

- ▲ **Palabras clave/** Confort térmico, construcción sostenible, estrategias pasivas, eficiencia energética en viviendas.
- ▲ **Keywords/** Thermal comfort, sustainable construction, passive strategies, energy efficiency in housing.
- ▲ **Recepción/** 11 de mayo 2023
- ▲ **Aceptación/** 22 de mayo 2024

Estudio comparativo de estrategias pasivas para favorecer el confort térmico en viviendas multifamiliares en climas cálidos: Ricaurte, Colombia

Comparative Study of Passive Strategies to Favor the Thermal Comfort in Multi-Family Dwellings in Warm Weather: Ricaurte, Colombia

Brandon Steven Lara-Zamudio

Arquitecto, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia.
Máster en Arquitectura con énfasis en Arquitectura Sostenible, Universidad Piloto de Colombia, Bogotá, Colombia.
larabrandon08@gmail.com

Carolina M. Rodríguez

Arquitecta, Universidad Nacional de Colombia (UNAL), Bogotá, Colombia.
Doctora en Arquitectura, University of Nottingham, Nottingham, Reino Unido.
Magister en Educación, University of Liverpool, Liverpool, Reino Unido.
Investigadora Senior y Profesora, Universidad Piloto de Colombia, Bogotá, Colombia.
carolina-rodriguez1@unipiloto.edu.co

María Camila Coronado-Cabrera

Arquitecta, Universidad de Los Andes, Santiago, Chile.
Master of Architecture, University of Texas at Austin, Austin, Estados Unidos.
Candidata a PhD en Arquitectura, University of Oregon, Eugene, Estados Unidos.
Graduate Teaching Fellow, University of Oregon, Eugene, Estados Unidos.
mcorona6@uoregon.edu

RESUMEN/ En muchos países latinoamericanos, las grandes constructoras de viviendas multifamiliares frecuentemente ignoran las características climáticas y las necesidades de los habitantes de cada región. Esto se debe a la dinámica del mercado, el afán por ahorrar en los procesos y la implementación de modelos predefinidos. También influye la falta de regulaciones locales sobre confort térmico. Este artículo aborda esta problemática en un estudio de caso en Ricaurte, Colombia, donde el aumento en la construcción de viviendas ha desencadenado un alto consumo energético por equipos de climatización. En el análisis, se probaron estrategias pasivas, aisladas y combinadas, para favorecer el confort térmico sin afectar el diseño arquitectónico interior. Los resultados sugieren reducciones significativas de hasta 5,7 °C mediante la combinación de estrategias de protección solar tipo persiana en las ventanas, y aislamiento en los muros de fachada y cubierta. Se encontró que la combinación de estrategias puede potencialmente reducir el consumo de energía en aproximadamente 33%. **ABSTRACT/** In many Latin American countries, large building companies of multi-family housing ignore the weather features and the needs of those who inhabit each region. This is due to market dynamics; pressures to save in processes; and the implementation of predefined models. An additional explanation is the lack of local regulations on thermal comfort. This article addresses this issue through a case study in Ricaurte, Colombia, where the increase in housing construction has resulted in high energy consumptions due to air conditioning systems. The analysis included the piloting of passive, insulated, and combined strategies to favor thermal comfort without affecting indoor architectural design. The results suggest considerable reductions of up to 5.7 °C through the combination of shutter-like sun shields in windows and the insulation in façade and covering walls. It was found that the combination of strategies can potentially reduce energy consumption by approximately 33%.

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas dos décadas, en Colombia se ha observado un incremento notable en el diseño y la construcción de edificios sostenibles certificados. Este fenómeno ha sido impulsado, entre otros aspectos, por la creciente conciencia entre las nuevas generaciones de compradores de vivienda sobre el impacto de la industria de la

construcción en el cambio climático (Galeano Balaguera, 2023). Asimismo, el Gobierno ha implementado una variedad de incentivos para fomentar la construcción sostenible, que incluyen subsidios y créditos con condiciones favorables, beneficios fiscales como exenciones o reducciones de impuestos, y programas de reconocimiento y certificación. Además, se han establecido normativas que

promueven la eficiencia energética y el uso de materiales sostenibles. Entre estas se encuentran la Resolución 0549, que establece recomendaciones generales en esta área (Resolución 0549 de 2015) y el CONPES 3919, que resalta la importancia de estrategias pasivas para reducir el consumo de energía y mejorar la habitabilidad de los edificios (Departamento Nacional de Planeación,

2018). Estas normativas recomiendan el uso de iluminación natural y el acondicionamiento de la envolvente, incluyendo estrategias de aislamiento, reducción de área de fachada y aumento de masa térmica, así como incremento de la ventilación cruzada para obtener enfriamiento pasivo.

Sin embargo, la literatura evidencia la falta de directrices detalladas en estas normativas que se adapten a las características climáticas específicas de cada región, lo que dificulta el cumplimiento de los requisitos mínimos de confort térmico en construcciones nuevas y existentes (Rodríguez *et al.*, 2019a). Gran parte de los esfuerzos en política pública se han centrado en la reducción del consumo energético a través de equipos eficientes y sistemas de climatización, con muy pocos análisis exhaustivos de alternativas pasivas o que integren elementos naturales para el control climático, contribuyendo así a perpetuar esta situación (Giraldo y Herrera, 2017).

Aunque la percepción del confort térmico en los edificios está influenciada por una variedad de factores físicos, fisiológicos y psicológicos de los ocupantes, es factible definir rangos teóricos aceptables de confort térmico según el clima, como los inicialmente propuestos por Fanger (1970) y Olgay (1963). Además, los modelos de confort adaptativo posteriores, incluidos en la norma estadounidense –el Estándar 55 de ANSI/ASHRAE: Condiciones ambientales térmicas para la ocupación humana– desde 2004, reconocen cierta variabilidad debido a la influencia de factores externos y aspectos culturales, y de conductas que desempeñan un papel importante (ANSI/ASHRAE, 2004). Por ejemplo, en climas fríos, las adaptaciones como la elección de ropa y bebidas, así como la postura y la reducción de la actividad, permiten aceptar temperaturas interiores más altas. Por otro lado, las personas acostumbradas a climas cálidos pueden aceptar temperaturas similares y mantener un rendimiento comparable en el trabajo en comparación con aquellos de climas más

fríos (De Dear y Brager, 1998; Nicol, 2004; Serra Florensa y Coch Roura, 2001).

En Colombia, esta versión del Estándar 55 ANSI/ASHRAE de 2004 fue traducida al español e incorporada como la Norma Técnica Colombiana NTC 5316: Condiciones ambientales térmicas de inmuebles (ICONTEC, 2004), sin considerar las adaptaciones necesarias para las características y los climas locales. En la práctica, esta norma no es comúnmente utilizada ni obligatoria para orientar diseños pasivos, pero a menudo se emplea para guiar el uso del aire acondicionado, que ha experimentado un aumento notable desde comienzos de este siglo. Entre 2011 y 2016, la demanda de aire acondicionado en Colombia aumentó en 66%, posicionándola como la quinta mayor demanda en América Latina, con aproximadamente 200 a 250 mil unidades de aire acondicionado vendidas por año (JRAIA, 2019).

Al ser un país tropical, sin estaciones marcadas, Colombia está regida por pisos térmicos, donde los cambios de altura sobre el nivel del mar modifican drásticamente el clima. La falta de atención a las características climáticas específicas en las regulaciones vigentes conlleva a la edificación de estructuras que no incorporan estrategias pasivas de control diferenciadas, incluso en zonas con condiciones climáticas notablemente diversas, lo que genera una dependencia excesiva de sistemas activos de climatización. Por ende, las grandes constructoras tienden a estandarizar los diseños y las características técnicas de acuerdo con sus modelos de negocio y la demanda de los compradores. Esto conlleva a que los diseños entre una ciudad y otra sean muy similares, tanto en la distribución espacial de las unidades, la materialidad y configuración de la envolvente, como la implantación de los edificios en el lote (figura 1). Dado que el diseño bioclimático no es un requisito obligatorio para obtener licencias



Figura 1. Ejemplos de unidades de vivienda en ciudades con diversos climas en Colombia (fuente: elaboración propia con información tomada de las páginas web de las constructoras Amarillo (www.amarillo.com.co) y Bolívar (www.constructorabolivar.com), 2024).

de construcción, con frecuencia se obvian las características climáticas y los requisitos mínimos establecidos en los rangos teóricos de confort térmico para cada región. Este fenómeno se observa en pueblos cercanos a Bogotá, como Fusa, Girardot, Anapoima, La Mesa y Ricaurte, ubicados en pisos térmicos más bajos y con climas considerablemente más cálidos. Ricaurte, en particular, destaca como el epicentro de esta región en cuanto al desarrollo edificatorio en los últimos años. Bogotá, capital del país y con una población metropolitana de más de 12 millones de habitantes, se encuentra en las coordenadas 4°36'35"N 74°04'54"O, a una altitud de 2.600 m.s.n.m. Su ubicación geográfica contribuye a generar condiciones climáticas frías, con una temperatura promedio de 14 °C y una humedad relativa de 73%. Este clima se reconoce como Cfb según la clasificación de Köppen-Geiger y se caracteriza por importantes variaciones de temperatura durante el día, pero poca variación estacional a lo largo del año. En contraste, Ricaurte, a pesar de encontrarse a solo 135 km de Bogotá en las coordenadas 4°16'45"N 74°46'22"O, tiene una altitud de solo 284 m.s.n.m.. En esta ubicación, el clima es cálido tipo Af, con temperatura promedio de 24,8 °C y humedad relativa de 65% (figura 2).

Debido a estas marcadas diferencias climáticas, muchas personas optan por viajar desde Bogotá a Ricaurte para descansar los fines de semana, lo que ha generado un aumento en la demanda de alojamiento y viviendas turísticas. Según las Estadísticas de Licencias de Construcción (ELIC) proporcionadas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), durante el período comprendido entre enero de 2015 y noviembre de 2019, se aprobaron 7.892 unidades de vivienda en Ricaurte (DANE, 2019). De estas unidades, 83% corresponden a apartamentos en megaproyectos que podrían alojar hasta tres veces la población actual del municipio, ya que cada una tiene capacidad para albergar en promedio a cuatro personas. Esta creciente demanda de viviendas es principalmente atendida por grandes constructoras del sector privado. Según datos de la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL), se ha observado un crecimiento notable en el número de empresas del sector, que entre enero de 2009 y diciembre de 2021 pasaron de 1.176 a 2.040. Sin embargo, en el país este mercado está concentrado en 38 empresas que registran ventas anuales superiores a las 1000 unidades de vivienda (CAMACOL, 2022).

La comprensión de las condiciones térmicas internas en los apartamentos tipo recién construidos en Ricaurte es limitada debido a la escasez de estudios posteriores a la ocupación en esta región. Sin embargo, es factible recurrir a mediciones y análisis realizados en unidades residenciales similares en las principales ciudades del país, como punto de referencia (Medina *et al.*, 2021; Rodríguez *et al.*, 2019b). Para climas cálidos en Colombia, la literatura sugiere que las intervenciones en las fachadas ofrecen la mejor relación costo-beneficio para optimizar el confort térmico (Agudelo, 2014; Pardal March y Paricio, 2006; Rodríguez *et al.*, 2019c). También se estima que las envolventes convencionales, empleadas actualmente por las principales constructoras, suelen ser ineficientes y permiten alta transferencia de calor hacia el interior debido al escaso aislamiento térmico de los muros (de 12 a 15 cm de espesor) y a la elevada conductividad térmica de las ventanas (vidrio crudo de 4 a 6 mm de espesor y marcos de aluminio), cuya transmitancia térmica aproximada es de 6,9 W/m²·K (valor U) (Hernández *et al.*, 2013). Para abordar este problema, suelen utilizarse elementos de protección solar, como *brise soleil* verticales, aleros y persianas horizontales exteriores. Asimismo, se recomienda la adopción de sistemas constructivos en la envolvente con el fin de mejorar el aislamiento térmico en fachadas, cubiertas y ventanas y así optimizar el rendimiento térmico del edificio. Este artículo compara este tipo de soluciones pasivas para favorecer el confort térmico en un caso de estudio en Ricaurte. El enfoque se centra en la maximización de la sombra y la disipación del calor mediante barreras físicas y selección de materiales. El objetivo es identificar estrategias replicables que puedan implementarse en proyectos existentes sin alterar el diseño arquitectónico ni las preferencias de los ocupantes. Cabe destacar que no se considera la orientación de los edificios en este análisis, ya que esta puede variar dependiendo de cada caso. Tampoco se estudian otras estrategias de

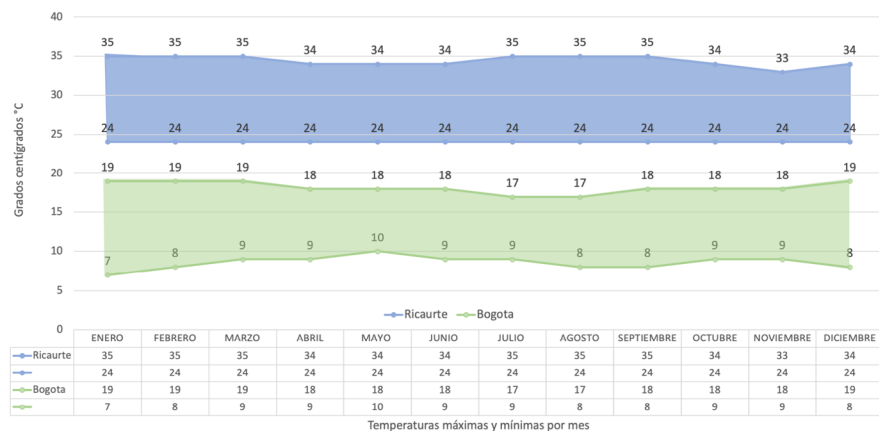


Figura 2. Imagen comparativa de las temperaturas máximas y mínimas de Bogotá y Ricaurte (fuente: elaboración propia con información tomada de Sefaira, 2020).

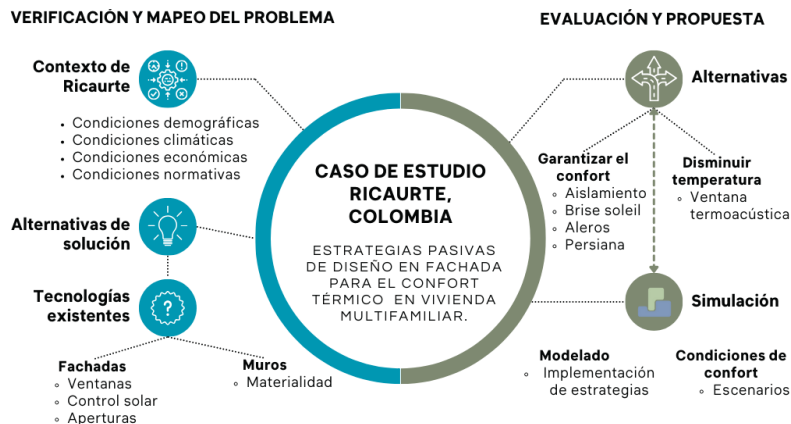


Figura 3. Esquema de la metodología del proyecto (fuente: elaboración propia, 2022).

diseño, como aumentar la altura de los espacios o ampliar la relación ventana-pared, debido a restricciones normativas, posibles limitaciones presupuestarias y preferencias de los propietarios. El proyecto aborda la problemática de la escasa adopción de estrategias pasivas específicas para el control climático en el

diseño de viviendas multifamiliares a través de un caso de estudio. La problemática está relacionada con la dinámica del mercado, la búsqueda de reducción de costos en los procesos de construcción, la adopción de modelos predefinidos y la falta de regulaciones locales específicas y obligatorias. Esta situación no es exclusiva de Colombia

y también se observa en toda América Latina (Rovira *et al.*, 2017). La pregunta de investigación indaga sobre cuáles estrategias pasivas de protección solar y aislamiento son más efectivas para optimizar el confort térmico y potencialmente reducir el consumo energético en viviendas multifamiliares en regiones con características climáticas similares a las de Ricaurte.

Esta pregunta de investigación se trabajó en dos etapas: 1) Verificación y mapeo del problema y 2) Evaluación y propuesta (figura 3). La primera etapa se enfocó en revisión bibliográfica y recolección de información primaria mediante encuestas a los ocupantes del caso de estudio. La segunda se centró en el análisis y la evaluación de las propuestas con simulaciones dinámicas en Design Builder.

CASO DE ESTUDIO

Los criterios de selección para el caso de estudio fueron la similitud del diseño arquitectónico tipo con los proyectos de vivienda multifamiliar en altura construidos en Bogotá y otras ciudades del país, en cuanto a la disposición interna de las unidades, la elección de materiales y la configuración de la envolvente, así como en la ubicación de los edificios en el terreno. La búsqueda se enfocó en viviendas multifamiliares de altura media (entre 6 y 10 pisos) con apartamentos de 2 o 3 habitaciones, con menos de 5 años de construcción y por un costo aproximado de entre 150 y 200 salarios mínimos mensuales. La elección de un caso de estudio con estas características permite realizar comparaciones con estudios similares en Bogotá y otras ciudades.

El caso de estudio seleccionado es un proyecto de 378 unidades de vivienda multifamiliar de estrato¹ 3-4, distribuidas en cuatro torres. Para el análisis se seleccionaron los apartamentos tipo de 62m² ubicados en la torre occidental debido a sus distintas condiciones de borde,

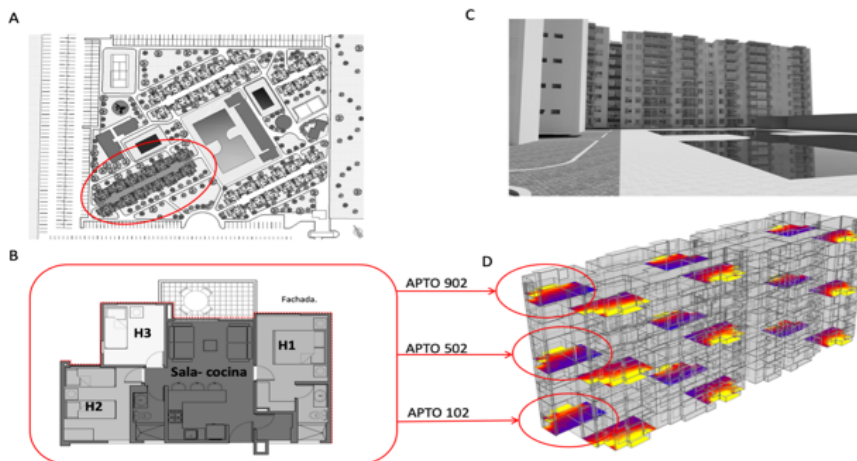


Figura 4. A. Plano de implantación del conjunto habitacional. B. Apartamento escogido como caso de estudio. C. Imagen desde el espacio central. D. Ubicación de los apartamentos escogidos para la simulación dinámica (fuente: elaboración propia con información de la constructora Bolívar (www.constructorabolivar.com), 2019).

¹ La clasificación de los inmuebles residenciales en Colombia, conocida como estratificación socioeconómica, se refiere a la categorización de las viviendas o predios con el fin de determinar la tarifa diferencial para los servicios públicos domiciliarios y facilitar la asignación de subsidios y contribuciones. De acuerdo con el Departamento de Planeación Nacional, hay seis estratos socioeconómicos, donde el estrato 1 representa el nivel socioeconómico más bajo (bajo-bajo), el estrato 2 corresponde a bajo, el estrato 3 a medio-bajo, el estrato 4 a medio, el estrato 5 a medio-alto y el estrato 6 a alto.

las que permiten evaluar el impacto solar en las esquinas del costado occidental y en el centro de las torres para los apartamentos con fachadas hacia el norte (figura 4A, 4C y 4D).

METODOLOGÍA

Encuestas

Para evaluar el confort y la sensación térmica al interior de las viviendas se realizaron encuestas a los ocupantes de 11

apartamentos, el 18 de marzo de 2019. Los resultados son indicativos y no diagnósticos debido al tamaño reducido de la muestra. Las encuestas incluyeron 19 preguntas sobre las características de los edificios, sensación térmica, condiciones internas, comportamientos adaptativos y consumo energético (tabla 1). Entre los encuestados se encontraban siete arrendatarios (dos en apartamento medianero y cinco en esquinero)

y cuatro propietarios (dos en apartamento medianero y dos en esquinero). Se aplicó una encuesta a un apartamento por piso en los pisos 1 al 5 y 8 al 9, y dos apartamentos en los pisos 6 y 7.

Simulaciones energéticas

Para evaluar el desempeño térmico de las viviendas, se realizaron simulaciones térmicas en dos etapas. Primero, una simulación de línea base, con las características actuales

PREGUNTAS		OPCIONES DE RESPUESTA					
1	¿Cuál es la dirección del apartamento?	Propio	Alquilado		Otro		
2	¿Dónde se ubica el apartamento en el edificio?	Esquina	Medianero		Otro		
3	¿En qué piso se encuentra el apartamento?						
4	¿Hacia dónde da la fachada del apartamento?	Norte	Sur	Este	Oeste	Otro	
5	¿Qué materiales presenta el edificio?	Muros	Techos		Ventanas		
6	¿Cuántas personas viven en el apartamento?						
7	¿Cuál es su sensación térmica general?	Caliente	Ligeramente caliente	Neutral	Ligeramente frío	Frío	
8	¿En qué momento del día tiene esta sensación?	Mañana	Tarde		Noche		
9	¿En qué lugar especialmente?	Sala - cocina		H1	H2	H3	
10	¿El sol da directamente en la fachada durante el día?	SÍ	NO		Otro		
11	¿Siente corriente de aire al interior del apartamento?	SÍ	NO	Otro			
12	¿En qué lugar es mayor la ventilación?	Sala	Cocina	H1	H2	H3	
13	¿Cuándo hay mayor ventilación?	Mañana	Tarde	Noche	Síempre	Nunca	
14	¿Qué hace normalmente para mejorar el clima al interior del apartamento?	Abre puertas y ventanas	Usa aire acondicionado	Usa ventilador	No hace nada	Otro	
15	Si utiliza aire acondicionado y ventilador, ¿cuánto tiempo lo tiene encendido aproximadamente?					Pregunta abierta	
16	¿Esto mejora el clima al interior del apartamento?	Mucho		Poco	Nada		
17	Si es propietario, ¿piensa modificar en el futuro su vivienda para mejorar el clima interior?				SÍ	NO	NO SE
18	Aproximadamente, ¿cuánto consume de energía mensualmente?	Pregunta abierta					
19	Aproximadamente, ¿cuánto paga por la energía mensualmente?	Pregunta abierta					

Tabla 1. Preguntas realizadas en la encuesta.
Fuente: elaboración propia, 2020.

de los apartamentos, y luego, simulaciones iterativas con diferentes alternativas para la modificación de los apartamentos, incluyendo intervenciones con barreras físicas, intervenciones a la envolvente y combinaciones de estrategias. Posteriormente, se realizó una evaluación simple del potencial

de ahorro energético de las mejores soluciones de acuerdo con los resultados de la simulación. Se llevaron a cabo simulaciones dinámicas de los apartamentos ubicados en los pisos 1, 5 y 9 (en la esquina noroccidental) para evaluar las variaciones térmicas debidas al contacto directo con el suelo, el posible aislamiento

en medios pisos y la radiación directa en la cubierta. El apartamento se dividió en cuatro zonas térmicas: las habitaciones (H1 y H2) que dan hacia la fachada con mayor exposición; la habitación H3 hacia el pasillo; y la zona de sala-comedor-cocina que se analizó como un "mono espacio" (figura 4B).

	UBICACIÓN	TIPO DE MATERIAL	MATERIALES	RESISTENCIA TÉRMICA DE LOS MATERIALES	DIMENSIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	DIMENSION TOTAL	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR $U=1/\sum R$	UNIDAD DE MEDIDA	
COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA TÉRMICA DE LOS MATERIALES	ANTEPECHOS CON AISLAMIENTO	INTERIOR	Aire interior		0,12		m	0,22	m ²	0,65613764	W/m ² -K
			Acabado	Estuco yeso	0,05	0,02	m				
			Afinado	Drywall	0,08	0,02	m				
			Aislante	Frescasa	0,97	0,03	m				
			Estructura	Ladrillo	0,14	0,12	m				
			Afinado	Mortero	0,02	0,02	m				
			Acabado	Estuco o yeso	0,02	0,01	m				
		EXTERIOR	Aire exterior		0,13		m	0,47	m ²	1,56354958	W/m ² -K
	PISO	INTERIOR	Aire interior		0,12		m				
			Acabado	Baldosa	0,015	0,02	m				
			Afinado	Mortero de pegue	0,015	0,02	m				
			Estructura	Losa maciza de concreto 2.500 ps	0,299	0,038	m				
			Afinado	Mortero	0,023	0,03	m				
			Acabado	Estuco	0,047	0,02	m				
			EXTERIOR	Aire exterior		0,12		m			
	CUBIERTA	INTERIOR	Aire interior		0,13		m	0,47	m ²	1,53947906	W/m ² -K
			Acabado	Baldosa	0,015	0,02	m				
			Afinado	Mortero de pegue	0,015	0,02	m				
			Estructura	Losa maciza de concreto 2.500 ps	0,299	0,038	m				
			Afinado	Mortero	0,023	0,03	m				
			Acabado	Estuco	0,047	0,02	m				
		EXTERIOR	Aire exterior		0,12		m				

Tabla 2. Coeficientes globales de transferencia térmica para muros, pisos y cubiertas en el caso de estudio. Fuente: elaboración propia, 2020.

Además, en el proceso de simulación se llevó a cabo una caracterización detallada de los materiales de las fachadas, piso y cubierta, basándose en información técnica proporcionada por la constructora. Esto permitió el cálculo de los coeficientes de transferencia térmica (valor U) mediante la utilización de la ecuación 1 (Evans y de Schiller, 1991):

$$U = 1 / Rt; [W / m^2 \text{ } ^\circ\text{C}].$$

La tabla 2 presenta los cálculos de los valores U obtenidos y utilizados para las simulaciones base (estado actual) del caso de estudio con Design Builder. Para la toma de datos de temperatura se utilizó la estación climática más cercana en la ciudad de Ibagué. En las simulaciones de la línea base se consideró la semana más calurosa del año para Ricaurte (de agosto 27 a septiembre 2). Para definir la zona de confort se utilizó el modelo adaptativo de confort del Estándar 55-2020 de ANSI/ASHRAE, junto con la herramienta de confort térmico del Centro para el Ambiente Construido (CBE, por sus siglas en inglés) (Tartarini et al. 2020). Dicho modelo establece zonas de confort entre 23,8 °C - 28,8 °C (para el 90% de aceptabilidad) y 22,8 °C - 29,8 °C (para el 80% de aceptabilidad). Para identificar la línea base más crítica, se seleccionó un apartamento esquinero (902) en el último piso, con una mayor incidencia térmica y área de exposición al sol más amplia.

RESULTADOS

Resultados de la encuesta

Los resultados indican que la sensación térmica general en los apartamentos es de calor, según lo informado por el 100% de los encuestados (75% arrendatarios y 25% propietarios), especialmente durante las horas del mediodía y de la tarde (figura 5, P8). La mayoría de los residentes utiliza aire acondicionado como método principal para lograr sensación de confort (figura 6, P14). Esta tendencia se observa de manera más marcada en los arrendatarios, posiblemente

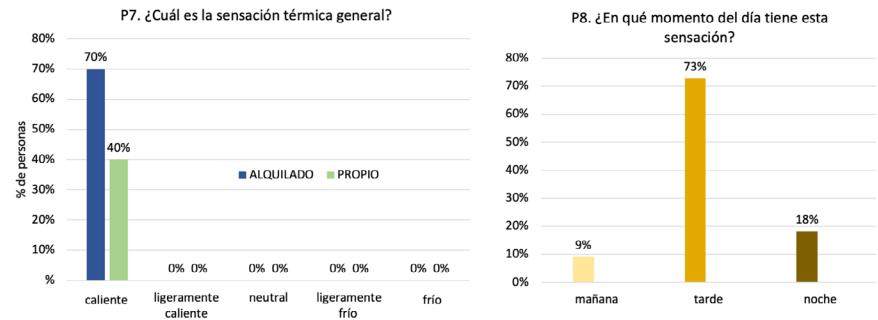


Figura 5. Resultados de la encuesta exploratoria sobre las condiciones de los apartamentos, preguntas 7 y 8 (fuente: elaboración propia, 2020).

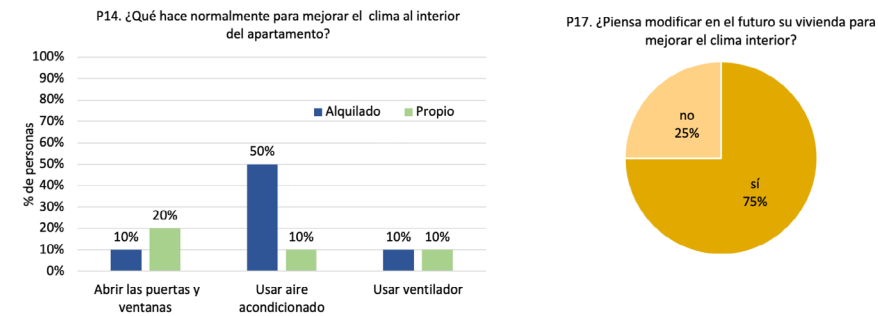


Figura 6. Resultados de la encuesta exploratoria sobre las condiciones de los apartamentos, preguntas 14 y 17 (fuente: elaboración propia, 2020).

debido a que no perciben directamente el costo del servicio al estar incluido en el pago del arriendo o porque buscan una solución rápida de enfriamiento (figura 6). En cambio, la mayoría de los propietarios opta por la ventilación natural mediante la apertura de puertas y ventanas (20% de propietarios vs. 10% de arrendatarios), tal vez porque son más conscientes de los costos de climatización. Los datos revelan que el uso del aire acondicionado es significativamente mayor entre los arrendatarios en comparación con los propietarios (50% vs. 10%), con un promedio de uso de 11 horas al día, aunque algunos encuestados informaron tenerlo encendido las 24 horas (pregunta 15). Se identificó que la sala es el espacio más ventilado (pregunta 12). Además, se observó que los arrendatarios utilizan el ventilador

con mayor frecuencia que los propietarios (10% y 5%, respectivamente). Se destaca que tres de los cuatro propietarios encuestados manifestaron interés en realizar modificaciones en sus viviendas para mejorar el clima interior (pregunta 17).

Resultados de las simulaciones

Línea base

Para establecer la línea base, se llevó a cabo un análisis de la temperatura interior en los pisos 1, 5 y 9 de la esquina occidental de la torre, donde los apartamentos tienen fachada hacia el norte (figura 7). Se realizaron dos tipos de simulaciones, primero, los apartamentos con ventilación natural y, segundo, los apartamentos con aire acondicionado. Para ambos casos, se observó un cambio significativo de 11,5 °C en la temperatura

exterior mínima (23,5 °C a las 06:00) y máxima (35 °C a las 15:00) durante el día. Para las simulaciones con ventilación natural, en el modelo se especificó que se mantendrían las ventanas abiertas de 09:00 a 17:00 y cerradas de 18:00 a 08:00. En las simulaciones realizadas para el primer piso y el piso intermedio con ventilación natural (figura 7A y B), se observó que las temperaturas para todos los espacios se encontraban dentro de la zona de confort teórica. No obstante, los ocupantes encuestados en estos pisos manifestaron una sensación de calor. Se seleccionó el apartamento del último piso por ser el más crítico y presentar el mayor número de horas fuera de la zona de confort. Se observó que la temperatura operativa interior del apartamento 902 (especialmente en la zona de sala-comedor) con ventilación natural, es mayor que la temperatura exterior durante casi todo el día. Esta zona

presenta una temperatura más alta, pero es más constante en comparación con las habitaciones. En el último piso, esto se debe principalmente al área de exposición de la cubierta y a que este espacio tiene menos exposición de fachada, por lo que conserva el calor durante el día. Asimismo, se puede observar que la habitación H3 es más caliente que las demás debido a su menor volumen, mientras que la habitación H2 es la zona que presenta temperaturas promedio más bajas durante el día.

Para la simulación de la línea base con aire acondicionado (figura 7D, E y F), se especificó que el sistema se activaría de 05:00 a 19:00 (14 horas) o cuando la temperatura superara los 22 °C. Además, se determinó que las ventanas permanecerían cerradas durante todo el tiempo que el aire estuviera encendido, y se mantuvo la misma ocupación

de los espacios que en la línea base sin aire acondicionado.

La presencia del aire acondicionado en la sala-comedor y la habitación H1 permitió que los demás espacios también se refrescaran, a excepción de la habitación H2, que se encuentra más alejada, tal como se puede observar en las figuras. Se evidenció que las temperaturas de todos los espacios, excepto la habitación H2, se mantuvieron por debajo de la zona de confort teórica, oscilando entre los 20 °C y 21 °C.

Intervenciones con barreras físicas

Para la simulación de protección solar, se llevó a cabo un análisis de diversas opciones de barreras físicas (como el *brise soleil*, los aleros y las persianas) de manera independiente, con el fin de comparar su efectividad en relación con la línea base (ventilación natural) en el apartamento 902, que es el más crítico. La figura 8 muestra el diseño de cada una de estas opciones en la fachada. En el caso del *brise soleil*, se tuvo en cuenta el azimut para determinar el ángulo de inclinación, el ancho y la distancia entre los paralelos verticales, y se utilizó un pequeño alero horizontal para evitar la entrada de luz por la parte superior. Para la segunda opción, se diseñó un alero de 1,50 metros de largo, según la altura solar, con un perfil horizontal decolado en el borde, para abarcar un 75% de sombra sobre la ventana con una menor longitud. En cuanto a las persianas, se dejaron espacios de diferentes anchos entre los elementos horizontales para permitir control solar eficiente con la menor interrupción visual posible del apartamento. Las persianas se diseñaron con diferentes anchos y una rotación de 36 grados, tomando en cuenta la inclinación solar y la distancia de las torres, logrando así un campo visual más amplio. Inicialmente se simuló el impacto de cada una de estas alternativas en los apartamentos con ventilación natural. Los resultados obtenidos a partir de la simulación de las estrategias pasivas indican que el *brise soleil* vertical (figura 9B) y el alero (figura 9C) presentan comportamientos muy similares. Además,

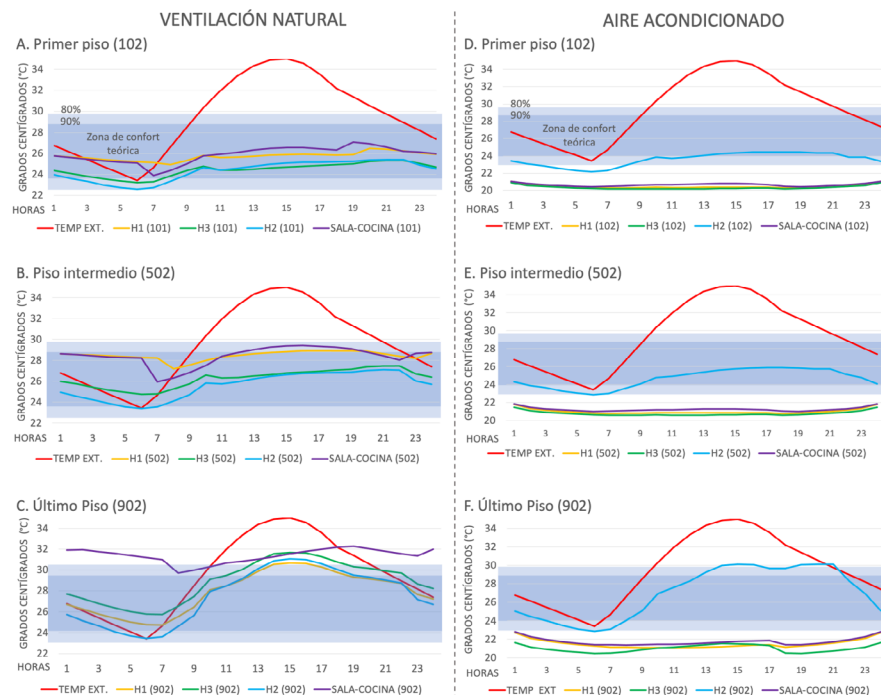


Figura 7. Simulación línea base con ventilación natural y con aire acondicionado en el apartamento caso de estudio, pisos 1, 5 y 9 (fuente: elaboración propia, 2020).

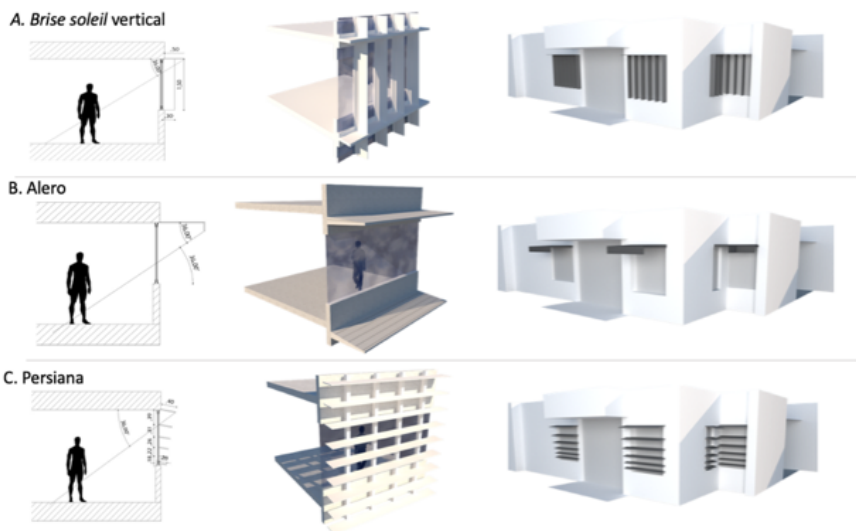


Figura 8. Soluciones de barreras físicas (brise soleil vertical, alero y persiana) (fuente elaboración propia, 2020).

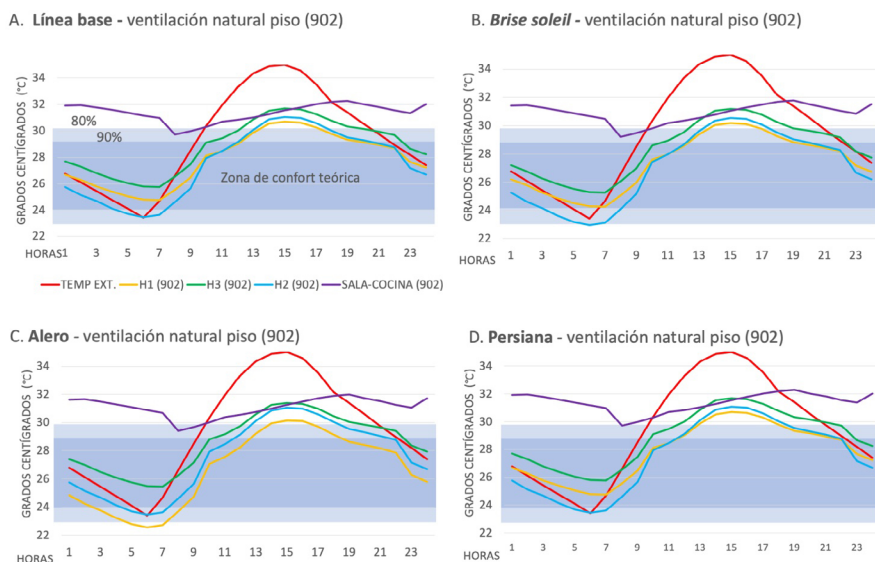


Figura 9. Simulaciones dinámicas para las soluciones de barreras pasivas (fuente: elaboración propia, 2020).

durante las horas de mayor calor (13:00 a 17:00), se observó una disminución de aproximadamente 0,5 °C en la temperatura de todas las habitaciones con ambas soluciones. La habitación H1 es la que mostró mayores beneficios con la implementación del alero,

mientras que la habitación H2 se benefició tanto con el brise soleil vertical como con la persiana (figura 9D). Estos resultados se deben a los ángulos de incidencia del sol en el momento del año en que se realizó la simulación (marzo) para coincidir con

la realización de la encuesta. Aunque los resultados varían a lo largo del año, las diferencias no son significativas. La zona de sala-cocina no presentó un impacto significativo debido a la presencia del balcón, que actúa como barrera física.

En cuanto a la implementación del alero, se observó la mayor reducción de temperatura en la habitación H1, alcanzando la temperatura más baja (22,5 °C) a las 06:00, cuando la temperatura exterior es de 23,5 °C, y la temperatura más alta (30,1 °C) a las 15:00, cuando la temperatura exterior es de 35 °C. No obstante, las variaciones de temperatura entre las habitaciones fueron más notorias con el brise soleil vertical y el alero que con la persiana.

Se observó que la persiana logra reducir la temperatura en hasta 1,5 °C, lo que mejora las condiciones de confort en las habitaciones durante el período crítico (10:00 a 16:00), en comparación con el alero y el brise soleil. Por lo tanto, se concluye que la persiana es la opción más adecuada para el proyecto, seguida por el alero y, en última instancia, por el brise soleil vertical.

Intervenciones en la envolvente

Para las intervenciones en la envolvente, se propusieron tres soluciones, adecuadas para edificios existentes. Para la primera, se modificó el sistema de fachada por uno de mampostería en bloque N°4 de 12cm de espesor, una capa interna de pañete, estuco y pintura de 25mm de espesor, una capa de aislamiento de fibra de vidrio (frescasa) de 5cm de espesor, y una capa de drywall de 18mm, con perfiles en C (figura 10A). Para la segunda, se simuló una ventana termoacústica con perfiles en PVC y un sistema de cierre multipunto, que ofrece mejor nivel de aislamiento térmico gracias al uso de un cristal tipo cámara (doble vidrio hermético o DVH) que limita el intercambio de calor por convección y conducción² (figura 10B). Para la tercera, se propuso la instalación de un

2 Sitio web: Puertas y Ventanas Alemanas, (<https://pva.com.co/>).

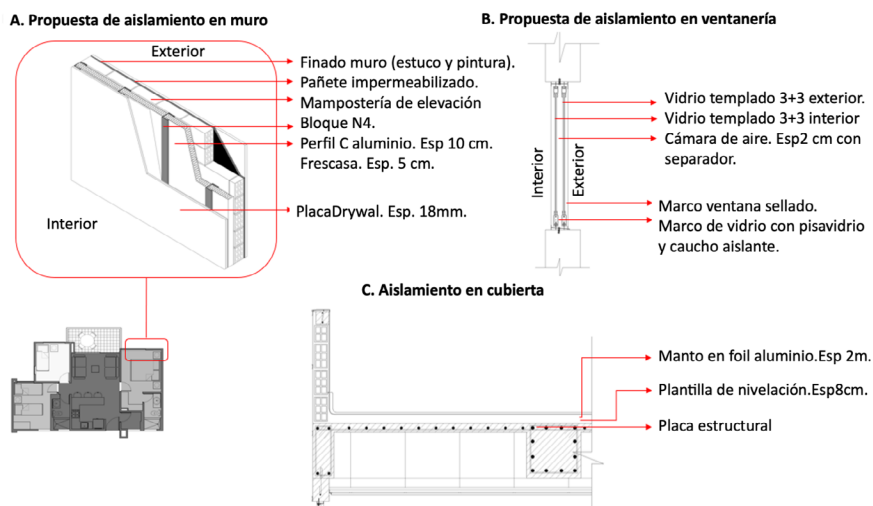


Figura 10. Soluciones propuestas para el aislamiento térmico en la envolvente y la cubierta (fuente: elaboración propia, 2020).

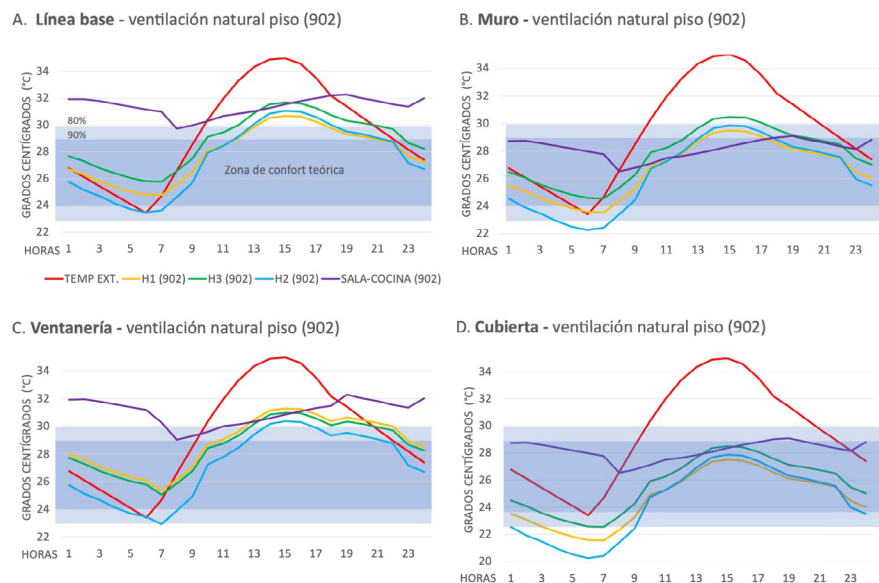


Figura 11. Simulaciones dinámicas para las soluciones de aislamiento de la envolvente (fuente: elaboración propia, 2020).

aislamiento en la cubierta elaborado con una membrana a base de asfalto modificado con polímeros del propileno y etileno, refuerzo de fibra de vidrio y acabado en aluminio, lo que le confiere elasticidad, plasticidad, flexibilidad y resistencia a la tracción (figura 10C).

Los resultados obtenidos en las simulaciones para las intervenciones en la envolvente (figura 11) revelaron que la modificación de la cubierta resultó ser la más efectiva para reducir la temperatura interior, obteniéndose una disminución de alrededor de 3 °C en

todos los espacios. La temperatura en H2 alcanzó 20,2 °C a las 06:00 horas (figura 11D). Las demás habitaciones no superaron los 28,5 °C durante las horas de mayor calor (13:00 a 16:00), mientras que en la sala la temperatura máxima alcanzó los 29 °C a las 18:00. Por otro lado, el cambio de la ventanería (figura 11C) resultó ser la intervención de menor impacto, ya que incluso en la H1 se observó un aumento de 1 °C en comparación con la línea base, mientras que en el resto de los espacios no se evidenció una mejoría significativa. Finalmente, la intervención en el muro logra una mejoría promedio de alrededor de 2 °C en las habitaciones y de 3 °C en la sala.

Combinaciones de estrategias pasivas

Tras analizar las diferentes soluciones de manera individual, se hicieron diferentes combinaciones de estrategias. Se encontró que una combinación óptima para mejorar la sensación térmica en el caso de estudio es utilizar persianas, aislamiento en muros y cubierta (figura 12C). Esto permite alcanzar temperaturas máximas de 27 °C, mientras que otras combinaciones mantienen las temperaturas alrededor de los 30 °C. Al inicio y al final del día, se obtienen temperaturas entre 20 °C y 21 °C y entre 23 °C y 24 °C, respectivamente, períodos durante los cuales los ocupantes pasan más tiempo en las habitaciones. Comparado con la ventilación natural, esta combinación reduce en promedio 4,1 °C en todo el apartamento (2,3 °C en H1, 3,8 °C en H2, 4,8 °C en H3 y 5,7 °C en la sala-cocina).

Potencial de ahorro energético

Aunque este proyecto no incluyó un análisis detallado del consumo energético, ni equipos especializados para medir el uso de cada unidad de aire acondicionado, mediante un análisis indicativo se estimó el potencial de ahorro al implementar las estrategias pasivas propuestas. Según un artículo publicado en el suplemento *Cinco Días*, (El País, 2017), cada grado de diferencia en la temperatura de un espacio representa un aumento de 8% en la factura de energía debido al uso

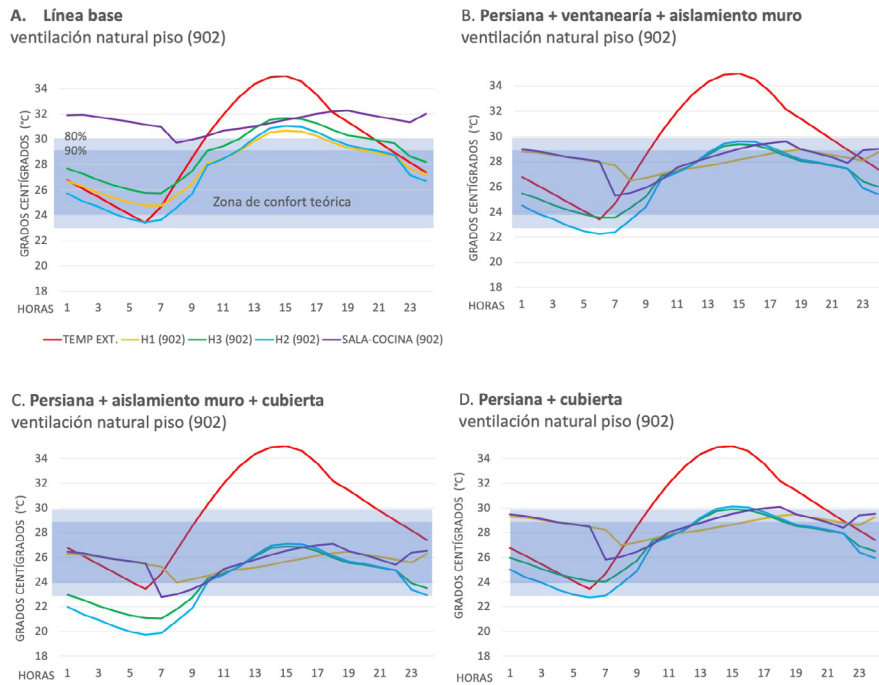


Figura 12. Simulaciones con combinaciones de estrategias pasivas (fuente: elaboración propia, 2020).

de climatización. Utilizando este porcentaje como referencia, se determinó que cada grado de disminución en la temperatura mediante las estrategias pasivas podría reducir en 8% el costo de la factura de energía. Con la combinación de persianas, aislamiento en muros y cubierta (que en promedio reducen 4,1 °C), el ahorro en la factura podría llegar a 32,8%.

Según los resultados de la encuesta (preguntas 18 y 19), el consumo mensual promedio de un apartamento es de 844 kWh, lo que corresponde a un costo de 489.478 COP (equivalente a 130 USD para 2024). Para realizar la estimación, se consideró que el aire acondicionado tipo *inverter* de 2200 BTU consume aproximadamente 0,6 kWh por hora (Jurado, 2023), con un promedio de uso de 11 horas diarias y tres equipos por apartamento. Según esta información, el consumo estimado del aire acondicionado es de 594 kWh (0,6 kWh por 11 horas por tres equipos por 30 días) al mes (tabla 3). Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de precios unitarios de cada estrategia con los precios de materiales y mano de obra que fueron reportados por el portal y revista

ANÁLISIS INDICATIVO DE CONSUMOS, COSTOS Y REDUCCIONES POTENCIALES		
Costo en Ricaute Kwh (2022)	579,95 COP	0,15 USD
Promedio de energía consumido	844 Kwh	-
Costo promedio mensual de energía por apartamento	489.478 COP	130 USD
Consumo estimado por el uso de aire acondicionado en	594 Kwh	-
Costo promedio mensual por el uso de aire acondicionado	344.490 COP	91,5 USD
Costo promedio anual por el uso de aire acondicionado	4.133.883 COP	1.099 USD
Costo promedio anual de energía por conjunto (378 apartamentos)	156.260.800 COP	41.504 USD
Reducción estimada mensual de energía (32,8%) con la combinación de estrategias pasivas propuestas	112.993 COP	30 USD
Reducción estimada anual de gasto en energía (32,8%) con la combinación de estrategias pasivas propuestas	1.355.914 COP	360 USD
Reducción estimada anual de gasto energía (32,8%) por conjunto de 378 apartamentos con la combinación de estrategias pasivas propuestas	51.253.542 COP	13.613 USD

Tabla 3. Análisis indicativo de consumos, costos y reducciones potenciales en pesos colombianos (COP) y su equivalente en dólares estadounidenses (USD) de 2024. Fuente: elaboración propia, 2022.

Costo estimado de aplicación de estrategias pasivas incluyendo instalación (precios Construdata 2022) COP		USD-2024
Persiana (por apartamento)	912.000	242
Aislamiento muro (por apartamento)	2.500.000	664
Aislamiento de cubierta (por apartamento)	1.500.000	398
Total (por apartamento)	4.912.000	1.304
Total (por conjunto de 378 apartamentos)	1.856.736.000	492.912

Tabla 4. Estimación de costos para las estrategias propuestas en pesos colombianos (COP) y su equivalente en dólares estadounidenses (USD) de 2024.
Fuente: elaboración propia, 2022.

especializada en temas de construcción (Legis SA, 2022) (tabla 4). De acuerdo con las estimaciones obtenidas, el costo total por apartamento resultaría en 4.912.000 COP (equivalente a 1.304 USD para 2024), mientras que para el conjunto el costo ascendería a 1.856.736.000 COP (equivalente a 492.912 USD para 2024).

Se calculó que la tasa de retorno de la inversión en 3,6 años sería de 4.912.000 COP (1.293 USD de 2024) por apartamento, con una reducción anual de 1.355.914 COP (357 USD de 2024), siempre y cuando las estrategias fueran implementadas en todo el conjunto habitacional.

CONCLUSIONES

Comprobación de la hipótesis

El presente estudio abordó el desafío de mejorar el confort térmico en apartamentos de edificios multifamiliares en climas cálidos, centrándose en estrategias pasivas en la envolvente del edificio. Aunque se reconoce la influencia de otros factores físicos, fisiológicos y psicológicos de los ocupantes, el análisis se enfocó en la temperatura y la percepción térmica como indicadores de confort. La investigación confirmó la hipótesis inicial de que la implementación de estrategias pasivas de protección solar y aislamiento en la envolvente de edificios multifamiliares en climas cálidos podría

mejorar significativamente el confort térmico de los ocupantes.

Hallazgos de mayor relevancia

Las encuestas exploratorias revelaron una clara predominancia de la sensación térmica de calor en los apartamentos, especialmente durante las horas del mediodía y la tarde. Esta sensación térmica ha llevado a una marcada preferencia por el uso del aire acondicionado entre los arrendatarios, en algunos casos las 24 horas del día, lo que implica consumo energético significativo. Este fenómeno posiblemente se debe a la búsqueda de una solución rápida de enfriamiento o al hecho de que el costo de este servicio está comúnmente incluido en el pago del arriendo de viviendas turísticas. En contraste, la ventilación natural fue la opción preferida por la mayoría de los propietarios, quienes parecen estar más conscientes de los costos asociados con la climatización. Para efectos de las simulaciones, la zona de confort teórica se definió siguiendo el modelo adaptativo del Estándar 55 de ANSI/ASHRAE, con rangos de temperatura de 23,8 °C - 28,8 °C (para un 90% de aceptabilidad) y 22,8 °C - 29,8 °C (para un 80% de aceptabilidad). Los resultados indican que, en teoría, las temperaturas interiores se mantienen dentro de esta zona de confort con ventilación natural durante la mayor parte del tiempo. Sin embargo, las encuestas evidencian que, en la práctica, los ocupantes prefieren el

uso de sistemas de aire acondicionado, manteniendo las temperaturas por debajo de la zona de confort establecida.

Las simulaciones mostraron que las barreras físicas y el aislamiento tienen efectos significativos en la reducción de la temperatura. Se observó una disminución de hasta 1,5 °C con el uso de persianas, mientras que con el aislamiento de muros y cubierta se lograron reducciones de entre 2 °C y 3 °C. Por otro lado, el empleo de ventanería termoacústica no generó un impacto significativo. La combinación de persianas y aislamiento en muros y cubierta resultó ser la estrategia más efectiva para reducir las temperaturas interiores, con una disminución de hasta 5,7 °C en la sala-cocina y un promedio de 4,1 °C en todo el apartamento.

El análisis indicativo de costos estimó que la implementación de la combinación propuesta tiene el potencial de generar una reducción del consumo de energía aproximado de 32,8%. Esto tendría un impacto directo en el ahorro anual del costo del servicio de energía para el propietario, estimado en 1.355.914 COP (357 USD de 2024). Utilizando información general de consumos y costos, se calcula que el retorno de inversión para estas estrategias sería de 3,6 años.

Hallazgos adicionales y futuras investigaciones

Se destaca la importancia de considerar las condiciones específicas de cada proyecto y la variabilidad en los resultados a lo largo del tiempo. Por ejemplo, en conjuntos cerrados de vivienda existente que cuentan con un reglamento de propiedad horizontal, se requiere de la aprobación de los propietarios y de la mayoría de la asamblea del conjunto para la implementación exitosa de intervenciones como las que se proponen aquí.

Se recomienda que futuras investigaciones amplíen el alcance de este trabajo, especialmente en el contexto de Ricaurte, mediante la realización de un estudio postocupación más detallado. Este estudio podría involucrar una muestra más amplia de encuestas a ocupantes y la realización de

mediciones simultáneas de las condiciones ambientales interiores y exteriores. Adicionalmente, se propone la instalación de medidores de energía en los sistemas de climatización, iluminación y otros equipos eléctricos para registrar el consumo de energía en tiempo real. Esta medida, combinada con la recopilación y el análisis de las facturas de servicios públicos para evaluar los patrones de consumo de energía y los costos asociados, permitiría obtener datos más precisos. Estos datos son cruciales para realizar un análisis más detallado del costo-beneficio y tomar

decisiones informadas en la implementación exitosa de las estrategias propuestas. Igualmente, este tipo de información es necesaria para el desarrollo de políticas públicas y normativas más detalladas para reglamentar la construcción en climas como el de Ricaurte.

Cabe destacar que el enfoque en estrategias pasivas y las mejoras en la envolvente de los edificios no solo contribuye a mejorar el confort térmico, lo cual resulta en una reducción significativa del consumo energético a lo largo de la vida útil del edificio, sino

que también puede fortalecer la resiliencia de los espacios habitables ante eventos climáticos extremos, como olas de calor intensas o fluctuaciones en la disponibilidad o asequibilidad del servicio de energía. Investigaciones futuras podrían explorar aún más la integración de tecnologías y enfoques de diseño pasivo en diferentes escenarios de cambio climático, así como su contribución en la reducción de la huella ambiental de los edificios. ▲▲

REFERENCIAS

- Agudelo, C. (2014). *Efectos de los materiales de los muros y ventanas sobre el confort térmico y de iluminación naturales en la vivienda de interés social actual de Bogotá*. [Tesis de Maestría, Universidad de los Andes, Colombia].
- American National Standards Institute /American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ANSI/ASHRAE). (2004). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2004: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*.
- American National Standards Institute /American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ANSI/ASHRAE). (2020). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2020: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*.
- Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL). (2022). *Balance de mercado de vivienda nueva y conformación de las empresas constructoras en Colombia*. https://camacol.co/sites/default/files/descargables/Informe%20Económico%2013%20VF_%20Formato.pdf.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2019). *Estadísticas de edificación licencias de construcción - ELIC*. <https://www.dane.gov.co>.
- De Dear, R. J. y Brager, G.S. (1998). Towards an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. *ASHRAE Transactions* 104(1):145-67.
- Departamento Nacional de Planeación. (2018). *CONPES 3919: Política Nacional De Edificaciones Sostenibles*.
- El País. (2017, 19 de junio). Claves para usar bien el aire acondicionado (y ahorrar) en una ola de calor. *El País* https://cinco dias.elpais.com/cinco dias/2017/06/19/midinerio/1497865318_727084.html.
- Evans, J.M. y de Schiller S. (1991). *Diseño bioambiental y arquitectura solar*. [Ciclo lectivo], Universidad de Buenos Aires.
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*. Copenhagen: Danish Technical Press.
- Galeano Balaguera, Paula. (2023). Construcciones sostenibles ganan terreno en el sector. *Portafolio*. (<https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/certificacion-leed-de-los-edificios-corporativos-los-hace-mas-rentables-587723>).
- Giraldo, W. y Herrera C. (2017). Ventilación pasiva y confort térmico en vivienda de interés social en clima ecuatorial. *Ingeniería y Desarrollo* 35(1):77-101. doi: 10.14482/inde.35.1.8944.
- Hernández, E., Álvarez G. y Chávez Y. (2013). *Impacto de las ventanas en el consumo energético de edificaciones residenciales: Simulación en TRNSYS y RESFEN*. Memorias del XIX Congreso internacional anual de la SOMIM]. - Pachuca, Hidalgo, México. https://somim.org.mx/memorias/memorias2013/pdfs/AS/AS_48.pdf.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2004). NTC 5316: Condiciones Ambientales Térmicas de Inmuebles. *Norma Técnica Colombiana: NTC 5316*. Bogotá: INCOTEC.
- Japan Refrigeration and Air Conditioning Industry Association (JRAIA). (2019). *World Air Conditioner Demand by Region*. https://www.jraia.or.jp/english/World_AC_Demand.pdf
- Jurado, A. (2023, 14 de septiembre). Consumo aire acondicionado ¿Cuánto cuesta al mes el aire acondicionado?. *ClimaManía*. <https://www.climamania.com/blog/consumo-de-aire-acondicionado-que-hay-que-saber/>.
- Medina, J. M. Rodríguez C., Coronado M. y García L. (2021). Scoping Review of Thermal Comfort Research in Colombia. *Buildings* 11(6):232. doi: 10.3390/buildings11060232.
- Nicol, F. (2004). Adaptive Thermal Comfort Standards in the Hot-Humid Tropics. *Energy and Buildings* 36(7):628-37. doi: 10.1016/j.enbuild.2004.01.016.
- Olgyay, V. (1963). *Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Editorial Gustavo Gili, Barcelona.
- Pardal March C. y Paricio I. (2006). Evolución de la fachada ventilada y propuesta de futuro. *Segundas Jornadas sobre Investigación en Arquitectura y Urbanismo*. Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès.
- Resolución 0549 de 2015 [Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Colombia]. Por la cual se reglamenta el Cap. 1 del Título 7 de la parte 2, del Libro 2 del Decreto 1077 de 2015 en cuanto a los parámetros y lineamientos de construcción sostenible y se adopta la guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones. 10 de julio de 2015.
- Rodríguez, C. M., Coronado M., D'Alessandro M. y Medina J.M. (2019a). The Importance of Standardised Data-Collection Methods in the Improvement of Thermal Comfort Assessment Models for Developing Countries in the Tropics. *Sustainability* 11(15):4180. doi: 10.3390/su11154180.
- Rodríguez, C. M., Medina J. M. y Pinzón A. (2019b). "Thermal Comfort and Satisfaction in the Context of Social Housing: Case Study in Bogotá, Colombia". *Journal of Construction in Developing Countries* 24(1):101-24. doi: 10.21315/jcdc2019.24.1.6.
- Rodríguez, C. M., Medina J.M., Pinzón A. y García A. (2019c). A Post-Occupancy Strategy to Improve Thermal Comfort in Social Housing in a Tropical Highland Climate: A Case Study in Bogotá, Colombia. *Informes de La Construcción* 71(555):305. doi: 10.3989/ic.61006.
- Rovira, S., Patiño A. y Schaper M. (2017). *Ecoinnovación y producción verde: una revisión sobre las políticas de América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina (CEPAL). <https://www.cepal.org/es/publicaciones/40968-ecoinnovacion-produccion-verde-revision-politicas-america-latina-caribe>.
- Serra Florensa, R. y Coch Roura H. (2001). *Arquitectura y energía natural*. Barcelona: Edicions UPC - Universidad Politècnica de Catalunya.
- Tartarini, F., Schiavon S., Cheung T. y Hoyt T. (2020). CEcoinnovación BE Thermal Comfort Tool: Online tool for thermal comfort calculations and visualizations. *SoftwareX* 12:100563. doi: <https://doi.org/10.1016/j.softx.2020.100563>.