



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

CARRERA: ARQUITECTURA

TRABAJO DE FINAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
ARQUITECTO

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

FACHADAS CINÉTICAS HÍBRIDAS: EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE
REDUCCIÓN TÉRMICA EN VIVIENDAS DEL BARRIO CIRCUNVALACIÓN,
MANTA

ELABORADO POR:

RODRÍGUEZ CHOEZ ALISSON PAMELA

TUTOR (A):

ARQ. CRISTHIAN JAVIER MELGAR VELIZ, MG.

MANTA – MANABÍ – ECUADOR

AGOSTO 2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de docente tutor de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

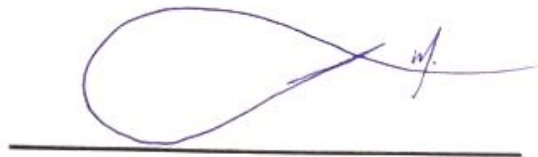
Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de la estudiante **RODRÍGUEZ CHÓEZ ALISSON PAMELA**, legalmente matriculada en la carrera de Arquitectura, período académico 2026-2027, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto investigador es **"Fachadas cinéticas híbridas: Evaluación del potencial de reducción térmica en viviendas del barrio Circunvalación, Manta"**.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 19 de agosto de 2026.

Lo certifico,

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large loop followed by a horizontal line and a small mark, positioned above a solid horizontal line.

MGTR. ARQ. CRISTHIAN JAVIER MELGAR VELIZ

C.C.131015383-6

DOCENTE TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, RODRIGUEZ CHOEZ ALISSON PAMELA con CC: 131404253-0, doy constancia de ser el autor del trabajo de investigación con el tema “FACHADAS CINÉTICAS HÍBRIDAS: EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN TÉRMICA EN VIVIENDAS DEL BARRIO CIRCUNVALACIÓN, MANTA”, el cual fue dirigido por el docente tutor, ARQ. CRISTHIAN JAVIER MELGAR VELIZ, MG.

Dejo constancia de la originalidad del trabajo realizado tomando de referencia a autores que aportan a la investigación, y a la recopilación de datos e información en fuentes bibliográficas, visitas de campo, entre otros.

En la ciudad de Manta, a los diecinueve días del mes de Agosto de dos mil veintiséis.



RODRÍGUEZ CHOEZ ALISSON PAMELA

CI. 1314042350

AUTOR(A)

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

En calidad de tribunales de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, certificamos:

Haber revisado el Trabajo de Titulación, bajo la modalidad de Proyecto de Investigación, cuyo tema es **"FACHADAS CINÉTICAS HÍBRIDAS: EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN TÉRMICA EN VIVIENDAS DEL BARRIO CIRCUNVALACIÓN, MANTA"**, de la autoría de la estudiante RODRÍGUEZ CHÓEZ ALISSON PAMELA, perteneciente a la carrera de Arquitectura, el mismo que reúne los requisitos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y por la normativa institucional vigente. Por tal motivo, APROBAMOS que el mencionado proyecto reúne los méritos académicos, científicos y formales suficientes para proceder a la defensa correspondiente.

Certificamos lo anterior para los fines pertinentes, salvo disposición de Ley en contrario. En la ciudad de Manta, a los diecinueve días del mes de Agosto de dos mil veintiséis.



ING. GABRIEL SALVATIERRA TUMBACO, MG
C.C. 131325357-5
TRIBUNAL 1

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

En calidad de tribunales de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, certificamos:

Haber revisado el Trabajo de Titulación, bajo la modalidad de Proyecto de Investigación, cuyo tema es **"FACHADAS CINÉTICAS HÍBRIDAS: EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE REDUCCIÓN TÉRMICA EN VIVIENDAS DEL BARRIO CIRCUNVALACIÓN, MANTA"**, de la autoría de la estudiante RODRÍGUEZ CHÓEZ ALISSON PAMELA, perteneciente a la carrera de Arquitectura, el mismo que reúne los requisitos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y por la normativa institucional vigente. Por tal motivo, **APROBAMOS** que el mencionado proyecto reúne los méritos académicos, científicos y formales suficientes para proceder a la defensa correspondiente.

Certificamos lo anterior para los fines pertinentes, salvo disposición de Ley en contrario.
En la ciudad de Manta, a los diecinueve días del mes de Agosto de dos mil veintiséis.



ING. FRANCISCO JAVIER DELGADO SANZ, MG.

C.C.131008272-0

TRIBUNAL 2

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, por haber estado presentes en cada etapa de este camino. A lo largo de mi formación como profesional, hubieron obstáculos, momentos de cansancio y otros en los que emocionalmente me costaba avanzar; Sin embargo, siempre encontré en ustedes un lugar seguro al que regresar. De manera simbólica, muchas veces sentí que tomaban mi mano, siempre fueron y serán esa fuerza que me motiva a seguir adelante. Este logro también les pertenece, porque detrás de cada paso que di estuvo su amor, su paciencia y su apoyo incondicional.

A mis hermanos, por formar parte de mi vida y acompañarme, cada uno a su manera, durante este proceso. A mis tíos y a mi abuela, mi querida mami, por su cariño, sus palabras y por estar presentes en mi vida. Cada muestra de afecto y cada gesto de apoyo hicieron parte de este camino.

Mi mejor amiga, por haber estado en diferentes etapas de mi vida y por seguir aquí después de tantos años. Nuestra amistad es uno de esos regalos que el tiempo no ha hecho más pequeño, sino más valioso.

Amigos que se convirtieron en familia, aun estando lejos, estuvieron cerca de mí de una manera que nunca olvidaré. Gracias, por creer en mí y por acompañarme desde la distancia.

Y a la niña que un día soñó con ser arquitecta, porque después de tantos años, esfuerzos y momentos difíciles, finalmente puedo decirle: lo logramos.

A todos ustedes, gracias por formar parte de este camino. Este logro lleva un poco de cada persona que, de una u otra manera, me ayudó a llegar hasta aquí.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero agradecimiento a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, por haber sido el espacio donde, durante estos años, adquirí conocimientos, experiencias y herramientas que contribuyeron a mi formación profesional y personal.

Agradezco a todos los docentes que fueron parte de mi formación, por sus enseñanzas, exigencias y experiencias compartidas, que aportaron a mi crecimiento y a la construcción de la profesional que espero llegar a ser.

De manera especial, agradezco a mi tutor del proyecto de titulación, el arquitecto Cristhian Melgar, por su orientación, acompañamiento y disposición durante el desarrollo de este trabajo. Sus observaciones y recomendaciones fueron fundamentales para guiar y fortalecer este proceso.

A mis amigas, por las risas, los aprendizajes y también los momentos difíciles que compartimos. Gracias por hacer de estos años una etapa especial llena de recuerdos que siempre llevaré conmigo.

Finalmente, agradezco a esta etapa de mi vida por todo lo que me enseñó. No solo me llevo conocimientos relacionados con la arquitectura, sino también experiencias y aprendizajes que me permitieron crecer tanto profesional como personalmente.

Concluir esta etapa no significa solamente haber terminado una carrera, sino cerrar una parte importante de mi historia y abrir el camino hacia todo aquello que aún está por venir.

RESUMEN

Las condiciones climáticas de la ciudad de Manta representan un desafío para el confort térmico en las viviendas de la actualidad, debido a la elevada incidencia de radiación solar y a las características propias del clima costero. En el sector Circunvalación predominan envolventes arquitectónicas convencionales que, según la percepción de sus habitantes, no siempre proporcionan condiciones adecuadas de confort interior, lo que favorece el uso frecuente de sistemas de climatización artificial. Frente a esta problemática, la presente investigación tiene como objetivo analizar el potencial de las estrategias tecnológicas con enfoque bioclimático de fachadas cinéticas híbridas para el confort térmico en viviendas del sector Circunvalación de Manta. La investigación adopta un enfoque mixto, con alcance descriptivo y componente experimental basado en simulaciones digitales. Para ello, se emplean métodos analítico-sintético, descriptivo y experimental, apoyados en técnicas como la revisión documental, observación estructurada, encuestas, registro de datos y modelación computacional mediante herramientas de simulación. Asimismo, se comparará el comportamiento térmico de una envolvente convencional con una fachada cinética híbrida, considerando variables relacionadas con la temperatura interior, la radiación solar y el desempeño térmico de la envolvente. Los resultados permitirán generar criterios técnicos que contribuyan a valorar el potencial de estos sistemas como estrategia bioclimática aplicable al contexto residencial de Manta, aportando información útil para futuras investigaciones sobre fachadas adaptativas y eficiencia energética en zonas de clima cálido costero.

PALABRAS CLAVE

Arquitectura Cinética

Arquitectura bioclimática

Confort Térmico

Envolvente arquitectónica

Simulación térmica

Sistemas inteligentes

Eficiencia energética

Paneles móviles

ABSTRACT

The climatic conditions of the city of Manta pose a challenge for thermal comfort in residential housing due to high levels of solar radiation and the specific characteristics of the coastal climate. Conventional architectural envelopes predominate in the Circunvalación sector; according to residents, these do not always provide adequate indoor comfort, leading to frequent reliance on artificial climate control systems. Addressing this issue, this research aims to analyze the potential of technological strategies—specifically hybrid kinetic facades with a bioclimatic approach—to enhance thermal comfort in residential housing within Manta's Circunvalación sector. The study employs a mixed-methods approach with a descriptive scope and experimental components based on digital simulations. Analytical-synthetic, descriptive, and experimental methods are used, supported by techniques such as literature review, structured observation, surveys, data logging, and computational modeling via simulation tools. Furthermore, the thermal performance of a conventional envelope will be compared with that of a hybrid kinetic facade, considering variables related to indoor temperature, solar radiation, and the envelope's thermal behavior. The results will facilitate the development of technical criteria to assess the potential of these systems as a bioclimatic strategy for Manta's residential context, providing valuable information for future research on adaptive facades and energy efficiency in hot coastal climates.

KEY WORDS

Kinetic architecture

Bioclimatic architecture

Thermal comfort

Building envelope

Thermal simulation

Smart systems

Energy efficiency

Moving panels

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL	10
2.Planteamiento del Problema	21
2.1.Marco Contextual	22
2.2. Formulación del Problema	23
2.2.1. Problema Central	23
2.2.2.SubProblemas	24
2.3. Objeto de Estudio	25
2.3.1.Definición del Objeto de Estudio	25
2.3.2. Delimitación Espacial	25
2.3.3. Delimitación Temporal	26
2.4. Campo de Acción	27
2.5. Objetivos	27
2.5.1. Objetivos Generales	27
2.5.2. Objetivos Específicos	27
2.6. Hipótesis	28
2.7.Justificación	28
2.7.1.Justificación Social	28
2.7.2.Justificación urbana/arquitectónica/técnica constructiva	29
2.7.3.Justificación Académica	29
2.7.4.Justificación Institucional	30
2.8.Operacionalización de variables	30

2.8.1.Variable Independiente	30
2.8.2.Variable Dependiente	32
2.9.Tareas Cientificas Desarrolladas	34
2.9.1.Tc1:Revisión y sistematización de bibliografía especializada en fachadas cinéticas híbridas	34
2.9.2.Tc2:Diagnóstico de las condiciones actuales de confort térmico interior y de las envolventes arquitectónicas	34
2.9.3.Tc3:Definición de parámetros bioclimaticos y críticos técnicos para fachadas cinéticas híbridas	34
2.9.4. Tc4: Simulación y comparación del comportamiento térmico de fachadas convencionales y cinéticas híbridas	34
3.Capitulo I Marco Teórico y Referencial y Legal	35
3.1.Marco Antropológico	35
3.2.Marco Teórico	37
3.2.1. Arquitectura vernácula y regionalismo climático	37
3.2.2. Arquitectura bioclimática	38
3.2.3. Arquitectura cinética	39
3.2.4. Confort térmico	40
3.2.5. Simulación paramétrica como herramienta metodológica	41
3.3.Marco Conceptual	43
3.3.1. Conceptos de arquitectura vernácula	43
3.3.2. Conceptos de arquitectura bioclimática	43
3.3.3. Conceptos de arquitectura cinética	43
3.3.4. Conceptos de confort térmico	44

3.3.5. Conceptos de simulación paramétrica	44
3.4.Marco Juridico y/o Normativo	44
3.4.1. Leyes y regulaciones nacionales	44
3.4.2. Normativas internacionales	46
3.5.Modelos de Repertorio	48
3.5.1. Hale Napo'o / Olson Kundig	48
3.5.2. Bilgola Beach House / Olson Kundig	49
4. Capítulo II. Diseño Metodológico	50
4.1. Métodos	50
4.1.1.Método analítico–sintético	50
4.1.2.Método descriptivo	50
4.1.3. Método experimental	51
4.1.4.Método de simulación	51
4.1.5.Enfoque cualitativo	51
4.1.6.Enfoque cuantitativo	52
4.2. Técnicas e instrumentos de investigación	52
5.Capitulo III. Diagnóstico y resultados de la investigación	55
5.1.Contextualización del área de estudio	55
5.2.Ubicación	55
5.3.Aspectos sociales y económicos	56
5.4.Características físicas del entorno	57
5.4.1.Tipología de viviendas	57
5.4.2.Densidad	58

5.4.3. Uso de suelo	58
5.5. Condiciones climáticas y ambientales	59
5.5.1. Temperatura	59
5.5.2. Humedad	60
5.5.3. Radiación solar	61
5.5.4. Vientos dominantes	62
5.6. Diagnóstico de las fachadas existentes	62
5.6.1. Tipos de fachadas actuales	62
5.6.2. Materiales predominantes	63
5.6.3. Afectación en viviendas	64
5.6.4. Protección solar existente	65
5.6.5. Problemas detectados	65
5.7. Diagnóstico del confort térmico percibido	66
5.7.1. Problemáticas identificadas	68
5.7.2. Ganancia térmica interna	69
5.7.3. Disconfort térmico de los ocupantes	69
5.7.4. Incremento de la demanda y consumo energético	69
5.7.5. Deficiencia bioclimática de la envolvente arquitectónica	70
5.7.6. Síntesis de las problemáticas identificadas	70
5.8. Presentación de resultados y discusión	70
5.8.1. Resultados del análisis de encuestas	71
5.8.2. Resultados del análisis de entrevistas	84
5.9. Parámetros bioclimáticos para propuesta cinética híbrida	88

5.9.1.Radiación solar	88
5.9.2.Ventilación natural	88
5.9.3.Iluminación natural	88
5.9.4.Requerimientos de diseño	88
5.10.Modelación digital de vivienda Base	89
5.11.Simulación térmica de fachada convencional	90
5.12.Simulación térmica de fachada cinética híbrida	92
5.12.1.Módulo de lamas verticales	92
5.12.2.Estructura del flujo paramétrico Grasshopper-Ladybug	95
5.12.3.Radiación obtenida anual	101
5.12.4.Comparación de resultados térmicos	102
5.12.5.Ganancia de calor (Q)	103
5.12.6.Discusión de resultados	105
5.12.7.Implicaciones arquitectónicas y urbanas	107
6.Conclusiones	108
7.Recomendaciones	109
8. Referencia Bibliográfica	110
9.Anexos	113

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de la Variable Independiente	31
Tabla 2	Operacionalización de la Variable Dependiente	32
Tabla 3	<i>Técnicas e instrumentos de investigación</i>	53
Tabla 4	<i>Temperatura registrada en la localidad</i>	59
Tabla 5	<i>Humedad Relativa del área de investigación</i>	60
Tabla 6	<i>Temperaturas registradas en la vivienda base 1</i>	66
Tabla 7	<i>Temperaturas registradas en la vivienda base día 2</i>	67
Tabla 8	<i>Resultados de temperatura, velocidad del aire e iluminación natural en la sala-comedor</i>	68
Tabla 9	<i>Distribución de los participantes según el género</i>	71
Tabla 10	<i>Distribución de los participantes según el rango de edad</i>	72
Tabla 11	<i>Tiempo de permanencia en la vivienda</i>	73
Tabla 12	<i>Percepción de la sensación térmica en la vivienda durante los meses más cálidos</i>	74
Tabla 13	<i>Horario de mayor incomodidad térmica en los espacios sociales de la vivienda</i>	75
Tabla 14	<i>Momento del día de mayor sensación de térmica en el dormitorio</i>	76
Tabla 15	<i>Espacio con ventanas exteriores de mayor incomodidad por calor</i>	77
Tabla 16	<i>Temperatura percibida por espacio en horas más calurosas</i>	77
Tabla 17	<i>Tiempo diario de molestia visual por exceso de luz solar en los espacios interiores</i>	78
Tabla 18	<i>Nivel de calor percibido por fachada</i>	79
Tabla 19	<i>Horas diarias en que la ventilación natural mantiene fresca la vivienda</i>	80

Tabla 20	<i>Horas promedio de uso de sistemas de enfriamiento activo</i>	81
Tabla 21	<i>Frecuencia de acciones para mitigar el calor interior</i>	81
Tabla 22	<i>Elementos interiores para reducir ingreso de luz solar</i>	82
Tabla 23	<i>Elementos exteriores para reducir ingreso de luz solar</i>	83
Tabla 24	<i>Respuestas de entrevistas realizadas a usuarios</i>	84
Tabla 25	<i>Respaldo de información obtenida entre encuesta y entrevista</i>	86
Tabla 26	<i>Fachadas afectadas vivienda 1</i>	90
Tabla 27	<i>Fachadas afectadas vivienda 2</i>	91
Tabla 28	<i>Ángulo de giro de la lama por franja horaria</i>	92
Tabla 29	<i>Radiación solar captada en fachadas</i>	102
Tabla 30	<i>Ganancia térmica de muro</i>	103
Tabla 31	<i>Ganancia térmica de Vidrio</i>	104
Tabla 32	<i>Resistencia térmica de la envolvente</i>	104
Tabla 33	<i>Comparación de pérdidas por conducción</i>	105

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Delimitación espacial del área de investigación</i>	26
Figura 2 <i>Mapa de teorías y autores</i>	42
Figura 3 <i>Marco Jurídico Nacional</i>	46
Figura 4 <i>Organizador de normativas Internacional</i>	47
Figura 5 <i>Vivienda con sistema de apertura tipo persianas</i>	48
Figura 6 <i>Bilgola Beach House, parasoles abatibles en fachada</i>	49
Figura 7 <i>Ubicación con respecto al área de investigación</i>	55
Figura 8 <i>Estructura económica del sector</i>	57
Figura 9 <i>Grafica de temperatura</i>	59
Figura 10 <i>Gráfica de humedad relativa</i>	60
Figura 11 <i>Manzana irradiada con respecto a su ubicación en el sector de investigación</i> .	61
Figura 12 <i>Polígono de vientos,dirección y velocidad que afectan la zona</i>	62
Figura 13 <i>Perfil urbano de la manzana</i>	63
Figura 14 <i>Materiales predominantes en las fachadas en el perfil urbano de la manzana</i> .	64
Figura 15 <i>Justificación del tamaño de muestra</i>	71
Figura 16 <i>Participantes según el género</i>	72
Figura 17 <i>Distribución de los encuestados por rango de edad</i>	73
Figura 18 <i>Tiempo de permanencia del encuestado en la vivienda</i>	74
Figura 19 <i>Percepción de la sensación térmica en la vivienda durante los meses más cálidos</i>	75
Figura 20 <i>Horario de mayor incomodidad térmica en los espacios sociales de la vivienda</i>	75

Figura 21	<i>Momento del día de mayor sensación de térmica en el dormitorio</i>	76
Figura 22	<i>Espacio con ventanas exteriores de mayor incomodidad por calor</i>	77
Figura 23	<i>Temperatura percibida por espacio en horas más calurosas</i>	78
Figura 24	<i>Tiempo diario de molestia visual por exceso de luz solar en los espacios interiores</i>	79
Figura 25	<i>Horas diarias en que la ventilación natural mantiene fresca la vivienda</i>	80
Figura 26	<i>Horas promedio de uso de sistemas de enfriamiento activo</i>	81
Figura 27	<i>Frecuencia de acciones para mitigar el calor interior</i>	82
Figura 28	<i>Elementos interiores para reducir ingreso de luz solar</i>	83
Figura 29	<i>Elementos exteriores para reducir ingreso de luz solar</i>	84
Figura 30	<i>Vivienda base tipo 1,planta arquitectonica con vista direccinal al Noroeste</i>	89
Figura 31	<i>Vivienda base tipo 2 ,planta arquitectonica con vista direccional al sureste</i>	90
Figura 32	<i>Elemento gráfico de insolación acumulada vivienda 1</i>	90
Figura 33	<i>Elemento gráfico de insolación acumulada vivienda 2</i>	91
Figura 34	<i>Detalle técnico de sistema hibrido</i>	93
Figura 35	<i>Lamas verticales</i>	94
Figura 36	<i>Flujo paramétrico Grasshopper-Ladybug: modelado de lamas y análisis comparativo de radiación incidente (escenario sin protección y fachada cinética)</i>	95
Figura 37	<i>Flujo paramétrico Grasshopper-Ladybug: modelado de lamas</i>	96
Figura 38	<i>Análisis comparativo de radiación incidente</i>	97
Figura 39	<i>Simulación de fachada sin protección de lamas verticales</i>	98
Figura 40	<i>Simulación de fachada con protección de lamas verticales</i>	99

Figura 41 *Escenario de reducción de radiación por protección de fachadas con lamas móviles verticales* 101

1.Introducción

La arquitectura actual, requiere edificaciones capaces de responder de forma eficiente a las condiciones del entorno especialmente en zonas de clima cálido y costero. En este escenario las fachadas cinéticas híbridas se muestran como una opción viable de diseño bioclimático, ya que buscan mejorar el confort térmico interior y optimizar el desempeño energético de las edificaciones. Más allá de su función estética, la fachada constituye un elemento clave en el comportamiento ambiental del edificio pues regula la relación entre las condiciones exteriores y los espacios interiores influyendo directamente en variables como la radiación solar, la ventilación y la iluminación natural. (Cowen et al., 2021).

El uso del movimiento como recurso arquitectónico, no es un planteamiento reciente sus antecedentes se encuentran en soluciones funcionales utilizadas desde la Edad Media, sin embargo fue a inicios del siglo XX cuando comenzó a consolidarse como un concepto teórico a partir de las propuestas experimentales desarrolladas por Chernikhov (1933). Con el paso del tiempo este enfoque evolucionó y se integró a la arquitectura bioclimática y a los principios de sostenibilidad.

Desde esta perspectiva las fachadas cinéticas contemporáneas, pueden definirse como elementos móviles que se encargan de regular la incidencia de la radiación solar, la ventilación y el ingreso de luz natural, con el propósito de disminuir el consumo energético y favorecer el confort de los ocupantes. (Scavée et al., 2022)

En el caso de Ecuador, la aplicación de sistemas de fachadas cinéticas todavía es limitada. No obstante el diseño bioclimático ha incorporado diversas estrategias pasivas principalmente en viviendas unifamiliares como sistemas de fachadas con quiebrasoles, en el caso de la ciudad de Manta y de manera específica en el sector Circunvalación predominan edificaciones residenciales de baja altura, con construcciones empíricas que presentan deficiencias para controlar el asoleamiento y aprovechar la ventilación natural.

A esta situación, se suman las características del clima cálido costero y la condición sísmica del territorio, aspectos que evidencian la necesidad de desarrollar soluciones

arquitectónicas que mejoren el confort térmico y la eficiencia energética sin afectar la viabilidad constructiva de las viviendas.

Diversas investigaciones coinciden en que la envolvente arquitectónica desempeña un papel determinante en el comportamiento térmico de una edificación, en este sentido los estudios basados en simulaciones de envolventes cinéticas han demostrado mejoras importantes en el confort térmico interior especialmente en climas cálidos. De igual manera el empleo de herramientas de simulación permite analizar y comparar el desempeño térmico de fachadas bioclimáticas dinámicas frente a sistemas convencionales convirtiéndose en un recurso útil para evaluar su eficiencia. (Estupiñán Acero, 2020)

Considerando este panorama, la presente investigación tiene como propósito analizar estrategias tecnológicas con enfoque bioclimático aplicadas al diseño de fachadas cinéticas híbridas, para mejorar el confort térmico en viviendas unifamiliares del sector Circunvalación de la ciudad de Manta, como punto de partida se plantea que la incorporación de sistemas de movimiento controlado junto con estrategias pasivas adaptadas a las condiciones locales permitirá desarrollar envolventes arquitectónicas con mayor capacidad de respuesta frente al clima, regulando de manera más eficiente la radiación solar, la ventilación natural y la iluminación. De esta forma, se espera contribuir al incremento del confort térmico de los usuarios y a la disminución de la demanda energética de las viviendas.

La investigación se organiza en tres capítulos, el primero correspondiente al Marco Referencial y Legal que aborda los fundamentos teóricos sobre la arquitectura cinética estrategias bioclimáticas y la normativa técnica aplicable al contexto de la ciudad de Manta, el segundo capítulo presenta el diseño metodológico de la investigación describiendo el enfoque exploratorio de tipo mixto así como los métodos y herramientas de simulación empleados para evaluar el comportamiento térmico. Finalmente el tercer capítulo expone el diagnóstico, el análisis de la información obtenida y los resultados derivados de las simulaciones con el fin de valorar el desempeño térmico de las viviendas al incorporar estrategias de fachadas cinéticas híbridas.

2.Planteamiento del Problema

Con el paso de los años las fachadas son reconocidas como la piel del edificio, cuya función principal, además del aspecto estético es mediar entre el entorno exterior y el bienestar físico de sus ocupantes. Según Olgyay (1963) para comprender la arquitectura climática de una forma más equilibrada se debe tener una sinergia entre las fuerzas de la naturaleza aprovechando los recursos que esta nos brinda para mitigar la carga térmica de las edificaciones. Sin embargo, en ciudades como Manta se omiten estrategias bioclimáticas desde las primeras ideas de diseño que influyen en la construcción y confort de sus ocupantes, provocando que recurran a utilizar equipos de refrigeración mecánica que con el pasar del tiempo se vuelve perjudicial.

Múltiples estudios indican que un análisis previo a la construcción se convierten en factores clave en el comportamiento térmico de la edificación, puesto que desde que se piensa en la orientación con respecto al sol y se eligen materiales adecuados según el contexto se aplican estrategias pasivas arquitectónicas, investigadores locales han evidenciado que en Manta la exposición solar de las edificaciones afecta significativamente a las fachadas laterales y a los volúmenes con alturas prominentes cuando no se implementa estrategias de protección adecuadas que funcionen en nuestro contexto climático. En entornos con altos niveles de radiación el uso de sistemas dinámicos ha demostrado ser una solución eficaz puesto que, las fachadas cinéticas reducen el consumo energético a un promedio de 28 a 30% en comparación con edificios que poseen envolventes estáticas y sin protección solar. (Hansanuwat, 2010)

En el barrio Circunvalación de Manta uno de los principales desafíos de envolventes arquitectónicas capaces de proteger el interior de la misma respondiendo a las variaciones propias del clima. La ausencia de soluciones pasivas sistemas que mantienen las condiciones adecuadas de confort térmico fomentando la eficiencia en los edificios para controlar las ganancias térmicas de los espacios internos. Tomando en consideración la investigación de Cadme y García (2025) donde se menciona que la radiación solar global horizontal en la zona alcanza los 1721,6 kWh/m² por año por lo que se denota como los sistemas actuales de protección o la falta de ellos no cumplen con la función para la que fue construida, es decir servir de piel del edificio, por ello es necesario reemplazar los sistemas constructivos tradicionales por

soluciones con mejor desempeño energético. Por ende resulta fundamental profundizar en el análisis de las fachadas actuales y establecer una comparativa de ganancia térmica contra las fachadas híbridas como sistemas sofisticados.

2.1.Marco Contextual

El desarrollo urbano de la ciudad de Manta, uno de los principales centros económicos y portuarios de la costa de Manabí, ha estado marcado por un crecimiento acelerado de su tejido residencial. Esta expansión responde tanto a su dinamismo comercial y turístico como a los avances tecnológicos incorporados progresivamente en el diseño arquitectónico local. Sin embargo, dicho crecimiento no siempre ha estado acompañado por criterios bioclimáticos adecuados, especialmente en el diseño de las fachadas, elemento fundamental en la relación entre la edificación y el entorno ambiental.

Dentro de este contexto se localiza el sector de Circunvalación, perteneciente a una de las parroquias urbanas del cantón, caracterizado por una imagen urbana predominantemente residencial, así como también por la presencia de viviendas que responden en su mayoría a sistemas constructivos tradicionales. En este sector las fachadas han sido diseñadas principalmente desde una lógica formal y funcional básica, en donde se ha priorizado aspectos desde la seguridad hasta la economía constructiva, pero dejando en segundo plano su desempeño térmico junto con su capacidad de adaptación frente a las condiciones climáticas del entorno costero.

En un el área ambiental Manta presenta un clima semiárido-cálido (BSH), según la clasificación climática de Köppen, con temperaturas elevadas durante todo el año así como también una escasa precipitación. Las condiciones ambientales del lugar inciden directamente en el comportamiento térmico de las fachadas, sobre todo en aquellas que están expuestas de forma prolongada a la radiación solar, cuya intensidad varía entre los periodos de perihelio o afelio. El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2020), plantea que las temperaturas medias oscilan entre 25 °C o 28 °C, pero la alta humedad relativa supera frecuentemente el 70 %, lo cual incrementa la sensación térmica a la vez que reduce el confort interior en las viviendas.

Frente a esta situación, las envolventes arquitectónicas tradicionales presentes en Circunvalación resultan inadecuadas para protegerlas de las ganancias térmicas o la radiación

solar, como consecuencia los habitantes recurren de forma constante a sistemas de climatización artificial para alcanzar condiciones mínimas de habitabilidad, como los ventiladores o los aires acondicionados, pero esta práctica aunque es efectiva a corto plazo, genera un incremento considerable en el consumo energético así como en la huella de carbono urbana, tal como señalan Vallejo et al. (2024), quienes evidenciaron una dependencia creciente de sistemas activos para el control térmico.

La problemática en este escenario ya no se limita únicamente al confort interior, pues se relaciona directamente con la sostenibilidad urbana así como con la eficiencia energética de la ciudad. El modelo actual de crecimiento residencial resulta poco viable a largo plazo si la habitabilidad de las viviendas depende exclusivamente del uso intensivo de energía eléctrica, es por eso que se vuelve necesario el análisis de alternativas arquitectónicas que permitan una optimización del desempeño de las fachadas como elementos reguladores del ambiente interior, además que también integren soluciones adaptativas e inteligentes que respondan a las condiciones climáticas locales sin que alteren la identidad urbana del sector.

La necesidad de innovación se alinea con la visión planteada por Chernikhov (1933), quien sostenía que la arquitectura no debe limitarse a la generación de soluciones convencionales, al contrario debe avanzar con creatividad frente a los desafíos de su tiempo. El estudio de fachadas cinéticas híbridas se plantea como una línea de investigación pertinente para la comprensión de su potencial aplicación en contextos residenciales como Circunvalación, en donde aporta criterios técnicos que permitan el mejoramiento del confort térmico mientras reduce la dependencia energética en viviendas ubicadas en zonas costeras como Manta.

2.2. Formulación del Problema

2.2.1. Problema Central

Las viviendas del sector Circunvalación, se desarrollan en una situación climática que exige un adecuado control de la radiación solar al mismo tiempo que del confort térmico interior, sin embargo, las envolventes arquitectónicas utilizadas de forma predominante responden a sistemas convencionales que no incorporan estrategias adaptativas frente a las condiciones ambientales del entorno costero.

En los testimonios de los habitantes del sector se evidencia una percepción de discomfort térmico en los espacios interiores, lo cual ha derivado en el uso recurrente de sistemas activos de climatización que ofrecen condiciones aceptables de habitabilidad. En esta situación sobresale la necesidad de que se analicen alternativas arquitectónicas que permitan la optimización del desempeño térmico de las viviendas reduciendo con eso la dependencia de estos sistemas.

A pesar del desarrollo teórico y tecnológico de la arquitectura cinética y de las fachadas adaptativas en otros contextos, en el ámbito local no se dispone de estudios que evalúen, mediante simulaciones, el comportamiento térmico de fachadas cinéticas híbridas aplicadas a residencias, por eso se identifica una ausencia de criterios tanto técnicos como comparativos que determinen su potencial como estrategia bioclimática.

El problema de investigación por lo tanto se centra en la falta de un análisis técnico-simulado que compare el desempeño térmico de envolventes convencionales frente a fachadas cinéticas híbridas en viviendas de Manta, para que de esta manera se amplíe la generación de conocimiento para el diseño de soluciones arquitectónicas más eficientes que sean adaptadas al contexto local.

2.2.2.SubProblemas

Ganancia térmica de los espacios interiores en las viviendas, asociado a la exposición directa de las fachadas a la radiación solar y a la ausencia de sistemas de control térmico pasivo o adaptativo.

Percepción de discomfort térmico por parte de los habitantes, manifestada en sensaciones constantes de calor, bochorno y baja calidad ambiental interior, según testimonios recogidos en el sector Circunvalación.

Posibles afectaciones a la salud y al bienestar a largo plazo, tales como fatiga por temperaturas elevadas, dificultades para el descanso en los espacios debido a el ingreso de radiación, y disminución del confort habitacional, derivadas de la permanencia prolongada en espacios con temperaturas excesivas.

Incremento en el consumo energético de las viviendas afectando costos económicos Debido a la dependencia de sistemas activos de climatización como ventiladores y aires

acondicionados, para compensar las deficiencias de las envolventes arquitectónicas, lo que impacta directamente en la economía doméstica y limita el acceso a condiciones adecuadas de habitabilidad

2.3. Objeto de Estudio

2.3.1. Definición del Objeto de Estudio

El análisis se dirige a valorar el potencial de las fachadas cinéticas híbridas como estrategia arquitectónica bioclimática capaz de adaptarse a las condiciones del entorno, regulando la radiación solar, la ventilación y la ganancia térmica para optimizar el desempeño ambiental de las edificaciones.

En conjunto, el objeto de estudio abarca la interacción entre diseño arquitectónico, tecnología y eficiencia energética, con el fin de establecer criterios aplicables al diseño de viviendas sostenibles que respondan a las necesidades del contexto urbano y climático de la ciudad.

2.3.2. Delimitación Espacial

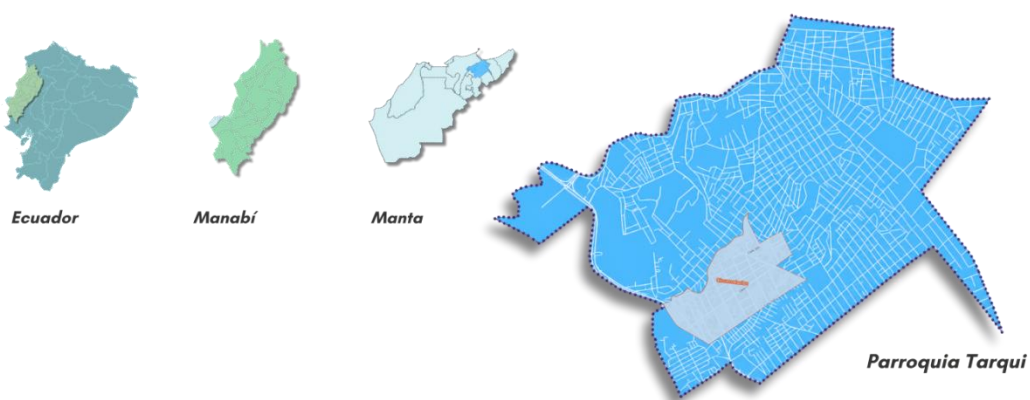
La ciudad designada para desarrollar la presente investigación es Manta, una cantón que se encuentra ubicada en la provincia de Manabí, Ecuador, cuya extensión urbana aproximada supera los 60 km², consolidándose como uno de los principales centros económicos y portuarios de la región costera. En su delimitación urbana, esta presenta ocho parroquias en total de las cuales dos son rurales y seis urbanas, la investigación se desarrolla en la parroquia Tarqui la primera parroquia urbana de Manta y una de las que presenta un mayor crecimiento junto con expansión residencial de la ciudad, que además es caracterizada por una ocupación del suelo diversa y de la misma manera poseer distintas tipologías habitacionales.

El área específica de análisis corresponde al sector Circunvalación, un barrio residencial en proceso de consolidación urbana, integrado principalmente por viviendas unifamiliares, así como también por conjuntos habitacionales de baja y mediana densidad. La superficie delimitada para el área de estudio fue el barrio Circunvalación que presenta un predominio de construcciones que se han realizado de manera empírica, con escasa incorporación de criterios

bioclimáticos destinados al control térmico, el aprovechamiento pasivo de las condiciones climáticas o a la eficiencia energética.

Si bien la delimitación espacial general del estudio corresponde al sector, el levantamiento de campo se realizará en una manzana representativa del área, donde se aplicarán las encuestas, las mediciones in situ y la caracterización constructiva de la envolvente. Esta manzana fue seleccionada por su mayor accesibilidad para el desarrollo del trabajo de campo, trabajar a esta escala permitirá analizar con mayor detalles las condiciones reales de confort térmico de las viviendas.

Figura 1 *Delimitación espacial del área de investigación*



Nota: Elaboración propia

2.3.3. Delimitación Temporal

La presente investigación se delimita temporalmente al periodo 2015–2026 periodo que permite analizar la expansión reciente del sector Circunvalación de Manta y comparar el desempeño esperado de fachadas cinéticas frente a sistemas constructivos tradicionales bajo el marco normativo y los datos censales más recientes. El respaldo de documentación oficial comprende el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Manta desde 2020 hasta 2035, mismo que se usa actualmente y fue aprobado mediante ordenanza municipal, los resultados del Censo Nacional 2023 del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) así como los registros catastrales de GAD y los planes municipales de movilidad que describen el trazado de la vía Circunvalación, mismas fuentes han sido utilizadas para definir posteriormente el ámbito espacial y temporalmente el estudio, además de seleccionar las variables que se incorporarán en las simulaciones posteriores.

2.4. Campo de Acción

El estudio se inscribe en la Línea de Investigación 7 correspondiente a Ingeniería, industria, construcción, urbanismo y arquitectura para el desarrollo sustentable y sostenible, dentro del Campo de Acción cinco que trata de arquitectura y edificaciones sostenibles, esto porque examina la implementación de fachadas cinéticas híbridas como alternativa para mejorar el confort térmico en conjunto con el desempeño energético de las viviendas residenciales ubicadas en zonas costeras. La investigación examina la relación que podrá existir entre el diseño arquitectónico adaptativo con las condiciones ambientales del contexto urbanano del sector de estudio, para que de esta manera exista un incremento en la eficiencia del cerramiento sin que afecte la estética ni la habitabilidad de las edificaciones.

Se asocia con el Campo de Acción 3 que habla de tecnología y construcción convencional y/o alternativas, porque se incluyen mecanismos móviles y sistemas adaptativos inteligentes capaces de responder a las condiciones cambiantes ambientales mediante sensores y control automatizado. La investigación se desarrolla a partir de la recopilación de información teórica y técnica, el análisis de las condiciones actuales del entorno y la simulación digital del comportamiento térmico de las fachadas, con el fin de evaluar su potencial de aplicación en el contexto urbano y climático de Manta.

2.5. Objetivos

2.5.1. Objetivos Generales

Determinar el potencial de reducción térmica y mejora de las condiciones interiores que ofrece una fachada cinética híbrida frente a una fachada convencional, mediante la comparación simulada de su comportamiento térmico en viviendas del sector Circunvalación de la ciudad de Manta.

2.5.2. Objetivos Específicos

Analizar bibliografía especializada sobre eficiencia de uso de fachadas cinéticas en reducción térmica interna en viviendas.

Diagnosticar las condiciones actuales de confort térmico en las viviendas del sector Circunvalación de Manta, así como identificar las limitaciones que presentan las envolventes arquitectónicas tradicionales frente a las condiciones ambientales del entorno.

Determinar los parámetros bioclimáticos y criterios técnicos necesarios para el diseño de una fachada cinética híbrida adaptada al contexto costero.

Obtener y Comparar los resultados de comportamiento térmicos en una vivienda con el uso de una fachada cinética híbrida respecto a una fachada convencional usando herramientas de simulación 3D por medio de software como Rhinoceros, Grasshopper y Ladybug

2.6. Hipótesis

La incorporación simulada de una fachada cinética híbrida en las viviendas del sector Circunvalación de la ciudad de Manta permitirá mejorar las condiciones térmicas interiores y reducir la incidencia de la radiación solar en comparación con una envolvente arquitectónica convencional, mediante el uso de elementos de control solar adaptables a las condiciones ambientales del entorno.

2.7. Justificación

2.7.1. Justificación Social

La investigación surge de la necesidad de que se analicen alternativas arquitectónicas orientadas al mejoramiento del confort térmico así como de la eficiencia ambiental en las viviendas del barrio Circunvalación de Manta, en donde las tipologías habitacionales no siempre responden de manera adecuada a las condiciones climáticas del entorno costero. El conocimiento sobre el potencial de las fachadas cinéticas híbridas favorece la comprensión de su capacidad para la regulación del ingreso de calor en conjunto con la optimización del confort interior, esto mediante estrategias tanto pasivas como adaptativas.

Aunque estos sistemas todavía no se han aplicado en las viviendas del sector, su estudio mediante análisis teóricos junto con simulaciones facilita la generación de información accesible sobre su posible funcionamiento, sin que se propongan soluciones costosas ni de ejecución inmediata. La investigación busca el aporte de criterios de diseño que orienten decisiones

arquitectónicas más acordes con las condiciones climáticas, además que aporten al bienestar de los habitantes.

2.7.2. Justificación urbana/arquitectónica/técnica constructiva

Desde un enfoque más integral, la investigación se desarrolla en el barrio Circunvalación de Manta, un entorno urbano en crecimiento donde conviven viviendas tradicionales con nuevas dinámicas de ocupación del suelo. A nivel urbano, el estudio analiza como los sistemas de fachadas cinéticas podrían integrarse de manera armónica a la imagen del barrio, sin afectar su identidad, y servir como referencia teórica para otros sectores con condiciones similares.

En el ámbito arquitectónico y técnico, la investigación examina de forma descriptiva el posible desempeño térmico, lumínico y energético de estos sistemas, considerando el uso de materiales y soluciones compatibles de estos sistemas, considerando el uso de materiales y soluciones compatibles con el contexto local. Se analizan también criterios de bajo costo, sistemas de anclaje simples y mantenimientos accesibles, entendidos como alternativas teóricas que podrían ser implementadas progresivamente por los propios usuarios, sin plantear una ejecución inmediata.

2.7.3. Justificación Académica

En el ámbito académico, esta investigación representa un aporte importante porque analiza las fachadas cinéticas híbridas como una alternativa para la mitigación de las altas temperaturas interiores presentes en las viviendas del barrio Circunvalación de Manta. Con un enfoque descriptivo, así como comparativo, el estudio genera criterios técnicos de diseño e implementación de sistemas inteligentes que van desde sensores hasta mecanismos de control ambiental los cuales son aplicados a la envolvente arquitectónica. Los resultados se sustentan en datos cualitativos que han sido obtenidos a partir de la observación y percepción de confort, de la misma manera se basan en datos cuantitativos derivados de simulaciones térmicas que comparan el comportamiento de fachadas convencionales con fachadas cinéticas híbridas. La investigación de esta manera aporta información tanto técnica como analítica que sirve como referencia para futuros estudios, simulaciones o ensayos orientados a la mejora del confort térmico en viviendas ubicadas en zonas costeras de clima cálido.

2.7.4. Justificación Institucional

A nivel institucional, la presente investigación se enmarca en los principios de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), orientados a la innovación, la sostenibilidad y el compromiso con el desarrollo local, y aporta a las líneas de planificación urbana sostenible impulsadas por el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Manta. El abordaje de criterios de eficiencia energética junto con control solar en fachadas, permite que el estudio guarde relación con los lineamientos normativos del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), así como con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), de la misma manera con la información climatológica oficial provista por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), que ha sido utilizada como base de este trabajo. La investigación fortalece la vinculación entre la academia con la comunidad, lo que posiciona a la ULEAM como una institución generadora de conocimiento aplicado que también es pertinente para el diseño de soluciones arquitectónicas sostenibles que además son coherentes con las condiciones tanto climáticas como territoriales del cantón Manta y la provincia de Manabí.

2.8. Operacionalización de variables

2.8.1. Variable Independiente

Tabla 1 Operacionalización de la Variable Independiente

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicador	Ítem	Instrumento	Resultado esperado
Condición de la envolvente arquitectónica existente	Conjunto de elementos constructivos y estrategias de protección solar (interiores y exteriores) que actualmente posee la vivienda frente a la radiación solar incidente	Exposición solar por fachada	Nivel de calor percibido según orientación	¿La fachada corresponde a un sistema convencional o a una fachada cinética híbrida?	Encuesta tipo Likert	Caracterizar el nivel de protección solar de la envolvente actual como línea base para evaluar la mejora potencial de una fachada cinética híbrida
		Protección solar exterior	Tipo de elemento de sombreado utilizado	¿Qué elementos de protección exteriores utiliza para reducir el ingreso de luz solar?	Encuesta de opción múltiple	
		Protección solar interior	Tipo de elemento interior utilizado	¿Qué elementos de protección interiores utiliza para reducir el ingreso de luz solar?	Encuesta de opción múltiple	

Nota: Elaboración propia

2.8.2. Variable Dependiente

Tabla 2 Operacionalización de la Variable Dependiente

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicador	Ítem	Instrumento	Resultado esperado
Confort térmico percibido	Estado de bienestar térmico reportado por los ocupantes de la vivienda en relación con la temperatura, el horario de mayor incomodidad y la dependencia de climatización artificial. según	Sensación térmica	Percepción de calor en meses cálidos	En una escala de - 1 a +3, ¿cómo percibe la sensación térmica de su vivienda en los meses más cálidos?	Encuesta tipo Likert	Determinar el nivel de discomfort térmico percibido por los habitantes y su relación con la dependencia de sistemas mecánicos de climatización
		Discomfort	Horario de mayor incomodidad térmica	¿En qué horario percibe mayor incomodidad térmica en los espacios sociales y en el dormitorio?	Encuesta de opción múltiple	

ISO 7730 y ASHRAE 55	Dependenci a de climatización artificial	Horas de uso de sistemas de enfriamiento activo	¿Cuántas horas al día utiliza ventilador o aire acondicionado?	Encuesta de opción múltiple
-------------------------	---	---	--	--------------------------------

Nota: Elaboración propia

2.9.Tareas Científicas Desarrolladas

2.9.1.Tc1:Revisión y sistematización de bibliografía especializada en fachadas cinéticas híbridas

Análisis de literatura científica, artículos académicos, trabajos de titulación, documentos técnicos y normativas internacionales relevantes, como ISO 7730 e ISO 52016-3, con el fin de comprender los principios de funcionamiento, los tipos, los beneficios y la aplicabilidad de las fachadas cinéticas híbridas en contextos climáticos cálidos y costeros como el de la ciudad de Manta.

2.9.2.Tc2:Diagnóstico de las condiciones actuales de confort térmico interior y de las envolventes arquitectónicas

Esta tarea comprende la caracterización descriptiva de las viviendas del sector Circunvalación, considerando aspectos como materialidad, orientación, exposición solar y configuración de las fachadas. A partir del análisis contextual y bioclimático, se identifican las limitaciones térmicas de las envolventes convencionales y su relación con el discomfort térmico interior.

2.9.3.Tc3:Definición de parámetros bioclimáticos y críticos técnicos para fachadas cinéticas híbridas

Se establecen los parámetros bioclimáticos y criterios técnicos necesarios para el diseño conceptual de una fachada cinética híbrida, considerando las condiciones climáticas del entorno costero de Manta, los principios de control solar, ventilación natural y selección de materiales compatibles con el contexto urbano y constructivo local.

2.9.4. Tc4: Simulación y comparación del comportamiento térmico de fachadas convencionales y cinéticas híbridas

Se desarrollan modelos digitales y simulaciones energéticas que permiten comparar el comportamiento térmico interior y la demanda de climatización de una vivienda tipo con fachada convencional frente a una vivienda con fachada cinética híbrida. El análisis se orienta a estimar el desempeño proyectado de ambos sistemas y su incidencia en el confort térmico interior

3.Capitulo I Marco Teórico y Referencial y Legal

3.1.Marco Antropológico

Camino Solórzano (1999), en su investigación sobre la evolución tipológica de la vivienda en Manabí, documenta que las culturas costeras precolombinas resolvían el confort interior de forma casi enteramente pasiva: paredes de caña, madera y paja que, por su liviandad, funcionaban también como elementos de respiración de la vivienda, y ranuras que permitían controlar la luz y, a la vez, la circulación de aire. La ausencia de vanos o ventanas amplias no era una carencia técnica, sino una decisión funcional, que mantenía la penumbra necesaria para el descanso y reforzaba la sensación de abrigo y protección. Dentro de esta etapa, el hallazgo más relevante para la presente investigación aparece en el periodo de Integración, con la vivienda unifamiliar sobre pilotes: su disposición palafítica, elevada sobre el suelo, permitía una aireación mayor y más eficaz en un clima cálido y húmedo. Esta solución, además de su valor ecológico, se convirtió en una tradición cultural que se mantuvo y se sigue construyendo hasta la actualidad en el sector rural de Manabí, lo que demuestra que la vivienda sobre pilotes no es una curiosidad arqueológica, sino la evidencia más antigua de una lógica climática que sigue viva en el territorio y que conecta directamente con la teoría de la ventilación natural revisada en el marco teórico (Givoni, 1994).

La llegada española introdujo una transformación en las formas de resolución del confort pues las soluciones autóctonas comenzaron a combinarse con disposiciones normadas. Las Leyes de Indias establecían la orientación de los solares para el aprovechamiento de los vientos favorables, criterio que en la vivienda de Puerto Viejo se expresó mediante patios interiores descubiertos, soportales, galerías, junto con balconadas superiores destinadas a reducir la radiación solar directa.

Las persianas de madera, los muros de altura parcial, así como los vanos ubicados sobre las puertas favorecían la ventilación mientras ofrecían la renovación del aire, durante este periodo el control del asoleamiento junto con la circulación del aire dependía de elementos de fachada semifijos tales como persianas, celosías o aberturas parciales, transición que antecedió al desarrollo posterior de componentes regulables.

La vivienda republicana representa una etapa representativa dentro del marco antropológico, debido a que incorporó elementos funcionales y tecnológicos orientados al confort, entre ellos las ventanerías conocidas como «chazas», carpinterías de cuatro hojas que facilitaban el ingreso de iluminación, ventilación o vistas, además de que permitían una regulación manual según las necesidades de los habitantes. El zaguán de acceso funcionaba como ducto de ventilación entre la planta baja con la planta alta, mientras que el soportal, las paredes inconclusas bajo el cielo raso, así como la ubicación de la cocina hacia el patio posterior favorecían a la circulación del aire mientras alejaban el calor de las áreas habitadas.

La chaza puede entenderse como un antecedente manual de los actuales sistemas cinéticos de fachada, su apertura o cierre se ajustaba según la hora del día o las condiciones climáticas, además su funcionamiento respondía al mismo principio de control variable que hoy se busca automatizar mediante una fachada cinética híbrida, orientada a la regulación de la incidencia solar y el paso del aire de forma más eficiente.

El recorrido no se detiene ahí. Macías Loor et al. (2022) muestran que la primera fase de la arquitectura moderna manabita, hacia mediados del siglo XX, todavía conservaba los soportales, las grandes alturas de entrepiso, los zaguanes, los patios internos y las ventanas con chaza heredados de la época republicana, y que esos elementos seguían generando un confort interior adecuado gracias al flujo continuo de ventilación y al control de la iluminación natural. La segunda fase de la modernidad marcó una ruptura en la resolución del confort habitacional ya que la incorporación generalizada del hormigón armado junto con la aplicación de normativas urbanas más rígidas limitaron el flujo de ventilación, al mismo tiempo desaparecían progresivamente los patios interiores, los fogones, así como los zaguanes de la vivienda urbana. La vivienda rural conservó su identidad vernácula y continuó adaptando sus espacios a las necesidades de sus propietarios, no abandonó los criterios tradicionales destinados a favorecer la circulación del aire.

En la época contemporánea, el uso de materiales industrializados junto con las disposiciones municipales, así como la adopción de criterios internacionales de diseño profundizaron este proceso porque redujeron la atención concedida al emplazamiento adecuado de la vivienda. Una parte considerable de la población accede a edificaciones dignas en términos de cobertura con protección, pero con escaso confort higrotérmico interior y sin evaluaciones

posteriores a la construcción, las cuales son indispensables porque orientan la selección de materiales o técnicas que disminuyen la dependencia de sistemas energéticos activos.

Un levantamiento de campo realizado en viviendas de clase baja y media baja de la ciudad de Manta en la ciudadela La Aurora y el barrio Altamira, confirma esta pérdida de forma medible: en construcciones de hormigón armado sin criterios bioclimáticos, la temperatura interior llegó a superar los 29 °C, por encima de la temperatura exterior registrada en el mismo momento, evidencia directa de que la envolvente actual retiene más calor del que libera.

Con la lectura en conjunto de este recorrido se identifica una evolución progresiva en las estrategias de adaptación climática de la vivienda y una ruptura durante sus etapas más recientes. La vivienda precolombina sobre pilotes respondía al clima mediante la configuración general del volumen; la vivienda colonial incorporó elementos semifijos tales como patios, soportales, así como persianas; por su parte la vivienda republicana añadió la chaza como dispositivo regulable, mientras que la primera modernidad aún conservó gran parte de ese repertorio. La ruptura se produjo durante la segunda fase de la modernidad y se profundizó en la vivienda contemporánea, cuando la lógica climática mantenida durante siglos fue reemplazada por sistemas constructivos estandarizados en hormigón. La nueva configuración redujo la capacidad de adaptación de las edificaciones a las condiciones propias del lugar.

La vivienda de baja altura que hoy predomina en el sector Circunvalación de Manta es heredera de esa misma tradición, pero, como confirman los datos de campo más recientes, sin conservar los elementos que antes resolvían el asoleamiento y la ventilación. Este marco antropológico permite entonces sostener que la fachada cinética híbrida propuesta no introduce una lógica ajena a la cultura constructiva manabita, sino que retoma y actualiza tecnológicamente un principio —el del elemento de fachada regulable— que ya existía en la vivienda tradicional de la región antes de perderse en la vivienda contemporánea.

3.2.Marco Teórico

3.2.1. Arquitectura vernácula y regionalismo climático

La arquitectura vernácula corresponde a una de las primeras formas de construir adaptadas al entorno. Desde sus orígenes, las viviendas fueron desarrolladas mediante la experiencia acumulada de las comunidades, utilizando los materiales disponibles en cada región

y soluciones que respondían a las condiciones climáticas del lugar. En *House Form and Culture*, Rapoport (1969) explica que la forma de la vivienda tradicional no depende únicamente del clima, sino también de la relación entre los materiales disponibles, las técnicas constructivas y los aspectos sociales y culturales propios de cada comunidad. Cuando estos factores se integran de manera adecuada, permiten desarrollar soluciones capaces de responder a las condiciones ambientales mediante recursos como patios, celosías, cubiertas o viviendas elevadas que favorecen la protección solar y el acondicionamiento natural.

A partir de este planteamiento, la arquitectura vernácula constituye el punto de partida de esta investigación, ya que permite comprender que muchas de las deficiencias térmicas presentes en las viviendas del sector Circunvalación no solo responden a decisiones constructivas actuales, sino también a la pérdida de estrategias de adaptación climática que durante muchos años caracterizaron a la vivienda tradicional de regiones con condiciones ambientales similares.

3.2.2. Arquitectura bioclimática

La arquitectura bioclimática surge como un enfoque de diseño que busca adaptar las edificaciones a las condiciones ambientales de cada lugar con el propósito de mejorar el confort de los usuarios y reducir el consumo energético. A diferencia de la arquitectura vernácula, donde las soluciones eran el resultado de la experiencia acumulada, este enfoque organiza esas estrategias en un método de diseño basado en el análisis del clima y del comportamiento de las edificaciones frente a los factores ambientales.

La arquitectura bioclimática considera variables que van desde la orientación del edificio, la incidencia de la radiación solar, la iluminación natural, la ventilación, hasta la selección de materiales adecuados. La integración de estos elementos permite un mejor control de las ganancias térmicas mientras crean espacios interiores más confortables en donde se aprovechan los recursos naturales disponibles antes de que se recurra a sistemas mecánicos de climatización.

Uno de los aportes más importantes dentro de este campo fue desarrollado por Givoni (1994), quien presentó la carta bioclimática como una herramienta que relaciona la temperatura y la humedad con las estrategias pasivas más adecuadas para cada clima. Con este método se identifican las soluciones más convenientes para el mejoramiento del confort térmico según las características ambientales de cada región. En climas que son cálidos al mismo tiempo que

húmedos como el de la ciudad de Manta, la ventilación natural se reconoce como una de las estrategias de mayor eficacia porque favorece la disipación del calor acumulado mientras mejora las condiciones ambientales de los espacios interiores.

Olgyay (1963) en *Design with Climate*, planteó que el diseño arquitectónico debe responder directamente a las características climáticas del sitio, por lo que propone un análisis de aspectos como la orientación, el recorrido del sol, el viento, la humedad, así como de las condiciones propias del entorno antes de que se defina la forma del edificio y el diseño de su envolvente. La arquitectura desde esta perspectiva no responde únicamente a criterios funcionales o estéticos pues incorpora decisiones que contribuyen al confort térmico junto con el aprovechamiento eficiente de los recursos naturales.

Los planteamientos de Givoni y Olgyay proporcionan la base conceptual para esta investigación, ya que permiten establecer los criterios bioclimáticos que orientan el diseño de la fachada cinética híbrida. Estos principios servirán para definir estrategias de control solar adaptadas a las condiciones climáticas del sector Circunvalación de la ciudad de Manta y posteriormente evaluar su desempeño mediante herramientas de simulación.

3.2.3. Arquitectura cinética

La arquitectura cinética surge como una propuesta que incorpora el movimiento en los elementos arquitectónicos para que las edificaciones puedan responder a los cambios del entorno. A diferencia de la arquitectura tradicional, donde la envolvente permanece fija durante toda su vida útil, este enfoque plantea sistemas capaces de modificar su posición de acuerdo con las condiciones ambientales, permitiendo controlar de mejor manera el ingreso de radiación solar, la iluminación natural y otros factores que influyen en el comportamiento del edificio.

Los primeros antecedentes de la arquitectura cinética se encuentran en propuestas experimentales que exploraron nuevas formas de presentar la arquitectura mediante composiciones dinámicas que modifiquen la relación entre el edificio, el movimiento y la transformación del espacio. El desarrollo tecnológico incorpora herramientas digitales, sistemas automatizados, en conjunto con mecanismos de control destinados a la creación de envolventes adaptativas.

Las fachadas cinéticas representan una evolución de las estrategias bioclimáticas tradicionales porque combinan principios de diseño pasivo con sistemas de movimiento que adaptan la envolvente a las condiciones cambiantes del clima. En lugar de que se conserve una única configuración durante todo el día, estos sistemas regulan la incidencia de la radiación solar de acuerdo con la posición del sol, lo que contribuye en la disminución de las ganancias térmicas mientras mejora el confort interior.

En la presente investigación, la arquitectura cinética constituye el principal fundamento teórico para el desarrollo de la propuesta, debido a que permite analizar cómo una fachada cinética híbrida puede responder a las condiciones climáticas del sector Circunvalación de la ciudad de Manta mediante estrategias de control solar adaptables que favorezcan un mejor comportamiento térmico de las viviendas.

3.2.4. Confort térmico

El confort térmico hace referencia al estado de satisfacción que experimentan las personas con respecto a las condiciones térmicas del ambiente donde se encuentran. Su análisis nos permite saber si un espacio ofrece condiciones adecuadas para el bienestar de sus ocupantes o caso contrario si el mismo es inhabitable y constituye uno de los principales indicadores para analizar el desempeño ambiental de una edificación.

Un método para evaluar el confort térmico de los espacios fue desarrollado por Fanger (1970), quien estableció que esta condición depende básicamente entre dos factores que serían interacción entre los aspectos ambientales y personales. Fanger en su propuesta considera la temperatura del aire, la temperatura radiante media, la humedad relativa, la velocidad del aire, el nivel de actividad física y el aislamiento de la vestimenta, parámetros que permiten calcular el Voto Medio Predicho (PMV) y el Porcentaje Predicho de Insatisfechos (PPD), estos indicadores son ampliamente utilizados en la determinación del comportamiento térmico de los espacios interiores.

El modelo de Fanger fue desarrollado principalmente para edificaciones climatizadas mediante sistemas mecánicos, entonces su aplicación presenta algunas limitaciones cuando se analizan viviendas con ventilación natural, como ocurre en gran parte de las edificaciones del sector Circunvalación de la ciudad de Manta. De Dear y Brager (2002) frente a esta problemática

propusieron el modelo de confort adaptativo, el cual plantea que las personas pueden adaptarse a las condiciones térmicas del ambiente cuando ocupan edificios ventilados naturalmente. El enfoque demuestra que los usuarios aceptan un rango de temperaturas más amplio que el considerado por el modelo de Fanger, pues su percepción del confort también depende de la adaptación al clima local, así como de la posibilidad de interactuar con el entorno.

De igual manera, investigaciones como la desarrollada por Estupiñán Acero (2020) evidencian que la simulación del comportamiento térmico permite comparar el desempeño de fachadas dinámicas y envolventes convencionales, facilitando la evaluación de los beneficios que ofrecen las fachadas cinéticas para mejorar el confort interior.

En esta investigación, la teoría del confort térmico proporciona los criterios que permitirán evaluar el comportamiento de la fachada cinética híbrida mediante simulaciones, verificando si la propuesta contribuye a disminuir las ganancias térmicas y mejorar las condiciones ambientales en las viviendas del sector Circunvalación de la ciudad de Manta.

3.2.5. Simulación paramétrica como herramienta metodológica

La simulación paramétrica no corresponde a una teoría arquitectónica, sino a una herramienta que permite analizar el comportamiento de un diseño antes de su construcción. Su uso facilita la evaluación de diferentes alternativas de diseño mediante la implementación de modelos digitales, estos diseños permiten realizar modificaciones y comparar los resultados obtenidos sin necesidad de realizar la construcción física como tal.

En este contexto podemos asumir que en el ámbito de la arquitectura bioclimática, este tipo de herramientas digitales han adquirido gran relevancia debido a que permite analizar variables como la radiación solar, la iluminación natural, el consumo energético y el confort térmico desde las primeras etapas del diseño. Esto facilita la toma de decisiones y contribuye al desarrollo de propuestas con un mejor desempeño ambiental.

Actualmente, herramientas como Ladybug, integrada al entorno de Grasshopper y Rhino, permiten la importación de archivos climáticos y el desarrollo de análisis relacionados con la radiación solar, el asoleamiento y el comportamiento energético de las edificaciones mediante información climática real. La integración con motores de simulación facilita la evaluación de

diferentes configuraciones arquitectónicas a la vez que compara alternativas de diseño antes de su implementación.

La simulación paramétrica representa la principal herramienta de análisis para esta investigación porque permitirá la evaluación del comportamiento térmico de la fachada cinética híbrida mediante distintas posiciones de las lamas móviles. De esta manera será posible la comparación de su desempeño con una fachada convencional mientras se determina si la propuesta contribuye al mejoramiento del confort térmico en las viviendas del sector Circunvalación de la ciudad de Manta.

Figura 2 Mapa de teorías y autores



Nota: Elaboración propia

3.3.Marco Conceptual

3.3.1. Conceptos de arquitectura vernácula

La arquitectura vernácula es la construcción desarrollada por una comunidad sin intervención de un arquitecto formal, ajustada por ensayo y error, a lo largo de generaciones, al clima, los materiales disponibles y la cultura de un lugar específico. La envolvente arquitectónica es el conjunto de elementos constructivos, como muros, cubierta, vanos y fachada, que separan el espacio interior del exterior y regulan el intercambio de calor, aire y luz entre ambos.

3.3.2. Conceptos de arquitectura bioclimática

La arquitectura bioclimática es un enfoque de diseño que adapta la edificación a las condiciones climáticas del lugar, considerando la orientación, el asoleamiento, la ventilación y la materialidad, para mejorar el confort interior reduciendo el uso de sistemas mecánicos de climatización. La estrategia pasiva es una solución de diseño que aprovecha los recursos naturales del entorno, como el sol, el viento, la sombra y la vegetación, para regular la temperatura interior sin consumo de energía activa.

La carta bioclimática es una herramienta gráfica que relaciona la temperatura con la humedad relativa de un lugar para determinar las estrategias pasivas más adecuadas durante las distintas épocas del año, entre ellas la ventilación, la masa térmica, así como el enfriamiento evaporativo. La ventilación natural consiste en la renovación del aire interior mediante diferencias de presión o temperatura entre los espacios internos y externos, sin que se recurra a equipos mecánicos, esto la convierte en una de las estrategias pasivas con mayor incidencia en el confort térmico de las edificaciones ubicadas en climas cálidos y húmedos.

3.3.3. Conceptos de arquitectura cinética

La arquitectura cinética es un enfoque de diseño que incorpora movimiento a elementos arquitectónicos, normalmente en la envolvente, para que la edificación pueda modificar su configuración en respuesta a las condiciones ambientales. La fachada cinética híbrida es un sistema de envolvente que combina elementos de movimiento controlado con criterios de diseño pasivo propios del contexto climático local, en lugar de depender únicamente de sensores y motores. Las lamas móviles son elementos alargados, generalmente orientables o desplazables,

dispuestos en la fachada para regular de forma variable el paso de radiación solar, luz natural y aire. La ganancia térmica es la cantidad de calor que ingresa a un espacio interior a través de la envolvente, principalmente por radiación solar directa sobre superficies y vanos.

3.3.4. Conceptos de confort térmico

El confort térmico es la condición mental de satisfacción de una persona respecto al ambiente térmico que la rodea, evaluada mediante juicio subjetivo. El confort térmico adaptativo corresponde a un modelo de evaluación que reconoce la capacidad de los ocupantes de espacios con ventilación natural para tolerar un rango más amplio de temperaturas, en función de sus ajustes conductuales y de la exposición térmica experimentada durante periodos recientes.

El Voto Medio Predicho (PMV), así como el Porcentaje Predicho de Insatisfechos (PPD) son índices desarrollados por Fanger para la estimación de la sensación térmica promedio y de la proporción de ocupantes inconformes dentro de un espacio climatizado. El cálculo de estos índices integra variables tanto ambientales como personales, entre ellas la temperatura, la humedad, la velocidad del aire, de la misma manera la vestimenta y el nivel de actividad física.

3.3.5. Conceptos de simulación paramétrica

La simulación paramétrica es un proceso de modelado digital que permite predecir el comportamiento ambiental, solar, térmico o energético de un diseño antes de su construcción, evaluando distintas configuraciones geométricas de forma comparativa. El archivo climático, o EPW, es un archivo de datos horarios de temperatura, humedad, radiación y viento de un lugar específico, usado como base para alimentar los motores de simulación. El motor de simulación es un software de cálculo, como EnergyPlus o Radiance, que procesa la geometría del modelo y el archivo climático para estimar variables como radiación solar, asoleamiento o desempeño energético.

3.4.Marco Juridico y/o Normativo

3.4.1. Leyes y regulaciones nacionales

La presente investigación se enmarca, en primer lugar, en los principios establecidos por la Constitución de la República del Ecuador (2008), que promueve el desarrollo sostenible, la

protección ambiental y el derecho a una vivienda adecuada. El Artículo 14 establece el derecho de los ciudadanos a habitar espacios saludables y ambientalmente equilibrado, esto respalda la necesidad de que se incorporen estrategias arquitectónicas que reduzcan el impacto ambiental de las edificaciones al mismo tiempo que mejoren las condiciones de habitabilidad. El Artículo 66, numeral 2, también asegura el derecho a una vida digna, lo que comprende el acceso a una vivienda con condiciones adecuadas de habitabilidad, bienestar y confort. En este contexto, el estudio de las fachadas cinéticas híbridas se relaciona con el mandato constitucional orientado a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, mediante soluciones arquitectónicas capaces de optimizar y disminuir la dependencia de sistemas de climatización artificial.

La Ley Orgánica de Eficiencia Energética (LOEE) establece los lineamientos generales que promueven el uso racional así como sostenible de la energía en todos los sectores productivos incluyendo el sector de la construcción, esta normativa resulta pertinente para el estudio de fachadas cinéticas, en tanto fomenta la incorporación de estrategias arquitectónicas que contribuyan a la reducción del consumo energético en edificaciones residenciales.

El Artículo 13 referido a la eficiencia energética en la construcción señala que las entidades competentes en coordinación con los gobiernos autónomos descentralizados, deben desarrollar normativas técnicas orientadas a la garantía del cumplimiento de metas de eficiencia energética en las edificaciones. El artículo respalda la necesidad de que se analicen nuevas soluciones de envolventes arquitectónicas que pueden ser las fachadas cinéticas híbridas que permitan la optimización del desempeño térmico de las viviendas a la vez que disminuyan la dependencia de sistemas de climatización artificial.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) de la misma manera es el principal instrumento técnico que regula el diseño con la construcción de edificaciones en el país, dentro de este cuerpo normativo, se incluyen disposiciones relacionadas con el comportamiento térmico, la eficiencia energética, así como la sostenibilidad de las edificaciones, aspectos directamente vinculados con el objeto de estudio de esta investigación.

La NEC-EQ: Eficiencia Energética establece criterios para la optimización del consumo energético en edificaciones. En su Artículo 6.1.4, se promueve la incorporación de estrategias de diseño que favorezcan el aprovechamiento de energías renovables, así como la optimización de la iluminación natural y la ventilación cruzada. En este sentido, el análisis de fachadas cinéticas

híbridas se alinea con dichos criterios, al plantear soluciones que regulen la radiación solar y contribuyan a la reducción de cargas térmicas en los espacios interiores.

Por otro lado, la NEC-ST: Sostenibilidad, en su Artículo 8.3.2, impulsa la aplicación de prácticas constructivas sostenibles, orientadas a la gestión eficiente de recursos y la minimización de impactos ambientales. La exploración de sistemas de envolventes adaptativas y cinéticas se enmarca dentro de estos principios, al proponer estrategias arquitectónicas que mejoran el desempeño ambiental de las edificaciones sin recurrir exclusivamente a sistemas activos de alto consumo energético.

Figura 3 *Marco Jurídico Nacional*



Nota: Elaboración propia

3.4.2. Normativas internacionales

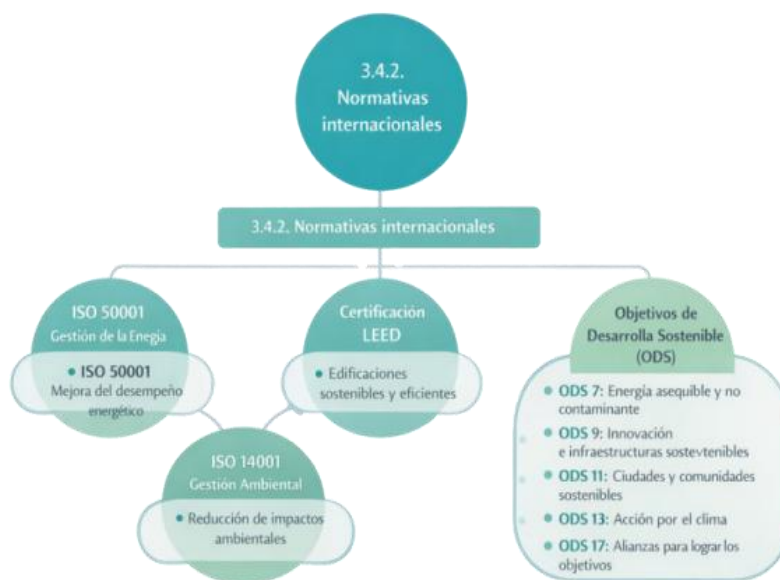
Las normativas internacionales por su parte se apoyan en estándares y lineamientos reconocidos que promueven la gestión ambiental y energética en edificaciones.

Encontramos que normativas como las son las ISO 14001 e ISO 50001 son regulaciones de peso en materia de gestión ambiental y gestión de la energía, respectivamente. Y en complemento las ISO 14001 establecen parámetros para el uso de sistemas que permitan reducir impactos ambientales, mientras que la ISO 50001 se orienta a mejorar el desempeño energético de las organizaciones y edificaciones.

El sistema de certificación LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) proporciona criterios para la evaluación de la sostenibilidad así como de la eficiencia energética de las edificaciones, aunque su aplicación no es obligatoria en el contexto ecuatoriano, sus lineamientos sirven como guía para el diseño de envolventes arquitectónicas que optimicen el confort térmico, el uso de energía, en conjunto con el desempeño ambiental del edificio.

La investigación también se vincula con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la Organización de las Naciones Unidas, en particular se relaciona con el ODS 7 porque promueve el acceso a energía asequible y no contaminante; el ODS 9 orientado a la innovación y el desarrollo de infraestructuras sostenibles; el ODS 11 que busca fomentar ciudades y comunidades sostenibles; el ODS 13 enfocado en la acción frente al cambio climático; y por último el ODS 17 que impulsa la cooperación entre instituciones académicas, organismos públicos y privados para el desarrollo sostenible.

Figura 4 *Organizador de normativas Internacional*



Nota: Elaboración propia

3.5. Modelos de Repertorio

3.5.1. Hale Napo'o / Olson Kundig

Hale Napo'o es una vivienda familiar frente al mar ubicada en la costa norte de Kauai, Hawái, diseñada por el estudio Olson Kundig. A diferencia de los referentes anteriores, donde el movimiento afecta volúmenes completos de la vivienda, este proyecto resuelve el control ambiental mediante un sistema de parasoles móviles tipo persiana, contruidos en cedro sobre una estructura de acero, que envuelven la mayor parte de la fachada como una capa independiente del cerramiento principal.

Figura 5 *Vivienda con sistema de apertura tipo persianas*



Nota: Obtenido de la página oficial de Olson Kundig

En lo ambiental la vivienda no cuenta con climatización mecánica, pues su confort interior depende por completo de la ventilación pasiva generada por la brisa marina, la cual es regulada mediante la apertura y cierre de estos parasoles. Cada panel puede accionarse de forma independiente para que graduase el ingreso de aire, luz o radiación solar según la orientación y la hora del día, mientras que la estructura fija de la vivienda correspondiente a muros, cubierta y carpintería de vidrio permanece inmóvil. El sistema funciona en ese sentido como una segunda piel cinética superpuesta a una envolvente estática.

Hale Napo'o resulta importante porque ejemplifica el tipo de sistema que se busca aplicar a la fachada cinética híbrida, que son elementos de sombra articulados y regulables análogos a un brise-soleil colocados sobre puntos específicos de la fachada, más no en la movilización de toda la envolvente o del volumen construido. Al tratarse de una vivienda unifamiliar sin climatización mecánica en un clima cálido con húmedo costero, sus condiciones de partida son comparables a las del sector Circunvalación de Manta.

3.5.2. *Bilgola Beach House / Olson Kundig*

Bilgola Beach House, también del estudio Olson Kundig, se ubica en las dunas costeras de Bilgola Beach, al norte de Sídney, en un entorno expuesto a sol intenso, vientos fuertes e inundaciones ocasionales. El proyecto incorpora, en el nivel superior de la vivienda, un sistema de parasoles abatibles de lamas horizontales que se pliegan hacia arriba, instalados como una capa adicional sobre la fachada de vidrio y no como parte del volumen estructural de la casa.

Figura 6 *Bilgola Beach House, parasoles abatibles en fachada*



Nota: Obtenido de la página oficial de Olson Kundig

Ambientalmente, estos parasoles permiten dos configuraciones extremas y varias intermedias: completamente cerrados, protegen los espacios interiores de la radiación solar directa y de eventos climáticos severos; completamente abiertos, exponen la vivienda a la brisa y a las vistas del mar, favoreciendo la ventilación cruzada. El resto de la envolvente —muros de hormigón, estructura y carpinterías— permanece fijo; solo el sistema de parasoles se moviliza, lo que permite un control gradual y localizado de la radiación y la ventilación sin alterar la geometría general de la vivienda.

Este referente aporta a la investigación un segundo caso de sistema de sombra operable aplicado puntualmente sobre la fachada, distinto en su mecanismo al de Hale Napo'o —lamas abatibles en lugar de paneles pivotantes—, pero que confirma que el principio de un elemento de control solar regulable, y no toda la envolvente, es una estrategia ya validada en climas cálidos y de fuerte exposición solar, lo que refuerza la pertinencia de aplicar un sistema equivalente a la fachada cinética híbrida propuesta para las viviendas del sector Circunvalación de Manta.

4. Capítulo II. Diseño Metodológico

El diseño metodológico de la presente investigación se organizará en función de los objetivos establecidos, con el fin de analizar el comportamiento térmico interno utilizando Sistemas de control solar cinética híbrida aplicada a fachadas de viviendas residenciales ubicadas en el barrio circunvalación de la ciudad de Manta. Para tal efecto, se emplearán métodos de carácter analítico, descriptivo y de simulación, los cuales permitirán abordar el estudio del confort térmico y la eficiencia energética desde una perspectiva académica.

4.1. Métodos

4.1.1. Método analítico-sintético

Este método se utilizará para el estudio crítico de bibliografía especializada en arquitectura cinética, normativa técnica en eficiencia energética nacional e internacional, y casos de referencia vinculados con fachadas adaptativas en el ámbito residencial. Para su aplicación, se realizará una revisión sistemática de fuentes académicas indexadas (artículos científicos, tesis y normativas técnicas), organizadas por categorías temáticas —fundamentos teóricos, sistemas de control ambiental y casos de estudio empíricos—, a partir de las cuales se extraerán y sintetizarán los criterios de diseño y principios de funcionamiento aplicables al clima cálido-húmedo de Manta.

4.1.2. Método descriptivo

El método descriptivo se empleará para la caracterización del ámbito urbano y ambiental del área de estudio mediante variables como la orientación de las viviendas, la incidencia solar, así como las condiciones climáticas generales del sector. La aplicación de este método comprenderá el levantamiento fotográfico así como planimétrico de las viviendas seleccionadas en el barrio Circunvalación, junto con la recopilación de datos climáticos oficiales de la estación meteorológica Portoviejo-UTM del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), con el propósito de describir objetivamente las condiciones actuales del entorno construido, sin que se establezcan relaciones de causalidad ni que se realicen intervenciones físicas en las edificaciones.

4.1.3. Método experimental

La investigación adopta un método experimental, debido a que los parámetros de la fachada cinética, como ángulos de giro, dimensiones de las lamas y porcentaje de apertura, son establecidos y evaluados mediante la manipulación controlada del modelo paramétrico. Se comparan dos condiciones: la vivienda sin sistema cinético y la vivienda con la configuración simulada, manteniendo constantes la geometría, orientación y archivo climático de entrada. Esto permite identificar las variaciones en las variables térmicas y lumínicas asociadas a la incorporación del sistema. Por tanto, el modelo paramétrico constituye un escenario de simulación utilizado para comprobar y ajustar los parámetros planteados, sin representar una construcción existente.

4.1.4. Método de simulación

Este método se fundamentará en el uso de herramientas digitales para representar escenarios de comportamiento térmico en espacios internos, a partir de la aplicación de fachadas cinéticas híbridas frente a la radiación solar incidente. Su desarrollo se llevará a cabo en dos etapas dentro de un mismo entorno de trabajo: primero, la modelación paramétrica de la geometría de la fachada y sus componentes móviles en Rhino y Grasshopper; segundo, la evaluación del comportamiento térmico y energético de dicho modelo mediante el plugin Ladybug , integrados en Grasshopper, que permiten simular la radiación solar incidente y la carga térmica transmitida hacia el interior de los espacios en función de la geometría y el material propuestos.

Como datos climáticos de entrada se utilizarán los registros de la estación meteorológica Portoviejo-UTM (M0005) del INAMHI, la estación más próxima al área de estudio, dado que la ciudad de Manta no cuenta con una estación meteorológica propia. Los resultados obtenidos serán de carácter referencial, dado que corresponden a simulaciones digitales dentro del entorno paramétrico y no a mediciones sobre edificaciones construidas.

4.1.5. Enfoque cualitativo

El enfoque cualitativo facilitó la interpretación de información no numérica obtenida mediante entrevistas semiestructuradas aplicadas a los habitantes de viviendas residenciales del área de estudio, se identificó percepciones generales sobre el confort térmico en los espacios

interiores. Las entrevistas se aplicarán de forma presencial a una muestra representativa de residentes del sector, sus respuestas se organizarán por categorías de análisis (percepción térmica, hábitos de ventilación, uso de protecciones solares) para su posterior contraste con los resultados de las simulaciones digitales, con el fin de evaluar como la aplicación de fachadas cinéticas híbridas aporta a la reducción de la temperatura interna de los ambientes analizados.

4.1.6. Enfoque cuantitativo

Por su parte, el enfoque cuantitativo se orientará al análisis de datos climáticos y a la información numérica obtenida mediante encuestas estructuradas con escala Likert, aplicadas a los mismos habitantes. Esta encuesta se aplicará a una muestra de 103 residentes del Barrio Circunvalación, cuyas respuestas serán tabuladas y procesadas mediante frecuencias y porcentajes por variable, permitiendo identificar tendencias generales relacionadas con la percepción del confort térmico. Estas tendencias se contrastarán con los resultados de las simulaciones digitales para evaluar el comportamiento térmico de los espacios interiores ante la aplicación de fachadas cinéticas híbridas.

4.2. Técnicas e instrumentos de investigación

Tabla 3 *Técnicas e instrumentos de investigación*

Técnica	Descripción	Instrumentos	Herramientas o Software	Tipo de fuente
Revisión documental	Recopilación, análisis e interpretación de documentos académicos, normativas y estudios previos relacionados con arquitectura cinética híbrida y eficiencia energética	Fichas bibliográficas, matrices de análisis documental	Bases de datos académicas, normativa técnica en eficiencia energética nacional e internacional	Secundaria — documental (literatura y normativa existente)
Observación del entorno urbano	Observación directa del contexto residencial para identificar condiciones generales del entorno y su relación con el clima local	Fichas de observación	Registro manual y fotográfico	Primaria — observación directa del investigador
Registro y análisis de información	Organización y análisis de datos climáticos y urbanos para su aplicación en simulaciones digitales	Matrices de registro, cuadros comparativos	Hojas de cálculo, bases de datos climáticas	Primaria — datos oficiales (estación meteorológica)
Encuestas	Obtención de información general sobre la percepción del confort térmico en viviendas residenciales	Cuestionarios estructurados	Formularios digitales mediante el método de Likert	Primaria — información obtenida directamente de los habitantes
Modelación y simulación digital	Representación virtual y evaluación del comportamiento térmico de fachadas cinéticas híbridas frente a la	Modelos digitales, parámetros de	Rhino, Grasshopper, Ladybug	Primaria — datos generados por el investigador (simulación)

radiación solar

simulación

digital)

Nota: Elaboración propia

5.Capítulo III. Diagnóstico y resultados de la investigación

5.1.Contextualización del área de estudio

5.2.Ubicación

La ciudad de Manta, ubicada en la provincia de Manabí, es un importante centro urbano y portuario del país, reconocido por sus actividades marítimas, pesqueras y comerciales. Se sitúa aproximadamente a 6 metros sobre el nivel del mar, lo que la caracteriza como una ciudad costera con fuerte relación con el océano. Posee una extensión aproximada de 296,3 km² y presenta un crecimiento urbano progresivo hacia sectores periféricos (Gobierno Autónomo Descentralizado de Manta [GAD Manta], 2021).

Figura 7 *Ubicación con respecto al área de investigación*



Nota: Elaboración propia

El desarrollo urbano de Manta se ha caracterizado por procesos de expansión y transformación territorial, intensificados tras el Terremoto de Ecuador de 2016, evento que modificó la estructura urbana, la ocupación del suelo, así como también la dinámica socioeconómica de la ciudad. En este marco, la parroquia Tarqui que es uno de los sectores más densamente poblados y heterogéneos de Manta, evidencia un crecimiento no planificado que combina áreas consolidadas con zonas aún en proceso de reconstrucción (GAD Manta, 2021).

En esta parroquia se ubica el sector Circunvalación que representa el área de estudio con carácter predominantemente residencial, además está conformada por viviendas unifamiliares de baja altura junto a comercios y servicios de proximidad, lo que configura un tejido urbano de densidad media (GAD Manta, 2021). La heterogeneidad constructiva junto con la limitada

planificación del sector inciden directamente en la calidad del entorno habitacional, de la misma manera en las condiciones de confort térmico de las viviendas.

5.3.Aspectos sociales y económicos

En términos sociodemográficos, la parroquia Tarqui, ubicada en la ciudad de Manta, cuenta con aproximadamente 76.424 habitantes, con una densidad cercana a 5.753 hab/km², la cual tiende a incrementarse en sectores más consolidados (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2022). La población tiene una composición heterogénea puesto que cuenta con presencia de niños, jóvenes y adultos, predominando hogares de ingresos tanto medios como medios-bajos, característica común en áreas urbanas en proceso de consolidación (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2022). En el sector Circunvalación, esta dinámica se refleja en la presencia de familias jóvenes así como adultas que mantienen una ocupación permanente de las viviendas, lo cual incrementa la demanda de condiciones adecuadas de habitabilidad, sobre todo en términos de confort térmico.

A partir del trabajo de campo y de las entrevistas realizadas en el sector, se identificaron además problemáticas sociales relevantes, entre las que destacan una disminución percibida de la cohesión social, una limitada participación ciudadana y la persistencia de sectores vulnerables. Se observaron de la misma manera limitaciones en el acceso a la educación superior, así como a oportunidades de desarrollo, lo que incide directamente en la calidad de vida de la población.

Desde el punto de vista económico, el sector Circunvalación forma parte de una dinámica parroquial basada principalmente en el comercio minorista, los servicios locales, el transporte, así como las actividades vinculadas a la pesca, las cuales son pilares fundamentales de la economía urbana de Manta (Gobierno Autónomo Descentralizado de Manta, 2021). Existe a pesar de todo una alta presencia de informalidad laboral, así como el desarrollo de microemprendimientos que en muchos casos se realizan desde las propias viviendas, situación característica de economías locales en contextos de crecimiento urbano no planificado (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2022).

El trabajo de campo permitió observar además una disminución del dinamismo comercial tradicional en el sector, acompañada del desplazamiento de algunas actividades económicas. Estas condiciones influyen directamente en las decisiones constructivas de los habitantes,

quienes priorizan el uso de materiales con sistemas de bajo costo, sobre la incorporación de soluciones arquitectónicas innovadoras o estrategias bioclimáticas; como consecuencia, se genera una mayor dependencia de sistemas artificiales de climatización para alcanzar condiciones mínimas de confort térmico en las viviendas.

Figura 8 *Estructura económica del sector*

Estructura Económica del sector



Nota: Elaboración propia

5.4. Características físicas del entorno

5.4.1. Tipología de viviendas

En el sector Circunvalación predominan las viviendas unifamiliares de baja altura, generalmente de uno a dos pisos, construidas mediante sistemas tradicionales como hormigón armado y mampostería. Estas edificaciones responden a procesos de consolidación residencial.

A diferencia de la parroquia Tarqui en su conjunto, donde se presentan usos mixtos con integración de actividades comerciales, el área de estudio mantiene un carácter exclusivamente residencial, lo que define un entorno más homogéneo en términos de uso y ocupación del suelo. Esta condición influye directamente en la configuración espacial y en el comportamiento ambiental de las viviendas.

5.4.2.Densidad

Tarqui presenta una densidad aproximada de 5.753 habitantes por km², con mayores concentraciones en zonas consolidadas, lo que refleja una importante presión sobre el suelo urbano (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2022).

En el sector Circunvalación, con una población estimada de 417 habitantes, se identifica una densidad media a escala barrial, asociada principalmente a vivienda unifamiliar y ocupación permanente. Esta condición permite un desarrollo residencial estable; sin embargo, la distribución del suelo no siempre responde a criterios técnicos de planificación, lo que puede generar limitaciones en la organización espacial y en la calidad del entorno construido.

5.4.3.Uso de suelo

A nivel parroquial, la parroquia Tarqui de la ciudad de Manta presenta un uso de suelo predominantemente residencial, complementado con actividades comerciales, servicios y usos mixtos, sobre todo en los ejes viales principales, lo que configura una dinámica urbana diversa.

El sector Circunvalación correspondiente al área de estudio en cambio mantiene un uso de suelo principalmente residencial, caracterizado por la presencia de viviendas unifamiliares en conjunto con una ocupación continua del suelo, no obstante en su entorno inmediato se identifican equipamientos que complementan la dinámica urbana que van desde instituciones educativas hasta una subestación eléctrica, las cuales aportan al funcionamiento del sector a su vez que garantizan el acceso a servicios básicos e infraestructura (Gobierno Autónomo Descentralizado de Manta, 2021).

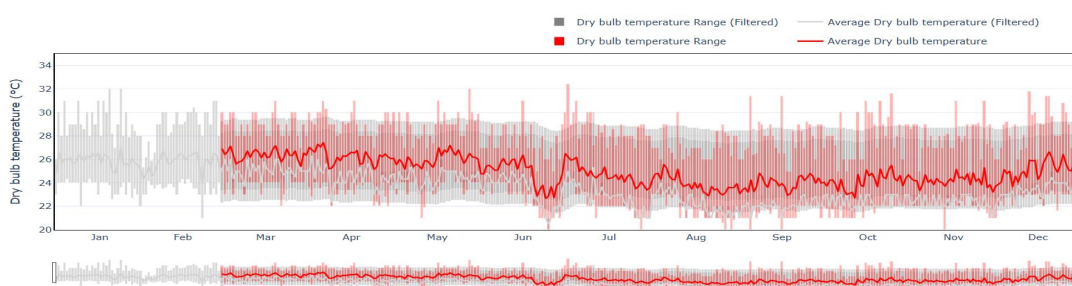
La proximidad a equipamientos permite una adecuada cobertura de servicios esenciales aunque el sector presenta una limitada diversidad funcional dentro de su área directa, esto genera dependencia de otras zonas para actividades comerciales o de mayor escala, asimismo se evidencian ciertas deficiencias en la planificación del espacio urbano, como la escasa dotación de áreas públicas o la necesidad de una mejor organización territorial.

5.5. Condiciones climáticas y ambientales

5.5.1. Temperatura

El comportamiento térmico anual de Manta fue caracterizado mediante el análisis de datos horarios de temperatura de bulbo seco, procesados en el software CBE Clima Tool, a partir de un archivo climático EPW de Climate OneBuilding representativo de la localidad. La Figura 9 muestra la distribución mensual de la temperatura registrada, evidenciando el rango de variación diaria (banda gris/roja) y el promedio filtrado (línea continua) a lo largo del año, lo que permite identificar los periodos de mayor y menor exigencia térmica sobre la envolvente arquitectónica

Figura 9 *Grafica de temperatura*



Nota: Elaboración propia con base en datos climáticos obtenidos de Clima Tool

Tabla 4 *Temperatura registrada en la localidad*

Parámetro	Valor
Temperatura media anual	25.0 °C
Temperatura media máxima mensual	26.4 °C (marzo)
Temperatura media mínima mensual	23.9 °C (agosto y septiembre)
Temperatura máxima registrada	32.4 °C (julio)
Temperatura mínima registrada	20.0 °C
Rango de temperatura anual	20.0 – 32.4 °C

Nota: Elaboración propia con base en datos climáticos obtenidos de Clima Tool

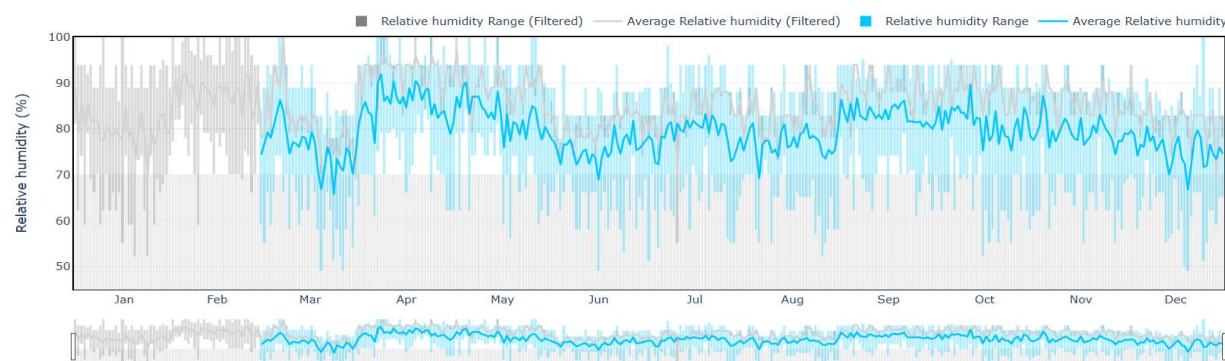
Como se observa en la Tabla 4, la temperatura media anual de la localidad es de 25.0 °C, con un rango que oscila entre 20.0 °C y 32.4 °C, lo que representa una amplitud térmica anual de 12.4 °C. El mes de marzo registra la temperatura media más alta (26.4 °C), mientras que agosto

junto con septiembre presentan las medias más bajas (23.9 °C); el valor máximo absoluto (32.4 °C) se registró en julio. La relativa estabilidad térmica es propia del clima cálido-húmedo de la costa ecuatoriana, además la presencia de picos puntuales de sobrecalentamiento respaldan la necesidad de estrategias de control solar dinámico, como las fachadas cinéticas híbridas propuestas en esta investigación.

5.5.2. Humedad

Complementariamente al análisis térmico, se evaluó el comportamiento de la humedad relativa del aire en Manta mediante el software CBE Clima Tool, a partir de un archivo climático EPW de Climate OneBuilding, con los mismos datos y horarios de la localidad. La gráfica correspondiente permite observar la distribución mensual de la humedad relativa, diferenciando el rango de variación diaria (banda gris/celeste) del promedio filtrado (línea continua), lo que resulta relevante para comprender la carga higrotérmica que enfrenta la envolvente arquitectónica a lo largo del año.

Figura 10 Gráfica de humedad relativa



Nota: Elaboración propia con base en datos climáticos obtenidos de Clima Tool

Tabla 5 Humedad Relativa del área de investigación

Parámetro	Valor
Humedad relativa media anual	79.5 %
Humedad media máxima mensual	85.5 % (abril)
Humedad media mínima mensual	75.5 % (diciembre)
Humedad relativa máxima registrada	100 %

Humedad relativa mínima registrada	49 %
Rango anual de humedad relativa	49 % – 100 %

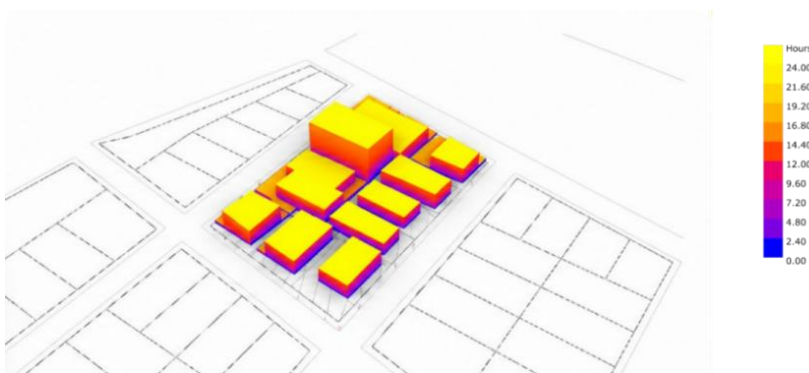
Nota: Elaboración propia con base en datos climáticos obtenidos de Clima Tool

Como se detalla en la Tabla 5, la humedad relativa media anual de la localidad alcanza el 79.5 %, con un rango que fluctúa entre 49 % así como 100 %, abril presenta la media mensual más alta (85.5 %), mientras que diciembre registra la más baja (75.5 %). Los valores confirman las condiciones de clima cálido-húmedo características de la costa ecuatoriana, con niveles de humedad persistentemente elevados durante todo el año, esta condición incrementa la sensación térmica a su vez que limita la eficacia de estrategias pasivas basadas únicamente en ventilación natural, con esto se refuerza la idea de que la pertinencia de sistemas de control dinámico de la envolvente son capaces de regular simultáneamente ganancia solar y flujo de aire según las condiciones higrotérmicas variables del entorno.

5.5.3. Radiación solar

El análisis de irradiación solar directa normal evidencia una alta exposición solar durante todo el año, con picos máximos entre las 10h00 y 16h00 que superan los 400 Wh/m² en varios meses. Este comportamiento climático, característico de contextos tropicales costeros como Manta, genera una elevada incidencia térmica sobre las fachadas expuestas, especialmente en orientaciones este y oeste, provocando sobrecalentamiento superficial, aumento de la transferencia de calor hacia el interior y disminución del confort térmico. La exposición prolongada a radiación directa incrementa además el estrés térmico de la envolvente arquitectónica y la acumulación de calor en los materiales de fachada.

Figura 11 *Manzana irradiada con respecto a su ubicación en el sector de investigación*



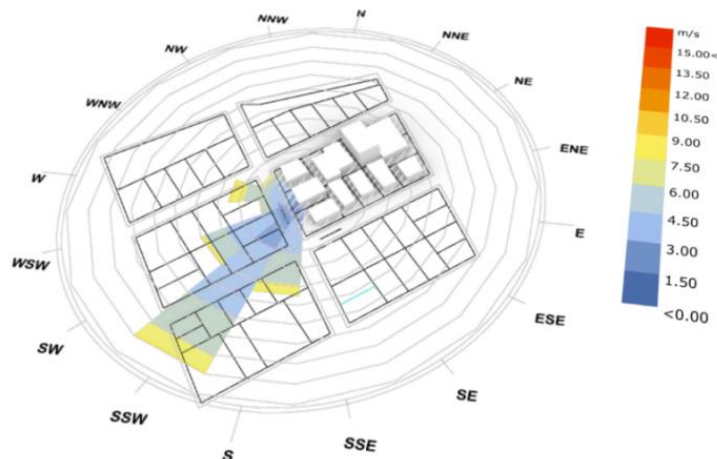
Nota: Elaboración propia a partir del software Rhino/Grasshopper/LadyBug

5.5.4. Vientos dominantes

La simulación aerodinámica evidencia canalización predominante del flujo de aire en dirección SW-NE, con velocidades medias de 3.0-6.0 m/s en espacios abiertos centrales, se identifican también zonas de aceleración por efecto Venturi con picos superiores a 7.5 m/s en secciones de paso reducidas por la configuración volumétrica de las edificaciones.

Las áreas adyacentes a los bloques edificados en cambio registran una caída significativa de velocidad, producto de sombra aerodinámica así como de turbulencias generadas por los obstáculos físicos. Los mayores gradientes de velocidad se concentran en los espacios intersticiales o en zonas de transición entre áreas abiertas o construidas, confirmando la influencia directa de la morfología urbana sobre la distribución espacial del flujo atmosférico

Figura 12 Polígono de vientos, dirección y velocidad que afectan la zona



Nota: Elaboración propia mediante Rhino/LadyBug

5.6. Diagnóstico de las fachadas existentes

5.6.1. Tipos de fachadas actuales

El perfil urbano analizado presenta fachadas residenciales y mixtas, predominando viviendas autoconstruidas de baja altura (1-2 plantas) con configuraciones informales. Los cerramientos frontales combinan cercas de madera, portones metálicos y muros de hormigón,

con retiros mínimos frecuentemente inferiores a 1 m o inexistentes hacia la vía pública, incumpliendo los parámetros mínimos de retiro frontal establecidos en la normativa municipal.

Las fachadas presentan baja uniformidad compositiva en lo que respecta las variaciones de altura que van desde los 2.5 metros hasta los 6 metros, en distintos tipos de acabados los más frecuentes serían (bloque visto, enlucido, madera) y crecimiento progresivo por etapas, característico de la autoconstrucción. Se identificó que los habitantes utilizan sus viviendas para realizar la combinación de uso residencial con actividades comerciales o talleres en planta baja, destacando la igualdad de la imagen urbana.

Las cubiertas predominantes son livianas, de zinc o lámina metálica corrugada (0.30-0.40 mm de espesor), con extensiones improvisadas volados de 1 a 2 m sobre estructura de madera o perfilera metálica, las cuales funcionan como protección climática al mismo tiempo que generan áreas semicubiertas sin tratamiento térmico.

Figura 13 *Perfil urbano de la manzana*



Elaboración propia

5.6.2. Materiales predominantes

El análisis de las fachadas de la manzana evidencia una materialidad heterogénea, mampostería de bloque de hormigón (espesores de 15-20 cm en muros portantes y 10 cm en

divisórios), revestida con mortero cemento-arena de 1.5-2 cm de espesor, sistema característico por aportar capacidad portante con resistencia ambiental, pero escasa capacidad aislante térmica.

En cerramientos permeables se emplea madera con bambú en secciones de 5x5 a 10x10 cm, la función es de delimitación predial así ventilación pasiva. Los vanos incorporan vidrio simple de 4-6 mm sin control solar, lo cual favorece la ganancia de calor por radiación directa.

En cubiertas y estructuras secundarias predominan perfiles de acero galvanizado (calibre 18-20) junto con láminas de zinc corrugado de 0.30-0.40 mm, valorados por su ligereza así como por su facilidad de montaje, pero con nulo desempeño como aislante térmico.

Esta combinación —mampostería pesada sin cámara de aire, vidrio simple sin protección solar y cubiertas metálicas sin aislamiento— configura una envolvente térmicamente ineficiente, determinante en las condiciones de discomfort reportadas por los habitantes del sector.

Figura 14 *Materiales predominantes en las fachadas en el perfil urbano de la manzana*



Nota: Elaboración propia

5.6.3. Afectación en viviendas

Las viviendas presentan afectaciones relacionadas con el deterioro físico de materiales expuestos a la humedad, radiación solar y lluvias constantes. En varios casos se evidencia

desgaste en cerramientos de madera y corrosión en elementos metálicos debido a la exposición directa al ambiente exterior.

La utilización de cubiertas metálicas sin aislamiento térmico incrementa la acumulación de calor al interior de las viviendas, afectando el confort térmico de los usuarios. Además, la falta de acabados adecuados en ciertos muros favorece la aparición de fisuras, manchas de humedad y envejecimiento prematuro de las superficies.

También se identifican afectaciones visuales en la imagen urbana debido a la informalidad constructiva, presencia de materiales reutilizados y ampliaciones no planificadas.

5.6.4. Protección solar existente

La protección solar existente se desarrolla principalmente mediante elementos improvisados o cubiertas sobresalientes, para lo que se observan aleros metálicos, techos extendidos, así como áreas semicubiertas que ayudan a la reducción parcial de la incidencia solar directa sobre las fachadas y accesos principales.

La vegetación existente es limitada aun así algunos árboles proporcionan sombra puntual sobre ciertas viviendas o espacios exteriores, también se identifican cerramientos permeables de madera y caña que permiten cierta ventilación natural, no obstante la mayoría de las edificaciones carece de estrategias pasivas eficientes de control térmico que pueden ser parasoles, celosías, doubles fachadas o materiales aislantes provocando de esta manera una alta exposición a la radiación solar al mismo tiempo que un aumento de temperatura interior.

5.6.5. Problemas detectados

Entre los principales problemas detectados se encuentra la falta de uniformidad urbana y el deterioro progresivo de las fachadas debido al uso de materiales de baja durabilidad. La presencia de cubiertas metálicas sin aislamiento térmico genera sobrecalentamiento en los espacios interiores, afectando el confort habitacional.

Asimismo, se identifican problemas de mantenimiento, corrosión en estructuras metálicas, desgaste de cerramientos de madera y deficiente calidad de acabados. Las ampliaciones improvisadas y la autoconstrucción generan una imagen urbana desordenada y limitan la integración estética del sector.

Otro problema importante es la escasa implementación de estrategias bioclimáticas y protección solar eficiente, lo cual incrementa la vulnerabilidad de las viviendas frente a las condiciones climáticas locales, especialmente la radiación solar y las precipitaciones.

5.7. Diagnóstico del confort térmico percibido

Los resultados evidencian que los usuarios perciben condiciones térmicas desfavorables en el interior de las viviendas, la sensación predominante de calor junto con la prolongada exposición a la radiación solar sugieren que la temperatura operativa interior podría encontrarse fuera de los rangos de confort establecidos por la norma ISO 7730 y el estándar ASHRAE 55, los cuales definen las condiciones térmicas aceptables para la mayoría de los ocupantes. La situación observada evidencia la presencia de disconfort térmico asociado al comportamiento de la envolvente arquitectónica existente, así como a la limitada capacidad de control de las ganancias térmicas provenientes del entorno exterior.

Tabla 6 *Temperaturas registradas en la vivienda base 1*

Hora	Espacio	Ubicación (Fachada)	Temperatura Interior (°C)	Temperatura Exterior (°C)
09:00	Sala-Comedor	Frontal	28,1	27,1
09:00	Habitación Máster	Frontal	29,3	28,3
09:00	Habitación 3	Posterior	27,8	26,8
09:00	Habitación 2	Posterior	29,7	28,7
14:00	Sala-Comedor	Frontal	30,0	29,0
14:00	Habitación Máster	Frontal	31,0	30,0
14:00	Habitación 3	Posterior	32,5	31,5
14:00	Habitación 2	Posterior	35,0	34,0
18:00	Sala-Comedor	Frontal	28,4	27,4
18:00	Habitación Máster	Frontal	29,7	28,7
18:00	Habitación 3	Posterior	30,8	29,8
18:00	Habitación 2	Posterior	32,8	31,8

Nota: Elaboración propia de mediciones in situ

Durante el día 1 se observó un incremento de la temperatura interior desde las 09:00 hasta las 14:00 horas, coincidiendo con el periodo de mayor incidencia solar, la habitación posterior 2 presentó la temperatura más elevada pues alcanzó 35,0 °C a las 14:00 horas, seguida por la habitación 3 con 32,5 °C. A las 18:00 horas las temperaturas disminuyeron en todos los espacios, no obstante las habitaciones ubicadas en la fachada posterior mantuvieron valores superiores a 30 °C, lo que evidencia una mayor acumulación térmica. La sala-comedor en cambio registró las temperaturas más bajas durante la tarde y noche ya que alcanzó 28,4 °C al final de la jornada. Los resultados sugieren que la orientación así como la exposición de las fachadas influyen representativamente en el comportamiento térmico interior de la vivienda.

Tabla 7 *Temperaturas registradas en la vivienda base día 2*

Hora	Espacio	Ubicación (Fachada)	Temperatura Interior (°C)	Temperatura Exterior (°C)
09:00	Sala-Comedor	Frontal	27,7	27,1
09:00	Habitación Máster	Frontal	29,0	28,3
09:00	Habitación 3	Posterior	28,0	26,8
09:00	Habitación 2	Posterior	29,5	28,7
14:00	Sala-Comedor	Frontal	29,2	29,0
14:00	Habitación Máster	Frontal	30,8	30,0
14:00	Habitación 3	Posterior	32,3	31,5
14:00	Habitación 2	Posterior	34,6	34,0
18:00	Sala-Comedor	Frontal	28,0	27,4
18:00	Habitación Máster	Frontal	29,4	28,7
18:00	Habitación 3	Posterior	30,5	29,8
18:00	Habitación 2	Posterior	32,4	31,8

Nota: Elaboración propia de mediciones in situ

La vivienda base 2 presenta menor ganancia térmica en la sala-comedor debido al adosamiento existente, a las 09:00 registra temperaturas que van desde los 27,7 °C hasta 29,5 °C; mientras que a las 14:00 alcanza su mayor incremento térmico con valores de hasta 34,6 °C en la Habitación 2 por su mayor exposición solar, a las 18:00, este ambiente mantiene temperaturas elevadas de hasta 32,4 °C. Los resultados evidencian que el adosamiento favorece parcialmente el confort térmico pero los dormitorios requieren estrategias de control solar así como de mejora de la envolvente.

Tabla 8 *Resultados de temperatura, velocidad del aire e iluminación natural en la sala-comedor*

Espacio	Hora de registro	Nº Puntos	Vel. Aire Prom. (m/s)	Lux Prom. (lux)	Sobreiluminación (>500 lux)	Cumple (300-500 lux)	Déficit (<300 lux)
Sala-Comedor	13:00 h	12	1.0	1,417	5	2	5
Habitación Máster	11:00 h	9	1.3	1,308	7	1	1
Habitación 3	12:00 h	9	1.3	2,580	9	0	0

Nota: Elaboración propia de mediciones in situ

La sala-comedor fue evaluada a las 13:00 h, periodo de mayor incidencia solar junto con mayor carga térmica del día, para lo que se registró una temperatura promedio de 34,6 °C y una velocidad media del aire de 0,9 m/s. La iluminancia promedio alcanzó los 1.417 lux, superando ampliamente el rango recomendado para espacios residenciales (300–500 lux). Del total de puntos evaluados, 5 presentaron sobreiluminación, 2 cumplieron con los niveles recomendados, mientras que 5 registraron déficit lumínico, esto evidencia una distribución poco uniforme de la iluminación natural dentro del espacio.

5.7.1. Problemáticas identificadas

A partir del diagnóstico de las condiciones actuales de las viviendas, los resultados de las encuestas de confort térmico y el análisis de la envolvente arquitectónica, se identificaron diversas problemáticas que afectan el desempeño ambiental y energético de las edificaciones del

sector Circunvalación. Estas problemáticas evidencian la necesidad de incorporar estrategias bioclimáticas que permitan mejorar las condiciones de habitabilidad interior.

5.7.2. Ganancia térmica interna

Los resultados obtenidos evidencian una acumulación excesiva de calor en los espacios interiores de las viviendas, particularmente durante las horas de mayor incidencia solar. La percepción predominante de temperaturas cálidas y calurosas en salas y dormitorios demuestra que la envolvente arquitectónica actual presenta una limitada capacidad para controlar las ganancias térmicas provenientes de la radiación solar.

Esta condición provoca incrementos significativos de temperatura durante gran parte del día, afectando la calidad ambiental interior y reduciendo la capacidad de los espacios para mantener condiciones térmicas estables y confortables.

5.7.3. Disconfort térmico de los ocupantes

La percepción recurrente de calor manifestada por los habitantes refleja la existencia de condiciones de disconfort térmico en el interior de las viviendas. Los períodos prolongados de exposición a temperaturas elevadas generan sensaciones de bochorno, incomodidad y reducción del bienestar ambiental durante las actividades cotidianas.

Estas condiciones indican una desviación respecto a los rangos de confort térmico recomendados para espacios habitables, afectando directamente la calidad de vida de los usuarios.

5.7.4. Incremento de la demanda y consumo energético

Como consecuencia de las condiciones de sobrecalentamiento interior, los habitantes recurren de manera frecuente al uso de ventiladores y sistemas de climatización mecánica para alcanzar niveles aceptables de confort térmico.

Esta dependencia de equipos artificiales de enfriamiento incrementa el consumo energético de las viviendas y genera mayores costos de operación para los usuarios. Además, evidencia que las estrategias pasivas actualmente presentes en la envolvente resultan insuficientes para responder adecuadamente a las condiciones climáticas del entorno.

5.7.5. Deficiencia bioclimática de la envolvente arquitectónica

Con el análisis de las viviendas se identificó limitaciones relacionadas con el desempeño bioclimático de las fachadas convencionales, entre las principales deficiencias se encuentran la insuficiente protección frente a la radiación solar, la limitada capacidad de adaptación a las variaciones climáticas diarias, así como también el escaso aprovechamiento de mecanismos de ventilación natural.

La envolvente presenta una respuesta estática frente a las condiciones ambientales, lo que impide una regulación de manera eficiente del ingreso de radiación solar y el intercambio térmico con el exterior, situación que reduce la eficiencia ambiental de la vivienda a la par que favorece la aparición de condiciones de sobrecalentamiento con discomfort térmico.

5.7.6. Síntesis de las problemáticas identificadas

Las problemáticas detectadas evidencian que las viviendas analizadas presentan limitaciones importantes en su desempeño tanto térmico como energético. La presencia de sobrecalentamiento interior, junto con el discomfort térmico percibido por los usuarios, adicional a la dependencia de sistemas mecánicos de enfriamiento y las deficiencias bioclimáticas de la envolvente justifican la necesidad de una evaluación de las alternativas arquitectónicas que permitan el mejoramiento del comportamiento térmico de las fachadas. La incorporación de una fachada cinética híbrida representa una estrategia potencial para la optimización del control solar, además favorece la ventilación natural mientras contribuye al mejoramiento del confort térmico interior.

5.8. Presentación de resultados y discusión

Cálculo de la muestra y metodología de encuestas

Para la selección de la muestra se utilizó un muestreo aleatorio simple, dado que la información buscada correspondía a la percepción general de confort térmico de los habitantes de la manzana seleccionada como unidad de estudio, sin requerir una distribución previa por subgrupos poblacionales.

Justificación del tamaño de muestra

El cálculo del tamaño de muestra se realizó utilizando la fórmula para poblaciones finitas, que considera el tamaño total de la población (N), el nivel de confianza (Z), la proporción esperada (p), la proporción complementaria (q) y el margen de error (e):

$$n = (Z^2 \cdot N \cdot p \cdot q) / (e^2 \cdot (N-1) + Z^2 \cdot p \cdot q)$$

Donde:

N = 140 (población total de la manzana seleccionada: 35 viviendas × 4 habitantes promedio)

Z = 1.96 (95% de confianza)

p = 0.5

q = 0.5

e = 0.05 (margen de error del 5%)

Figura 15 *Justificación del tamaño de muestra*

$$n = \frac{140(1.96)^2(0.5)(0.5)}{(0.05)^2(140 - 1) + (1.96)^2(0.5)(0.5)}$$

$$n = \frac{134.456}{1.3079} = 102.80$$

$$\boxed{n = 103}$$

Nota: Elaboración propia

Al aplicar la fórmula se obtuvo un tamaño de muestra de 103 personas, cifra que corresponde al número de encuestas efectivamente aplicadas en campo.

5.8.1.Resultados del análisis de encuestas

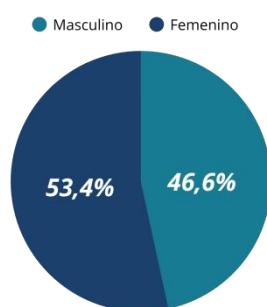
Tabla 9 *Distribución de los participantes según el género*

Opciones	Frecuencia	%
Masculino	48	46.6%
Femenino	55	53.4%
Total	103	100

Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

La población encuestada presenta una mayor participación del género femenino, representando el 53,4% de la muestra. Esta distribución permite obtener una percepción amplia de las condiciones de confort térmico experimentadas dentro de las viviendas.

Figura 16 *Participantes según el género*



Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

La población encuestada señala una mayor participación del género femenino, representando el 53,4% de la muestra. Esta distribución permite obtener identificar cual es la percepción de las condiciones de confort térmico experimentadas desde diferentes criterios.

Tabla 10 *Distribución de los participantes según el rango de edad*

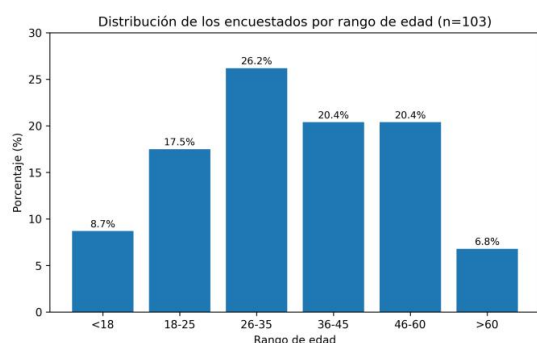
Opciones	Frecuencia	%
Menor de 18 años	9	8.7%
18 – 25 años	18	17.5%
26 – 35 años	27	26.2%
36 – 45 años	21	20.4%

46 – 60 años	21	20.4%
Más de 60 años	7	6.8%
Total	103	1

Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

La muestra de 103 encuestados se concentra mayoritariamente en población adulta joven y de mediana edad, destacando el rango de 26-35 años (26.2%), seguido por 36-45 y 46-60 años (20.4% cada uno). Los menores de 18 años (8.7%) y mayores de 60 (6.8%) representan los grupos con menor participación.

Figura 17 *Distribución de los encuestados por rango de edad*



Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

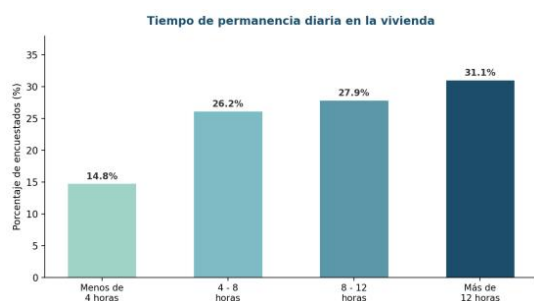
Tabla 11 *Tiempo de permanencia en la vivienda*

Tiempo	Frecuencia	%
Menos de 4 horas	29	14,8
4–8 horas	52	26,2
8–12 horas	56	27,9
Más de 12 horas	63	31,1
Total	103	100

Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

Un porcentaje mayor de habitantes permanece en su vivienda por periodos prolongados, el 31.1% más de 12 horas y el 27.9% aproximadamente 8-12 horas, sumando cerca del 59% de las respuestas, esto evidencia una exposición sostenida a las condiciones térmicas internas, reforzando la relevancia de evaluar el desempeño de las fachadas frente al confort térmico.

Figura 18 *Tiempo de permanencia del encuestado en la vivienda*



Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

Más del 59% de los encuestados permanece en la vivienda durante más de ocho horas al día, lo que incrementa su exposición a las condiciones térmicas interiores y fortalece la validez de la percepción reportada respecto al confort térmico.

Tabla 12 *Percepción de la sensación térmica en la vivienda durante los meses más cálidos*

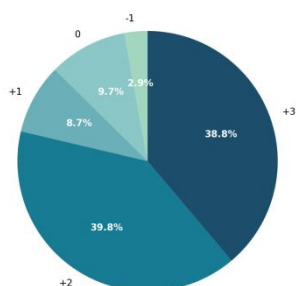
Opciones	Frecuencia	%
-1	3	2.9%
0	10	9.7%
1	9	8.7%
2	41	39.8%
3	40	38.8%
Total	103	100

Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

Los resultados muestran que el 78.6% de los encuestados percibe calor o calor extremo dentro de sus viviendas, y al contrario solo un 12.6% de las respuestas arrojaron que perciben condiciones neutras o frías, confirmando discomfort térmico generalizado en época cálida

Figura 19 *Percepción de la sensación térmica en la vivienda durante los meses más cálidos*

Percepción de la sensación térmica en época cálida



Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

Tabla 13 *Horario de mayor incomodidad térmica en los espacios sociales de la vivienda*

Opción	Frecuencia	%
10:00 - 12:00	5	4.9%
12:00 -14:00	58	56.9%
14:00 - 16:00	33	32.4%
16:00 - 18:00	6	5.9%
Total	103	100

Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

El horario de 12:00-14:00 concentra la mayor incomodidad térmica (56.9%), seguido de 14:00-16:00 (32.4%), evidenciando que el pico de discomfort coincide con las horas de mayor radiación solar.

Figura 20 *Horario de mayor incomodidad térmica en los espacios sociales de la vivienda*



Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

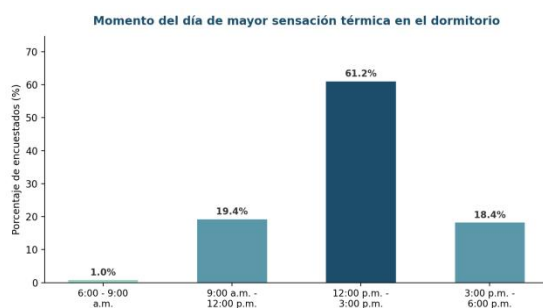
Tabla 14 *Momento del día de mayor sensación de térmica en el dormitorio*

Opción	Frecuencia	%
6:00 a.m. – 9:00 a.m.	1	1.0%
9:00 a.m. – 12:00 p.m.	20	19.4%
12:00 p.m. – 3:00 p.m.	63	61.2%
3:00 p.m. – 6:00 p.m.	19	18.4%
Total	103	100

Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

El 61.2% de los encuestados identifica el rango de 12:00-15:00 como el momento de mayor calor en el dormitorio, seguido de 9:00-12:00 (19.4%), reflejando el efecto acumulativo de la ganancia solar diurna sobre este espacio.

Figura 21 *Momento del día de mayor sensación de térmica en el dormitorio*



Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

Tabla 15 *Espacio con ventanas exteriores de mayor incomodidad por calor*

Opción	Frecuencia	%
Dormitorio frontal	17	16.5%
Dormitorio posterior	30	29.1%
Sala	28	27.2%
Comedor	14	13.6%
Cocina	14	13.6%
Total	103	100

Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

El dormitorio posterior (29.1%) y la sala (27.2%) son los espacios con mayor incomodidad térmica por ventanas, seguidos del dormitorio frontal (16.5%), mientras comedor y cocina registran igual proporción (13.6% cada uno).

Figura 22 *Espacio con ventanas exteriores de mayor incomodidad por calor*

Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

Tabla 16 *Temperatura percibida por espacio en horas más calurosas*

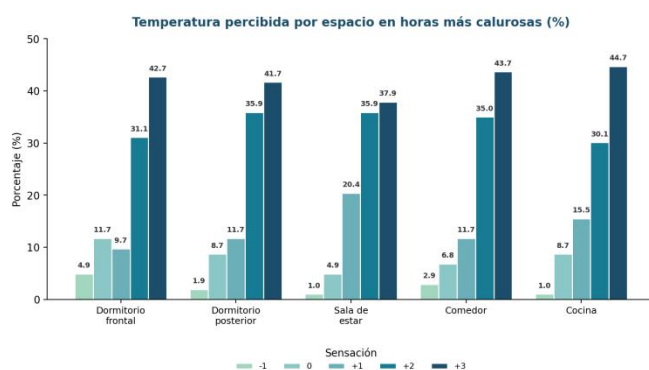
Espacio	-1	0	+1	+2	+3	Total
Dormitorio frontal	4.9	11.7	9.7	31.1	42.7	103
Dormitorio	1.9	8.7	11.7	35.9	41.7	103

posterior						
Sala de estar	1.0	4.9	20.4	35.9	37.9	103
Comedor	2.9	6.8	11.7	35.0	43.7	103
Cocina	1.0	8.7	15.5	30.1	44.7	103

Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

Todos los espacios muestran predominio de sensaciones +2 y +3, destacando la cocina (44.7% en +3) y el dormitorio frontal (42.7% en +3), lo que confirma discomfort térmico generalizado en horas pico, con menor incidencia en valores negativos o neutros (-1, 0).

Figura 23 *Temperatura percibida por espacio en horas más calurosas*



Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

Tabla 17 *Tiempo diario de molestia visual por exceso de luz solar en los espacios interiores*

Opción	Frecuencia	%
Menos de 1 hora	10	9.7%
De 1 a 2 horas	29	28.2%
De 3 a 4 horas	56	54.4%
Más de 4 horas	8	7.8%

Total	103	100
-------	-----	-----

Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

Más de la mitad de los encuestados (54.4%) reporta molestia visual de 3 a 4 horas diarias por exceso de luz solar, seguido por 1-2 horas (28.2%), evidenciando la falta de control solar en las fachadas.

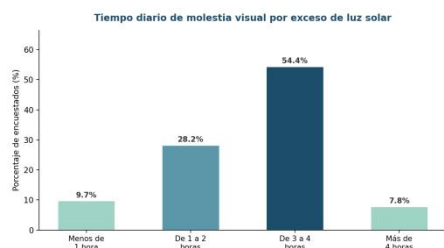
Tabla 18 *Nivel de calor percibido por fachada*

Opción	Frontal	Posterior	Lateral derecha	Lateral izquierda
-1	3.9	1.0	2.9	1.0
0	4.9	5.8	6.8	6.8
+1	6.8	8.7	11.7	7.8
+2	28.2	24.3	28.2	31.1
+3	51.5	47.6	32.0	35.0
No aplica	4.9	12.6	18.4	18.4

Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

La fachada frontal (51.5% en +3) y la lateral derecha (32.0% en +3) presentan mayor percepción de calor extremo, mientras la fachada posterior muestra una distribución más dispersa, con menor concentración en valores altos (47.6% en +3), indicando exposición solar diferenciada según orientación.

Figura 24 *Tiempo diario de molestia visual por exceso de luz solar en los espacios interiores*



Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

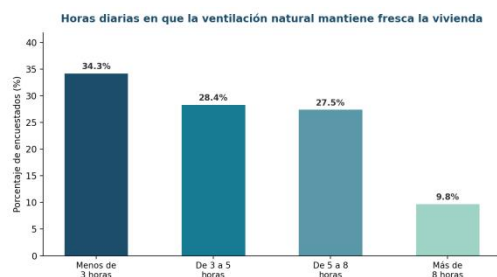
Tabla 19 Horas diarias en que la ventilación natural mantiene fresca la vivienda

Opción	Frecuencia	%
Menos de 3 horas	35	34.3%
De 3 a 5 horas	29	28.4%
De 5 a 8 horas	28	27.5%
Más de 8 horas	10	9.8%
Total	103	100

Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

El 34.3% de los encuestados indica que la ventilación natural mantiene fresca la vivienda menos de 3 horas al día, y un 28.4% entre 3 y 5 horas, reflejando la limitada eficacia de la ventilación pasiva frente a las condiciones climáticas del sector

Figura 25 Horas diarias en que la ventilación natural mantiene fresca la vivienda



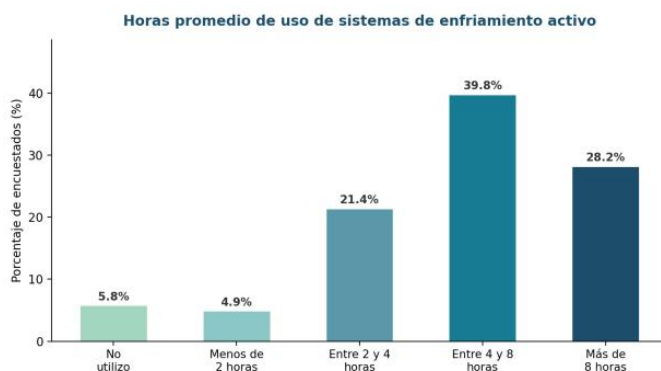
Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

Tabla 20 Horas promedio de uso de sistemas de enfriamiento activo

Opción	Frecuencia	%
No utilizo	6	5.8%
Menos de 2 horas al día	5	4.9%
Entre 2 y 4 horas al día	22	21.4%
Entre 4 y 8 horas al día	41	39.8%
Más de 8 horas al día	29	28.2%
Total	103	1

Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

El 39.8% de los encuestados usa sistemas de enfriamiento activo entre 4 y 8 horas diarias, y un 28.2% más de 8 horas, evidenciando alta dependencia de climatización artificial ante el discomfort térmico.

Figura 26 Horas promedio de uso de sistemas de enfriamiento activo

Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

Tabla 21 Frecuencia de acciones para mitigar el calor interior

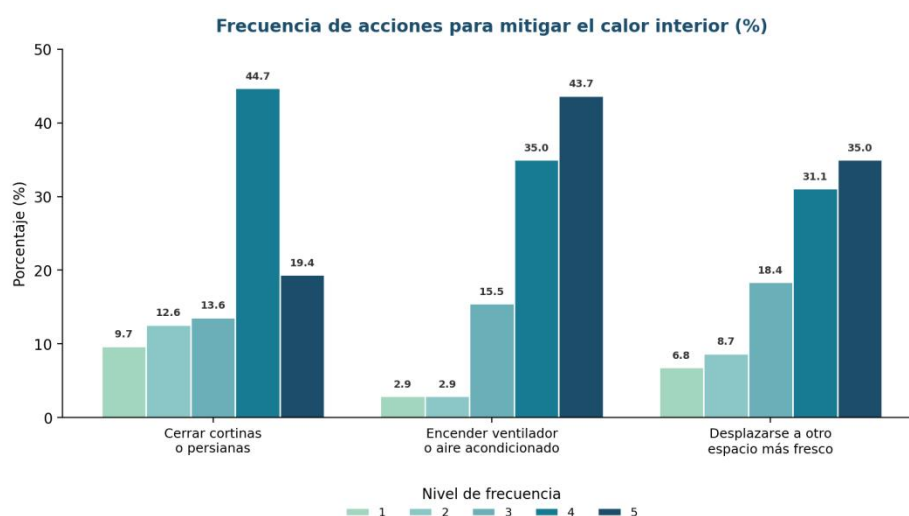
Estrategia	1 n (%)	2 n (%)	3 n (%)	4 n (%)	5 n (%)
Cerrar cortinas o persianas	10 (9.7)	13 (12.6)	14 (13.6)	46 (44.7)	20 (19.4)

Encender ventilador o aire acondicionado	3 (2.9)	3 (2.9)	16 (15.5)	36 (35.0)	45 (43.7)
Desplazarse a otro espacio más fresco	7 (6.8)	9 (8.7)	19 (18.4)	32 (31.1)	36 (35.0)

Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

Encender ventilador o aire acondicionado es la estrategia más recurrente (43.7% en frecuencia 5), seguida de desplazarse a otro espacio más fresco (35.0%), mientras cerrar cortinas o persianas predomina en frecuencia media-alta (44.7%)

Figura 27 Frecuencia de acciones para mitigar el calor interior



Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

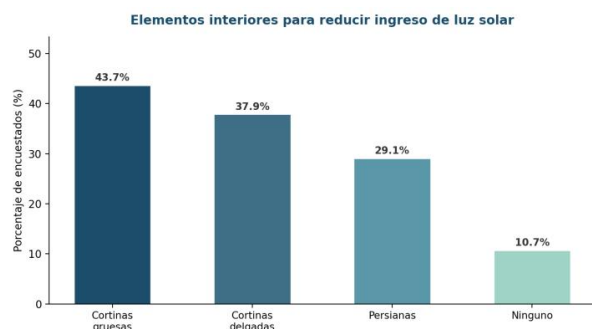
Tabla 22 Elementos interiores para reducir ingreso de luz solar

Opción	Frecuencia	%
Cortinas delgadas	39	37.9%
Cortinas gruesas	45	43.7%
Persianas	30	29.1%
Ninguno	11	10.7%
n = 103 encuestados		

Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

Las cortinas gruesas (43.7%) y delgadas (37.9%) son los elementos interiores más usados para controlar la luz solar, mientras un 10.7% no utiliza ningún elemento de protección.

Figura 28 Elementos interiores para reducir ingreso de luz solar



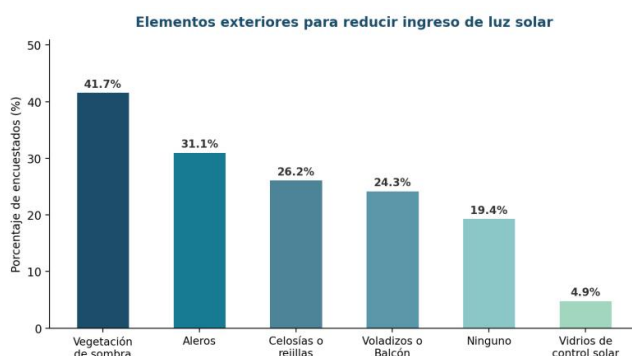
Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

Tabla 23 Elementos exteriores para reducir ingreso de luz solar

Opción	Frecuencia	%
Aleros	32	31.1%
Celosías o rejillas	27	26.2%
Voladizos o Balcón	25	24.3%
Vegetación de sombra	43	41.7%
Vidrios de control solar	5	4.9%
Ninguno	20	19.4%
n= 103 encuestados		

Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

La vegetación de sombra (41.7%) y los aleros (31.1%) son las estrategias exteriores más empleadas, mientras un 19.4% no usa ningún elemento exterior de protección solar, y los vidrios de control solar son los menos utilizados (4.9%).

Figura 29 Elementos exteriores para reducir ingreso de luz solar

Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta aplicada a los habitantes del área de estudio (2026)

5.8.2. Resultados del análisis de entrevistas

Las entrevistas evidenciaron un escaso conocimiento sobre las fachadas cinéticas entre los actores consultados. Tanto el representante del GAD Municipal como el profesional del sector inmobiliario manifestaron no conocer este tipo de sistemas antes de la explicación proporcionada durante la entrevista. De igual forma, las propietarias de las viviendas desconocían la existencia de esta tecnología; sin embargo, ambas consideraron que podría ser una alternativa útil para mejorar el confort térmico, siempre que su costo fuera accesible y representara un ahorro en el consumo energético.

El análisis conjunto de los resultados cuantitativos y cualitativos evidencia una convergencia entre la percepción de los usuarios y la información obtenida mediante las entrevistas. Los datos obtenidos de las encuestas señalan que el 78,6 % de los encuestados sienten los espacios muy calurosos para habitar en los meses más cálidos, se resalta que el período de mayor incomodidad térmica se concentra entre las 12:00 y 14:00 horas (56,9 %), de esta manera podemos respaldar que estas son las horas de mayor incidencia de radiación solar de la zona. Asimismo ocurre que el 39,8 % de los encuestados prefiere los sistemas de enfriamiento activo entre cuatro y ocho horas diarias por el calor excesivo y el 28,2 % lo hace por más de ocho horas seguidas, lo que refleja una alta dependencia de climatización artificial para mantener condiciones aceptables de confort térmico.

Tabla 24 Respuestas de entrevistas realizadas a usuarios

Categoría	GAD	Sector inmobiliario	Vivienda 1	Vivienda 2
Conocimiento del sistema	No	No	No	No
Conocimiento de arquitectura bioclimática	Básico	Medio	Ninguno	Ninguno
Interés	Medio	Medio	Alto	Alto
Disposición de uso	—	Baja	Alta	Alta
Barreras	Normativa	Costo	Precio	Precio

Nota: Elaboración propia a partir de la entrevista aplicada a los habitantes de las viviendas y técnicos (2026)

Tabla 25 *Respaldo de información obtenida entre encuesta y entrevista*

Resultado de la encuesta	Evidencia de la entrevista	Evidencia de la entrevista
Percepción de confort térmico: El 78,6 % de los encuestados manifestó sentir calor o calor extremo durante la época cálida.	Las dos propietarias indicaron que los dormitorios y la sala se vuelven muy calurosos durante las horas de mayor radiación y que recurren al aire acondicionado o ventiladores para aliviar el calor.	Las dos propietarias indicaron que los dormitorios y la sala se vuelven muy calurosos durante las horas de mayor radiación y que recurren al aire climatizadores para aliviar el calor.
Horario de mayor incomodidad: El 56,9 % señaló que el mayor calor se presenta entre las 12:00 y las 14:00.	Las propietarias entrevistadas están de acuerdo que el calor aumenta desde el mediodía y no reduce, especialmente en áreas donde hay más superficies acristadas y más expuestas al sol.	Las propietarias coincidieron en que el calor aumenta desde el mediodía hasta la tarde, especialmente en las fachadas más expuestas al sol.
Molestia por exceso de luz: El 54,4 % reportó molestias entre 3 y 4 horas diarias por exceso de radiación solar.	Las entrevistadas mencionaron que cierran cortinas y persianas durante varias horas del día para disminuir la entrada de luz y calor.	Las entrevistadas comentaron que con frecuencia eligen cerrar cortinas y persianas durante varias horas del día para que no les ingrese sol directo.
Ventilación natural: El 34,3 % considera que la ventilación natural mantiene fresca la vivienda menos de tres horas al día.	Las propietarias manifestaron que abrir las ventanas solo mejora temporalmente el ambiente y que posteriormente deben utilizar ventiladores o aire acondicionado.	Las propietarias manifestaron que abrir las ventanas solo mejora temporalmente el ambiente y que posteriormente deben utilizar ventiladores o aire acondicionado.

Uso de climatización

artificial: El 39,8 % utiliza sistemas de enfriamiento entre 4 y 8 horas diarias y el 28,2 % más de 8 horas.

Ambas propietarias afirmaron que el uso del aire acondicionado se ha vuelto frecuente durante los meses más cálidos.

Ambas propietarias afirmaron que el uso del aire acondicionado se ha vuelto frecuente durante los meses más cálidos.

Nota: Elaboración propia a partir de la encuesta y entrevista aplicada a los habitantes de las viviendas y técnicos (2026)

5.9. Parámetros bioclimáticos para propuesta cinética híbrida

A partir del análisis climático del sector Circunvalación, las mediciones in situ y la percepción de los usuarios, se establecen los parámetros bioclimáticos que orientan el diseño de la fachada cinética híbrida.

5.9.1. Radiación solar

Las mediciones de campo, realizadas en fecha de transición previa al solsticio de junio (21 de junio), registran sobreiluminación en la mayoría de los puntos evaluados, con mayor incidencia de radiación directa entre las 11:00 h y 13:00 h, franja horaria que corresponde a la posición solar propia del periodo de transición estacional, en el cual el sol aunque de trayectoria predominantemente Este-Oeste, presenta un desplazamiento hacia el Norte respecto a su posición de verano boreal, condición coherente con la ubicación ecuatorial del sitio (0,95° S). El diseño debe poder adaptar el ingreso de radiación directa sin que estas bloqueen la luz natural, considerando que el sol de la tarde (14:00–18:00 h) es el más crítico que afecta a las fachadas de este sector, según el análisis de trayectoria solar anual.

5.9.2. Ventilación natural

Las velocidades de aire registradas en campo van desde la velocidad mínima registrada que fueron 0,9 hasta los 1,3 m/s, con vientos predominantes de dirección del sur-suroeste. La simulación de las lamas debe potenciar la ventilación mediante elementos regulables que permitan el ingreso del viento y se adapten.

5.9.3. Iluminación natural

Los niveles de iluminancia superan los 500 lux en la mayoría de los puntos, con máximos superiores a 4.000 lux —muy por encima del rango de confort visual (100–2.000 lux, según UDI). Esto confirma alta disponibilidad de luz natural junto a riesgo de deslumbramiento, requiriendo sistemas de filtrado que homogenicen la calidad lumínica interior.

5.9.4. Requerimientos de diseño

Reducir la radiación solar directa sobre superficies vidriadas entre 11:00 h y 13:00 h

Regular el ingreso de luz natural, manteniendo niveles homogéneos, así como evitando deslumbramiento

Favorecer la ventilación cruzada aprovechando los vientos sur-suroeste (0,9–1,3 m/s)

Disminuir la ganancia térmica en los tramos de mayor exposición solar

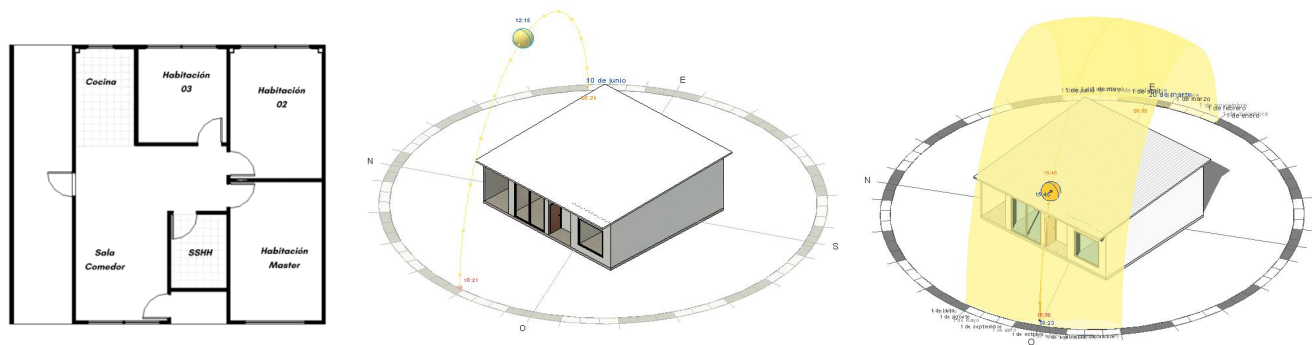
Adaptarse dinámicamente a la posición solar a lo largo del día

Mejorar conjuntamente el confort térmico como visual de los usuarios

5.10. Modelación digital de vivienda Base

La vivienda base número uno analizada es una construcción de 90 m² de una sola planta, compuesta por tres habitaciones y un espacio social integrado unificado. Los muros de ladrillo carecen aislamiento térmico, presentando únicamente revoque de mortero, empaste y pintura como terminación exterior. Las ventanas son simples corredizas sin protección contra la radiación, el objeto de estudio se encuentra orientado del noreste-sureste con una desviación de 20° con respecto al norte.

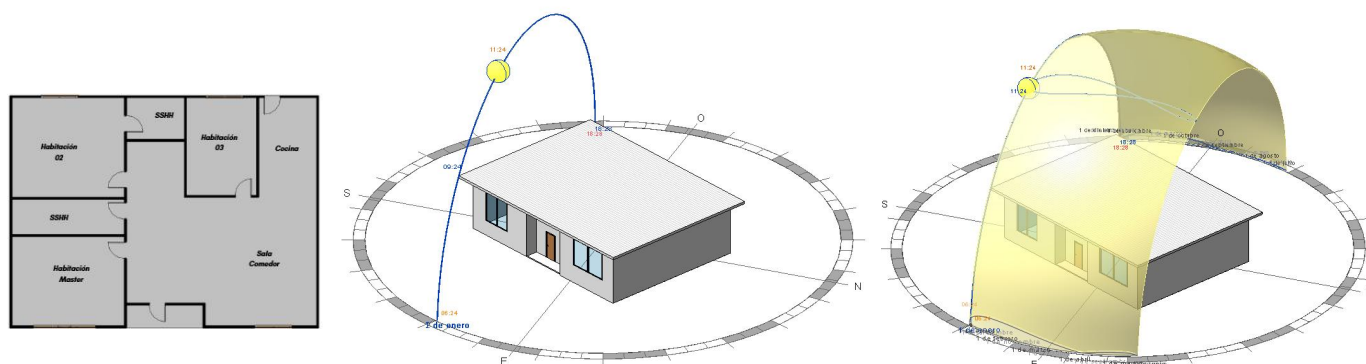
Figura 30 *Vivienda base tipo 1, planta arquitectónica con vista direccional al Noroeste*



Nota: Elaboración propia

La vivienda base número dos analizada es una construcción de 80 m² de una sola planta, compuesta por tres habitaciones y un espacio social integrado unificado. Los muros de ladrillo carecen aislamiento térmico, es una vivienda que se encuentra adosada en la parte lateral derecha, en cuanto a la materialidad presenta únicamente revoque de mortero, empaste y pintura como terminación exterior. Las ventanas son simples corredizas sin protección contra la radiación, el objeto de estudio se encuentra orientado del noreste-sureste con una desviación de 20° con respecto al norte.

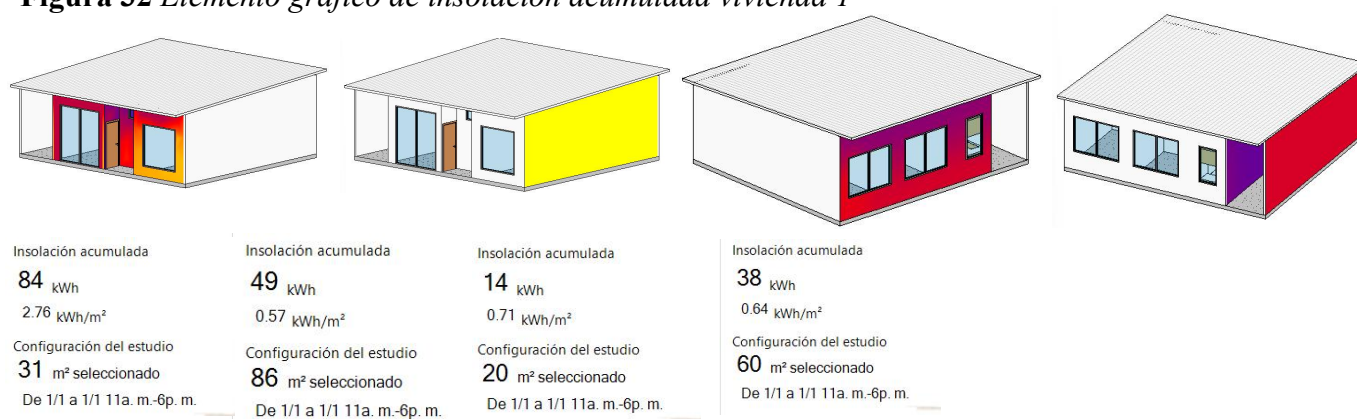
Figura 31 Vivienda base tipo 2 ,planta arquitectonica con vista direccional al sureste



Nota: Elaboración propia

5.11.Simulación térmica de fachada convencional

Figura 32 Elemento gráfico de insolación acumulada vivienda 1



Nota: Elaboración propia

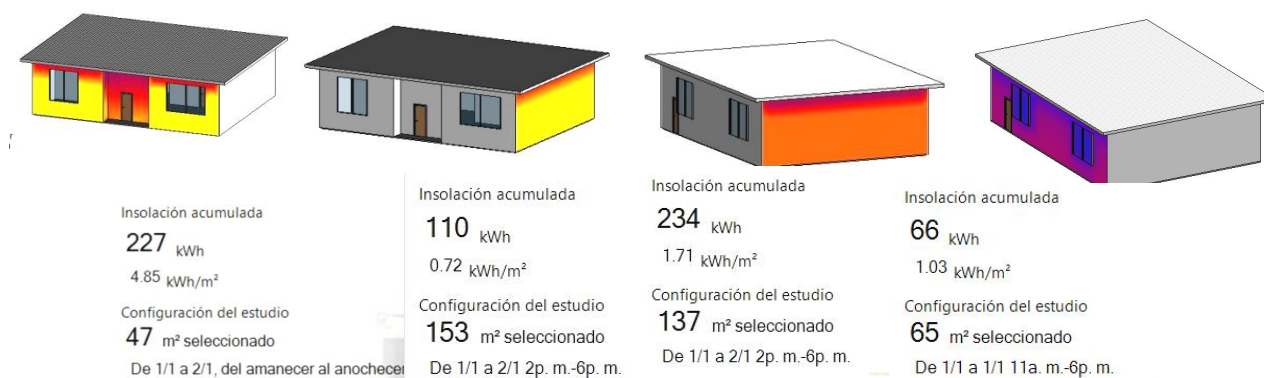
Tabla 26 Fachadas afectadas vivienda 1

Fachada	m ² seleccionados	Insolación acumulada	kWh/m ²
Lateral izquierda	86 m ²	49 kWh	0.57
Frontal	31 m ²	84 kWh	2.76
Posterior	60 m ²	38 kWh	0.64
Lateral derecha	20 m ²	14 kWh	0.71

Nota: Elaboración propio

El análisis solar muestra que, en valores simulados, la fachada lateral derecha registra la mayor intensidad (2.37 kWh/m^2), seguida de la frontal (1.87 kWh/m^2), la posterior (1.63 kWh/m^2) y la lateral izquierda, con el valor más bajo (0.98 kWh/m^2), sin embargo, la fachada lateral derecha se encuentra protegida por el voladizo de cubierta y colinda con un callejón, reduciendo su exposición solar real, condición no reflejada por el modelo.

Figura 33 Elemento gráfico de insolación acumulada vivienda 2



Nota: Elaboración propia

Tabla 27 Fachadas afectadas vivienda 2

Fachada	m^2 seleccionados	Insolación acumulada	kWh/m^2
Lateral izquierda	137 m^2	234 kWh	1.71
Frontal	47 m^2	227 kWh	4.85
Posterior	65 m^2	66 kWh	1.03
Lateral derecha	153 m^2	110 kWh	0.72

Nota: Elaboración propia

El análisis de la insolación acumulada muestra que la fachada frontal presenta la mayor incidencia de radiación solar por unidad de superficie (4.85 kWh/m^2), seguida de la lateral izquierda (1.71 kWh/m^2), la posterior (1.03 kWh/m^2) y la lateral derecha (0.72 kWh/m^2).

5.12. Simulación térmica de fachada cinética híbrida

5.12.1. Módulo de lamas verticales

Con base en el diagnóstico realizado mediante las mediciones in situ, análisis climático, simulaciones térmicas, encuestas realizadas a los 103 habitantes, y entrevistas obtenidas de los propietarios de las viviendas base se definieron los parámetros técnicos empleados en el modelo de la simulación. La lama vertical se estableció en el modelado con dimensiones de 150 mm de ancho, 40-50 mm de espesor y 2700 mm de longitud, utilizando madera tratada como material de referencia por su menor conductividad térmica respecto al aluminio y su mejor desempeño más adelante en la reducción de la ganancia de calor (Tabla 31)

El modelo considera un sistema de giro mediante un eje vertical con apoyos superiores e inferiores y herrajes resistentes a la corrosión, adecuados para las condiciones de humedad y salinidad del área de estudio. Asimismo, el sistema se plantea bajo un criterio de replicabilidad y adaptación a diferentes contextos climáticos, de manera que sus componentes y materiales puedan ser seleccionados de acuerdo con las condiciones ambientales específicas de cada ubicación.

Los ángulos de giro se determinaron según la trayectoria solar y la incidencia de radiación sobre la fachada analizada, permitiendo representar el funcionamiento de la fachada cinética durante la simulación.

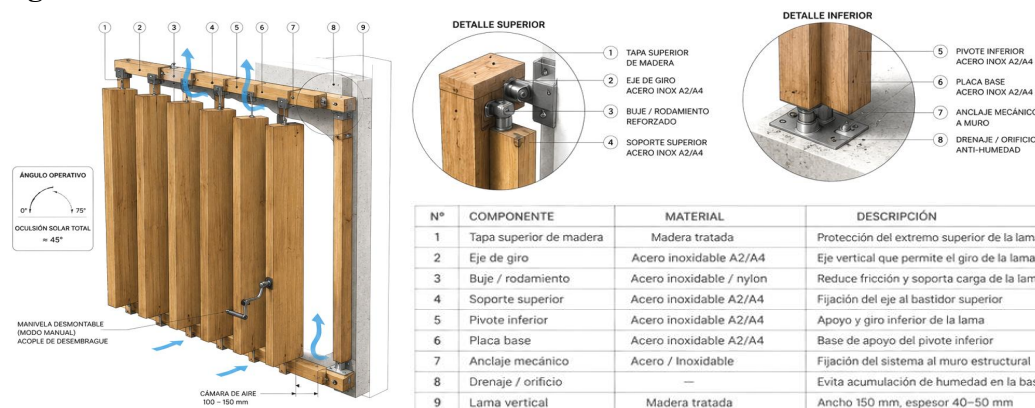
Tabla 28 *Ángulo de giro de la lama por franja horaria*

Hora	Posición solar	Ángulo de la lama
08:00	Este, baja	0°–15°
10:00	ESE, media	15°
12:00	Cenital	30°
14:00	Oeste, alta	45°–60°
16:00	Oeste, media-baja	60°–75°
18:00	Oeste, poniente	75°

Nota: Elaboración propia

El rango operativo (0° – 75°) responde directamente al diagnóstico de campo: el 61.2% de los encuestados identifica el rango 12:00–15:00 h como el momento de mayor incomodidad térmica, lo que sustenta el ángulo de cierre progresivo hacia el pico de la tarde, mientras que el 34.3% que reporta ventilación insuficiente respalda que el ángulo operativo máximo se mantenga en 75° y no en el tope mecánico de 90° .

Figura 34 Detalle técnico de sistema híbrido

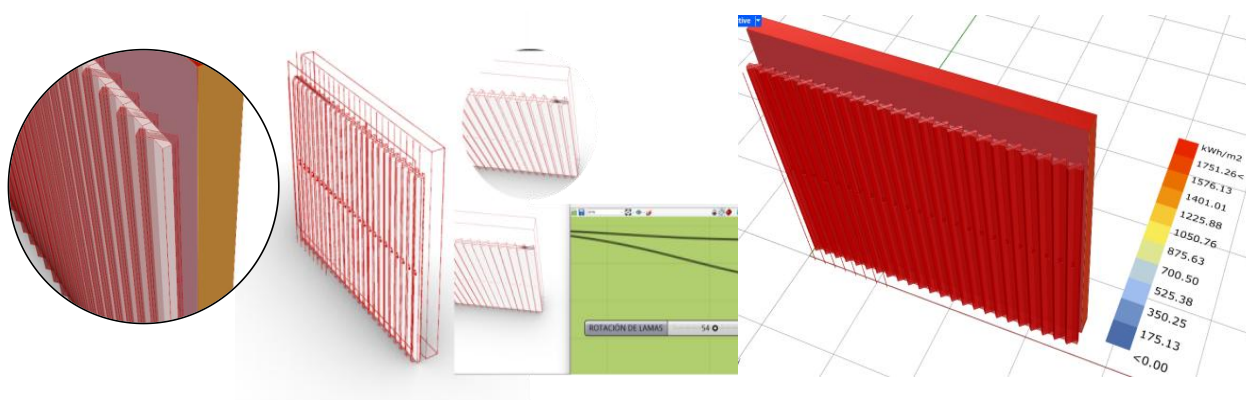


Nota: Elaboración propia

La figura muestra el detalle constructivo del sistema de fachada cinética de lamas verticales rotatorias y sus componentes principales. El sistema corresponde a una piel única activa de sombreado dinámico, conformada por 8 lamas verticales de madera tratada por módulo, de 150 mm de ancho, 40–50 mm de espesor y 2700 mm de longitud, dispuestas con un paso de 150 mm y una cámara de aire ventilada de 100–150 mm respecto al vano. El conjunto comprende la tapa superior de madera (1), el eje de giro de acero inoxidable A2/A4 (2), el buje o rodamiento reforzado (3) y el soporte superior de acero inoxidable A2/A4 (4). En la parte inferior se integran el pivote (5), la placa base (6), el anclaje mecánico al muro (7) y el drenaje antihumedad (8). La lama vertical de madera tratada (9) presenta un rango operativo de 0° a 75° , con una oclusión solar aproximada de 45° , manteniendo condiciones de ventilación incluso en posiciones de mayor protección. El sistema utiliza accionamiento híbrido motorizado y manual, mediante un motor tubular de 24 V DC y una barra de accionamiento que sincroniza las lamas. Para las condiciones costeras de Manta se considera madera de alta durabilidad tratada para exteriores y herrajes de acero inoxidable A2/A4, con protección frente a humedad y salinidad.

Para mayor detalle de las especificaciones técnicas del sistema, véase la ficha incluida en los anexos.

Figura 35 *Lamas verticales*



Nota: Elaboración propio desde Rhinoceros y Grasshopper

La geometría solar de Manta (0.95° de latitud Sur) invierte el problema típico de control solar: el sol de mediodía, casi cenital, se resuelve fácilmente con un alero corto, mientras que el verdadero desafío es el sol rasante de mañana y tarde en las fachadas Este y Oeste crítico entre 14:00 y 18:00, cuando coincide con el pico de temperatura del día.

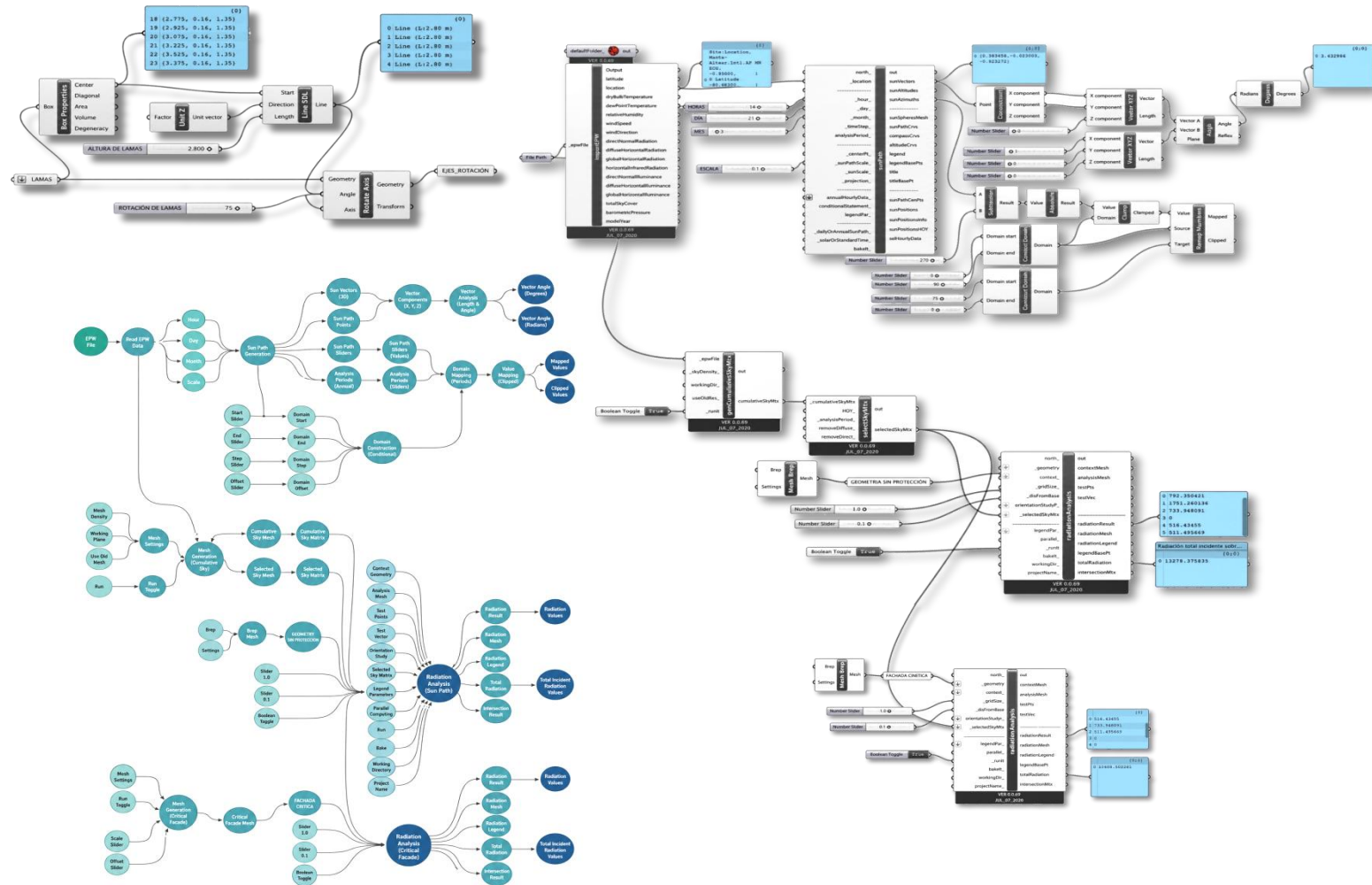
Las lamas horizontales, eficaces para sol de mediodía en latitudes medias, resultan ineficientes ante este bajo azimut, asimismo, las lamas verticales rotatorias son la respuesta geométrica correcta, pues su eje vertical permite interceptar el rayo solar Este-Oeste ajustando el ángulo según la hora. Además, es el mecanismo cinético más simple e incluso económico, con un solo punto de giro con un bajo mantenimiento en clima costero salino.

El diseño (ancho de lama = paso = 150 mm) permite oclusión solar total a 45° de giro, sin necesidad de cerrar a 90° , preservando ventilación cruzada permanente, exigencia esencial en un clima con 70-85% de humedad relativa.

El modelado paramétrico de las lamas verticales se desarrolló en Rhinoceros y Grasshopper. Como apoyo técnico durante este proceso, particularmente en el cálculo del eje de rotación, se utilizó el modelo de lenguaje Claude (Anthropic).

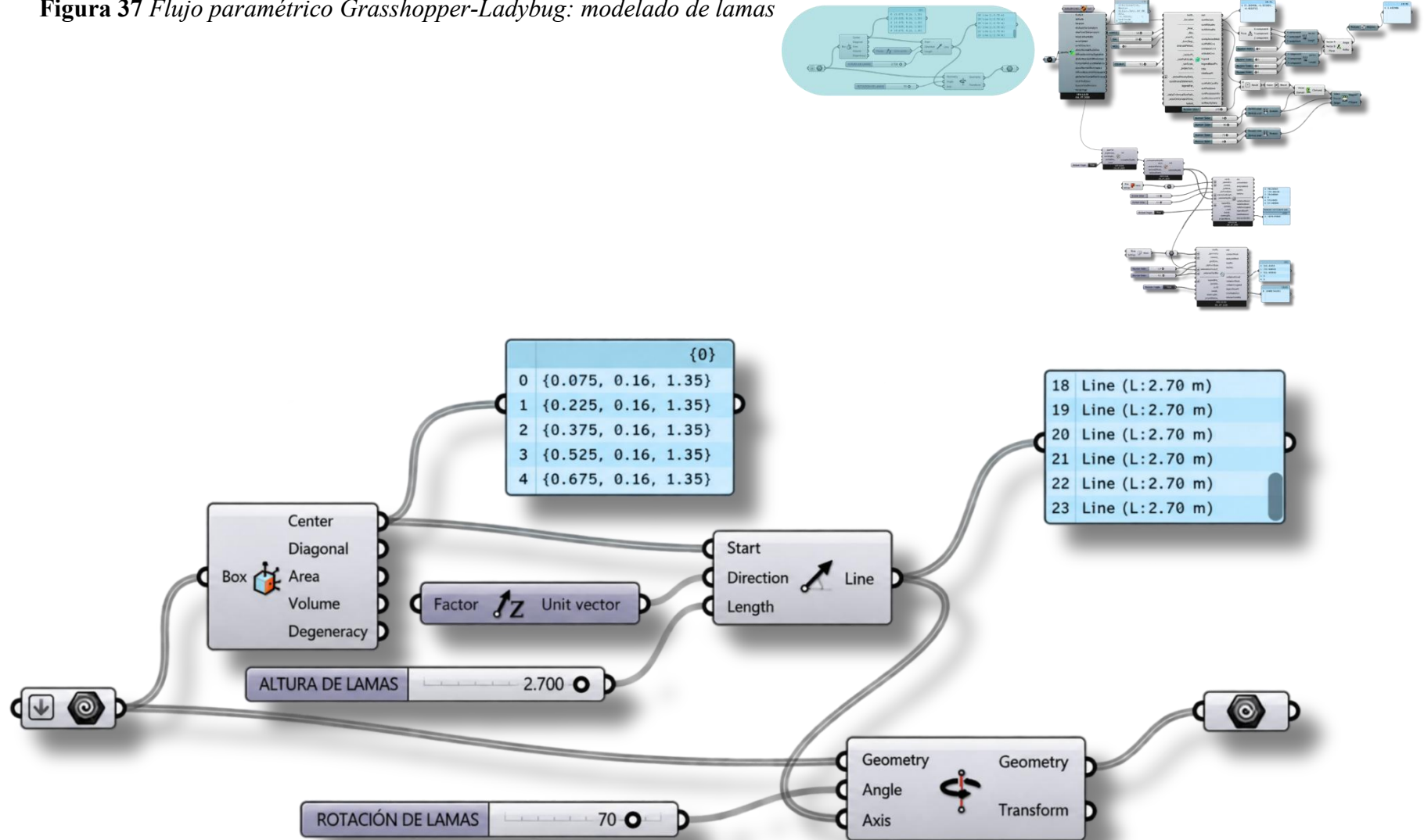
5.12.2. Estructura del flujo paramétrico Grasshopper-Ladybug

Figura 36 *Flujo paramétrico Grasshopper-Ladybug: modelado de lamas y análisis comparativo de radiación incidente (escenario sin protección y fachada cinética)*



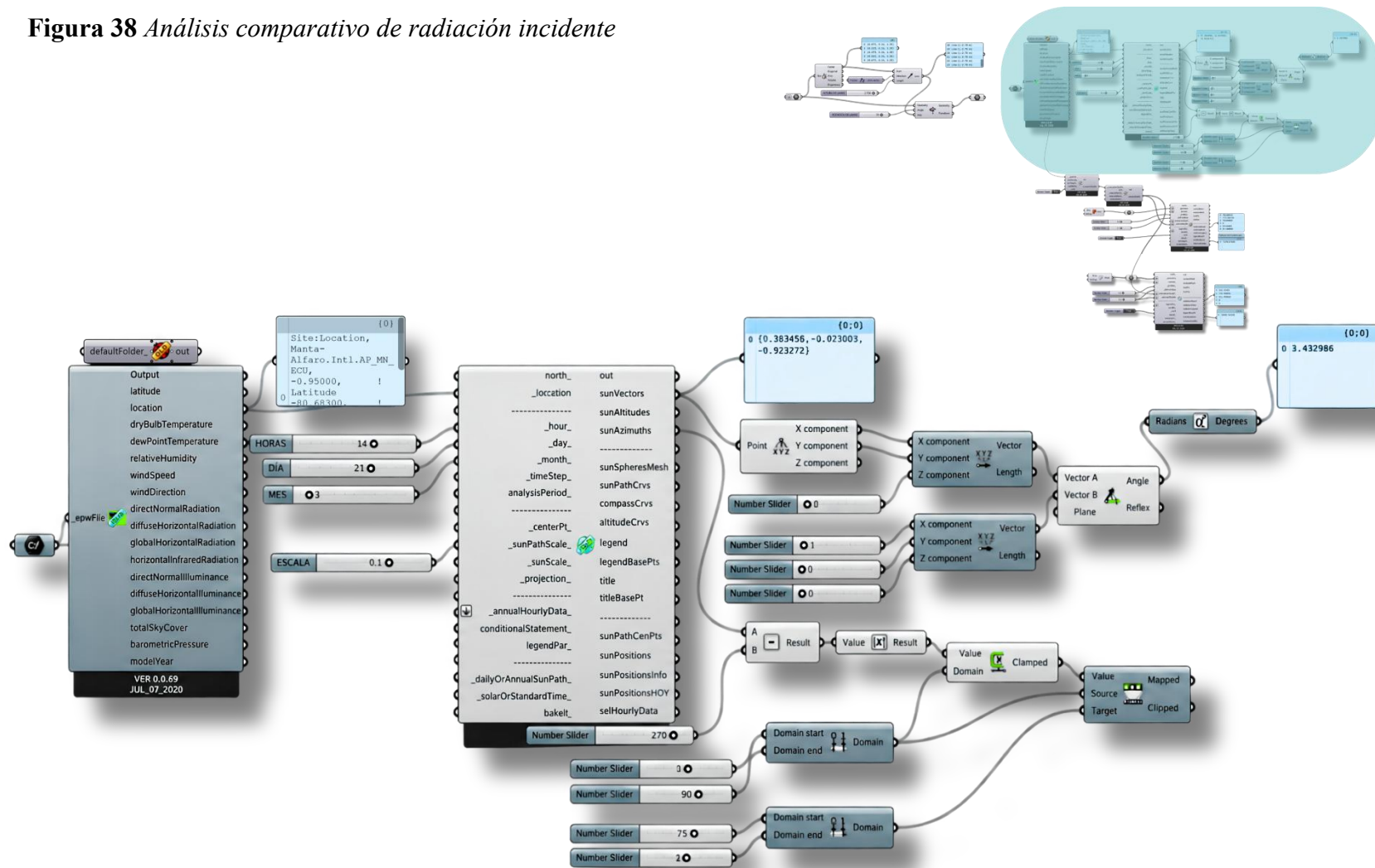
Nota: Elaboración propia

Figura 37 Flujo paramétrico Grasshopper-Ladybug: modelado de lamas



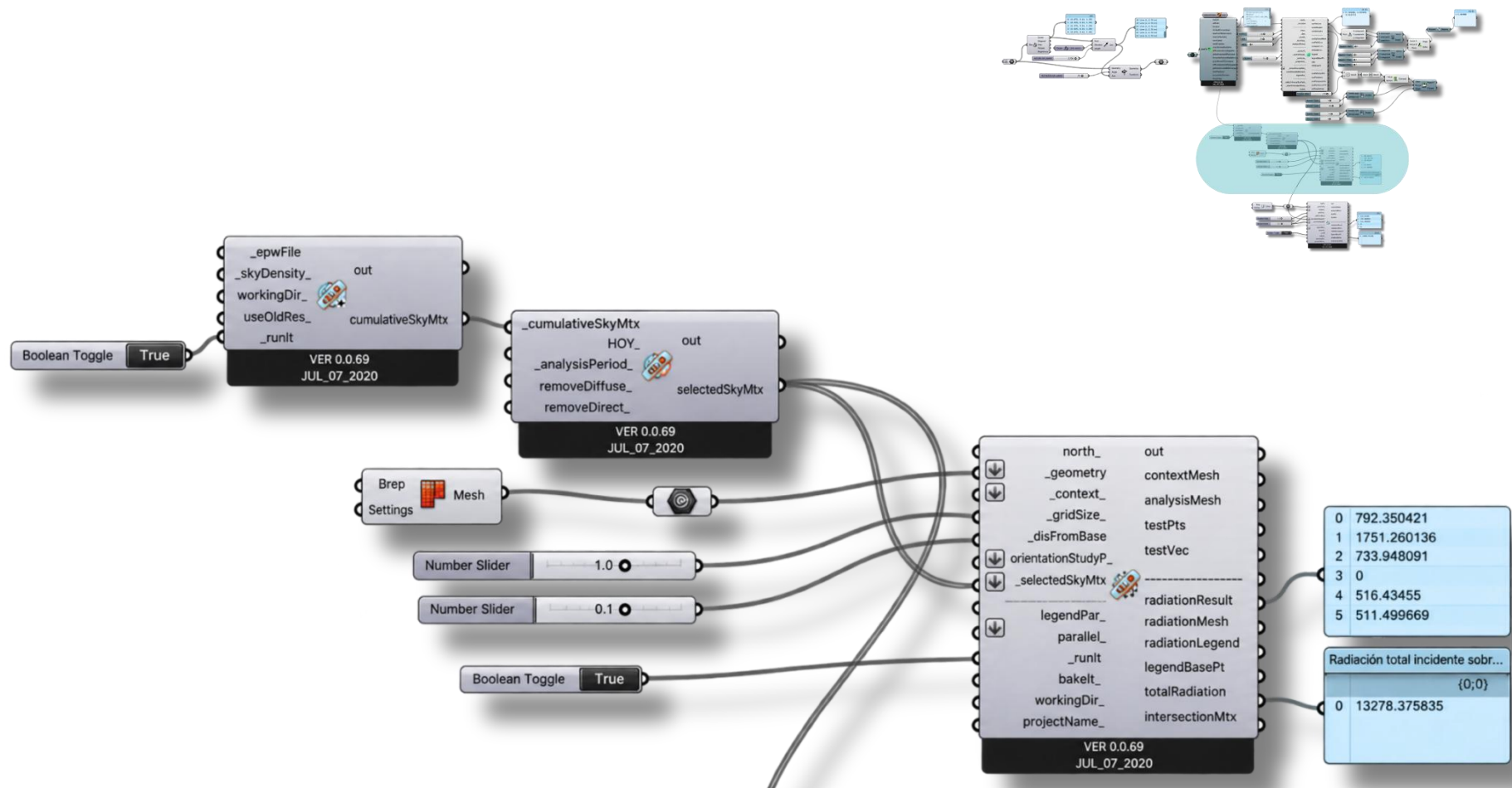
Nota: Elaboración propia

Figura 38 *Análisis comparativo de radiación incidente*



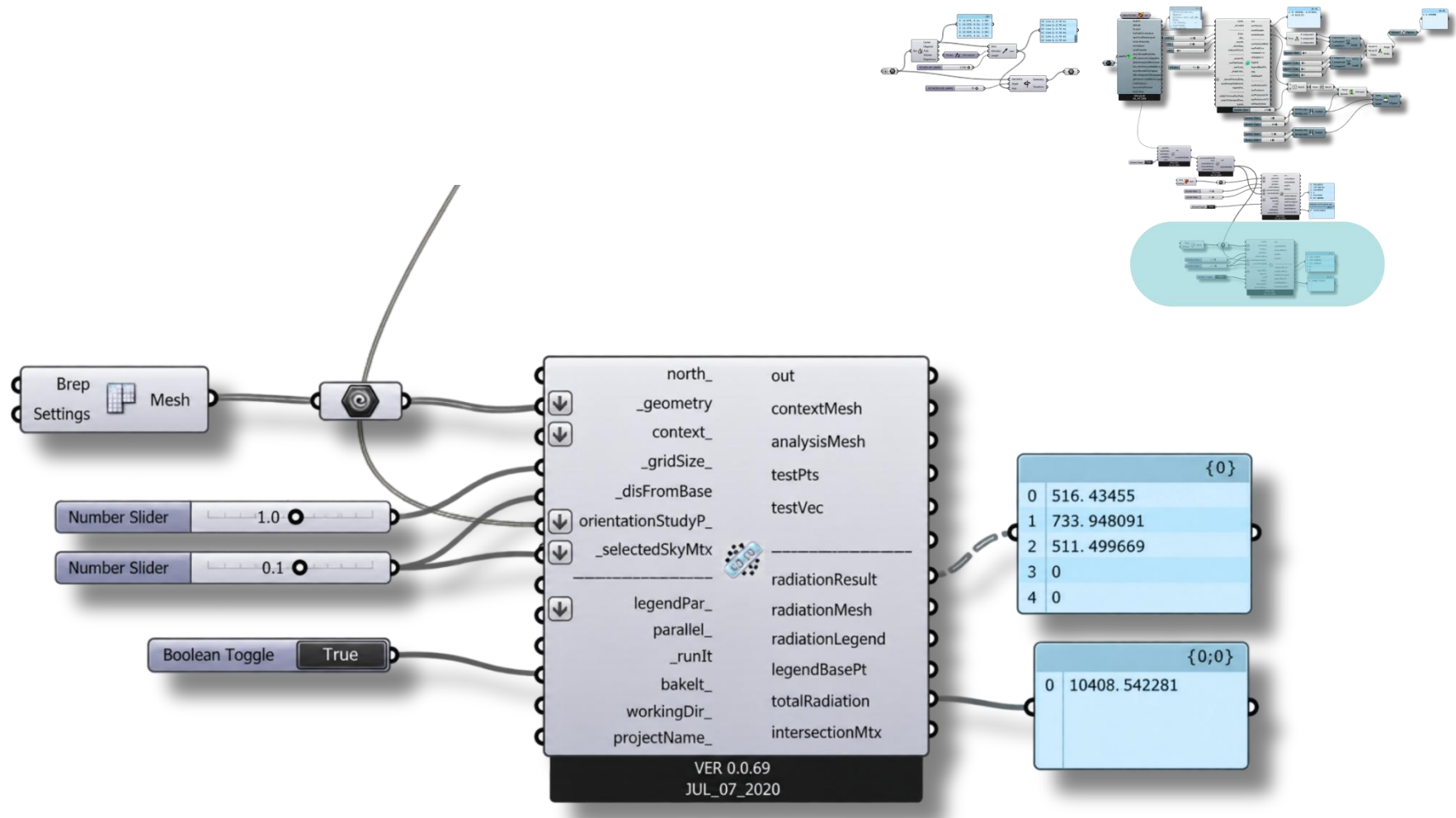
Nota: Elaboración propia

Figura 39 Simulación de fachada sin protección de lamas verticales



Nota: Elaboración propia

Figura 40 Simulación de fachada con protección de lamas verticales



Nota: Elaboración propia

El flujo se organiza en seis pasos conectados en cadena: cada uno recibe una salida del paso anterior y entrega un dato indispensable al siguiente, comenzando por la información base del proyecto (ubicación, archivo climático y orientación) y terminando en la comparación de radiación incidente entre escenarios.

1.Datos base del proyecto. Se parte de tres datos fijos: la ubicación de Manta ($-0,95^{\circ}$ lat / $-80,683^{\circ}$ long), el archivo climático .epw de la estación Manta-Alfaro Intl. Airport, y la orientación Oeste de la fachada, identificada como la más afectada por radiación solar en el período de análisis. Estos tres datos condicionan todo el flujo posterior.

2.Ladybug_ImportEPW. Se conecta el archivo .epw a este componente para incorporar los datos climáticos horarios y verificar, mediante un panel de texto, que la ubicación geográfica cargada corresponde efectivamente al sitio del proyecto.

3.Ladybug_SunPath. Con la ubicación ya verificada, se genera la trayectoria solar y se obtienen los vectores de posición del sol para la fecha y hora de análisis. En paralelo, se define el rango operativo de giro de las lamas entre 0° y 75° , límite mecánico establecido para evitar interferencias entre elementos del sistema cinético.

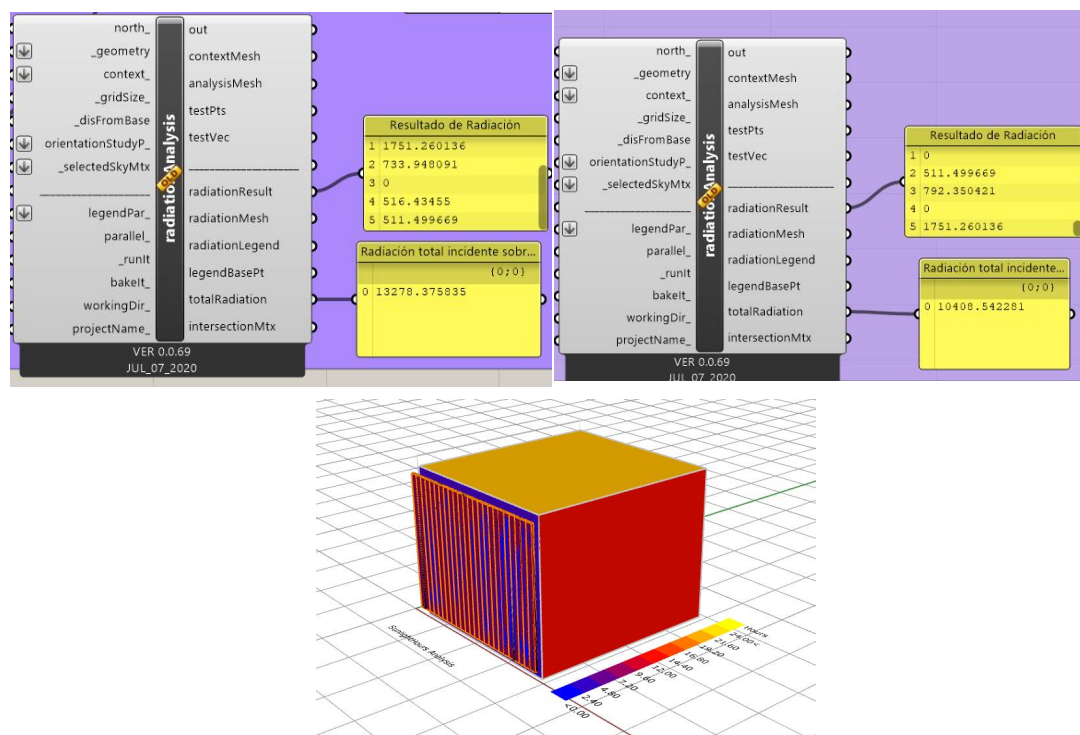
4.Ángulo de incidencia (vector solar vs. normal de fachada). Para verificar la relación entre la orientación de la fachada y la posición solar, se calcula el ángulo de incidencia comparando el vector solar obtenido en el paso 3 con la normal de la superficie de fachada.

5.genCumulativeSkyMtx + selectSkyMtx. Se procesan los datos anuales de radiación del archivo .epw para generar la matriz de cielo acumulada que alimentará, sin variaciones, todos los escenarios de simulación.

6.Mesh Brep + radiationAnalysis (por escenario). Las geometrías de cada escenario — muro sin protección y fachada cinética completa— se convierten a malla mediante Mesh Brep y se analizan con radiationAnalysis (gridSize = 1,0 m; distancia de análisis = 0,1 m), obteniendo la radiación incidente por punto y el total anual en kWh/m²/año de cada escenario, lo que permite comparar su comportamiento y cuantificar la reducción lograda por el sistema cinético.

5.12.3. Radiación obtenida anual

Figura 41 Escenario de reducción de radiación por protección de fachadas con lamas móviles verticales



Nota: Elaboración propio desde Rhinoceros y Grasshopper

El sistema de fachada cinética híbrida propuesto demuestra una reducción progresiva y cuantificable de la radiación solar incidente sobre la envolvente, evaluada mediante simulación en Ladybug con el archivo climático EPW de Manta. El escenario base, correspondiente a un muro convencional sin protección solar, registra una radiación incidente anual de 13.278,38 kWh/m²/año, reflejando la alta exposición solar característica del clima cálido-húmedo ecuatorial de la zona de estudio.

El sistema híbrido completo, con las lamas verticales rotatorias en su posición operativa, alcanza una radiación incidente de 10.408,54 kWh/m²/año, representando una reducción del 21,6% respecto al escenario sin protección. Este resultado evidencia que el aporte sustancial en el control solar proviene del componente cinético, capaz de ajustar su ángulo de cierre en función de la posición solar y así interceptar de manera más efectiva el sol rasante característico de las horas críticas de la tarde (14:00–18:00 h) en la fachada Oeste.

Estos resultados validan cuantitativamente la estrategia de diseño de doble piel planteada: la combinación de una capa pasiva constante con un sistema dinámico de control solar logra un desempeño térmico-lumínico superior al que cualquiera de los dos sistemas alcanzaría de forma independiente, confirmando la pertinencia de la propuesta para las condiciones climáticas del barrio Circunvalación, Manta.

Tabla 29 *Radiación solar captada en fachadas*

Orientación/Posición	Config. 1	Config. 2
75°	1751.260136	733.948091
75°	733.948091	511.499669
75°	0	0
75°	516.43455	0
75°	511.499669	1751.260136
Radiación total incidente (kWh/m ² /año)	13278.375835	10408.542281

Nota: Elaboración propia

5.12.4. Comparación de resultados térmicos

En la presente sección se comparan los resultados obtenidos mediante la simulación térmica con los cálculos analíticos realizados para las fachadas convencional como cinética. El análisis considera variables como la radiación solar incidente, la temperatura superficial, la temperatura interior, las ganancias térmicas junto con la eficiencia de cada sistema frente a las condiciones climáticas del área de estudio, cabe mencionar que los análisis obtenidos solo representan un porcentaje de la vivienda ya que se está revisando la envolvente pero como tal no reduce en su totalidad la temperatura interior de toda la vivienda puesto que ya influyen otros factores como materialidad, cubierta y otros.

Los resultados obtenidos representan el comportamiento térmico asociado específicamente al área de la envolvente analizada, por lo que los porcentajes de reducción identificados no corresponden a una disminución total de la temperatura interior de la vivienda. La intervención se concentra en la fachada y, por tanto, su incidencia sobre el comportamiento térmico general es parcial. La temperatura interior de la vivienda también está condicionada por

otros elementos y factores, como la materialidad de los cerramientos, la cubierta, las condiciones de ventilación, la orientación, las ganancias solares y las características propias de los espacios interiores. En este sentido, los resultados deben interpretarse como el efecto específico de la solución de fachada sobre la envolvente analizada y no como una reducción integral de la temperatura de toda la vivienda.

La simulación permiten evaluar el comportamiento dinámico de ambas fachadas a lo largo del día, mientras que los cálculos analíticos respaldan los valores obtenidos, proporcionando una base cuantitativa para la comparación, por lo tanto, la confrontación de ambos métodos permite determinar la reducción de la carga térmica, la disminución de la temperatura interior como la mejora en el confort térmico alcanzadas mediante la implementación de la fachada cinética.

Para facilitar el análisis, se presentan tablas con gráficos comparativos que muestran las diferencias entre los resultados de la fachada convencional con la fachada cinética, así como la correspondencia entre los valores calculados con los obtenidos en la simulación, esto permite validar el desempeño del sistema cinético, así como establecer su efectividad como estrategia pasiva de control solar como de eficiencia energética en la edificación.

5.12.5. Ganancia de calor (Q)

$$Q = U \times A \times \Delta T$$

$$Q = U \times A \times \Delta T$$

$$Q = 2.05 \times 99.73 \times 9 = 1840W$$

Tabla 30 Ganancia térmica de muro

Parámetro	Valor
Área total	99.73 m ²
Transferencia de calor (Q)	1839.84 W

Nota: Elaboración propia

Los muros de ladrillo común de 12 cm con enlucido de mortero en ambas caras presentan una transmitancia térmica de 2.05 W/m²K. Considerando una superficie total de 99.73 m² y una diferencia de temperatura de 9°C, se obtiene una ganancia térmica de 1840 W, lo que evidencia

que los muros constituyen una de las principales fuentes de ingreso de calor hacia el interior de la edificación.

Tabla 31 *Ganancia térmica de Vidrio*

Parámetro	Valor
Área de vidrio (A)	20.45 m ²
Transmitancia (U)	5.7 W/m ² K
T° Interior promedio	30.43 °C
T° Exterior promedio	29.43 °C
ΔT promedio	1.0 °C
Ganancia térmica (Q)	116.57 W

Nota: Elaboración propia

El vidrio ($U = 5.7 \text{ W/m}^2\text{K}$) genera una ganancia de 116.57 W pese al bajo ΔT , por su nula inercia térmica, así como su baja resistencia conductiva. El ΔT constante de 1.0°C con interior siempre más cálido que exterior, indica retención térmica acumulada en la envolvente opaca, no solo ganancia directa por el vidrio, esto valida la necesidad de control solar dinámico (fachadas cinéticas) para reducir tanto la conducción instantánea como el sobrecalentamiento acumulado.

Tabla 32 *Resistencia térmica de la envolvente*

Capa	R (m ² ·K/W)
R_si	0.130
Vidrio (1/5")	0.175
Cámara de aire	0.180
Lama de madera (0.04/0.15)	0.2667
R_se	0.040
R_t total	0.7917

Nota: Elaboración propia

Cálculos

$$U_{\text{nuevo}} = 1 / 0.7917 = 1.26 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

$$Q_{\text{nuevo}} = U \times A \times \Delta T = 1.26 \times 20.45 \times 1.0 = 25.83 \text{ W}$$

Tabla 33 Comparación de pérdidas por conducción

Escenario	Q (W)
Vidrio solo	116.57
Vidrio + cámara + lama de madera (0.04 m)	25.83

Nota: Elaboración propia

Los resultados muestran que la incorporación de una cámara de aire con una lama de madera permite aumentar la resistencia térmica total de la fachada hasta $0.7917 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ y reducir la transmitancia térmica a $1.26 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, como resultado, el flujo de calor por conducción disminuye de 116.57 W a 25.83 W , alcanzando una reducción de 90.74 W (77.8%), estos resultados demuestran que la solución planteada mejora significativamente el comportamiento térmico de la envolvente, reduciendo el ingreso de calor hacia el interior y favoreciendo mejores condiciones en las viviendas ubicadas en climas cálidos-semiaridos.

5.12.6. Discusión de resultados

Los cálculos analíticos realizados sobre la envolvente de la vivienda base evidencian una jerarquía clara en el aporte de cada componente a la carga térmica total, puesto que el muro de ladrillo con enlucido de mortero, pese a representar la mayor superficie (99.73 m^2), genera una ganancia de 1839.84 W bajo una transmitancia de $2.05 \text{ W/m}^2\text{K}$, mientras que el vano acristalado (20.45 m^2) aporta 116.57 W con un U de $5.7 \text{ W/m}^2\text{K}$, sin embargo, aunque el muro concentra en términos absolutos la mayor carga térmica por su extensión, el vidrio destaca por su ineficiencia relativa, es decir genera una ganancia proporcionalmente mayor por unidad de área, al carecer de masa térmica, así como presentar una resistencia conductiva prácticamente nula frente a las capas opacas.

Al incorporar la lama de madera (0.04 m) junto con una cámara de aire no ventilada entre esta con el vidrio, la resistencia térmica total del conjunto se eleva de $0.175 \text{ m}^2\text{K/W}$ (vidrio solo, sin contar R_{si}/R_{se}) a $0.7917 \text{ m}^2\text{K/W}$, reduciendo la transmitancia de 5.7 a $1.26 \text{ W/m}^2\text{K}$, esto se

traduce en una disminución del flujo conductivo de 116.57 W a 25.83 W, equivalente a un ahorro de 90.74 W (77.8%), este resultado confirma que la incorporación de un elemento cinético opaco frente al vano modifica sustancialmente el comportamiento térmico del sistema al introducir una capa de aislamiento adicional en serie.

Al contrastar esta reducción con la literatura disponible sobre fachadas cinéticas se observa que el 77.8% obtenido supera ampliamente el rango de 10% a 40% de reducción de consumo energético reportado por Khraisat et al. (2023) para distintas tipologías de sombreado dinámico, así como el 16% de ahorro eléctrico anual documentado por Alawaysheh et al. (2023) en el caso del Dubai Frame, esta diferencia no debe interpretarse como una superioridad absoluta del sistema propuesto, sino como una distinción metodológica importante, pues mientras los estudios citados miden el ahorro energético a escala de edificio completo como consumo eléctrico de climatización, facturación real, el valor obtenido en esta investigación corresponde únicamente a la reducción del flujo conductivo instantáneo a través del componente vidrio-lama-cámara de aire, sin considerar aún las cargas por radiación directa, ventilación ni el comportamiento térmico del resto de la envolvente opaca, por consiguiente, el resultado es coherente en magnitud con lo esperado a nivel de componente, pero requiere de una evaluación energética integral del edificio para ser comparado directamente con los porcentajes de ahorro global reportados en el Estado del Arte.

El descubrimiento de un ΔT constante de 1.0 °C, con temperatura interior sistemáticamente superior a la exterior en las tres franjas horarias medidas, resulta consistente con la percepción térmica reportada por los habitantes del sector Circunvalación: el 78.6% de los encuestados manifestó sensación de calor o calor extremo durante los meses más cálidos, y el 61.2% identificó el rango de 12:00 a 15:00 horas como el momento de mayor incomodidad en el dormitorio, coincidiendo con el periodo de mayor radiación solar acumulada señalado en el diagnóstico climático, esta correspondencia entre el dato analítico (retención térmica en la envolvente opaca) y el dato perceptual (discomfort concentrado en horas de la tarde) refuerza la hipótesis de que el sobrecalentamiento interior de las viviendas del sector no depende exclusivamente de la ganancia conductiva instantánea del vidrio, sino de un efecto acumulativo de la masa térmica de muros y cubierta, que libera calor almacenado incluso cuando la temperatura exterior ya ha comenzado a descender.

En conjunto, estos resultados sustentan la pertinencia de una estrategia de control solar dinámico frente a una solución estática: la reducción de 77.8% en el flujo conductivo del vano, sumada a la posibilidad de modular la oclusión de las lamas verticales según la posición solar a lo largo del día, permitiría atender simultáneamente la ganancia instantánea por conducción y el fenómeno de acumulación térmica identificado en la envolvente opaca, sin comprometer la ventilación cruzada que el 34.3% de los encuestados señaló como insuficiente en la actualidad.

5.12.7. Implicaciones arquitectónicas y urbanas

A nivel arquitectónico, los resultados justifican priorizar el diseño de la envolvente vidriada y sus sistemas de control solar por encima de intervenciones exclusivamente en el muro opaco, dado que el vano representa el punto de mayor ineficiencia térmica relativa. La incorporación de lamas verticales rotatorias como estrategia cinética resulta viable técnica y económicamente para la autoconstrucción del sector, al requerir un solo eje de giro y materiales de bajo mantenimiento en clima costero salino.

A escala urbana, la generalización de este tipo de solución en el Barrio Circunvalación podría atenuar la dependencia actual de climatización mecánica reportada por el 68% de los encuestados con uso de 4 a más de 8 horas diarias, reduciendo el consumo energético agregado del sector y, por extensión, su contribución a la isla de calor urbana característica de tejidos residenciales densos sin protección solar (GAD Manta, 2021).

En el plano normativo, la ausencia de exigencias sobre transmitancia térmica de vidrios o protección solar en la normativa municipal actual, evidenciada por el mínimo uso de vidrios de control solar (4.9%) entre los encuestados que propone un vacío regulatorio que podría abordarse mediante parámetros técnicos mínimos de desempeño envolvente para vivienda social en climas cálido-húmedos.

En líneas generales, estos resultados abren una línea de investigación futura orientada a evaluar el desempeño energético integral del edificio (no solo por componente), incorporando radiación directa junto con ventilación, en línea con el vacío metodológico expresado por Khraisat et al. (2023) respecto a la escasez de estudios primarios con datos empíricos propios en fachadas cinéticas.

6.Conclusiones

El diagnóstico bioclimático, mediante mediciones in situ y encuestas, permitió identificar condiciones de discomfort térmico en las viviendas evaluadas, caracterizadas por temperaturas interiores de 32 °C a 35 °C, niveles de iluminancia superiores a 500 lux y una percepción frecuente de calor, principalmente durante las horas de mayor radiación solar. Ante estas condiciones, los habitantes recurren al uso de ventiladores, cortinas y otros elementos para reducir el ingreso de calor, evidenciando limitaciones en las estrategias pasivas existentes.

La revisión bibliográfica y el análisis climático permitieron establecer que las fachadas cinéticas constituyen una estrategia de control solar adaptable, a partir de criterios relacionados con la orientación, configuración y movimiento de las lamas, control de la radiación solar y conservación de la ventilación natural.

La definición paramétrica desarrollada mediante Rhinoceros, Grasshopper y Ladybug Tools permitió generar y evaluar digitalmente el sistema de fachada cinética, estableciendo un rango operativo de 0° a 75° y considerando la orientación oeste, identificada como la más afectada por la incidencia de radiación solar.

La comparación de los escenarios simulados evidenció una reducción de la radiación solar incidente mediante la incorporación de la fachada cinética respecto a la geometría sin protección, demostrando su potencial como estrategia de control solar para disminuir la exposición directa de la envolvente y contribuir a la mejora de las condiciones térmicas interiores.

Finalmente, la reducción del consumo energético planteada en la hipótesis constituye un potencial asociado a la disminución de la radiación incidente y del flujo conductivo de la fachada, mas no un resultado comprobado mediante una evaluación energética integral del consumo de la vivienda.

7.Recomendaciones

Complementar la validación de los criterios de diseño establecidos mediante simulaciones adicionales de desempeño térmico y lumínico en Rhinoceros, Grasshopper y Ladybug Tools, evaluando diferentes configuraciones y ángulos de apertura de las lamas móviles.

Complementar el análisis con mediciones realizadas durante distintas épocas del año y bajo diferentes condiciones climáticas, con el fin de verificar el comportamiento de la fachada frente a las variaciones estacionales.

Evaluar en futuras investigaciones el consumo energético asociado al uso de ventiladores y sistemas de climatización antes y después de implementar estrategias de control solar, con el propósito de cuantificar su impacto sobre la eficiencia energética de las viviendas.

Promover la incorporación de criterios bioclimáticos y sistemas de control solar adaptables en proyectos de vivienda ubicados en zonas de clima cálido, priorizando soluciones que permitan reducir la incidencia de radiación solar sin afectar la iluminación natural ni la ventilación.

Considerar la replicabilidad del sistema de fachada cinética en otros contextos climáticos, adaptando los materiales, herrajes y componentes constructivos a las condiciones específicas de cada ubicación, especialmente en relación con humedad, salinidad, radiación solar y exposición ambiental.

Realizar en futuras investigaciones estudios integrales de desempeño energético y confort térmico, incluyendo indicadores como PMV y PPD, que permitan verificar con mayor precisión el impacto de las estrategias de control solar sobre las condiciones de habitabilidad y el consumo energético de las viviendas.

8. Referencia Bibliográfica

Alawaysheh, A., Taleb, H., & Kayed, M. (2023). The impact of a kinetic façade on the lighting performance and energy efficiency of a public building: The case of Dubai Frame. *International Journal of Sustainable Energy*, 42(1), 1317–1363.
https://www.researchgate.net/publication/374522103_The_impact_of_a_kinetic_facade_on_the_lighting_performance_and_energy_efficiency_of_a_public_building_the_case_of_Dubai_frame/citations

ASHRAE. (2021). ANSI/ASHRAE Standard 55-2020: Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. <https://es.scribd.com/document/695087734/ASHRAE-55-2020>

Cadme Olives, I. A., & García Balderramo, J. A. (2025). Arquitectura cinética: Análisis de las estructuras inteligentes y su correcta aplicación en las edificaciones [Trabajo de titulación para la obtención del título de Arquitecto, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí].

Camino Solórzano, A. M. (1999). Evolución y características tipológicas de la vivienda en Manabí – Ecuador [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona].
https://www.academia.edu/32619319/TESIS_ARQ_CAMINO

Chernikhov, I. G. (1933). Arkhitekturnye fantazii: 101 kompozitsiia v kraskakh, 101 arkhitekturnaia miniatura [Fantasías arquitectónicas: 101 composiciones en color, 101 miniaturas arquitectónicas]. Mezhdunarodnaia Kniga.

Constitución de la República del Ecuador. Registro Oficial N.º 449, 20 de octubre de 2008 (Ecuador). https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf

Cowen, O., Delgado, N., González, C., & Chen Austin, M. (2021). Una revisión de las estrategias de diseño de envolventes para minimización de consumo energético de edificaciones en clima tropical basado en enfoques biomiméticos. *Revista de Iniciación Científica*, 7(2), 76–82.
<https://portal.amelica.org/ameli/journal/338/3382820008/>

De Dear, R., & Brager, G. S. (2002). Thermal comfort in naturally ventilated buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings*, 34(6), 549–561.

Estupiñán Acero, J. S. (2020). Simulación de sistemas de envolventes cinéticas y su relación con el aumento del confort térmico: Modelo adaptativo en espacios interiores. Caso Región Caribe, Colombia [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia].

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79190>

Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*. Danish Technical Press.

GAD Manta. (2021). Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) del Cantón Manta 2020–2035. Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Manta. https://manta.gob.ec/wp-content/uploads/2025/03-PDOT-Modelo-de-Gestion-2024-2035_.pdf

Givoni, B. (1994). *Passive and low energy cooling of buildings*. Van Nostrand Reinhold.

Hansanuwat, R. (2010). Kinetic facades as environmental control systems: Using kinetic facades to increase energy efficiency and building performance in office buildings [Tesis de maestría, University of Southern California].

Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2022). VIII Censo de Población y VII de Vivienda. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>

Khraisat, D., Qashmar, D., & Alomari, O. (2023). Exploring the impact of kinetic façade environmental control systems in the development of sustainable design: A systematic literature review. *Civil Engineering and Architecture*, 11(1), 268–278. https://www.hrpub.org/journals/article_info.php?aid=12673

Ley Orgánica de Eficiencia Energética. Registro Oficial Suplemento N.º 449, 19 de marzo de 2019 (Ecuador). <https://www.cenace.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/05/LEY-ORGANICA-DE-EFICIENCIA-ENERGETICA.pdf>

Macías Loor, L. J., Cedeño Zambrano, H. G., Camino Solórzano, M. A., Melgar Véliz, C. J., & Lourido Barrezueta, C. J. (2022). *Arquitectura habitacional bioclimática en Manabí* –

Ecuador. Editorial Universitaria ULEAM.

<https://es.scribd.com/document/818177769/ARQUITECTURA-HABITACIONAL-MANABITA>

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda [MIDUVI]. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC). Gobierno del Ecuador.

Olgyay, V. (1963). Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism. Princeton University Press.

Olson Kundig. (2021). Bilgola Beach House. <https://olsonkundig.com/projects/bilgola-beach-house/>

Olson Kundig. (2023.). Hale Napo'o <https://olsonkundig.com/projects/hale-napoo/>

Rapoport, A. (1969). House form and culture. Princeton University Press.
https://archive.org/details/bwb_P8-AKD-842archive

Scavée, A., Triantafyllidis, G., & Palamas, G. (2022). Bio-mimetic approaches to kinetic facades: A design proposal for a light-responsive facade module. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1099, 012005. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1099/1/012005>

Vallejo, C., Godoy, L., Vásquez, F., Villacreses, G., Orozco, M., & Navarro, S. (2024). Estrategias para mejorar la eficiencia energética en edificios de servicios públicos, en una zona climática calurosa y húmeda: Caso de estudio en Guayaquil, Ecuador. Revista Técnica “energía”, 21(1), 133–142. <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/651/936>

9. Anexos

ENCUESTA DE CONFORT TÉRMICO Y EFICIENCIA DE FACHADAS EN VIVIENDAS DEL SECTOR CIRCUNVALACIÓN

Objetivo: Recopilar información sobre la percepción de confort térmico de los habitantes y las condiciones de las fachadas de las viviendas para el desarrollo de estrategias bioclimáticas.

Instrucciones: Marque la opción que mejor represente su respuesta.

1

Indique su género

☐ Masculino

☐ Femenino

2

Seleccione su edad en base al rango

☐ Menor de 18 años

☐ 18 – 25 años

☐ 26 – 35 años

☐ 36 – 45 años

☐ 46 – 60 años

☐ Más de 60 años

3

¿Cuánto tiempo permanece en su vivienda durante el día? *

☐ Menos de 4h☐ 4h a 8h☐ 8h a 12h☐ Más de 12h

4

Durante los meses más cálidos (enero a mayo), ¿cómo percibe la temperatura en el comedor entre las 12:00 p.m. y las 4:00 p.m.? *

Donde: -1 Fresco 0 Neutro o confortable +1 Ligeramente cálido +2 Cálido +3 Caluroso

	-1	0	+1	+2	+3
10:00 - 12:00	☐	☐	☐	☐	☐
12:00 - 14:00	☐	☐	☐	☐	☐
14:00 - 16:00	☐	☐	☐	☐	☐
16:00 - 18:00	☐	☐	☐	☐	☐

5

¿En qué horario del día considera que el calor dentro de los espacios sociales (sala, comedor, cocina) se vuelve muy incómodo o insostenible de permanecer?

☐ 6:00 a.m. – 9:00 a.m.

☐ 9:00 a.m. – 12:00 p.m.

☐ 12:00 p.m. – 3:00 p.m.

☐ 3:00 p.m. – 6:00 p.m.

6

¿En qué momento del día percibe que su dormitorio alcanza la mayor sensación de calor?

☐ 6:00 a.m. – 9:00 a.m.

☐ 9:00 a.m. – 12:00 p.m.

☐ 12:00 p.m. – 3:00 p.m.

☐ 3:00 p.m. – 6:00 p.m.

7

¿En cuál de los siguientes espacios con ventanas hacia el exterior percibe mayor incomodidad por el calor durante el día? *

☐ Dormitorio frontal

☐ Dormitorio posterior

☐ Sala

☐ Comedor

☐ Cocina

8

¿Cómo siente la temperatura en los siguientes espacios de su vivienda durante las horas más calurosas del día?

Donde: -1 Fresco 0 Neutro o comfortable +1 Ligeramente cálido +2 Cálido +3 Caluroso

	-1	0	+1	+2	+3
Dormitorio Frontal	☐	☐	☐	☐	☐
Dormitorio Posterior	☐	☐	☐	☐	☐
Sala de estar	☐	☐	☐	☐	☐
Comedor	☐	☐	☐	☐	☐
Cocina	☐	☐	☐	☐	☐

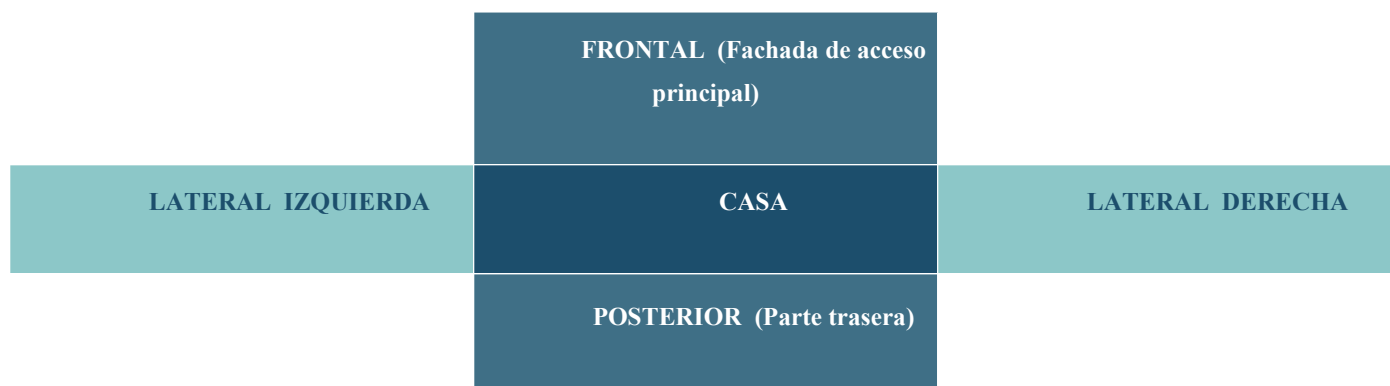
9	Durante la tarde de 13:00 a 18:00, ¿cuánto tiempo experimenta molestias por el exceso de luz solar dentro de su vivienda?
---	---

☐ Menos de 1 hora	☐ De 1 a 2 horas
☐ De 3 a 4 horas	☐ Más de 4 horas

10

¿Qué nivel de calor percibe a través de las ventanas ubicadas en las siguientes fachadas durante las horas más calurosas del día? *

Donde: -1 Fresco 0 Neutro o comfortable +1 Ligeramente cálido +2 Cálido +3 Caluroso



	-1	0	+1	+2	+3	No aplica
Frontal	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Posterior	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Lateral derecha	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Lateral izquierda	☐	☐	☐	☐	☐	☐

11

¿Durante cuántas horas al día la ventilación natural de sus ventanas mantiene fresca su vivienda sin usar ventilador o aire acondicionado?

- ☐ Más de 8 horas
 ☐ De 5 a 8 horas
- ☐ De 3 a 5 horas
 ☐ Menos de 3 horas

12

¿Cuántas horas promedio al día utiliza ventiladores o aire acondicionado para reducir el calor dentro de la vivienda?

- ☐ No utilizo
- ☐ Menos de 2 horas al día
- ☐ Entre 2 y 4 horas al día
- ☐ Entre 4 y 8 horas al día
- ☐ Más de 8 horas al día

13

Ante la exposición solar directa sobre sus ventanas, ¿con qué frecuencia debe recurrir a las siguientes acciones para mitigar el calor interior?

Donde: 1 Nunca 2 Casi nunca 3 A veces 4 Frecuentemente 5 Siempre

	1	2	3	4	5
Cerrar cortinas o persianas	☐	☐	☐	☐	☐

	1	2	3	4	5
Encender ventilador o aire acondicionado	☐	☐	☐	☐	☐
Desplazarse a otro espacio más fresco	☐	☐	☐	☐	☐

14	¿Qué elementos utiliza en el interior de la vivienda para reducir el ingreso del sol en sus ventanas? (Puede marcar más de una opción)
----	--

☐ Cortinas delgadas	☐ Cortinas gruesas
☐ Persianas	☐ Ninguno

15	¿Qué elementos se encuentran en el exterior de la vivienda para reducir el ingreso de luz solar? (Puede marcar más de una opción)
----	---

☐ Aleros o techos sobresalientes	☐ Celosías o rejillas
☐ Voladizos o Balcón	☐ Vegetación de sombra
☐ Vidrios de control solar	☐ Ninguno

¡Gracias por su tiempo y colaboración!

FICHA DE ENTREVISTA TECNICA N.º 1

Sector inmobiliario*Sondeo de conocimiento y viabilidad de mercado***DATOS GENERALES**

Nombre:	_____	Cargo / Rol:	_____
Institución /	_____	Fecha:	_____
Empresa:	_____	Duración:	_____
Lugar:	_____		_____

OBJETIVO DE LA ENTREVISTA

Determinar el nivel de conocimiento del sistema PECC en el mercado inmobiliario local y explorar la percepción de viabilidad comercial de esta tecnología, actualmente difundida en Europa pero ausente en el contexto local.

PREGUNTAS

1. ¿Había escuchado hablar de fachadas cinéticas o adaptativas antes de esta entrevista?
-
2. Al mostrarle imágenes de ejemplos como Al Bahar Towers o Media-TIC, ¿los asocia con algún proyecto o tendencia que conozca en el mercado local?
-

3. Desde su experiencia, ¿qué tan dispuestos estarían los clientes o inversionistas en Ecuador a pagar más por una fachada con este tipo de tecnología?

4. ¿Qué factores cree que frenan la llegada de este tipo de sistemas al mercado local (costo, desconocimiento, falta de proveedores, normativa)?

5. ¿Conoce algún edificio en el país que use fachadas ventiladas o algún sistema adaptativo, aunque sea simple?

6. En su opinión, ¿qué se necesitaría para que este tipo de tecnología empiece a implementarse en Ecuador?

FICHA DE ENTREVISTA TECNICA N.º 2

GAD Municipal*Sondeo de marco normativo e institucional***DATOS GENERALES**

Nombre:	_____	Cargo / Rol:	_____
Institución /	_____	Fecha:	_____
Empresa:	_____	Duración:	_____
Lugar:	_____		_____

OBJETIVO DE LA ENTREVISTA

Identificar si el marco normativo municipal contempla, restringe o está preparado para la incorporación de sistemas de fachada cinéticos o adaptativos, y explorar la percepción institucional sobre esta tecnología.

PREGUNTAS

1. ¿Había escuchado hablar de fachadas cinéticas o adaptativas antes de esta entrevista?
-
2. ¿Existe en la normativa municipal o nacional algún lineamiento (ordenanza, código de construcción) que contemple o restrinja sistemas de fachada cinéticos o adaptativos?
-

3. ¿Ha revisado o conoce algún proyecto que proponga este tipo de tecnología para permisos de construcción en el cantón?

4. ¿Qué requisitos técnicos exigiría el municipio para aprobar una fachada con partes móviles (seguridad estructural, mantenimiento, etc.)?

5. Desde su rol, ¿qué tan preparado está el marco regulatorio actual para un sistema que aún no es común en el país?

6. ¿Cree que existen incentivos (normativos o de sostenibilidad) que podrían impulsar este tipo de propuestas a futuro?

7. En su opinión, ¿qué se necesitaría para que este tipo de tecnología empiece a implementarse en Ecuador?

FICHA DE ENTREVISTA N.º 2

Propietario(a) — Viviendas*Caso de estudio para la simulación bioclimática***DATOS GENERALES**

Nombre:	_____	Cargo / Rol:	_____
Institución /	_____	Fecha:	_____
Empresa:	_____	Duración:	_____
Lugar:	_____		_____

OBJETIVO DE LA ENTREVISTA

Recopilar información sobre el comportamiento térmico percibido, los hábitos de uso y las estrategias de control solar de la vivienda, como insumo para la simulación y como respaldo cualitativo de los resultados obtenidos.

DATOS DE LA VIVIENDA

Dirección / ubicación: _____ Orientación
principal de fachada: _____ Años de habitar la vivienda: _____

PREGUNTAS

1. ¿Hace cuánto vive en esta casa y conoce bien su orientación respecto al sol durante el día?

2. ¿En qué horas y en qué fachada de la casa siente más calor o más incomodidad térmica?

3. ¿Usa aire acondicionado, ventiladores u otro sistema para enfriar la vivienda? ¿En qué meses o épocas del año más?

4. ¿Tiene una idea aproximada de cuánto paga de electricidad al mes, especialmente en los meses más calurosos?

5. ¿La fachada de la casa tiene algún tipo de protección solar (cortinas, aleros, persianas, vidrios especiales)? ¿Quién decidió ese diseño y por qué?

6. ¿Suele abrir o cerrar ventanas, cortinas o persianas manualmente durante el día para controlar el calor o la luz? ¿En qué momentos?

7. ¿Ha hecho alguna modificación a la fachada desde que vive ahí (pintura, materiales, protecciones) pensando en el clima?

8. Si le explico brevemente qué es una fachada cinética/adaptativa (que se mueve o cambia sola según el sol), ¿le parecería útil para su casa?

9. ¿Estaría dispuesto(a) a invertir en un sistema así si redujera su consumo eléctrico o mejorara el confort de la casa?

Consentimiento: autorizo el uso de los datos y características de mi vivienda (orientación, materiales, consumo aproximado) como caso de estudio en este trabajo de titulación.

Firma: _____

Anexo 1. *Medición con anemómetro in situ*

FICHA TÉCNICA

Sistema de Fachada Cinética de Lamas Verticales Rotatorias

Mejora del confort térmico en viviendas del Barrio Circunvalación, Manta, Ecuador

1. Identificación del sistema

Nombre del sistema	Fachada cinética de lamas verticales rotatorias
Tipología	Sistema cinético de sombreado dinámico — rotación sobre eje vertical
Ubicación de aplicación	Vanos y fachadas de vivienda unifamiliar, Barrio Circunvalación, Manta, Ecuador
Orientaciones prioritarias	Oeste (crítica) y Este; opcional en Norte/Sur si reciben sol estacional
Modo de accionamiento	Híbrido: motorizado con respaldo manual (ver sección 5)
Clima de diseño	Cálido tropical húmedo ecuatorial (0.95° S) — HR 70–85%, radiación 4.5–5.5 kWh/m ² /día

2. Descripción general

El sistema consiste en una piel activa compuesta por lamas verticales de madera tratada, montadas sobre un eje de rotación vertical individual por lama, que giran de forma sincronizada dentro de cada módulo para interceptar el sol rasante de mañana y tarde característico de la latitud ecuatorial de Manta (0.95° S). A diferencia de la propuesta de doble piel inicial, el modo de accionamiento híbrido (motor + manivela manual) cobra un rol central, no solo como respaldo energético sino como la única vía de garantizar sombra en caso de falla o corte eléctrico.

El diseño geométrico simulado (ancho de lama = paso entre ejes = 150 mm) permite una oclusión solar total con un giro de 45°, sin necesidad de cerrar las lamas a 90°, preservando en todo momento un margen de ventilación cruzada incluso en la posición de mayor sombra.

3. Especificaciones geométricas

Parámetro	Valor	Observación
Forma del módulo	Rectangular vertical	—
Dimensiones del módulo	1200 × 2700 mm	Ancho × alto
Lamas por módulo	8 unidades	Verticales
Ancho de lama	150 mm	= paso entre ejes
Paso entre ejes	150 mm	Solape total al girar 45°
Canto / espesor de lama	40–50 mm	Sección maciza o aligerada
Peso estimado por lama	8–12 kg	Madera tratada, mayor que en aluminio (2.5–3.5 kg)
Peso aproximado por módulo (8 lamas)	65–95 kg	Sin contar bastidor ni ejes
Cámara de aire lama–vano	100–150 mm	Ventilada
Ángulo mínimo (apertura)	0°	Máxima ventilación e iluminación
Ángulo operativo máximo	75°	Límite real de cierre, no anula ventilación
Ángulo mecánico máximo	90°	Tope físico del pivote, no operativo
Ángulo de oclusión solar total	~45°	$\arctan(\text{paso}/\text{ancho}) = \arctan(1)$

El aumento de peso respecto a la lama de aluminio (2.5–3.5 kg → 8–12 kg) incrementa la carga sobre pivotes, bujes y barra de accionamiento. Se recomienda dimensionar bujes/rodamientos reforzados y verificar el torque del motor tubular para esta nueva carga (ver sección 5).

4. Especificaciones del material — Madera tratada

Se valida el uso de madera para las lamas móviles, en línea con el cálculo térmico ya desarrollado en la investigación (lama de madera de 0.04 m + cámara de aire no ventilada), que eleva la resistencia térmica del conjunto de 0.175 a 0.7917 m²·K/W y reduce la transmitancia de 5.7 a 1.26 W/m²·K — una mejora que el aluminio, por su altísima conductividad térmica (~160 W/m·K frente a ~0.12–0.18 W/m·K de la madera), no habría aportado en la misma magnitud.

Propiedad	Valor de referencia	Implicación
Conductividad térmica	0.12–0.18 W/m·K	Alta capacidad aislante frente al vano
Densidad (madera tratada exterior)	500–750 kg/m ³	Depende de la especie seleccionada
Durabilidad natural (clima costero salino)	8–15 años sin tratamiento	Requiere tratamiento e inspección periódica
Mantenimiento	Medio-alto	Riesgo de hongos/humedad si no se sella bien
Costo relativo	Medio	Inferior al aluminio y acero inoxidable
Reflectancia solar	Baja	Menor rebote lumínico que el aluminio lacado

Especie y tratamiento recomendados

- Especie: madera de alta durabilidad natural apta para exteriores en clima húmedo-salino (p. ej. guayacán, chanul o laurel, disponibles en el mercado ecuatoriano), o madera termotratada de menor costo.
- Tratamiento: inmunizado en autoclave (CCA o sales de cobre) + sellador/barniz marino con filtro UV, reaplicado periódicamente.
- Herrajes de fijación de la lama al eje: acero inoxidable A2/A4 (nunca acero al carbono, por corrosión galvánica y ambiente salino).
- Separación mínima respecto al muro y drenaje de agua en el pivote inferior, para evitar acumulación de humedad en el testero de la lama.

Nota: propuesta técnica previa (documento de definición previa al modelado) descartaba la madera frente al aluminio por su menor durabilidad y mayor mantenimiento en ambiente marino. Se mantiene válida esa advertencia — el cambio a madera se justifica aquí por el desempeño térmico superior demostrado en el cálculo analítico del proyecto de

titulación, no porque el riesgo de mantenimiento haya desaparecido. Esto se deja explícito en el documento como una decisión de diseño consciente, con su respectivo plan de mantenimiento (sección 8).

5. Sistema de accionamiento — híbrido manual/motorizado

El carácter híbrido del sistema reside en el modo de accionamiento: cada módulo puede operarse de forma automatizada mediante motor, o de forma completamente manual mediante una manivela acoplada a la barra de accionamiento, sin necesidad de energía eléctrica. Esta redundancia operativa es la que garantiza el funcionamiento del control solar ante un corte de suministro eléctrico, condición común en el contexto de autoconstrucción del Barrio Circunvalación.

Modo	Descripción
Automático (motorizado)	Motor tubular 24V DC por módulo o por paño, acoplado a la barra de accionamiento que sincroniza el giro de las 8 lamas. Puede programarse según hora solar (ángulos de la sección 6) o accionarse mediante interruptor/control simple.
Manual (respaldo)	Manivela desmontable o palanca conectada al mismo eje del motor mediante un acople de desembrague (declutch), que permite girar las lamas a mano cuando no hay energía eléctrica, sin forzar el motor.
Condición de uso del respaldo manual	Corte eléctrico, falla del motor, mantenimiento o etapa inicial de autoconstrucción en la que el usuario aún no ha instalado el motor.
Transmisión	Barra de accionamiento horizontal que conecta las lamas de un mismo módulo, garantizando giro sincronizado tanto en modo motor como en modo manual.

Recomendación técnica: usar un acople de desembrague (o motor con función de "override" manual) en vez de conectar la manivela en paralelo permanente al motor, para no dañar el reductor del motor al operar manualmente.

6. Rango y lógica de operación

Hora	Posición solar	Ángulo lama	Objetivo
08:00	Este, baja	0°–15°	Luz y ventilación de la mañana
10:00	ESE, media	15°	Confort máximo

12:00	Cenital	30°	Filtrar radiación difusa intensa
14:00	Oeste, alta	45°–60°	Inicio de protección crítica
16:00	Oeste, media-baja	60°–75°	Bloqueo del pico térmico
18:00	Oeste, poniente	75°	Bloquear sol rasante
Noche	—	0°	Ventilación nocturna máxima

7. Validación técnica (simulación y cálculo analítico)

Indicador	Resultado	Método
Radiación incidente anual — muro sin protección	13,278.38 kWh/m ² /año	Simulación Ladybug (EPW Manta)
Radiación incidente anual — sistema con lamas verticales	10,408.54 kWh/m ² /año	Simulación Ladybug (EPW Manta)
Reducción de radiación incidente	21.6 %	Comparación de escenarios
Resistencia térmica del conjunto vidrio-lama-cámara	0.175 → 0.7917 m ² ·K/W	Cálculo analítico (lama de madera 0.04 m)
Transmitancia térmica (U)	5.7 → 1.26 W/m ² ·K	Cálculo analítico
Reducción de flujo conductivo	90.74 W (77.8 %)	Cálculo analítico

El 77.8% de reducción corresponde únicamente al flujo conductivo instantáneo del componente vidrio-lama-cámara de aire, no al consumo energético integral del edificio.

8. Justificación según diagnóstico de usuarios (encuesta, n=103)

- 78.6% de los encuestados percibe calor o calor extremo dentro de su vivienda → confirma la necesidad de un control solar agresivo en las horas críticas.

- 61.2% identifica el rango 12:00–15:00 h como el momento de mayor calor en el dormitorio → coincide con el ángulo de cierre progresivo definido en la sección 6.
- 54.4% reporta molestia visual por exceso de luz solar de 3 a 4 horas diarias → refuerza la necesidad de que las lamas verticales intercepten el sol rasante Este-Oeste, no solo el sol cenital.
- 34.3% señala que la ventilación natural mantiene fresca la vivienda menos de 3 horas al día → justifica el límite operativo de 75° (nunca 90°) para no anular la ventilación cruzada.
- 68% depende de climatización mecánica 4 horas o más al día → respalda la pertinencia de una estrategia pasiva-cinética que reduzca esa dependencia.
- 4.9% usa vidrios con control solar → evidencia un vacío que el sistema de lamas busca cubrir a nivel de vano.

Fuente de los datos: encuesta aplicada a los habitantes del Barrio Circunvalación, Manta (2026), elaboración propia

9. Mantenimiento

- Inspección visual semestral del sellador/barniz de las lamas de madera, con reaplicación según desgaste (clima costero salino acelera el deterioro).
- Revisión anual de pivotes, bujes y barra de accionamiento; lubricación de puntos de giro.
- Verificación de tornillería de fijación (exigir acero inoxidable A2/A4; descartar acero al carbono).
- Prueba periódica del modo manual (manivela), incluso si el motor funciona correctamente, para asegurar que el respaldo esté operativo ante un corte eléctrico real.
- Registro de acceso y tapas de eje desmontables para facilitar el mantenimiento sin desmontar el módulo completo.

ANEXOS FOTOGRAFICOS

Anexo 1. *Uso de anemómetro para mediciones in situ*



Nota: Medición realizada en la manzana del barrio.

Anexo 2. *Entrevista a habitante de la casa base para investigación*



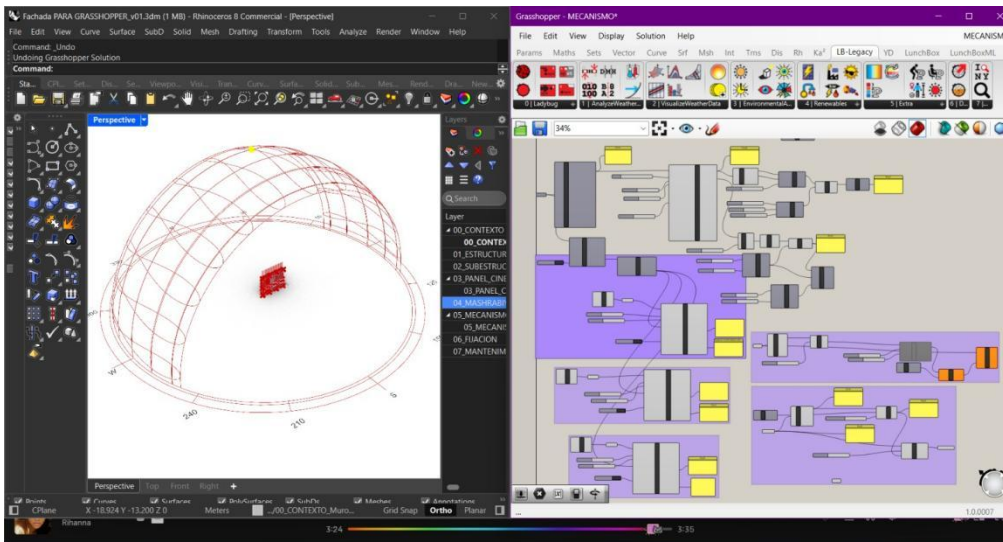
Nota: Entrevista realizada para obtener información de la casa en estudio

Anexo 3. Medición con termómetro digital in situ



Nota: Medición realizada en la vivienda 1 en horas de la tarde

Anexo 4. Entrevista a habitante de la casa base para investigación



Nota: Uso de Rhinoceros y Grasshopper para fachada y creación de lamas

Anexo 5. *Medición con termómetro digital in situ*



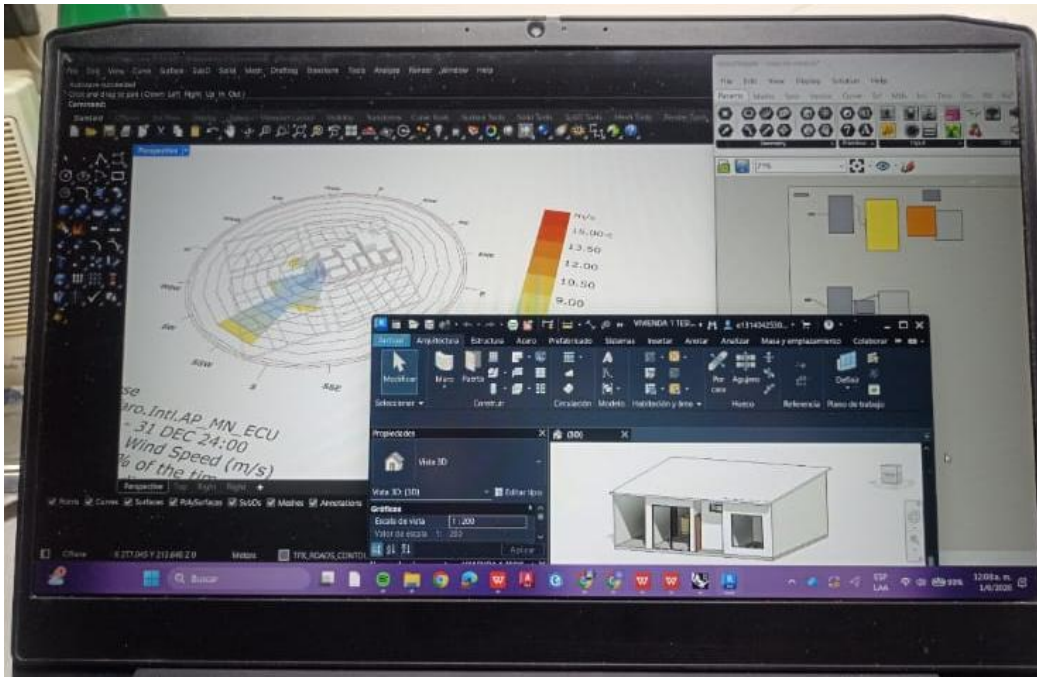
Nota: Medición realizada en la vivienda 1 en horas de la noche

Anexo 6. *Medición con luxómetro in situ*



Nota: Medición con luxómetro en vivienda 2

Anexo 7. Análisis de viento del área de estudio



Nota: Uso de Rhinoceros y Grasshopper para analisis de vientos

Anexo 8. Recopilación de datos de fachadas in situ



Nota: Datos obtenidos mediante recopilación fotografica y visual

Anexo 9. *Fotografía panorámica del perfil urbano*



Nota: Datos obtenidos mediante recopilación fotografica