyen en la salud mental (Aries et al., 2010).

El confort acústico está estrechamente relacionado con la interacción que tiene el usuario desde el interior del edificio con el exterior, la relación que le puedan brindar los vanos, los tipos de ventanas que los ocupen, la proporción de área llena y vacía, los materiales de las fachadas y toda la construcción del entorno exterior que proporciona el tipo de sonidos que van a afectar el uso de un edificio (Zhang et al., 2024) . El confort acústico se hace evidente cuando la percepción de bienestar se cumple al tener una buena relación con el ambiente sonoro circundante. Hay muchos factores que intervienen en él, como el nivel de ruido, la calidad del sonido, la reverberación y la percepción de sonidos no deseados y como todos los tipos de confort, la ausencia de este afecta la salud mental y el desarrollo del ser humano (Andargie et al., 2019).

En diferentes investigaciones se ha demostrado que los sistemas de refrigeración pasiva podrían reducir las necesidades energéticas mundiales en un 2,35% (Khedari et al., 2000). El término "refrigeración pasiva" se desarrolló con el fin de describir el cómo los edificios utilizan el diseño arquitectónico para responder a las condiciones climáticas locales, creando condiciones interiores cómodas y sostenibles por medios naturales (Haase & Amato, 2009).

La ventilación natural es una de las estrategias pasivas con mayor eficiencia para reducir la carga de refrigeración en climas tropicales, sin embargo, depende en gran medida de una serie de factores como el microclima exterior, la naturaleza del terreno, las técnicas constructivas y el diseño de los elementos del edificio, etc. Estos factores afectan el funcionamiento de la ventilación natural y el uso del espacio, el cual está relacionado con los elementos arquitectónicos y la interacción de los usuarios en los edificios (Leder et al., 2024).

Al ser una de las estrategias que porta mayor ahorro energético, esta realiza un gran aporte al confort interior y la convierte en la más usada en los edificios ubicados en climas tropicales, en comparación con otras estrategias de diseño pasivo. Sin embargo, la falta de cambios de temperatura entre el día y la noche, los altos niveles de humedad y la nubosidad persistente

limitan el uso de la ventilación natural como estrategia predominante en las regiones tropicales (Ahmed et al., 2021).

La investigación “Una revisión sobre las aplicaciones de ventilación natural a través de componentes de fachadas de edificios y aberturas de ventilación en climas tropicales” descubrió que, para lograr la máxima eficiencia esta técnica (ventilación natural) se basa en estrategias que evitan el calor. La ventilación natural puede aumentar la refrigeración de manera significativa cuando se han tomado medidas en el diseño y la construcción de edificios para limitar la absorción de calor del entorno circundante (Aflaki et al., 2015).

La eficiencia energética en la arquitectura es crucial por varias razones. En primer lugar, los edificios representan un alto consumo energético de aproximadamente del 40% a nivel mundial (Carreras et al., 2015). Mejorando la eficiencia energética en los edificios, se puede reducir el consumo de forma significativa y así también se reduce el impacto ambiental en la producción de energía mundial, incluyendo las emisiones de gases de efecto invernadero; para lograr reducir el consumo en la arquitectura se requiere una combinación de estrategias de diseño pasivo y unas posibles tecnologías activas (Tosin Michael Olatunde et al., 2024).

El diseño de estrategias pasivas se desarrolla enfocándose en elementos naturales como la luz del sol, la sombra y el flujo de aire, así se reducen las necesidades de climatización e iluminación mecánicas; estas estrategias incluyen orientación del edificio, sombreado estratégico, ventilación natural y el uso de la masa térmica. También se pueden implementar estrategias activas con distintas tecnologías como aislamientos de alto rendimiento, iluminación con ahorro estratégico, sistemas de energías renovables como paneles fotovoltaicos, turbinas de viento y sistemas de geotermia. Integrando el diseño pasivo y las tecnologías activas se puede mejorar con altos estándares la eficiencia energética y reducir el consumo general de la energía en los edificios (Chetan et al., 2020).

Las estrategias de diseño de edificios pasivos deben abordarse principalmente, ya que estas tienen más ventajas, en términos de ahorro energético, que las estrategias activas. Según el “Estudio de caso sobre estrategias pasivas y activas para el diseño de un edificio escolar energéticamente eficiente” El edificio analizado y con implementación de estrategias de diseño pasivo, sin aplicación de estrategias activas, tiene una demanda de energía final menor que el diseño original, en el cual si se están aplicando estrategias de diseño activas (Kang et al., 2015). Esto nos ayuda a concluir que un estratégico diseño arquitectónico que responde a los comportamientos del clima aporta mucho más a una eficiencia energética y a un ahorro en consumos, que un diseño inherente al clima, pero con tecnologías activas.

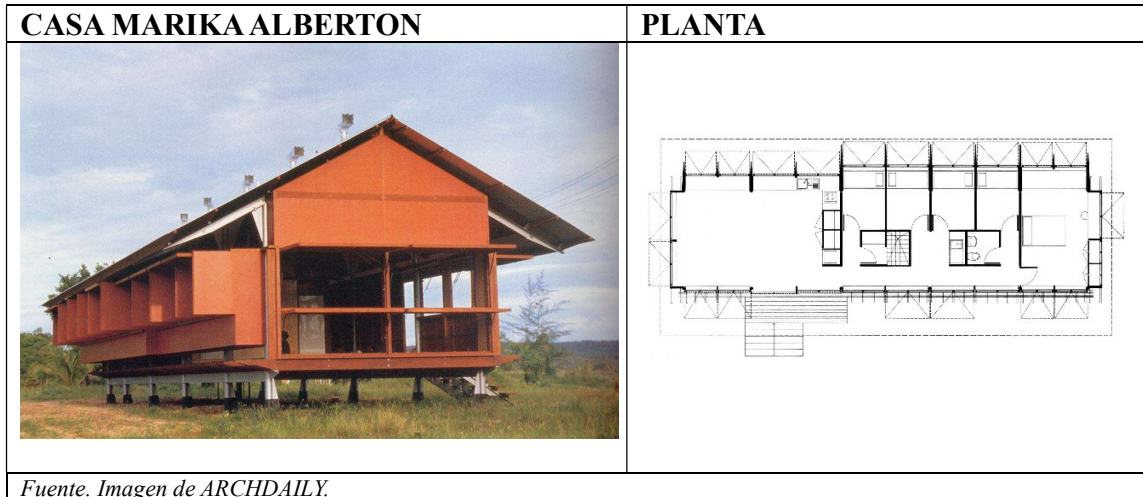
En el proceso de buscar un ahorro de energía mediante el diseño arquitectónico, se introducen temas de investigación como energía ambientalmente amigable, la cual hace referencia a la producción de materiales que optimicen la función del edificio y proporcionen un uso cómodo y respetuoso con el medio ambiente; al mismo tiempo que también aporten al reciclaje de los sólidos industriales y a distintas prácticas de ahorro y reutilización. En comparación con materiales de construcción tradicionales, los materiales respetuosos con el medio ambiente deben tener características de baja contaminación, reciclabilidad y bajo daño a la salud humana (Zhou, 2024).

Por ejemplo, un material como el concreto tiene distintas propiedades físicas como su conductividad térmica, la cual, si es revisada en el hormigón ligero, es generalmente inferior a la del hormigón de peso normal debido a la menor conductividad térmica del aire. Aunque la introducción de huecos en el hormigón reduce su conductividad térmica y aumenta su capacidad de aislamiento, las propiedades mecánicas generalmente se ven comprometidas (Demirboğa, 2007). Sin embargo, existen investigaciones que estudian el desarrollo de compuestos de cemento ultraligeros (ULCC) con baja conductividad térmica pero alta resistencia específica para que puedan usarse en aplicaciones estructurales, el peso ligero se logra incorporando cenizas volantes generadas en plantas de energía térmica (Wu et al., 2015). Con aportes científicos de este tipo, se puede determinar que tipo de materiales pueden aportar mayor precisión al reducir la conductividad entre las capas de materiales que componen los elementos del edificio.

Así entonces se determinan una serie de estrategias basadas en investigaciones científicas para lograr el desarrollo de un proyecto preciso e incisivo sobre responder a las condiciones climáticas en las que se presentan los mayores desafíos de diseño arquitectónico.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1 CASO DE ESTUDIO 1: CASA MARIKA ALBERTON - GLENN MURCUTT



Ubicación: Australia

Contexto

La casa está ubicada en un área de clima tropical, caracterizada por temperaturas elevadas y una alta humedad durante el verano, mientras que el invierno es más seco y fresco.

Características de diseño

Orientación:

La casa está orientada estratégicamente para maximizar la ventilación cruzada. Esta disposición permite el flujo de aire fresco, fundamental para el confort térmico en climas cálidos.

Las ventanas, que se pueden abrir completamente, permiten una circulación adecuada del aire para reducir la dependencia de sistemas de refrigeración artificial.

Materiales Naturales:

Se utilizan materiales locales y sostenibles, lo cual no solo minimiza el impacto ambiental, sino que también asegura que la construcción reaccione bien a las condiciones climáticas locales.

La estructura de la casa incluye techos de aluzinc, que reflejan la radiación solar, además de estar elevados del suelo para mejorar la ventilación por debajo.

Sombreo:

La Casa Marika cuenta con aleros amplios que proporcionan sombra en las ventanas. Esto reduce la ganancia de calor solar en el interior durante el verano, mientras que permite la entrada de luz natural en invierno.

Espacios Abiertos:

La disposición de espacios abiertos favorece la conexión con la naturaleza circundante y ayuda en la regulación térmica.

Los espacios exteriores, como terrazas y porches, amplían el área habitable y permiten disfrutar del clima sin tener que estar siempre en interiores.


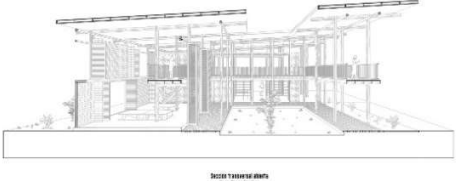
Aprovechamiento del Agua:

La casa está diseñada con sistemas de captación de agua de lluvia, lo que no solo apoya la sostenibilidad, sino que también ofrece una gestión eficiente del recurso hídrico en un entorno donde la lluvia puede ser irregular.

Conclusión

La Casa Marika de Glenn Murcutt es un claro ejemplo de cómo la arquitectura puede dialogar con su entorno, empleando estrategias bioclimáticas efectivas que promueven la eficiencia energética, el confort y la sostenibilidad. Su diseño responde a las necesidades climáticas específicas de la región australiana, mostrando cómo puede lograrse la armonía entre la construcción y la naturaleza.

5.2 CASO DE ESTUDIO 2: EL CENTRO PRODUCTIVO COMUNITARIO LAS TEJEDORAS – NATURA FUTURA

CENTRO PRODUCTIVO COMUNITARIO	CORTE FUGADO
	
<i>Fuente. Imagen de ARCHDAILY.</i>	

Ubicación: Ecuador

Descripción del Edificio:

El edificio desarrolla un programa de Centro Productivo Comunitario, el centro fue diseñado para fomentar el desarrollo económico y social a través de la capacitación y el fortalecimiento de habilidades en la comunidad, especialmente en la producción artesanal de textiles.

Características del Diseño

Arquitectura Bioclimática:

El edificio está diseñado para aprovechar al máximo la luz natural y la ventilación cruzada, lo que reduce la necesidad de iluminación artificial y aire acondicionado, optimizando el confort térmico.

Materiales Sostenibles:

Se han utilizado materiales locales y sostenibles en su construcción, minimizando el impacto medioambiental. Esto incluye el uso de madera tratada y otros recursos naturales de la región.

Conexión con la Naturaleza:

El centro incluye áreas verdes y patios, fomentando un entorno de trabajo saludable y agradable. Estas áreas también pueden ser utilizadas para actividades de formación al aire libre, integrando la conexión con la naturaleza.

Análisis de Funcionamiento:

Sostenibilidad Energética: Al implementar estrategias de diseño bioclimático, el centro logra reducir el consumo energético y operar de manera más eficiente. Esto no solo beneficia a la

comunidad en términos de costo, sino que también minimiza la huella de carbono. El Fomento de la economía local, se genera a partir de utilizar materiales locales y fomentar la producción artesanal, se apoya la economía de la región, creando un ciclo de sostenibilidad económica que beneficia a los habitantes.

Su diseño sostenible, enfoque comunitario y uso de recursos locales lo convierten en un referente para proyectos similares en contextos rurales y urbanos. Este tipo de iniciativas son fundamentales para el desarrollo sostenible, la inclusión social y la autonomía económica de las comunidades.

Conclusión

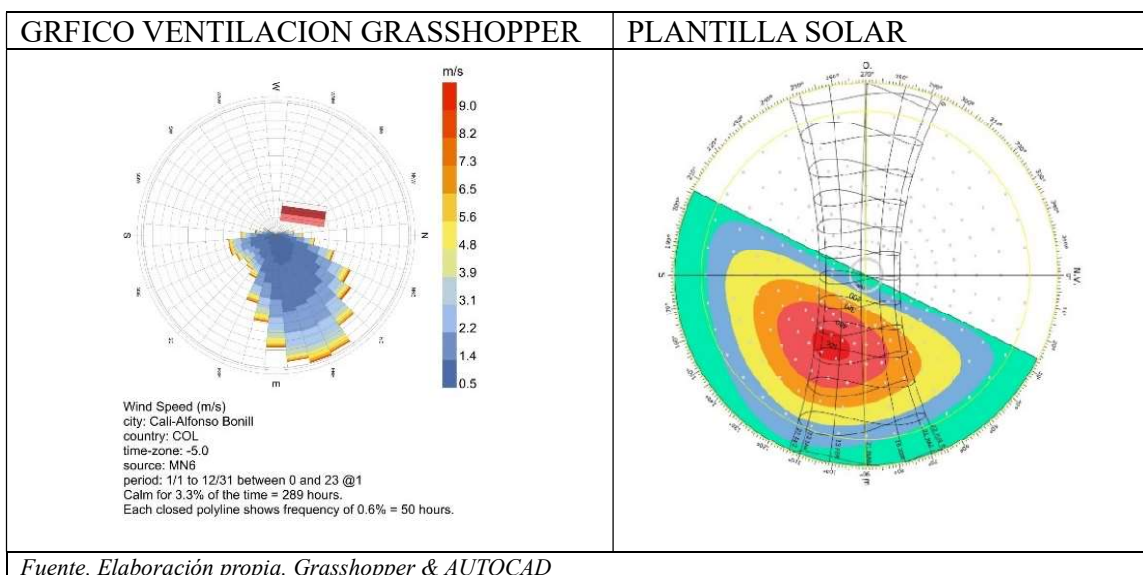
Ambos casos de estudio demuestran cómo el uso de fachadas adaptables y materiales de baja conductividad puede ser efectivo en la mitigación de las condiciones de islas de calor, mejorando el confort y la eficiencia energética de los edificios en climas cálidos y húmedos. Analizar el funcionamiento de estos edificios proporciona información valiosa para el diseño de futuras edificaciones sostenibles.

ESPACIOS CLAVES PARA LA CIRCULACIÓN DEL AIRE INTERIOR			
Casa Marika Alberton	Centro Productivo	Comunitario	Las
			
<i>Fuente. Imagen de ARCHDAILY.</i>			

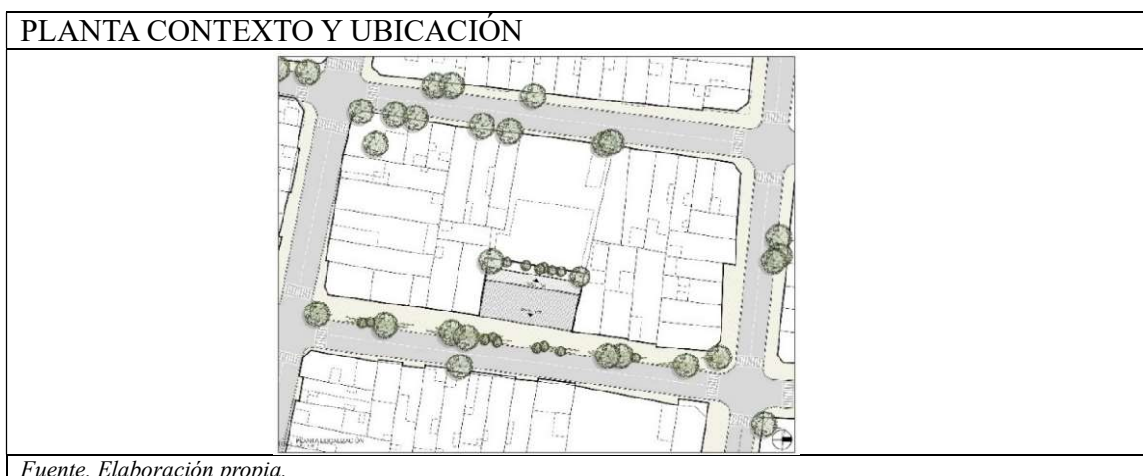
6. METODOLOGÍA

El presente análisis se realizó en la ciudad de Cali, en un lote con condiciones de isla de calor, representativo del universo de análisis. En Cali la temperatura promedio ronda los 25°C, con variaciones durante el día y la noche entre 17 y 34°C, con una diferencia de casi 10° en el transcurso del día.

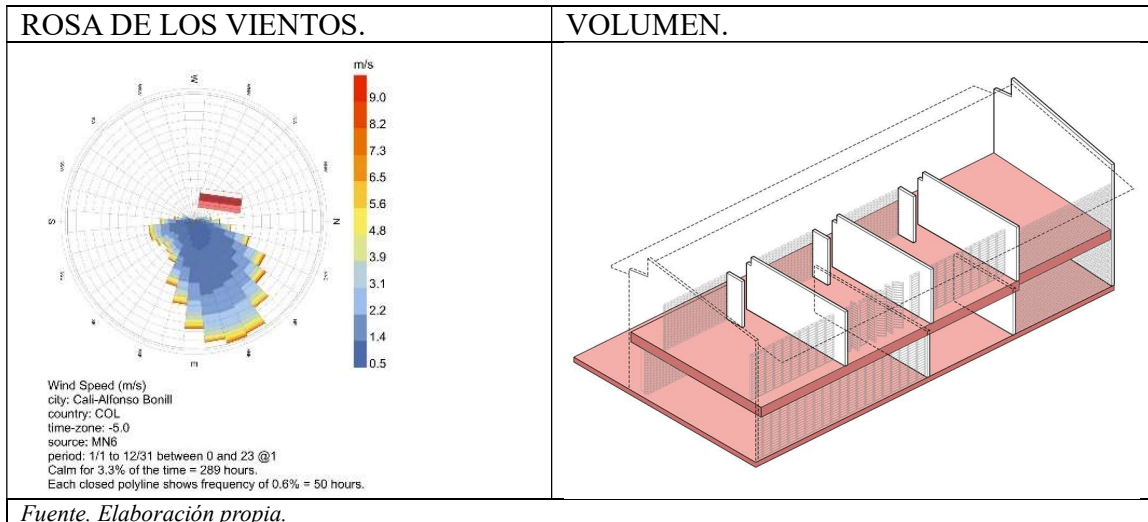
El análisis del edificio se realiza a través de elementos como la rosa de los vientos y la plantilla estereográfica o solar, elementos que funcionan para analizar la geometría del proyecto desde lo general a lo particular, ambas cosas se soportan con las simulaciones virtuales que conllevan la tecnología del software.



El edificio está ubicado en la comuna 8 en el barrio Benjamín Herrera, entre las calles 30 A y 31; y entre las carreras 12 y 11G, el barrio se caracteriza por ser una zona comercial e industrial, con poca presencia de vegetación y un alto tráfico vehicular al interior.

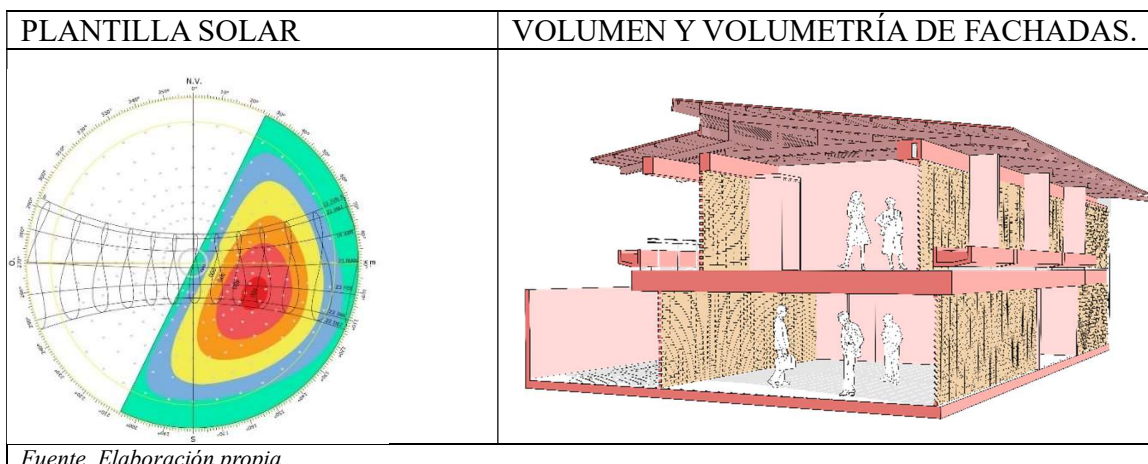


El diseño de la forma del proyecto se desarrolló teniendo en cuenta la orientación de la ventilación que proviene del este, para conservar el flujo constante del aire al interior; las fachadas del proyecto se evaluaron en tres momentos, teniendo en cuenta que el viento se puede direccionar, disminuir o aumentar la velocidad, con el ángulo de rotación que pueden tener los elementos que la componen.



La forma de las fachadas en el proyecto se desarrolló teniendo en cuenta la orientación de las caras largas del volumen (este-oeste), las cuales tienen mayor área expuesta al sol directo; los tres momentos en los que se evaluaron las fachadas comprenden el análisis de ventilación y asoleamiento al que está sometido el edificio:

- MOMENTO 1: Fachada retranqueada con vidrio.
- MOMENTO 2: Fachada retranqueada con persianas fijas a 90°.
- MOMENTO 3: Fachada retranqueada con paneles móviles y persianas en sentido vertical de 180° y horizontal de 360°.



Recopilando las conclusiones de los referentes, así como su relación con los contextos climáticos en los que se encuentran ubicados y el análisis del contexto climático de Cali, las simulaciones se orientan a disminuir el ingreso de luz solar directa en el interior del espacio. Esto se realiza con la intención de reducir la temperatura. Combinando esta estrategia con una ventilación constante, que se dirige desde el ambiente exterior hacia el edificio y está apoyada en el movimiento del panel que contiene las persianas de la propuesta ubicada en el MOMENTO 3, se busca disminuir el consumo energético en el edificio para lograr el confort interior a nivel climático.

Si bien se reconoce la validez del modelo adaptativo como propuesta para entornos ventilados naturalmente, se toma el rango propuesto por la Norma Técnica Colombiana NTC 5316, la cual reglamenta las condiciones de confort higrotérmico en edificaciones. Define para Colombia un **rango de confort para verano de $22.5\text{ }^{\circ}\text{C} < T_o < 26\text{ }^{\circ}\text{C}$, 60 % HR, MET ≤ 1.2 , donde al menos el 80 % de la población esté satisfecha, y T_o - temperatura Operativa, HR - humedad relativa, y MET – actividad metabólica (ICONTEC, 2004).**

La metodología para el desarrollo de las simulaciones se basa en el análisis de un modelo experimental y en los tres momentos de diseño explicados anteriormente, el modelo experimental está basado en un aula de tipo taller para centros comunitarios y en el cual se analizan tres aspectos principales:

- Análisis de las temperaturas promedio en la situación de base y bajo la aplicación de estrategias de mejoramiento.
- Análisis de confort bajo el rango propuesto por la norma.
- Conclusiones de conjunto de estrategias de diseño y propuesta final.

Para la simulación se utiliza GrassHopper (plugin de Rhino 6), el cual hace parte de los paquetes de software que usan como motor de cálculo Energy Plus. Propone un paradigma de modelado, en que va en relación con el proceso de diseño, en tiempo real, desde las primeras etapas conceptuales hasta los documentos de construcción. Es un plugin de asociado a software de trabajo en 3D como Rhino, más cercano a entornos gráficos de arquitectura.

El objetivo de desarrollar un diseño preliminar del prototipo arquitectónico que incluya diferentes configuraciones de fachadas adaptables y una selección de materiales adecuados se hace con el fin de mejorar el confort interior del edificio, sin embargo, el diseño debe contemplar criterios estéticos, funcionales y constructivos. El desarrollo del proyecto se analiza en un marco de evaluación que integre métricas de confort climático y lumínico, teniendo en cuenta también parámetros de eficiencia energética, aplicando estos límites a un caso de estudio específico.

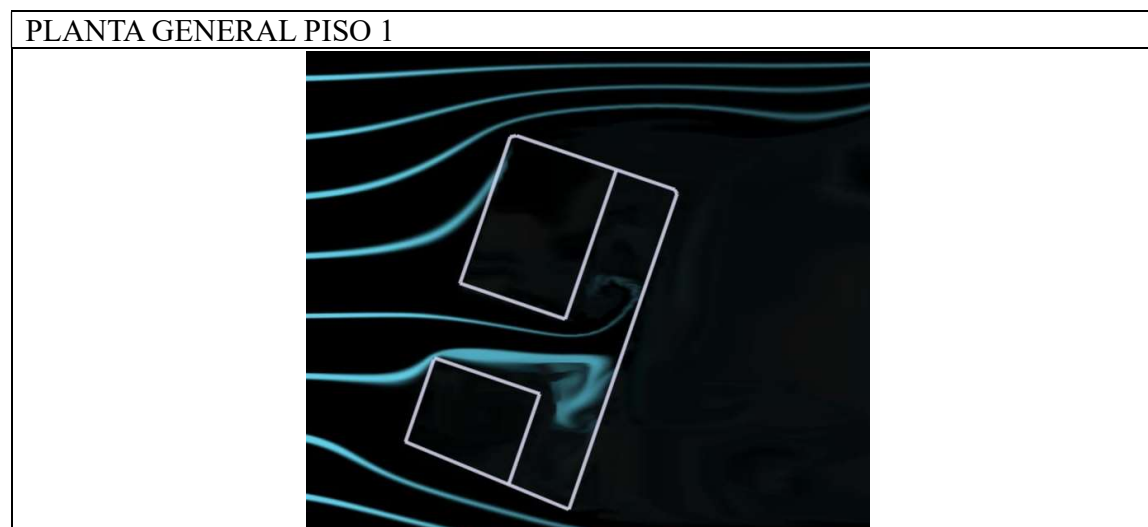
6.1 DISEÑO Y APLICACIÓN DE CONCEPTOS

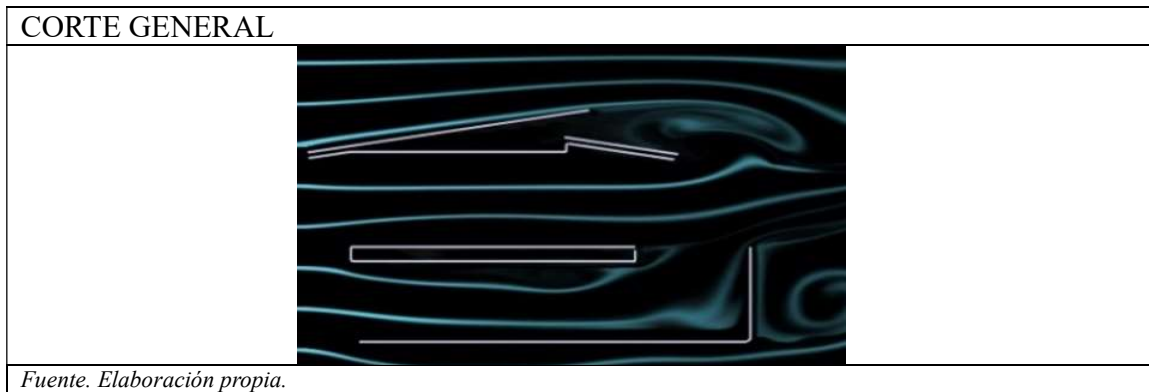
El diseño arquitectónico del edificio considera principalmente el clima como factor influyente para su desarrollo, ya que este impacta significativamente en el funcionamiento del espacio interior. Para garantizar que el diseño cumpla las necesidades de uso y proporcione un ambiente cómodo, se desarrollan cuatro lineamientos de control que regulan el desempeño del edificio: **ventilación natural, iluminación natural, incidencia del sol y sombreado**. Al gestionar estos aspectos de manera efectiva, se puede lograr un nivel óptimo de confort y, al mismo tiempo, reducir el consumo energético a lo largo de la vida útil del edificio. De esta forma, la arquitectura no solo responde a las condiciones climáticas, sino que también promueve la sostenibilidad y la eficiencia.

6.1.1 VENTILACIÓN

Elementos como la fuerza del viento y el efecto chimenea pueden aprovecharse mediante estrategias de diseño arquitectónico que consideren la distribución del edificio, la dimensión y ubicación de las aberturas, la orientación, así como el tamaño y la forma de los balcones. Los conductos de ventilación, la relación ventana-pared, la relación ventana-piso, y la orientación y posición del edificio son factores clave para lograr una ventilación natural efectiva. Es fundamental conocer las direcciones del barlovento (lado de donde proviene el viento) y del sotavento (lado opuesto), ya que esto permite ubicar los planos de manera que potencien la velocidad del flujo de aire en lugar de obstaculizarlo.

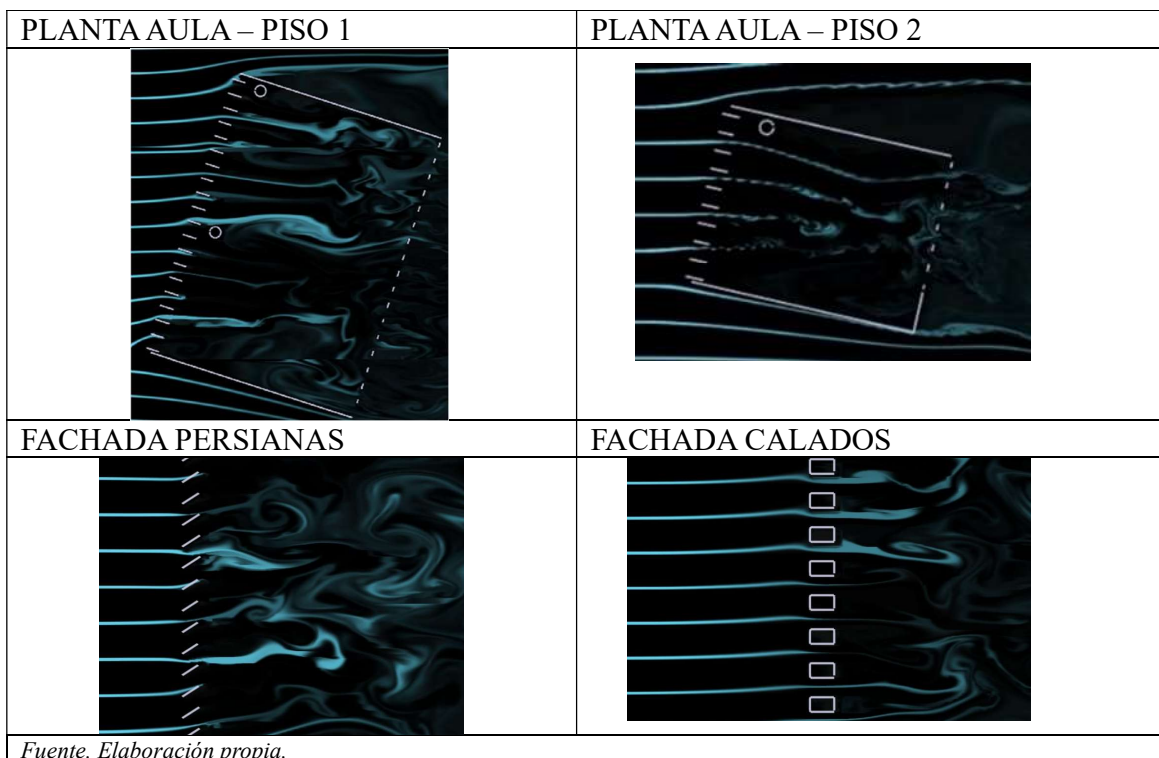
Con base en la orientación de la ventilación, se proponen las aperturas de los espacios para generar circulación del viento al interior del edificio; con el objetivo de que a través de la ventilación se enfríe el edificio y compensé la temperatura exterior aumentada por la isla de calor.





1.1.6.1 Análisis del sistema de ventilación natural existente

- Se evalúa el sistema de ventilación propuesto: Ventilación natural, la cual se aprovecha al implementar ventanas, rejillas, calados y otras aperturas.

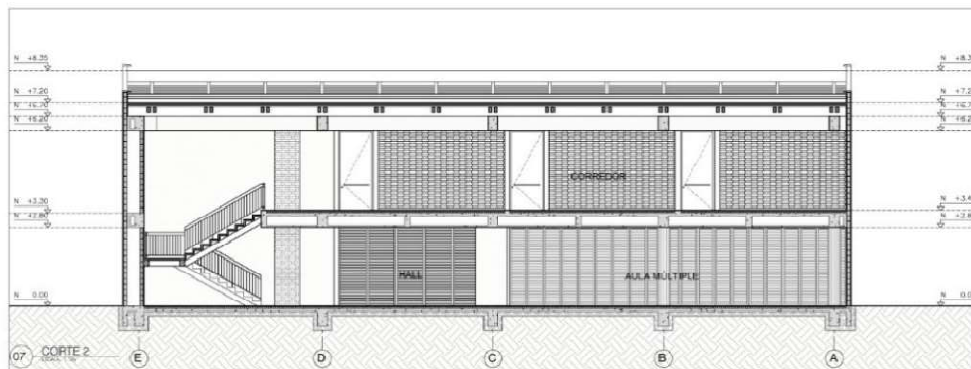


El análisis del funcionamiento de las fachadas para la dirección del viento al interior del espacio se hace con la aplicación WINDTUNNEL, la cual simula un movimiento de fluidos a través de barreras (líneas) que representan la ubicación de los muros o los elementos de fachada en el espacio.

En el análisis presentado para el proyecto, se puede observar que el viento fluye en el espacio de forma constante, para así obtener el confort climático interior deseado, con el espacio

ventilado y el aire en movimiento la sensación térmica generada por la isla de calor mejora y adicional a eso la elección de los materiales con baja conductividad térmica logran enfriarse para así mantener una temperatura constante en el edificio. La condición de la isla de calor hace que el edificio deba generar espacios expuestos a exterior como patios, estos espacios deben estar sombreados y correctamente ventilados para que se produzcan turbulencias con los cambios de temperaturas. También los materiales de la calle ubicada sobre la fachada principal (asfalto y concreto) y los materiales del patio (vegetación y tableta de gres) ayudan a generar cambios de presión entre los espacios y esto hace que el viento se conduzca a través del edificio.

CORTE ARQUITECTÓNICO LONGITUDINAL



CORTES ARQUITECTÓNICOS TRANSVERSALES



Fuente. Elaboración propia.

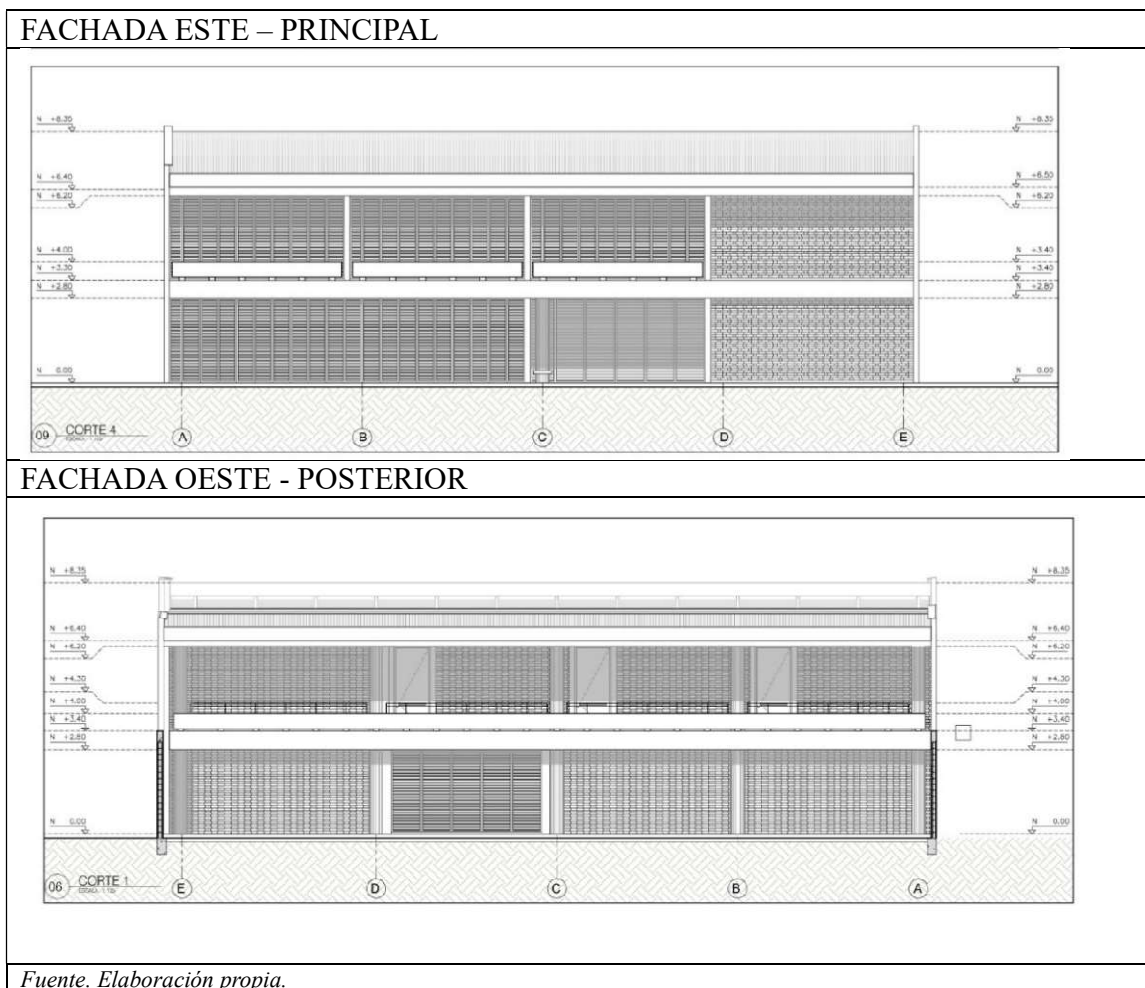
6.1.2 ILUMINACIÓN

La iluminación interior es proporcionada en su mayoría de forma natural, sin embargo, en promedio y dependiendo de la época del año y de la hora del día, se debe usar iluminación artificial.

La propuesta volumétrica para las fachadas consiste en retroceder los planos que protegen los espacios del clima exterior. Los elementos principales que delimitan la fachada están retranqueados .80 m (a borde de losa) y a 2.3 m del alero en cubierta; y funcionan como una serie de paneles y persianas pivotantes en sentido vertical de 180° y horizontal de 360°. La

fachada se puede abrir o cerrar en distintos puntos, o en distintos ángulos, así se establece una relación del interior con el exterior y dependiendo de las necesidades del usuario es posible adaptarlos.

Identificar adecuadamente las sombras en el proceso de diseño de la forma del edificio sobre el volumen arquitectónico, permite organizar los espacios interiores para aprovechar al máximo la luz natural, sin sobrecalentamiento. Esto puede influir en la distribución de los espacios, colocando áreas de estar donde hay luz indirecta.



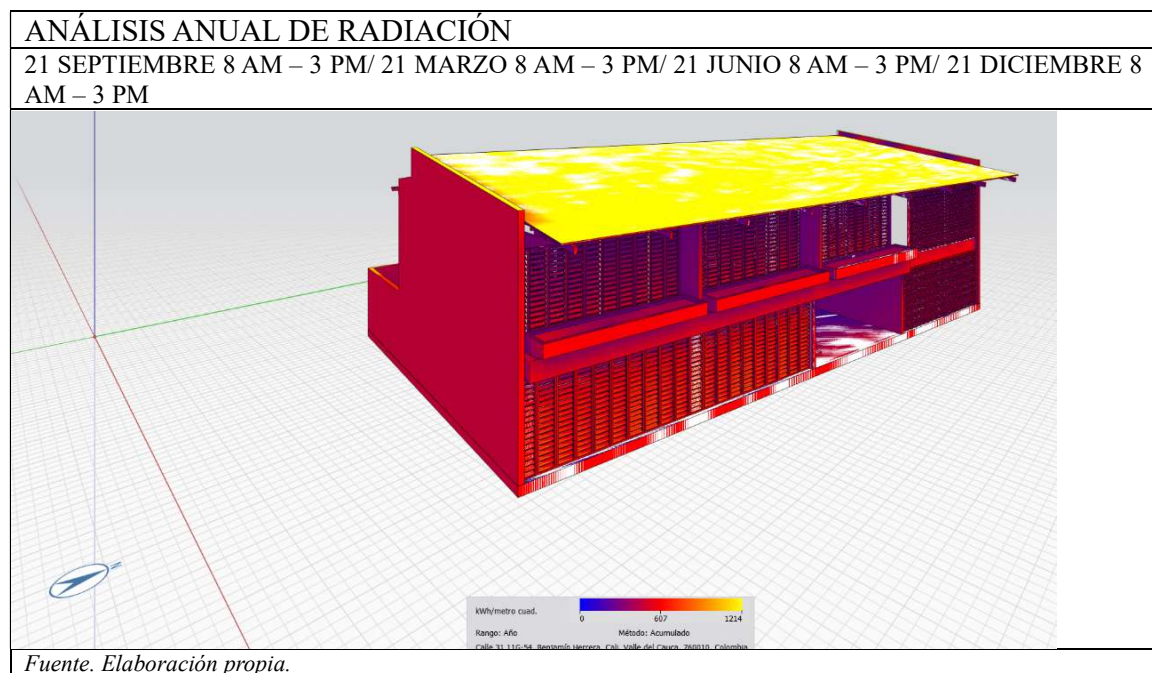
Aunque el edificio no tiene un uso educativo específicamente, algunas actividades que se desarrollaran en él pueden identificarse con este contexto, entonces es posible utilizar los rangos de la normativa NTC 4595, que hace referencia a la iluminación en espacios educativos y establece diferentes niveles de iluminancia en función del tipo de actividad que se realice en el aula. Para aulas tipo taller, que suelen requerir mayor atención al detalle y precisión, se recomienda un nivel de iluminancia mínimo de **300 lux** (ICONTEC, 2005).

ELEMENTOS DE CONFORT LUMÍNICO ESTABLECIDOS.

- Visibilidad adecuada: Los talleres a menudo implican el uso de herramientas y materiales detallados, lo que requiere una iluminación suficiente para evitar accidentes y errores.
- Concentración: Un nivel adecuado de luz ayuda a mantener la concentración de los estudiantes, favoreciendo un ambiente propicio para el aprendizaje.
- Prevención de la fatiga visual: Una iluminación insuficiente puede causar fatiga ocular, lo que a largo plazo puede afectar el rendimiento y la salud visual de los estudiantes.

6.1.3 INCIDENCIA DEL SOL Y RADIACIÓN

El análisis solar es determinado por las horas más críticas a lo largo del año, en solsticios y equinoccios, en horas de la mañana y la tarde y dependiendo de la plantilla solar y de radiación, las cuales exponen los puntos más críticos de la fachada.



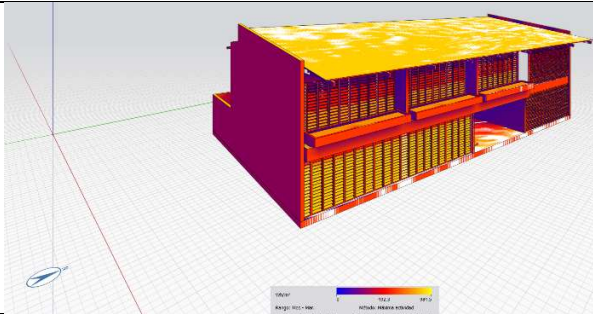
La comprensión de la radiación solar es crucial en el diseño arquitectónico del edificio, especialmente durante los equinoccios y solsticios.

Equinoccios: (marzo y septiembre) En estos días, el sol está perpendicular al ecuador, lo que significa que su trayectoria es casi horizontal. Las sombras en las fachadas de los edificios son más largas, y en el diseño del edificio se utilizan para proyectar elementos que protejan del sol bajo.

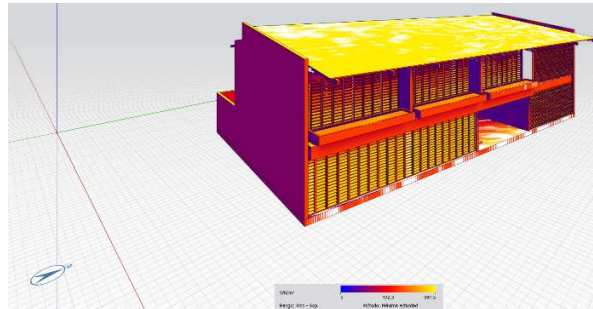
Solsticios: (junio y diciembre) en estos meses el sol alcanza su máxima altura, causando que las sombras sean más cortas, a pesar de que conocer estas trayectorias ayuda a optimizar la orientación del edificio, el lote en este caso condiciona la orientación de las fachadas largas hacia los sentidos este y oeste.

ANÁLISIS SOLAR

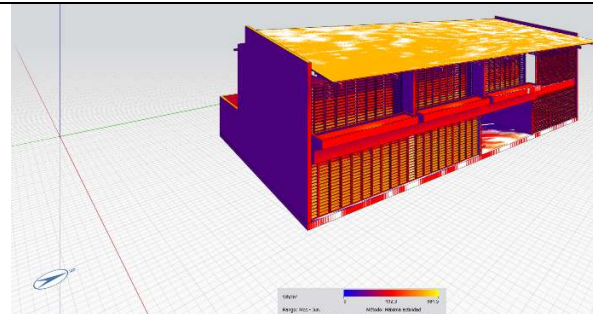
MARZO 21



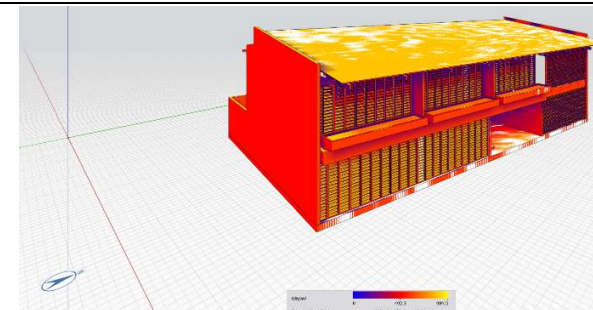
SEPTIEMBRE 21



JUNIO 21

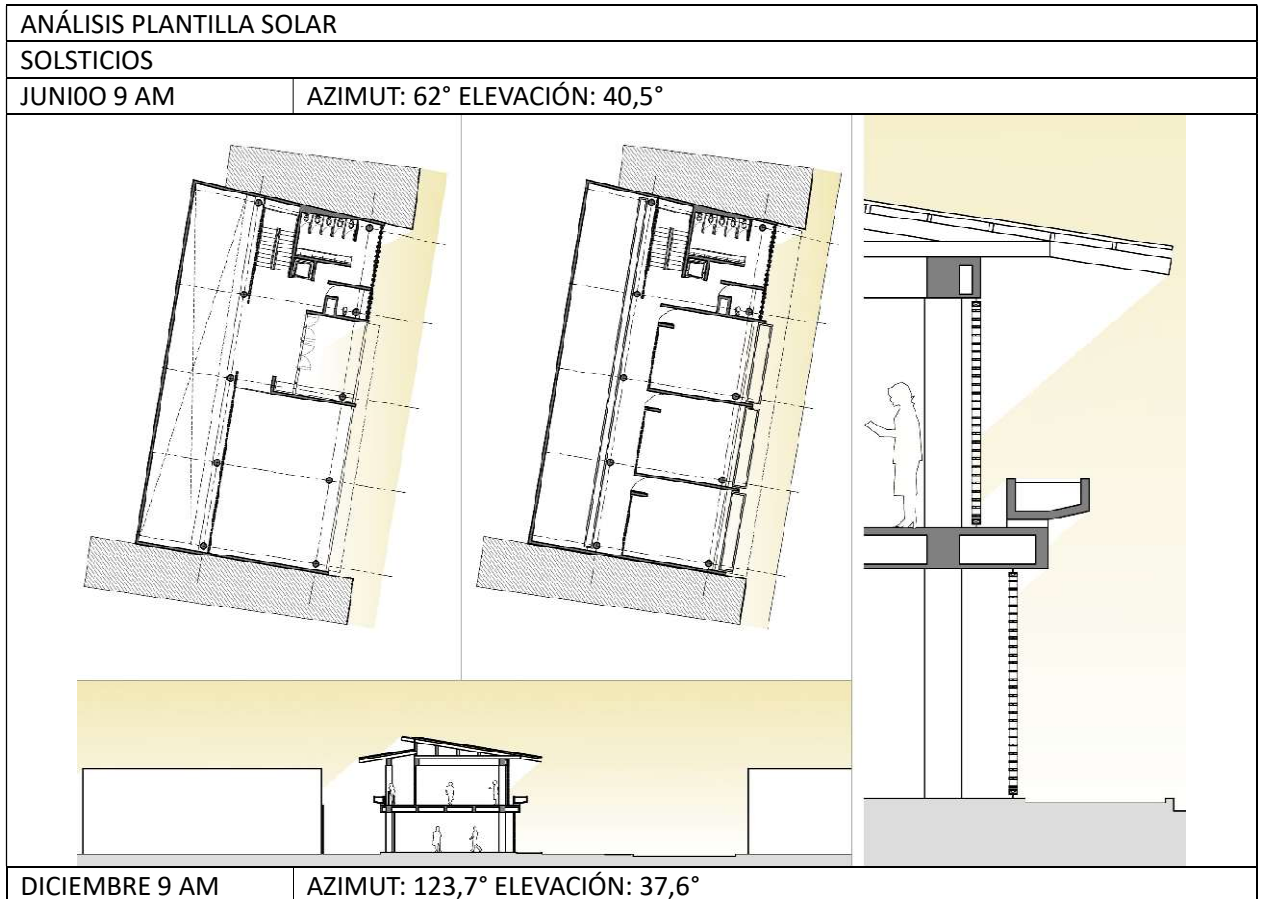


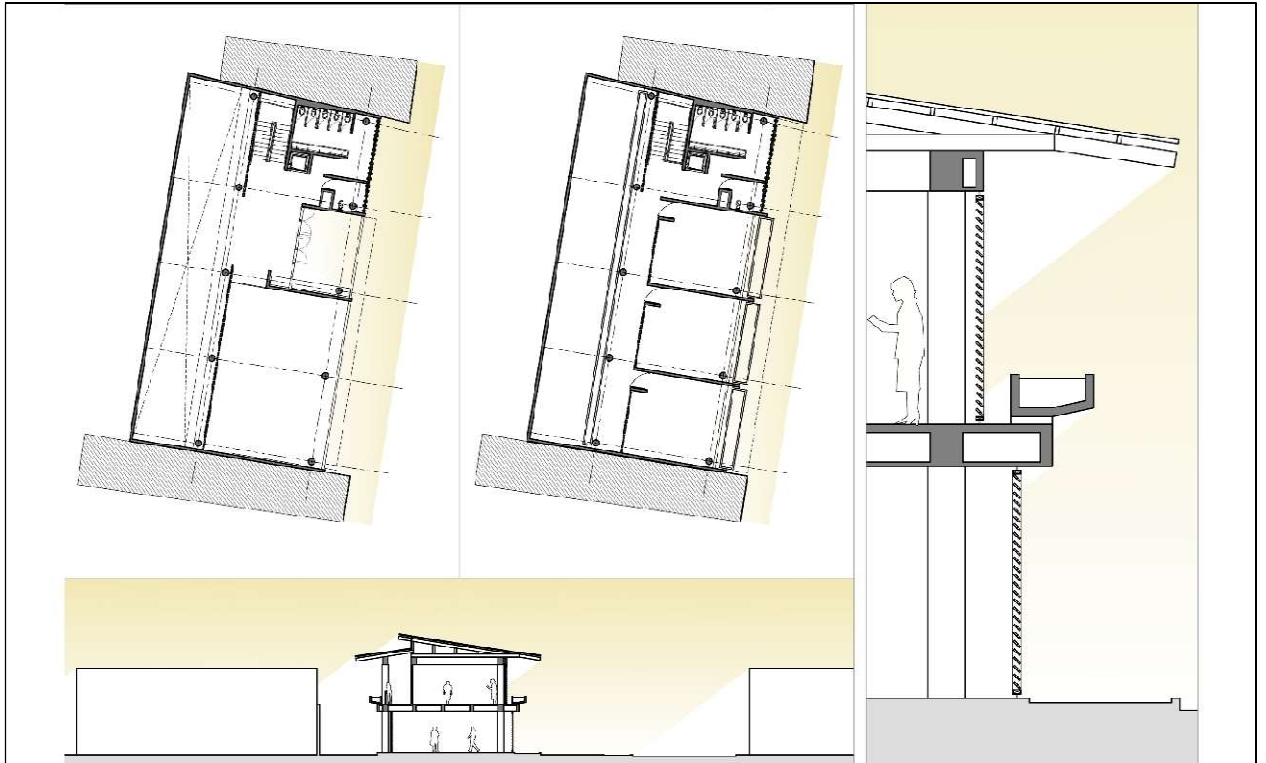
DICIEMBRE 21



Fuente. *Elaboración propia.*

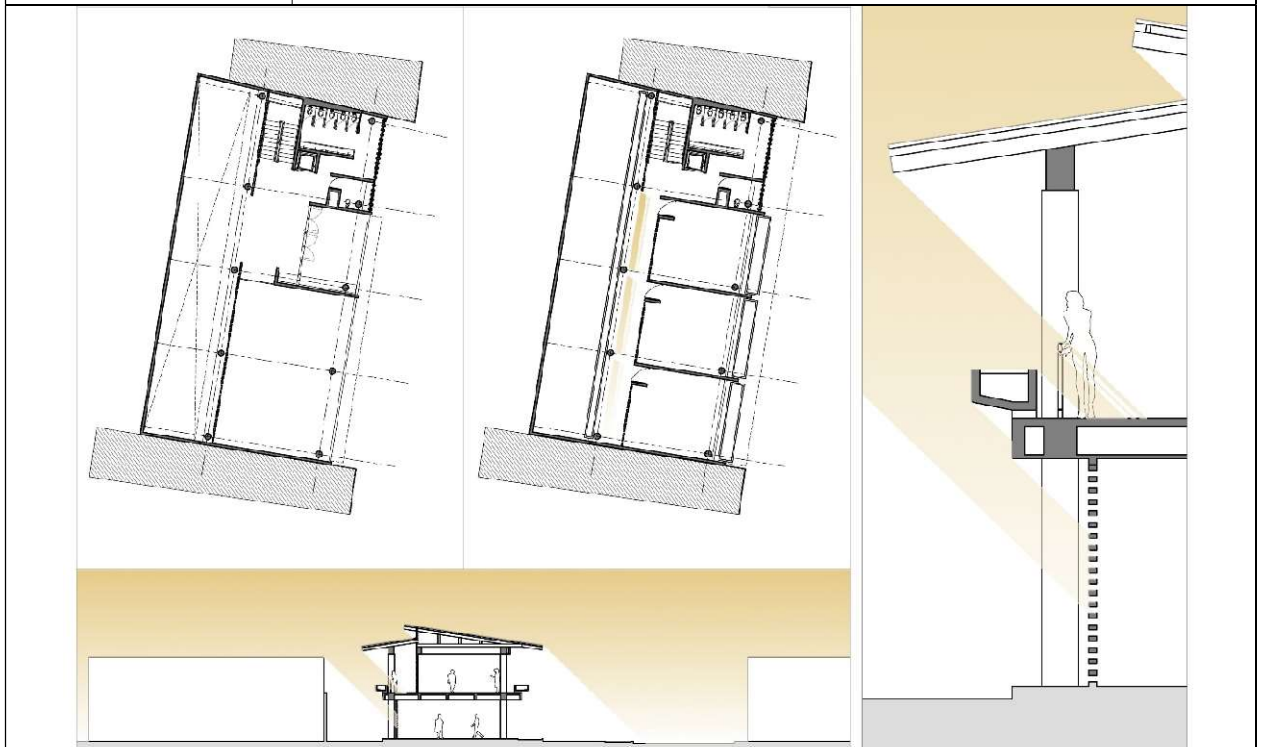
Conocer estas trayectorias es vital para optimizar la orientación de los elementos en fachada, debido a que las fachadas largas se orientan hacia el este y el oeste. Además, la ubicación de espacios de transición o circulación alrededor del edificio es estratégica, ya que permiten que el espacio interior, diseñado para ser útil o de permanencia, reciba luz solar indirecta mientras bloquean la radiación excesiva.





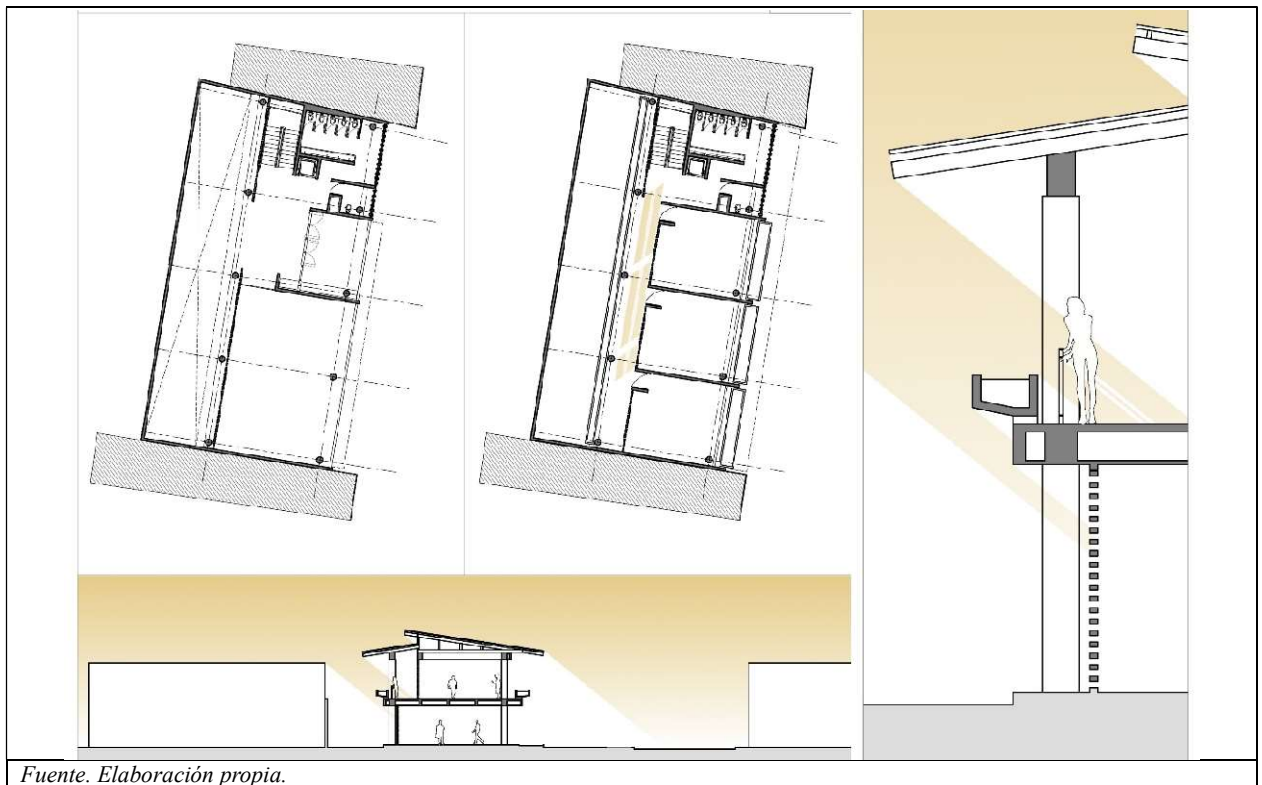
JUNIO 3 PM

AZIMUT: 267,8° ELEVACIÓN: 44°



DICIEMBRE 3 PM

AZIMUT: 235,5° ELEVACIÓN: 39°



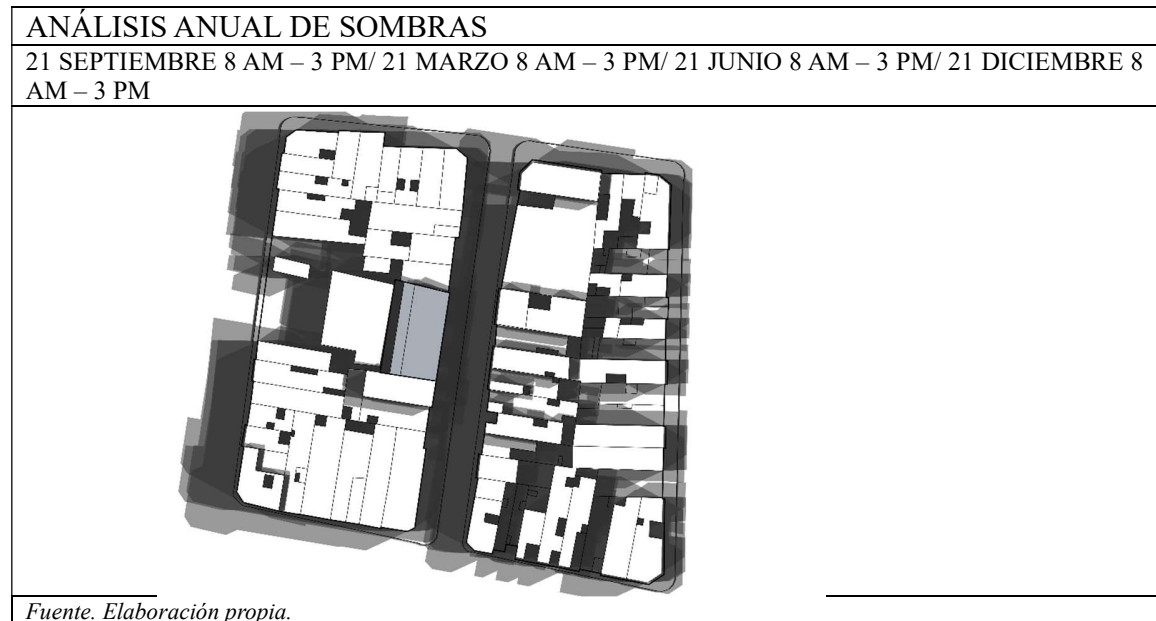
Debido a las condiciones de la isla de calor, el contexto arquitectónico y urbano impactan en la temperatura interior del edificio, esto es determinante para la elección de los materiales y la integración de vegetación, debido a que las propiedades térmicas afectan, tanto la absorción, como la conservación del calor en el espacio y los elementos que lo contienen. Así, la relación entre la cantidad de superficie expuesta, tanto en fachadas, como en cubierta; y la radiación que el material puede retener se vuelve crucial; por ejemplo, no es lo mismo una losa continua de 10 m² que distribuir esa misma área en elementos variados que permitan una adecuada ventilación.

En resumen, identificar la dirección del sol sobre los planos que conforman las formas del edificio y las sombras que aporta el entorno urbano durante los equinoccios y solsticios, es esencial para diseñar fachadas dinámicas que optimicen la luz natural, mejoren el confort térmico y reduzcan el consumo energético.

6.1.4 SOMBREO

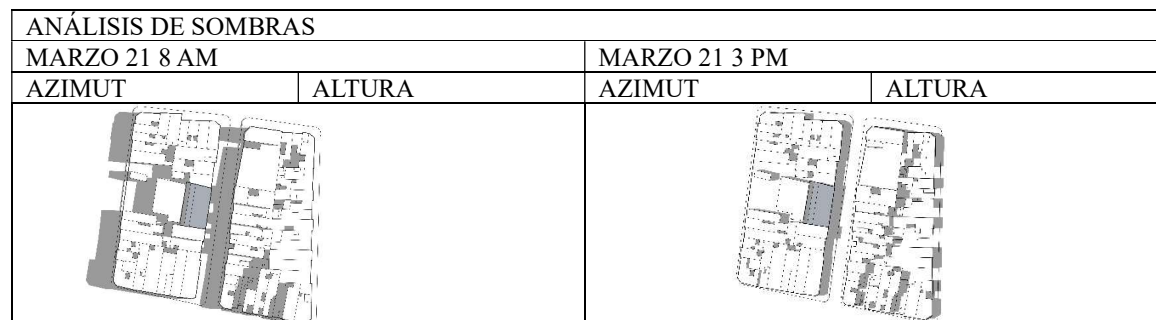
El edificio, que está ubicado en medio de una isla de calor, desarrolla sus elementos de sombreado principales con aleros que son la extensión de su cubierta hasta 1.5m después de sus fachadas, estos cumplen funciones importantes que impactan tanto el confort interior, como el ahorro energético, al evitar que la luz solar directa entre en los espacios interiores, así se


reduce la acumulación de calor. Al disminuir la cantidad de calor que ingresa al edificio, se mantiene una temperatura interior dentro del confort definido. Esto es especialmente crítico para el bienestar de los ocupantes, ya que evita situaciones de incomodidad térmica. Con menos calor entrando al edificio, la demanda de refrigeración se reduce, esto se traduce en un menor uso de sistemas de aire acondicionado, lo que no solo es beneficioso para el confort, sino que también reduce el costo energético asociado con la climatización.



El diseño del sombreo contribuye a la ventilación cruzada, permitiendo que el aire fresco entre mientras el sol permanece bloqueado, esto también puede mejorar la calidad del aire interior y aumentar el confort. El sombreo protege las superficies exteriores del edificio, como fachadas y mobiliario, del desgaste causado por la exposición solar intensa, prolongando la vida útil de estos elementos y reduciendo costos de mantenimiento.

Es importante también tener en cuenta la sombra que producen elementos como árboles o edificios vecinos, los cuales también protegen de la radiación solar directa.



SEPTIEMBRE 21 8 AM		SEPTIEMBRE 21 3 PM	
AZIMUT	ALTURA	AZIMUT	ALTURA
			
JUNIO 21 8 AM		JUNIO 21 3 PM	
AZIMUT	ALTURA	AZIMUT	ALTURA
			
DICIEMBRE 21 8 AM		DICIEMBRE 21 3 PM	
AZIMUT	ALTURA	AZIMUT	ALTURA
			
<i>Fuente. Elaboración propia.</i>			

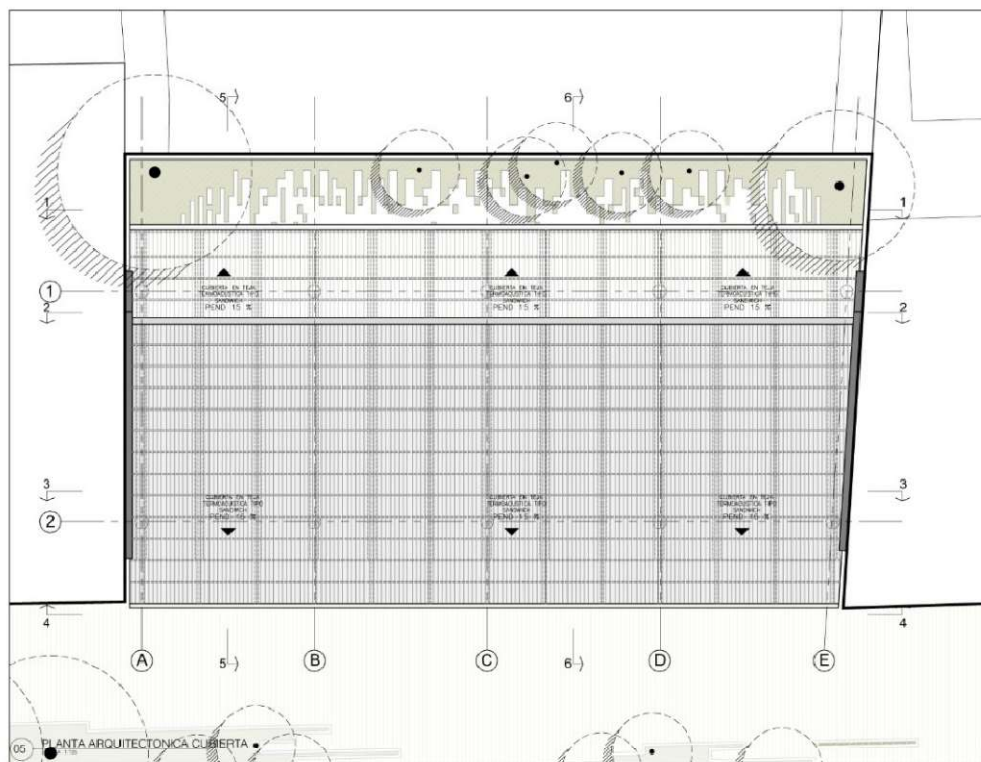
6.2 DISEÑO ARQUITECTÓNICO

La propuesta arquitectónica aborda un edificio de dos pisos con las medidas del lote en sentido este oeste de 25.99 y en sentido norte sur 15.50, teniendo así un edificio orientado en sus fachadas largas hacia el saliente y el poniente. El edificio consta de dos pisos, acceso con porche y patio.

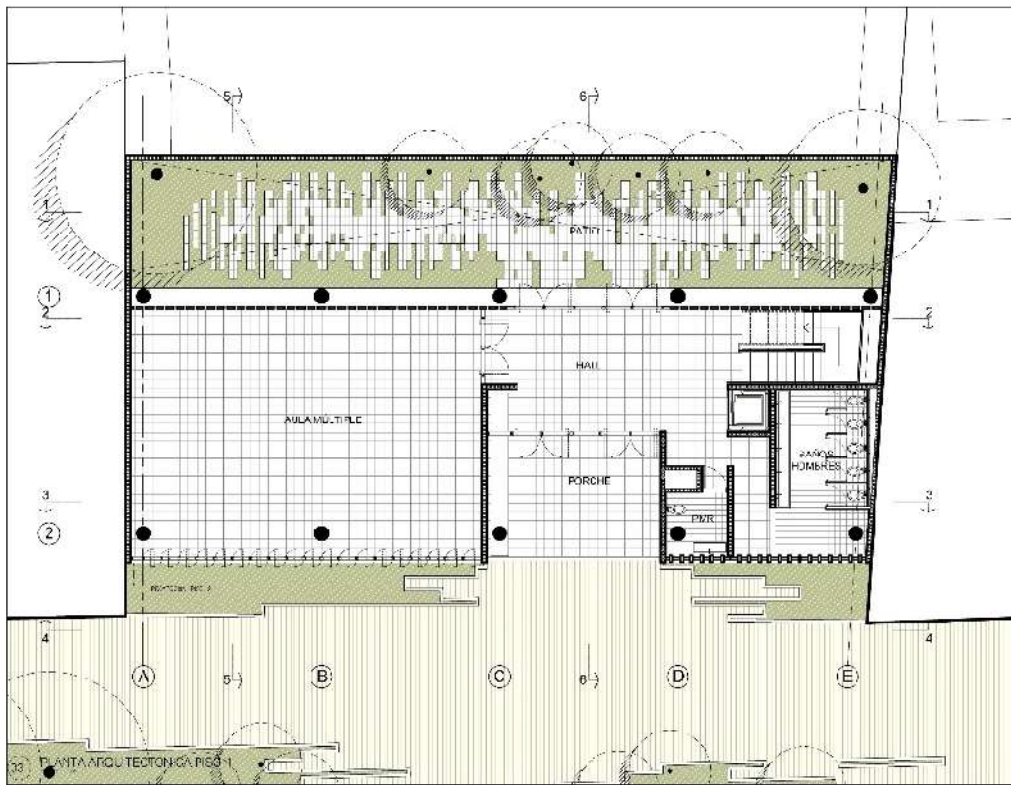
PLANTA PÚBLICA



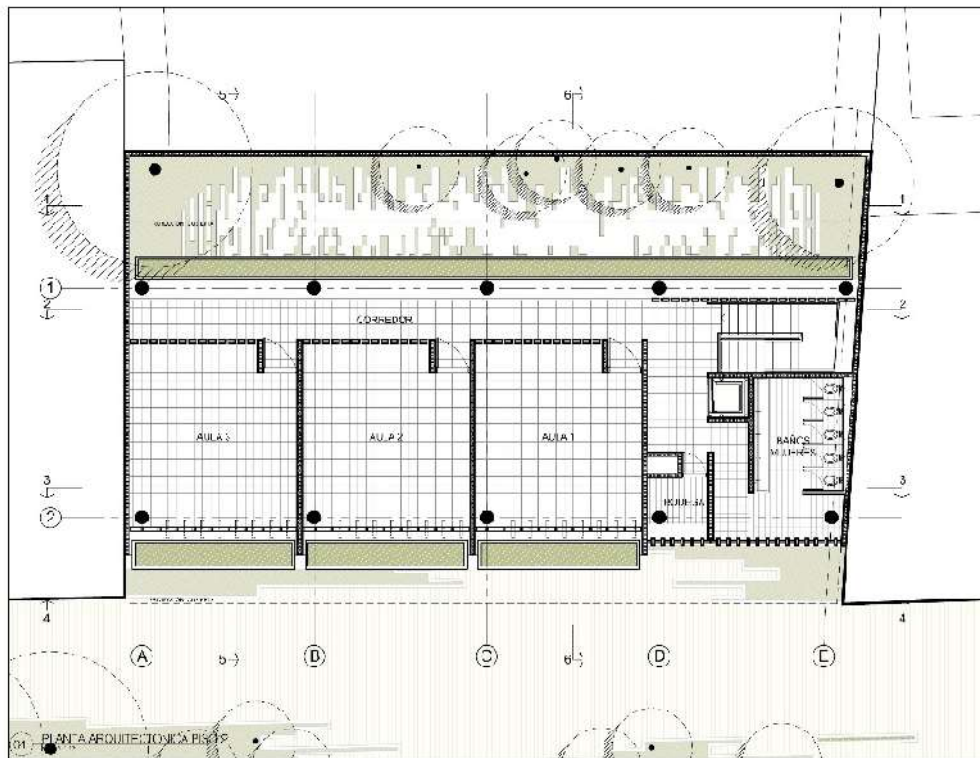
PLANTA CUBIERTA



PLANTA ARQUITECTÓNICA PISO 1

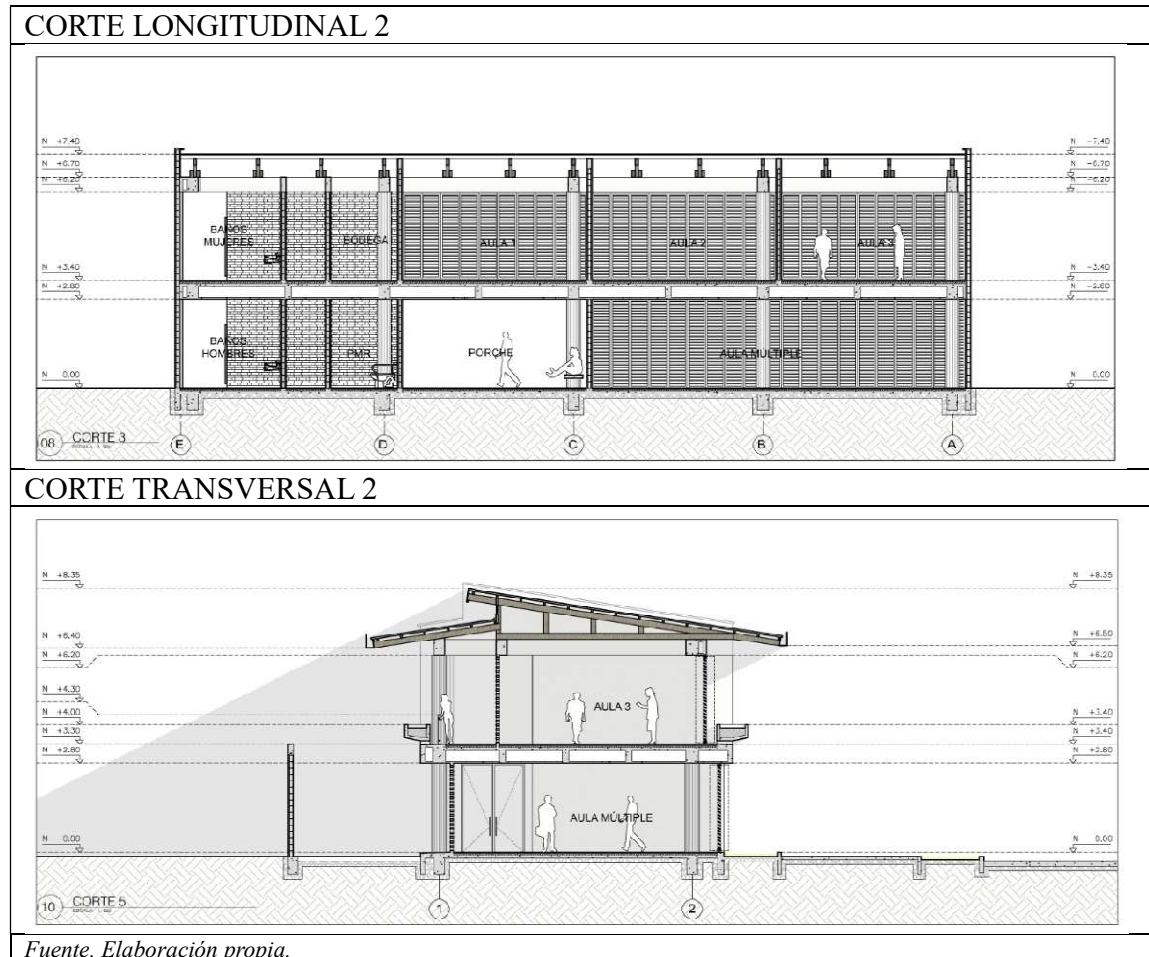


PLANTA ARQUITECTÓNICA PISO 2



Fuente. Elaboración propia.

En el primer piso se ubican un aula múltiple con un área de 98.48 m², porche de acceso servicios, circulación vertical y patio, en el segundo piso de ubican tres aulas de 38 m², circulaciones y servicios; ambos tienen 2.8 m libres de piso a techo y en total el proyecto cuenta con 446.2 m² construidos.



Fuente. Elaboración propia.

Las especificaciones técnicas del proyecto se definieron a partir del requerimiento que exigen el uso de los espacios y las condiciones climáticas que pueden afectar las propiedades físicas y químicas de los elementos e impactar en la absorción y la acumulación de calor en el espacio.

ELEMENTOS DE ENVOLVENTE FACHADAS + CUBIERTA					
PISO 1					
ELEMENTOS	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES (CM)	MATERIAL	CANTIDAD	NOTAS
Pared lateral	Pared medianera de lote	35,72 m ² 11,8*3	Bloque de concreto + repello de tierra + estuco + pintura gris claro	2	Cámara de aire incluida

Persiana frontal	Persiana móvil con pivote central en fachada	1,62 m2 ,6*2,7	Aluminio negro + madera pino	20	Orientación este - baja emisividad
Pared frontal	Pared de servicios		Ladrillo de arcilla	1	Pared maciza de ladrillo trabado y con vacíos
Techo	Losa en concreto con casetón perdido	242,5 m2 25,34*9,57	1,62 m2 ,6*2,7	1	Estructura interna con hierro
Piso	Piso de baldosa de granito pulido	30x30	20,61 m2 6,87*3	1	Color claro, antideslizante
Matera frontal	Matera en concreto prefabricado	1,7*11,83	Concreto	1	Matera con soporte en concreto y desagüe inferior
PISO 2					
Pared lateral	Pared en medianera de lote	43,04 m2 9,86*3,74/5,69	Bloque de concreto + repello de tierra + estuco + pintura gris claro	2	Cámara de aire incluida
Persiana frontal	Persiana móvil con pivote central en fachada	1,62 m2 ,6*2,7	Aluminio negro + madera pino	31	Orientación este - baja emisividad
Pared frontal	Pared de servicios	20,61 m2 6,87*3	Ladrillo de arcilla	1	Pared maciza de ladrillo trabado y con vacíos
Techo	Techo en teja metecno termoacústica	240,66 m2 8,82*24,62/ 25,05	Teja termoacústica tipo sándwich	2	Estructura de soporte en madera
Piso	Piso de baldosa de granito pulido	30x30	Cerámica	1	Color claro, antideslizante
Antepecho	Baranda metálica aluminio plateado en		Aluminio	1	Baranda anclada a la losa
Matera frontal	Matera en concreto prefabricado		Concreto	1	Matera con soporte en concreto y desagüe inferior
Fuente. Elaboración propia.					

6.3 LISTADO MATERIALES CON PROPIEDADES TÉCNICAS

Para evaluar la eficacia de los materiales de construcción² en términos de conducción, absorción y almacenamiento de calor, se consideran distintas propiedades físicas. Las propiedades que se tienen en cuenta son:

- **Conductividad térmica (k):** Mide la capacidad de un material para conducir el calor.
- **Capacidad térmica (c):** Indica la cantidad de calor que puede almacenar un material por unidad de masa.
- **Densidad (ρ):** Aunque no es una propiedad térmica directamente, influye en la capacidad de almacenamiento de calor.

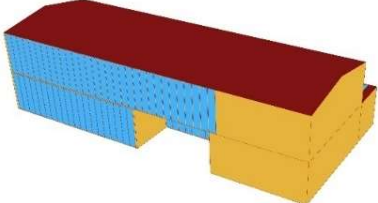
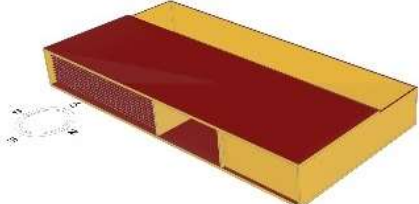
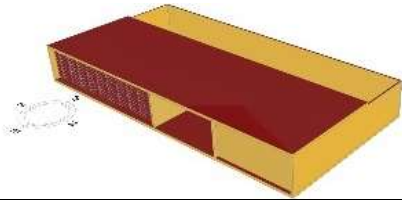
MATERIAL	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (K) (W/M-K)	CAPACIDAD TÉRMICA (C) (J/Kg-K)	DENSIDAD (ρ) (Kg/m ³)
Ladrillo arcilla	.6	800	1800
Concreto	1.4	880	2200
Madera pino	.1	1740	350
Aluminio	205	900	2700
Granito pulido	2.5	800	2600
Bloque de concreto	1.2	840	1400
Estuco	.3	1000	1400
Repello de tierra	.15	800	1200
Teja Metecno termoacústica tipo sándwich	.25	1000	38

Fuente. Elaboración propia.

6.4 SIMULACIONES Y ANÁLISIS

Se presentan los tres momentos de simulación, de los cuales parten un caso base en el que sus fachadas están completamente expuestas y en el caso 1 y dos poco a poco se van protegiendo y modificando para lograr los distintos rangos de confort deseados.

- MOMENTO 1: Equivalente al caso base con fachada con vidrio.
- MOMENTO 2: Equivalente al caso 1 con fachada retranqueada, paneles pivotantes a 360° y persianas fijas a 90°.
- MOMENTO 3: Equivalente al caso 2 con fachada retranqueada, paneles y persianas pivotantes en sentido vertical de 180° y horizontal de 360°.

VOLUMEN GENERADO PARA SIMULACIÓN	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES
	CASO BASE: Vidrio, sin calados ni persianas.
	CASO 1 SOMBREO: Fachada retranqueada, paneles pivotantes a 360° y persianas fijas a 90°.
	CASO 2 OPERATIVIDAD: Fachada retranqueada, paneles y persianas pivotantes en sentido vertical de 180° y horizontal de 360°.

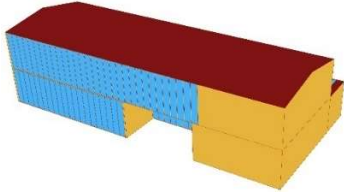
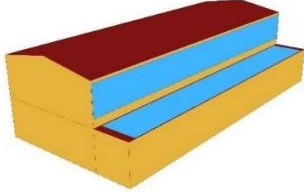
Fuente. Elaboración propia.

- PROGRAMA DE MODELADO: RHINO 6
- SOFTWARE DE SIMULACION: GRASSHOPER

6.3.1 DESCRIPCIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN

A continuación, se describe el diseño del modelo de simulación térmica del edificio, focalizado en el aula propuesta y luego se describen las estrategias de diseño para el mejoramiento de aulas.

- **MOMENTO 1: Equivalente al caso base con fachada en vidrio.**

CASO BASE	
	
DESCRIPCIÓN	CASO BASE
Tipo de edificio	USO EDUCATIVO
Dimensiones	25.6 x 11
Orientación fachada principal	ESTE 8.1°
Cubierta exterior	TEJA METECNO

Losa entrepiso	CONCRETO CON CASETON PERDIDO
Muros laterales	BLOQUE ESTRUCTURAL CONCRETO 14 CM
Vidrios Propiedades*	VIDRIO CLARO FACTOR U 5.2 TRANS. .2
Fachada principal	MURO CERRADO X AREA DE SERVICIOS PERSIANAS METALICAS
Fachada posterior	CALADOS – AREA LIBRE
Carga térmica por persona	100 W
Ocupación	9 AM - 7 PM
Ratio de ocupación	.15 PERSONAS X M2
<i>Fuente. Elaboración propia.</i>	

6.3.2 ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO PARA FACHADAS

- **MOMENTO 2: Equivalente al caso 1 con fachada retranqueada, paneles pivotantes a 360° y persianas fijas a 90°.**

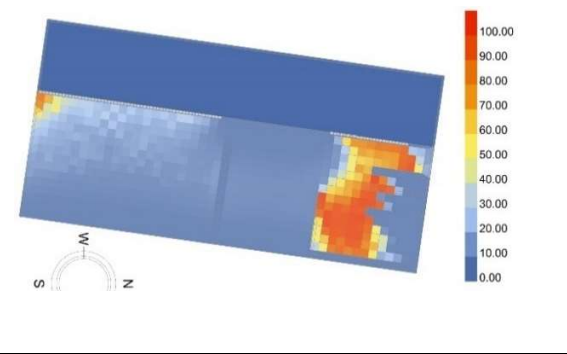
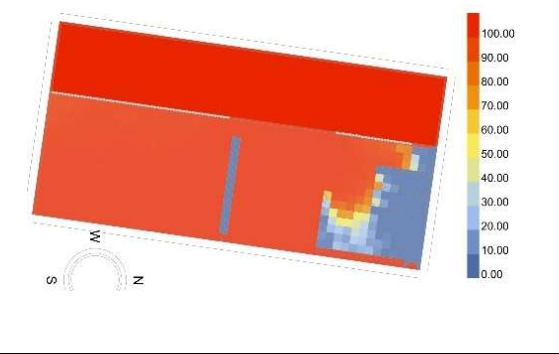
CASO 1	
	
DESCRIPCIÓN	CASO BASE
Tipo de edificio	USO EDUCATIVO
Dimensiones	25.6 x 11
Orientación fachada principal	ESTE 8.1°
Cubierta exterior	TEJA METECNO
Losa entrepiso	CONCRETO CON CASETON PERDIDO
Muros laterales	BLOQUE ESTRUCTURAL CONCRETO 14 CM
Fachada principal	MURO CERRADO X AREA DE SERVICIOS PERSIANAS EN MADERA CON MARCO METALICO A 90° FIJAS
Fachada posterior	CALADOS – AREA LIBRE
Carga térmica por persona	100 W
Ocupación	9 AM - 7 PM
Ratio de ocupación	.15 PERSONAS X M2
<i>Fuente. Elaboración propia.</i>	

- **MOMENTO 3: Equivalente al caso 2 con fachada retranqueada, paneles y persianas pivotantes en sentido vertical de 180° y horizontal de 360°.**

CASO 2	
	
DESCRIPCIÓN	CASO BASE
Tipo de edificio	USO EDUCATIVO
Dimensiones	25.6 x 11
Orientación fachada principal	ESTE 8.1°
Cubierta exterior	TEJA METECNO
Losa entrepiso	CONCRETO CON CASETON PERDIDO
Muros laterales	DOBLE CON CAMARA DE AIRE DE 40 CM EN BLOQUE ESTRUCTURAL CONCRETO 14 CM
Fachada principal	MURO CERRADO X AREA DE SERVICIOS PERSIANAS EN MADERA CON MARCO METALICO MOVILES EN UN RANGO DE 180°
Fachada posterior	CALADOS – AREA LIBRE
Carga térmica por persona	100 W
Ocupación	9 AM - 7 PM
Ratio de ocupación	.15 PERSONAS X M2
<i>Fuente. Elaboración propia.</i>	

6.3.3 ANALISIS DEL DESEMPEÑO VISUAL

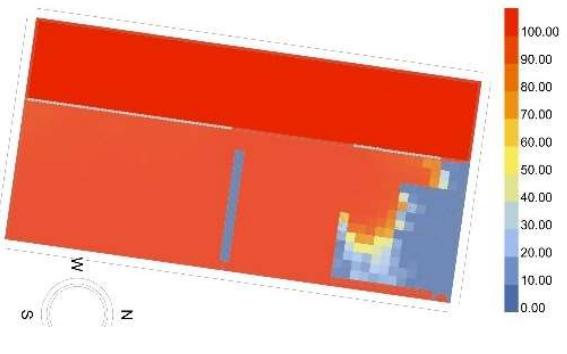
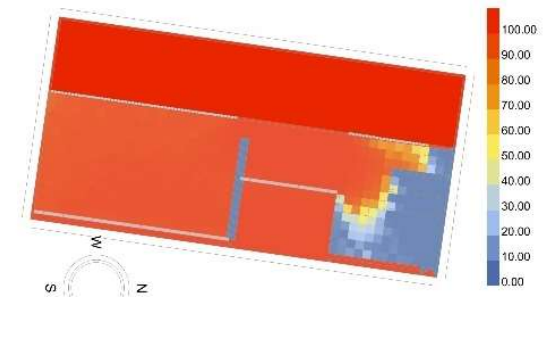
Las medidas de UDI (Useful Daylight Illuminance) y DA (Daylight Autonomy) son parámetros utilizados en el análisis de la luz natural en un espacio arquitectónico. Estas métricas ayudan a evaluar la cantidad y la calidad de la luz natural que ilumina una habitación a lo largo del día, lo cual influye en el confort visual de los ocupantes y en el comportamiento energético de un edificio.

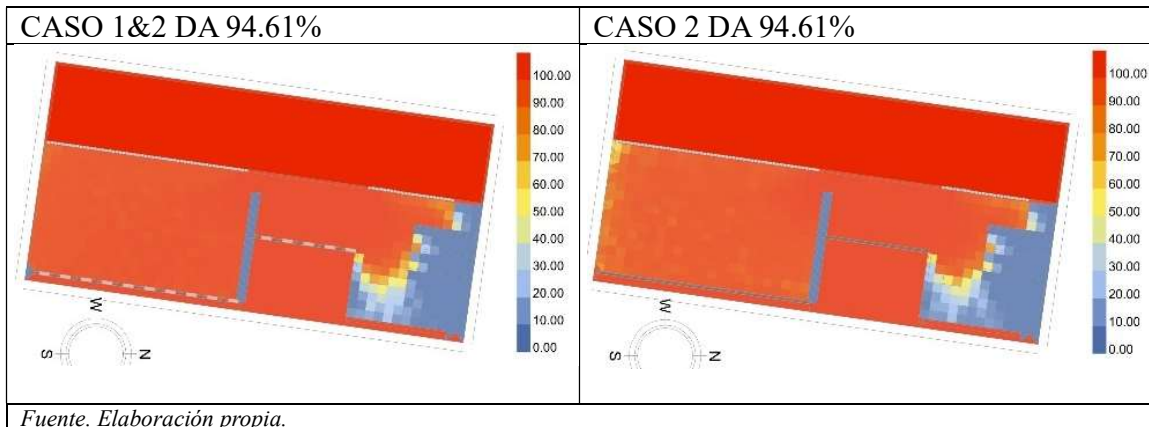
CASO BASE	
UDI	DA
	
UDI 4.12%	DA 94.61%
<i>Fuente. Elaboración propia.</i>	

La medida UDI se refiere a la cantidad de tiempo durante el día en el que un espacio puede mantenerse iluminado solo con luz natural, sin necesidad de iluminación artificial, se expresa como un porcentaje del tiempo en que se alcanza un nivel de iluminación deseado mediante la luz diurna disponible. Esta unidad puede ayudar a evaluar la calidad de la iluminación en entornos como oficinas, aulas o áreas públicas, asegurando un confort visual adecuado.

El DA mide el porcentaje de tiempo en el cual la iluminación natural en un espacio es suficiente para satisfacer las necesidades de iluminación, sin la necesidad de luz artificial. Se expresa como un porcentaje del tiempo en el que la iluminación cumple o supera un nivel de referencia (por ejemplo, 300 lux o 500 lux, dependiendo del uso del espacio).

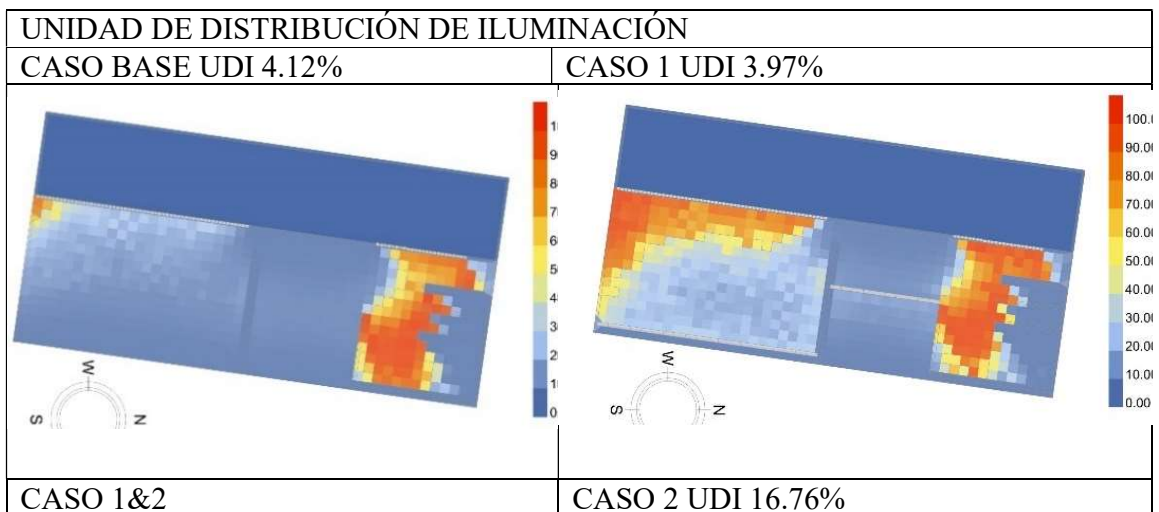
Al contrastar estas dos medidas podemos identificar que tan iluminado está el espacio y por cuánto tiempo, pero también que tan útil es la iluminación que ingresa al interior y así se definen estrategias de diseño espacial y/o en fachadas se pueden implementar para alcanzar la homogeneidad en iluminación útil por el tiempo que se requiera.

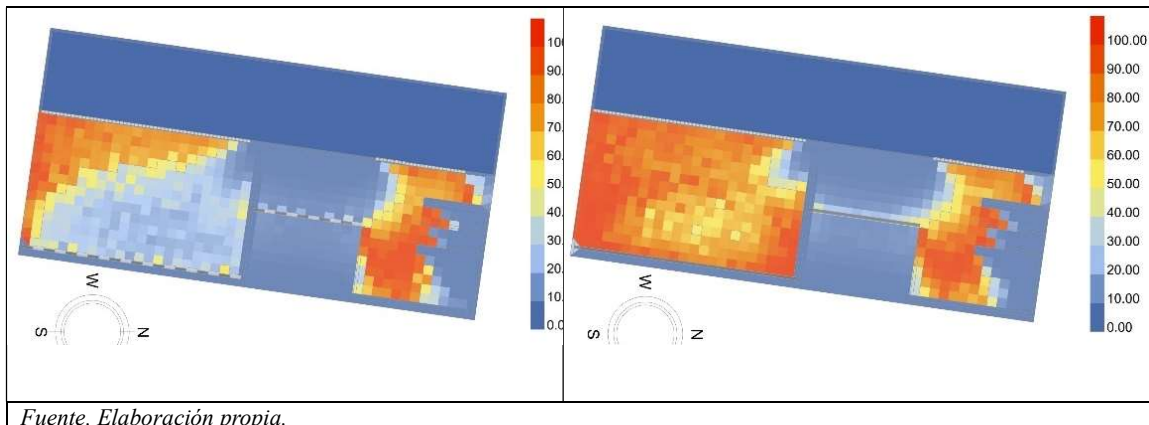
AUTONOMIA DE LUZ DIURNA	
CASO BASE DA 94.61%	CASO 1 DA 94.61%
	



Aquí por ejemplo se observa como la medida del DA en el espacio es muy similar entre los 4 casos, si observamos con detenimiento la variabilidad entre el caso base y el caso 1&2 se puede evidenciar que se reduce el porcentaje de luz diurna al interior del espacio de permanencia y si se centra la atención en el caso 2 el porcentaje disminuye aún más, llegando a tener puntos con hasta el 60% de iluminación requerida en el tiempo de uso establecido. El caso 1&2 se genera con el fin de observar como la variabilidad del movimiento que ofrecen las persianas puede ser despreciable dependiendo del ángulo en el que estas se operen.

A pesar de que el espacio se presenta lo suficientemente iluminado en las graficas del DA, es necesario determinar qué tan útil es esta iluminación para el usuario en el tiempo de uso, así se cubre la posibilidad de que no haya deslumbramientos que causen incomodidad visual o altos contrastes de luz.



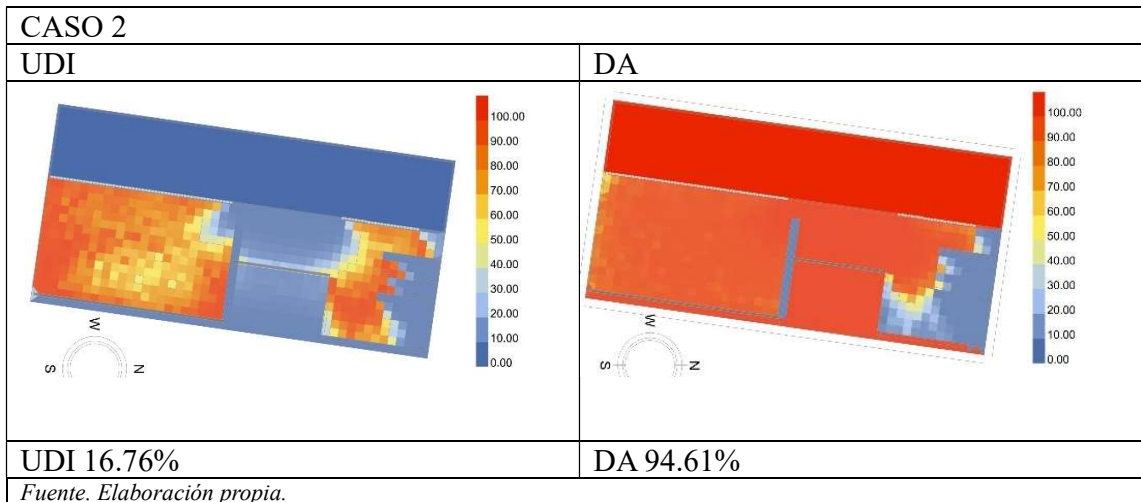


Los contrastes del UDI entre los casos demuestran que así el espacio este 100% iluminado, esta iluminación no garantiza que el espacio sea útil, si nos centramos en el caso base y en el caso 2 observamos que la utilidad pasa del 4.12% al 16.76% lo cual es un gran rango de diferencia en el análisis visual. Esto sucede debido a que las persianas operables permiten filtrar la iluminación excesiva, que ingresa por las áreas traslucidas de la fachada y produce deslumbramientos, así entonces se emplean las persianas para mejorar el confort visual y dar homogeneidad al espacio en distribución de iluminación.

En el CASO 1 se puede analizar que la presencia de las persianas en la fachada afecta el funcionamiento del espacio, mejorando un poco el área y la cantidad de tiempo en el que la luz de día hace útil el espacio, sin embargo, este sigue estando sobre iluminado afectando así su funcionamiento.

CASO 1	
UDI	DA
UDI 3.97%	DA 94.61%
Fuente. Elaboración propia.	

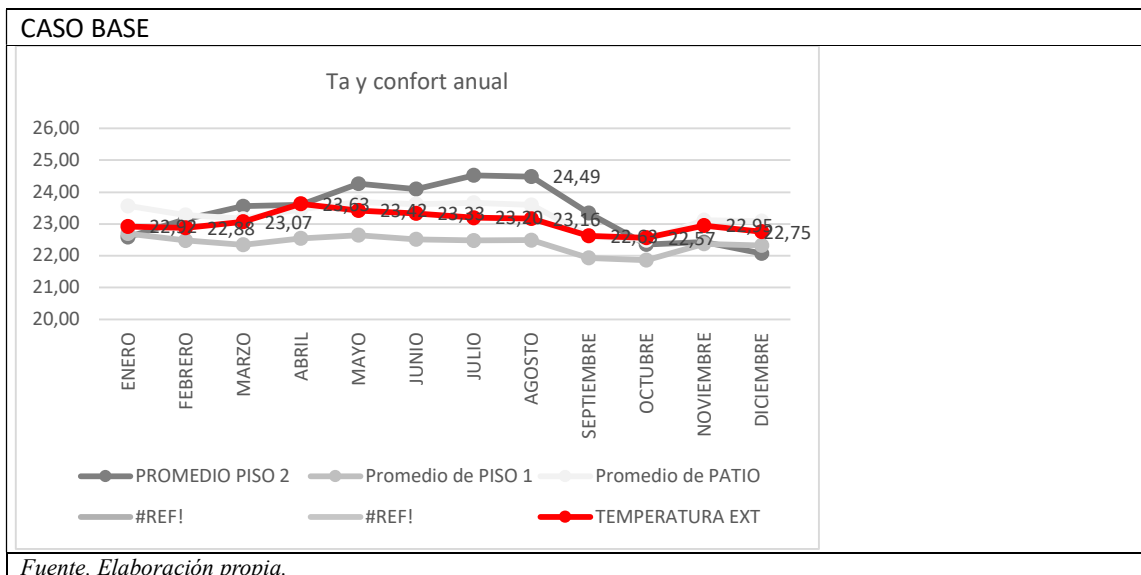
En el CASO 2 se puede analizar que la presencia de las persianas en la fachada al momento de rotar sobre su eje mejora el funcionamiento del espacio, aumentando el área y la cantidad de tiempo en el que la luz de día hace útil el espacio, acercándose un poco más al confort deseado.



En el análisis de espacio y sus porcentajes, se debe tener en cuenta que corresponden a toda al área del piso del edificio, es por esto que el 16.76% corresponde al área de interés, la cual tiene programa de aula o funciona como espacio de permanencia.

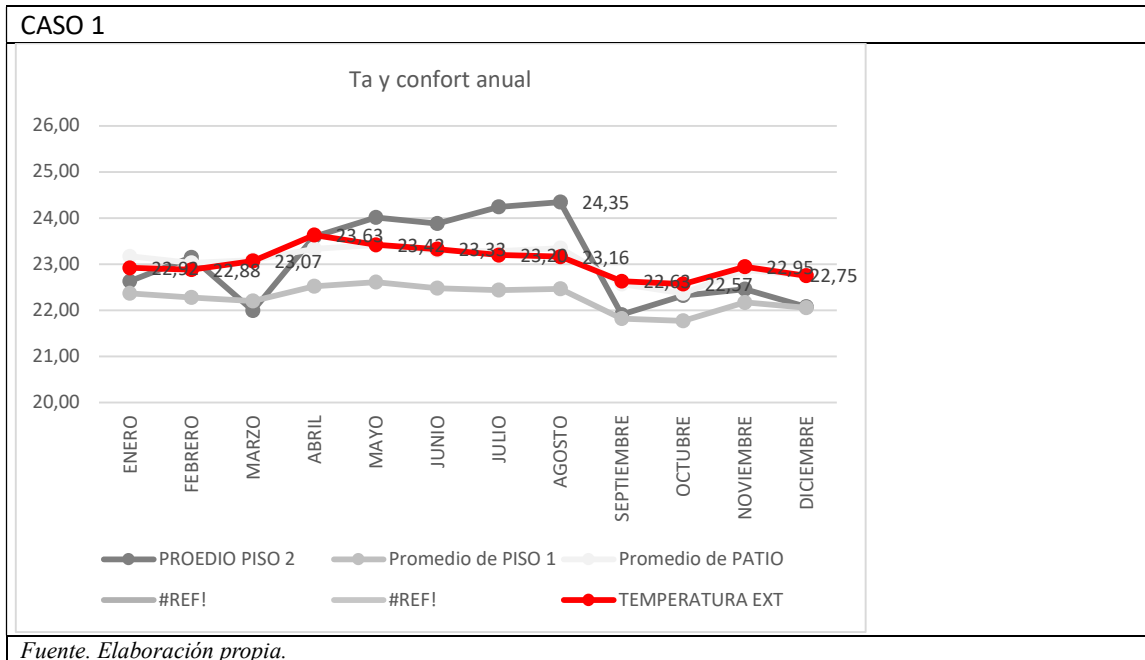
6.3.4 ANALISIS DEL DESEMPEÑO TÉRMICO

En los casos de análisis se simulan tres espacios generales del edificio que se dividen en piso 1, piso 2 y patio. Cada uno con su respectiva exposición solar que va en coherencia con la proporción de área expuesta en fachadas, que esta traducida en el modelo de simulación a área vidriada operable y a área opaca como elementos de persianas y calados.

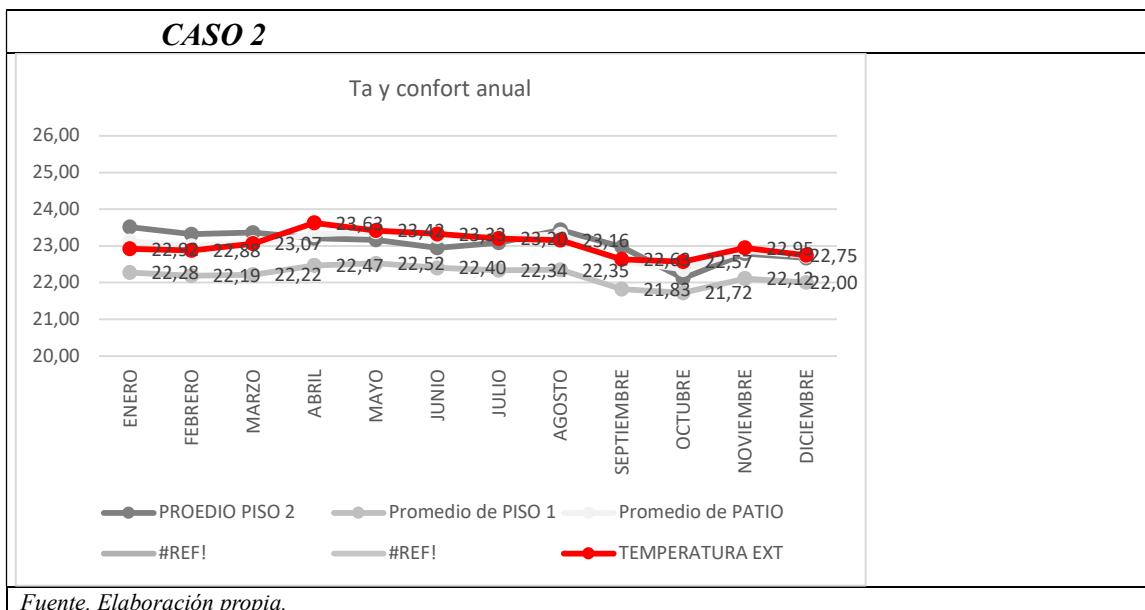


En el proceso de identificar el funcionamiento de los espacios interiores a través de la estrategia que más expone la fachada al sol directo, es posible leer que la mayor ganancia

calórica se presenta por radiación solar directa en el interior de los espacios, resaltando que el segundo piso se presenta como el espacio más afectado por la falta de protección y sus temperaturas varían entre altos y bajos rangos, de hasta 5 grados por encima, con respecto a los demás espacios y a la temperatura exterior.



En el caso 1 se identifica que las persianas fijas logran disminuir el desfase de temperatura en el segundo piso, hasta en .14 grados, sin embargo, existen diferencias en los picos altos y bajos que alcanza el espacio debido a la acumulación de calor en los elementos constructivos como cubierta y muros.



En el caso 2 se logra estabilizar la temperatura interior con el apoyo de la cámara de aire y la inclinación de las persianas, esto protege al máximo el espacio interior y alcanza los rangos de confort propuestos en los promedios de temperatura anual, reduciendo así hasta $.91^{\circ}\text{C}$ la temperatura al interior del espacio, pasando de 24.35°C en el caso base, a 23.44°C en el caso 2, contando con las temperaturas más críticas del 2 piso.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del análisis comparativo de los resultados de simulaciones virtuales, basadas en categorías previamente definidas para diseñar fachadas óptimas en climas tropicales, y considerando la evaluación de materiales comúnmente utilizados y accesibles en el lugar de implantación, se concluye que al ofrecer al usuario más opciones para adaptar la fachada a sus necesidades y al confort interior, se facilita el alcance de los rangos establecidos de confort térmico y lumínico. Esto, aunque no abordado en esta investigación, podría traducirse en un análisis posterior sobre el ahorro energético en climatización e iluminación del edificio. Por ello, las fachadas propuestas en este proyecto permiten graduar tanto la ventilación como la iluminación, factores clave para lograr el desempeño deseado.

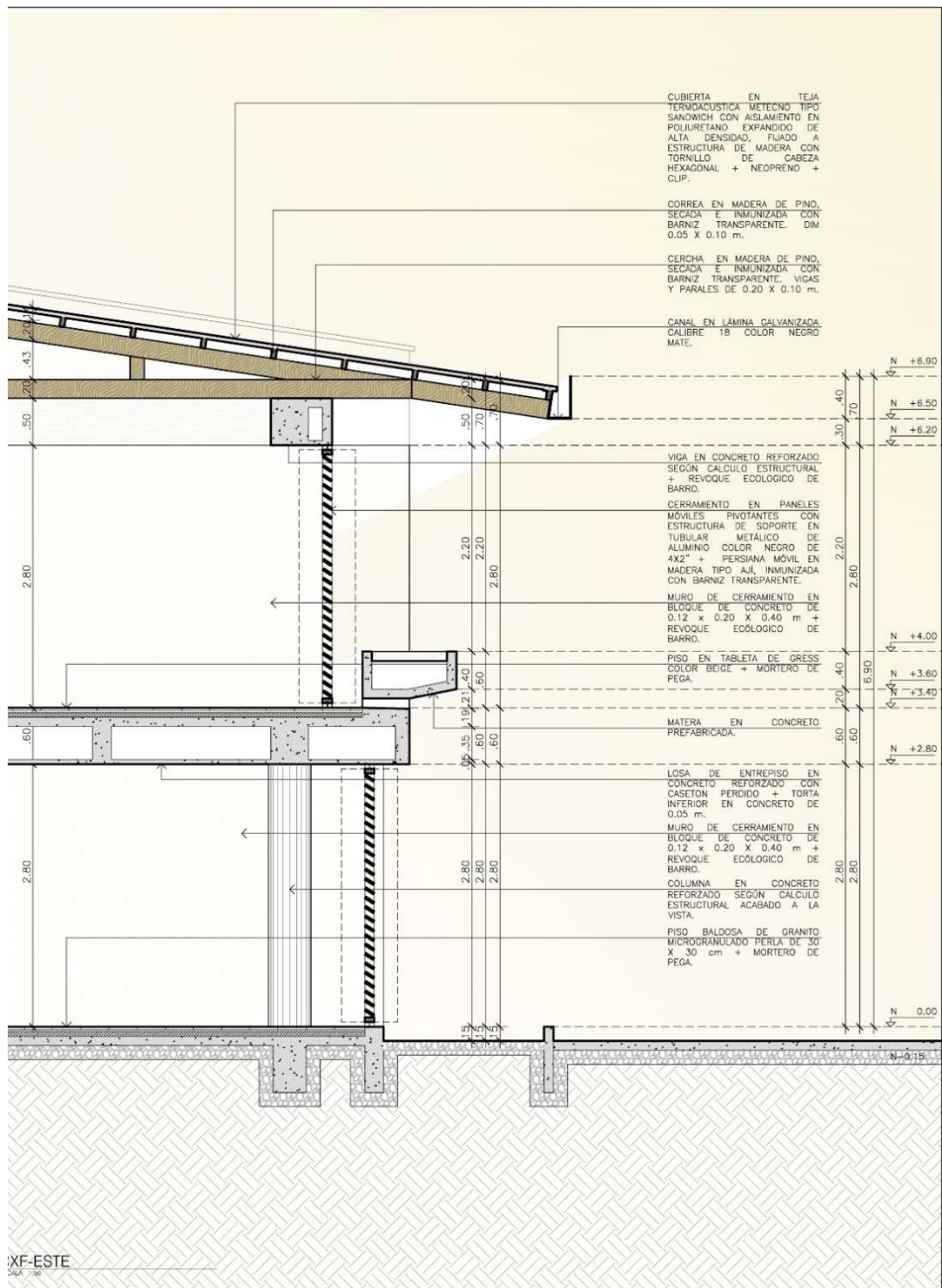
Al analizar el caso 2 e identificar y documentar las características de diseño que son más efectivas para la regulación de la temperatura y la luz natural con base en los resultados obtenidos de las simulaciones, se determina que en el proceso de diseño se deben incluir factores como la orientación del edificio, el tipo de material de la fachada y la capacidad de adaptación de las superficies. Las fachadas adaptativas para clima tropical deben abordar los desafíos únicos de estos entornos, que incluyen alta temperatura, alta humedad, intensa radiación solar y lluvias fuertes, el objetivo principal es crear un edificio confortable y energéticamente eficiente, minimizando la necesidad de sistemas de climatización e iluminación artificiales.

Se contemplan cuatro momentos de la mañana y 4 momentos de la tarde en el año, donde a pesar de ser las horas más críticas para el edificio en su exposición solar, estas tres estrategias de composición para la fachada logran filtrar la luz solar directa y al mismo tiempo conducir el flujo del aire al interior del espacio. Sin embargo, se tiene presente que las horas de ventilación pueden coincidir con la exposición del sol de la tarde que, aunque está dispuesto a ser recibido por la fachada posterior con calados y sobre el corredor, puede obligar a modificar la fachada frontal para enfatizar la conducción del viento, sacrificando la iluminación natural.

También se contemplan que las horas en las que la ventilación puede ser de mayor velocidad, no coincidan con los horarios de uso entonces para esto se recomiendan que al medir el flujo de aire en diferentes áreas sea necesario implementar ventilación mecánica con elementos como ventiladores, conductos o filtros.

A continuación, se puede apreciar el cómo la fachada resuelve todos los asuntos implícitos en el diseño.

CORTE POR FACHADA – FACHADA ESTE

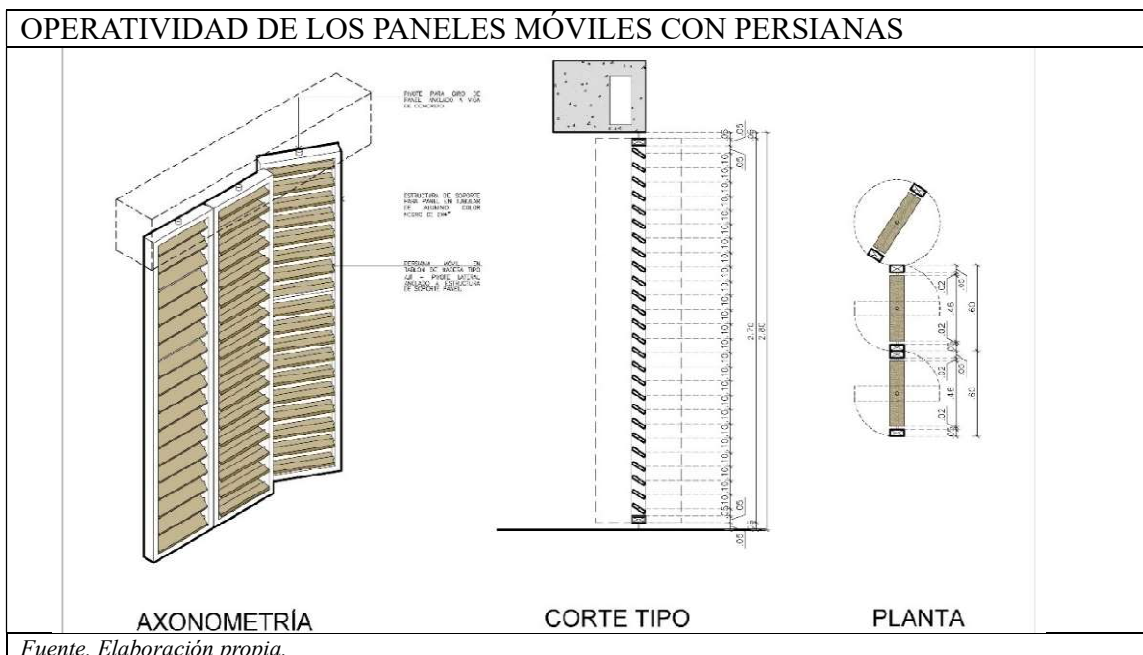


Fuente. Elaboración propia.

8. CONCLUSIONES

Los resultados del análisis del confort térmico concluyen que el caso dos, desarrollado en el tercer momento de diseño, utiliza las mejores estrategias proyectuales para reducir las temperaturas interiores, partiendo de una temperatura promedio en isla de calor de 23.63° centígrados, se alcanza a llegar, en el interior del espacio, hasta a 21.72° centígrados de temperatura operativa promedio en el primer piso y 23.44°C en el segundo piso, el espacio analizado optimiza la iluminación natural marcando un UDI del 16.14%, estos resultados con respecto a los demás casos evaluados tienen un mejor comportamiento y alcanzan los rangos de confort propuestos.

Esto se debe a la propuesta de la fachada principal, ubicada en sentido este, la cual está compuesta por varias capas que parten desde una gran área de sombreado proporcionada por el alero de la cubierta de 2.3 m, seguido por el retranqueo del plano de cierre que, medido desde el borde del alero hasta el interior del espacio, cuenta con 3.1m de distancia y rematando con las persianas pivotantes de movimiento en sentido vertical de 180° y horizontal de 360°.



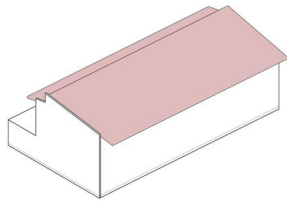
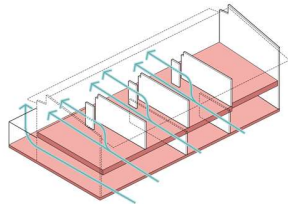
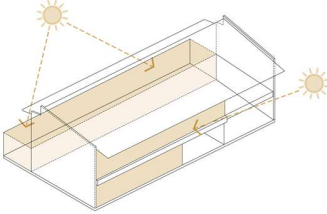
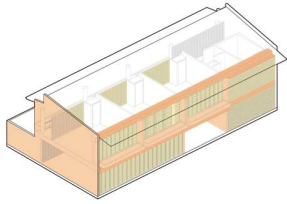
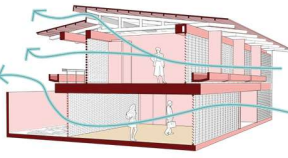

La importancia de los materiales de baja conductividad en el proceso constructivo también contribuye a disminuir las temperaturas al interior del espacio, esto sumado a estrategias de aislamiento como la cámara de aire propuesta para el caso 2, comprueba que entre más protegido este el espacio útil, o de permanencia, del calor exterior, mayor será el confort alcanzado y más estables serán las temperaturas interiores.

La revisión y el análisis de la ventilación natural en el edificio mostró que el efecto chimenea y la fuerza del viento son los dos puntos principales y básicos para producir movimiento de aire en los espacios. Sin embargo, la eficiencia de estas dos estrategias

depende de ciertos factores como las diferencias de temperatura, la distancia vertical entre la entrada y la salida, los cuales son dos criterios importantes que afectan la eficiencia de la ventilación por efecto chimenea. Por otra parte, las diferencias de presión entre los lados de barlovento y sotavento del edificio y las aberturas perpendiculares entre sí son variables significativas en la aplicación de técnicas de fuerza del viento.

Así entonces el diseño de ventanas con persianas pivotantes de movimiento en sentido vertical de 180° y horizontal de 360° pueden tomar diversas formas para maximizar la ventilación, teniendo en cuenta el impacto de las sombras verticales del alero en la velocidad del aire interior, también las diferentes formas de aberturas funcionan para producir mayores diferencias de presión en el aire ocasionando mayor velocidad en el flujo interior.

Aunque no se documentan ni se analizan en esta investigación, el ahorro de energía que supone la ventilación natural en comparación con la refrigeración mecánica para alcanzar el confort puede ser significativo, también así mismo es importante tener en cuenta posible el impacto económico y el ahorro de costos derivados cambio de la ventilación natural a la ventilación mecánica, estos son temas que merecen tenerse en cuenta en un desarrollo más amplio, una vez que se demuestre la resiliencia de la ventilación natural para resolver estas cuestiones meteorológicas en un clima cálido futuro. También es importante tener en cuenta el confort psicológico que se puede estimar bajo la percepción subjetiva de una persona en relación con la temperatura, la humedad, la velocidad del aire y la radiación térmica del entorno, elementos modificados en la propuesta arquitectónica, para alcanzar los rangos de confort.

MUESTRA: MATRIZ BIOCLIMÁTICA DE ESTRATEGIAS PRINCIPALES			
	PROTEGER	VENTILAR	ILUMINAR
VOLUMETRIA			
	CUBIERTA CON ALEROS	ESPACIO LIBRE ENTRE FACHADAS	A TRAVES DEL PATIO Y VACIOS
ENVOLVENTE			
	FACHADA RETRANQUEADA	PANELES PIVOTANTES	PERSIANAS MOVILES

Fuente. Elaboración propia.

Este estudio presenta una matriz bioclimática que sintetiza las principales estrategias de diseño arquitectónico desarrolladas para proyectar un edificio en clima tropical, específicamente en Cali, Valle del Cauca. El edificio, ubicado en un lote medianero con fachadas largas orientadas al oriente y al occidente, aborda la exposición climática mediante fachadas adaptables. Estas estrategias, que abarcan desde la volumetría hasta los detalles técnicos de las fachadas y los materiales constructivos permiten reducir, en el segundo piso, hasta 1°C y en el primer piso hasta 1.91°C, la temperatura interior promedio en comparación con las exteriores, incluso en condiciones de isla de calor, conservando 300 lux para su correcto funcionamiento y uso. Esto genera beneficios significativos, no solo en términos de confort térmico y lumínico, sino también en el impacto ambiental y el ahorro económico en el mantenimiento futuro del edificio.

En resumen, una fachada adaptativa efectiva para un clima tropical es una integración inteligente de estrategias pasivas, diseñadas para optimizar el confort térmico y lumínico, que pueden traer eficiencia energética al edificio, minimizando el impacto ambiental. La clave está en el diseño bioclimático y la respuesta a las condiciones climáticas y específicas del lugar.

9. BIBLIOGRAFIA

- Aflaki, A., Mahyuddin, N., Al-Cheikh Mahmoud, Z., & Baharum, M. R. (2015). A review on natural ventilation applications through building façade components and ventilation openings in tropical climates. *Energy and Buildings*, *101*, 153–162. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2015.04.033>
- Ahmed, T., Kumar, P., & Mottet, L. (2021). Natural ventilation in warm climates: The challenges of thermal comfort, heatwave resilience and indoor air quality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *138*, 110669. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2020.110669>
- Andargie, M. S., Touchie, M., & O'Brien, W. (2019). A review of factors affecting occupant comfort in multi-unit residential buildings. *Building and Environment*, *160*, 106182. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2019.106182>
- Aries, M. B. C., Veitch, J. A., & Newsham, G. R. (2010). Windows, view, and office characteristics predict physical and psychological discomfort. *Journal of Environmental Psychology*, *30*(4), 533–541. <https://doi.org/10.1016/J.JENVP.2009.12.004>
- ASHRAE. (2017). ANSI/ASHRAE Standard 55-2017: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. *ASHRAE Inc., 2017*.
- Boyce, P. R. (1981). *Human Factors in Lighting Third Edition*.
- Carolina, S., De, C., & Cruz, L. A. (2018). *EVALUACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL DE LOS PARQUES DEL PROGRAMA DE ADOPCIÓN DE PARQUES Y ZONAS VERDES DE LA CIUDAD DE CALI COMO ESTRATEGIA PARA LA MITIGACIÓN DE ISLAS DE CALOR UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECÁNICA PROGRAMA INGENIERÍA AMBIENTAL SANTIAGO DE CALI 2018*.
- Carreras, J., Boer, D., Guillén-Gosálbez, G., Cabeza, L. F., Medrano, M., & Jiménez, L. (2015). Multi-objective optimization of thermal modelled cubicles considering the total cost and life cycle environmental impact. *Energy and Buildings*, *88*, 335–346. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2014.12.007>
- Chetan, V., Nagaraj, K., Kulkarni, P. S., Modi, S. K., & Kempaiah, U. N. (2020). Review of Passive Cooling Methods for Buildings. *Journal of Physics: Conference Series*, *1473*(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1473/1/012054>
- Demirboğa, R. (2007). Thermal conductivity and compressive strength of concrete incorporation with mineral admixtures. *Building and Environment*, *42*(7), 2467–2471. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2006.06.010>
- Fanger, P. O. (1970). Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. In *Copenhagen: Danish Technical Press*.
- Figueiredo, A. C., & De Almeida, R. M. (2018). Study on the properties of earth-based plastering mortars. *Applied Clay Science*, *166*, 245–250. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2018.11.021>

- Givoni, B. (1992). Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*, 18(1), 11–23. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(92\)90047-K](https://doi.org/10.1016/0378-7788(92)90047-K)
- Gómez-Meza, M. V., & otros. (2011). Calidad de los productos aserrados de madera como efecto de la densidad en Pino Pátula. *Interciencia*, 36(4), 287-293.
- Haase, M., & Amato, A. (2009). An investigation of the potential for natural ventilation and building orientation to achieve thermal comfort in warm and humid climates. *Solar Energy*, 83(3), 389–399. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2008.08.015>
- Internacional de Agricultura Tropical, C., Autónoma Regional del Valle del Cauca, C., & Administrativo de Gestión del Medio Ambiente, D. (n.d.). *IDENTIFICACION DE ZONAS Y FORMULACION DE PROPUESTAS PARA EL TRATAMIENTO DE ISLAS DE CALOR - SANTIAGO DE CALI*. www.ciat.cgiar.org
- Kang, J.-E., Ahn, K.-U., Park, C.-S., & Schuetze, T. (2015). *A Case Study on Passive vs. Active Strategies for an-Energy-Efficient School Building Design*. 765–775. <https://doi.org/10.3390/ifu-e004>
- Khedari, J., Waewsak, J., Thepa, S., & Hirunlabh, J. (2000). Field investigation of night radiation cooling under tropical climate. *Renewable Energy*, 20(2), 183–193. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(99\)00104-4](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(99)00104-4)
- Leder, S. M., de Oliveira, A. C., Leão, C. P., & de Souza, E. L. (2024). Exploring how social housing residents interact with building openings in a hot-humid climate. *Indoor Environments*, 1(3), 100038. <https://doi.org/10.1016/J.INDENV.2024.100038>
- Li, X., Zhou, Y., Yu, S., Jia, G., Li, H., & Li, W. (2019). Urban heat island impacts on building energy consumption: A review of approaches and findings. In *Energy* (Vol. 174, pp. 407–419). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.183>
- López, R. (1993). Estudio de las propiedades físico-mecánicas del granito y su aplicación en la construcción. *Revista de Materiales de Construcción*, 45(238), 54-60.
- Mazzeo, D., & Kontoleon, K. J. (2020). The role of inclination and orientation of different building roof typologies on indoor and outdoor environment thermal comfort in Italy and Greece. *Sustainable Cities and Society*, 60, 102111. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2020.102111>
- Paredes, J. L., Lind, M., & Sbrana, V. (2021). Innovative materials for roofing: An analysis of metal sandwich panels and their thermal and acoustic properties. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123456. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123456>
- PRECIADO VARGAS, M., & ALDANA OLAVE, A. (2011). *Análisis de presencia de islas de calor en Santiago de Cali empleando técnicas de teledetección*. <https://doi.org/https://doi.org/10.30554/ventanainform.24.162.2011>
- RIZWAN, A. M., DENNIS, L. Y. C., & LIU, C. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 20(1), 120–128. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)60019-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4)

- Tosin Michael Olatunde, Azubuike Chukwudi Okwandu, Dorcas Oluwajuwonlo Akande, & Zamathula Queen Sikhakhane. (2024). Energy efficiency in architecture: Strategies and technologies. *Open Access Research Journal of Multidisciplinary Studies*, 7(2), 031–041. <https://doi.org/10.53022/oarjms.2024.7.2.0024>
- Wu, Y., Wang, J. Y., Monteiro, P. J. M., & Zhang, M. H. (2015). Development of ultra-lightweight cement composites with low thermal conductivity and high specific strength for energy efficient buildings. *Construction and Building Materials*, 87, 100–112. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2015.04.004>
- Zhang, D., Wong, L. T., Mui, K. W., & Tang, S. K. (2024). Acoustic comfort in educational buildings: An integrative review and new directions for future research. *Building and Environment*, 262, 111849. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2024.111849>
- Zhou, R. (2024). Research on the Application of Thermal Insulation Materials in Construction Engineering. In *Highlights in Science, Engineering and Technology MECEME* (Vol. 2024).

10. NOTAS

¹ la expresión $1e3$ significa 1000 (1 multiplicado por 10 elevado a la 3). El símbolo "%" indica que está en términos de porcentaje. Así, $1e3\%$ sería **1000%**, lo que sugiere que el área en cuestión es **10 veces mayor** que la base considerada.

² las propiedades físicas de los materiales fueron extraídas de artículos científicos que describen con datos exactos cuales son, algunas fueron verificadas con fichas técnicas de marcas comerciales.