



Estrategias de ventilación activa vs. estrategias de ventilación pasiva en entornos académicos: evaluación de eficiencia energética y confort térmico

David Cano Sanchez

Trabajo de grado presentado para optar al título de Arquitecto

Docente

Luis Felipe Lalinde Castrillón, Doctor (PhD) Ingeniería de la construcción

Manuela Murillo Galvis, Magíster (MSc) en Bioclimática

Universidad Pontificia Bolivariana

Escuela de Arquitectura y Diseño

Arquitectura

Medellín, Antioquia, Colombia

2025

El contenido de este documento no ha sido presentado con anterioridad para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o en cualquiera otra universidad.

Dedicatoria

A mi padre y a mi madre, por su apoyo incondicional y por los sabios consejos que, a lo largo de mi vida, me han guiado y han sido fundamentales para llegar hasta donde estoy hoy.

Tabla de contenido

Resumen	7
Abstract	8
Introducción	9
Planteamiento del problema	10
Justificación.....	11
Objetivos	13
Hipótesis.....	14
Marco teórico conceptual	16
Marco contextual.....	21
Metodología	23
Desarrollo	28
Metodología Aplicada	30
Conclusiones preliminares de las encuestas.....	35
Trabajo de campo practico.....	36
Diseño trabajo de campo	37
Conclusiones	50
Recomendaciones.....	56
Manual del usuario.....	59
Referencias.....	61

Lista de figuras

Esquema 1 de resultado de ocupación del Aula 121. Encuesta. Elaboración propia por medio de Google forms.....	31
Esquema 2 de resultado de horarios del Aula 121. Encuesta. Elaboración propia por medio de Google forms.....	32
Esquema 3 de resultado de incomodidad termica del Aula 121. Encuesta. Elaboración propia por medio de Google forms.....	32
Esquema 4 de confort ventilación mecanica del Aula 121. Encuesta. Elaboración propia por medio de Google forms.....	33
Esquema 5 de resultado de suficiencia estrategias pasivas Aula 121. Encuesta. Elaboración propia por medio de Google forms.....	34
Esquema 6 de resultado de eficiencia energética vs necesidad del Aula 121. Encuesta. Elaboración propia por medio de Google forms.....	35
Esquema 7 de resultado de estrategia mixta vs pasiva vs activa del Aula 121. Encuesta. Elaboración propia por medio de Google forms.....	36
Esquema 8 de distribución de zonas de contacto del Aula 121. Elaboración propia.....	42
Esquema 9 de distribución de zonas de ventilación del Aula 121. Elaboración propia.....	43
Esquema 10 de distribución de cuadrantes Aula 121. Elaboración propia.....	44
Esquema 11 ubicación y ventilación sistema AC Aula 121. Elaboración propia.....	52
Esquema 12 control y efectividad de las diferentes estrategias. Elaboración propia.....	55
Esquema 13 ubicación y ventilación sistema AC Aula 121. Elaboración propia.....	57
Esquema 14 abrir la puerta, ventilación pasiva Aula 121. Elaboración propia.....	59
Esquema 15 encender el aire acondicionado estrategia activa. Elaboración propia.....	60
Esquema 16 abrir las ventanas, estrategia pasiva. Elaboración propia.....	61
Imagen 1 planta Aula 121. Caso de estudio. Elaboración propia.....	29
Imagen 2 planta Aula 121. Caso de estudio. Elaboración propia.....	40
Imagen 3 toma de medidas Aula 121. Elaboración propia.....	46

Imagen 4 toma de medidas Aula 121. Elaboración propia	47
Imagen 5 toma de medidas Aula 121. Elaboración propia	47
Imagen 6 Aire acondicionado vs ventana. Tomado de internet. Publicado en 2024-05-23 por electroomega	58

Lista de tablas

Tabla 1 base de datos Aula 121. Elaboración propia	45
Tabla 2 Base de datos cuadrante 1y 2 Aula 121. Elaboracion propia	48
Tabla 3 base de datos cuadrante 3 y 4 Aula 121. Elaboración propia.....	48
Tabla 4 base de datos cuadrante 5 y 6 Aula 121. Elaboración propia.....	49

Resumen

Este trabajo analiza las estrategias de ventilación activa y pasiva en el ámbito de la arquitectura y la construcción, resaltando sus efectos en la eficiencia energética y el confort térmico en un contexto Académico. Por un lado, las estrategias de ventilación pasiva buscan aprovechar los recursos naturales para minimizar el consumo energético y regular la temperatura de forma sostenible. Por otro lado, las estrategias de ventilación activa dependen de tecnologías modernas, que permiten mantener condiciones térmicas controladas mediante intervenciones netamente mecánicas. Esta investigación se centra en analizar y comparar ambas estrategias mediante un caso de estudio en un aula de clases de la UPB equipada con aire acondicionado y un gran ventanal orientado hacia un patio exterior, con el objetivo de identificar sus fortalezas y limitaciones en términos de eficiencia energética y confort térmico, y evaluar su impacto en la experiencia de estudiantes y docentes.

Palabras clave: Estrategias pasivas, Estrategias activas, Arquitectura adaptativa, Confort, Eficiencia energética, Ámbito académico.

Abstract

This work analyzes active and passive ventilation strategies in the field of architecture and construction, highlighting their effects on energy efficiency and thermal comfort in an academic context. On one hand, passive ventilation strategies aim to leverage natural resources to minimize energy consumption and sustainably regulate temperature. On the other hand, active ventilation strategies rely on modern technologies that allow for maintaining controlled thermal conditions through purely mechanical interventions. This research focuses on analyzing and comparing both strategies through a case study in a UPB classroom equipped with air conditioning and a large window facing an outdoor courtyard, with the objective of identifying their strengths and limitations in terms of energy efficiency and thermal comfort, and evaluating their impact on the experience of students and faculty.

Keywords: Passive strategies, active strategies, adaptive architecture, comfort, energy efficiency. Academic context.

Introducción

Uno de los principales desafíos en la arquitectura es diseñar espacios que garanticen condiciones óptimas de confort térmico y eficiencia energética para sus ocupantes. Para lograrlo, se debe tener en cuenta las estrategias de ventilación que se dividen en dos enfoques principales: la ventilación pasiva y la ventilación activa. La ventilación pasiva aprovecha recursos naturales como la ventilación cruzada, la orientación del edificio y el aislamiento térmico por medio de materiales, permitiendo el control de la temperatura sin depender de sistemas mecánicos. En contraste, la ventilación activa emplea dispositivos tecnológicos, como los sistemas de aire acondicionado, que permiten regular el ambiente térmico de manera más precisa, aunque con un mayor consumo energético.

La comparación entre estos dos enfoques es fundamental para determinar su efectividad y aplicabilidad en distintos escenarios cotidianos dentro de un ámbito académico. En este sentido, surge la necesidad de identificar qué estrategias resultan más eficientes y en qué condiciones, así como comprender sus ventajas y limitaciones en la creación de espacios confortables y energéticamente sostenibles. A lo largo de esta investigación, se busca responder a preguntas como: ¿qué beneficios y desventajas presentan la ventilación pasiva frente a la ventilación activa en términos de eficiencia energética? ¿Cómo influye cada estrategia en la percepción del confort térmico dentro del aula de estudio? ¿Cuál de estos enfoques resulta más conveniente en función del consumo energético y la experiencia de los usuarios?

Para ello, se realizará un análisis comparativo mediante un aula de clases de la UPB que esta equipada con los diferentes tipo de estrategias de ventilación. Esta investigación es relevante porque permite evaluar, con base en datos concretos, el impacto de cada estrategia de ventilación en la eficiencia energética y el confort térmico, facilitando la toma de decisiones en el diseño arquitectónico para optimizar el desempeño ambiental de los espacios educativos.

Planteamiento del problema

Hoy en día se presentan grandes desafíos al aplicar alguna de las estrategias activa o pasiva dentro de un proyecto, debido al cambio brusco de temperatura y a las crisis energéticas que se presentan actualmente, de esto se derivan muchos otros problemas que impiden adaptar proyectos al entorno asegurando el confort térmico y una buena ventilación interna y por esto surge una pregunta global ¿Cuál de estos enfoques resulta más conveniente en función del consumo energético y la experiencia de los usuarios?. Algunas de las problemáticas que se derivan de este enfoque son:

Alteraciones en el clima: ^[A1] "Hablando en el sentido más convencional del término, los climas sobre la superficie de nuestro planeta también son muy variados, cálidos o fríos, secos o húmedos. Cambian según la época del año, con la variación de la altura del sol o según el régimen de vientos." (Serra Rafael, 2004) Los extremos cambios que se producen a lo largo del año entre altas y bajas temperaturas afectan el rendimiento del proyecto, ya que vuelve incierta la decisión de que tipo de estrategias usar para solucionar este problema.

Proyectos con confort interior deficiente: Al utilizar algunas de estas estrategias inadecuadamente se provoca una falta de confort que afecta directamente a las personas.

Diseño de proyectos que omiten el contexto: Al haber cambios en el clima tan extremos, muchos proyectos buscan aislarse completamente del exterior e ignorar su contexto para así evitar complicaciones con el clima.

Déficit en eficiencia energética: Se generan grandes cambios en cuanto al uso de energías dentro del edificio cuando no se escoge adecuadamente una estrategia, lo que genera gastos innecesarios y poco útiles dentro del edificio

Justificación

Esta temática fue seleccionada, ya que es algo que esta cobrando cada vez mas importancia en nuestro contexto de hoy en día con el cambio climático, en el que se debe saber aplicar de la mejor manera las estrategias que nos ofrecen los medios para asegurar la eficacia de los edificios y el confort de los usuarios. Para tener en cuenta todo esto, se debe realizar un análisis exhaustivo en el que se tengan en cuenta cada uno de los factores influyentes dentro de un proyecto arquitectónico para saber con certeza que es lo que se debe hacer y que es lo que no se debe hacer, debido que en muchos casos por falta de conocimiento se escogen diseños inadecuados que no tienen en cuenta el contexto, los usuarios o la eficiencia energética y esto finalmente termina generando edificios con muy poco confort en el que las personas no les gusta habitar ^[A2] Según Sergio Rojas, no son solo aspectos que dan cuenta del acercamiento o acomodo de la arquitectura al clima a través de una vivencia... sino, que es un parámetro que establece las condiciones propias de quien habita un lugar de una determinada manera reconociendo los usos de este y los límites que este debe alcanzar, para así no producir impactos que modifiquen el propio entorno (Rojas Sergio 2004)

Es por esto que esta investigación busca la necesidad de aclarar qué enfoque es más adecuado en diversos escenarios y cómo ambas estrategias pueden complementarse para mitigar el impacto ambiental de los proyectos arquitectónicos. La comparación de estas estrategias, en el contexto de la sostenibilidad, permitirá identificar no solo las ventajas y limitaciones de cada enfoque, sino también cómo pueden implementarse con mayor efectividad para enfrentar las demandas de confort y eficiencia en distintos entornos climáticos, generando así que los resultados de esta investigación tengan una aplicación en el mundo real, cambiando muchas de las perspectivas que se tienen de estas estrategias con el fin de saber escoger mejor entre ellas.

El aporte de esta investigación a la ciencia arquitectónica radica en el análisis crítico de las estrategias de ventilación activa y pasiva, evaluando su impacto dentro del aula de clases. Al examinar las implicaciones de cada enfoque, este estudio proporciona nuevas perspectivas sobre su aplicación en la arquitectura, identificando sus ventajas y limitaciones en diferentes escenarios. A través de la comparación entre ambos sistemas de ventilación, se busca determinar cuál ofrece

mayores beneficios en términos de consumo energético y bienestar de los ocupantes lo cual permitirá establecer criterios que faciliten la toma de decisiones en el diseño de espacios educativos más eficientes y confortables.

Objetivos_[A3]

Objetivo general

Comparar la incorporación de estrategias de ventilación mecánica (diseño activo) en contraste con la ventilación natural (diseño pasivo) en los ambientes educativos en la Universidad Pontificia Bolivariana; en función de la eficiencia energética y el confort de los usuarios.

Objetivos Específicos

Identificar el desempeño térmico y el consumo energético en un aula de clases bajo escenarios de ventilación activa, pasiva e híbrida, identificando las diferencias y tendencias en cada caso.

Analizar el desempeño térmico en función del confort, las preferencias de los usuarios y la eficiencia energética, a partir de los resultados de distintos sistemas de ventilación para determinar cuál ofrece mejores condiciones de rendimiento y satisfacción térmica.

Contrastar la viabilidad de integrar estrategias de ventilación activa y pasiva en el diseño de aulas, formulando recomendaciones prácticas que optimicen el uso energético y mejoren la experiencia térmica de los usuarios.

Hipótesis

La integración mixta de estrategias de ventilación pasiva y activa que permitan equilibrar las variaciones térmicas a lo largo del día, optimizando el confort y la eficiencia energética en las aulas de clase de la UPB .

Las estrategias de diseño pasivas y activas, aplicadas en un proyecto arquitectónico, presentan diferencias significativas en cuanto a eficiencia energética, adaptabilidad y sostenibilidad. Mientras las estrategias pasivas, que dependen de la optimización de los recursos naturales, son efectivas en la reducción del consumo energético en climas templados y zonas de baja variabilidad climática, las estrategias activas, basadas en el uso de tecnologías avanzadas, ofrecen un mejor rendimiento en condiciones climáticas extremas o de alta demanda energética. Al combinar ambas estrategias de manera complementaria en función de las características del entorno y los objetivos del proyecto, es posible alcanzar un diseño arquitectónico que no solo optimice el uso de recursos, sino que también disminuya el impacto ambiental, respondiendo así de manera más integral y eficaz a los desafíos del cambio climático.

4.1 Hipótesis de trabajo

La combinación equilibrada de estrategias de diseño pasivas y activas adaptadas a las condiciones ambientales de cada proyecto optimiza el rendimiento energético, minimiza el impacto ambiental y aumenta la adaptabilidad climática de las edificaciones. Esto permitirá no solo un ahorro energético, sino también un diseño más resiliente y sostenible, con beneficios tanto económicos como ambientales a largo plazo.

4.1.1 Variables.

- **Estrategias de diseño activas:** Tecnologías y sistemas mecánicos, como calefacción, ventilación y aire acondicionado, paneles solares, sistemas de iluminación artificial eficiente, entre otros.
- **Estrategias de diseño pasivas:** Soluciones de diseño que aprovechan los recursos naturales, como la orientación de edificios, aislamiento térmico, ventilación natural y uso de luz natural.

- **Clima y condiciones ambientales:** Factores climáticos específicos del lugar (temperatura, humedad, exposición solar).
- **Eficiencia energética y sostenibilidad:** Consumo de energía y recursos, reducción de emisiones de CO₂, impacto ambiental y adaptabilidad a condiciones cambiantes.
- **Confort térmico:** Percepción de bienestar de los usuarios, determinada por la temperatura, la humedad y la ventilación, en función de sus preferencias y necesidades.

Marco teórico conceptual

Estas estrategias se definen en 2 conceptos, Estrategias de diseño activas (estrategias mecánicas) y las estrategias de diseño pasivas (estrategias bioclimáticas). Cada una de estas se enfrenta a las alteraciones y afecciones que está generando hoy en día el cambio climático, por lo que es de suma importancia saber marcar sus diferencias y beneficios de cada una. A finales de la década de los 90's diferentes autores han venido tratando este tema desde diferentes perspectivas como; la energía, su eficacia, la higiene, el confort y el diseño con el fin de abordar sus temáticas de manera mucho mas critica y saber afrontar el cambio climático desde la arquitectura y el diseño de proyectos. Para poder explicar los conceptos que han abordado dichos autores, primero se debe definir sobre que trata cada una de las estrategias y a que se refieren.

- **Estrategias de diseño pasivo:** Según Rafael Serra Florensa (1999), “se entiende como una estrategia bioclimática o pasiva aquella que optimiza las relaciones energéticas del proyecto con el medioambiente que le rodea, mediante el uso de materiales y recursos propios del entorno.”. Desde el diseño arquitectónico de un proyecto, se aprovechan de manera óptima los recursos naturales de su entorno, como la luz solar, el viento, la vegetación y los factores térmicos, con el fin de garantizar el confort reducir el consumo energético en los edificios sin recurrir al uso de sistemas mecánicos o tecnológicos complejos. Estas estrategias deben de realizarse por medio de un análisis detallado del clima local y la orientación del edificio, lo que permite, por ejemplo, maximizar la entrada de luz natural y calor solar en invierno, o bien, propiciar la ventilación cruzada y el sombreado en verano, minimizando así la necesidad de calefacción o aire acondicionado. Para que esta estrategia se haga efectiva se debe incorporar diferentes elementos arquitectónicos al proyecto como ventanas, sistemas de ventilación cruzada, pérgolas, y materiales con alta capacidad de aislamiento juegan un papel fundamental en este tipo de diseño para que el edificio funcione de forma autónoma y adapte el clima del exterior a su interior. Frente al cambio climático actual, las estrategias pasivas han sido un tema de debates, ya que por un lado, gracias a esta se reduce la huella de carbono al disminuir el consumo de energías no renovables y también ayuda a mitigar los efectos del calentamiento global al integrar el proyecto con el entorno natural, pero por otro lado en lugares donde hay

alteraciones extremas en el clima, las estrategias pasivas puede que no presenten una gran eficacia.

- **Estrategias de diseño activo:** En el libro de arquitectura y energía natural, Helena Coch y Rafael Serra^[A4] definen a este tipo de estrategias como las que implementan tecnologías artificiales en el proyecto, para crear condiciones ambientales que no pueden alcanzarse mediante medios naturales. Para esto se utilizan recursos externos al entorno y se puede obtener un mayor control del ambiente que se quiera dar (Coch Helena y Serra Rafel,1995) , a lo que en su libro se resume en el deseo que tiene el hombre por controlar el clima. El uso de sistemas tecnológicos y dispositivos mecánicos para controlar las condiciones ambientales internas de un edificio, como la temperatura, la humedad y la ventilación, con el fin de proporcionar confort a los ocupantes. A diferencia de las estrategias pasivas, que dependen del entorno natural, las activas recurren a sistemas energéticos como calefacción, ventilación y aire acondicionado, así como a tecnologías avanzadas de automatización y sensores para regular y optimizar el consumo energético de manera eficiente. Estos sistemas permiten una respuesta más inmediata y precisa a las variaciones climáticas, proporcionando condiciones de confort bajo cualquier circunstancia. En el contexto del cambio climático actual, las estrategias activas juegan un papel muy importante hoy en día ya que muchas ciudades alrededor del optan por utilizar estos sistemas con el fin de regular el confort interior, ciudades como barranquilla en las que hace mucho calor y hay poca circulación de vientos, el aire acondicionado ya no se vuelve un lujo, sino una necesidad de las personas para poder generar un ambiente mucho mas habitable y cómodo en su interior. A pesar de su eficacia y facilidad, las estrategias mecánicas dejan un gran impacto sobre la huella de carbono existente en el entorno, aportándole día a día al cambio climático. En algunas ocasiones para mitigar un poco este impacto se integran fuentes de energía renovable como paneles solares o algún sistema de recuperación de energía y a pesar de que si mitiga en parte el impacto al medio ambiente, no es lo suficientemente sostenible.

Renzo Piano ^[A5]destaca la importancia de elegir entre estrategias activas y pasivas en función del nivel de control deseado sobre el entorno. Señala que, en condiciones ambientales cómodas, se pueden aplicar estrategias pasivas que respeten el medio sin alterarlo. Sin embargo, en climas extremos o con cambios bruscos, es necesario utilizar estrategias activas y tecnologías

avanzadas para controlar el ambiente. (Piano Renzo, S.F) El cambio climático obliga a los arquitectos a no limitarse a un solo tipo de estrategia, sino a adaptarse a las circunstancias específicas de cada proyecto.

Estas estrategias han sido abordadas desde diferentes temáticas y conceptos por autores a lo largo del tiempo, ya que esto ha sido un tema de investigación de interés para la incorporación de diseños que se enfoquen en el confort y bienestar de los usuarios, algunas de estas temáticas defienden una sola estrategia y otras invitan a una hibridación entre ellas dependiendo del concepto que se esta tratando.

- **Condiciones de aplicacion de estrategias bioclimaticas de; Sergio Eduardo Cortes**

Rojas: Esta investigación ofrece pautas de un diseño eficiente afrontando el cambio climático, además de eso muestra las buenas prácticas de un diseño bioclimático en base a estrategias que debieran estar teniendo en cuenta las condiciones particulares de un lugar bajo sus parámetros con la geografía, vegetación, ruido y contaminación, los cuales serán determinantes para desarrollar un proyecto. Teniendo en cuenta eso, también hay que tener en cuenta los factores climáticos como la temperatura, la humedad, la velocidad del viento y la radiación solar, ya que este es el vínculo con el medio ambiente, teniéndolos particularmente presentes para desarrollar un buen diseño.

esto demuestra la importancia del contexto como uno de los conceptos más importantes dentro de un proyecto y de todos los factores que lo engloban para saber escoger de mejor manera una estrategia bioclimática acorde, que le brinde los mejores beneficios al proyecto.

- **Estrategias bioclimaticas en la arquitectura de; Maria lopez de asiain alberich:**

hace énfasis en muchos aspectos que influyen en los proyectos, como los materiales, la cultura, las técnicas, etc... para de esta manera abordar las estrategias pasivas de manera mas profunda. Las estrategias que brinda (Asiain de albrich,2010) [A6]son muy variadas y parten de diferentes factores previamente analizados, pero centrándonos en la temática de ventilación que deseamos, ofrece un listado detallado de algunos pasos y estrategias que como diseñador se pueden utilizar para asegurar un confort bioclimático al interior. Asiain

alberich sostiene que el viento no se puede controlar, pero si manipular para generar ciertos efectos físicos que permitan generar un bienestar al interior de un edificio, así como la Generación del efecto Venturi para climas calientes, que se realiza por medio de la creación de volúmenes en forma de embudo para que al pasar el aire se genere una mayor presión en ciertos puntos, con el objetivo de que se pueda enfriar el ambiente gracias al paso rápido del viento.

Al describir detalladamente algunas estrategias bioclimáticas en la investigación de Asiain Alberich, sostiene de que la bioclimática y un diseño pasivo dentro de edificio puede ser una buena opción de integrar un proyecto con el paisaje.

- **Arquitectura y clima de; Rafael Serra:**En este libro Rafael Serra analiza detenidamente como el clima afecta un proyecto, ya que es verdad que son muchos los climas que en ella intervienen, como: climas de invierno y de verano, climas de luz y de calor, climas de transición entre interior y exterior, climas en la arquitectura popular o en la arquitectura representativa, climas naturales o climas artificiales. Es por esto que partiendo de un analisis en el que relaciona la arquitectura y el clima generar propuestas mecanicas o bioclimaticas para el desarrollo de una conexion entre el proyecto y el clima dependiendo del entorno, generando asi un control mas optimo de la atmosfera dentro de un espacio en el que debe primar el confort de los usuarios.

Se destaca la necesidad del hombre para controlar el clima de su entorno recurriendo asi a manipular el edificios con diferentes elementos para asegurar su confort, estos elementos pueden ser de caracter activo (Aire acondicionado y calefaccion) o de caracter pasivo (Elementos propios del edificio que integren el clima exterior y lo adecuen al interior). He aquí la importancia de como el concepto de control del clima juega un papel importante en esta temática de investigación, ya que se puede realizar por medio de diferentes tipos de estrategias.

- **Arquitectura y energía natural; Rafael Serra y Helena Coch:** conocer la importancia de aprovechar al máximo las energías naturales en la arquitectura actual, especialmente frente a los problemas ambientales y la limitada disponibilidad de recursos. Comprender aspectos

como la luz, el sonido y el clima son clave para crear espacios más eficientes y sostenibles. Aunque la tecnología de hoy en día ofrece sistemas avanzados, estos suelen consumir mucha energía. Por eso, el enfoque debería estar en equilibrar el uso de soluciones naturales para lograr una arquitectura más responsable y respetuosa con el medio ambiente. El concepto de la energía dentro de esta temática de investigación juega uno de los papeles más importantes ya que esto define en gran parte cual de las estrategias se deben escoger.

- **Síndrome del edificio enfermo en trabajadores de; la universidad CES:** La higiene es un concepto que no se puede dejar de lado dentro de esta temática de investigación, ya que esto es fundamental para asegurar el bienestar de las personas dentro de cualquier tipo de edificio, la ventilación debe estar garantizando renovaciones de aire cada cierto tiempo, ya que esta investigación sostiene de que si no se realiza un adecuado uso de cada uno de las estrategias de ventilación, se puede generar afecciones en la salud de los usuarios, especialmente en entornos industriales donde se generan gases o químicos nocivos para la salud. Con este nuevo concepto dentro de la investigación, ya no se tendrá un enfoque solo dentro del campo del confort, sino también de la seguridad y bienestar de las personas, es por esto, que desde un buen diseño se debe velar por la integración de estrategias que respeten los mínimos de renovaciones de aire dentro de los espacios arquitectónicos.

Al tener en cuenta muchos de estos conceptos que ya fueron tratados con anterioridad por diferentes autores como; La energía, la higiene, la eficacia, el control, el clima, entre otros se puede partir para generar un análisis correcto que responda la pregunta de esta investigación, cuyo objetivo es demostrar los beneficios o perjuicios de las estrategias que se utilizan hoy en día en el sector de la arquitectura y el diseño.

Marco contextual

Si hablamos en un contexto actual de Colombia, con el fin de abordar esta temática de investigación desde una perspectiva más local, las estrategias activas y pasivas en arquitectura han sido adoptadas con un enfoque creciente hacia la sostenibilidad, aunque con diferentes niveles de implementación dependiendo de la región y el contexto urbano o rural. A nivel nacional, las estrategias pasivas o bioclimáticas han sido aplicadas con mayor frecuencia, especialmente en las zonas rurales y en construcciones tradicionales, donde el diseño aprovecha las características del clima, pero esto se realiza para mayor facilidad técnica, constructiva y económica, debido a que es complicado mantener un dispositivo avanzado o cualquier tipo de tecnología artificial para controlar el ambiente en el interior de un edificio. Las técnicas como la ventilación cruzada, el uso de materiales locales y la orientación adecuada de las edificaciones han sido fundamentales para garantizar el confort sin recurrir a sistemas mecánicos. Sin embargo, en las áreas urbanas más densamente pobladas como Medellín o Bogotá, las estrategias activas han predominado debido a la modernización de las ciudades y la mayor demanda de edificaciones comerciales y residenciales de gran altura. Esto ha llevado al uso intensivo de sistemas de aire acondicionado y calefacción, aunque en los últimos años se ha promovido la integración de tecnologías sostenibles como paneles solares y sistemas de ventilación más eficientes para reducir el consumo energético el cual es uno de los problemas que enfrenta por ejemplo la ciudad de Barranquilla hoy en día, debido a que es una ciudad altamente dependiente de los sistemas mecánicos, pero posee un sistema de energía urbano deficiente que requiere un consumo estable. Es por esto que en un contexto nacional aun hay muchos debates para el uso de alguna de estas estrategias y mas en un país donde hay climas tan diferentes entre regiones.^[A7]

En una escala micro y mas centrada en nuestro contexto, particularmente en Medellín, se han hecho avances significativos en la adopción tanto de estrategias pasivas como activas, aunque enfrentando los desafíos de un contexto urbano denso y un clima tropical de montaña que exige una gestión cuidadosa de la temperatura y la ventilación. Las estrategias pasivas han sido promovidas en gran medida por las políticas de urbanismo sostenible, como el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), que incentiva la creación de espacios verdes y edificaciones bioclimáticas. Medellín ha buscado

poco a poco integrarse de nuevo con la naturaleza estos últimos años, por lo que se puede destacar la investigación de Asian Alberich en la que ella sostiene que el ser humano por necesidad va a buscar reconectarse con su entorno natural y busca integrar proyectos a su contexto, es por esto que desde el diseño se buscan integrar la naturaleza con la ciudad, favoreciendo la regulación térmica y la reducción de la contaminación. Sin embargo, el desarrollo urbano ha traído consigo una fuerte dependencia de las estrategias activas, sobre todo en los centros comerciales y residenciales modernos que utilizan sistemas de aire acondicionado y ventilación mecánica para adaptarse a la variabilidad del clima. Para enfrentar el cambio climático, Medellín ha impulsado proyectos, que fomenta la construcción de edificios híbridos que permitan alternar entre ambas estrategias, por lo que se puede decir de que Medellín trata de globalizar un poco estos conceptos para que a la hora de la construcción de nuevas edificaciones se tenga muy en cuenta, Un claro ejemplo de esta hibridación entre estrategias de este tipo de proyectos es el de la Eco- villa desarrollado por el grupo de investigación de la universidad UPB y Ecopetrol, en el que se utilizan elementos como calados, ventanales y divisiones modulares como estrategias pasivas para asegurar la iluminación constante y la ventilación cruzada, pero además de eso hay una intención por implementar el uso de aire acondicionado al interior de ciertos espacios con el fin de asegurar el confort en su interior, Así tal y como pasa en muchos de los salones de diferentes facultades académicas, en el que por ejemplo la facultad de arquitectura y diseño presenta un diseño de estrategias pasivas bastante fuerte con quibrasoles en fachada, jardines exteriores y grandes ventanales, pero con el paso del tiempo se incorporaron sistemas de aire a condicionado que generaron una fuerte dependencia y ahora parece casi que inevitable ver una clase sin aire acondicionado, dejando poco a poco de lado el diseño de las estrategias pasivas del edificio.

Metodología

1. Definición del Caso de Estudio: Análisis y referentes sobre el tema

- **Definición de casos:** Se seleccionan el salón 121 de la Facultad de Arquitectura como único caso de estudio, dada su diversidad de estrategias de diseño (aire acondicionado, ventanales, vegetación exterior y quebrasoles) que permiten analizar distintas configuraciones de ventilación y climatización.^[A8]

2. Recolección y Análisis de Datos: Investigar y recolectar datos

2.1 Caracterización del salón

- **Identificación de Elementos:** Se analizarán los componentes arquitectónicos y constructivos (ubicación, distribución, orientación y materiales) que influyen en el confort térmico.
- **Mapeo de Estrategias:** Se evaluarán las estrategias de ventilación pasiva (ventanas, quebrasoles, vegetación) y activa (aire acondicionado), determinando su rol en el consumo energético.

2.2 Instrumentos de Medición

- **Medidores de temperatura (termómetros):** Para registrar las condiciones internas y externas.
- **Anemómetros y sensores de velocidad del aire:** Para evaluar el flujo de aire y la eficacia de la ventilación.
- **Cámara térmica:** Para medir la temperatura radiante y relacionarla con la percepción del confort térmico.

3. Trabajo de campo y diseño de escenarios experimentales: ^[A9]Experimentación física

- **Diseño de Escenarios:** Dentro del salón de clases, se plantearán diversos escenarios que permitan evaluar cómo la combinación de estrategias activas y pasivas afecta la eficiencia energética y el confort térmico. Los escenarios propuestos son:

Escenario 1: Solo Aire Acondicionado

- **Configuración:** Sistema de aire acondicionado activado con todas las ventanas cerradas.
- **Objetivos:** Medir el flujo de aire, la temperatura y el consumo energético, determinando el confort térmico resultante.

Escenario 2: Aire Acondicionado + Ventanas Abiertas

- **Configuración:** Con el aire acondicionado en funcionamiento y algunas ventanas abiertas para permitir ventilación natural.
- **Objetivos:** Evaluar la influencia de la ventilación natural combinada con el sistema activo en la eficiencia y confort.

Escenario 3: Solo Ventanas Abiertas (sin Aire Acondicionado)

- **Configuración:** Uso exclusivo de ventilación natural a través de ventanas abiertas.
- **Objetivos:** Determinar el comportamiento térmico y el flujo de aire sin apoyo de sistemas mecánicos.

Escenario 4: Todo cerrado (sin aire acondicionado ni ventanas abiertas)

- **Configuración:** Ningún tipo de circulación de aire interna
- **Objetivos:** Determinar el comportamiento térmico y el flujo de aire sin apoyo de sistemas mecánicos o bioclimáticos.

Otros Escenarios Potenciales: Se podrán plantear configuraciones adicionales (por ejemplo, alternar entre sistemas, modificar la intensidad del aire acondicionado, el salón lleno de gente y sin gente y también diferentes horas del día) para simular distintos usos y condiciones ambientales. Se determinaran valores y factores fijos por medio del promedio de los resultados en las encuestas, por ejemplo, si en las encuestas aparece que el promedio de personas semanales dentro del salón es de 20 personas, se medirá sobre ese valor para mayor exactitud.

3.1 Ejecución del Trabajo de Campo

- **Mediciones en Cada Escenario:** Se utilizarán los instrumentos mencionados para registrar datos en cada configuración, permitiendo un análisis cuantitativo comparativo.
- **Encuestas a Usuarios:** Se aplicarán encuestas a estudiantes y profesores para conocer su percepción sobre el confort en cada escenario.
- **Entrevistas a Expertos:** Se realizarán entrevistas con arquitectos y profesores especializados en el tema para complementar y contrastar los datos obtenidos.

4. Análisis Comparativo

- **Comparación de Datos:** Se analizarán las diferencias en consumo energético, temperatura, flujo de aire y desempeño termico entre cada escenario dentro de tablas comparativas en Excel.
- **Matriz de Evaluación:** Se utilizará Excel como herramienta principal para comparar indicadores clave, tales como ahorro energético, impacto ambiental y confort térmico, facilitando la visualización de las ventajas y desventajas de cada estrategia por medio de gráficos y resultados cuantitativos

5. Conclusiones y Recomendaciones

- **Conclusiones:** Se responderán las preguntas de investigación y se discutirán los resultados obtenidos en función de las estrategias pasivas y activas evaluadas.
- **Recomendaciones:** Se ofrecerán sugerencias prácticas para la implementación de estrategias en espacios educativos, resaltando el rol de la arquitectura en la optimización del confort térmico y la eficiencia energética.

Actividad	Tipo de info a usar	Herramientas a utilizar	Caso de estudio	Qué espero obtener	Semana de ejecución	Tiempo de duración
Definición del caso de estudio	Información descriptiva y datos institucionales	Documentos institucionales, visitas in situ	Aulas de la Facultad de Arquitectura	Perfil claro y definido del caso de estudio	Semana 7	1 semana
Encuestas y entrevistas	Opiniones, preferencias y experiencias	Cuestionarios Google forms, grabadora de voz	Maestros, especialistas en el tema, estudiantes	Información cualitativa sobre preferencias y satisfacción de usuarios	Semana 7	1 semana
Caracterización de los salo	Planimetría y fichas técnicas de los elementos	Autocad, documentos institucionales, planimetría impresa	Aulas de la Facultad de Arquitectura	Caracterización detallada de cada salón y saber que elementos posee	Semana 8	2 semana
Instrumentos de medición	Datos instrumentales y de calibración	Cámara térmica, termómetro, anemómetro	Aulas de la Facultad de Arquitectura	Instrumentos calibrados y listos para recopilar datos precisos	Semana 8	1 día
Trabajo de campo y medición de escenarios	Datos ambientales en tiempo real	Cámara térmica, termómetro, anemómetro	Aulas de la Facultad de Arquitectura	Información cuantitativa sobre condiciones térmicas y ventilación en distintos escenarios	Semana 9	2 semanas
Análisis comparativo de resultados	Datos cuantitativos y cualitativos	Excel	Aulas de la Facultad de Arquitectura	Identificación de tendencias y diferencias entre escenarios	Semana 11	1 semana
Conclusiones	Resultados del análisis y opiniones de usuarios	Excel y gráficos estadísticos	Aulas de la Facultad de Arquitectura	Conclusiones que orienten la toma de decisiones en el diseño	Semana 12	1 semana

Recomendaciones	Resultados del análisis y matriz de conclusiones	Documentos de investigación, Matriz de Excel	Aulas de la Facultad de Arquitectura	Recomendaciones prácticas para optimizar el confort y la eficiencia energética	Semana 13	1 semana
------------------------	--	--	--------------------------------------	--	-----------	----------

Desarrollo

Para la primera parte del desarrollo del proyecto de investigación se realizará un análisis preliminar de las condiciones de confort térmico en las aulas de la Facultad de Arquitectura, a partir de las percepciones y experiencias recogidas mediante un cuestionario dirigido a docentes y estudiantes y un mapeo de elementos del Aula a trabajar. En este apartado, se examinarán en detalle aspectos relevantes como la frecuencia y los horarios de uso de los espacios, la efectividad energética de los sistemas de ventilación, tanto activos como pasivos, y la influencia de la densidad de ocupación en la percepción ambiental. El análisis de los datos permitirá identificar las principales dificultades y fortalezas en la gestión del ambiente térmico, ofreciendo una base sólida para proponer estrategias que optimicen el confort en dichos espacios. Con ello, se busca no solo comprender las diferencias existentes entre la percepción de los distintos usuarios, sino también aportar una aproximación de los resultados de la investigación que permita potenciar el bienestar y la eficiencia en el entorno académico.

Descripción y mapeo técnico del caso de estudio

El caso de estudio se enfoca en el salón de clases 121 ubicado en el primer piso de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad Pontificia Bolivariana, en la zona de Laureles, Medellín, reconocida por sus excelentes condiciones bioclimáticas gracias a la extensa concentración de masas arbóreas en el sector que generan una disminución considerable en la temperatura. El salón tiene unas dimensiones de 5.5 m de ancho por 7.4 m de largo, lo que resulta en un área aproximada de 40.42 m² que se considera como un aula de clases de tamaño mediano que puede albergar como máximo entre 20 y 25 personas. Sin embargo, este salón cuenta con una demanda de actividad bastante alta, ya que se dan clases de diferentes carreras varias veces a la semana, lo que lo convierte en un espacio ideal para evaluar la eficiencia energética y el confort térmico dentro de un ámbito académico de constante actividad.

En cuanto a las estrategias de ventilación, el salón ofrece una diversidad de elementos que permiten múltiples posibilidades de uso y combinación. Por ejemplo, en lo que respecta a las estrategias activas, el aula cuenta con un sistema convencional de aire acondicionado, que a diferencia de sistemas modernos como el HVAC empleado en otros salones, este sistema resulta obsoleto, ya que solo ofrece una solución básica y localizada que no renueva el aire, limitándose únicamente a

enfriar el ambiente interior. En contraste, se han implementado estrategias pasivas que incluyen, un gran ventanal corrido ubicado única y exclusivamente en la fachada Este del edificio, el cual da al patio de acceso de la facultad, que contiene una gran masa arbórea, además de eso, el edificio cuenta con una estructura de quiebrasoles en fachada que impiden que los rayos del sol penetren de manera directa y descontrolada en el salón, evitando así variaciones bruscas de temperatura.

En cuanto a la materialidad, la construcción del salón se realizó utilizando muros de ladrillo Tolete de 15 cm de grosor, elementos estructurales de concreto, ventanería con vidrios templados en marcos en aluminio, cielo falso en placa de yeso y acabados en baldosas cerámicas. Todo esto permite entender la configuración de un entorno arquitectónico sencillo, funcional y representativo del ámbito académico.

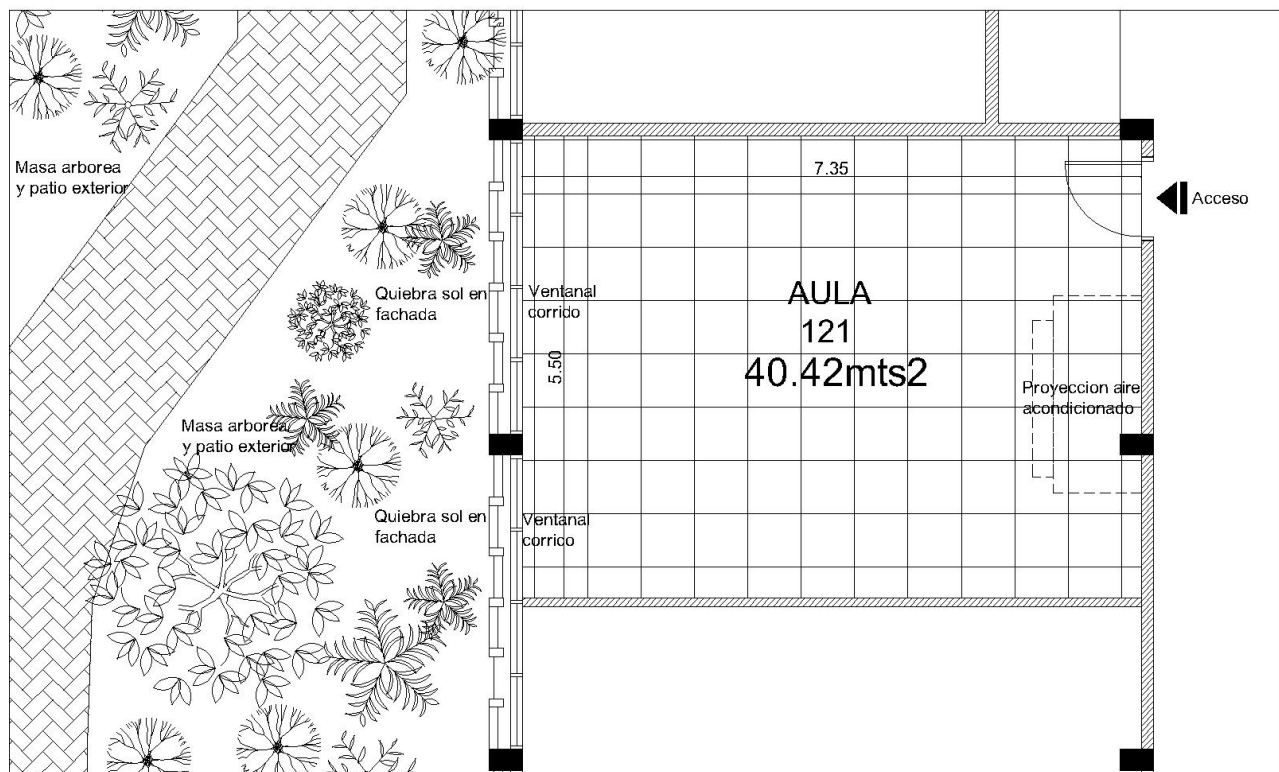


Imagen 1 planta Aula 121. Caso de estudio. Elaboración propia

Metodología Aplicada

Se recopiló la información mediante un cuestionario estructurado aplicado a estudiantes y docentes del salón. El cuestionario se diseñó para obtener datos sobre la frecuencia de uso, la percepción del confort térmico, y la eficacia de las estrategias de ventilación activas y pasivas implementadas en el aula. El fin de esta recopilación fue evaluar como las personas que utilizan el salon perciben la eficiencia energética y el nivel de confort térmico del espacio, identificando fortalezas y áreas de mejora que permitan optimizar el ambiente de aprendizaje en la facultad. Las variables clave que se abordaron para obtener información útil que sirva para el análisis fueron:

- **Frecuencia y horario de uso:** Determinar cuándo se utilizan el salon y la correlación entre estos horarios y la percepción térmica.
- **Sensación térmica y confort:** Evaluar cómo se siente el ambiente dentro del aula, tanto con el aire acondicionado encendido como apagado.
- **Estrategias de ventilación:** Analizar la preferencia por el uso exclusivo del aire acondicionado, la ventilación natural o una combinación de ambos, y la percepción sobre la necesidad de estos sistemas para lograr un ambiente confortable.
- **Número de personas presentes:** Dado que la ocupación puede influir en la percepción del confort térmico.
- **Niveles de satisfacción personal:** Esta es una de las variables mas importantes ya que esto permite saber que tan a gusto se sienten los estudiantes cuando reciben las clases en el aula y que debería de mejorar

La investigación consideró dos factores fundamentales para analizar el aula: el factor humano y el factor físico-espacial. Por un lado, la encuesta permitió indagar en las opiniones y consejos de las personas que habitan el aula, capturando así el componente humano. Por otro lado, se llevó a cabo un mapeo detallado de todos los elementos y variables técnicas del espacio, contribuyendo así al análisis del factor físico-espacial. Al integrar ambos factores, se generó una relación que facilita la

reinterpretación de las problemáticas y oportunidades del salón en cuanto a la eficiencia energética y el confort térmico para un mayor entendimiento dentro de la investigación.

Análisis resultados preliminares

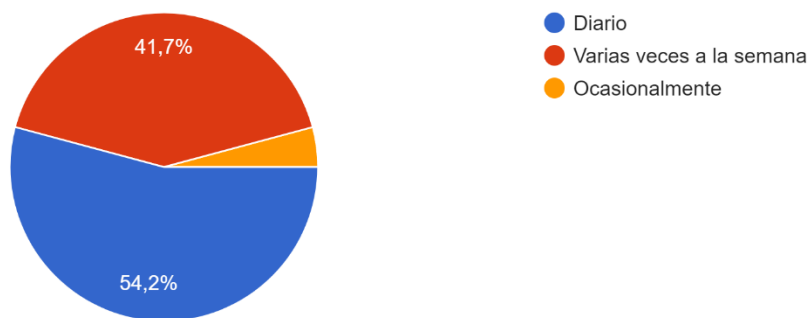
Se generará un análisis de los datos obtenidos en la encuesta en contraste a él mapeo técnico del salón por medio de la planimetría

- **Caracterización del Uso de los Salones**

Los resultados de la encuesta evidencian que el salón es ampliamente utilizado, ya que la mayoría de los encuestados (tanto estudiantes como docentes) reportan una frecuencia de uso diaria o varias veces a la semana. (ver esquema 1)

¿Con qué frecuencia usa las aulas de la Facultad de Arquitectura?

24 respuestas



Esquema 1 de resultado de ocupación del Aula 121. Encuesta. Elaboración propia por medio de Google forms

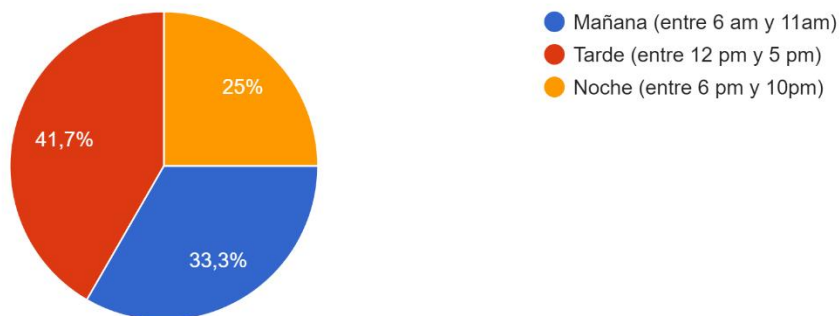
Esta alta ocupación destaca la importancia de contar con un ambiente térmico y una eficacia energética óptima en un espacio tan concurrido, ya que, si se genera un sobreuso inadecuado, puede generar pérdidas en cuanto a sostenibilidad y confort de los usuarios.

Además de eso, se identificaron franjas horarias clave, Principalmente en la mañana y en la tarde donde se concentra el mayor flujo de personas (ver esquema 2), y se observa que la percepción de la temperatura varía entre estos horarios, lo que sugiere que factores externos como la radiación solar inciden en el confort térmico del aula (Ver esquema 3). Para el trabajo de campo posterior se evaluarán diferentes escenarios en función de la franja horaria con mayor concurrencia e

incomodidad térmica. Se ha determinado que la tarde es la principal, ya que es en ese periodo cuando se concentra la mayor cantidad de estudiantes y docentes (41% de los encuestados reciben clases en la tarde), y donde se experimenta el mayor nivel de incomodidad en el salón (75% de los encuestados sienten mayor incomodidad en la tarde).

¿ En que tipo de horario usa las aulas de la facultad de arquitectura normalmente?

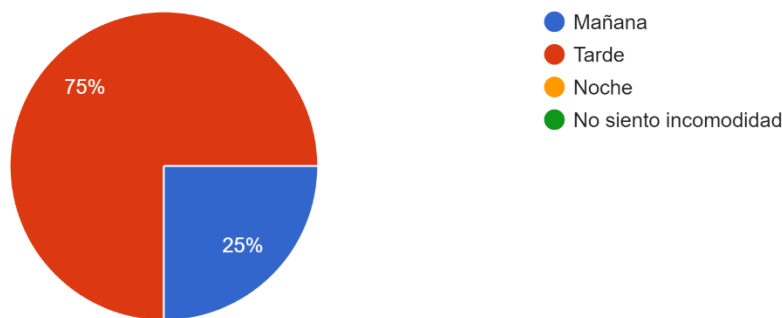
24 respuestas



Esquema 2 de resultado de horarios del Aula 121. Encuesta. Elaboración propia por medio de Google forms

¿En qué momento del día siente mayor incomodidad térmica?

24 respuestas



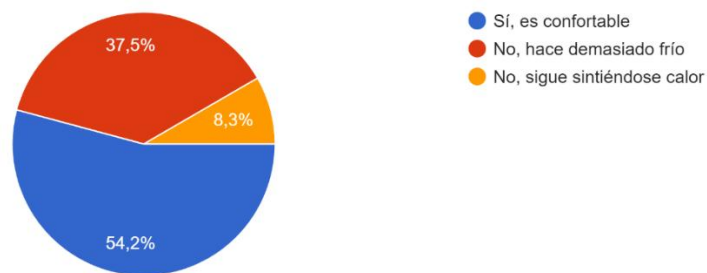
Esquema 3 de resultado de incomodidad termica del Aula 121. Encuesta. Elaboración propia por medio de Google forms

- **Evaluación del Confort Térmico**

En relación con el confort térmico, los datos muestran opiniones divididas. Algunos usuarios califican el ambiente del aula como adecuado inclinándose por las estrategias activas (54,2%), mientras que otros lo encuentran poco confortable, experimentando tanto sensaciones de frío excesivo como de calor inadecuado (45,8%) (Ver esquema 4). Esta variabilidad se refleja en el rendimiento de la ventilación mecánica: el sistema de aire acondicionado convencional que posee el salón, que se limita a enfriar el aire sin renovarlo, no logra generar un ambiente estable y genera gastos energéticos muy innecesarios, esto se debe a que es un sistema obsoleto en comparación con los sistemas HVAC que poseen otros salones que mantienen un ambiente mucho más uniforme y ligero.

Cuando el aire acondicionado está encendido, ¿siente que la temperatura es adecuada?

24 respuestas

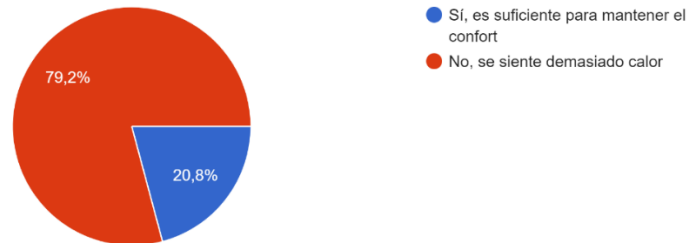


Esquema 4 de confort ventilación mecánica del Aula 121. Encuesta. Elaboración propia por medio de Google forms

Por otro lado, las estrategias pasivas como el gran ventanal corrido y los quiebrasoles aportan beneficios al moderar la incidencia directa del sol, pero por sí solas no alcanzan a compensar los extremos térmicos durante determinadas horas del día y a pesar de formar un sistema que a simple vista se ve que puede ser muy efectivo, las personas siguen recurriendo a sistemas de estrategias activas como el aire acondicionado (79,2% consideran que las estrategias pasivas son insuficientes). (ver esquema 5)

Si el aire acondicionado está apagado, ¿cree que la ventilación natural es suficiente abriendo las ventanas o la puerta del salón?

24 respuestas



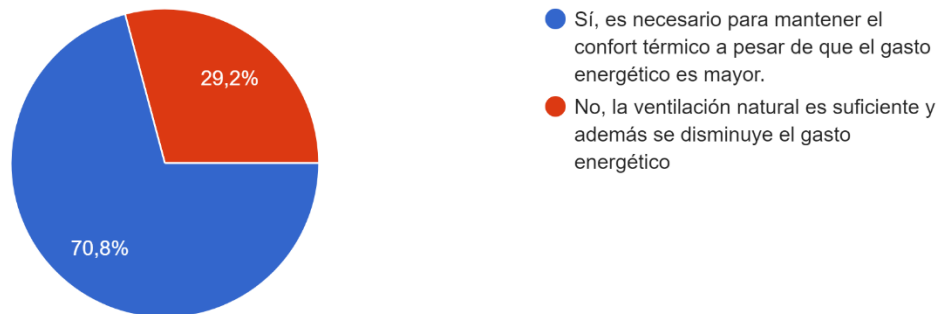
Esquema 5 de resultado de suficiencia estrategias pasivas Aula 121. Encuesta. Elaboración propia por medio de Google forms

• Eficiencia Energética

El análisis cuantitativo de la necesidad vs la eficacia energética indica que el sistema de aire acondicionado convencional fue el que más prefirieron los estudiantes y docentes (ver esquema 6) del aula a pesar de que presenta un elevado consumo energético, en parte por su mecanismo de funcionamiento y por la falta de renovación del aire. Esto no solo afecta la eficiencia energética del salón, sino que también repercute en la calidad del ambiente interior. La comparación entre estrategias activas y pasivas revela que, mientras el sistema activo es indispensable para lograr la regulación y el control absoluto de la temperatura, su ineficiencia en la renovación del aire y su alto consumo energético son limitantes. En contraste, la implementación de estrategias pasivas como la optimización del ventanal, la acción de los quiebrasoles y el aprovechamiento del entorno bioclimático del patio con vegetación ofrece un potencial significativo para disminuir la carga del sistema activo y mejorar, de manera sostenible, el confort térmico.

¿Cree que el uso del aire acondicionado en el aula es necesario en cuanto a confort y gasto energético ?

24 respuestas



Esquema 6 de resultado de eficiencia energética vs necesidad del Aula 121. Encuesta. Elaboración propia por medio de Google forms

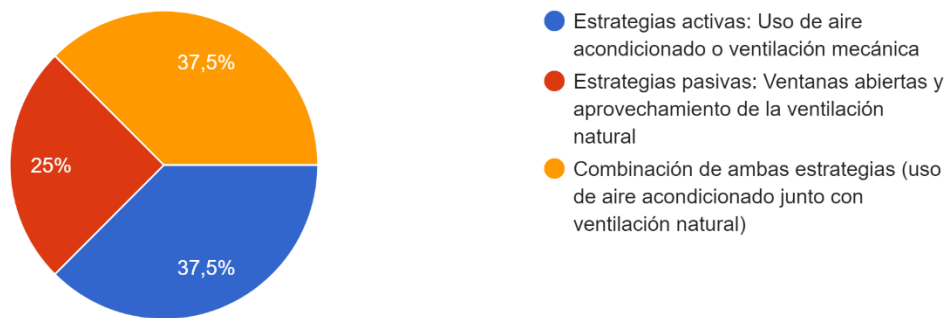
Conclusiones preliminares de las encuestas

La preferencia general de los usuarios se orienta hacia una solución de carácter mecánico que permita un control absoluto del clima (37,5% de los usuarios), sin embargo, esta preferencia se generó en su gran mayoría entorno a la incomodidad térmica que genera la franja horaria de la tarde, ya que es el momento del día en el que se concentra más calor, es por esto que la otra mitad de los usuarios se inclinaban por estrategias de diseño pasiva (25% de los usuarios) o mixtas (37,5% de los usuarios) que combine las ventajas del sistema activo (aire acondicionado) con las estrategias pasivas. Este enfoque integrado permitiría optimizar la eficiencia energética y mejorar el confort térmico del aula, aprovechando la capacidad de enfriamiento rápido del aire acondicionado y la moderación térmica ofrecida por las soluciones pasivas. Estos hallazgos abren la posibilidad de reconfigurar o modernizar el sistema de climatización, buscando una mayor armonía entre los factores humanos y físicos del espacio, y adaptándose mejor a las condiciones ambientales y a la variabilidad de la ocupación en el aula.

Se propone la implementación de un sistema de ventilación mixto, que opere bajo estrategias de diseño mixto: utilizar aire natural en las horas frías—por la mañana y por la noche—y activar el aire acondicionado durante las horas de sol. Esta solución busca aprovechar las condiciones ambientales favorables en determinados momentos del día, optimizando el consumo energético sin sacrificar el confort térmico. (Ver esquema 7)

¿Cuáles de las siguientes estrategias de ventilación considera más efectivas para mejorar el confort térmico en los salones?

24 respuestas



Esquema 7 de resultado de estrategia mixta vs pasiva vs activa del Aula 121. Encuesta. Elaboración propia por medio de Google forms.

Trabajo de campo practico

Durante el trabajo de campo se busca utilizar diferentes tipos de sensores dentro del caso de estudio seleccionado con el objetivo principal de cuantificar de manera precisa la temperatura interna y la velocidad del aire en seis cuadrantes representativos del salón de la Facultad de Arquitectura, que fueron previamente subdivididos bajo los distintos escenarios de climatización activa (aire acondicionado a diferentes temperaturas) y ventilación pasiva (apertura de puertas y/o ventanas). Además, se busca al mismo tiempo contrastar percepción subjetiva de confort térmico mediante encuestas breves a los usuarios durante los tiempos de medición, con el fin de contrastar los datos instrumentales con la experiencia real de ocupación de las personas. Estos resultados son esenciales para esta investigación, ya que constituyen la base empírica que valida las propuestas de eficiencia energética y confort térmico, permitiendo formular recomendaciones de diseño arquitectónico fundamentadas en evidencia real.^[A10]

En esta parte del desarrollo se presentan y analizan en detalle los datos obtenidos durante las mediciones de campo realizadas en los seis cuadrantes del salón 121 de la Facultad de Arquitectura. El objetivo es evaluar la influencia de diferentes estrategias de climatización y ventilación tanto pasiva como activa sobre el confort térmico y la eficiencia energética de los espacios.

Diseño trabajo de campo

Identificación de factores e instrumentos de medición

Como primera instancia para poder realizar el trabajo de campo se generó un análisis de los factores que pueden ser medidos durante el trabajo de campo para así poder definir que sensores se planean utilizar.

El diseño del trabajo de campo consideró principalmente dos factores ambientales críticos para el confort térmico y la eficiencia energética: la temperatura espacial y el flujo del aire interior. La temperatura espacial es fundamental porque determina la sensación térmica de los ocupantes y el balance energético del espacio; variaciones de tan solo 1 °C pueden afectar significativamente el nivel de confort y el consumo energético del sistema de climatización. Por otra parte, el flujo de aire interno influye en la percepción de frescor y disminución de temperatura mediante la circulación de ráfagas de viento, esto es un factor muy importante a tener en cuenta ya que no solo mejora la renovación del aire interior, sino que también ayuda a evitar la concentración de temperatura en diferentes partes del salón que generen zonas de poco confort térmico. Para poder medir con mayor precisión y objetividad estos factores se plantea utilizar un sensor térmico, capaz de registrar variaciones de la temperatura interior en intervalos de tiempo cortos, y un anemómetro de hélice, con una capacidad de captar ráfagas de aire mínimas de 0,1 m/s. Estos sensores garantizan lecturas objetivas de la temperatura y de la velocidad del aire en diferentes puntos del salón.

Variables para el diseño de escenarios del trabajo de campo

Para diseñar los escenarios de medición se definieron dos categorías de variables principales: Estrategias de ventilación activa (aire acondicionado) y estrategias de ventilación pasiva (ventilación natural por medio de puertas y ventanas). Cada categoría incluye varias subvariaciones que reflejan las condiciones más representativas y permiten evaluar su impacto en el confort térmico, la temperatura, la eficiencia energética y el flujo de aire.

Ventilación activa (aire acondicionado): El salón cuenta con un sistema de aire acondicionado convencional (no HVAC) que permite controlar la temperatura del ambiente interior, el rango máximo de temperatura que posee es de 22° con un consumo energético medio, mientras que el rango mínimo de temperatura que posee es de 17° con un consumo energético mucho más alto. Este sistema fue considerado en tres configuraciones distintas para analizar su impacto en el confort térmico y la eficiencia energética:

- **Aire acondicionado al máximo de temperatura (22 °C):** eficiencia energética media, consumo moderado comparado con otras estrategias; mantiene temperatura controlada estable y confort térmico elevado ya que actúa a una temperatura muy neutra.
- **Aire acondicionado al mínimo de temperatura (17 °C):** eficiencia energética baja, consumo elevado; provoca sobre enfriamiento y poco confort térmico debido a sus bajas temperaturas.
- **Sin aire acondicionado:** eficiencia energética alta, sin consumo eléctrico; depende exclusivamente de la ventilación natural y condiciones climáticas externas para mantener el confort térmico.

Estas variaciones permiten cuantificar el balance entre consumo energético y nivel de confort térmico, así como analizar la respuesta del espacio ante diferentes consignas de temperatura.

Ventilación natural: La ventilación natural constituye una estrategia pasiva de climatización que aprovecha las diferencias de presión ambientales y temperatura entre el interior y el exterior del edificio para generar movimiento de aire sin recurrir al uso de sistemas mecánicos. La efectividad del salón va a depender de factores y elementos arquitectónicos (ubicación y tamaño de aberturas,

orientación del edificio, quiebra soles, vegetación) y ambientales (velocidad y dirección del viento, temperatura exterior), lo cual la convierte en una alternativa de bajo impacto energético con alto potencial de confort térmico si se diseña adecuadamente, y a través del mapeo técnico del caso de estudio, se considera que el salón posee características muy interesantes para el desarrollo de una ventilación natural ideal.^[A11]

Para este estudio se analizaron cuatro configuraciones representativas de apertura de puertas y ventanas, considerando su influencia en la renovación de aire, la velocidad del flujo y la percepción térmica de los usuarios:

- **Puertas y ventanas abiertas:** ventilación cruzada máxima, renovación constante de aire, reducción natural de temperatura; eficiencia energética alta; flujo de aire elevado y sensación de frescor.
- **Solo ventanas abiertas:** renovación importante de aire desde el exterior (jardín), flujo moderado; eficiencia energética alta; contribuye a disipar calor sin alterar en exceso la temperatura operativa.
- **Solo puerta abierta:** renovación mínima de aire desde el corredor, flujo reducido; eficiencia energética alta; limitada capacidad de enfriamiento pasivo.
- **Puertas y ventanas cerradas:** ausencia de renovación de aire, acumulación térmica; eficiencia energética alta (sin consumo), pero provoca aumento de temperatura y poco confort.

Al combinar todas estas variables previamente nombradas de ventilación activa y ventilación pasiva se generan múltiples escenarios que permiten evaluar cómo interactúan temperatura, flujo de aire, renovación de aire y eficiencia energética para determinar las condiciones óptimas de confort térmico. Por ejemplo, un escenario con aire acondicionado a 22 °C y ventilación cruzada maximiza confort y con un consumo energético moderado, mientras que sin climatización y con ventanas cerradas se produce el peor nivel de confort a pesar de no consumir energía.

Zonificación del caso de estudio

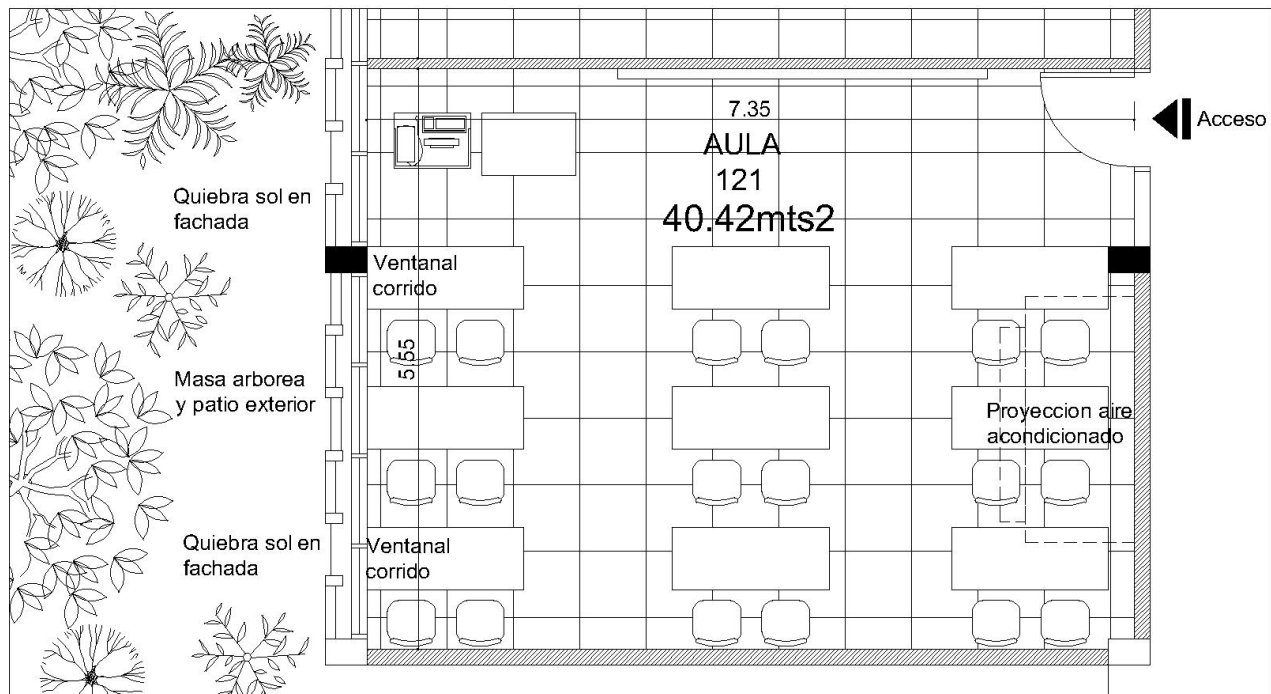


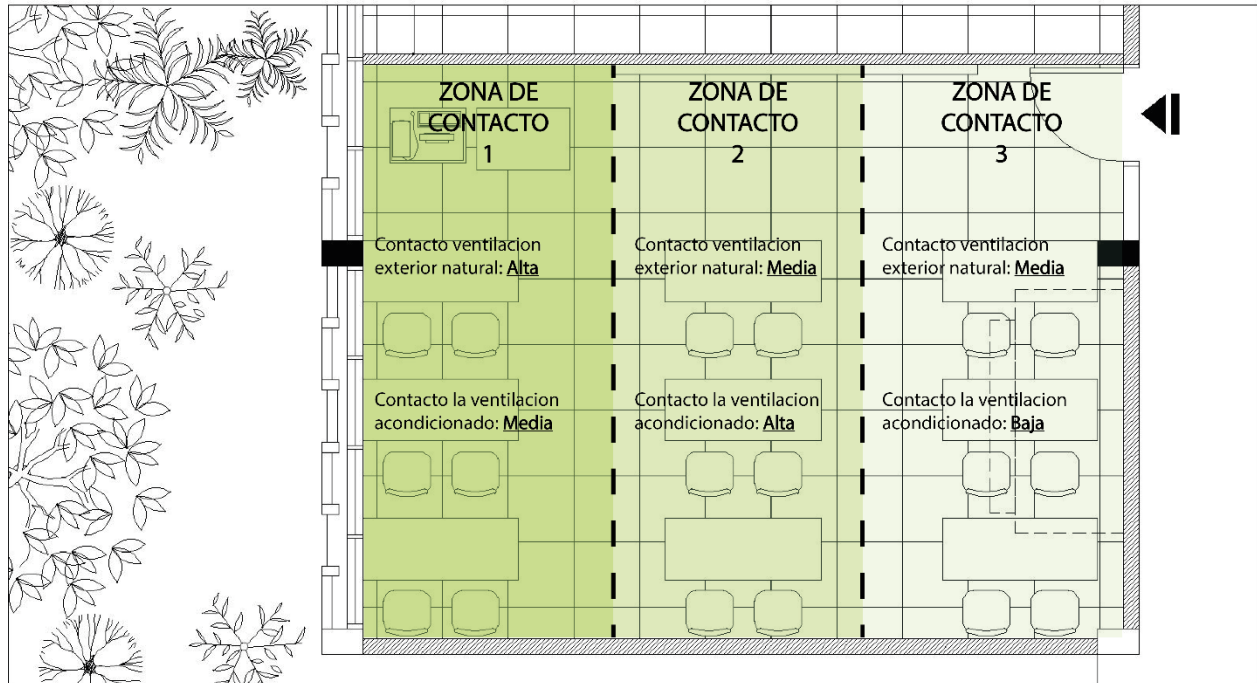
Imagen 2 planta Aula 121. Caso de estudio. Elaboración propia

Al identificar las variables a tener en cuenta dentro de las mediciones, también se deben considerar los puntos específicos del salón donde estas mediciones se realizan. La zonificación interna del espacio fue una estrategia clave en el desarrollo del trabajo de campo, ya que permite captar con mayor precisión la variabilidad espacial de las condiciones térmicas y del flujo de aire dentro del salón.

Dividir el salón en zonas permite entender cómo se distribuyen el calor y el movimiento del aire en el interior, y cómo estos afectan de forma diferenciada a los usuarios según su ubicación. No es lo mismo estar situado directamente bajo el flujo del aire acondicionado, que junto a una ventana expuesta al exterior o en una esquina alejada sin acceso a corrientes de aire. Estas diferencias generan microclimas interiores que influyen directamente en la percepción de confort térmico.

Además, medir por zonas permite identificar posibles puntos críticos de acumulación de calor o estancamiento del aire, lo que es esencial para proponer soluciones arquitectónicas eficaces. Las diferencias entre zonas también evidencian la efectividad de las estrategias de ventilación pasiva o activa en función de su alcance y cobertura real dentro del espacio. Esta aproximación zonificada fortalece la validez del análisis y proporciona datos más representativos para establecer recomendaciones precisas de diseño y uso del espacio.

Para poder subdividir el salón se tuvo como primer concepto la zona de contacto que se entiende que el nivel de interacción que hay entre las diferentes variables de ventilación de aire acondicionado y ventilación natural en diferentes puntos del salón, de las cuales se identificaron 3 zonas, en los costados del salón y en el salón, la zona de contacto 1 se caracteriza por estar cerca a las ventanas y alejado del aire acondicionado, por lo que su impacto de ventilación natural es mucho mas directo que en cualquier otra zona, la zona de contacto 2 se caracteriza por estar a la misma distancia de las ventanas y del aire acondicionado, recibiendo los 2 tipos de ventilación en simultaneo, pero con la característica única que el aire acondicionado impacta de manera mucho mas directa debido a que esta zona concuerda con el Angulo de expulsión de las ráfagas de viento del aire acondicionado, y finalmente la zona de contacto 3 que se ubica en el costado cerca a la puerta de acceso, esta zona tiene la característica única de ser la que menos contacto tiene con las diferentes variables de ventilación, debido a que al estar muy alejado del sistema de ventanas, no recibe de manera directa ventilación natural relevante, solo recibe las ráfagas de aire que llegan por medio de la puerta de acceso, por parte de la ventilación activa no recibe algún tipo de contacto ya que al estar debajo del aire acondicionado no concuerda con ningún ángulo de la expulsión de ráfagas del sistema de aire acondicionado.

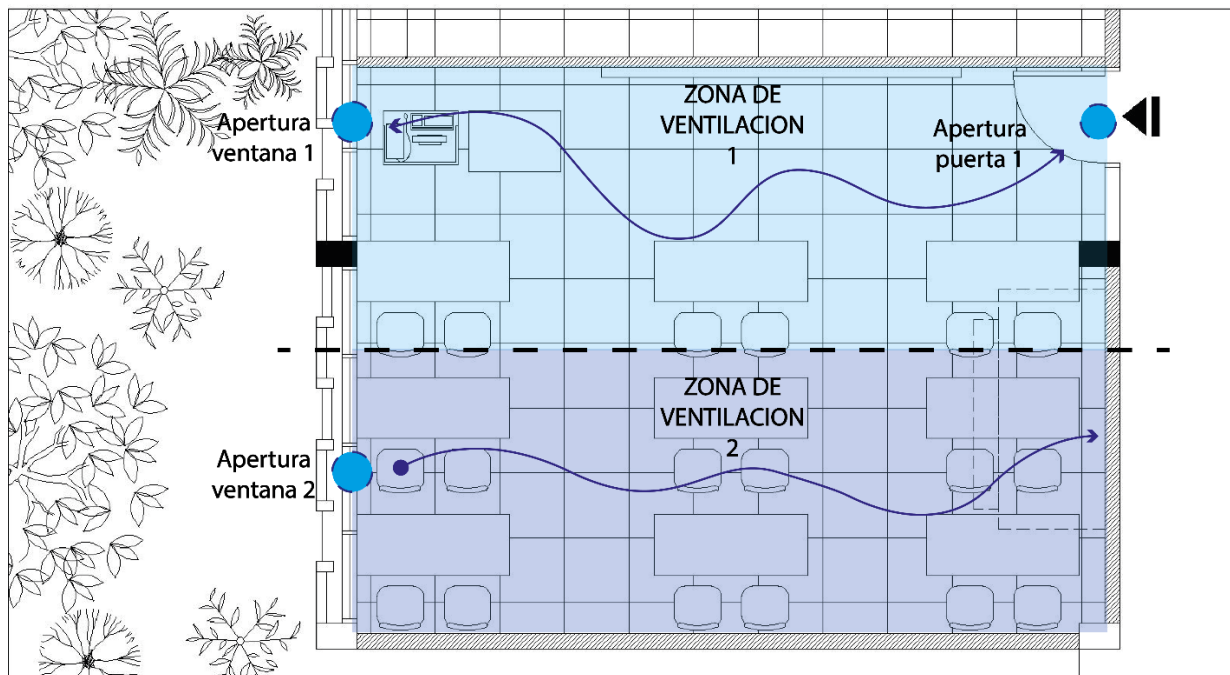


Esquema 8 de distribución de zonas de contacto del Aula 121. Elaboración propia.

Después de subdividir el salón verticalmente por las zonas de contacto de ventilación, se tuvo en cuenta otro tipo de concepto para la distribución, el cual era la zona de ventilación, que se definen como los tipos de zonas que varían teniendo en cuenta el flujo de aire que se obtiene por medio de su circulación transversalmente entre las diferentes aperturas de puertas y ventanas, con el fin de analizar la renovación de aire, el cambio de temperatura que se obtiene por el flujo de ráfagas de viento y la percepción térmica que tienen las personas cuando están cerca a alguna de estas zonas. La integración de esta zonificación transversal permitió identificar con mayor precisión los microclimas interiores y entender cómo el flujo de aire puede ser potenciada o limitada por el diseño arquitectónico, la disposición de los sistemas de ventanas u otros elementos arquitectónicos y las condiciones de apertura del salón. Combinada con la zonificación vertical previa, esta

estrategia proporciona una lectura más amplia del ambiente térmico, clave para la formulación de recomendaciones de diseño más contextualizadas, eficientes y centradas en la experiencia real de los usuarios.

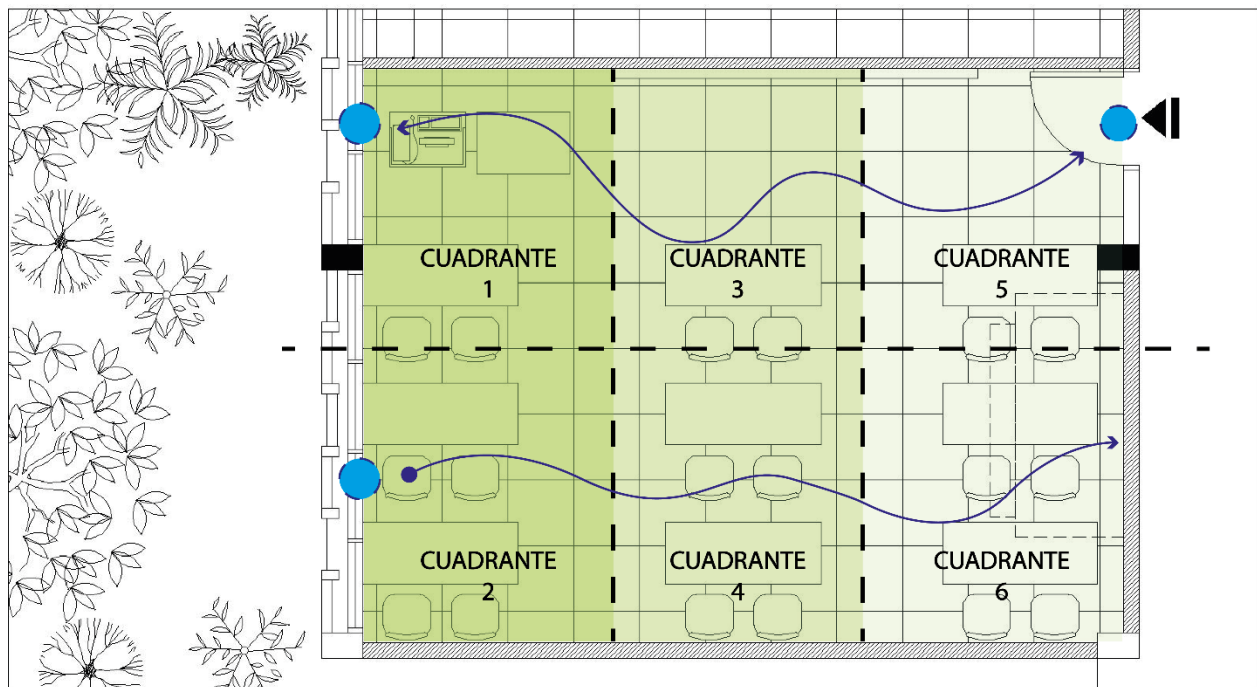
Al tener claro este concepto se procedió a subdividir el salo en 2 zonas de ventilación transversal identificadas dentro del salón gracias a la cantidad de aperturas disponibles en el sistema de ventanas corredizas. La zona de ventilación 1 esta alineada por un lado con la primera apertura de las ventanas y por otro lado con la apertura de la puerta de acceso principal, esta zona de ventilación es la más importante ya que es la única zona que cuenta con ventilación cruzada libre en caso de apertura entre puerta y ventanas, lo cual permite un incremento significativo en las ráfagas de viento y en las renovaciones de aire efectivas dentro del salón, la zona de ventilación 2 esta alineada solo con la segunda apertura de ventanas del sistema, esta zona no tiene ningún tipo de ventilación cruzada ya que no cuenta con un elemento de apertura en el otro lado para hacer efectivo el intercambio de ráfagas de viento, sin embargo tiene una ventilación unilateral que sirve como apoyo a la parte inferior del salón y refuerza la ventilación cruzada de la zona de ventilación 1.



Esquema 9 de distribución de zonas de ventilación del Aula 121. Elaboración propia.

Finalmente, al ya tener estas subdivisiones conceptuales previas, se plantea unificarlas y traslaparlas con el fin de generar una subdivisión final que combine tanto las zonas de ventilación

y las zonas de contacto, para que de esta manera salgan a la luz cuadrantes que me indiquen en que lugar debo generar las mediciones internas del salón y que se garanticen datos que varíen según las variables que se están teniendo en cuenta.



Esquema 10 de distribución de cuadrantes Aula 121. Elaboración propia.

Cada cuadrante del salón funciona como un microambiente con condiciones únicas de ventilación y temperatura, determinadas por su proximidad a ventanas, puertas o fuentes de ventilación. Al analizar cada uno de estos sectores de manera independiente, podemos simular la experiencia real de un ocupante que se sitúa en distintas posiciones dentro del aula: junto a la corriente fresca que entra por una ventana, en el corredor de aire generado entre dos aberturas, o en un rincón donde el flujo es casi nulo. Esta zonificación detallada nos permite configurar múltiples escenarios,

combinando aperturas de puertas y ventanas con diferentes ajustes del aire acondicionado y aplicar en cada cuadrante la misma metodología de medición: registrar la temperatura, cuantificar la velocidad del aire y recoger la percepción subjetiva de confort térmico. De este modo, no solo obtenemos un mapa espacial de condiciones ambientales, sino que también comprendemos cómo varía la sensación de bienestar de los usuarios según el punto exacto en el que se encuentren, lo cual es crucial para proponer soluciones arquitectónicas y de operación que garanticen un confort homogéneo en todo el espacio.

Toma de medidas con sensores y recolección de datos

Al generar todos los análisis preliminares se comienza generando una tabla en Excel que permita organizar los datos obtenidos por cada uno de los sensores, se parte teniendo que las tablas van ir dirigidas a los cuadrantes previamente definidos y que a partir de estos se van a desligar las diferentes combinaciones de aire acondicionado que son 3 (22°, 17° y sin aire acondicionado), estas combinaciones de aire acondicionado van ir acompañadas y entrelazadas a su vez con las diferentes variables de ventilación natural. La estructura de esta tabla va a permitir organizar 12 combinaciones de escenarios posibles dentro de cada uno de los cuadrantes, enriqueciendo así la base de datos que se busca obtener. Al generar todos estos escenarios, se buscarán obtener los datos de temperatura, flujo de aire y percepción térmica que anteriormente había mencionado con el fin de analizar con objetividad la disposición de las personas y las condiciones micro climáticas de cada uno de los cuadrantes. Al definir todo esto, la tabla base para almacenar los datos en Excel quedaría así.

	CUADRANTE 1								
	Aire acondicionado maximo (22°)			Aire acondicionado al minimo (17°)			Sin aire acondicionado		
	Temperatura	Flujo de aire	Percepcion termica	Temperatura	Flujo de aire	Percepcion termica	Temperatura	Flujo de aire	Percepcion termica
Puertas y ventanas abiertas									
Solo ventanas abiertas									
Solo puerta abierta									
Todo cerrado									

Tabla 1 base de datos Aula 121. Elaboración propia.

Todas las mediciones de los sensores y la encuesta de percepción térmica se llevarán a cabo en horas de la tarde, ya que los resultados de las encuestas generales identificaron este periodo como el momento de mayor malestar térmico en los salones de clase de la UPB, la temperatura promedio

de medellin durante esas horas esta entre 27° y 28. Durante la toma de datos, se aplicará de nuevo la encuesta de percepción en cada uno de los escenarios planteados (combinaciones de aperturas y ajustes del aire acondicionado) a una compañera de trabajo que dispuso de tiempo para el acompañamiento de todo el proceso de toma de datos para recoger la experiencia subjetiva de los usuarios en tiempo real. Estos datos cualitativos se contrastarán con las lecturas instrumentales de temperatura y velocidad del aire, de modo que podamos detectar situaciones en las que, por ejemplo, una temperatura elevada acompañada de un flujo de aire intenso produce una sensación de confort agradable, o bien cuando una consigna de aire acondicionado baja con escaso movimiento de aire genera sensación de frío extremo. El registro simultáneo de ambos tipos de información permitirá no solo cuantificar los valores ambientales, sino también comprender cómo interactúan entre sí las variables físicas y la percepción humana, lo cual es fundamental para diseñar estrategias de climatización y ventilación que respondan de manera eficaz a las necesidades reales de los ocupantes.



Imagen 3 toma de medidas Aula 121. Elaboración propia

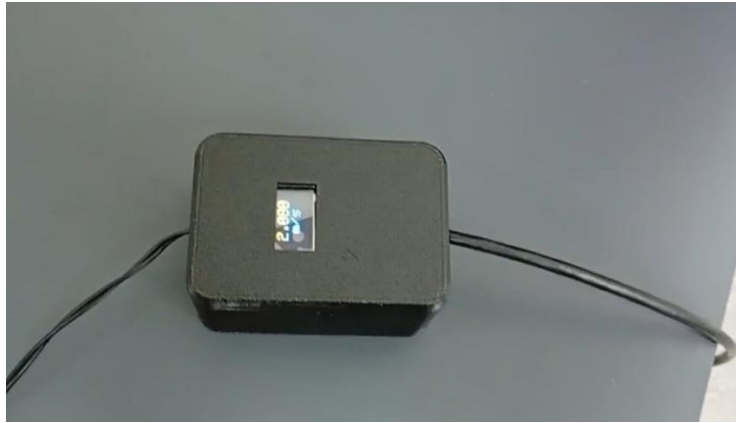


Imagen 4 toma de medidas Aula 121. Elaboración propia



Imagen 5 toma de medidas Aula 121. Elaboración propia

Durante las mediciones también se tuvo en cuenta el factor de eficiencia energética el cual dependía de la variante del aire acondicionado, ya que era el único elemento que generaba un gasto importante en la energía del entorno, por lo que se dispuso de un pequeño sistema de puntos para cuantificar su eficiencia energética de la siguiente manera:

- Los resultados de datos se contrasten con el aire acondicionado en 17° van a tener 1 asteriscos (*) dentro de la tabla, lo que simboliza que su gasto energético es alto y su **efectividad baja**

- Los datos que contrasten con el aire acondicionado en 22° van a tener 2 asteriscos (**) dentro de la tabla, lo que simboliza que su gasto energético es medio y su **efectividad es media**
- Los datos que contrasten con el aire acondicionado apagado van a tener 3 asteriscos (***) dentro de la tabla, lo que simboliza que su gasto energético es bajo y su **efectividad es alta**

Teniendo en cuenta todo lo anterior los resultados de las mediciones de sensores cuantitativamente y de la encuesta de percepción térmica cualitativamente dentro de los 6 cuadrantes con todas las posibles combinaciones de escenarios son los siguientes.

CUADRANTE 1									
	Aire acondicionado maximo (22°) **			Aire acondicionado al minimo (17°)*			Sin aire acondicionado***		
	Temperatura	Flujo de aire	Percepcion termica	Temperatura	Flujo de aire	Percepcion termica	Temperatura	Flujo de aire	Percepcion termica
Puertas y ventanas abiertas	21.25°	1.8m/s	Muy confortable	19.5	1.9m/s	Frio	22°	1.8m/s	muy confortable
Solo ventanas abiertas	21.75°	0.280m/s	Muy confortable	21.25°	0.320m/s	confortable	22.75°	0.280m/s	confortable
Solo puerta abierta	22°	0.00 m/s	Confortable	18.5°	0.00m/s	Frio	24.5°	0.00 m/s	Muy caluroso
Todo cerrado	22°	0.00 m/s	Confortable	18°	0.00m/s	Muy frio	25°	0.00 m/s	Muy caluroso

CUADRANTE 2									
	Aire acondicionado maximo (22°) **			Aire acondicionado al minimo (17°)*			Sin aire acondicionado***		
	Temperatura	Flujo de aire	Percepcion termica	Temperatura	Flujo de aire	Percepcion termica	Temperatura	Flujo de aire	Percepcion termica
Puertas y ventanas abiertas	21.5°	0.310m/s	Muy confortable	20°	0.400m/s	confortable	22.25°	0.400m/s	muy confortable
Solo ventanas abiertas	21.5°	0.310m/s	Muy confortable	21.75	0.400m/s	confortable	22.5°	0.360m/s	confortable
Solo puerta abierta	22°	0.00m/s	Confortable	18.25°	0.00m/s	Frio	25°	0.00 m/s	Muy caluroso
Todo cerrado	22°	0.00m/s	Confortable	18°	0.00m/s	Muy frio	25°	0.00 m/s	Muy caluroso

Tabla 2 Base de datos cuadrante 1y 2 Aula 121. Elaboracion propia

CUADRANTE 3									
	Aire acondicionado maximo (22°) **			Aire acondicionado al minimo (17°)*			Sin aire acondicionado***		
	Temperatura	Flujo de aire	Percepcion termica	Temperatura	Flujo de aire	Percepcion termica	Temperatura	Flujo de aire	Percepcion termica
Puertas y ventanas abiertas	21°	1.3m/s	Muy confortable	19°	1.3m/s	Frio	22°	1.2	muy confortable
Solo ventanas abiertas	21.25°	0.280m/s	Muy confortable	19°	0.650m/s	Frio	23.5	0.100 m/s	confortable
Solo puerta abierta	21.75°	0.120m/s	Muy confortable	18.25°	0.450m/s	Muy frio	24.5°	0.00 m/s	Muy caluroso
Todo cerrado	22°	0.120m/s		17.25°	0.450m/s	Muy frio	25°	0.00 m/s	Muy caluroso

CUADRANTE 4									
	Aire acondicionado maximo (22°) **			Aire acondicionado al minimo (17°)*			Sin aire acondicionado***		
	Temperatura	Flujo de aire	Percepcion termica	Temperatura	Flujo de aire	Percepcion termica	Temperatura	Flujo de aire	Percepcion termica
Puertas y ventanas abiertas	21°	0.300m/s	Muy confortable	19.25°	0.650m/s	Frio	23°	0.200 m/s	confortable
Solo ventanas abiertas	21.75°	0.300m/s	Muy confortable	19°	0.650m/s	Frio	23.25°	0.180 m/s	confortable
Solo puerta abierta	22°	0.120m/s	Muy confortable	18°	0.450m/s	Muy frio	25°	0.00 m/s	Muy caluroso
Todo cerrado	22°	0.120m/s	Muy confortable	17.25°	0.450m/s	Muy frio	25°	0.00 m/s	Muy caluroso

Tabla 3 base de datos cuadrante 3 y 4 Aula 121. Elaboración propia.

	CUADRANTE 5								
	Aire acondicionado maximo (22°) **			Aire acondicionado al minimo (17°)*			Sin aire acondicionado***		
	Temperatura	Flujo de aire	Percepcion termica	Temperatura	Flujo de aire	Percepcion termica	Temperatura	Flujo de aire	Percepcion termica
Puertas y ventanas abiertas	21.25°	1.2m/s	Muy confortable	21°	1.3 m/s	Muy confortable	22°	1.2 m/s	muy confortable
Solo ventanas abiertas	21.75°	0.00m/s	Confortable	20°	0.00m/s	Confortable	23.75°	0.00m/s	ligeramente corfotable
Solo puerta abierta	21.5°	0.00m/s	Confortable	19.5°	0.00m/s	Frio	24.25°	0.00m/s	Caluroso
Todo cerrado	22°	0.00m/s	Confortable	18.75°	0.00 m/s	Muy frio	25°	0.00 m/s	Muy caluroso

	CUADRANTE 6								
	Aire acondicionado maximo (22°) **			Aire acondicionado al minimo (17°)*			Sin aire acondicionado***		
	Temperatura	Flujo de aire	Percepcion termica	Temperatura	Flujo de aire	Percepcion termica	Temperatura	Flujo de aire	Percepcion termica
Puertas y ventanas abiertas	21.75°	0.00m/s	Confortable	21.75°	0.00m/s	Muy Confortable	23°	0.00m/s	Confortable
Solo ventanas abiertas	22°	0.00m/s	Confortable	20°	0.00m/s	Confortable	23.5	0.00m/s	ligeramente conforttable
Solo puerta abierta	21.75°	0.00m/s	Confortable	19°	0.00 m/s	Frio	24.75°	0.00m/s	Muy caluroso
Todo cerrado	22°	0.00 m/s	Confortable	18.25°	0.00m/s	Frio	25°	0.00 m/s	Muy caluroso

Tabla 4 base de datos cuadrante 5 y 6 Aula 121. Elaboración propia.

Conclusiones preliminares^[A12]

Los resultados preliminares en los seis cuadrantes muestran un patrón claro. Bajo ventilación activa a 22 °C y ventilación cruzada, todos los cuadrantes alcanzaron temperaturas operativas estables (21–22 °C), flujos de aire de 0,12–1,3 m/s y percepciones entre “Muy confortable” y “Confortable”, confirmando la eficacia uniforme del sistema. Al bajar la consigna a 17 °C, la mayoría de las zonas experimentó sobre enfriamiento (“Frio” a “Muy frio”), salvo en los cuadrantes 5 y 6, donde la ventilación cruzada atenuó el exceso de frío, logrando “Muy confortable” y “Confortable”. En ausencia de ventilación activa, la ventilación natural cruzada mantuvo niveles de confort “Muy confortable” en los cuadrantes 1, 2, 3 y 5, y “Confortable” en 4 y 6; en cambio, con aperturas limitadas (solo ventanas) el confort se volvió marginal, y al restringir completamente el flujo (solo puerta o todo cerrado) la sensación fue de “Muy caluroso” en todos los cuadrantes. Estas variaciones, aunque consistentes con las tendencias generales, reflejan la influencia de la orientación y la carga térmica específicas de cada cuadrante, enfatizando más la necesidad de ajustar las estrategias de ventilación a las condiciones particulares de cada zona para optimizar simultáneamente confort térmico y eficiencia energética.

Conclusiones

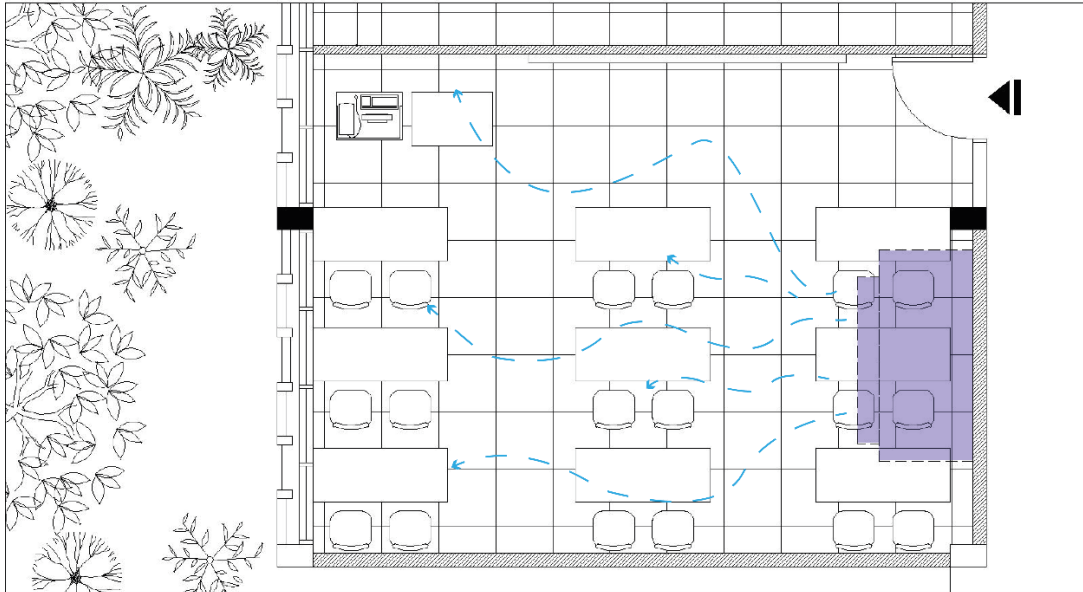
A partir del análisis realizado en el salón de la Facultad de Arquitectura, y considerando tanto las mediciones in situ como el análisis de los conceptos de las estrategias de ventilación pasiva y activa, se logró identificar una serie de hallazgos clave en relación con el confort térmico y la eficiencia energética de los espacios académicos. Estas conclusiones permiten comprender el comportamiento térmico actual del salón, así como las oportunidades de mejora en el diseño y uso de los mismos, con el objetivo de optimizar las condiciones ambientales para los usuarios.

A lo largo de esta investigación se buscó llegar de manera integral a cada uno de los objetivos previamente planteados, aportando de forma concreta al contenido de la investigación, como primera instancia se tenía previsto comparar las estrategias de ventilación mecánica (activa) frente a la natural (pasiva) en función de la eficiencia energética y el confort, lo cual se logró de manera óptima mediante el diseño de distintos escenarios de prueba (activa, pasiva e híbrida) dentro de los salones de la UPB como caso de estudio, la instrumentación de sensores para registrar temperaturas, velocidades de aire, y el análisis estadístico de los datos obtenidos. Esto permitió visualizar de manera clara las diferencias en desempeño energético y térmico entre los distintos sistemas. Esta comparación dio como fruto ciertos resultados que son útiles a la hora de decidir si es factible prender el aire acondicionado o si es suficiente con la ventilación natural que ofrece el entorno. Dentro de un salón de clase, es de suma importancia mantener niveles de confort óptimos que no solo garanticen el bienestar de las personas en su interior, sino también la concentración de los estudiantes durante la clase, para realizar trabajos, actividades y diferentes intercambios de conocimiento entre sí. Nadie sería capaz de realizar todo esto adecuadamente si se encuentra expuesto a una temperatura muy baja o alta.

La temperatura es un factor demasiado importante que a menudo subestimamos al momento de diseñar edificios de cualquier tipología, ya sean residenciales, educativos, comerciales, clínicos, etc. El diseño de cualquier tipo de espacio debe ser analizado previamente para definir qué tipo de estrategias implementar, procurando un correcto manejo de la energía y un confort térmico adecuado para los usuarios.

A pesar de que los salones de clase de la UPB cuentan con un diseño de ventilación pasivo funcional —que permite el intercambio de ventilación cruzada entre el interior y el exterior— y además utilizan elementos propios del diseño pasivo como los quebrasoles en fachada, vegetación externa que sirve como filtro de calor y ventanales corridos que permiten múltiples aperturas para la ventilación natural, estos elementos no son suficientes para satisfacer la sensación de confort térmico durante las jornadas de la tarde, cuando la temperatura alcanza los niveles máximos del día (entre 28° y 29° Celsius).

Teniendo en cuenta que una ciudad como Medellín, bioclimáticamente hablando, tiene temperaturas muy cercanas a las ideales que buscan los expertos, es precisamente en estos momentos de alta carga térmica cuando se vuelve necesario hablar de las estrategias de diseño activo, las cuales ofrecen un mayor control del ambiente que las pasivas, enfocándonos específicamente en el uso de aires acondicionados que son los más comunes dentro de este diseño ya que con un simple control puedes elegir la temperatura ambiente a la que deseas estar, sin embargo, se debe realizar un análisis previo para saber que tipo de aire acondicionado se debe instalar y dentro de los salones de la universidad se observó durante el proceso de medición que no se llevo un proceso investigativo correcto a la hora de instalar y adquirir los sistemas de aire acondicionado, debido a que el salón del caso de estudio cuenta con un sistema de aire acondicionado bastante sofisticado y grande para un salón pequeño en el que las temperaturas no son tan altas y su área es muy mínima, con unos 40 m² aproximadamente, por lo que una de las conclusiones que se tiene es que no es necesario el uso de sofisticados sistemas de aire acondicionado en espacios que contienen requerimientos mínimos y espacios reducidos como el salón de clases previamente analizado, ya que este tipo de sistemas puede disminuir en gran medida la temperatura ambiente afectando el confort térmico de las personas, esto se puede evidenciar en la tabla de resultados que se obtuvo con los sensores donde el aire acondicionado alcanzaba temperaturas bajas de 17° generando percepciones térmicas muy frías e incómodas para trabajar.



Esquema 11 ubicación y ventilación sistema AC Aula 121. Elaboración propia.

En contraste a esto también cabe destacar el lugar donde se instaló el aire acondicionado, el cual fue muy poco estratégico ya que no genera un control totalmente uniforme en todo el salón, ya que hay espacios que no cubre completamente y deja por decirlo así “islas” de temperaturas ligeramente más bajas y altas alrededor de todo el salón, estas islas están presentes principalmente en las zonas de contacto 2 y 3 (ver esquema 8) donde la zona de contacto número 2 se encuentra con el contacto directo de la salida del aire acondicionado ya que la dirección apunta directamente a esta área, por lo que allí se mantiene un control preciso de la temperatura gracias al aire, en cambio en la zona de contacto 3 que está debajo del aire acondicionado, no llega ningún tipo de circulación de ventilación condicionada por este mecanismo, y esta muy aislada en general de todo el salón, por lo que se genera una “isla” de temperatura un poco más alta con respecto a las demás.

En relación con el primer objetivo específico, se identificó el comportamiento térmico y el consumo energético de un aula bajo cada escenario: los registros mostraron que la ventilación pasiva mantiene temperaturas más estables con un consumo nulo de energía, mientras que la

mecánica enfría más rápido a costa de un mayor gasto eléctrico, y la híbrida ofrece un equilibrio entre ambos, esto se analizó por medio del sistema de puntos que se consolidó previamente que establecía que; (*) eficiencia energética baja, (**) eficiencia energética media y (***) eficiencia energética alta. En cuanto al comportamiento térmico del salón bajo estrategias pasivas se observa que funciona bastante bien gracias a la ventilación cruzada que disminuye considerablemente el calor acumulado dentro del salón y permite renovaciones de aire efectivas dentro del salón gracias al flujo de aire constante entre el interior y el exterior, la mayor ráfaga de aire que se observó durante el trabajo de campo arroja resultados de 2.00 m/s (ver imagen 2) lo cual es algo bastante impresionante para un salón de tan pequeñas dimensiones.

Para el segundo objetivo específico, el análisis combinó los datos instrumentales con encuestas de percepción de usuarios, estableciendo correlaciones entre variables objetivas (temperatura, humedad, consumo) y subjetivas (sensación térmica, preferencia). Así se determinó que, aunque la ventilación activa alcanza rápidamente la condición de confort, los usuarios valoran la calidad del aire y la sensación de frescura natural que brinda la pasiva, lo cual redundó en mayor satisfacción a largo plazo.

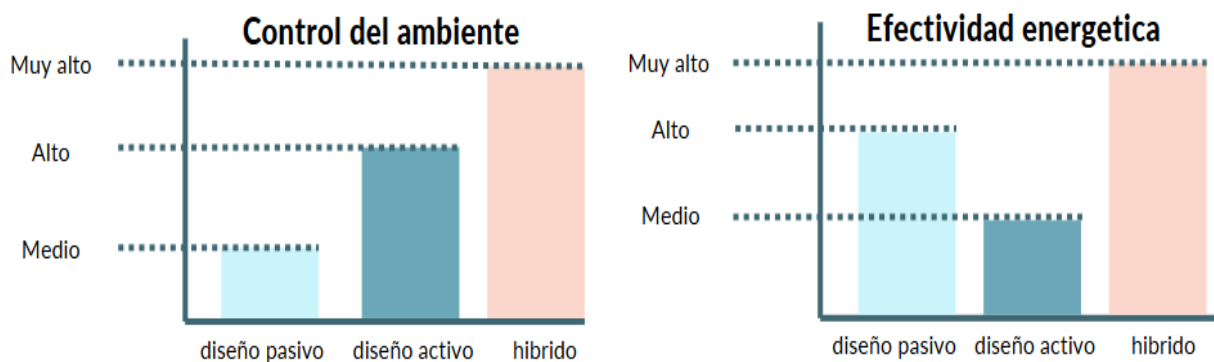
Finalmente, con base en el tercer objetivo específico, se evaluó la factibilidad de integrar ambas estrategias: a partir de la comparación de resultados obtenidos de los sensores ya que fueron bastante positivos cuando se combinaban ambas estrategias al mismo tiempo la percepción térmica era muy confortable y se mantenían temperaturas medias bastante positivas dentro del salón gracias al flujo constante de aire del exterior que permitía renovaciones efectivas de aire y al mismo tiempo se generaba un control indirecto de la temperatura con el aire acondicionado sin tener que desperdiciar grandes cantidades de energía, se formularon propuestas de diseño híbrido incluyendo apertura automática de ventanas y control inteligente de climatización que optimizan el uso de la energía y mejoran la experiencia térmica. De este modo, la monografía no solo evidencia comparaciones cuantitativas y cualitativas, sino que también aporta recomendaciones prácticas para futuras intervenciones arquitectónicas en la Universidad.

Teniendo en cuenta todo lo que se logró por medio de los objetivos planteados desde el principio de la investigación, se puede tener como conclusión de que el alcance principal de esta

investigación logro demostrar muchas de las ventajas y desventajas que tenían la estrategias de ventilación activas y pasivas, En primer lugar, se confirmó que la ventilación pasiva puede mantener condiciones térmicas estables con consumo energético nulo, evidenciando su potencial como estrategia de bajo costo para el confort básico siempre y cuando se implemente un buen uso de los elementos que ayudan a potenciar las ventajas de la ventilación natural como los quebrasoles, ventilación cruzada, vegetación, etc... En segundo lugar, se demostró que la ventilación activa (específicamente el uso de aire acondicionado) ofrece un control más preciso y rápido de la temperatura interior, aunque a costa de un aumento significativo en el gasto energético y requiere análisis previos para indicar su instalación y el tipo de equipo ideal según el tipo de espacio. El escenario híbrido puede hacerse realidad si se obtiene lo mejor de cada una de las estrategias de diseño activo y pasivo, ya que desde la hipótesis inicial de la investigación se tenía previsto implementar el uso de sistemas de ventilación híbrida que se alternan durante las diferentes horas del día con el fin de reducir el impacto del consumo energético y mejoren el confort térmico dentro de las aulas de clase, es por esto que finalmente esta investigación deja abierta la puerta futuras investigaciones que se relacionen directamente con el tema del análisis de los diferentes tipos de estrategias dentro del mundo de la arquitectura, ya que esta investigación sienta bases muy importantes para estudios futuros en varios frentes. En primer lugar, al demostrar la eficacia del sistema híbrido de ventilación (combinando estrategias pasivas y activas) en condiciones reales de aula, queda evidenciado por medio de resultados con sensores de temperatura y ventilación para evaluar soluciones bioclimáticas en entornos educativos y otros tipos de edificios. Esto facilitará a futuros investigadores diseñar temáticas y ensayos similares, incorporando sensores de temperatura, humedad y consumo energético para validar variantes de control automático de apertura de ventanas, uso de elementos pasivos adaptativos o gestión inteligente de climatización.

Además, en el contexto del cambio climático, donde se prevé un incremento de las olas de calor y mayor variabilidad térmica en escenarios futuros en más de 20 años, los resultados de esta investigación sobre reducción de picos de temperatura y ahorro energético en el modo híbrido ofrecen un argumento sólido para desarrollar estrategias de resiliencia térmica en la arquitectura. También se deja la puerta abierta para que se trabajen temas asociados como el diseño de espacios saludables, adaptabilidad de edificios a climas extremos o huella de carbono, podrán apoyarse en estos datos para sustentar propuestas de normas de construcción sostenible y normativas de eficiencia.

Finalmente, al combinar datos cuantitativos objetivos con percepción de usuarios, el estudio provee un marco metodológico integral de diferentes tipos de resultados que otras investigaciones pueden tomar como referencia para explorar nuevas variables: por ejemplo, integración de fuentes renovables, control predictivo basado en clima, o análisis de confort en diferentes latitudes. En conjunto, esta monografía no solo valida el potencial del enfoque híbrido, sino que abre múltiples líneas de investigación orientadas a optimizar el rendimiento energético y el bienestar térmico en la arquitectura del futuro. Mas allá de descubrir algo, esta investigación busca sentar las bases de muchas otras investigaciones que pueden sustentarse en los datos que ya arroja el análisis del desarrollo de esta monografía.

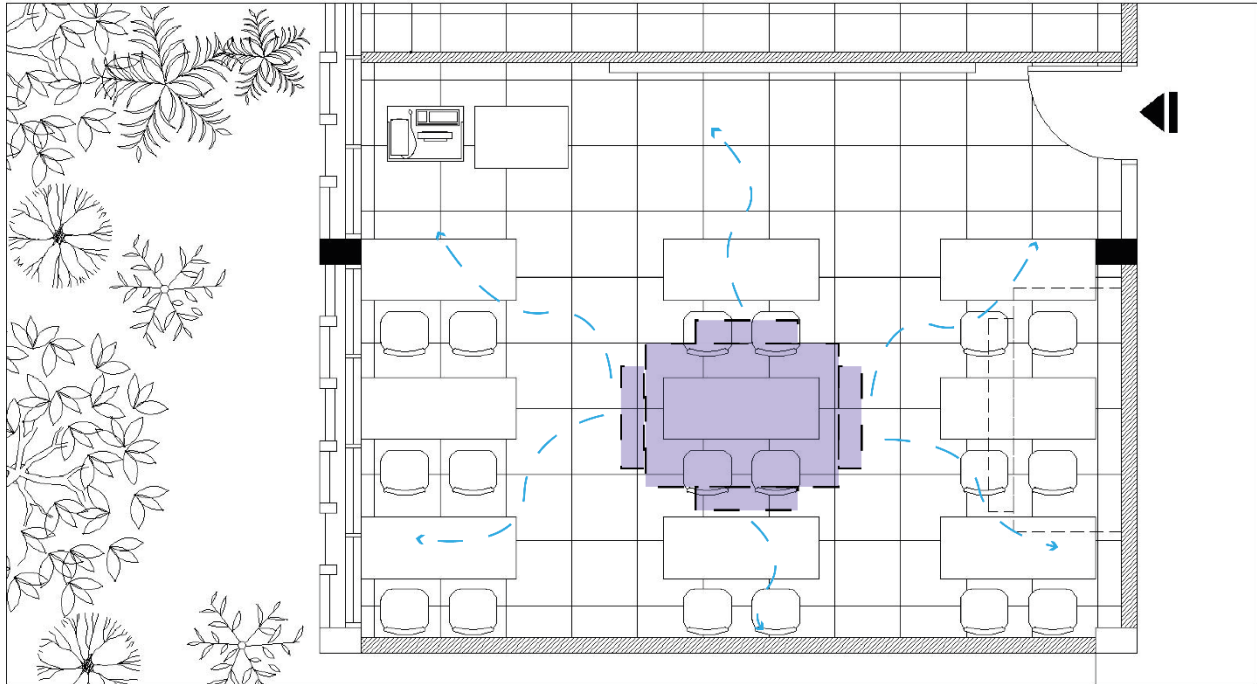


Esquema 12 control y efectividad de las diferentes estrategias. Elaboración propia.

Recomendaciones

En este apartado de recomendaciones, se articulan un conjunto de propuestas fundamentadas en los hallazgos cuantitativos y cualitativos obtenidos durante el estudio de los tres escenarios de ventilación (pasiva, activa e híbrida) en los salones de la Facultad de Arquitectura. El propósito central es transformar el conocimiento generado sobre eficiencia energética y confort térmico en soluciones prácticas y accesibles, capaces de implementarse tanto en intervenciones menores como en futuros proyectos de diseño o remodelación. Lo que se busca principalmente es potenciar al máximo las estrategias de diseño pasivo (ventilación cruzada optimizada, uso estratégico de quiebrasoles y vegetación exterior como amortiguadores térmicos) para reducir la dependencia excesiva de sistemas mecánicos y aprovechar los recursos climáticos locales. En contraste a esto, se plantean mecanismos de control inteligente de la ventilación activa a través de sensores de temperatura y humedad vinculados a actuadores de aire acondicionado y aperturas automatizadas que permitan accionar los equipos sólo cuando las condiciones reales superen los umbrales de confort definidos (22–25 °C). De este modo, se persigue un equilibrio dinámico entre ambas estrategias, donde el sistema híbrido actúe como respaldo eficiente en las franjas horarias de mayor ganancia térmica, evitando picos de consumo y garantizando un ambiente interior estable. Finalmente, estas recomendaciones aspiran a servir de marco de referencia para futuras intervenciones y proyectos de investigación, facilitando la replicabilidad de los resultados y promoviendo prácticas sostenibles que contribuyan al bienestar de los usuarios y a la mitigación del impacto ambiental de espacios.

Cabe destacar que, si se implementan estrategias activas, debe optarse por un sistema HVAC más sostenible y eficiente que el sistema de ventilación mecánica convencional del caso de estudio, el cual es poco eficiente y consume mucha más energía. Además, es fundamental seleccionar cuidadosamente la ubicación del aire acondicionado, considerando las dimensiones del salón de clase y su área, para evitar la formación de “islas” de temperatura en distintos puntos. De este modo, se logrará un control uniforme de la temperatura en cada rincón, tal como ocurre en los salones más modernos de la universidad, que cuentan con aires acondicionados HVAC capaces de expulsar ráfagas de aire lateralmente y por debajo de la unidad, garantizando que ningún espacio quede sin refrigerar. Adicionalmente, dicho sistema está diseñado para climatizar un único salón de aproximadamente 40 m² sin generar los sobreconsumos energéticos.



Esquema 13 ubicación y ventilación sistema AC Aula 121. Elaboración propia.

Una recomendación final que surge de los resultados de esta investigación es adoptar un modelo de sistema de ventilación híbrido/ mixto como la mejor solución para garantizar un confort óptimo en los estudiantes durante el día, especialmente en las horas de la tarde, cuando la acumulación de calor es mayor. En este sistema propuesto, durante las franjas de bajas temperaturas (mañana y noche) se desactivaría el aire acondicionado para aprovechar la ventilación natural, eliminando así el gasto energético y la necesidad de refrigerar el salón. En contraste, durante las horas de máxima exposición solar y temperaturas elevadas (tarde), las ventanas se cerrarían automáticamente y se activaría el sistema HVAC, permitiendo un control preciso de la temperatura interior y equilibrando el calor exterior con la refrigeración mecánica para generar un confort térmico óptimo.

De esta manera, el consumo de energía se limitaría a un único uso diario, es decir, cuando realmente es necesario, y el resto del día se trabajaría con recursos locales. Este enfoque ofrece múltiples ventajas: menor impacto ambiental, reducción del consumo energético, menor dependencia de los sistemas mecánicos, mayor concientización de las estrategias pasivas, renovación periódica del aire durante el día y diseños arquitectónicos más versátiles y adaptados al clima. En la siguiente imagen se puede apreciar los distintos usos que le damos a la ventilación natural y a la ventilación mecánica durante el día, esto o podemos relación con el uso que se plantea darle al salón, en el que se abre la ventana en las horas con menos impacto de sol, y las horas con mayor temperatura se optaría por cerrar las ventanas y encender el aire acondicionado. En el siguiente grafico se observa como al tener las ventanas abiertas se apaga el aire acondicionado, mientras que en las horas de mayor intensidad solar, se opta por cerrar las ventanas y encender el aire acondicionado.

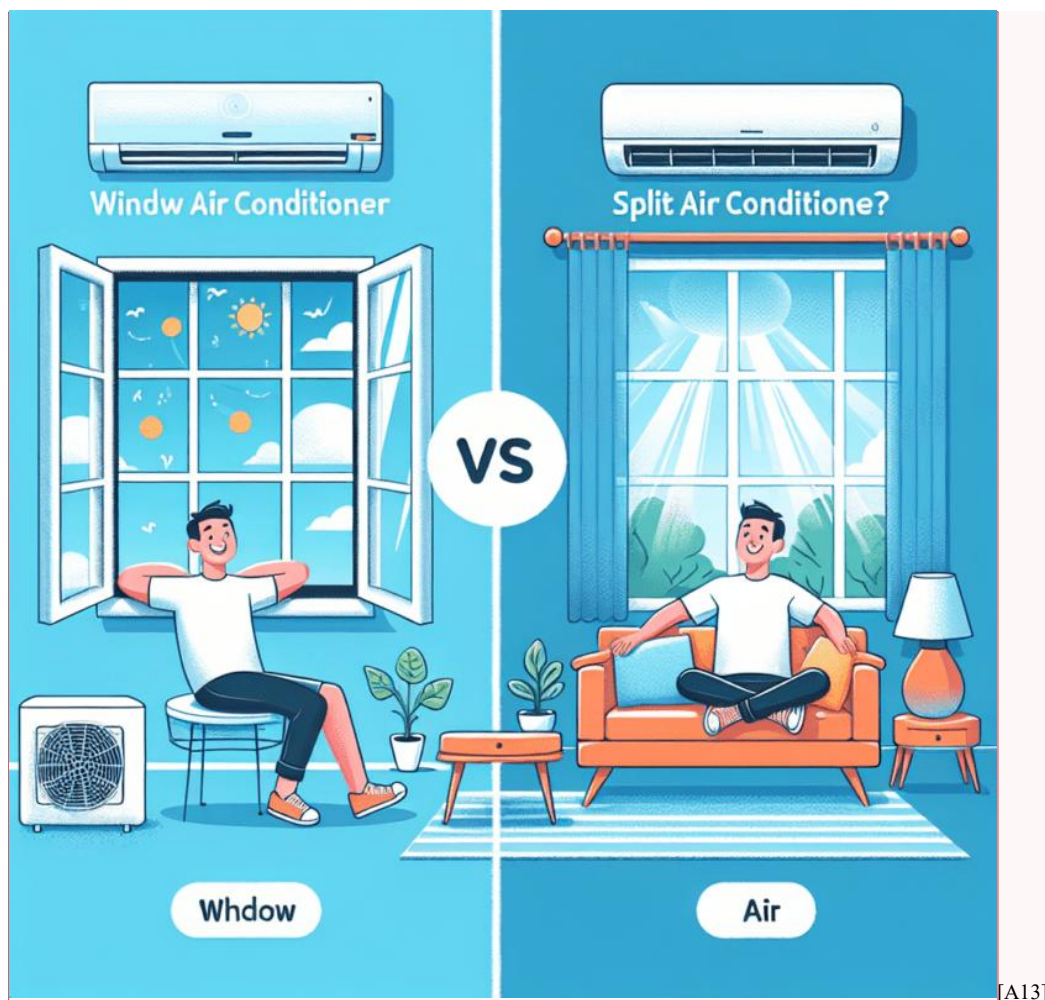
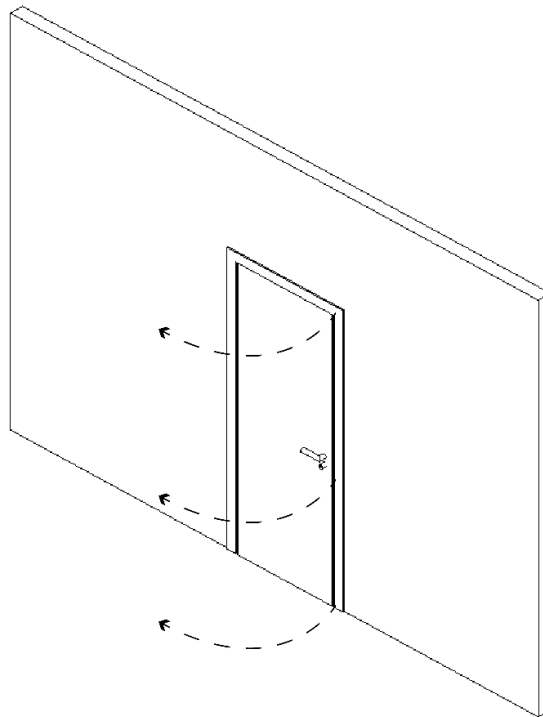


Imagen 6 Aire acondicionado vs ventana. Tomado de internet. Publicado en 2024-05-23 por electroomega

Manual del usuario^[A14]

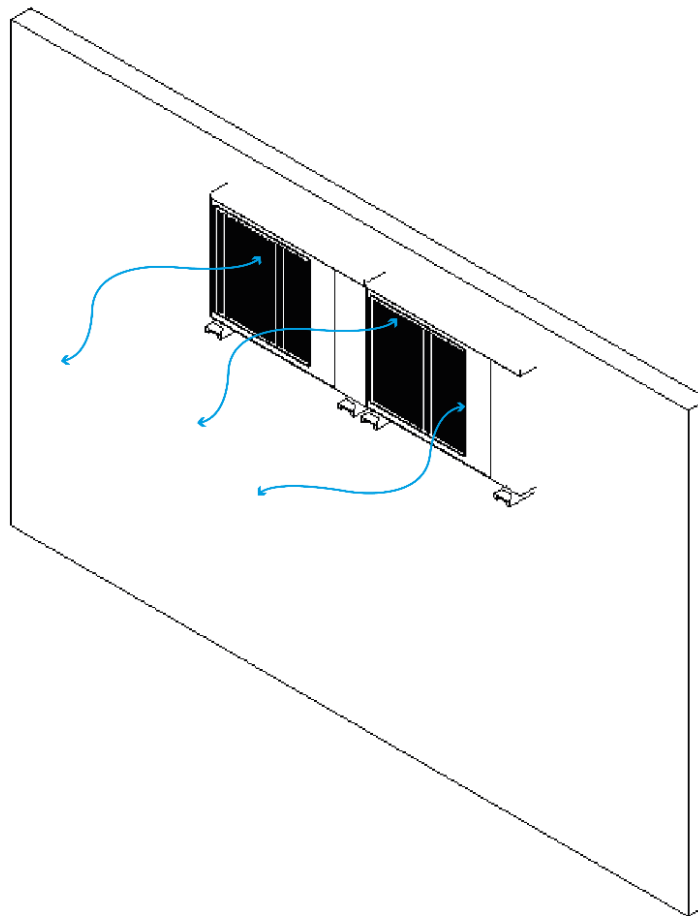
lo que se busca con este manual del usuario es que las personas lo utilicen como una guía a seguir para mejorar las condiciones térmicas y la eficiencia energética dentro de los salones clase de la UPB, con el fin de que se pueda lograr un confort térmico óptimo que permita una buena concentración de los estudiantes dentro del aula, para esto se elaboró una guía de lo que se debe realizar dentro del salón a diferentes horas del día, estas recomendaciones aplicarían para espacios con contextos y condiciones de diseño similares al evaluado en el caso de investigación (entornos académicos con estrategias mixtas en temperaturas similares a Medellín, Colombia)

MAÑANA (6am - 11:00 am): En horas de la mañana se logran temperaturas ambiente muy positivas ya que el sol no está concentrando luz directa en el lugar y además de eso el rocío de la vegetación del jardín exterior en la mañana ayuda a refrigerar naturalmente el ambiente, por lo que se recomienda ampliamente que solo se utilice ventilación natural, apagando los sistemas de aire acondicionado para evitar consumir energía innecesaria. Al abrir las puertas y ventanas se genera ventilación cruzada dentro del salón, permitiendo renovación del aire y paso de ráfagas de viento que contribuyen a estabilidad de una temperatura adecuada



Esquema 14 abrir la puerta, ventilación pasiva Aula 121. Elaboración propia.

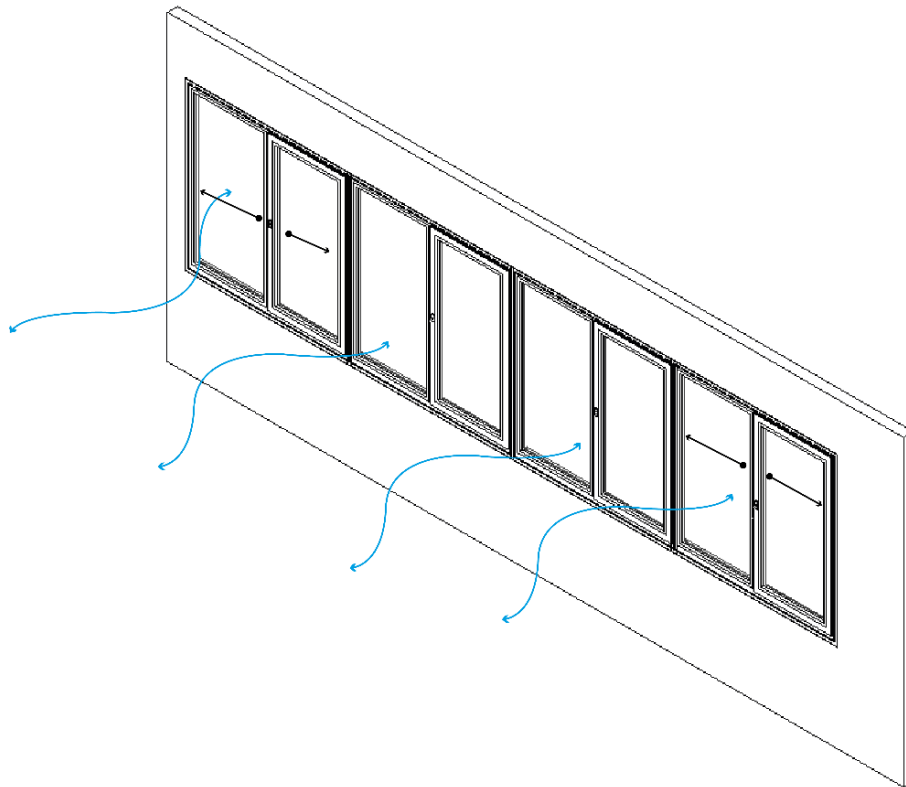
TARDE (12:00 pm-4:00 pm): En horas de la tarde se alcanzan temperaturas bastante altas, por lo que se puede percibir incomodidad térmica, esto se debe a que a esta hora el sol está impactando de manera directa todos los espacios que estén a su alcance, para estas horas es complicado depender de fuentes de ventilación netamente naturales que no nos otorguen un control directo de las temperaturas deseadas ya que el ambiente va a estar en su gran mayoría caliente. Es por esto que se recomienda aislarse del ambiente exterior cerrando puertas y ventanas y encendiendo los sistemas de aire acondicionado para tener un control total del ambiente y poner la temperatura que se adecue a las necesidades de los usuarios. Este método consumirá energía solo en estas horas del día con el fin de garantizar el bienestar de los usuarios.



Esquema 15 encender el aire acondicionado estrategia activa. Elaboración propia.

NOCHE (5:00 pm – 8:00pm): En horas de la noche se disminuye exponencialmente la temperatura debido a que el sol se esconde y no hay un impacto directo de los rayos solares dentro

de los espacios, además de eso se intensifican las ráfagas de viento debido a los cambios significativos de temperatura y presión entre la tarde y la noche, a estas horas se recomienda altamente apagar el aire acondicionado y volver a abrir las puertas y ventanas para depender de la ventilación natural que ofrece estas horas del día, lo que se busca con esto es disminuir el consumo de energía y mejorar el confort de las personas ya que si se deja encendido el aire acondicionado y a esto se le suma la temperatura de las horas de la noche, se alcanza incomodidad térmica debido a las bajas temperaturas.



Esquema 16 abrir las ventanas, estrategia pasiva. Elaboración propia.

Con esto se procura reducir el uso de aire acondicionado a una sola vez al día para disminuir el gasto energético y generar un sistema mixto que busque el bienestar de los usuarios y confort de los usuarios

Referencias

- Cortes Rojas, S.E. (2003). Condiciones de aplicación de estrategias bioclimáticas, Cuaderno de investigación urbanística N-69. Recuperado de : Dialnet-
CondicionesDeAplicacionDeLasEstrategiasBioclimatic-3875537%20(1).pdf
- Lopez de Asian Alberich. M (2010). Estrategias bioclimaticas en la arquitectura, Universidad politécnica de Cataluña, Recuperado de:
https://ubonline.ags.up.mx/librosdigitales/ESTRATEGIAS_BIOCLIMATICAS_EN_ARQUITECTURA.pdf
- Serra. R (2004). Arquitectura y climas, Editorial Gustavo Gili, Recuperado de:
<https://laotracedra.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/06/arquitectura-y-climas-rafael-serra.pdf>
- Serra. R (1995). Arquitectura y energía natural, Universidad politecnica de Catalunya, Recuperado de:
<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.3/36276>
- Muñoz, Huertas, Pinchao ET AL. (2016). Revisión bibliográfica relacionada con el comportamiento del síndrome del edificio enfermo en los trabajadores a nivel mundial durante el período 2000–2014, Universidad CES, Recuperado de:
https://repository.ces.edu.co/bitstream/handle/10946/1679/Sindrome_del_edificio_enfermo.pdf;jsessionid=CFFB20E3BA2B41CB4A7851FB4B9D43DC?sequence=2
- OpenAI. (2025). ChatGPT (versión del 15 de julio) [Modelo GPT 3]. <https://chat.openai.com/chat>
- Piano.R. (S.F). Arquitectos sostenibles: Renzo Piano, Grupo Gamiz, Recuperado de:
<https://www.grupogamiz.com/blog/arquitectura-sostenible/arquitectos-sostenibles-renzo-piano>