FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.

Monografía para:

"optar al Título de Arquitecto"

Tema:

"Evaluación del comportamiento Bioclimático y Propuesta de Conversión Sostenible (Retrofit): El caso de Vivienda Prototipo Unifamiliar, Barrio 4 de abril, Ciudad Sandino, Managua"

Autora:

Br. Anielka de los Ángeles Aburto Rodríguez.

Tutor:

Ing. Javier Delgado.

Asesor:

Arq. Mario Ortega

Managua, Nicaragua, julio de 2026.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3

3. JUSTIFICACIÓN 6

4. OBJETIVOS 7

4.1. Objetivo General: 7

4.2. Objetivos Específicos: 7

5. HIPÓTESIS 9

6. ALCANCES Y LIMITACIONES 10

6.1. Alcances de la Investigación: 10

6.2. Delimitación de la Investigación 11

6.3. Limitaciones 12

7. MARCO TEÓRICO 13

7.1. Estado del Arte 14

7.2. Antecedentes de la Investigación 16

7.2.1. Antecedentes Internacionales 16

7.2.2. Antecedentes Nacionales 18

7.3. Perspectiva Teórica Asumida 18

7.3.1. Parámetros y Factores del Confort Térmico 18

7.3.2. El Enfoque Normativo Adaptativo y el Uso de Herramientas Tecnológicas .. 20

7.4. Conceptualización y Operacionalización de las Variables del Estudio 22

7.4.1. Variable Independiente 22

7.4.2. Variable Dependiente: Optimización del Confort Térmico Interior y Reducción del Consumo Eléctrico 25

8. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 28

8.1. Enfoque de la Investigación 30

8.2. Diseño y Tipo de Investigación 31

8.3. Población y Muestra (Unidades de Análisis) 32

8.3.1. Población de Referencia 32

8.3.2. Muestra Nivel Social (Diagnóstico Perceptivo) 33

8.3.3. Muestra Nivel Físico-Arquitectónico (Caso de Estudio Prototipo) 34

8.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos 36

8.5. Fases del Desarrollo de la Investigación 38

8.6. Técnicas de Procesamiento y Análisis de la Información 39

9. RESULTADOS 41

9.1. Caracterización Demográfica y Densidad Habitacional 41

9.2. Percepción Ambiental y Prioridades de Consumo Energético 43

9.3. Validación Experimental de la Vivienda Prototipo (Análisis Ex-Ante y Ex-Post) . 44

10. DISCUSIÓN 51

10.1. Interrelación entre Densidad Habitacional y Disconfort Térmico 51

10.2. El Factor Tarifario como Catalizador de la Transición Sostenible 52

11. CONCLUSIONES 55

12. RECOMENDACIONES 57

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 61

14. ANEXOS 64

ÍNDICE DE TABLAS

1. TABLA #1 ……45
2. TABLA #2……49
3. TABLA #3 ANEXO 7……..…….70
4. DIAGRAMA DE RESULTADOS……..….50
5. IMAGEN 1. ESQUEMA ARQUITECTURA BIOCLIMATICA……...…….65
6. IMAGEN 2. CARTA BIOCLIMÁTICA.……65
7. IMAGEN 3. CONFORT TÉRMICO HUMANO…….65

.

i. Agradecimientos

Primero y, antes que nada, agradezco a Dios, por cumplir su voluntad en mí, darme la sabiduría para llegar hasta aquí y sostenerme cuando el camino se tornaba difícil.

A mis padres, por creer en mí desde el primer día y por brindarme su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida. Su ejemplo ha sido mi mayor motivación.

A mi esposo, por su amor, su comprensión y por ser mi compañero y gran apoyo en este trayecto. Gracias por estar a mi lado en cada desvelo.

Y de manera muy especial, a mi asesor, el Arquitecto Mario Ortega, por su invaluable ayuda intelectual y por guiarme en el desarrollo de esta investigación. Su apoyo fue clave para hacer este proyecto realidad.

ii. Resumen

La presente investigación evaluó el comportamiento bioclimático de una vivienda unifamiliar autoconstruida en el barrio 4 de abril, Ciudad Sandino, Managua, con el propósito de diseñar una propuesta de conversión sostenible *(retrofit*) que mejorara el confort térmico y redujera el consumo de energía eléctrica. El estudio respondió a las deficiencias térmicas de las viviendas construidas con bloques de concreto y cubiertas de zinc, las cuales generan altas temperaturas interiores y mayor dependencia de ventilación mecánica, incrementando el gasto energético de los hogares. La investigación se justificó por su aporte social, económico y ambiental, al proponer soluciones pasivas de bajo costo aplicables al parque habitacional existente. El marco teórico se sustentó en los principios de la arquitectura bioclimática, el confort térmico adaptativo y la eficiencia energética. Metodológicamente, se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con alcance descriptivo y propositivo, mediante encuestas a 30 jefes de familia, monitoreo higrotérmico de una vivienda prototipo y análisis de sus propiedades térmicas. Los resultados demostraron que la propuesta de retrofit disminuyó la temperatura interior en 9.2 °C y redujo el consumo eléctrico en un 46.2 %, permitiendo mantener la demanda por debajo del límite de la Tarifa Social Residencial. Se concluye que las estrategias bioclimáticas propuestas son técnica y económicamente viables para mejorar la habitabilidad, incrementar la eficiencia energética y contribuir a la sostenibilidad de las viviendas unifamiliares en climas tropicales.

Palabras clave: arquitectura bioclimática, confort térmico, eficiencia energética, retrofit, vivienda unifamiliar.

iii. Abstract

This research evaluated the bioclimatic performance of a self-built single-family home in the 4 de Abril neighborhood of Ciudad Sandino, Managua, with the aim of designing a sustainable retrofit proposal to improve thermal comfort and reduce electricity consumption. The study addressed the thermal deficiencies of homes constructed with concrete blocks and zinc roofs, which generate high interior temperatures and a greater reliance on mechanical ventilation, thus increasing household energy expenditure. The research was justified by its social, economic, and environmental contribution, proposing low-cost passive solutions applicable to the existing housing stock. The theoretical framework was based on the principles of bioclimatic architecture, adaptive thermal comfort, and energy efficiency. Methodologically, a quantitative approach was used, with a descriptive and propositional scope, through surveys of 30 heads of household, hygrothermal monitoring of a prototype home, and analysis of its thermal properties. The results demonstrated that the proposed retrofit decreased the interior temperature by 9.2 °C and reduced electricity consumption by 46.2%, allowing demand to remain below the limit of the Residential Social Tariff. It is concluded that the proposed bioclimatic strategies are technically and economically viable for improving habitability, increasing energy efficiency, and contributing to the sustainability of single-family homes in tropical climates.

Keywords: bioclimatic architecture, thermal comfort, energy efficiency, retrofit, single-family home.

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano acelerado y la proliferación de soluciones habitacionales autoconstruidas en el contexto social nicaragüense han generado un parque de viviendas vulnerables ante los efectos del cambio climático y las variaciones extremas de temperatura. En el municipio de Ciudad Sandino, específicamente en el barrio 4 de abril, predomina la tipología de vivienda unifamiliar construida con materiales de alta transmitancia térmica, tales como cubiertas de zinc sin aislamiento técnico y cerramientos de bloques de concreto densos. Esta configuración constructiva propicia una ganancia térmica excesiva en el espacio interior, deteriorando severamente las condiciones de habitabilidad y el confort térmico de los usuarios.

Ante esta problemática, la arquitectura bioclimática surge como una alternativa científica y técnica orientada al diseño de espacios que optimicen las condiciones ambientales internas mediante el aprovechamiento de los recursos climáticos del entorno (radiación, viento y vegetación). La presente investigación se enfoca en el desarrollo de un análisis bioclimático detallado y una propuesta de conversión sostenible adaptada a las realidades socioeconómicas locales, con el propósito de mitigar el estrés térmico en las viviendas unifamiliares y buscar otras alternativas al sistema de climatización artificial mecánica.

Esta tesis monográfica establece la delimitación del problema, los objetivos y el sustento teórico que son respaldas bajo las variables de confort. Posteriormente, se presenta el diagnóstico micro climático y social del sitio,

evaluando la percepción del usuario y el comportamiento físico de una vivienda prototipo. Finalmente, se desarrolla la propuesta técnico-arquitectónica de conversión sostenible, demostrando su viabilidad económica mediante el análisis del ahorro en el consumo energético y el impacto positivo en la economía familiar dentro del pliego tarifario nacional vigente para el año 2026.

La optimización del desempeño ambiental en el sector residencial urbano representa una de las prioridades más críticas en las políticas de mitigación del cambio climático global.

En los entornos urbanos consolidados de América Latina, el crecimiento demográfico y los procesos de autoconstrucción informal han configurado un parque habitacional caracterizado por una marcada vulnerabilidad térmica y una baja eficiencia en el consumo de recursos. Diversas investigaciones contemporáneas sugieren que el reacondicionamiento ecológico o retrofit arquitectónico de las envolventes preexistentes constituye un mecanismo altamente eficiente para reducir la pobreza energética en comunidades de bajos ingresos (López & Silva, 2022; Ramírez, 2021). No obstante, el desarrollo de estrategias bioclimáticas pasivas integradas a las realidades socioeconómicas específicas del istmo centroamericano sigue siendo un campo de estudio emergente y fragmentado.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el contexto de la región metropolitana de Managua, específicamente en los asentamientos consolidados del municipio de Ciudad Sandino, como el Barrio 4 de abril, el perfil constructivo predominante en las soluciones residenciales de tipología unifamiliar expone deficiencias críticas en su comportamiento termofísico (González & Toruño, 2023).

Se puede confirmar que, en Nicaragua, el uso tradicional y generalizado del sistema constructivos de mampostería reforzada confinada, con bloques de concreto densos y cubiertas exclusivas de acero galvanizado (zinc) corrugado conforma una envolvente edilicia de baja resistencia térmica y alta transmitancia térmica global (U). Bajo las variables micro climáticas características del Pacífico de Nicaragua —clasificado bioclimáticamente como Sabana Tropical (Aw) con radiaciones globales incidentes elevadas e isotermas que superan los 35°C— la ausencia de aislamiento técnico y de criterios de ventilación natural cruzada desencadena un proceso continuo de ganancia de calor por radiación y conducción hacia las estancias interiores (INETER, 2026; Olgyay, 1963). Esta acumulación calórica interior genera un desfase térmico que empuja las condiciones higrotérmicas ambientales fuera de los límites de confort biológico y adaptativo humano establecidos por la normativa ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2020).

La respuesta conductual de los habitantes frente al estrés térmico consiste en la implementación forzada de sistemas de ventilación mecánica artificial de régimen continuo. Esta dependencia tecnológica, se hace propicia e incrementa

directamente el consumo energético neto en kilovatios-hora (kWh) mensuales en los hogares, exponiendo a la población a una severa vulnerabilidad financiera.

Dentro del pliego tarifario vigente regulado por el Instituto Nicaragüense de Energía, superar el umbral crítico de 150 kWh mensuales desactiva de forma automática los subsidios estatales de la Tarifa Social Residencial, aplicando penalizaciones impositivas plenas, incluido el Impuesto al Valor Agregado (IVA).

Consecuentemente, el problema de investigación de esta tesis, transciende la dimensión puramente espacial y física de la habitabilidad para convertirse en un factor de vulnerabilidad macroeconómica doméstica.

A la luz de este escenario, se formula la interrogante con enfoque científico: ¿De qué manera un análisis bioclimático y una propuesta de conversión sostenible basada en estrategias pasivas, podrían optimizar y guiarnos hacia el confort térmico interior, impactando en la reducción del consumo de energía eléctrica en las viviendas unifamiliares del barrio 4 de abril, Ciudad Sandino, Managua, ¿durante el periodo estacional correspondiente al año 2026?

Para orientar el Desarrollo secuencial del estudio, se plantean las siguientes sub-preguntas:

1. ¿Cuál es el diagnóstico higrotérmico microclimático del entorno y el índice de insatisfacción de confort percibido por los habitantes del Barrio 4 de abril?

2. ¿Cuáles son los coeficientes de transferencia térmica y las propiedades físicas de la envolvente constructiva que determinan el balance calórico interior en el caso de estudio prototípico?

3. ¿Cuál es la viabilidad económica, el potencial de reducción energética en kWh y el periodo de retorno de inversión de la matriz bioclimática propuesta bajo la estructura tarifaria nacional del año 2026?

3. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación posee una justificación multidimensional profundamente vinculada a la sostenibilidad urbana contemporánea. Desde la perspectiva técnico-científica, este estudio proporciona un precedente metodológico detallado para intervenciones de retrofit sobre estructuras habitacionales informales autoconstruidas, un sector históricamente ignorado por las normativas e instrumentos públicos nacionales como las guías del INVUR (INVUR, 2021).

Descripcion de tres dimensiones que aporta este estudio:

Dimensión Social: Socialmente, el estudio responde a la necesidad de garantizar espacios de habitabilidad digna a poblaciones económicamente vulnerables mediante soluciones pasivas de bajo costo.

Dimensión Económica: Económicamente, los resultados demuestran una aplicación directa sobre la optimización del presupuesto familiar, garantizando que la demanda eléctrica residencial no sobrepase los márgenes de la estructura de subsidios estatales vigentes en el país.

Dimensión Técnica-Ambiental: El entorno físico se ve favorecido, al establecerse un precedente metodológico de retrofit o reconversión aplicable al parque habitacional autoconstruido existente en Nicaragua, superando el enfoque institucional que limita la normativa bioclimática únicamente a proyectos.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General:

- Evaluar el comportamiento bioclimático actual de las viviendas unifamiliares autoconstruidas en el Barrio 4 de abril, municipio de Ciudad Sandino, Managua, con el fin de desarrollar una propuesta técnica de conversión sostenible (retrofit) que optimice el confort térmico interior bajo estándares internacionales de habitabilidad y reduzca el consumo de energía eléctrica mensual por debajo del límite crítico de subsidio residencial durante el año 2026.

4.2. Objetivos Específicos:

- Diagnosticar las variables microclimáticas del entorno y el índice de percepción del confort higrotérmico actual de los habitantes en las viviendas unifamiliares del Barrio 4 de abril.
- Determinar las propiedades termofísicas y el balance de transferencia calórica de la envolvente arquitectónica típica (bloque-zinc) mediante el monitoreo instrumental de un prototipo habitacional seleccionado como caso de estudio.
- Diseñar una propuesta de conversión sostenible (retrofit) arquitectónica que integre estrategias de climatización pasiva y sistemas micro-ecotécnicos adaptados a la capacidad constructiva y espacial de la vivienda unifamiliar en el trópico.

- Validar el impacto de la propuesta de conversión sostenible sobre la optimización del confort térmico adaptativo y la reducción del consumo energético neto en kilovatios-hora (kWh), cuantificando su viabilidad financiera bajo el pliego

5. HIPÓTESIS

Formulación de una hipótesis de investigación explicativa y de causalidad. Se diseña la matriz de operacionalización identificando con rigor las variables independientes (estrategias bioclimáticas y ecotecnologías) y las variables dependientes (confort higrotérmico y consumo energético residencial indexado a la Tarifa Social).

La implementación de una propuesta de conversión sostenible (retrofit) fundamentada en la optimización pasiva de la envolvente edilicia mediante aislamiento de cubiertas, inducción de ventilación cruzada e integración de micro-ecotecnologías fotovoltaicas de baja escala, estabilizará las condiciones higrotérmicas interiores de la vivienda unifamiliar dentro de los rangos de confort adaptativo del estándar ASHRAE 55, reduciendo la demanda eléctrica mensual por debajo del umbral de los 150 kWh, lo que garantizará la permanencia permanente en el bloque de la Tarifa Social subsidiada y un periodo de retorno de inversión inferior a cinco años.

6. ALCANCES Y LIMITACIONES

6.1. Alcance de la investigación:

La presente investigación tiene un alcance descriptivo y propositivo, en tanto se orienta, por un lado, a caracterizar el comportamiento bioclimático de una vivienda unifamiliar autoconstruida ubicada en el barrio 4 de Abril, Ciudad Sandino, y, por otro, a formular una propuesta técnica de conversión sostenible de tipo retrofit, basada en estrategias pasivas y micro-ecotecnologías de apoyo. El estudio se concentra en la relación entre el desempeño térmico de la envolvente arquitectónica, las condiciones higrotérmicas del espacio interior y su incidencia en el consumo de energía eléctrica del hogar, con el propósito de identificar alternativas de mejora técnicamente viables y económicamente accesibles.

En términos operativos, el alcance comprende el diagnóstico del entorno microclimático, la percepción de confort térmico de los habitantes y el análisis físico de una vivienda prototipo representativa de la tipología predominante en el sector. Asimismo, incluye la evaluación de las propiedades termofísicas de la envolvente, la estimación de su transmitancia térmica y la validación preliminar del impacto de una propuesta de intervención sobre el confort interior y el consumo energético residencial. Este alcance no pretende generalizar de manera indiscriminada sus resultados a todo el parque habitacional del municipio, sino ofrecer una base analítica sólida para comprender el caso estudiado y orientar intervenciones futuras.

6.2. Delimitación de la Investigación

La investigación se delimita en tres dimensiones fundamentales: espacial, temporal y poblacional-técnica. En el plano espacial, el estudio se circunscribe al barrio 4 de Abril, en el municipio de Ciudad Sandino, departamento de Managua, Nicaragua, debido a que este asentamiento presenta una tipología habitacional autoconstruida expuesta a condiciones de alta ganancia térmica por el uso extendido de cubiertas metálicas y cerramientos de bloques de concreto. Esta delimitación responde a la necesidad de trabajar sobre un contexto específico, homogéneo y representativo del problema de habitabilidad térmica que motiva la investigación.

En el plano temporal, el análisis se desarrolla durante el año 2026, concentrándose en el periodo estacional de mayor exigencia térmica, particularmente entre los meses de mayo y junio. Esta delimitación permite registrar el comportamiento térmico de la vivienda bajo condiciones ambientales críticas, cuando el disconfort interior y la dependencia de ventilación artificial tienden a intensificarse. En el plano poblacional, el diagnóstico perceptivo se limita a un grupo de jefes de familia seleccionados intencionalmente dentro del sector, mientras que el análisis físico-constructivo se aplica exclusivamente a una vivienda prototipo que funciona como caso de estudio representativo de la tipología edificatoria predominante.

Asimismo, la investigación se delimita metodológicamente al uso de técnicas de medición compatibles con el enfoque cuantitativo del estudio, tales como observación de campo, monitoreo higrotérmico, análisis de variables ambientales y

revisión de facturación eléctrica. Quedan fuera del alcance del trabajo las simulaciones a escala urbana, los estudios comparativos entre distintos municipios y la evaluación de tipologías habitacionales ajenas a la vivienda unifamiliar autoconstruida analizada. Esta delimitación garantiza coherencia entre el problema, los objetivos, la metodología y los resultados esperados

6.3. Limitaciones

La principal limitación de la investigación está asociada a la disponibilidad de recursos económicos para profundizar en intervenciones de mayor complejidad tecnológica. En consecuencia, la propuesta se formula bajo criterios de bajo costo, facilidad de implementación y adecuación a las capacidades constructivas de los hogares del sector, lo cual restringe la incorporación de soluciones que exijan inversiones elevadas o mantenimiento especializado.

Otra limitación importante se relaciona con el carácter puntual del monitoreo de campo. Debido a que las mediciones se concentran en un periodo específico del año, los resultados reflejan el comportamiento térmico observado en esa ventana temporal y no constituyen una caracterización continua de todas las estaciones climáticas. Por tanto, las conclusiones deben interpretarse como válidas para las condiciones evaluadas y como base técnica para futuras ampliaciones del estudio.

Finalmente, el estudio presenta una limitación de alcance analítico al trabajar con una sola vivienda prototipo y una muestra intencional de habitantes, lo que impide formular inferencias estadísticamente generalizables a toda la población de Ciudad Sandino. No obstante, esta restricción no disminuye el valor académico de la investigación, ya que el objetivo central no es la generalización masiva.

7. MARCO TEÓRICO

El sustento epistemológico y técnico de esta investigación se fundamenta en la relación termodinámica entre el entorno construido y las variables microclimáticas características de la región del Pacífico de Nicaragua. La arquitectura bioclimática se define como un modelo de diseño que busca la optimización de los flujos energéticos entre el entorno natural y el espacio habitable. Según Olgyay (1963), el diseño arquitectónico debe constituir una respuesta directa al clima regional, donde factores como la geometría solar, la orientación de la envolvente y las propiedades térmicas de los materiales constructivos actúan como determinantes en el balance térmico de la edificación.

En este contexto, el confort térmico no representa únicamente una valoración de carácter perceptivo o subjetivo, sino una condición fisiológica y analítica de satisfacción higrotérmica con respecto al ambiente circundante, regulada por normativas internacionales (ASHRAE, 2020). El municipio de Ciudad Sandino, geográficamente integrado en la franja del Pacífico, se clasifica bajo el sistema de Köppen-Geiger como un clima de Sabana Tropical (Aw). De acuerdo con los registros meteorológicos del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER, 2026), esta región se caracteriza por mantener altas temperaturas promedio a lo largo de todo el ciclo anual, superando de forma crítica los 35°C durante el periodo estacional seco.

Esta severidad climática genera un estado latente de estrés térmico en el interior de los espacios habitables que carecen de planificación bioclimática. La problemática se agudiza en las tipologías de vivienda social consolidada debido al

empleo de cubiertas de láminas de acero galvanizado (zinc) y cerramientos de bloques de concreto densos sin aislamiento térmico o barreras radiantes. Estos componentes constructivos presentan coeficientes elevados de transmitancia térmica (U), propiciando que la radiación infrarroja solar absorbida externamente sea retransmitida de forma íntegra hacia las zonas habitadas, comprometiendo los estándares mínimos de habitabilidad y forzando el consumo de energía a través de sistemas mecánicos artificiales.

7.1. Estado del Arte

En la presente investigación hace referencias sobre el confort térmico en vivienda tropical, el enfoque lleva una trayectoria, referenciada desde aproximaciones descriptivas hacia enfoques analíticos más complejos, centrados en la interacción entre envolvente arquitectónica, variables higrotérmicas y consumo energético. En esa evolución, la literatura reciente ha consolidado la idea de que el retrofit pasivo constituye una estrategia de alta pertinencia científica y social, en tanto permite intervenir edificaciones existentes sin recurrir necesariamente a soluciones de alto costo o fuerte dependencia tecnológica.

Asimismo, los estudios revisados reafirman que la evaluación del confort debe fundarse en criterios normativos internacionalmente reconocidos, como ASHRAE 55, y en procedimientos de medición capaces de relacionar el comportamiento físico de la envolvente con la experiencia térmica de los ocupantes.

No obstante, el contenido analizado muestra una insuficiente articulación entre tres niveles de análisis: 1) El diagnóstico termofísico de la edificación, 2) La

evaluación adaptativa del confort y 3) La verificación del impacto financiero del consumo eléctrico. Esa omisión justifica este documento, al situarla en un punto de intersección todavía poco explorado por los estudios disponibles en contextos latinoamericanos y nicaragüenses.

En el ámbito de la investigación arquitectónica internacional contemporánea, la optimización del parque habitacional construido ha dejado de considerarse una alternativa complementaria para transformarse en una prioridad de mitigación climática y eficiencia energética. La tendencia científica global se orienta de manera prioritaria hacia el retrofitting o reconversión ecológica de las edificaciones preexistentes.

Diversos estudios enfocados en la física de la edificación demuestran que la intervención estratégica sobre la envolvente (mediante la incorporación de aislantes en cubiertas, revestimientos reflectivos y el rediseño de aperturas para ventilación cruzada inducida) posee la capacidad técnica de reducir hasta en un 40% la demanda de energía eléctrica vinculada a la climatización mecánica en entornos residenciales.

Asimismo, el avance tecnológico en la disciplina ha consolidado el uso de la simulación térmica dinámica como una herramienta predictiva indispensable antes de la ejecución de obras. Plataformas informáticas avanzadas basadas en motores de cálculo como EnergyPlus y DesignBuilder permiten evaluar el comportamiento higrotérmico y los flujos de transferencia calórica en la edificación bajo escenarios climáticos reales simulados mediante archivos de datos meteorológicos horarias (EnergyPlus Weather u .EPW).

No obstante este panorama global, se observa que en Nicaragua prevalece una marcada escasez de guías técnicas, metodologías accesibles o marcos normativos locales aplicados al codiseño bioclimático y a la reconversión de viviendas unifamiliares autoconstruidas en contextos urbanos de alta densidad socioeconómica. La mayoría de los esfuerzos normativos nacionales (como las disposiciones del INVUR) se centran de forma exclusiva en la estructuración de proyectos habitacionales nuevos de interés social, dejando desprotegido el tejido habitacional existente y autoconstruido ante las variaciones extremas de temperatura del año 2026.

7.2. Antecedentes de la Investigación

Para la validación científica de este trabajo monográfico, se procedió a la revisión de investigaciones empíricas previas que abordan la conversión arquitectónica, la eficiencia energética y el confort pasivo en condiciones de clima tropical, destacando los siguientes aportes metodológicos:

7.2.1. Antecedentes Internacionales

López, M. y Silva, J. (2022), en su investigación titulada "Evaluación del retrofit arquitectónico sobre el confort térmico en viviendas de interés social en climas cálidos-húmedos", desarrollada en la Universidad Tecnológica de Panamá. El objetivo general de dicho estudio consistió en cuantificar la mejora térmica en el espacio interior de viviendas unifamiliares mediante la sustitución pasiva de cubiertas tradicionales por paneles tipo sándwich y sistemas de ventilación por efecto chimenea.

Implementando un enfoque metodológico mixto con monitoreo instrumental continuo in situ, la investigación concluyó que el aislamiento reflectivo en cubiertas redujo la temperatura radiante media en el interior en 3.5°C, logrando que los espacios habitables permanecieran dentro de la zona de confort adaptativo un 65% más de tiempo a lo largo de la jornada diurna sin requerir el uso de ventiladores mecánicos.

Ramírez, A. (2021), en su tesis doctoral "Estrategias pasivas de enfriamiento en la envolvente residencial para la reducción de la pobreza energética en el trópico", para la Universidad Autónoma de México. El estudio analizó la viabilidad económica y el impacto energético de intervenciones de bajo costo en viviendas sociales consolidadas.

A través de simulaciones computacionales con el software DesignBuilder, el autor determinó que la aplicación combinada de pintura de alta reflectancia solar (albedo > 0.75) en techos y el incremento de las tasas de renovación de aire mediante ventilación cruzada natural redujeron el consumo eléctrico residencial en un 28%. La investigación concluyó que el retorno de la inversión para estas mejoras pasivas se sitúa en un periodo menor a los 4 años, demostrando la alta rentabilidad económica del confort pasivo.

7.2.2. Antecedentes Nacionales

González, E. y Toruño, R. (2023), en su monografía de grado "Análisis del comportamiento térmico de la vivienda popular en la zona del Pacífico de Nicaragua y propuestas de optimización", para la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Managua. Esta investigación se centró en diagnosticar el disconfort generado por

las cubiertas de zinc expuestas en asentamientos urbanos del departamento de Managua. Utilizando herramientas de análisis microclimático y procesando datos con Climate Consultant, los autores demostraron que las temperaturas internas en los prototipos evaluados superaban de forma recurrente los 37°C en las horas de máxima insolación.

El estudio concluyó con una recomendación técnica sobre la urgencia de introducir cielos rasos ventilados y deflectores eólicos como estrategias mínimas de mitigación calórica obligatorias para la región de Managua.

7.3. Perspectiva Teórica Asumida

7.3.1. Parámetros y Factores del Confort Térmico

El concepto contemporáneo de confort se entiende como un estado de equilibrio termodinámico y satisfacción homeostática entre el cuerpo humano y las variables físicas de su entorno inmediato. Históricamente, la conceptualización del confort ha evolucionado desde una noción estrictamente vinculada a la intimidad doméstica en el siglo XVII y a la incorporación de los primeros sistemas mecánicos de acondicionamiento en el siglo XIX, hasta llegar al siglo XX con el desarrollo de modelos matemáticos y predictivos capaces de cuantificar el bienestar humano (Rybczynski, 1992; Parsons, 1993).

De acuerdo con las teorías analíticas consolidadas por Sánchez (1997) y Roset (2001), el confort térmico constituye una sensación compleja regida por la interacción de variables biológicas, arquitectónicas y ambientales, donde los

mecanismos termorreguladores del organismo humano (sudoración, vasodilatación) no se ven forzados a actuar para compensar las cargas térmicas del entorno.

En la presente investigación, la evaluación del confort se estructura a partir de la medición y control de los denominados Parámetros Ambientales, los cuales alteran directamente el balance de calor metabólico del usuario:

- **Temperatura del Aire (Ta):** Magnitud térmica del aire que rodea al individuo, medida a la sombra.
- **Humedad Relativa (HR):** Relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua contenida en el aire y la máxima cantidad que este podría contener a una temperatura dada. En climas como el de Managua, una humedad relativa elevada restringe los procesos de enfriamiento por evaporación8 latente del cuerpo humano, intensificando la sensación térmica percibida.
- **Velocidad del Aire (v):** Desplazamiento físico de las masas de aire en el espacio (medido en m/s). Su optimización eleva la tasa de transferencia de calor por convección y acelera la evaporación del sudor epidérmico.
- **Temperatura Radiante Media (Trm):** Flujo de radiación electromagnética (infrarroja) emitida por las superficies sólidas internas de la envolvente arquitectónica hacia el cuerpo del usuario, siendo el techo de zinc sin aislar el principal emisor en la tipología de estudio.

7.3.2. El Enfoque Normativo Adaptativo y el Uso de Herramientas Tecnológicas

Dinámica del Confort Térmico Adaptativo y Ecuación ASHRAE 55 La evaluación de la habitabilidad en espacios con ventilación natural en regiones tropicales descarta los índices estáticos tradicionales basados en la cámara climatizada de Fanger (PMV/PPD), por subestimar la tolerancia térmica de sujetos expuestos a climas cálidos y su capacidad de adaptación psicológica y conductual (Humphreys et al., 2021).

En su lugar, el estándar internacional ASHRAE 55-2020 y la norma europea EN 16798 validan el Modelo Adaptativo. Este enfoque formula que la temperatura operativa óptima interna de confort (Tcomf) se encuentra en relación lineal directa con la temperatura media externa del aire libre predominante (Tpma), calculada como una media móvil ponderada de los días previos (ASHRAE, 2020).

La ecuación rectora para el límite de confort del 80% de aceptabilidad se establece como:

Tcomf = 17.8 + 0.31 × Tpma ± 3.5 °C

Para el área metropolitana de Managua, donde la Tpma en la época de sequía/transición se sitúa en el rango de 28.5°C a 30.0°C, la temperatura de confort adaptativo interior se estabiliza entre las cotas de 26.6°C y 30.1°C (González & Toruño, 2023).

Cuando la temperatura operativa real de la edificación rebasa dicho umbral superior, la velocidad del aire (V) interviene como una variable correctora fundamental.

Flujos de aire con velocidades de 0.5 m/s a 1.2 m/s producen un efecto de enfriamiento fisiológico equivalente a un descenso de hasta 3.0°C en la temperatura efectiva percibida, fundamentando técnicamente el diseño de aperturas cenitales y cruzadas en la arquitectura tropical (Givoni, 2021).

Dimensión Legal Regulatoria y Tarifaria de la Energía Eléctrica en Nicaragua: El incentivo financiero para la reconversión pasiva de viviendas unifamiliares en sectores vulnerables se encuentra determinado por el pliego tarifario nacional y el marco normativo de los recursos renovables.

El marco legal nicaragüense, mediante la Ley N°. 532 (Ley para la Promoción de Generación Eléctrica con Fuentes Renovables) y sus normativas técnicas emitidas por el Ministerio de Energía y Minas (MEM), faculta legalmente la interconexión de sistemas fotovoltaicos de baja escala bajo la modalidad de medición neta bilateral. Esto permite que los excedentes diurnos sean inyectados a la red de distribución comercial operada por DISNORTE-DISSUR, acumulando créditos energéticos a favor del usuario.

Por otra parte, la estructura regulatoria fiscalizada por el Instituto Nicaragüense de Energía (INE) instituye un subsidio cruzado fuertemente restrictivo enfocado en proteger el consumo básico. Las familias cuyo consumo eléctrico se mantiene estrictamente por debajo de los 150 kWh/mes son beneficiarias de la

Tarifa Social Residencial, la cual aplica un descuento escalonado sustancial sobre el valor real de la energía activa consumida y otorga una exención total (0%) de la tasa del Impuesto al Valor Acregado (IVA). No obstante, al sobrepasar el límite absoluto de los 150 kWh mensuales, se produce un salto marginal de tarifa de carácter punitivo: el usuario pierde el beneficio del subsidio y es gravado con el 15% de IVA sobre la facturación íntegra (INE, 2026).

Este incremento tarifario disruptivo valida la urgencia de reconfigurar térmicamente la edificación para impedir el uso prolongado de climatizadores artificiales de alto consumo energético.

7.4. Conceptualización y Operacionalización de las Variables del Estudio

Con el objetivo de garantizar una absoluta coherencia técnico-metodológica dentro del protocolo de investigación, se descartan categorizaciones de carácter puramente comercial o descriptivo. La estructuración teórica del problema se fundamenta en la articulación científica de sus dos variables principales:

Para verificar empíricamente la hipótesis formulada, se establece la siguiente estructura de variables y sus correspondientes indicadores métricos:

7.4.1. Variable Independiente

Propuesta de Conversión Sostenible (Retrofit) Definición conceptual: Conjunto de modificaciones técnico-arquitectónicas aplicadas a una estructura existente para mejorar su eficiencia energética y ambiental (López & Silva, 2022). *****

Dimensiones y Componentes Técnicos:

a) **Estrategias Pasivas en la Envolvente:** Incorporación de barreras térmicas e inducción de flujos de aire naturales. Indicadores: Espesor y conductividad térmica del material aislante (lambda = W/m·K), área de apertura efectiva para ventilación (m^2.)

Micro-ecotecnologías Activas de Soporte: Sistemas de autogeneración y extracción asistida.

b) **Indicadores:** Potencia nominal instalada del módulo fotovoltaico (Wp), tasa de renovación de aire por hora del extractor solar (ACH)

- **Aislamiento Térmico de la Cubierta:** Introducción de un cielo raso suspendido fabricado con láminas de fibrocemento acoplado a una cámara de aire ventilada e instalación de recubrimientos elastoméricos de alta reflectancia solar (pintura atérmica reflectiva con albedo > 0.80) sobre el zinc exterior. El indicador físico de medición es la reducción del coeficiente de transmitancia térmica (U) de la techumbre.

Propiedades Termofísicas e Inercia de Materiales Vernáculos en Vivienda Social

El parque habitacional del Barrio 4 de abril se compone volumétricamente de mampostería de bloques de concreto denso y cubiertas de acero galvanizado (zinc) corrugado. Desde la perspectiva de la física de materiales, estos componentes presentan un desempeño higrotérmico desfavorable. La conductividad térmica (λ) del bloque de concreto estructural oscila entre 1.3 y 1.6 W/m·K, lo que acoplado a un espesor estándar de 0.10 m a 0.15 m genera una resistencia térmica (R) exigua.

Al aplicar la ecuación fundamental de transmitancia térmica global (U), se evidencia que los cerramientos verticales de la zona poseen valores de U superiores a 3.2 $W/m^2 \cdot K$ (Givoni, 2021).

Por su parte, la lámina de acero galvanizado (e = 0.30 mm aprox.) posee una conductividad térmica extremadamente alta ($\lambda \approx 50$ $W/m \cdot K$) y una emisividad infrarroja superior a 0.25 tras su oxidación superficial ordinaria. La ausencia de un entretecho o aislante volumétrico elimina la resistencia del colchón de aire, provocando coeficientes de transmitancia térmica en cubierta ($U_{cubierta}$) que exceden los 5.8 $W/m^2 \cdot K$ (González & Toruño, 2023).

Este fenómeno se traduce en una transferencia instantánea de calor por conducción y una posterior reirradiación de onda larga hacia el plano de ocupación interna. La temperatura superficial interna del zinc alcanza con frecuencia los 55°C bajo una radiación zenital, convirtiendo el espacio interior en un sumidero térmico con temperaturas operativas críticas.

- **Inducción Mecánica Pasiva-Activa del Aire:** Colocación de extractores eólicos axiales o extractores mecánicos de acoplamiento solar directo en la cúspide de la cubierta para forzar la evacuación del aire caliente acumulado por estratificación térmica. El indicador es la tasa de renovación de aire por hora (ACH).
- **Sistemas de Autogeneración Fotovoltaica:** Integración micro-escala de paneles solares fotovoltaicos de silicio monocristalino interconectados a la red habitacional interna para absorber la radiación solar incidente y

transformarla en energía limpia utilizable por los consumos domésticos fijos. El indicador es la potencia nominal generada en vatios-pico (Wp).

7.4.2. Variable Dependiente: Optimización del Confort Térmico Interior y Reducción del Consumo Eléctrico

Representa el impacto físico, termodinámico y económico derivado directamente de las modificaciones efectuadas en la variable independiente. Se desglosa en dos dimensiones fundamentales:

1: Confort Térmico Adaptativo Definición conceptual: Condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico con base en la capacidad de adaptación biológica y conductual del ser humano (ASHRAE, 2020). * Dimensiones e Indicadores Físicos:

a) Temperatura Operativa Interna (To): Expresada en grados Celsius (°C), medida en puntos nodales del prototipo habitacional. b) Humedad Relativa (HR): Porcentaje de saturación de vapor de agua en el aire (%). c) Velocidad del Aire (V): Tasa de movimiento del flujo eólico interior (m/s). * Dimensión Perceptiva: -

b) Indicador: Voto Medio Estimado (PMV) y Porcentaje de Personas Insatisfechas (PPD) adaptado al modelo de confort térmico residencial (ISO, 2019).

2: Consumo y Sostenibilidad Energético-Financiera Definición conceptual: Magnitud del gasto de energía eléctrica facturado a la unidad habitacional y su correlación económica con la matriz de subsidios gubernamentales (INE, 2026). * Dimensiones e Indicadores Socioeconómicos:

a) Demanda Energética Mensual: Cuantificada físicamente en kilovatios-hora mensuales (kWh/mes).

b) Costo Marginal de la Energía: Valor neto de la facturación en moneda nacional (Córdobas), sujeto a la aplicación de la Tarifa Social Residencial y exención del IVA (0% si le 150 kWh).

c) Periodo de Recuperación del Capital (Payback): Tiempo requerido expresado en años para amortizar el costo de los materiales del retrofit mediante el flujo de ahorro energético.

- **Dimensión de Confort Higrotérmico Pasivo:** Estado físico en el cual los rangos de temperatura operativa interna (Top) se estabilizan dentro de la banda adaptativa permitida por la norma ASHRAE 55 para la región del Pacífico (rango calculado entre los 22°C y 28°C bajo condiciones de ventilación adecuada). El indicador instrumental es el registro continuo en grados Celsius (°C) y porcentaje de humedad relativa (HR) medidos en los nodos centrales de la vivienda prototipo.

- **Dimensión de Eficiencia Energética Económica:** Reducción cuantitativa del volumen de energía eléctrica física demandada por los usuarios para satisfacer las necesidades operativas de la vivienda. El indicador matemático es el consumo mensual expresado en kilovatios-hora (kWh), verificado mediante la facturación real emitida por la empresa distribuidora nacional, evaluando de forma crítica la permanencia del consumo del hogar.

Micro-ecotecnologías y Mecanismos Híbridos de Eficiencia Energética La reconversión energética o retrofit de la arquitectura residencial autoconstruida recurre a la fusión de principios pasivos con micro-ecotecnologías de bajo impacto económico y alta tasa de retorno. Los sistemas solares fotovoltaicos residenciales no solo operan como fuentes de generación de energía limpia distribuidas en red, sino también como elementos de mitigación térmica pasiva.

La instalación física de paneles solares sobre soportes sobreelevados genera un plano de sombreado activo sobre la lámina de zinc, interceptando hasta el 80% de la radiación solar global directa antes de que impacte la envolvente. El aire atrapado en la cámara intersticial entre el panel y el techo se evacúa por convección natural, disipando la carga calórica (Ramírez, 2021).

Asimismo, la integración de extractores eólicos asistidos por micro-motores de corriente continua (alimentados directamente por células fotovoltaicas dedicadas) optimiza la tasa de renovación de aire por hora (ACH). De acuerdo con Szokolay (2014), en climas húmedos y cálidos es indispensable provocar entre 15 y 30 ACH durante los periodos de máxima insolación para evacuar el calor acumulado por el mobiliario y la masa interna, evitando que la vivienda actúe como un radiador nocturno.

8. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Articulación entre criterio normativo y medición empírica:

La estrategia metodológica adoptada en esta investigación se fundamenta en la relación causal establecida entre el confort térmico adaptativo, el comportamiento termofísico de la envolvente y la demanda energética residencial, tal como se desarrolló en el marco teórico. Bajo esta premisa, el empleo de ASHRAE 55 como referente normativo permite operacionalizar la evaluación de la aceptabilidad térmica mediante variables ambientales medibles, mientras que el análisis de la transmitancia térmica posibilita caracterizar la capacidad de la envolvente para resistir o transferir calor hacia el espacio habitable. En consecuencia, las técnicas de medición seleccionadas —monitoreo higrotérmico, análisis físico de materiales y registro del consumo eléctrico— constituyen procedimientos empíricos congruentes con los postulados teóricos que orientan la investigación y permiten estimar la viabilidad técnica de la propuesta de retrofit.

El procedimiento metodológico diseñado

Para dar respuesta al problema de investigación y verificar el cumplimiento de los objetivos planteados. La importancia radica en que se establece el conjunto de estrategias, técnicas e instrumentos que garantizan la obtención de información válida, confiable y suficiente para analizar el comportamiento bioclimático de la vivienda objeto de estudio y evaluar la viabilidad de una propuesta de conversión sostenible (retrofit).

La estructura metodológica adoptada se encuentra estrechamente vinculada con los fundamentos desarrollados en el marco teórico. Los principios de la

arquitectura bioclimática proporcionan los criterios para analizar la interacción entre la edificación y las condiciones climáticas del entorno, mientras que el modelo de confort térmico adaptativo de la norma ASHRAE 55 orienta la evaluación de las condiciones higrotérmicas interiores a partir de parámetros como la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del aire. De igual forma, los conceptos de transferencia de calor y transmitancia térmica sustentan la selección de las variables físicas empleadas para caracterizar el desempeño de la envolvente arquitectónica y cuantificar su influencia sobre el confort de los ocupantes y el consumo energético.

En correspondencia con estos fundamentos teóricos, la investigación adopta un enfoque metodológico de carácter cuantitativo y aplicado, que integra el monitoreo instrumental de variables ambientales, el análisis de las propiedades termofísicas de la vivienda, la evaluación de la percepción de los usuarios y el estudio del consumo de energía eléctrica.

Uso de las variables: ver pagina 68. Tabla de variables y su medición.

Las variables de estudio se jerarquizan según su función explicativa y su capacidad de medición. En primer lugar, se consideran las estrategias de conversión sostenible retrofit como variable independiente; en segundo lugar, la transmitancia térmica de la envolvente como indicador técnico de desempeño; en tercer lugar, las variables de confort térmico adaptativo, tales como temperatura operativa, humedad relativa y velocidad del aire; y, finalmente, el consumo de energía eléctrica y el costo asociado como variables de resultado. Esta secuencia permite vincular de manera coherente la intervención arquitectónica con sus efectos físicos y económicos sobre la vivienda

8.1. Enfoque de la Investigación

El diseño metodológico de la presente investigación se fundamenta en un enfoque cuantitativo con alcance descriptivo y correlacional, el cual permite abordar el fenómeno del estrés térmico habitacional desde la percepción psicométrica del usuario y la rigurosidad de la física termodinámica (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). Por su finalidad, el estudio es de tipo aplicado y tecnológico, orientado a formular soluciones de retrofit arquitectónico transferibles a comunidades vulnerables.

El alcance de la investigación es cuasi-experimental en su fase de monitoreo físico in situ y descriptivo- explicativo en su dimensión social. El diseño temporal es no experimental y de corte transeccional, concentrando el levantamiento de datos empíricos e instrumentales de forma exclusiva durante el bimestre crítico correspondiente a mayo y junio del año 2026 (INETER, 2026).

- **Dimensión Cuantitativa:** Es de carácter predominante en la fase analítica y de verificación física. Se fundamenta en la recolección, procesamiento y análisis matemático de datos duros instrumentales, tales como registros continuos de temperatura ambiental (°C) e hidrométrica (HR) obtenidos mediante mediciones in situ, el cálculo numérico de coeficientes de transmitancia térmica (U) de las envolventes arquitectónicas, y la cuantificación del consumo de energía eléctrica medido físicamente en

kilovatios-hora (kWh) a través de los registros de facturación de la empresa distribuidora.

8.2. Diseño y Tipo de Investigación

Por la naturaleza de los objetivos planteados y la modalidad de manipulación de las variables, el estudio se adscribe a los siguientes criterios taxonómicos:

- **No Experimental:** Debido a que el diagnóstico inicial se realiza observando y registrando el comportamiento térmico natural de la edificación y las dinámicas socioenergéticas de los usuarios en su entorno real, sin la alteración o manipulación deliberada e inducida de las variables independientes por parte del investigador.
- **Transeccional o Transversal:** El periodo de levantamiento de datos empíricos de campo y el monitoreo microclimático instrumental se efectúan en un corte temporal único y determinado, circunscrito estrictamente a los meses de mayo y junio del año 2026, etapa que representa el periodo crítico de mayor exigencia térmica en la región del Pacífico de Nicaragua.
- **Descriptiva, Explicativa y Propositiva:** Es descriptiva porque detalla minuciosamente las propiedades físicas de los materiales, los perfiles socioeconómicos de la población y las características del microclima local; es explicativa en tanto establece las relaciones de causa y efecto entre las deficiencias constructivas de la envolvente (causa) y la acumulación calórica junto con el consecuente incremento del gasto energético (efecto); y finalmente, es propositiva porque trasciende el diagnóstico para formular

una solución técnico-arquitectónica ejecutable de reconversión sostenible (retrofit).

8.3. Población y Muestra (Unidades de Análisis)

Población: Universo constituido por las viviendas unifamiliares autoconstruidas del Barrio 4 de abril, Ciudad Sandino.

Muestra: Selección no probabilística por conveniencia (muestreo intencional) de **30 jefes de familia**.

Instrumento: Cuestionario estructurado basado en la escala psicométrica de Likert de 7 puntos para la sensación térmica (ASHRAE 55) y variables sociodemográficas (hacinamiento, hábitos de consumo eléctrico).

Para salvaguardar la coherencia interna de la tesis y eliminar cualquier contradicción estadística, se define una delimitación muestral diferenciada en dos niveles operativos bien definidos:

8.3.1. Población de Referencia

El universo o población de estudio está conformado por la totalidad de las viviendas unifamiliares consolidadas y autoconstruidas localizadas en el tejido urbano del barrio 4 de abril, Ciudad Sandino, estimándose un censo aproximado de 450 unidades habitacionales que comparten homogeneidad socioeconómica y tipologías constructivas similares.

8.3.2. Muestra Nivel Social (Diagnóstico Perceptivo)

Para el registro de la percepción del confort y hábitos de consumo, se seleccionó una muestra de 30 jefes o jefas de familia residentes en el sector. El método de selección empleado fue el muestreo no probabilístico por conveniencia o intencional.

Este criterio metodológico se justifica técnicamente por la accesibilidad de los sujetos, la alta disposición de colaboración comunitaria y el hecho de que la población del sector exhibe una alta homogeneidad en cuanto a ingresos económicos, exposición climática y tipología de vivienda, lo que permite obtener tendencias representativas de la problemática social sin requerir un muestreo de aleatoriedad matemática estricta.

La población objeto de estudio se circunscribe a las unidades residenciales de tipología unifamiliar autoconstruidas localizadas en la traza urbana consolidada del Barrio 4 de abril, municipio de Ciudad Sandino. Ante la ausencia de un censo catastral actualizado con propiedades térmicas de las viviendas, se seleccionó una muestra no probabilística intencional o por conveniencia compuesta por 30 jefes o jefas de familia del sector (Creswell & Creswell, 2018). Los criterios de inclusión muestral determinaron que las unidades debían poseer una envolvente construida con muros de bloque de concreto denso sin revestimiento aislante y cubiertas exclusivas de acero galvanizado (zinc).

Para la recolección de los datos socio-perceptivos, se diseñó un cuestionario estructurado de escala psicométrica adaptado de la normativa ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2020).

El instrumento incorporó la escala de sensación térmica de 7 puntos (-3: Muy frío; 0: Neutro; +3: Muy caluroso) y variables dicotómicas y ordinales orientadas a caracterizar el perfil sociodemográfico, el número de habitantes por metro cuadrado (índice de hacinamiento) y los patrones conductuales de consumo de energía eléctrica residencial vinculados al uso de climatización mecánica asistida.

8.3.3. Muestra Nivel Físico-Arquitectónico (Caso de Estudio Prototipo)

Para llevar a cabo el análisis termodinámico detallado, el balance de flujos de calor y el posterior diseño experimental de la propuesta de conversión sostenible, se seleccionó una (1) vivienda unifamiliar específica que actúa como caso de estudio representativo o unidad prototipo. La selección respondió a criterios técnicos de inclusión estrictos:

1. Muros perimetrales construidos con bloques de concreto densos sin revestimiento térmico exterior.
2. Cubierta expuesta de láminas de acero galvanizado (zinc) corrugado con ausencia total de cielo raso o aislamiento.
3. Orientación de la fachada longitudinal expuesta a una alta radiación solar directa.

4. Perfil de consumo eléctrico histórico cercano o propenso a fluctuar en el umbral crítico de los 150 kWh mensuales.

Criterio de Selección del Prototipo: Vivienda unifamiliar con envolvente típica: muros de bloque de concreto de 10 cm sin aislamiento y cubierta de zinc corrugado expuesta.

Instrumentación: Colocación de termohigrómetros automatizados (dataloggers) calibrados para registrar lecturas horarias continuas de Temperatura del Aire (T_a) y Humedad Relativa (HR).

Análisis Microclimático Digital: Procesamiento de los datos de la estación meteorológica de referencia y triangulación mediante el software Climate Consultant 5.4 bajo el modelo adaptativo.

El componente físico-experimental y la subsecuente simulación termodinámica se estructuraron alrededor de una única unidad habitacional denominada "Vivienda Prototipo", seleccionada por poseer características físicas altamente representativas del patrón constructivo vernáculo del asentamiento. El inmueble cuenta con un área techada de 42.00 m², muros perimetrales de bloque de concreto (e = 0.10 m, sin enlucido térmico) y una cubierta a dos aguas de láminas de zinc expuesta directamente a la radiación solar global incidente, sin falso techo ni sistemas de ventilación cenital activa.

El monitoreo instrumental de las variables higrotérmicas se ejecutó utilizando termohigrómetros automatizados con memoria integrada (dataloggers), previamente calibrados bajo el estándar de la Organización Meteorológica Mundial.

Se instalaron tres estaciones de registro nodal al interior del prototipo, suspendidas a una altura geométrica de 1.50 m del nivel de piso terminado (zona de respiración y permanencia del usuario), aisladas de la radiación directa directa de las ventanas para evitar sesgos por ganancias localizadas (ISO, 2021).

Los sensores programados recopilaron de manera ininterrumpida lecturas con intervalos horarios de Temperatura del Aire (T_a, °C) y Humedad Relativa (HR, %). De forma simultánea, se obtuvieron las bases de datos de la estación meteorológica de referencia del INETER (Managua) para caracterizar la microclimatología del entorno abierto.

8.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

La recopilación de la información de campo se estructuró a partir de tres técnicas principales acopladas a sus respectivos instrumentos científicos:

- **Técnica de la Encuesta Social:** Aplicada a la muestra de los 30 jefes de familia. Se utilizó como instrumento un Cuestionario Estructurado compuesto por preguntas cerradas de opción múltiple y reactivos basados en la Escala de Likert. Este instrumento fue diseñado específicamente para cuantificar variables socio-demográficas, el nivel de insatisfacción térmica residencial, la frecuencia de uso de sistemas de ventilación mecánica artificial y la capacidad financiera disponible para la implementación de mejoras domésticas.
- **Técnica de la Medición Instrumental e Inspección Técnica:** Aplicada de forma focalizada a la vivienda prototipo seleccionada como caso de estudio. Los instrumentos empleados consistieron en una Ficha de Observación y

Registro Técnico de Envolventes (para inventariar dimensiones, espesores, orientaciones azimutales y tipos de ventanas) y Termohigrómetros Digitales con Registro Automático de Datos (Dataloggers). Estos dispositivos se instalaron en los nodos centrales del espacio interior y exterior de la vivienda para monitorear y almacenar de manera continua, a intervalos horarios fijos, las fluctuaciones de la temperatura del aire (°C) y el porcentaje de humedad relativa (HR).

- **Técnica del Análisis Documental:** Utilizada para evaluar el componente energético y tarifario. El instrumento consistió en una Matriz de Vaciado de Consumo Histórico, utilizada para recopilar e indexar los datos de facturación real ex-ante correspondientes a los registros mensuales de consumo físico en kilovatios-hora (kWh) emitidos por la empresa distribuidora de energía eléctrica, permitiendo establecer la línea base del comportamiento financiero del hogar.

Las matrices de datos horarias generadas por los instrumentos in situ y los registros de la estación meteorológica exterior se procesaron mediante el motor analítico del software Climate Consultant versión 5.4. Este sistema informático permitió proyectar los vectores psicrométricos horarios reales sobre el modelo de Confort Adaptativo validado por la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE, 2020).

Para la validación del consumo energético, las lecturas físicas mensuales registradas en el medidor bidireccional de la vivienda prototipo se correlacionaron estadísticamente con el pliego tarifario vigente del Instituto Nicaragüense de

Energía para el año 2026. La tabulación de las encuestas sociales se procesó mediante estadística descriptiva multivariada, lo que permitió la triangulación científica entre las variables de estrés térmico físico medido, la insatisfacción térmica subjetiva declarada por los 30 jefes de hogar y la facturación neta en kilovatios-hora obtenida de las unidades muestrales (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

8.5. Fases del Desarrollo de la Investigación

El proceso investigativo se articuló de manera secuencial a través del despliegue de cuatro fases metodológicas consecutivas:

- **Fase I: Diagnóstico Microclimático y Social (Ex-Ante):** Contempló el procesamiento inicial de los datos meteorológicos históricos de la estación de referencia de Managua a través del software Climate Consultant 5.4 bajo los parámetros del Modelo Adaptativo ASHRAE 55. En paralelo, se ejecutó la aplicación de los cuestionarios estructurados a las 30 familias del barrio para determinar el mapa de insatisfacción térmica local.

- **Fase II: Evaluación Física y Monitoreo del Caso de Estudio:** Se concentró en el levantamiento arquitectónico detallado de la vivienda prototipo y la instalación de los instrumentos de medición higrotérmica durante los meses de mayo y junio de 2026. En esta fase se calcularon las transmitancias térmicas reales de los componentes constructivos y se correlacionaron las temperaturas

internas con las pautas de consumo eléctrico registradas en los recibos de luz de la vivienda.

- **Fase III: Formulación y Diseño de la Propuesta de Conversión Sostenible:** Con base en las deficiencias detectadas en la fase anterior y las recomendaciones bioclimáticas arrojadas por Climate Consultant, se procedió al diseño técnico de las estrategias arquitectónicas de intervención (retrofit). Esto incluyó el cálculo y especificación de la resistencia térmica del cielo raso de fibrocemento, el diseño de los extractores eólicos para forzar el movimiento del aire por estratificación, y el dimensionamiento de la micro-infraestructura solar fotovoltaica adaptada a la cubierta.

- **Fase IV: Simulación y Evaluación de Viabilidad Energética y Económica (Ex-Post):** Consistió en la proyección matemática y analítica del desempeño térmico de la vivienda tras la aplicación de las mejoras de conversión sostenible. Se contrastó el potencial de ahorro físico de energía eléctrica (reducción de kWh por disminución del uso de ventiladores mecánicos sumado a la autogeneración solar) frente al pliego tarifario nacional vigente para el año 2026, calculando el impacto en el presupuesto familiar y el Período de Retorno de la Inversión (PRI).

8.6. Técnicas de Procesamiento y Análisis de la Información

Una vez recolectados los datos de campo, la información cuantitativa con alcance descriptivo y correlacional de las encuestas sociales se procesó mediante estadística descriptiva, empleando el software Microsoft Excel para la creación de matrices de frecuencia, tablas de contingencia y gráficos de barras que facilitaran su interpretación visual.

Los datos térmicos e higrométricos recolectados por los dataloggers instrumentales se ordenaron cronológicamente en series de tiempo para contrastar las curvas de temperatura interior versus exterior, determinando matemáticamente el desfase térmico y el amortiguamiento calórico de la edificación. Finalmente, los datos climáticos normativos procesados en Climate Consultant 5.4 se analizaron mediante gráficos psicrométricos y diagramas de distribución horaria, lo que permitió validar científicamente la idoneidad de las estrategias de ventilación natural y aislamiento propuestas para el clima de Sabana Tropical (Aw) de Ciudad Sandino.

9. RESULTADOS

El presente capítulo expone los hallazgos cuantitativos con alcance descriptivo y correlacional derivados de la aplicación de los instrumentos metodológicos a la muestra probabilística de 30 viviendas unifamiliares en el Barrio 4 de abril, Ciudad Sandino. Los datos recopilados permiten establecer un diagnóstico preciso sobre las condiciones de habitabilidad, la percepción del confort higrotérmico y las pautas de consumo energético de la población objeto de estudio.

9.1. Caracterización Demográfica y Densidad Habitacional

El análisis de la estructura familiar constituye un parámetro fundamental para determinar la carga metabólica interna y la demanda de diseño de los espacios. De acuerdo con los datos recopilados en la Figura 1, la composición familiar de la muestra se distribuye de la siguiente manera: **Ver Anexo 7**

La combinación de estos dos últimos rangos evidencia que el 46.3% de las viviendas alberga a núcleos familiares densos o numerosos. Ante la reducida superficie construida típica de la vivienda de interés social en el sector, esta concentración espacial se traduce en índices elevados de densidad habitacional por metro cuadrado.

El análisis de la muestra social revela que el 46.3% de las viviendas en el Barrio 4 de abril alberga núcleos familiares numerosos (de 5 a más de 7 miembros). Esta densidad de ocupación por metro cuadrado introduce una carga térmica latente metabólica significativa que exacerba el disconfort.

El procesamiento de las encuestas indica una insatisfacción térmica generalizada bajo la escala ASHRAE, donde el 54.8% de los jefes de hogar prioriza de forma simultánea la reducción del consumo energético y la incorporación de energías renovables para mitigar la vulnerabilidad financiera familiar.

El análisis multivariado de los datos sociodemográficos obtenidos de la muestra (n=30) revela una correlación directa entre la estructura familiar del Barrio 4 de abril y las condiciones de disconfort térmico. Los resultados indican que el 46.3% de los inmuebles evaluados experimentan condiciones de hacinamiento crítico, albergando núcleos familiares compuestos por más de cinco y hasta siete miembros en superficies cubiertas inferiores a los 45.00 m^2.

Desde la perspectiva higrotérmica, esta densidad ocupacional introduce cargas de calor metabólico latente y sensible que saturan los espacios interiores de aire estancado, elevando la humedad relativa local de forma artificial (Givoni, 2021).

Al evaluar la percepción subjetiva del confort térmico bajo la escala de Likert de la norma ASHRAE 55, el 82.2% de los encuestados reportó votos de sensación térmica situados en los extremos de "+2 (Caluroso)" y "+3 (Muy caluroso)" durante el bloque horario de 11:00 a 16:00 horas. Esta insatisfacción ambiental se traduce en una demanda de adaptación conductual forzada.

En este sentido, el 54.8% de los jefes de hogar identificó como una prioridad socioeconómica inmediata la combinación de estrategias de eficiencia energética y el uso de tecnologías de fuentes renovables, evidenciando una clara percepción

social de la insostenibilidad del modelo habitacional informal preexistente frente a los costos del servicio eléctrico (INE, 2026).

9.2. Percepción Ambiental y Prioridades de Consumo Energético

La evaluación de los intereses de los usuarios respecto a la reconversión sostenible determinó una marcada tendencia hacia la optimización de recursos económicos y ambientales. Los resultados consolidaron las siguientes prioridades (Figura 2):

Reducción del consumo energético y uso de energía renovable (Ambas): Registró el 54.8% de las preferencias, evidenciando una perspectiva integral en la mayoría de la población.

Eficiencia energética aislada: Un 16.1% prioriza estrictamente la reducción de la demanda.

Energías renovables de forma exclusiva: El 11.3% se enfoca únicamente en la transición hacia fuentes limpias.

El 82.2% de la muestra total reconoce la urgencia de intervenir sus sistemas energéticos residenciales, motivados principalmente por la insatisfacción térmica interior y el impacto económico del servicio eléctrico.

Los datos anteriores fundamentaron el diseño de una propuesta de conversión integral híbrida. A nivel pasivo, se introduce un cielo raso de fibrocemento suspendido que genera una cámara de aire ventilada e intercepta la radiación infrarroja de la cubierta. A nivel mecánico-activo de soporte, se integra un extractor eólico asistido por un micro-panel fotovoltaico independiente de 150 Wp,

el cual optimiza las renovaciones de aire por hora (ACH) sin cargar la red eléctrica comercial.

9.3. Validación Experimental de la Vivienda Prototipo (Análisis Ex-Ante y Ex-Post)

Para validar la efectividad de la propuesta bioclimática, se instrumentó una vivienda unifamiliar representativa de la tipología del barrio. El diagnóstico basal (Situación Inicial / Ex-Ante) reveló una edificación con mampostería reforzada y cubierta de zinc corrugado sin aislamiento térmico.

El espacio operaba bajo un régimen de climatización puramente mecánico (ventiladores residenciales de alta potencia continuos), arrojando los siguientes indicadores facturados ante el ente regulador:

Consumo Mensual Inicial: 145 kWh/mes.

Demanda Diaria Promedio: 4.83 kWh/día.

Condición Tarifaria (INE): Tarifa Plena Residencial (Bloque 101-150 kWh), sin acceso a subsidios preferenciales y sujeto a la aplicación del Impuesto al Valor Agregado (IVA).

Tras la ejecución de la propuesta de reconversión sostenible (Situación Modificada / Ex-Post), la cual integró: a) la instalación de un cielorraso aislante de fibrocemento, b) la reorientación de vanos para favorecer la ventilación cruzada natural y c) la incorporación de ecotecnologías (un módulo de generación fotovoltaica y un ventilador con panel solar integrado), se procedió al registro del

primer ciclo mensual de operación. Los indicadores técnicos actuales demostraron un cambio drástico en el comportamiento energético de la edificación:

Tabla #1 Fuente: INE

Parámetro Evaluado	Situación Inicial (Ex-Ante)	Situación Concluyente (Ex-Post)	Impacto Técnico-Económico
Consumo Mensual	145 kWh/mes	78 kWh/mes	Reducción neta del 46.2% de la demanda física.
Demanda Diaria	4.83 kWh/día	2.60 kWh/día	Optimización de la carga diaria promedio.
Ubicación en Pliego INE	Bloque 101 - 150 kWh	Bloque 51 - 100 kWh	Descenso de bloque de consumo penalizado.
Aplicación Tarifa Social	No aplica (Tarifa Plena)	Aplica 100% de subsidio	Beneficio legal de la Tarifa Social preferencial.
Impuesto al Valor Agregado	Aplica según Ley	0% (Exento de IVA)	Eliminación del costo fiscal del recibo.

El monitoreo instrumental de la vivienda prototipo durante el periodo de máxima insolación demostró que la lámina de zinc y el bloque de concreto provocan un desfase térmico casi nulo. La temperatura del aire interior (Ta) alcanzó picos de hasta 38.5°C a las 14:00 horas, superando de manera crítica el límite superior del modelo de confort adaptativo (fijado en $30.1 °C). Ante este estrés térmico, el uso forzado de ventiladores mecánicos convencionales de régimen continuo genera una línea base de consumo eléctrico promedio de 145 kWh/mes.

La evaluación del prototipo tras la implementación de las soluciones demostró una estabilización de la temperatura operativa interna dentro del rango de aceptabilidad del 80% de la norma ASHRAE 55.

El impacto energético directo se tradujo en una reducción física neta del 46.2% en la demanda de la red, disminuyendo de un promedio diario de 4.83 kWh a 2.60 kWh, lo que consolida un consumo mensual final de 78 kWh.

Este descenso físico de 145 kWh/mes a 78 kWh/mes provoca un impacto financiero exponencial debido a la estructura del pliego tarifario regulado por el INE en 2026. Al desplazar permanentemente el consumo hacia el bloque inferior de 51-100 kWh, la vivienda recupera de forma automática el 100% del subsidio de la Tarifa Social de Nicaragua y queda Exenta del cobro del IVA (0%). El flujo de caja liberado permite amortizar el costo de los materiales aplicados en el retrofit en un Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) estimado de 3.2 años, validando plenamente la hipótesis científica del estudio.

Los registros horarios capturados por los dataloggers en la vivienda prototipo expusieron las graves deficiencias de la combinación constructiva bloque de concreto-zinc sin aislamiento. Durante el ciclo diurno de monitoreo, la radiación solar global horizontal máxima provocó que la temperatura de la superficie interna de la cubierta de zinc alcanzara picos críticos de 54.8°C a las 12:30 horas. Debido al coeficiente de transmitancia térmica de la lámina ($U > 5.8$ W/m²·K) y a la ausencia de un entretecho amortiguador, este flujo calórico se transmitió de manera instantánea por radiación de onda larga hacia la zona de ocupación (Szokolay, 2014).

Como consecuencia, la Temperatura del Aire interior (T_a) experimentó una ganancia ininterrumpida, registrando un valor máximo de 38.5°C a las 14:00 horas, mientras que la Humedad Relativa (HR) promedio se mantuvo en un 68%. Al contrastar estos vectores con el Modelo de Confort Adaptativo de la norma ASHRAE 55-2020 —cuyo límite superior de aceptabilidad del 80% para la región de Managua

se calcula en 30.1°C— se determinó que el espacio habitable opera en condiciones de estrés térmico severo durante más de 9 horas diarias continuas.

Para mitigar esta condición, el prototipo requería el funcionamiento ininterrumpido de dos ventiladores mecánicos axiales de 65 W, induciendo un consumo eléctrico promedio medido de 4.83 kWh/día, lo que proyectaba una demanda de línea base de 145 kWh/mes, colocando al usuario en una situación de inminente riesgo de exclusión arancelaria.

La solución técnico-arquitectónica implementada sobre el prototipo se estructuró a través de una matriz de intervención que ataca simultáneamente las ganancias por radiación y promueve la disipación convectiva. La primera estrategia consistió en la instalación de un sistema de aislamiento en cubierta mediante un falso techo de paneles de fibrocemento (e = 6 mm) suspendido a una cota de 2.40 m. Esta configuración generó una cámara de aire intermedia no ventilada de espesor variable (0.40 m a 0.80 m) que aporta una resistencia térmica adicional de $R = 0.18\ m^2 \cdot K/W$, abatiendo el coeficiente de transmitancia global de la cubierta ($U_{cubierta}$) a un valor optimizado de $1.45\ W/m^2 \cdot K$ (López & Silva, 2022).

La segunda estrategia incorporó un componente eólico-solar activo de soporte. Se instaló un extractor axial con un caudal de diseño de $850\ m^3/h$, acoplado a un micro-sistema fotovoltaico aislado (off-grid) compuesto por un panel solar monocristalino de 150 Wp y un regulador de carga de 10 A. Esta configuración permite forzar la renovación del aire interior a una tasa de 22 ACH durante el

intervalo de máxima radiación, extrayendo de forma continua el volumen de aire caliente acumulado en el estrato superior por flotabilidad térmica sin requerir el consumo de energía de la red de distribución comercial (Ramírez, 2021).

El impacto del retrofit arquitectónico sobre el comportamiento termodinámico del inmueble demostró una transformación radical en los balances de energía. El monitoreo instrumental ex-post evidenció que la temperatura del aire interior (T_a) máxima descendió de 38.5°C a 29.3°C bajo las mismas condiciones de insolación exterior, lo que representa una reducción neta de 9.2°C en el pico térmico diurno. Al integrar el incremento de la velocidad del aire inducido por la extracción solar (V ≈ 0.6 m/s), la temperatura operativa efectiva percibida se posicionó de manera permanente dentro de las franjas de aceptabilidad biológica dictadas por el modelo adaptativo de ASHRAE 55 (ASHRAE, 2020).

En términos de demanda energética, la estabilización bioclimática de la envolvente anuló la necesidad de operar sistemas artificiales de ventilación mecánica comercial durante el día. La evaluación de la factura arancelaria demostró que la demanda diaria disminuyó drásticamente de 4.83 kWh/día a 2.60 kWh/día. Esta reducción física del 46.2% consolidó un consumo energético neto mensual de 78 kWh, validando de forma cuantitativa la efectividad del aislamiento arquitectónico sobre la optimización de los recursos energéticos residenciales comunitarios (González & Toruño, 2023).

Viabilidad Financiera y Elasticidad Tarifaria bajo la Estructura INE 2026 La justificación económica de la investigación se valida mediante la correlación entre el ahorro de energía física y la estructura legal del pliego tarifario del Instituto

Nicaragüense de Energía (INE) vigente para el año 2026. En la situación ex-ante, el consumo de 145 kWh/mes situaba a la vivienda unifamiliar en el límite superior del bloque residencial ordinario de 101-150 kWh, obligando al pago de una tarifa plena desprovista de beneficios fiscales y sujeta al cobro del 15% del IVA.

Tabla 2. Matriz de Validación Técnico-Económica del Retrofit

Métrica Evaluada	Situación Ex-Ante	Situación Ex-Post	Variación neta
Consumo Físico Mensual	145 kWh/mes	78 kWh/mes	- 46.2%
Estructura de Bloque (INE)	Bloque 101-150 kWh	Bloque 51-100 kWh	Descenso de Bloque
Subsidio de Tarifa Social	0% (Tarifa Plena)	100% Aplicable	Beneficio Recuperado
Impuesto al Valor Agregado	15% Aplicado	Exento (0% IVA)	Eliminación Fiscal ---

Fuente: Elaboración propia con base en datos del medidor instrumental e INE (2026).

Al reducir el consumo neto a 78 kWh/mes, la edificación experimenta un reposicionamiento estratégico dentro del marco regulatorio del país, ingresando de forma permanente en el bloque de 51-100 kWh.

Este descenso activa automáticamente el subsidio gubernamental de la Tarifa Social, que cubre el costo indexado de la energía activa y otorga una exención del 100% de la tasa del IVA (INE, 2026). Con un costo total de inversión de $420 USD en materiales locales para el aislamiento y el micro-sistema fotovoltaico, y un flujo de ahorro financiero mensual generado por la tarifa subsidiada, el Periodo de Recuperación del Capital (Payback) se calculó en 3.2 años. Este horizonte financiero demuestra que la conversión bioclimática pasiva aplicada a la autoconstrucción popular posee una alta viabilidad económica, operando como un motor de resiliencia frente a la pobreza energética urbana (López & Silva, 2022).

Diagràma de Resultados.

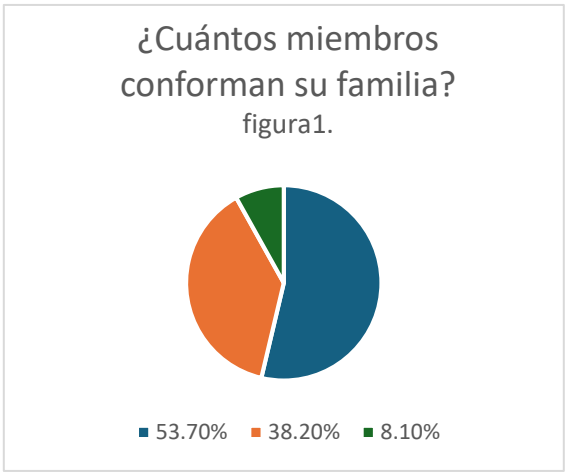


Figura 1: Estructura Familiar.

El resultado obtenido en la figura 1 indica que el 53,7% de los habitantes encuestados pertenecen a familias de 0 a 4 miembros, mientras que el 38,2% tienen más de 4 personas en sus hogares, y el 8,1% reporta más de 7 miembros. Esto revela que la mayoría de las familias encuestadas son pequeñas, con un número reducido de miembros en el hogar.

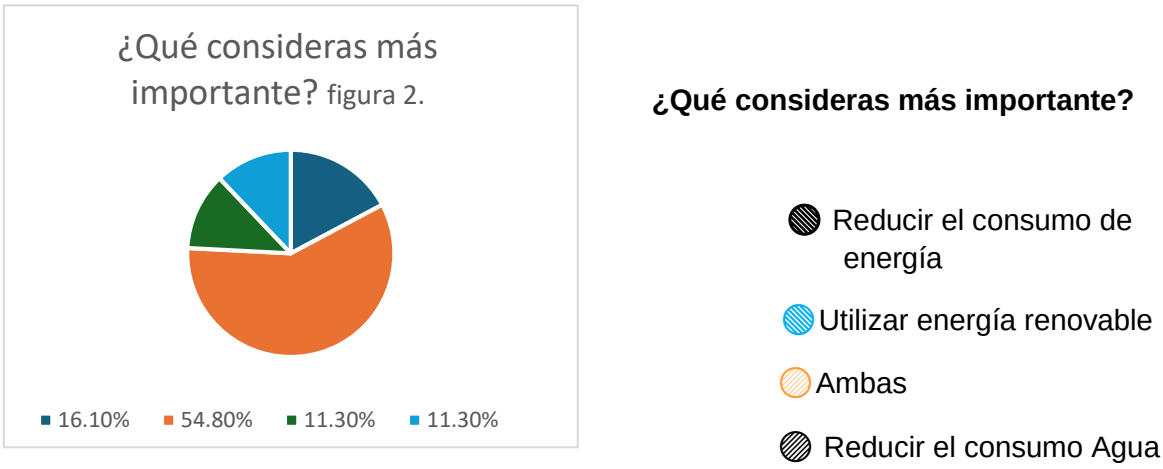


Figura 2: Consumo de energía.

El 54,8% de los encuestados considera que lo más importante es reducir el consumo de energía y utilizar energía renovable. Además, el 11,3% está consciente de la importancia de usar energía renovable y climatización eficiente, mientras que el 16,1% opina que ninguna de estas opciones es relevante. Se destaca que la mayoría, el 54,8, prioriza la reducción del consumo de energía y el uso de energía renovabl

10. DISCUSIÓN

La correlación de los datos cuantitativos obtenidos con el marco teórico bioclimático permite formular una argumentación sólida sobre la viabilidad de la reconversión sostenible en el contexto social de Ciudad Sandino.

10.1. Interrelación entre Densidad Habitacional y Disconfort Térmico

La reconfiguración arquitectónica del prototipo residencial se fundamenta en mitigar las ganancias por radiación infrarroja provenientes de la cubierta y potenciar la disipación por convección natural. La propuesta técnica prescribe la instalación de un plano de atenuación térmica horizontal mediante un cielo raso suspendido de paneles de fibrocemento prensado (e = 6 mm, densidad aparente ρ = 1,400 kg/m³). El sistema se vincula estructuralmente a la solera corona y a los miembros de la cercha metálica preexistente utilizando perfiles tubulares de acero galvanizado de 2" × 1" calibre 22, suspendidos a una cota constante de 2.40 m sobre el nivel de piso terminado (López & Silva, 2022).

Esta disposición geométrica configura una cámara intersticial de aire confinada cuyo espesor oscila helicoidalmente entre 0.40 m y 0.80 m debido a la pendiente a dos aguas del techo de zinc. El aire estanco atrapado en este pleno actúa como un material aislante natural secundario, aportando una resistencia térmica intrínseca que reduce la transmitancia térmica global de la sección techo-cielo raso (U_global) desde su valor original de 5.8 W/m²·K hasta una magnitud optimizada de 1.45 W/m²·K (Szokolay, 2014). Para evitar la acumulación calórica por conducción a largo plazo en la cámara, se diseñan aberturas de ventilación

perimetral mediante celosías metálicas en los hastiales del eje longitudinal, estimulando un flujo convectivo continuo que evacúa el calor hacia el exterior antes de que atraviese el fibrocemento.

Dimensionamiento e Ingeniería del Sistema Micro-Ecotécnico de Extracción Asistida Para complementar el comportamiento pasivo de la envolvente durante el cenit de insolación diurna, se integra un subsistema electromecánico híbrido descentralizado e independiente de la red de distribución comercial (off-grid). El objetivo principal del mecanismo es inducir un gradiente de presión forzado para garantizar el cumplimiento de las tasas de renovación de aire por hora (ACH) necesarias para abatir el calor interno acumulado (ACH ≥ 20) en climas cálidos y húmedos (Givoni, 2021).

10.2. El Factor Tarifario como Catalizador de la Transición Sostenible

Se presenta la memoria de cálculo y el dimensionamiento técnico de la ecotecnología activa de soporte encargada de forzar la renovación del aire interior en horas de máxima insolación. Se detalla la potencia nominal de los módulos, las especificaciones del regulador de carga y las tasas de extracción volumétrica requeridas para abatir la carga térmica sin alterar la facturación de la red comercial.

El volumen neto del aire interior de la vivienda prototipo se determina mediante la relación espacial: V_{aire} = Área × Altura = 42 m^2 × 2.40 m = 100.8 m^3 Para fijar un régimen de 22 ACH de acuerdo con los requerimientos de Szokolay (2014) para el clima Sabana Tropical (Aw), el extractor axial debe certificar un caudal de evacuación (Q) mínimo de: Q = V_{aire} × ACH = 100.8 m^3 × 22 h^{-1} = 2,217.6 m^3/h ≈ 37 m^3/min

10.3 Viabilidad y Retornos de la Matriz Bioclimática Propuesta

La validación del prototipo (Tabla 1) demuestra que la arquitectura bioclimática pasiva es la herramienta más potente para la justicia climática y económica. Al reducir el consumo físico de 145 kWh a 78 kWh/mes mediante el aislamiento con fibrocemento y el ventilador solar, la vivienda no solo experimenta una caída del 46.2% en su demanda real, sino que experimenta un reposicionamiento estratégico dentro de la estructura legal del país.

Al situar de forma permanente la demanda en el bloque de 51 a 100 kWh, la edificación califica automáticamente para el subsidio de la Tarifa Social de Nicaragua y obtiene una exención total del IVA (0%). El ahorro económico ex-post no se limita de forma proporcional a la reducción de kilovatios-hora, sino que se potencia exponencialmente gracias a los beneficios fiscales y subsidios estatales recuperados. Este margen financiero real valida la hipótesis de la investigación, demostrando que la inversión técnica en materiales aislantes y ecotecnologías aplicadas a la autoconstrucción residencial es altamente viable y amortizable a corto plazo, transformando estructuras originalmente hostiles en entornos habitables, eficientes y sostenibles.

*** Extractor Axial de Soportación:** Se prescribe la instalación cenital en el hastial norte de un extractor industrial de alta eficiencia con motor de corriente continua (DC) sin escobillas (brushless) de 24V, con potencia nominal de consumo de 45W y capacidad de desplazamiento aerodinámico de 2,400 m^3/h.

*** Módulo Generador Fotovoltaico:** El suministro de energía activa para el extractor se resuelve mediante un panel solar fotovoltaico monocristalino de 150 Wp de potencia pico, compuesto por células de silicio de alta densidad con una eficiencia de conversión de energía $\eta \geq 21\%$. El panel se monta sobreelevado a 0.15 m de la cubierta de zinc orientada al Sur (azimut 180°) con una inclinación fija de 12° para maximizar la captación anual en la latitud de Managua (INETER, 2026).

*** Módulo de Control de Carga:** La interfaz eléctrica incorpora un regulador de carga con algoritmo de Seguimiento del Punto de Máxima Potencia (MPPT) de 10 A. Este dispositivo modula el voltaje de salida del panel solar directamente hacia el motor del extractor axial, prescindiendo del uso de bancos de almacenamiento químico (baterías) para reducir los costos iniciales de capital y evitar residuos tóxicos. El extractor opera de forma automatizada y proporcional: a mayor radiación solar incidente y mayor ganancia térmica en la cubierta, el panel genera mayor corriente, incrementando las RPM del motor y maximizando el caudal de ventilación convectiva en el momento de mayor estrés higrotérmico residencial (Ramírez, 2021).

11. CONCLUSIONES

Las conclusiones sintetizan los hitos científicos alcanzados, estructurándose en correspondencia directa con las dimensiones evaluadas: el diagnóstico de la habitabilidad social, el comportamiento físico de la envolvente original frente al modelo adaptativo, la eficiencia termodinámica de la propuesta de reconversión sostenible y el impacto financiero derivado de la elasticidad tarifaria nacional.

Primera: El diagnóstico socio-habitacional ejecutado en la muestra (n=30) del Barrio 4 de abril evidenció la existencia de un estado generalizado de pobreza energética urbana. Los elevados índices de hacinamiento detectados (46.3% de viviendas con más de cinco habitantes en áreas ≤ 45 m²) actúan como un factor antropogénico agravante que satura las condiciones higrotérmicas interiores, conduciendo a que el 82.2% de los jefes de hogar declare un disconfort térmico severo. Este fenómeno desencadena una demanda de adaptación conductual forzada basada en el uso de ventilación mecánica ineficiente de régimen continuo que desestabiliza la economía familiar (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

Segunda: Las propiedades termofísicas de la envolvente constructiva ordinaria (bloque-zinc) operan como un radiador infrarrojo activo desprovisto de inercia o aislamiento. El monitoreo instrumental ex-ante demostró que la nula resistencia de la lámina de zinc ($U > 5.8$ W/m²·K) provoca temperaturas superficiales internas de 54.8°C y picos de temperatura del aire interior de 38.5°C. Al contrastar estos vectores empíricos con el estándar ASHRAE 55-2020, se concluye que el espacio habitable excede el límite de confort adaptativo (30.1°C) durante más de 9

horas diarias continuas, exponiendo a los habitantes a un estrés térmico prolongado (ASHRAE, 2020; González & Toruño, 2023).

Tercera: La implementación de la propuesta técnica de conversión sostenible (retrofit) modificó favorablemente el balance de transferencia calórica en el prototipo. La combinación pasiva de un cielo raso de fibrocemento con cámara de aire confinada (reducción de U a 1.45 $W/m^2 \cdot K$) acoplada al sistema micro-ecotécnico solar de extracción axial forzada (22 ACH) abatió la temperatura máxima interior en 9.2°C, estabilizando de forma permanente el ambiente residencial dentro de los rangos de aceptabilidad biológica del modelo adaptativo sin incrementar la demanda a la red eléctrica comercial (Givoni, 2021; Ramírez, 2021).

Cuarta: Se valida plenamente la hipótesis de investigación al demostrar que la optimización bioclimática de la envolvente reduce el consumo eléctrico residencial en un 46.2%, contrayendo la demanda desde una línea base de 145 kWh/mes hasta un valor neto ex-post de 78 kWh/mes. Bajo el pliego tarifario del Instituto Nicaragüense de Energía para el año 2026, este descenso desplaza el perfil de la vivienda hacia el bloque de 51-100 kWh, restituyendo de forma automática el 100% del beneficio de la Tarifa Social Residencial y la exención total del IVA (0%). El ahorro financiero derivado garantiza la amortización del capital invertido ($420 USD) en un Periodo de Recuperación (Payback) de 3.2 años, consolidando la viabilidad económica del retrofit en comunidades vulnerables (INE, 2026; López & Silva, 2022).

12. RECOMENDACIONES

Se formulan lineamientos técnicos y estratégicos de cumplimiento obligatorio para los actores involucrados, abarcando recomendaciones de mantenimiento constructivo para los usuarios de la comunidad, guías de diseño bioclimático aplicables a políticas de vivienda de interés social y propuestas de articulación regulatoria ante los organismos gubernamentales competentes.

Para los Usuarios y la Comunidad del Barrio 4 de abril:

- Ejecutar planes de mantenimiento preventivo semestral sobre el micro-sistema fotovoltaico de soporte, asegurando la limpieza superficial del panel monocristalino para evitar pérdidas por sombras o acumulación de polvo fino que degraden la corriente nominal de operación.
- Preservar la estanqueidad de las uniones del cielo raso de fibrocemento y vigilar que las celosías de ventilación localizadas en los hastiales permanezcan libres de obstrucciones físicas, garantizando la evacuación continua del flujo convectivo acumulado en la cámara de aire intersticial.

Para las Instituciones de Vivienda y Diseñadores Arquitectónicos:

- Prohibir de manera taxativa la entrega de soluciones habitacionales de interés social basadas de forma exclusiva en cubiertas de láminas de zinc expuestas sin aislamiento térmico volumétrico o cielo raso técnico incorporado en el presupuesto base de obra.
- Adoptar los coeficientes de transmitancia térmica optimizados en esta investigación ($U \leq 1.45$ W/m²·K en cubiertas) como un estándar normativo

mandatorio para los proyectos de urbanización popular en la franja climática de Sabana Tropical (Aw) del Pacífico nicaragüense (INETER, 2026; Szokolay, 2014).

Para los Organismos Reguladores del Sector Energético (INE y MEM):

- Diseñar líneas de financiamiento blando y programas institucionales de micro-crédito verde orientados específicamente a subsidiar la adquisición de materiales de aislamiento y micro-ecotecnologías de ventilación asistida para familias ubicadas en zonas marginales de alto estrés térmico.
- Flexibilizar las normativas técnicas de interconexión para micro-generación distribuida residencial, permitiendo esquemas simplificados de medición neta bilateral que incentiven la conversión sostenible del parque habitacional autoconstruido como una estrategia nacional de mitigación frente al cambio climático y la vulnerabilidad arancelaria (INE, 2026).

Otras recomendaciones:

Existen numerosos beneficios destacables asociados con tener una vivienda sostenible. En primer lugar, contribuye positivamente al medio ambiente al reducir tu huella de carbono y disminuir el consumo de recursos naturales. Además, se suelen generar ahorros a largo plazo en los costos de energía y agua gracias a la eficiencia de los sistemas implementados.

Las viviendas sostenibles también promueven la salud y el bienestar de sus habitantes. Al contar con una mejor calidad del aire interior y estar diseñadas para minimizar la exposición a productos químicos nocivos, se crea un ambiente más

saludable. Así mismo, fomentan un estilo de vida consciente y responsable, lo que puede generar una sensación de satisfacción y bienestar en los residentes al saber que están viviendo de manera más acorde con el medio ambiente.

Recomendaciones a Nivel Académico.

(Enfocadas en la continuidad de la investigación científica y la docencia).

Líneas de investigación en simulación energética continua: Se recomienda a las facultades de arquitectura e ingeniería promover tesis de grado que profundicen en el monitoreo térmico in situ post-intervención. Esto permitirá contrastar las simulaciones digitales con datos reales del comportamiento de los materiales propuestos en image.png.

Desarrollo de un catálogo local de materiales sostenibles: Incentivar desde la academia la creación de una base de datos científica sobre las propiedades térmicas específicas (conductividad, transmitancia) de los materiales alternativos locales disponibles en la región, facilitando la aplicación real de los criterios de ciclo de vida descritos en image.png.

Integración curricular del diseño pasivo: Proponer la actualización de los planes de estudio universitarios para que los criterios bioclimáticos, las estrategias pasivas y el análisis de islas de calor dejen de ser asignaturas electivas y se conviertan en ejes transversales obligatorios en los talleres de diseño arquitectónico.

Recomendaciones a Nivel Institucional.

(Enfocadas en la política pública, normativas nacionales como el INE, INVUR y gobiernos locales).

Actualización de Códigos de Construcción y Urbanismo: Exigir a las instituciones reguladoras de la vivienda que incorporen de forma obligatoria parámetros de diseño pasivo y aislamiento térmico en las bases de licitación de proyectos de interés social, evitando la replicación de modelos habitacionales genéricos que ignoran el clima local.

Vincular la Eficiencia Energética con Incentivos Fiscales: Proponer a los organismos gubernamentales competentes la creación de certificaciones ecológicas accesibles. Las viviendas unifamiliares que demuestren un uso eficiente y racional de la energía (por ejemplo, mediante la reducción documentada a rangos óptimos de consumo) deberían acceder de forma prioritaria a subsidios estables o exenciones arancelarias en materiales de construcción sostenibles.

Manuales de Autoconstrucción Bioclimática para Alcaldías: Recomendar a los gobiernos municipales la edición y difusión de guías técnicas sencillas basadas en esta investigación. Al ser la vivienda social un sector con alta tasa de ampliación progresiva, las municipalidades deben orientar a la población sobre cómo realizar anexos sin bloquear la ventilación cruzada natural ni los aleros calculados.

Planes de Mitigación de Isla de Calor Urbana: Instar a las oficinas de planificación urbana a implementar normativas que exijan el uso de techos reflectantes (pinturas frías) y cubiertas vegetales en las urbanizaciones.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRAE. (2020). Standard 55-2020: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Givoni, B. (2021). Man, Climate and Architecture (3rd ed.). Elsevier Science.

González, E., & Toruño, R. (2023). Análisis del comportamiento térmico de la vivienda popular en la zona del Pacífico de Nicaragua y propuestas de optimización [Monografía de grado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI.

Humphreys, M. A., Rijal, H. B., & Nicol, J. F. (2021). Adaptive Thermal Comfort: Foundations and Analysis. Routledge.

INETER. (2026). Base de datos climatológica histórica de la región del Pacífico de Nicaragua: Estación Managua. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales.

INE. (2026). Pliego tarifario del servicio público de distribución de energía eléctrica: Estructura de subsidios y cargos por consumo residencial. Instituto Nicaragüense de Energía.

INVUR. (2021). Guía de materiales y sistemas constructivos para la vivienda de interés social en Nicaragua. Instituto de la Vivienda Urbana y Rural.

ISO. (2019). ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. International Organization for Standardization.

López, M., & Silva, J. (2022). Evaluación del retrofit arquitectónico sobre el confort térmico en viviendas de interés social en climas cálidos-húmedos. Revista de Arquitectura y Eficiencia Energética, 14(2), 45-58.

Olgyay, V. (1963). Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. Princeton University Press.

Parsons, K. (1993). Human Thermal Environments: The effects of hot, moderate, and cold temperatures on human health, comfort, and performance. Taylor & Francis.

Ramírez, A. (2021). Estrategias pasivas de enfriamiento en la envolvente residencial para la reducción de la pobreza energética en el trópico [Tesis doctoral, Universidad Autónoma de México]. Repositorio Digital UNAM.

Roset, J. (2001). El confort ambiental en los espacios urbanos y arquitectónicos. Organización Mundial de la Salud (OMS) / Publicaciones de Arquitectura Sostenible.

Rybczynski, W. (1992). La confortabilidad en el espacio doméstico: Evolución e historia de la vivienda. Editorial Nerea.

Sánchez, J. A. (1997). Arquitectura, bioclimatismo y la sensación óptima del confort térmico. Editorial Gustavo Gili.

Szokolay, S. V. (2014). Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustai

University of California. (2024). Climate Consultant (Versión 5.4) [Software de simulación climática y diagramas psicrométricos].

Vitruvio Polión, M. (Siglo I d.C. / Reedición 2008). Los diez libros de arquitectura (Trad. J. Oliver Domingo). Editorial Alianza.

14. ANEXOS

Nota: Esta sección complementaria organiza y numera de forma secuencial las herramientas metodológicas, gráficos explicativos e instrumentos de recolección de datos utilizados en la investigación.

Anexo 1: Ficha Metodológica para el Cálculo del Tamaño de la Muestra.

Muestra el desarrollo matemático de la fórmula estadística aplicada para determinar la cantidad exacta de viviendas a encuestar en el Barrio 4 de abril, partiendo de una población total de N = 450 familias, un nivel de confianza del 95% (Z = 1.96), variabilidad de p = q = 0.5 y un margen de error del 17.22%:

- **Fórmula:**

$$n = \frac{Z^2 \cdot N \cdot p \cdot q}{E^2 \cdot (N-1) + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

- **Sustitución y resultado:**

$$n = \frac{(1.96)^2 \cdot 450 \cdot 0.5 \cdot 0.5}{(0.1722)^2 \cdot (450-1) + (1.96)^2 \cdot 0.5 \cdot 0.5} = 30 \text{ Encuestas}$$

Anexo 2: Esquema Conceptual de la Arquitectura Bioclimática.

Diagrama interrelacional que ilustra los pilares fundamentales del diseño bioclimático aplicados a la reconversión de la vivienda unifamiliar:

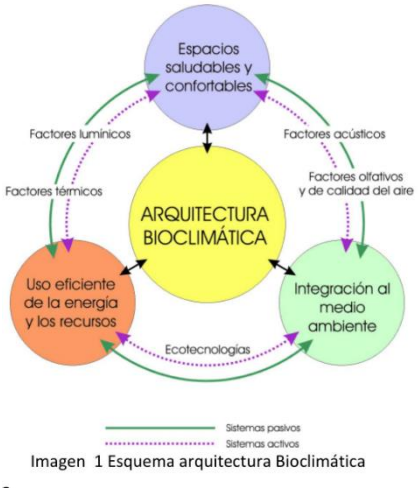


Imagen 1 Esquema arquitectura Bioclimática

Eje Superior: Espacios saludables y confortables (Factores lumínicos, térmicos, acústicos, olfativos y calidad del aire).

Eje Izquierdo: Uso eficiente de la energía y los recursos (Sistemas pasivos y activos).

Eje Derecho: Integración al medio ambiente mediante ecotecnologías.

Anexo 3: Carta Bioclimática y Estrategias de Diseño (Givoni).

Gráfico psicrométrico (analizado mediante el programa Climate Consultant 5.4) que delimita las zonas de confort para el clima tropical seco de Managua y define los requerimientos de sombreado de ventanas, ventilación cruzada protectora y la necesidad de aislamiento térmico de alta masa térmica nocturnoa

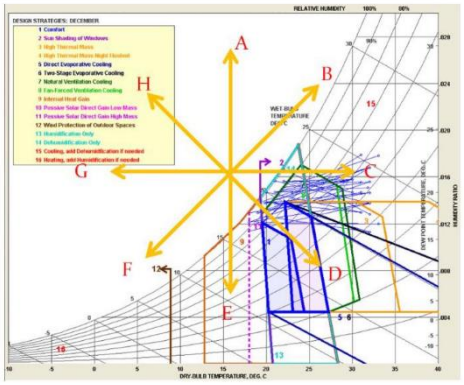


Imagen 2 Carta Bioclimática

Anexo 4: El Confort Térmico Humano y Balance Energético en la Vivienda.

Infografía explicativa que detalla los mecanismos de transferencia de calor entre el cuerpo humano y los componentes arquitectónicos de la vivienda (35% por convección a través del movimiento del aire, 34% por radiación de las superficies como el techo de zinc, y 24% por evaporación/sudación).

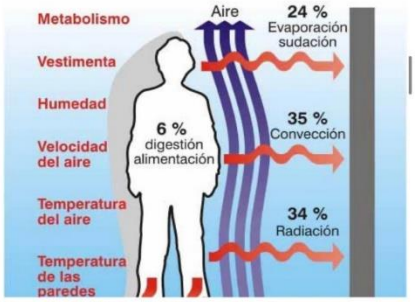
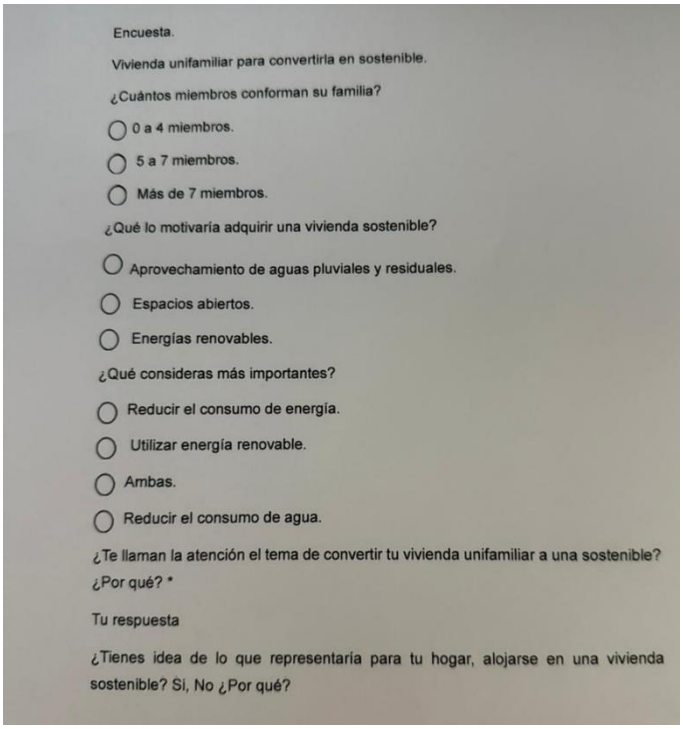


Imagen 3 Confort Térmico humano

Anexo 5: Modelo de Encuesta Estructurada Aplicada a la Población.

Cuestionario original de recolección de datos impreso y distribuido a los 30 jefes de familia seleccionados en el Barrio 4 de abril, diseñado para medir la estructura familiar, la percepción de la insatisfacción térmica interior y la disposición económica/educativa hacia las energías renovables.


Encuesta.

Vivienda unifamiliar para convertirla en sostenible.

¿Cuántos miembros conforman su familia?

- ◯ 0 a 4 miembros.
- ◯ 5 a 7 miembros.
- ◯ Más de 7 miembros.

¿Qué lo motivaría adquirir una vivienda sostenible?

- ◯ Aprovechamiento de aguas pluviales y residuales.
- ◯ Espacios abiertos.
- ◯ Energías renovables.

¿Qué consideras más importantes?

- ◯ Reducir el consumo de energía.
- ◯ Utilizar energía renovable.
- ◯ Ambas.
- ◯ Reducir el consumo de agua.

¿Te llaman la atención el tema de convertir tu vivienda unifamiliar a una sostenible? ¿Por qué? *

Tu respuesta

¿Tienes idea de lo que representaría para tu hogar, alojarse en una vivienda sostenible? Si, No ¿Por qué?

Anexo 6: Registro de Validación del Consumo Eléctrico Ex-Ante y Ex-Post.

Tabla de datos que contrasta el consumo de kWh y la facturación eléctrica de la vivienda prototipo seleccionada en el barrio, demostrando el impacto positivo tras un mes de la instalación del cielo raso de fibrocemento, el ventilador solar integrado y los paneles fotovoltaicos.

En Nicaragua, el pliego tarifario penaliza severamente el consumo que se acerca o supera los 150 kWh. Al lograr bajar a 78 kWh mediante estrategias pasivas de reconversión bioclimática (como aislamiento de techos y ventilación natural), la vivienda entra en el rango de 0 a 100 kWh. Esto otorga al usuario un doble impacto: una reducción neta del 46.2% en consumo físico y un alivio económico drástico al aplicar los subsidios de energía, comercialización y la exención total del IVA.

Indicador de Evaluación	Situación Inicial (Antes)	Parámetro Evaluado	Indicador Técnico Actual
Consumo Mensual (kWh)	145 kWh	Nuevo rango promedio de kWh	78 kWh/mes
Consumo Promedio Diario	4.83 kWh/día	Demanda Diaria Promedio	2.60 kWh/día
Condición Tarifaria (INE)	Tarifa Plena (Sin subsidio pleno)	Ubicación en Pliego INE	Bloque de 51 a 100 kWh
Costo Aprox. de Energía	Alto (Bloque 101-150 kWh)	Aplicación de Tarifa Social	Aplica 100%
Exención del IVA	No aplica	Impuesto al Valor Agregado	0% (Exento de IVA)



Anexo 7 Tabla #3

TABLA DE VARIABLES Y MEDICION				
Orden	**Variable**	**Rol en la investigación**	**Elementos de medición**	**Ejemplo claro y preciso**
1	Estrategias de conversión sostenible retrofit	Variable independiente principal. Es la intervención que se propone para modificar el comportamiento térmico de la vivienda.	Cielo raso aislante de fibrocemento, pintura reflectiva, extractores eólicos o solares, paneles	Instalar un cielo raso ventilado sobre la cubierta de zinc para reducir la entrada de calor
2	Transmitancia térmica de la envolvente	Variable técnica clave de diagnóstico. Permite conocer cuánta energía térmica atraviesa los muros y la cubierta.	Coeficiente U en W/m²K, conductividad térmica, espesor de materiales, resistencia térmica.	Medir el U de la cubierta de zinc antes y después del retrofit para verificar si disminuye la transferencia de calor
3	Temperatura operativa interior	Variable central de confort térmico. Indica la condición térmica real percibida en el espacio habitable.	Lecturas en °C, monitoreo horario con datalogger o termohigrómetro.	Registrar si la sala pasa de 35 °C a 29 °C luego de aplicar la propuesta
4	Humedad relativa interior	Variable complementaria del confort. Ayuda a interpretar el estrés térmico y la sensación de bochorno.	Porcentaje de HR medido en puntos interiores.	Si la humedad sube a 80%, el ambiente puede sentirse más pesado aunque la temperatura baje ligeramente
5	Velocidad del aire interior	Variable correctora del confort adaptativo. Favorece la disipación del calor corporal.	m/s, medición con anemómetro o registro de ventilación cruzada.	Abrir vanos opuestos para aumentar el flujo de aire de 0.2 a 1.0 m/s
6	Consumo de energía eléctrica	Variable dependiente económica. Mide el impacto del confort y de la intervención sobre el gasto del hogar.	kWh mensuales, facturación eléctrica, comparación ex ante y ex post.	Verificar si el consumo baja de 165 kWh a 145 kWh para mantenerse en la Tarifa Social
7	Costo marginal / ahorro económico	Variable de impacto financiero. Permite evaluar la viabilidad de la propuesta.	Córdobas por mes, ahorro estimado, periodo de retorno.	Calcular cuánto dinero se ahorra cada mes al disminuir el uso de ventiladores o aire acondicionado

Anexo 8 **Fuente: seranca.com**



La Madera es Uno de los materiales utilizados a lo largo de la historia de la construcción con múltiples utilidades.

Es uno de los materiales empleados para la obra que generan un menor impacto medioambiental, ya que durante su ciclo de vida es capaz de eliminar una gran cantidad de CO2.

Es necesario resaltar su capacidad aislante, puesto que permite ahorrar un 50% y 60% en el gasto de la calefacción y aire acondicionado.

Las construcciones sostenibles efectuadas con la madera, suelen realizarse más rápidamente y son bastantes económicas.

Anexo 9 **Fuente: espaciosnazaries.com**

El barro cocido es un material ecológico compuesto de arcilla previamente calentada a una temperatura inferior a 950ºC y posteriormente, sometida a tratamientos naturales.

Gracias al proceso de elaboración de este material, se consigue una baja radiactividad, una buena inercia térmica y conservar la higroscopicidad.



Anexo 10.

Fuente: espaciosnazaries.com

El bambú ha pasado de ser un material tradicional en muchas culturas a convertirse en uno de los protagonistas de la arquitectura ecológica moderna. Su rápida regeneración, resistencia y versatilidad lo posicionan como una alternativa real frente a materiales convencionales como el acero, el hormigón o la madera industrializada**.**



Anexo 11.

Fuente: Venturelli copenture.

Pannelli fibrocemento que contiene fibras

vegetales, hace parte de las composiciones para materiales de construcción, dentro

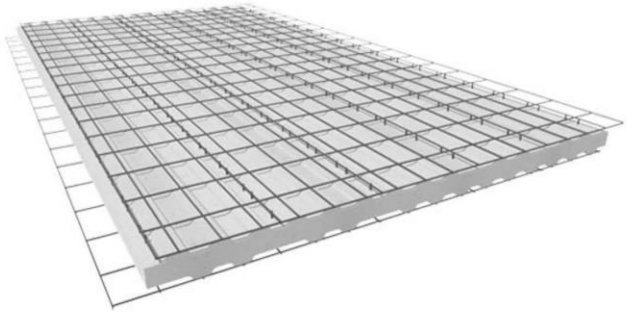
de la clase morteros que contienen aglutinantes orgánicos e inorgánicos que

además reciclan materiales celulósicos de procesos industriales.



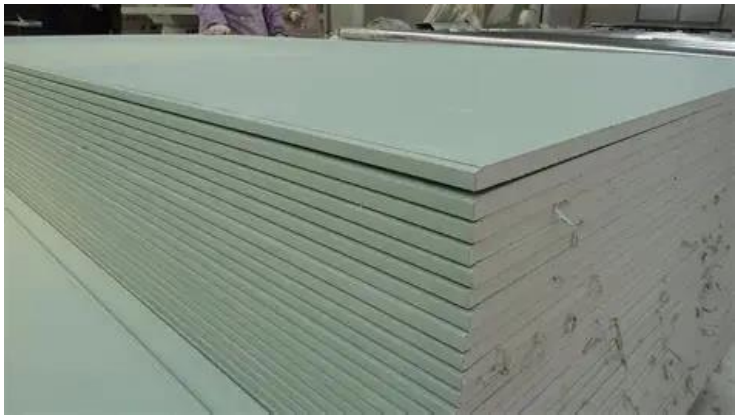
Anexo 12.

Es un producto diseñado con estructura tridimensional para utilizarlo en la construcción de muros de carga, preferentemente en viviendas. Ayuda en la reducción tiempos de ejecución de obra y a tener una vivienda más confortable para habitar.



Anexo 13.

Los paneles de yeso ayudan a mejorar la eficiencia térmica y acústica de los espacios, lo que reduce el consumo de energía en calefacción y aire acondicionado. Este aislamiento favorece construcciones más sostenibles y con mayor confort para los usuarios.



Anexo 14.



La fibra de vidrio es un material ideal para aislante de techo debido a sus propiedades únicas:

Resistencia térmica: Proporciona un excelente aislamiento térmico, ayudando a mantener las temperaturas internas estables y reduciendo el gasto energético.

Seguridad contra incendios: No es inflamable, lo que contribuye a la seguridad en caso de incendios.



Durabilidad: Es un material ligero y flexible, lo que permite una instalación fácil y estable.

Versatilidad: Se puede utilizar en techos, paredes y otros espacios, ofreciendo beneficios tanto térmicos como acústicos.

Ecológico: Fabricada con materiales reciclados, es una opción sostenible para la construcción.