

ESTRATEGIAS DE CONFORT INTEGRAL ADAPTABLES A LA VIVIENDA RURAL DE
CLIMA FRÍO



AUTOR

Carlos David Daza Nope

DIRECTOR TEMÁTICO

Leandro Hoyos Urrea

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE DISEÑO

MAESTRÍA EN DISEÑO SOSTENIBLE

BOGOTÁ, COLOMBIA

2021



Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the [license](#). [Advertencia](#).

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia](#).

Resumen

Dentro de esta investigación se analizaron las condiciones de bajas temperaturas, déficit de ventilación e iluminación natural en tres viviendas rurales localizadas en el municipio de Toca, Colombia (Coordenadas 5°36'30.9"N 73°07'37.7"W). Esta problemática ha sido una constante manifestación por parte de los habitantes de las mismas: población de la tercera edad.

La caracterización y análisis de los componentes: entorno, población y viviendas, el reconocimiento de la percepción térmica a través de entrevistas, la realización de un banco de estrategias potenciales y la simulación del comportamiento térmico, lumínico y olfativo en el software Design Builder de las mismas, determinarán el resultado de la investigación que tiene por objetivo identificar estrategias constructivas adaptables a la vivienda existente, para mejorar el bienestar en los habitantes.

Como resultado, se establecieron cinco estrategias constructivas adaptables a las viviendas existentes y aplicables al diseño de vivienda nueva; que mejoran el comportamiento térmico, lumínico y olfativo a los rangos de confort de la población en estudio y posibilitan aproximar las condiciones hacia un entorno saludable.

Palabras Clave

Vivienda rural – Adobe - Bienestar – Eficiencia – Estrategias constructivas

Abstract

This study analyzed the conditions of low temperatures, lack of ventilation and natural lighting in three rural houses located in the municipality of Toca, Colombia (Coordinates 5°36'30.9 "N 73°07'37.7 "W). This problem has been a constant manifestation by inhabitants of these houses, elderly population.

The characterization and analysis of the components: environment, population and housing, the recognition of the thermal perception through interviews, the realization of a bank of potential strategies and the simulation of thermal, lighting and olfactory behavior in the Design Builder software of the strategies, will determine the result of the research that aims to identify building strategies adaptable to existing housing, to improve the welfare of the inhabitants.

As a result, five construction strategies adaptable to existing housing and applicable to the design of new housing were established; which improve the thermal, lighting and olfactory behavior to the comfort ranges of the population under study and make it possible to bring the conditions closer to a healthy environment.

Keywords

Rural housing – Adobe – Wellbeing – Efficiency – Construction Strategies

Tabla de Contenido

1.	Introducción	16
2.	Planteamiento del Problema	17
2.1.	Descripción del Problema	17
2.2.	Pregunta problema	19
3.	Objetivos	20
3.1.	Objetivo General	20
3.2.	Objetivos Específicos	20
4.	Hipótesis	20
5.	Justificación	21
6.	Estado del Arte	22
7.	Marco Conceptual	29
8.	Metodología De La Investigación	32
9.	Fase Descriptiva	34
9.1	Localización	34
9.1.1.	Colombia	34
9.1.2.	Departamento de Boyacá	35
9.1.3.	Municipio de Toca	36
9.1.4.	Sector: Vereda Chorrera	37
9.1.5.	Viviendas	38
9.2.	Datos Climatológicos	40

9.2.1 Temperatura Exterior Promedio Anual	40
9.2.2. Humedad Relativa	40
9.2.3. Viento	41
9.2.3. Diagrama Solar: Ubicación Óptima	42
9.3. Población y Salud	43
10. Fase Analítica	45
10.1. Social	45
10.1.1. Entrevistas de Sondeo de percepción térmica	45
10.1.2. Rango de Confort	50
10.2. Medio Físico: Viviendas	52
10.2.1. Análisis de Espacialidad y Funcionamiento Arquitectónico	52
10.2.3. Análisis de Materialidad	56
10.2.4. Análisis de Comportamiento Térmico, Lumínico y de Ventilación Natural	58
11. Fase Experimental	61
11.1. Entrevistas Recolección de Información para Diseño	61
11.2. Banco de Estrategias Constructivas	63
11.2.1. Forma y Orientación	63
11.2.2. Zonificación Eficiente	78
11.2.3. Relación Ventana Pared Eficiente	83
11.2.4. Materialidad Eficiente	87
12. Fase Proyectiva	90

12.2. Evaluación de las estrategias constructivas sobre casos de estudio.....	95
13. Evaluación de Sostenibilidad	97
13.1. Impacto Ambiental.....	97
13.2. Impacto Social.....	98
13.3. Impacto Económico	99
13.4. Cuantificación de la Evaluación de Sostenibilidad.....	100
14. Resultados.....	103
14.1. Estrategia 1: Localización de la fuente de calor (estufa).....	105
14.2. Estrategia 2: Aumentar aislamiento en cubierta	106
14.3. Estrategia 3: Envolvente traslúcida.....	108
14.4. Estrategia 4: Aumentar aislamiento en piso	109
14.5. Estrategia 5: Aperturas/ ventanas estratégicas	111
15. Conclusiones.....	113
16. Referencias	117

Lista de Figuras

Figura 1. Análisis de clasificación del clima en Boyacá. Fuente: DANE Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda, 2018 & CAMACOL Clasificación Climática de Colombia, 2013. Modificado por el autor, 2020. CC BY-NC 4.0	16
Figura 2. Problema de investigación. Fuente: Elaboración propia, 2019. CC BY-NC 4.0.....	18
Figura 3. Árbol de problemáticas. Fuente: Elaboración propia, 2019. CC BY-NC 4.0	19
Figura 4. Fotografía de instalación del sistema de confort térmico para las viviendas del alto andino peruano. Fuente: Moncloa (2017). CC BY 4.0.....	27
Figura 5. Análisis de propuestas participantes del Concurso de Vivienda rural productiva. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	29
Figura 6. Metodología de la investigación. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	33
Figura 7. Mapa de caracterización climática de Colombia. Fuente: Google Maps (2020) & CAMACOL (2013) editado por el autor, 2020. CC BY-NC 4.0.....	34
Figura 8. Mapa de caracterización de Boyacá. Fuente: Google Maps (2020) & CAMACOL (2013) editado por el autor, 2020. CC BY-NC 4.0.....	35
Figura 9. Mapa de relieve Municipio de Toca. Fuente: Google Maps (2020) editado por el autor, 2020. CC BY-NC 4.0.....	36
Figura 10. Mapa del sector de viviendas caso de estudio. Fuente: Google Maps (2020) editado por el autor, 2020. CC BY-NC 4.0.....	37
Figura 11. Fotografía caso de estudio No. 1 Toca, Boyacá. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	38
Figura 12. Fotografía caso de estudio No. 2 Toca, Boyacá. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	39

Figura 13. Fotografía caso de estudio No. 3 Toca, Boyacá. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	39
Figura 14. Gráfica de temperatura exterior mensual y anual. Fuente: Meteonorm & Ecotect, 2019. CC BY-NC 4.0	40
Figura 15. Valores máximo y mínimo de humedad relativa anual. Fuente: Meteonorm & Ecotect, 2019. CC BY-NC 4.0	41
Figura 16. Frecuencia del viento anual 06:00 a 14:00. Fuente: Meteonorm & Ecotect, 2019. CC BY-NC 4.0	41
Figura 17. Frecuencia del viento anual 14:00 a 06:00. Fuente: Meteonorm & Ecotect, 2019. CC BY-NC 4.0	42
Figura 18. Diagrama estereográfico solar y ubicación óptima. Fuente: Meteonorm & Ecotect, 2019. CC BY-NC 4.0	43
Figura 19. Formato de votación de percepción térmica. Fuente: Elaboración propia, 2019. CC BY-NC 4.0	46
Figura 20. Gráfica de percepción térmica de los habitantes. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	47
Figura 21. Gráfica de preferencia térmica de los habitantes. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	48
Figura 22. Gráfica de percepción térmica y confort de los habitantes. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	49
Figura 23. Gráfica de aceptabilidad térmica de los habitantes. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	50
Figura 24. Rango de confort promedio mensual. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	52
Figura 25. Análisis de zonificación vivienda No. 1. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	53

Figura 26. Análisis de zonificación vivienda No. 2. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	54
Figura 27. Análisis de zonificación vivienda No. 3. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	54
Figura 28. Despiece de técnica constructiva. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	55
Figura 29. Detalle constructivo de las viviendas. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	56
Figura 30. Análisis de transmitancia en envolvente de las viviendas. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	57
Figura 31. Metodología de recolección de información para diseño. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	61
Figura 32. Evidencia de recolección de ideas de diseño 1 . Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	62
Figura 33. Evidencia de recolección de ideas de diseño 2. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	62
Figura 34. Evidencia de recolección de ideas de diseño 3. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	63
Figura 35. Figuras geométricas referencia bidimensional para la simulación. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	64
Figura 36. Análisis geométrico del hexágono. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	73
Figura 37. Referencia de zonificación eficiente No. 1 Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	78
Figura 38. Referencia de zonificación eficiente No. 2 Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	79

Figura 39. Referencia de zonificación eficiente No. 3 Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	80
Figura 40. Tabla comparativa de zonificaciones. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	81
Figura 41. Mapa de calor de las zonificaciones. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	81
Figura 42. Despiece de funcionamiento arquitectónico óptimo. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	82
Figura 43. Zonificación óptima. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	83
Figura 44. Comportamiento lumínico según relación ventana pared. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	84
Figura 45. Resultados de temperatura operativa y variación en RVP. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	85
Figura 46. Resultados de iluminación natural y variación en RVP. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	85
Figura 47. Resultados de renovaciones de aire y variación en RVP. Fuente: Elaboración propia. CC BY-NC 4.0	86
Figura 48. Porcentaje de horas dentro del rango de confort según relación ventana pared. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	87
Figura 49. Registro fotográfico viviendas aledañas a los casos de estudio. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	88
Figura 50. Porcentaje de horas dentro del rango de confort con fuente de calor. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	97
Figura 51. Esquema evaluación de sostenibilidad. Fuente propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	102

Figura 52. Fuente de calor en la vivienda. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	106
Figura 53. Sección de aislamiento cubierta propuesta. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	107
Figura 54. Envoltentes laterales de la vivienda modelo y casos de estudio. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	109
Figura 55. Aumento en aislamiento piso vivienda existente y propuesta. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	110
Figura 56. Aperturas estratégicas aplicadas a la vivienda. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	111
Figura 57. Simulación de iluminación natural del espacio social con aperturas propuestas. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	112
Figura 58. Visualización 3d con estrategias de confort integral. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	113
Figura 59. Sección del modelo con estrategias complementarias de eficiencia energética, hídrica y productiva. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	116

Lista de Tablas

Tabla 1. Análisis del comportamiento térmico, lumínico y de ventilación natural de habitaciones. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	59
Tabla 2. Análisis del comportamiento térmico, lumínico y de ventilación natural de sala-comedores. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	60
Tabla 3. Análisis del comportamiento térmico, lumínico y de ventilación natural de cocinas. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	60
Tabla 4. Resultados simulación anual de forma y orientación modelo 1 y modelo 2. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	65
Tabla 5. Resultados simulación anual de forma y orientación modelo 3 y modelo 4. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	66
Tabla 6. Resultados simulación anual de forma y orientación modelo 5 y modelo 6. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	67
Tabla 7. Resultados simulación anual de forma y orientación modelo 7 y modelo 8. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	68
Tabla 8. Resultados simulación anual de forma y orientación modelo 9 y modelo 10. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	69
Tabla 9. Resultados simulación anual de forma y orientación modelo 11 y modelo 12. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	70
Tabla 10. Resultados simulación anual de forma y orientación modelo 13 y modelo 14. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	71
Tabla 11. Tabla comparativa de forma y orientación de las figuras. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	72
Tabla 12. Resultados de simulación de cubiertas modelo 1, 2, 3 y 4. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	74

Tabla 13. Resultados de simulación de cubiertas modelo 5, 6, 7 y 8. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	75
Tabla 14. Resultados de simulación de cubiertas modelo 9, 10, 11 y 12. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	76
Tabla 15. Tabla de comparativos de modelos de cubierta. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	77
Tabla 16. Resultados de temperatura operativa y variación en RVP. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	84
Tabla 17. Resultados de iluminación natural y variación en RVP. Fuente: Elaboración propia. CC BY-NC 4.0	85
Tabla 18. Resultados de renovaciones de aire y variación en RVP. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	86
Tabla 19. Incidencia de la materialidad en el confort térmico. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	89
Tabla 20 Resultados de simulación modelado No. 1. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	91
Tabla 21 Resultado de simulación modelado No. 2. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	92
Tabla 22 Resultado de simulación modelado No. 3. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	93
Tabla 23 Resultados de modelo final. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	94
Tabla 24. Incidencia de horas dentro del rango de confort y evaluación de estrategias en vivienda No. 1. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0.....	95
Tabla 25. Incidencia de horas dentro del rango de confort y evaluación de estrategias en vivienda No. 2. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	96

Tabla 26. Incidencia de horas dentro del rango de confort y evaluación de estrategias en vivienda No. 3. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0	96
Tabla 27. Evaluación de sostenibilidad ambiental, social y económica de la propuesta y línea base. Fuente propia, 2020. CC BY-NC 4.0	101
Tabla 28. Cálculo de la incidencia en el confort térmico de las estrategias. Fuente: Elaboración propia, 2021. CC BY-NC 4.0	103
Tabla 29. Estrategias adaptativas de confort integral para las viviendas existentes. Fuente: Elaboración propia, 2021. CC BY-NC 4.0	104

1. Introducción

El proceso de urbanización en Colombia y la migración hacia las ciudades, desde mediados del siglo XX han generado ciertos paradigmas de desarrollo, que surgen desde el punto de vista sostenible y cuidado del medio ambiente. Gracias a estos, se han reemplazado materiales y técnicas locales por elementos que, a primera vista, tienen un impacto económico más bajo, sin tener en cuenta los impactos ambientales y sociales.

En los contextos rurales este cambio de paradigmas, ha permitido que muchas familias puedan acceder al derecho a la vivienda, pero debido a la ausencia de conocimientos técnicos y economización en algunos materiales, estas construcciones no alcanzan a satisfacer todos los ítems que configuran una vivienda confortable.

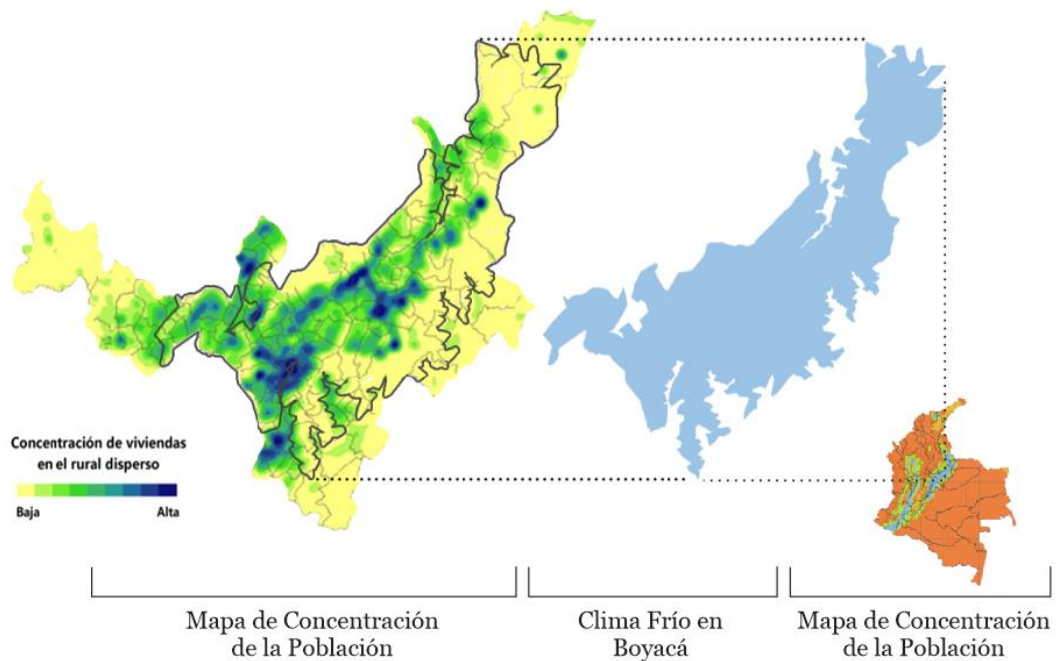


Figura 1. Análisis de clasificación del clima en Boyacá. Fuente: DANE Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda, 2018 & CAMACOL Clasificación Climática de Colombia, 2013. Modificado por el autor, 2020. CC BY-NC 4.0

En Boyacá, el 57% del área total del territorio está catalogada como clima frío según la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL, 2013), adicional a esto, según el censo de vivienda y población del 2018 realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2014); dentro de esta clasificación climática, se encuentra la mayor concentración de viviendas y población. Debido a esta situación, la población ha edificado sus viviendas con base en pautas que contribuyen al discomfort integral; en este caso: deficiente iluminación natural, bajas tasas de renovación de aire y temperaturas fuera del rango, lo cual afecta el normal desarrollo, bienestar y productividad de la población rural del departamento.

Con base en lo expuesto anteriormente, esta investigación busca indagar en soluciones constructivas y de diseño adaptables a las edificaciones existentes, que influyan positivamente en el comportamiento térmico, lumínico y olfativo, suministrando condiciones saludables y benéficas a los habitantes, en su mayoría de la tercera edad, sin generar alteraciones significativas en el equilibrio del ecosistema. La investigación está dividida en fases metodológicas que buscan descomponer los elementos que conforman las viviendas (técnica constructiva, forma, materialidad, funcionamiento) e indagar en algunos factores necesarios de la población (percepción de los espacios, escenario ideal), para luego, experimentar y evaluar a partir de un banco de estrategias potenciales qué elementos brindan un comportamiento eficiente en los aspectos requeridos para lograr un entorno saludable.

2. Planteamiento del Problema

2.1. Descripción del Problema

Los habitantes de las zonas rurales y apartadas del departamento de Boyacá, caso específico: el municipio de Toca, han construido sus viviendas con base en conocimientos propios, utilizando materiales locales y otros recursos industrializados de fácil

consecución. Como resultado, han obtenido edificaciones con ciertos déficits relacionados al confort lumínico, de aire y térmico; que son evidenciados por sus residentes en diferentes momentos del día.



Figura 2. Problema de investigación. Fuente: Elaboración propia, 2019. CC BY-NC 4.0

La población afectada, está representada en su mayoría por personas de la tercera edad quienes son más susceptibles a las afectaciones en el confort térmico, lumínico y olfativo debido a sus necesidades especiales causadas por la avanzada edad.

La siguiente gráfica indica la identificación de la problemática principal de la investigación:

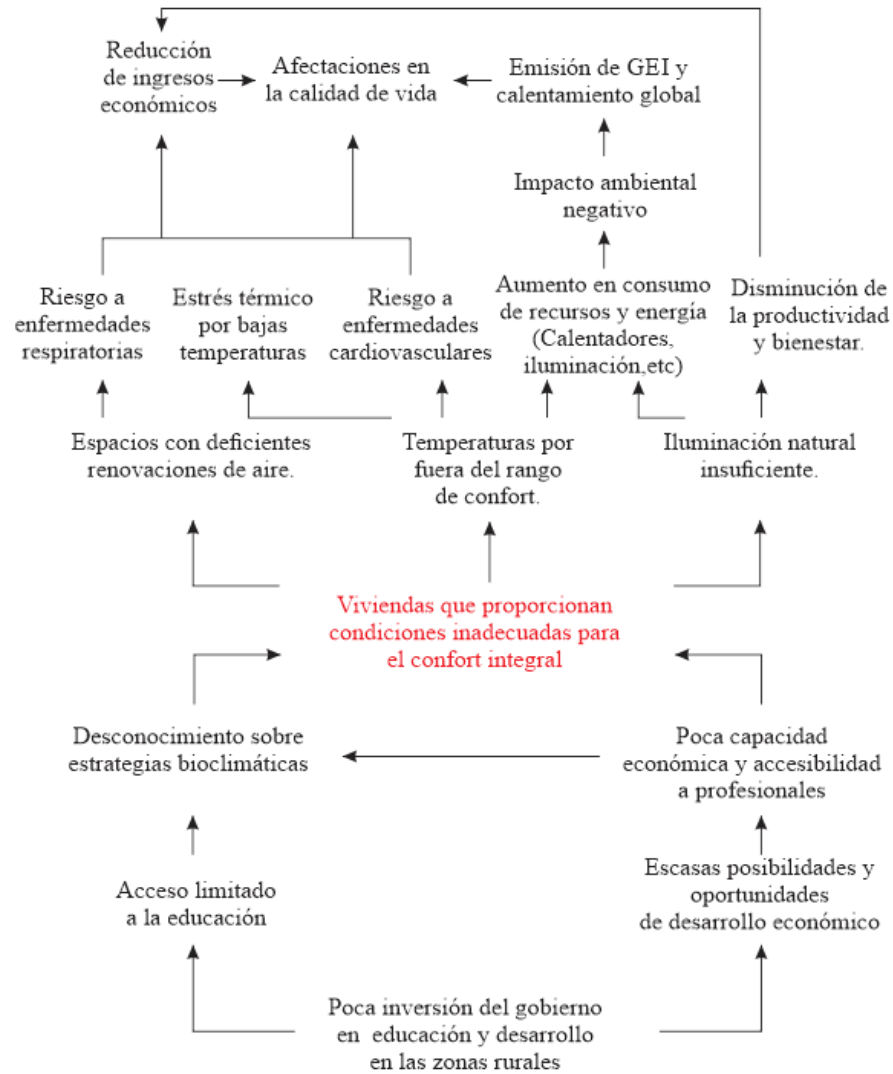


Figura 3. Árbol de problemáticas. Fuente: Elaboración propia, 2019. CC BY-NC 4.0

2.2. Pregunta problema

¿Qué estrategias constructivas pueden mejorar el bienestar para los habitantes de tercera edad en las viviendas rurales de clima frío?

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Identificar estrategias constructivas adaptables a las viviendas rurales que contribuyan al bienestar integral de los habitantes de tercera edad.

3.2. Objetivos Específicos

- Analizar las condiciones físicas del entorno y las características de las viviendas que influyen en el discomfort integral.
- Generar un banco de estrategias constructivas experimentales con posible potencial de brindar confort integral.
- Elaborar modelos digitales a partir de las estrategias potenciales.
- Evaluar a través de simulaciones digitales las estrategias constructivas que generan confort integral aceptable para la población.

4. Hipótesis

1. Las viviendas rurales tomadas como casos de estudio, se edificaron bajo el concepto de resguardo básico; con materialidades y técnicas prácticas para la construcción, en consecuencia, las viviendas no generan condiciones aceptables para ser edificaciones que brinden un comportamiento lumínico, térmico y olfativo apropiado para la población de la tercera edad.

2. Información apropiada en técnicas constructivas que mejoren el comportamiento térmico, lumínico y olfativo para los habitantes de las viviendas en estudio, puede proveer una herramienta eficaz para adecuar los espacios a entornos saludables.

5. Justificación

Los procesos constructivos que se desarrollaron en las zonas rurales del municipio, son el producto de la suma de técnicas vernáculas en tierra; para este caso, el adobe y materiales industrializados de bajo costo como son las cubiertas en fibrocemento, los bloques de arcilla y el cemento. El concepto de fusionar estos recursos, surge de la practicidad, rendimiento y bajo esfuerzo, sin tener en cuenta la externalización de los costos económicos, ambientales y escenarios futuros de inconformidad en el comportamiento térmico, lumínico y el entorno saludable. Estas variaciones de temperatura y confort, tienen una relación directa con el bienestar de las personas, así como lo cita Mondelo (2004):

Un ambiente térmico inadecuado causa reducciones de los rendimientos físico y mental, y por lo tanto la productividad; provoca irritabilidad, incremento de la agresividad, de las distracciones, de los errores, incomodidad al sudar o temblar, aumento o disminución de la frecuencia cardiaca, etc (p.11).

En este sentido, el confort térmico, lumínico y olfativo constituyen un factor de relevancia social para la sostenibilidad en un Departamento como Boyacá, teniendo en cuenta el porcentaje de clasificación de clima frío de acuerdo con CAMACOL (2013).

Según el DANE (2014), un 42% de la población reside en el rural disperso y un 11,4% pertenece al grupo de edad mayor a 65 años, cifras que catalogan al departamento con una importante cantidad de habitantes en las ruralidades, que requieren atención y protagonismo. Según el Censo nacional agropecuario realizado por el DANE (2014), un 25,5% de las viviendas correspondientes al rural disperso, están construidas en tierra (adobe, tapia pisada, bahareque), recurso local que amerita difusión e inclusión dentro de las prácticas actuales, pues es un material que tiene bajo impacto ambiental y sustenta culturalmente la construcción con base en la arquitectura vernácula.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se pueden estimar que en Boyacá existen más de 35 mil viviendas bajo estas precariedades, haciéndose necesario plantear estrategias constructivas adaptables a las viviendas existentes, con las cuales las personas puedan modificar sus viviendas a entornos con características saludables, que contemplen las particularidades de la población y los factores de construcción más eficientes.

Por tanto, es importante analizar las condiciones físicas y ambientales del territorio, como el clima y las características de la tipología de vivienda, para hallar los elementos que tienen una mayor incidencia en las condiciones inconfortables de las viviendas, además de indagar en la percepción de la población sobre la problemática como una propuesta ideológica. Asimismo, se pretende verificar la efectividad de las estrategias a través del software Design Builder sobre los modelos de las viviendas existentes.

6. Estado del Arte

La revisión de distintas documentaciones e investigaciones, presenta una contextualización y acercamiento sobre los conceptos que aborda el tema: confort, vivienda tradicional, vivienda rural y sostenibilidad con la finalidad de tener un acercamiento y contextualización más profundo en el objeto de la investigación.

Comprender la vivienda rural con el conjunto de aspectos que la componen es el primer paso, así como lo menciona Sánchez (2010) “La vivienda rural es un espacio construido, con una parte interna y otra externa. Por las actividades agropecuarias que realiza la familia, la vivienda se encuentra inmersa en ecosistemas naturales que cultiva, conserva, transforma o deteriora” (p. 175). La vivienda rural no es únicamente el espacio interior construido y el ambiente allí generado, también constituye una alteración en el entorno en la que está implantada y por tanto debe ser objeto de análisis y atención para el desarrollo de la investigación.

En el contexto colombiano, la población rural ha padecido diferentes problemáticas, que comprenden desde aspectos sociales, hasta dinámicas económicas; estas, se han resuelto en movilizaciones y cambios demográficos entre lo rural y lo urbano. Una de las principales causas que se puede destacar, es la falta de atención por parte de los entes gubernamentales con la población de zonas rurales.

Durante los años 30 se han expedido gran número de normativas para la conservación del campo en el área de la vivienda, muchas, sin aplicabilidad y sin cohesión unas con otras, hacen que el campo siga siendo poco rentable frente a la producción industrial de las ciudades (García, 2018, p. 56)

La ruralidad es una zona que requiere principal atención, y no solo gubernamental, sino desde otras dimensiones como las instituciones de educación e investigación. Esto traducido a cifras del porcentaje de población rural en Colombia, implicó una reducción del 30,519% en 1990 a 19,22% al año 2018 según cifras del Banco Mundial (2020). La población rural se ha mantenido bajo un estado de abandono, por tal, casi todos los procesos de infraestructura y construcción han surgido de una forma autónoma, los campesinos han tenido que construir sus viviendas, sus vías, y toda la infraestructura necesaria para el desarrollo de una vida digna. De esta forma, es como a través de la necesidad, surge la creatividad para dar resolución a estas.

La Constitución Política de Colombia (2010) relaciona y conceptualiza la vivienda como un elemento de vital y primordial atención, y cita a través del artículo 51 lo siguiente:

Todos los colombianos tienen derecho a vivienda digna. El estado fijará las condiciones necesarias para hacer efectivo este derecho y promoverá planes de vivienda de interés social, sistemas adecuados de financiación a largo plazo y formas asociativas de ejecución de estos programas de vivienda (p. 31).

Los procesos constructivos de vivienda en los sectores rurales, surgieron de la mano del suelo; el papel de la tierra en la fabricación de materiales para la construcción de viviendas ha sido crucial, “continúa como una de las únicas alternativas para construcción de la población excluida del mercado formal de vivienda: por lo general los que viven en las periferias de las ciudades y en el campo” (Neves, 2011, p. 9), constituyendo así, con la tierra cruda, un elemento esencial para la construcción de vivienda campesina, junto con otros materiales industrializados y más ligeros para pisos, cubiertas, muros, etc.

De esta manera, es como se desarrollan edificaciones híbridas resultado de la facilidad, practicidad y economía de sus habitantes pero que, en ocasiones, y bajo condiciones específicas pueden presentar problemáticas de discomfort térmico, tal y como lo cita el autor: “con la evolución tecnológica de la construcción, se ha llegado en la actualidad a la utilización de materiales ligeros en los cerramientos, que han hecho sobresalir los problemas térmicos y acústicos” (Rougeron, 1977, p. 13).

Otros autores citan temas en los que el confort térmico solo constituye una parte; se comienza a tener en cuenta la calidad interior de los espacios en temas de índices ambientales y así como lo cita Czajkowski et al. (1999):

En los últimos años el concepto de confort ha evolucionado entendiéndose la calidad del producto edilicio como la conjunción de las propiedades y características del mismo que deben satisfacer las exigencias de sus ocupantes, pero donde la mayor importancia la posee la calidad ambiental que comprende el confort higrotérmico, acústico, olfativo y visual del ocupante del edificio (p.13).

La satisfacción de las personas en los espacios se podría encerrar en el concepto de confort térmico, pues la comodidad de estas, no solo se reduce a la percepción del sentido del tacto, sino de otros órganos como la vista, el olfato y el oído los cuales debería estructurar ambientes saludables, así como es mencionado por otros autores como Zarza et al. (2019):

El cuerpo humano como ente biológico se integra por una gran cantidad de bio-sensores que activan diferentes reacciones y repuestas en el organismo. La sensación de confort dependerá de la calidad de los estímulos, los cuales no siempre son percibidos por los sentidos, o no se es consciente de ello. Y estos a su vez inciden de manera importante en la salud (p. 36).

En concordancia con la cita anterior, la exploración sensorial y la interacción del cuerpo con el espacio influye en el rendimiento, productividad y sobre todo en la salud; la mayoría del tiempo de nuestra existencia, ocurre dentro de las viviendas, según Ranson (2002): “pasamos y estimamos dos tercios de nuestra vida dentro del hogar y sus alrededores inmediatos. La salud de cada ocupante está potencialmente en riesgo por un entorno de vivienda insalubre o no saludable” (p. 12). Por tal razón, el entorno debe adaptarse a las condiciones de las personas, permitir que convivan con los espacios sin alterar los sentidos; recrear un ambiente térmicamente amable, permitir el paso de la iluminación y ventilación natural suficiente.

En una escala internacional, existen estándares que establecen indicadores convenientes para comparar el comportamiento de las edificaciones existentes y futuras. La calidad del aire interior puede evaluarse a través de lo dispuesto por la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado ASHRAE (2007) en el estándar ASHRAE 62.1; el cual establece un mínimo rango de ventilación

natural por espacio que garantizará una calidad aceptable de aire para los ocupantes y la Asociación Colombiana de Acondicionamiento del Aire y de la Refrigeración ACAIRE que fija indicadores diferentes y su cumplimiento proporciona:

Mantener una calidad del aire interior aceptable, en los locales ocupados por las personas, eliminando los contaminantes que se produzcan de forma habitual durante el uso normal de los mismos, aportando un caudal suficiente de aire exterior y garantizando la extracción y expulsión del aire viciado (ACAIRE, 2017, p. 19).

El contexto normativo del confort térmico está basado de acuerdo al Instituto Colombiano de Normas Ambientales y Certificación ICONTEC, a través de la norma NTC 5316 que data sobre las condiciones ambientales térmicas de inmuebles para personas y “especifica las combinaciones de factores personales y ambientales en espacios interiores, que producirán condiciones ambientales térmicas aceptables para el 80% o más de los ocupantes dentro de un espacio” (ICONTEC, 2004, p. 1). Algunos de los parámetros de temperatura, radiación térmica, humedad y velocidad del aire inscritos en la norma tendrán un criterio de evaluación en el desarrollo de la investigación, pues se considera importante conocer el rango de confort térmico para la población específica.

Algunas investigaciones sobre el confort térmico en las edificaciones para el clima tropical frío, infieren en la falta de políticas, investigación y conocimiento del tema; en algunas construcciones la ligereza en la envolvente ocasiona un comportamiento irregular de las temperaturas y, por tanto, situaciones de discomfort. Según Rodríguez et al (2019) la problemática en algunos proyectos de vivienda social ubicados en Bogotá se resume en la monocapa de la fachada, y por tanto proponer el aumento de la masa térmica con cartón de yeso que tuvo como resultado un incremento del 1,09°C promedio durante el día, y una

segunda estrategia mejorando $2,14^{\circ}\text{C}$ a partir de una segunda ventana interior para la creación de una cámara de aire.

La importancia de los recursos desechados dentro de su contexto pueden influir en la solución de problemáticas como es el caso de la vivienda del alto andino peruano, donde las condiciones climáticas sugieren soluciones al frío de emergencia, y los estudiantes de arquitectura a través de un taller práctico, han implementado un panel a partir de botellas plásticas para aumentar la masa térmica de las cubiertas, debido a las filtraciones que impiden la conservación de calor, y como resultados, han logrado aumentar de 5 a 6°C la temperatura interior de las viviendas.



Figura 4. Fotografía de instalación del sistema de confort térmico para las viviendas del alto andino peruano. Fuente: Moncloa (2017). CC BY 4.0

En el contexto nacional, el concurso Vivienda rural productiva en Colombia, organizado por la Sociedad Colombiana de Arquitectos para el Sumapaz en el año 2019, permite analizar la interpretación realizada por los participantes para la vivienda rural de clima tropical frío. Dentro de un análisis de las propuestas del concurso, se puede destacar las zonificaciones compactas, donde se agrupan las zonas privadas de las habitaciones, los espacios de servicios y las zonas productivas en volumetrías ajustadas con la finalidad de

no perder ganancias térmicas; se opta por la proporcionalidad en los espacios para generar elementos casi modulares sobre todo en las habitaciones y se tiene especial atención en el crecimiento progresivo de la vivienda.

En general, los volúmenes buscan aislarse del suelo para conservar el calor, mientras las obtienen a través de la incidencia solar prolongando sus volúmenes por el eje norte-sur como es el caso de la propuesta BZ7, o aumentando el área de fachada sobre las orientaciones oriente y occidente como los proyectos 9P3 y RZ5. Otros proyectos, basan su orientación teniendo en cuenta el confort lumínico como la propuesta 3VD que establece una fachada transparente sobre la orientación sur y como herramienta para generar confort térmico, propone como núcleo de calor la cocina.

A un nivel técnico, se proponen cerramientos compuestos con elementos radiantes como el aluminio o láminas de zinc, con elementos de mayor masa para retardar el paso de calor al interior como la madera. Las cubiertas y las transparencias o ventanas poseen doble vidrio y cámara de aire para contener el calor y no permitir el paso del aire exterior. En la figura No. 5 se puede observar el análisis espacial junto con las circulaciones de las propuestas:

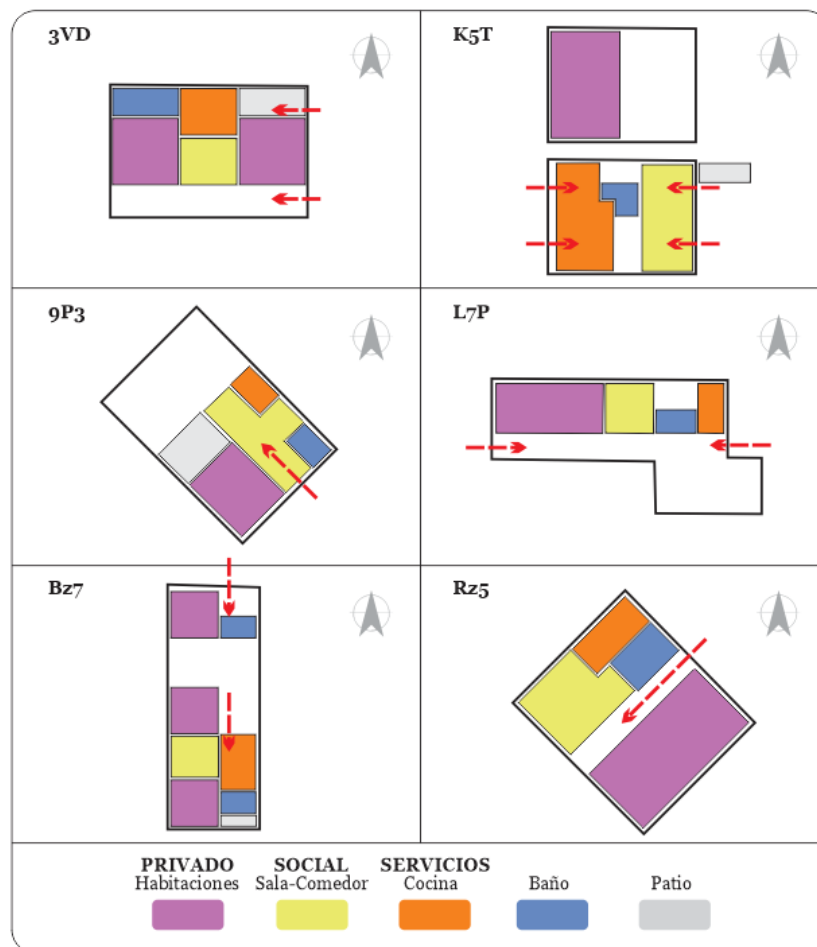


Figura 5. Análisis de propuestas participantes del Concurso de Vivienda rural productiva. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

7. Marco Conceptual

El panorama de la investigación inicia con el **confort climático en Colombia**; el contexto del clima exterior y su representación con el bienestar. “El factor climático facilita o reduce el desarrollo eficiente de las actividades que realiza el humano. Es por eso que el confort climático o confort térmico integra variables como la temperatura, la radiación, la precipitación y la humedad” (Pabón, 2001, p. 86). Un análisis de las estaciones meteorológicas instaladas en Colombia (296) indicaba que para el año 1999, únicamente el 19% estaban dentro de un rango de confort establecido dentro de los 18°C y los 23°C. Estas

cifras representan un reto importante para la arquitectura en Colombia, pues, desde las edificaciones deberán contribuir a un buen comportamiento térmico para comodidad de los ocupantes, así, como la reducción en costos de energía.

Las condiciones térmicas de los lugares inciden en el rendimiento y productividad de las personas; si bien es cierto, los climas cálidos provocan cambios fisiológicos en el cuerpo como sudoración excesiva, calambres, etc. En condiciones de frío el cuerpo también sobrelleva alteraciones; como lo citan algunos autores:

Si por el contrario, el flujo de calor cedido al ambiente es excesivo, la temperatura del cuerpo desciende y se dice que existe riesgo de **estrés por frío**. Se generan entonces una serie de mecanismos destinados a aumentar la generación interna de calor y disminuir su pérdida, entre ellos destaca el aumento involuntario de la actividad metabólica (tiritera) y la vasoconstricción. La tiritera implica la activación de los músculos con la correspondiente generación de energía acompañada de calor (Luna, 1999, p. 1).

En concordancia con lo anterior, la variación de las temperaturas es un factor que incide de manera directa en la salud humana, las viviendas y entornos que componen el ciclo de vida de las personas, deberían comprender una dimensión saludable, sobre todo en contextos de poblaciones vulnerables. Según Ballester (1996) la variación de temperatura, aspectos sociodemográficos como la avanzada edad y las condiciones de la vivienda son factores importantes en el aumento de los índices de mortalidad; pues tienen impactos negativos en el sistema circulatorio y respiratorio.

La arquitectura y el diseño deben contemplar entre sus necesidades y conceptos el brindar además de espacios estéticos y funcionales, espacios que sean saludables; donde las actividades humanas y metabólicas no se vean alteradas y, por el contrario, se pueda incluso manifestar una mayor productividad y bienestar.

Para desarrollar un proceso investigativo hay que conocer conceptos técnicos como el **aislamiento térmico** que es la característica que poseen los materiales para aislar las pérdidas de energía térmica. Según Rougeron (1977):

Un aislante térmico deberá ofrecer una buena resistencia a la transmisión de calor, además de poseer las siguientes características: Incombustibilidad o por lo menos no inflamabilidad, buena resistencia mecánica, ausencia de propiedades corrosivas para los materiales con los que el aislante está en contacto, estabilidad física y química: ausencia de dilatación excesiva al calor, resistencia de diversos agentes de destrucción: humedad u oxidación, flexibilidad o rigidez según la estructura portante y estética si el producto queda visto (p. 53).

Involucrar a los residentes en el proceso de idealizar y proyectar los entornos, es una herramienta necesaria para obtención de resultados sostenibles, además, puede influir en la generación de economía de acuerdo al desarrollo de técnicas, así como lo cita el autor:

El **diseño participativo** no ignora lo que existe; no parte de un papel en blanco sino de un diagnóstico integral georreferenciado, es decir, se analizan las diferentes actividades, sus interacciones y su relación con el territorio. De allí que la economía de subsistencia, de solidaridad o productiva que desarrollan amplios sectores fuera de los mercados (Enet, 2012, p. 231).

Otros autores, han conceptualizado las características anteriores como vivienda bioclimática. La vivienda abarca múltiples facetas en donde la necesidad de protección no es la única, así como lo menciona Víctor Olgyay (1968) “la vivienda es el principal instrumento para llenar los requisitos de confort, modificando el medio natural, para acercarse a las condiciones óptimas de la vida” (p. 25), complementa el hecho, de que

nuestro entorno habitable, requiere satisfacer nuestros requerimientos biológicos de confort térmico, visual y respiratorios.

8. Metodología De La Investigación

La investigación se llevará a cabo a partir de la descomposición de los elementos que hacen parte del entorno donde están implantados los componentes de estudio; en este caso la población, la infraestructura y el ecosistema, estos serán ejes fundamentales de las fases metodológicas: descriptiva, analítica, experimental y proyectiva.

Fase Descriptiva: La primera fase se enfoca en mencionar y describir las propiedades que posee el contexto de la problemática: la caracterización de la población estudio, la tipología de vivienda y el entorno natural (ecosistema y componentes climáticos) con base en revisiones documentales.

Fase Analítica: Teniendo en cuenta el conocimiento de los elementos de la fase anterior, se procede a desglosar cada eje de investigación a partir de actividades específicas como: análisis de los indicadores demográficos, recolección de información sobre la percepción de confort en la población a través de entrevistas estructuradas; modelado y simulación de las viviendas tomadas como casos de estudio para el respectivo análisis del funcionamiento arquitectónico, comportamiento térmico, lumínico y olfativo, materialidad (recursos locales) y técnica constructiva.

Fase Experimental: Con base en la información obtenida en las fases anteriores, se continúa con la realización de simulaciones de acuerdo al banco de estrategias potenciales (materialidad - forma - orientación - funcionamiento) a través del software Design Builder, para identificar cuál de estas posee mejor comportamiento térmico y es eficaz para la satisfacción de los aspectos lumínicos y de renovaciones de aire para la vivienda rural. Respecto del componente demográfico se propone la inclusión de la población a través de

entrevistas no estructuradas para la recolección de información para el diseño, con la finalidad de acercar las propuestas a resultados con características locales.

Fase Proyectiva: De acuerdo a los modelados y simulaciones realizadas en la fase anterior, se realiza una evaluación e identificación de las estrategias constructivas que proporcionan un mejor comportamiento térmico, lumínico y de ventilación natural. A partir de los resultados se elabora una propuesta que sintetice el planteamiento comprendido desde la población y las características constructivas desarrolladas.

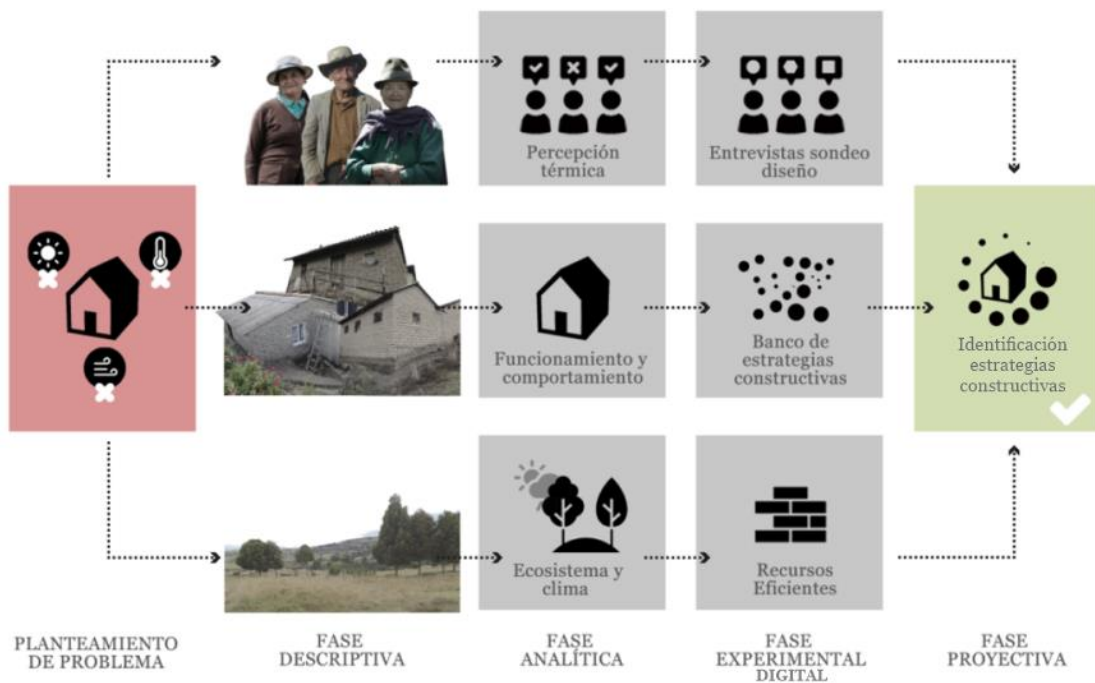


Figura 6. Metodología de la investigación. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

9. Fase Descriptiva

9.1 Localización

9.1.1. Colombia

La investigación inicia con la caracterización del municipio en Colombia, un país que, debido a su ubicación en el mundo, sus accidentes geográficos, el océano Pacífico y Atlántico en sus costas, además de sus montañas, contiene y posee la oportunidad de presenciar gran variedad de climas. Las mayores variaciones climáticas y sobre todo bajas temperaturas, se evidencian en las zonas montañosas, caso específico y de estudio: el departamento de Boyacá, que se ubica sobre la cordillera oriental en una de sus altitudes mayores y que, según la caracterización dada por el Ministerio de vivienda, es un departamento donde predomina el clima frío.

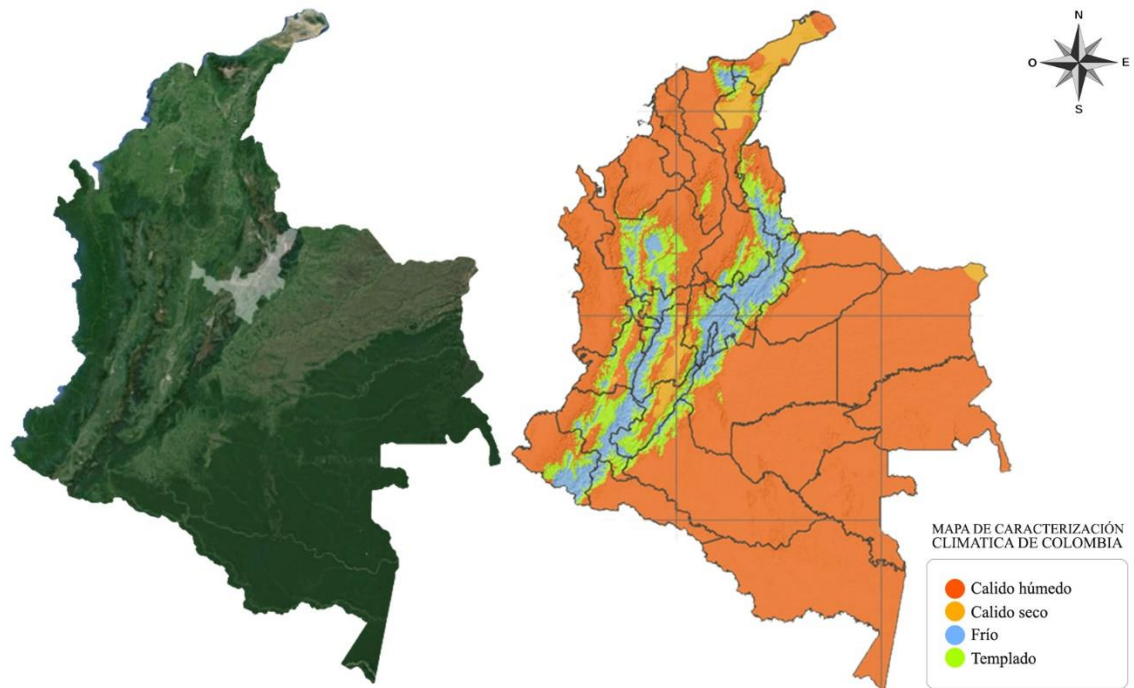


Figura 7. Mapa de caracterización climática de Colombia. Fuente: Google Maps (2020) & CAMACOL (2013) editado por el autor, 2020. CC BY-NC 4.0

9.1.2. Departamento de Boyacá

El departamento de Boyacá se ubica en la zona de mayor ensanchamiento de la cordillera oriental que atraviesa el departamento de sur a norte, generando distintos accidentes geográficos que sobrepasan los 1000 msnm. Boyacá, además, se divide en diferentes regiones (Zona cordillerana, altiplano boyacense, piedemonte llanero y planicie del valle del Magdalena) y algunas subregiones que conforman todos los pisos biotérmicos proporcionando grandes ventajas para el desarrollo económico, industrial y comercial (Gobernación de Boyacá, 2012).

El municipio de Toca se localiza sobre la región del altiplano boyacense, ubicado dentro del piso biotérmico frío con temperaturas que varían entre los 12°C y 18°C.

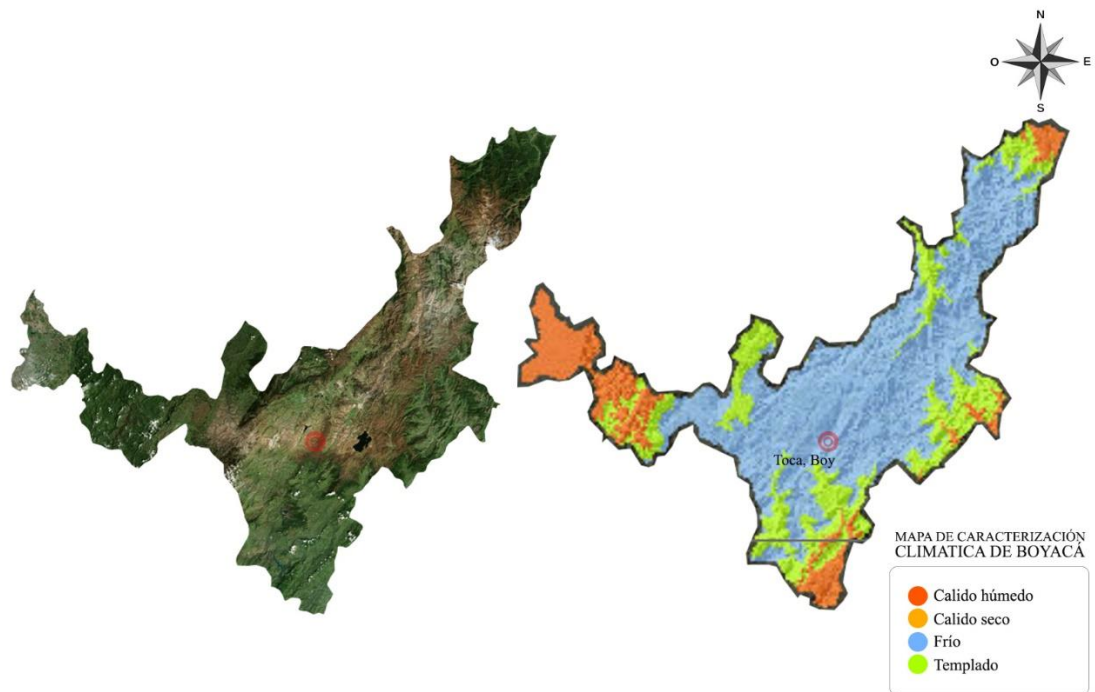


Figura 8. Mapa de caracterización de Boyacá. Fuente: Google Maps (2020) & CAMACOL (2013) editado por el autor, 2020. CC BY-NC 4.0

9.1.3. Municipio de Toca

El municipio de Toca está situado en la base del ensanchamiento que ocurre en la cordillera oriental, simulando un valle rodeado por dos cadenas montañosas. El sector seleccionado dista de la zona urbana en unos 10km, sobre la falda de montaña oriental que tiene límites con el municipio de Pesca. Toca, se encuentra clasificado como clima frío según la caracterización del Ministerio de Vivienda y Camacol.



Figura 9. Mapa de relieve Municipio de Toca. Fuente: Google Maps (2020) editado por el autor, 2020. CC BY-NC 4.0

Como elemento adicional, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios ambientales IDEAM (2011) condiciona en sus bases de datos, distintas clasificaciones climáticas de la localización del municipio de Toca - Boyacá, convalidando así las condiciones de bajas temperaturas del lugar.

- Clasificación climática Caldas Lang: Muy frío semi-húmedo
- Clasificación climática Lang: Semihúmedo (60 a 100)

- Clasificación climática Holdridge: Frio húmedo
- Clasificación climática Martone: Subhúmedo (10 – 30)

9.1.4. Sector: Vereda Chorrera



Figura 10. Mapa del sector de viviendas caso de estudio. Fuente: Google Maps (2020) editado por el autor, 2020. CC BY-NC 4.0

La figura 10 contiene una visualización aérea de la vereda Chorrera, del municipio de Toca, Boyacá en la localización precisa de las viviendas tomadas como caso de estudio, las coordenadas geográficas del caso de estudio son: (latitud: 5.608823 y longitud: -73.127692) a una altimetría de 2820 msnm. La numeración corresponde a la nomenclatura de las viviendas.

9.1.5. Viviendas

Las viviendas seleccionadas como casos de estudio son edificaciones rurales dispersas, con un área promedio construida de 71,8 m², sus muros están constituidos por adobe, y en algunos casos poseen un recubrimiento de mortero con una capa de 1 a 2 cm de espesor, los pisos son en mortero más mineral sobre un terreno de piedra o tierra, la cubierta es teja de fibrocemento con una estructura en madera tomada de bosques locales.

El programa arquitectónico que las compone es: Sala, comedor, cocina, tres o dos alcobas, baño, hall, patio de ropas con zona de lavado y un depósito para herramientas y materiales. En las figuras 11, 12 y 13 se puede apreciar las características exteriores de las viviendas tomadas como caso de estudio.



Figura 11. Fotografía caso de estudio No. 1 Toca, Boyacá. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0



Figura 12. Fotografía caso de estudio No. 2 Toca, Boyacá. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0



Figura 13. Fotografía caso de estudio No. 3 Toca, Boyacá. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

9.2. Datos Climatológicos

9.2.1 Temperatura Exterior Promedio Anual

En la siguiente gráfica se puede evidenciar un rango de confort establecido entre los 19°C y los 24°C (franja color verde) y el registro de temperaturas promedio por mes. La franja de color rojo representa el rango entre las temperaturas mínima y máxima, y se puede ver que solo en ciertos momentos del día (mediodía) se alcanza el confort.

Así como, en las noches y mañanas, las temperaturas disminuyen hasta los 0°C, concibiendo para esos periodos de tiempo, condiciones de discomfort y frio excesivo.

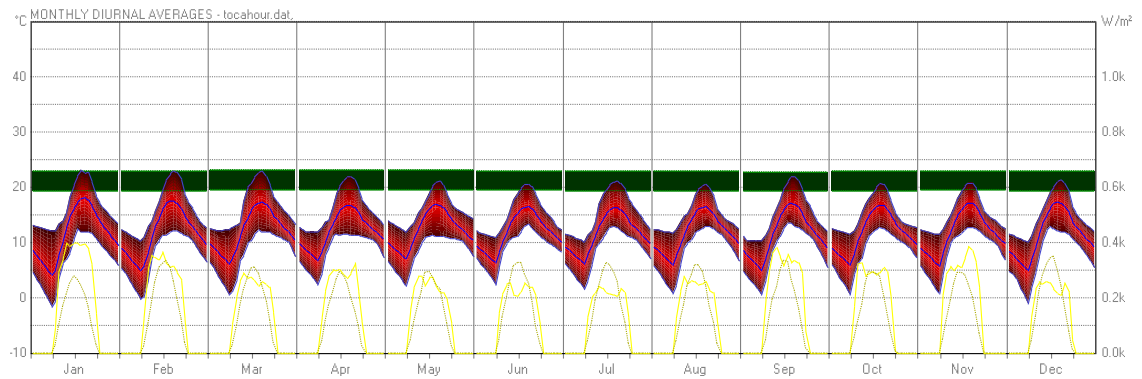


Figura 14. Gráfica de temperatura exterior mensual y anual. Fuente: Meteonorm & Ecotect, 2019. CC BY-NC 4.0

9.2.2. Humedad Relativa

La figura 15 representa los valores máximos y mínimos respecto a la humedad relativa que se registra en el lugar, los valores anuales tienen un comportamiento muy cerca a la linealidad, con unas máximas que llegan al 100% y mínimas de hasta 40%, indicando que el aire en la mayoría del tiempo, posee valores considerables de agua que lo clasifican como húmedo, por tanto, sobresalen del rango de confort para la humedad relativa establecido por la Sociedad de Ingenieros Americanos de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) del 30% al 60%, en diferentes momentos del día.

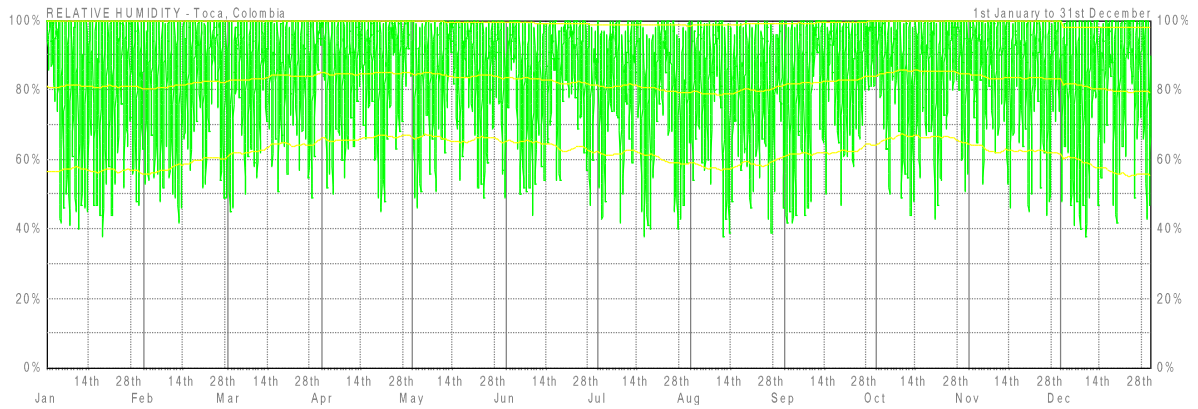


Figura 15. Valores máximo y mínimo de humedad relativa anual. Fuente: Meteonorm & Ecotect, 2019. CC BY-NC 4.0

9.2.3. Viento

En las figuras 16 y 17 se evidencia que, las mayores velocidades del viento se presentan en las horas del mediodía y la tarde; hay predominancia desde el este, en todos los horarios del día según los cuatro diagramas de frecuencia del viento anual.

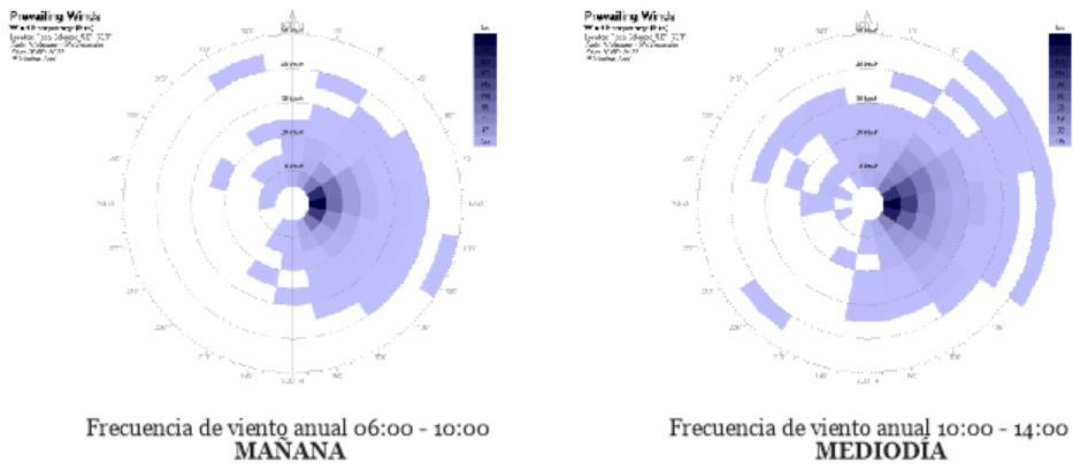


Figura 16. Frecuencia del viento anual 06:00 a 14:00. Fuente: Meteonorm & Ecotect, 2019. CC BY-NC 4.0

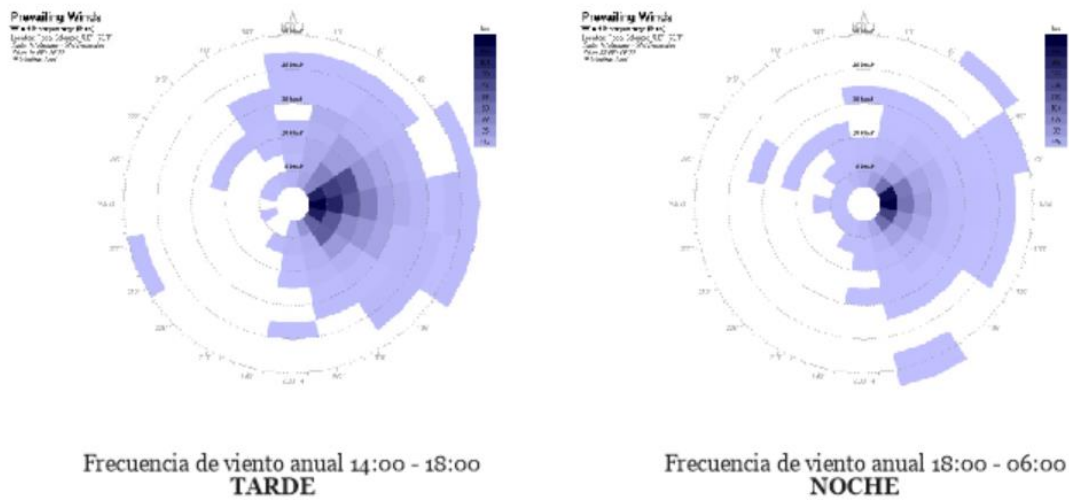


Figura 17. Frecuencia del viento anual 14:00 a 06:00. Fuente: Meteonorm & Ecotect, 2019. CC BY-NC 4.0

9.2.3. Diagrama Solar: Ubicación Óptima

El diagrama estereográfico indica la incidencia solar en el lugar, representando la relación del sol sobre el eje este-oeste durante los meses de septiembre y marzo, y las inclinaciones fuera de este eje durante los solsticios de invierno y verano hacia el sur y el norte. *Ver figura 18.*

La orientación óptima busca aumentar el área de incidencia solar directa para mejorar las condiciones de confort térmico. En este sentido, el gráfico sugiere una volumetría sobre el eje norte-sur con una pequeña inclinación de 7,5°.

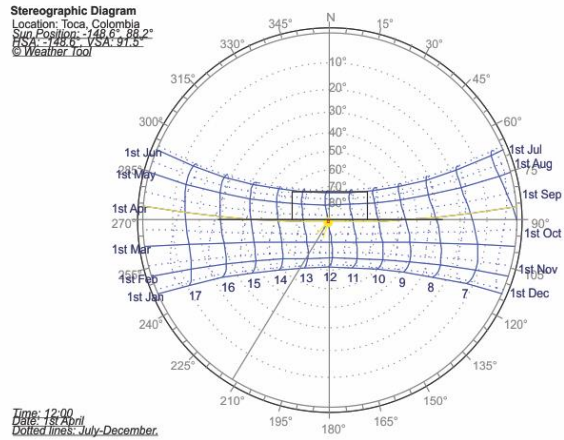
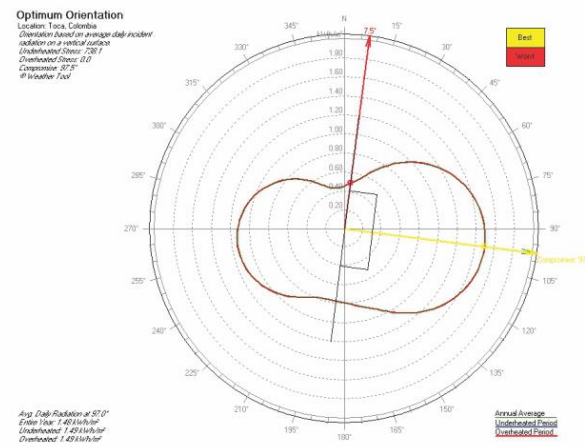


DIAGRAMA ESTEREOGRÁFICO



ORIENTACIÓN ÓPTIMA

Figura 18. Diagrama estereográfico solar y ubicación óptima. Fuente: Meteonorm & Ecotect, 2019. CC BY-NC 4.0

9.3. Población y Salud

De acuerdo con el censo DANE y las proyecciones poblacionales para el año 2018 el municipio de Toca tiene una población total de 10.007 habitantes, con una distribución porcentual de 36,5% para la zona urbana y un 63,5% en la zona rural. Según un informe del Centro de Salud de Toca, el municipio tiene un total de 2473 viviendas, 1557 ubicadas en el rural disperso con 1568 hogares, es decir, casi una proporción de hogar por vivienda (E.S.E Centro de Salud de Toca [CST], 2018, p.24).

La ruralidad posee la mayor concentración de personas, es una determinante que justifica principal atención para proporcionar calidad de vida a las personas, pues adicional a esto, el comportamiento demográfico indica que es un municipio como muchos otros, tiene un constante aumento de su población de tercera edad, así como lo afirma el informe de análisis de salud de la ESE Centro de Salud de Toca (2018):

Los grupos menores de un año, de 15 a 24 años, 25 a 44 años y el de mayores de 80 años presentan un comportamiento lineal, es decir no muestran cambios significativos; a diferencia de los grupos de 45 a 59 años en el cual se observa un incremento a través del tiempo y en el de 1 a 4 años y 5 a 14 años en el que su disminución es progresiva en el transcurso del tiempo (p. 28).

La población campesina representa un reto, pues es evidente que está envejeciendo y las condiciones de accesibilidad y habitabilidad son precarias; infraestructura que no aporta a la salud y el bienestar, necesidades básicas insatisfechas, falta de cobertura en algunos servicios públicos constituyen la problemática y así como lo menciona Pineda (2012) “la discriminación y exclusión social histórica en Colombia hacen que la población que habita las ruralidades de Colombia padezcan mayor vulnerabilidad con respecto a las condiciones de vida que la población urbana” (p. 99).

Es necesaria la implementación de condiciones que influyan en la salud positivamente, teniendo en cuenta el enfoque de la investigación sobre los habitantes de la tercera edad, población que está creciendo y es más susceptible a las alteraciones de la salud, pues, “la vivienda constituye un espacio de elevada vulnerabilidad para la salud humana” (Barceló, 2007, p. 2).

10. Fase Analítica

10.1. Social

10.1.1. Entrevistas de Sondeo de percepción térmica

Se realizaron entrevistas estructuradas para el sondeo de la percepción térmica de los espacios con los habitantes, con la finalidad de establecer un rango de confort adaptado a las condiciones de la población. Estas mediciones se tomaron en 3 momentos del día: mañana, mediodía y noche, durante 5 días; teniendo en cuenta la presencia de las personas en las viviendas. Se recolectaron un total de 720 votos de percepción, preferencia y calificación térmica del espacio con 12 habitantes de un promedio de 45,7 años de edad.

El formato de entrevista se modificó al contexto, teniendo en cuenta las características mencionadas por García et al (2019):

- El voto de percepción térmica se midió con la escala Likert de 7 puntos, cuyo rango es de -3 (frío) a +3 (Muy caluroso), teniendo como opciones intermedias: fresco, ligeramente fresco, neutro, ligeramente caluroso y caluroso.
- El voto de preferencia térmica se registró con una escala de -2 a +2, con las siguientes opciones: Mucho más frío, un poco más frío,
- En la encuesta, la sensación térmica fue medida por el ocupante; satisfacción o insatisfacción con el espacio de trabajo en una escala de 1 a 6 con las siguientes opciones: Muy cómodo, cómodo, un poco cómodo, un poco incómodo, incómodo y muy incómodo.
- Finalmente, el voto de aceptabilidad térmica se registró con dos opciones: generalmente aceptable y generalmente inaceptable 8 (p. 240).

	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5	DÍA 6
	Espacio					
	☀ ☀ ☀ ☀ ☀ ☀					
1. ¿Cómo percibe el espacio?						
-3	Frío					
-2	Fresco					
-1	Ligeramente fresco					
0	Neutro					
+1	Ligeramente caluroso					
+2	Caluroso					
+3	Muy caluroso					
2. ¿Cómo le gustaría sentirse en el espacio?						
-2	Fresco					
-1	Ligeramente fresco					
0	Neutro					
+1	Ligeramente caluroso					
+2	Caluroso					
3. ¿Cómo percibe el espacio?						
1	Muy confortable					
2	Confortable					
3	Lig. Confortable					
4	Lig. Inconfortable					
5	Inconfortable					
6	Muy inconfortable					
4. ¿Cómo califica el espacio?						
-1	Gen. Aceptable					
+1	Gen. Inaceptable					

Figura 19. Formato de votación de percepción térmica. Fuente: Elaboración propia, 2019. CC BY-NC 4.0

El resultado de las votaciones se divide en cuatro gráficas que representan de manera práctica las respuestas de las preguntas formuladas en el ejercicio; estos indicadores especifican el comportamiento y problema térmico percibido a diario por la población.

La figura 20 representa las votaciones de percepción térmica para los 3 periodos evaluados, indicando que la mañana, tiene predominante elección como periodo frío, el mediodía es percibido como ligeramente caluroso y la tarde como ligeramente fresco.

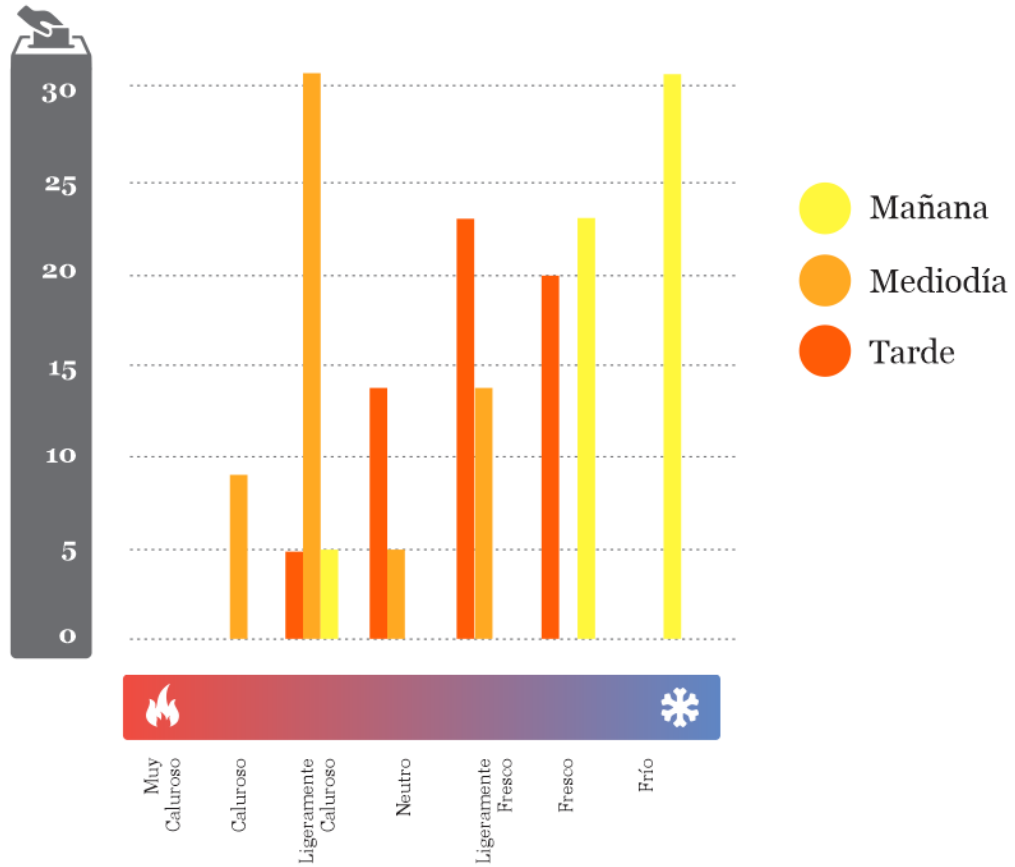


Figura 20. Gráfica de percepción térmica de los habitantes. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

La figura 21 indica los votos de preferencia de la población para los 3 periodos del día; en la mañana se distingue una preferencia por aumentar las temperaturas, y tiene mayor votación la preferencia de ligeramente calurosa, mientras que el mediodía y la tarde se prefiere ligeramente fresco.

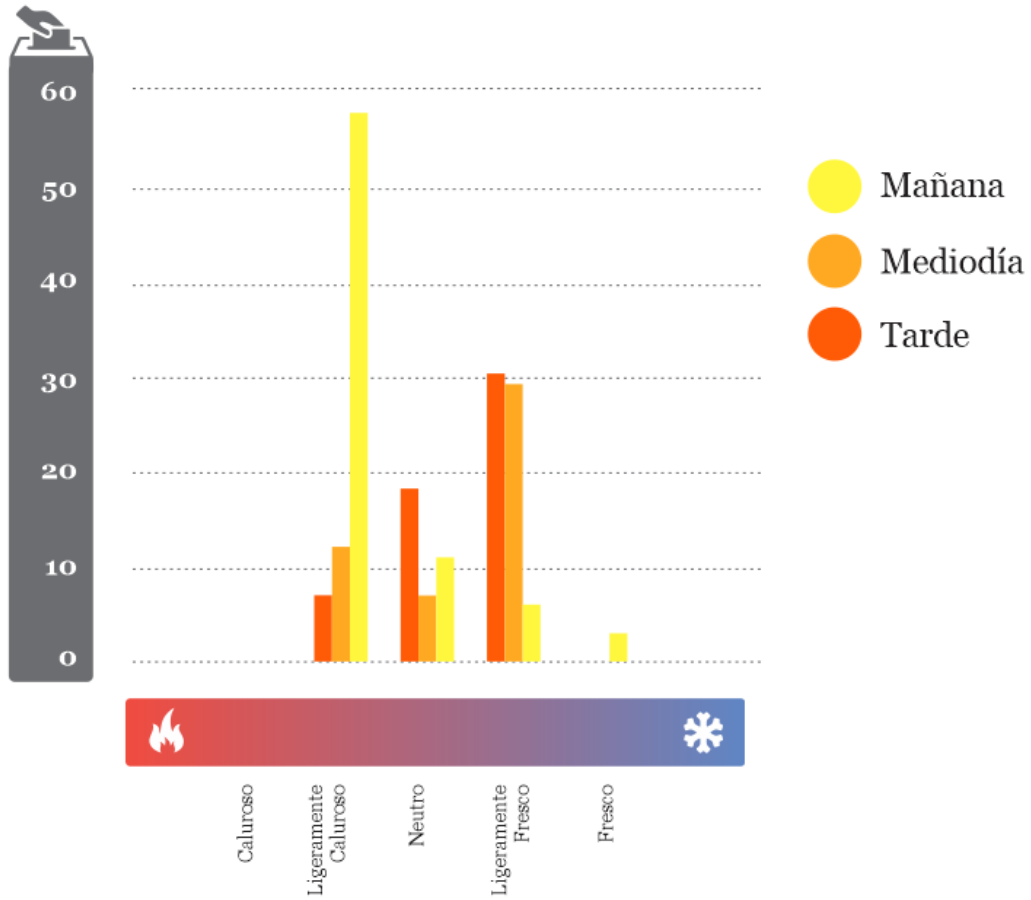


Figura 21. Gráfica de preferencia térmica de los habitantes. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

La figura 22, es el resultado de la evaluación por parte de los habitantes para los periodos evaluados. La mañana, percibida como un periodo frio, se califica como ligeramente inconfortable, de igual forma la tarde; mientras que el mediodía se califica como ligeramente confortable.

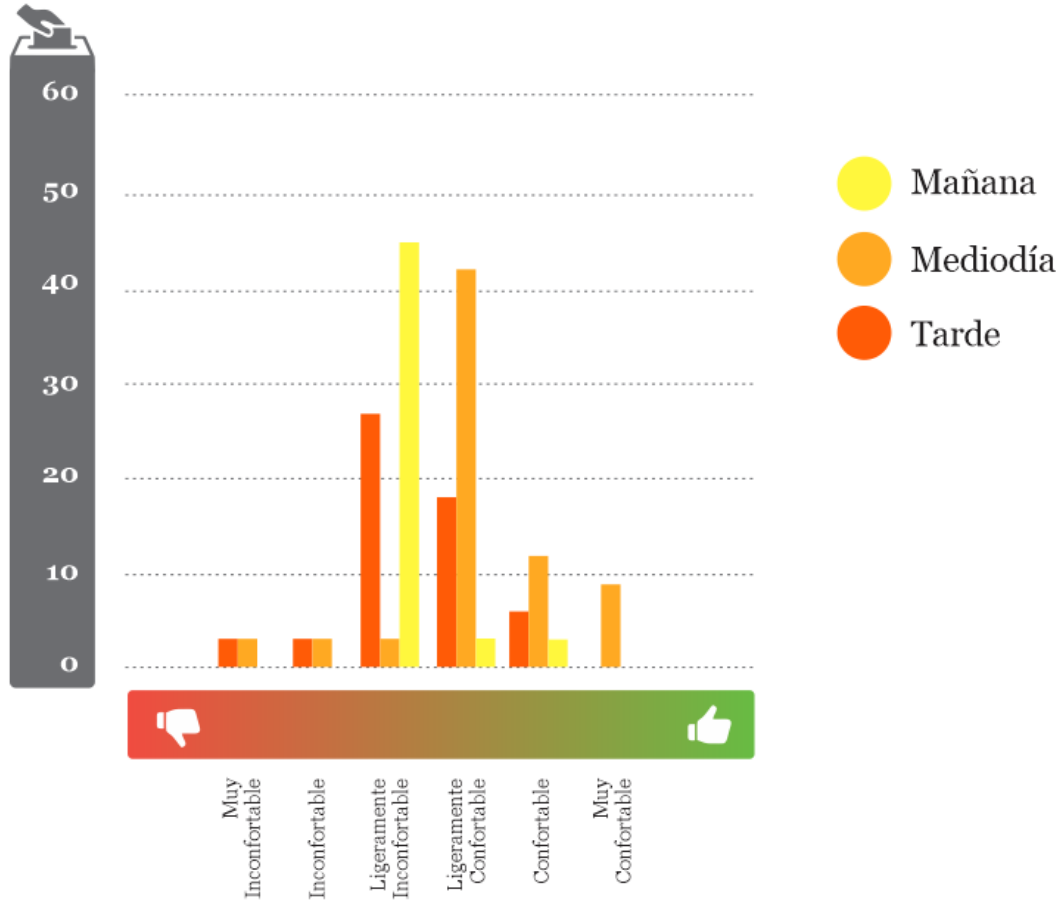


Figura 22. Gráfica de percepción térmica y confort de los habitantes. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

La aceptabilidad térmica de las viviendas definida por los habitantes se divide en dos, aceptable e inaceptable, evidenciados en la figura 23. El único periodo que tiene una calificación positiva es el mediodía, pues es el momento del día cuando las temperaturas se elevan, mientras que la mañana y la tarde son inaceptables debido a la disminución de las temperaturas.

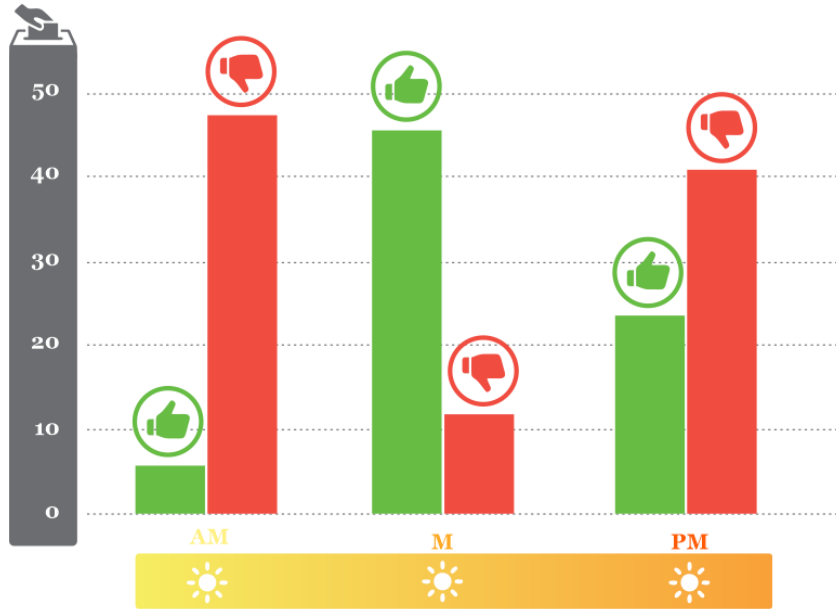


Figura 23. Gráfica de aceptabilidad térmica de los habitantes. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

10.1.2. Rango de Confort

Se estableció el rango de confort para la población de estudio a través del cálculo del método Griffith; que contempla y tiene en cuenta el voto de percepción térmica, soportado por las entrevistas realizadas a los habitantes. Esta se convierte en una herramienta de adaptación a la problemática pues como lo cita Mesa et al (2009):

Se podría pensar que los rangos de confort, definidos en las investigaciones y estudios realizados, tienen alcance universal, esto en realidad no es así, debido a que existen variaciones asociadas fundamentalmente a las circunstancias en que fueron realizados, como lo son el lugar geográfico donde se localizaba el laboratorio y los grupos humanos que se tomaron como base de estudio (p. 62).

Obtener el rango de confort para la población, permite un desarrollo de investigación más detallado; las evaluaciones y análisis se pueden comprender a través de este criterio, lo cual va a permitir proyectar y tener resultados ajustados y eficientes. El cálculo de la temperatura de confort se lleva a cabo a partir del método Griffith, pues como lo cita el siguiente autor:

El procedimiento aplicado mayoritariamente en la práctica para el cálculo experimental de la temperatura interior de confort es el método de Griffith, en el que dicha temperatura puede ser estimada a partir de los votos en una escala de sensación térmica, la temperatura operativa (obtenidos de un estudio de campo) y una constante denominada constante de Griffith. (Barbadilla et al, 2019, p. 154).

De esta manera se usa la siguiente fórmula:

$$\mathbf{Temp\ Confort} = \mathbf{Temp\ Ope} - \mathbf{Voto\ de\ sensación\ térmica\ (tsv)} / \mathbf{Constante\ G}$$

Se comprende Temp confort como la temperatura de confort o temperatura neutra, Temp Ope es la temperatura operativa; para este caso, se usa el promedio mensual de temperatura operativa resultado de la simulación realizada por Design Builder de las 3 viviendas del caso de estudio. El voto de sensación térmica usado es (-3) correspondiente a la percepción “fría” de la población y la constante de Griffith usada es 0,5.

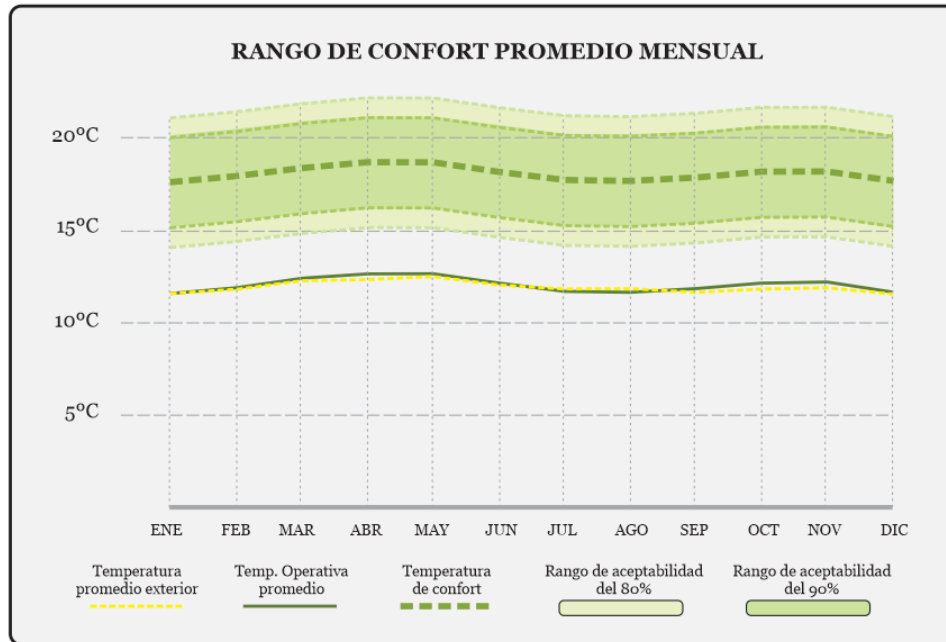


Figura 24. Rango de confort promedio mensual. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

De acuerdo a las temperaturas operativas promedios mensuales, se define la temperatura de confort mensual y sus rangos correspondientes al 80% y 90% de aceptabilidad. En concordancia a la gráfica, y su comportamiento uniforme a lo largo del año, se promedia las temperaturas de confort mensuales para hallar un consolidado anual, en este caso: 18,04°C con rangos de 15,54°C a 20,54°C y 14,54 a 21,54; 80% y 90% de aceptabilidad respectivamente.

10.2. Medio Físico: Viviendas

10.2.1. Análisis de Espacialidad y Funcionamiento Arquitectónico

El análisis de la espacialidad y funcionamiento se realiza agrupando por semejanza las actividades realizadas al interior de la vivienda, distinguiendo los siguientes grupos: Social (Sala-comedor), privado (Habitaciones) y servicios que es una categoría subdividida por las espacialidades de la cocina, baño y patio.

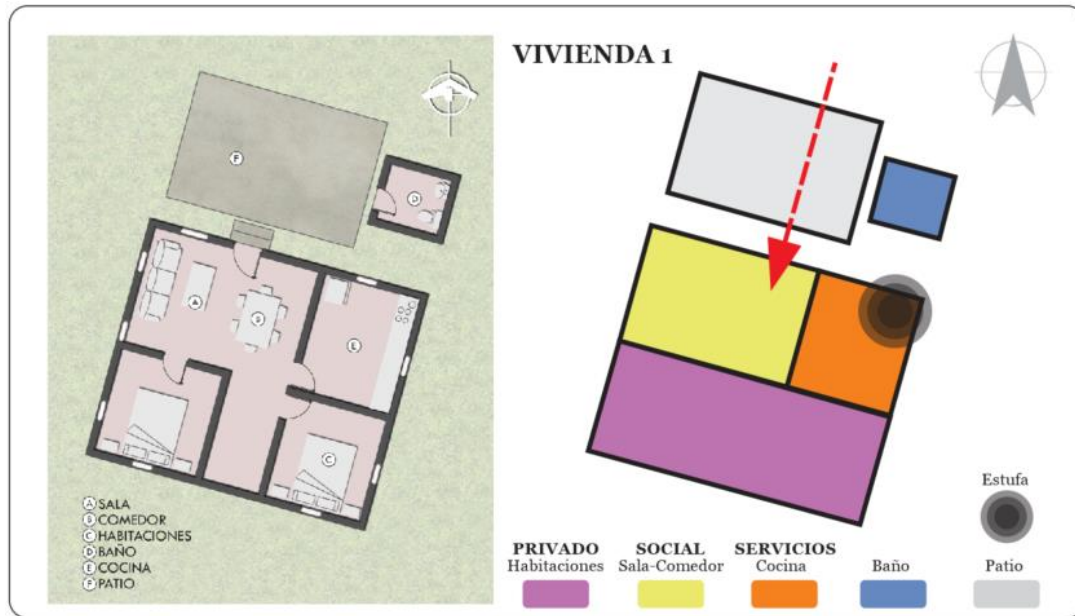


Figura 25. Análisis de zonificación vivienda No. 1. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

Los servicios tienen la particularidad de funcionar como elementos independientes, es decir, no tienen una relación directa entre sí como se puede evidenciar en los cuadrantes azules (baños). El patio, la zona de tendido y lavadero generan un elemento exterior de acceso a la vivienda, siendo en estos casos, espacios de recepción. Entre otras singularidades, se observa que las estufas de leña y carbón se ubican en los extremos del volumen construido, característica que puede representar desaprovechamiento de calor.

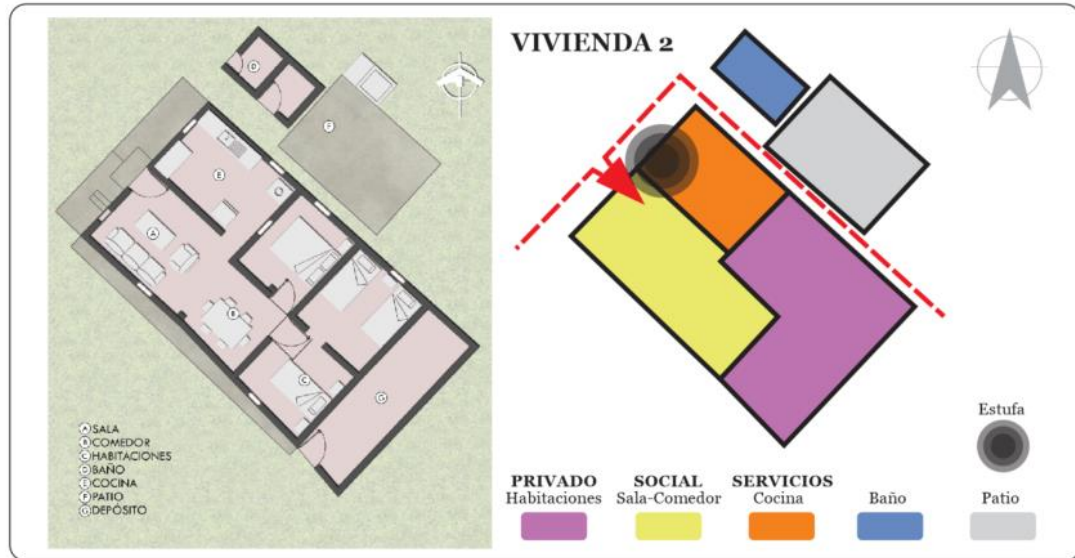


Figura 26. Análisis de zonificación vivienda No. 2. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

La zona privada (habitaciones) tiene una proporción media al total de la vivienda, está constituida por pequeñas habitaciones que, en algunos casos, se comparte una con la otra, creando un espacio auxiliar.

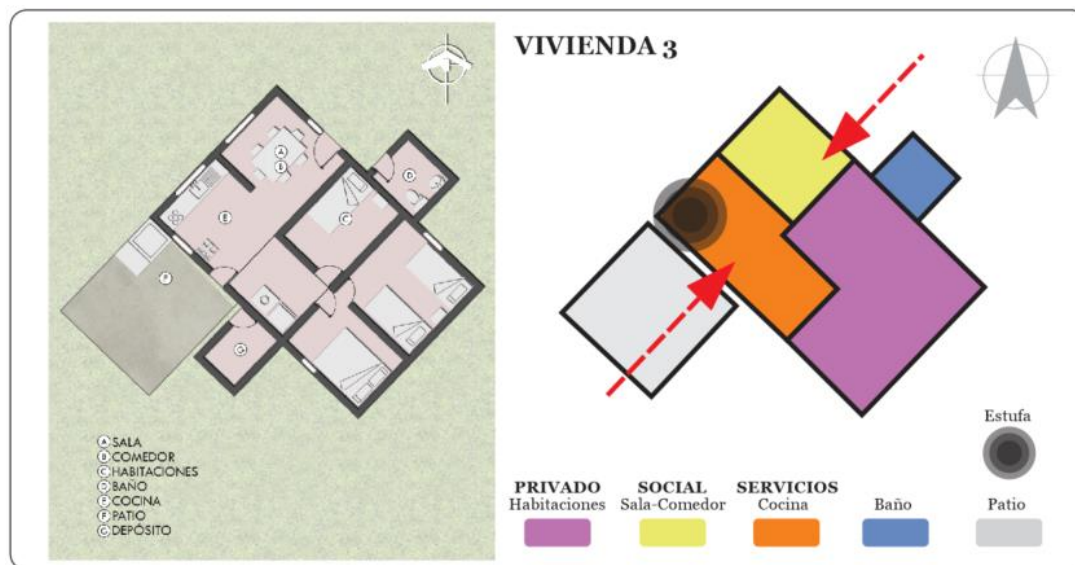


Figura 27. Análisis de zonificación vivienda No. 3. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

10.2.2. Análisis de Técnica Constructiva



Figura 28. Despiece de técnica constructiva. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

La construcción de las viviendas implica el aprovechamiento máximo de los recursos locales; después de retirar de la capa vegetal del suelo, se procede a la excavación para la cimentación que está constituida por una mezcla entre piedra ciclópea y lodo sobre los que se sitúan adobes como pedestal y arranque de muros (Ver *Figura 29*). La envolvente está constituida por adobes de 20 cm x 40 cm x 15 cm que funcionan como la estructura de la vivienda; sobre estos se sitúan vigas en madera rolliza tomadas de los bosques nativos y son el soporte de la cubierta en fibrocemento.

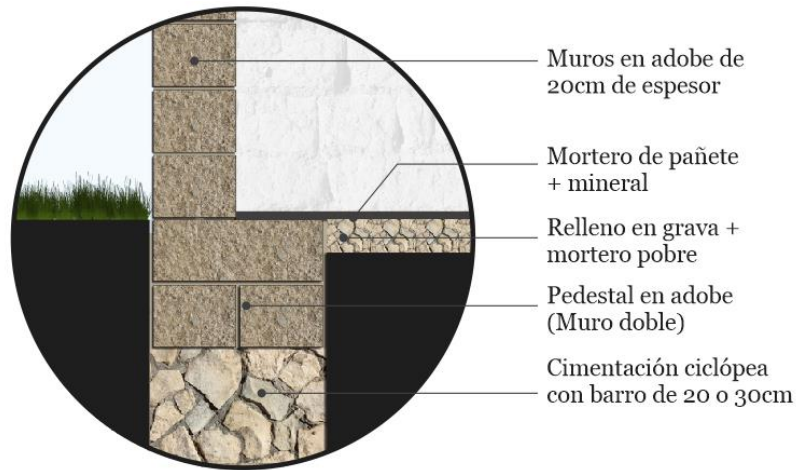


Figura 29. Detalle constructivo de las viviendas. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

En algunos casos, el acabado interno para los muros, es el compuesto entre pintura, yeso y mortero. Los pisos tienen un acabado en pañete o mineral sobrepuesto en una capa de grava de granulometría regular que va desde 1 - 3 cm.

La relación ventana – pared en las viviendas es reducida, pues además de ser una característica cultural en la población y sus formas de vivir; la adquisición y el transporte de materiales como el vidrio es compleja por la accesibilidad a zonas rurales tan apartadas.

Las cubiertas tienen una volumetría simple y en los casos de estudio: únicamente son dos caídas, además, el empalme entre cubierta y muros no posee aislamiento para el control de filtraciones del aire exterior, que puede significar la pérdida de ganancias térmicas en el interior.

10.2.3. Análisis de Materialidad

A través del software Design Builder y el modelado de simulación, se obtienen los valores aproximados de transmitancia térmica (Valor U) para conocer el nivel de aislamiento de la envolvente de las viviendas, así como lo cita Cuitiño et al (2015):

La transmitancia térmica (U), es el flujo de calor, en régimen estacionario, dividido por el área y por la diferencia de temperaturas de los medios situados a cada lado del elemento constructivo considerado, siendo su recíproca la resistencia térmica (R).

La siguiente gráfica indica el rango de transmitancia térmica que poseen los materiales de la envolvente de las viviendas caso de estudio, de color oscuro los elementos que poseen menor valor y por tanto tienen mayor aislamiento, y de color naranja los materiales que poseen menor aislamiento (Cubierta y ventanas).

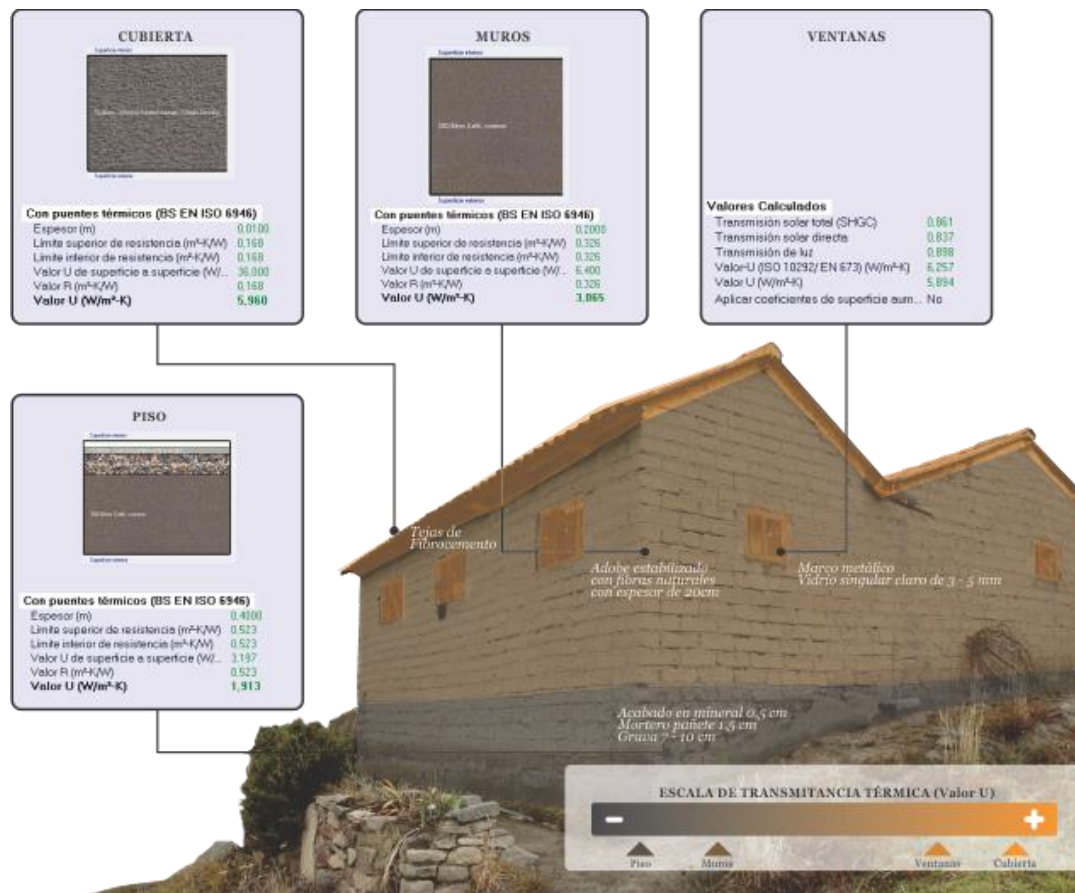


Figura 30. Análisis de transmitancia en envolvente de las viviendas. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

10.2.4. Análisis de Comportamiento Térmico, Lumínico y de Ventilación Natural

A través del software Design Builder y las simulaciones de confort térmico, iluminación natural y renovaciones de aire; se obtuvieron los resultados consignados en las tablas siguientes, las cuales clasifican la calidad ambiental de los espacios interiores en las categorías de: Habitaciones, sala-comedores y cocinas de las viviendas tomadas como casos de estudio.

Los resultados de las simulaciones están representados en una escala que aumenta proporcionalmente a la aceptabilidad establecida; en el caso de la simulación del comportamiento térmico, se mide el porcentaje de horas anuales de ocupación en el que los espacios están dentro de un 90% de aceptabilidad térmica, de acuerdo al rango de confort establecido (14,5°C a 21,5°C) por el cálculo de la temperatura de confort. La calidad del aire interior se mide en el promedio anual de las renovaciones de aire por hora, los cuales fueron calculados según la ocupación y volumen del espacio para compararse con los valores dictados por ASHRAE 62.1 y RITE. La simulación de iluminación natural, se analiza con base en el promedio de área con el valor mínimo de iluminación dispuesto por el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP; en el caso de las habitaciones: $\frac{3}{4}$ del área con un FLD o CLD de 0,5, es decir 50 lux. En las zonas sociales y cocinas; la mitad del espacio con un CLD superior a 100 lux y 200 lux respectivamente.

Las viviendas tienen un comportamiento insuficiente de acuerdo a las escalas presentadas; el porcentaje restante de las horas anuales calculadas, se encuentran debajo del rango de confort, constituyendo así espacios fríos. Las filtraciones no son suficientes para alcanzar los valores establecidos por las normativas de calidad del aire anterior y la

baja relación ventana pared que existe, no es apta para alcanzar los valores mínimos de iluminación natural de RETILAP.










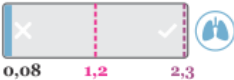





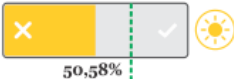
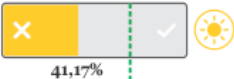
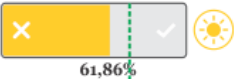
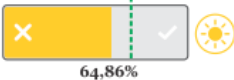

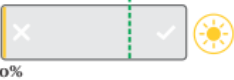
			
HABITACIÓN 1 HABITACIÓN 2			
Porcentaje de horas anuales dentro del rango de confort 90% (14,5 a 21,5°C)	 1,1%	 1,6%	 0,8%
	 0,1%	 1%	 1,4%
Promedio anual de renovaciones de aire en el espacio (AC/H) Requerido ASHRAE Requerido RITE	 0,08 1,2 2,3	 0,25 1,3 2,5	 0,07 0,9 1,9
	 0,28 1,3 2,4	 0,06 0,8 1,8	 0,03 1,4 2,6
Porcentaje de área con el valor mínimo de CLD establecido por RETILAP (3/4 con 0,5 CLD)	 50,58%	 41,17%	 61,86%
	 64,86%	 30,64%	 0%

Tabla 1. Análisis del comportamiento térmico, lumínico y de ventilación natural de habitaciones. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

SALA-COMEDOR			
Porcentaje de horas anuales dentro del rango de confort 90% (14,5 a 21,5°C)	 6,2%	 6,8%	 11,8%
Promedio anual de renovaciones de aire en el espacio (AC/H) <i>Requerido ASHRAE</i> <i>Requerido RITE</i>	 0,41 1,5 2,8	 0,01 1,0 2,1	 0,79 0,9 2,0
Porcentaje de área con el valor mínimo de CLD establecido por RETILAP (1/2 con 1 CLD)	 25,27%	 0%	 75,8%

Tabla 2. Análisis del comportamiento térmico, lumínico y de ventilación natural de sala-comedores. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0




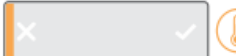
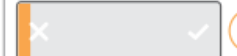
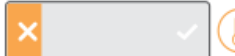
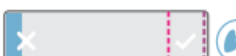
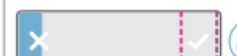
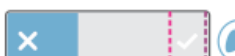
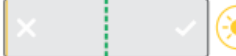


COCINA			
Porcentaje de horas anuales dentro del rango de confort 90% (14,5 a 21,5°C)	 2,1%	 5,2%	 17,7%
Promedio anual de renovaciones de aire en el espacio (AC/H) <i>Requerido ASHRAE</i> <i>Requerido RITE</i>	 0,20 2,6 2,8	 0,22 2,5 2,7	 0,79 1,7 2,0
Porcentaje de área con el valor mínimo de CLD establecido por RETILAP (1/2 con 2 CLD)	 0%	 12,5%	 75,8%

Tabla 3. Análisis del comportamiento térmico, lumínico y de ventilación natural de cocinas. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

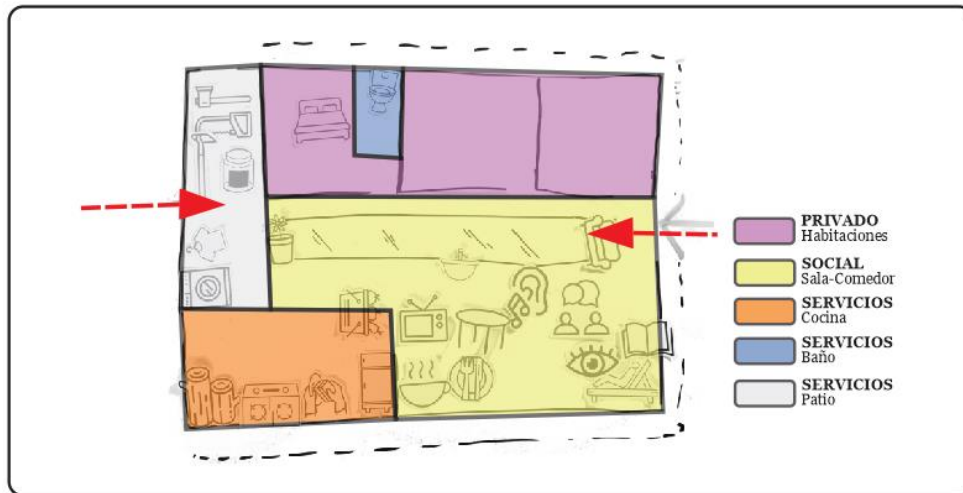


Figura 32. Evidencia de recolección de ideas de diseño 1 . Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

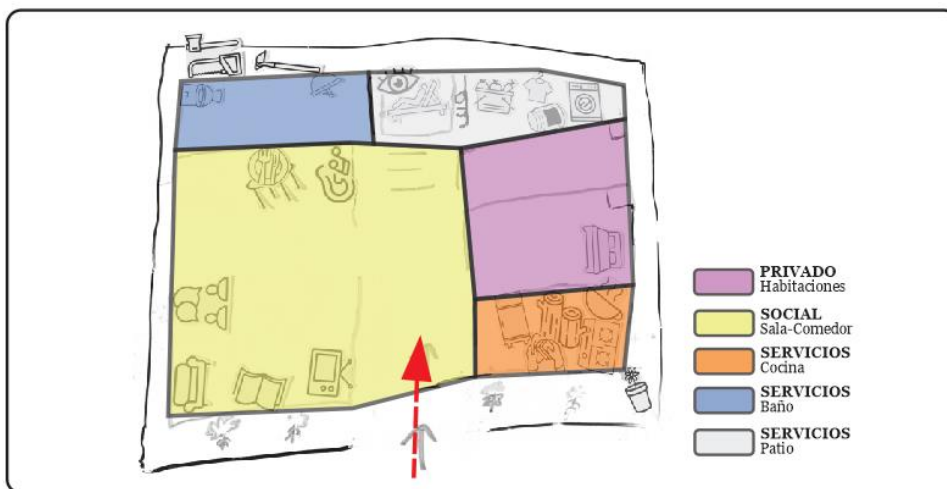


Figura 33. Evidencia de recolección de ideas de diseño 2. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

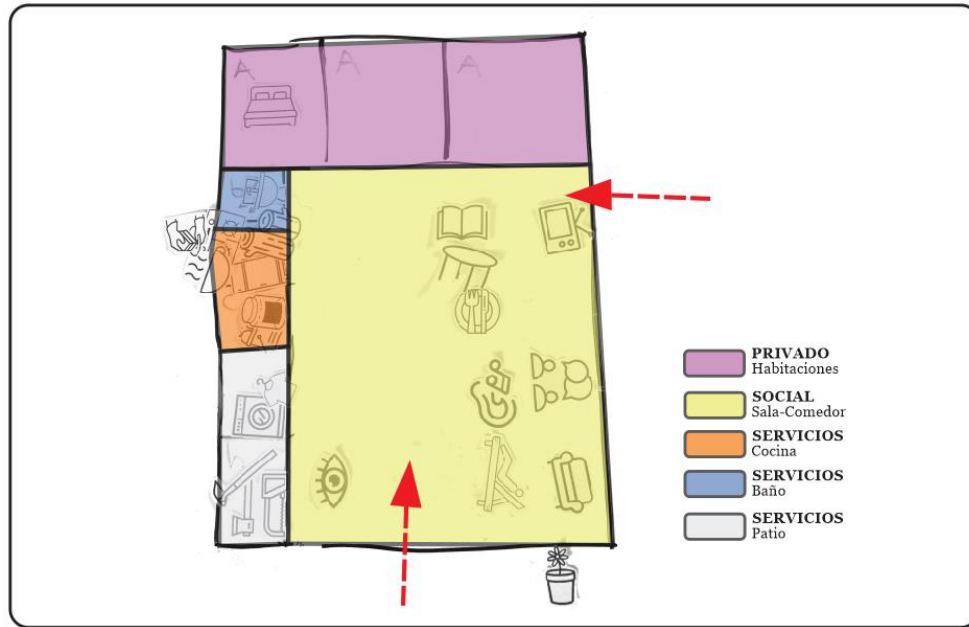


Figura 34. Evidencia de recolección de ideas de diseño 3. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

11.2. Banco de Estrategias Constructivas

11.2.1. Forma y Orientación

Para el análisis de forma se toman algunas figuras geométricas básicas con diferentes orientaciones, como una referencia bidimensional en la realización de modelos de simulación en el software Design Builder, los cuales cuentan con las mismas características de materialidad (muros en adobe - cubierta en fibrocemento – piso en concreto), relación ventana pared, una misma área, y por tanto un volumen exacto, con el objetivo de analizar y escoger el modelo que obtenga el comportamiento más eficiente a nivel térmico, lumínico y de ventilación natural.

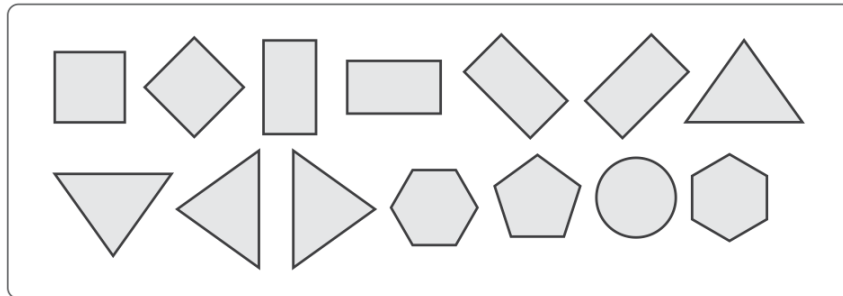
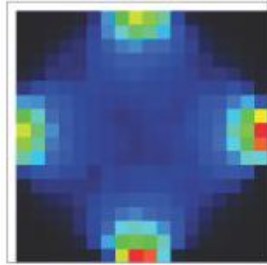
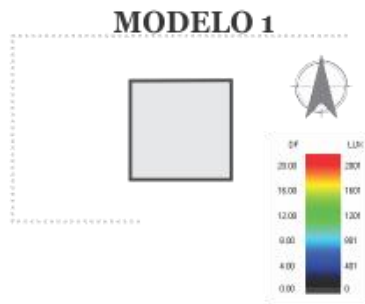
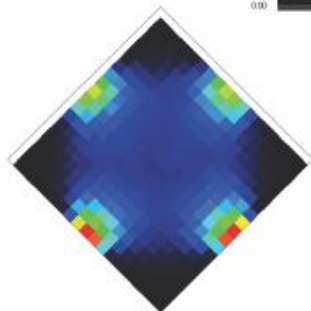
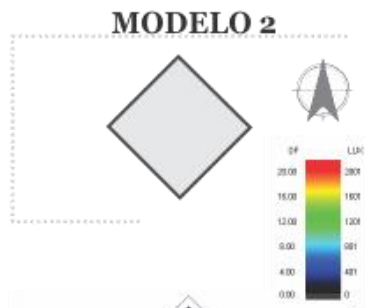
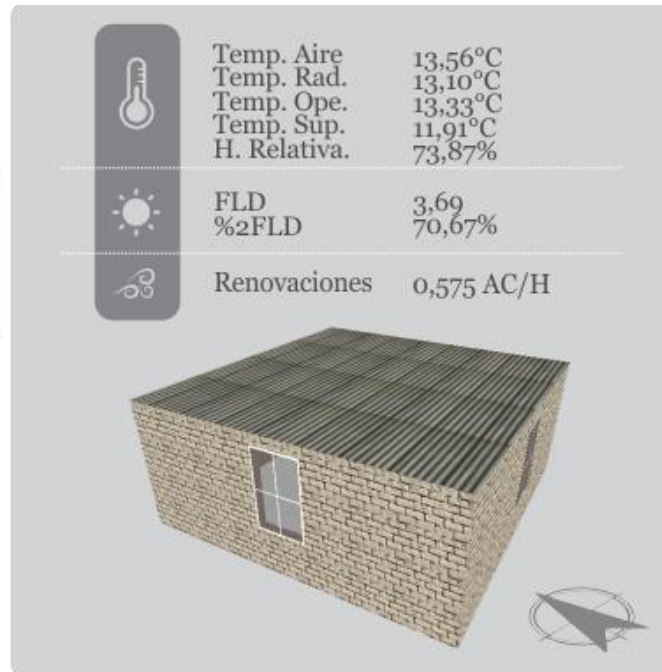


Figura 35. Figuras geométricas referencia bidimensional para la simulación.
Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

Se elaboró una tabla por cada figura señalando el resultado de la simulación anual, en el cual se indican las temperaturas interiores en promedio (temperatura del aire, temperatura operativa y temperatura radiante); además de la temperatura superficial promedio de los muros, humedad relativa y promedio de renovaciones de aire en el espacio. Asimismo, se realizó una simulación de iluminación natural bajo un modelo de cielo nublado, con una iluminancia del cenit personalizada de 10.000 lux por figura, para conocer el promedio de FLD (Factor luz día) y el porcentaje de espacio en el que había un FLD superior a 2% (200 lux).



Simulación iluminación natural



Simulación iluminación natural

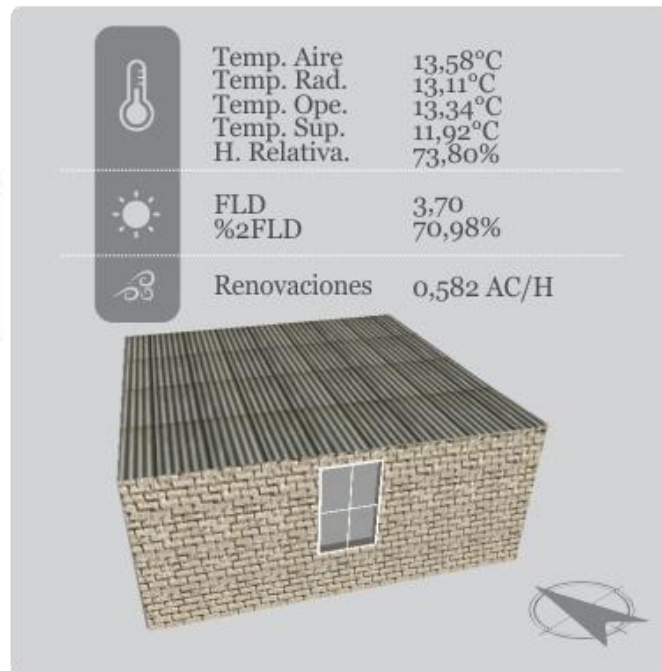
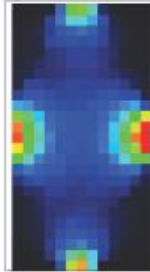
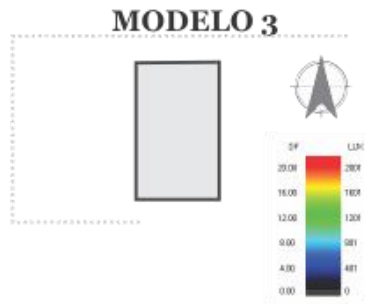
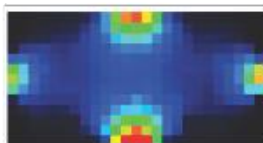
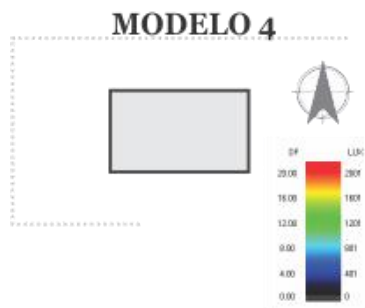
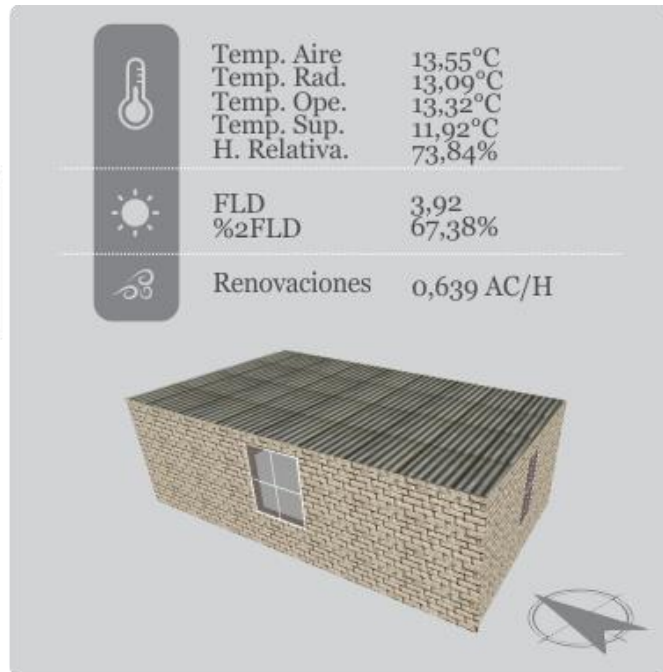


Tabla 4. Resultados simulación anual de forma y orientación modelo 1 y modelo 2.
Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0



Simulación iluminación natural



Simulación iluminación natural

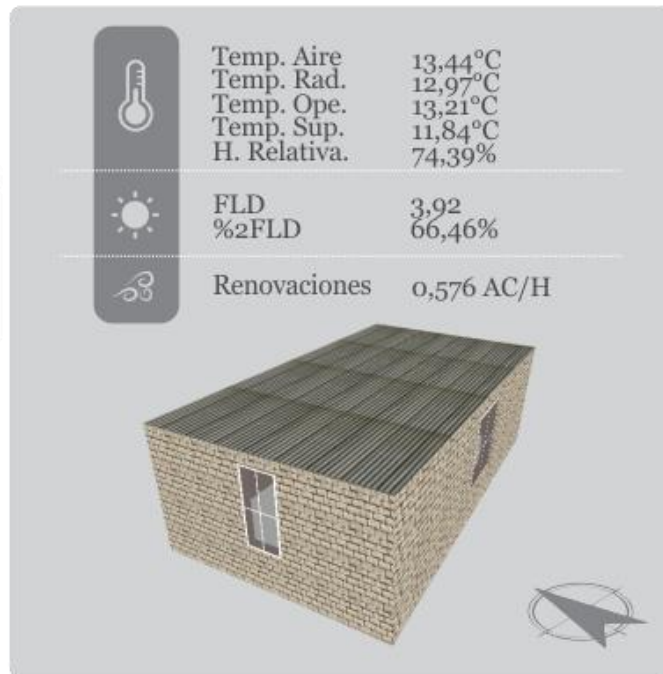


Tabla 5. Resultados simulación anual de forma y orientación modelo 3 y modelo 4.
Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

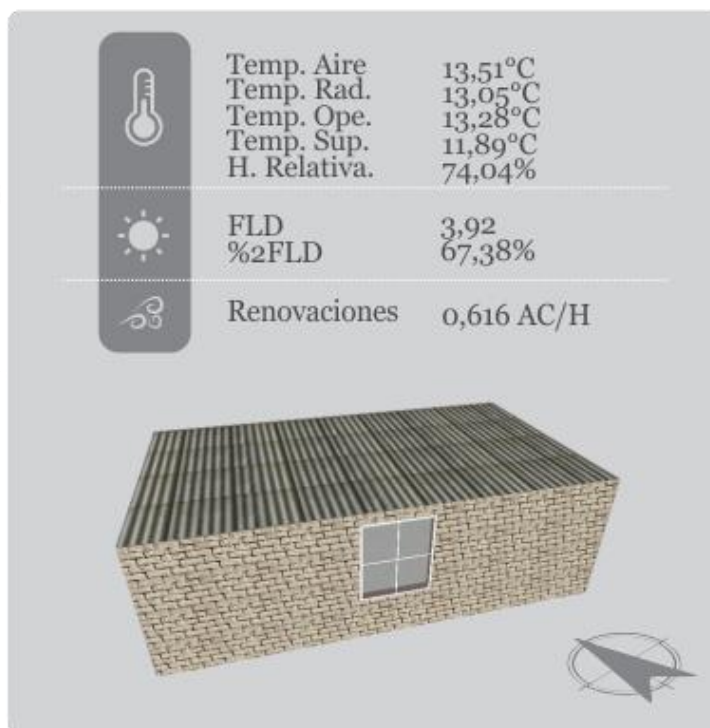
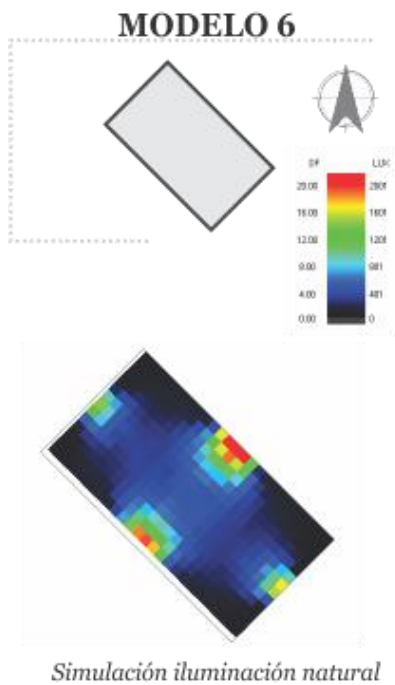
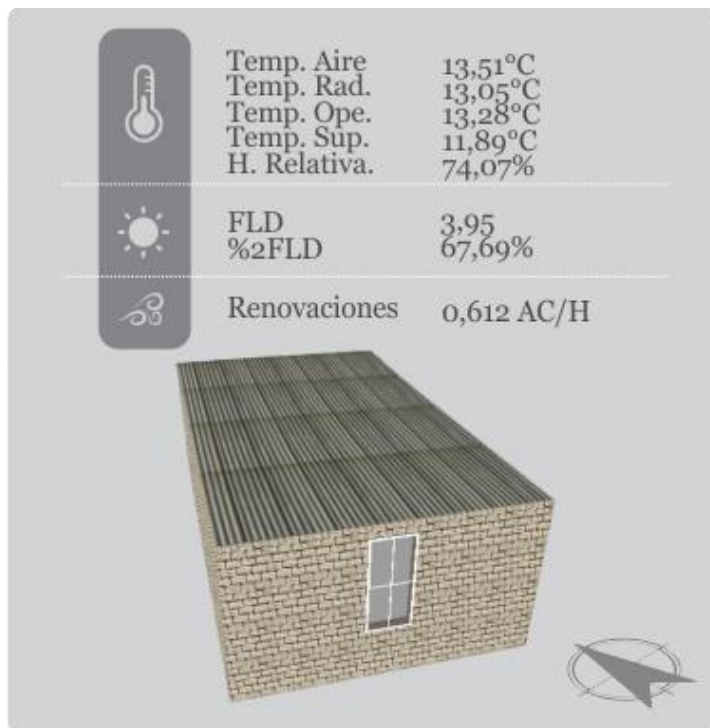
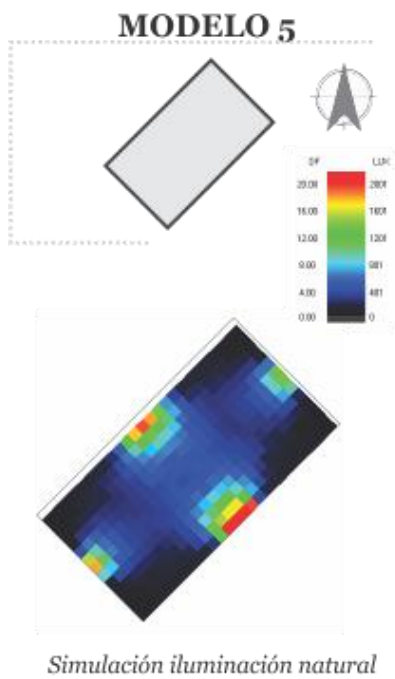


Tabla 6. Resultados simulación anual de forma y orientación modelo 5 y modelo 6.
Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

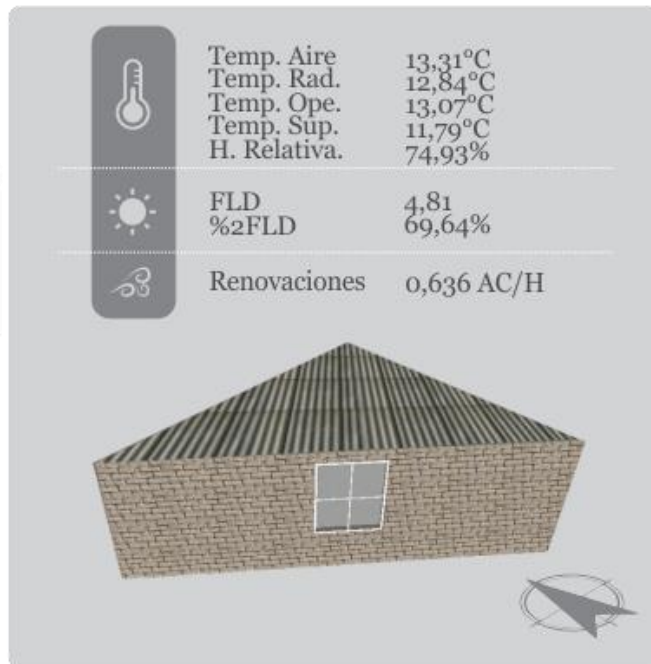
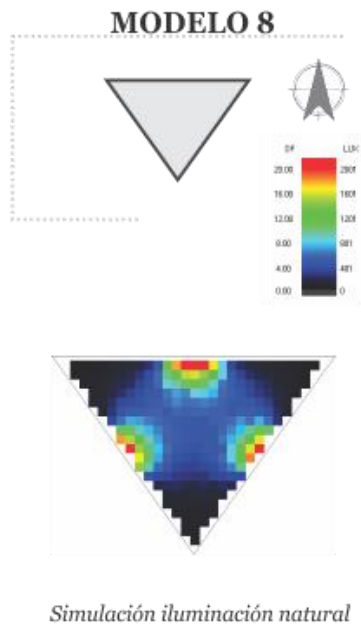
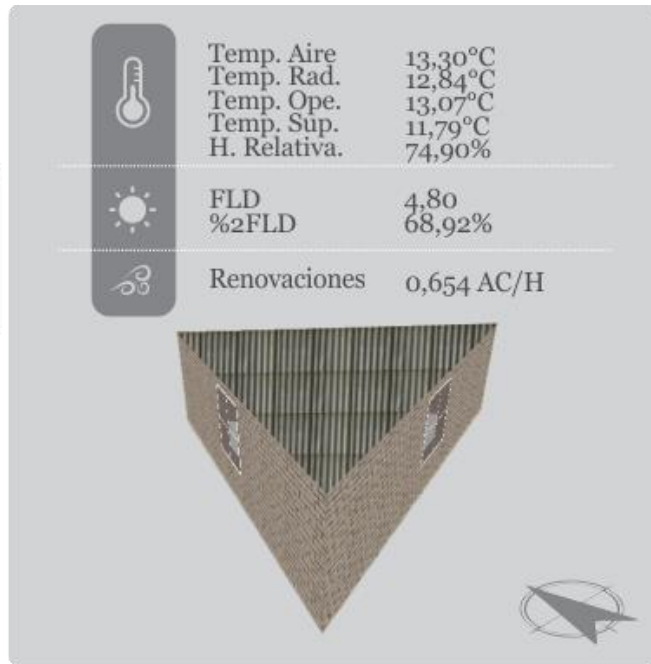
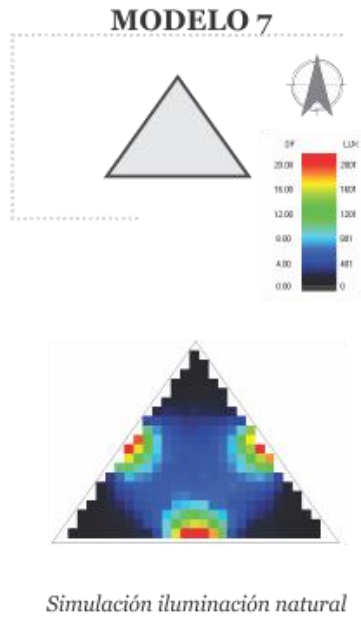
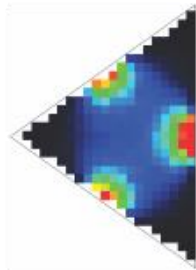
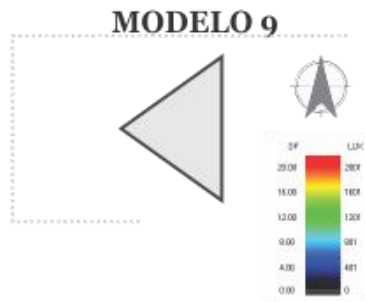
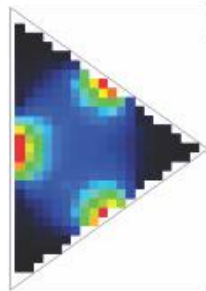
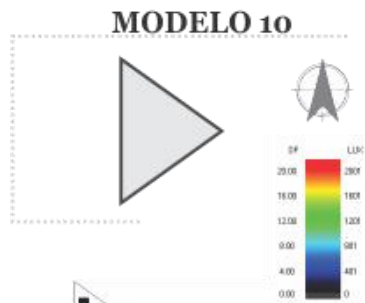
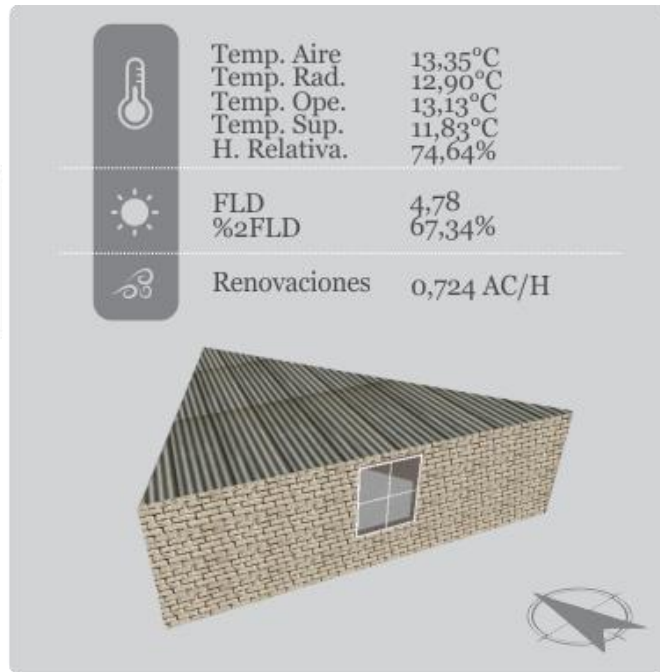


Tabla 7. Resultados simulación anual de forma y orientación modelo 7 y modelo 8.
Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0



Simulación iluminación natural



Simulación iluminación natural

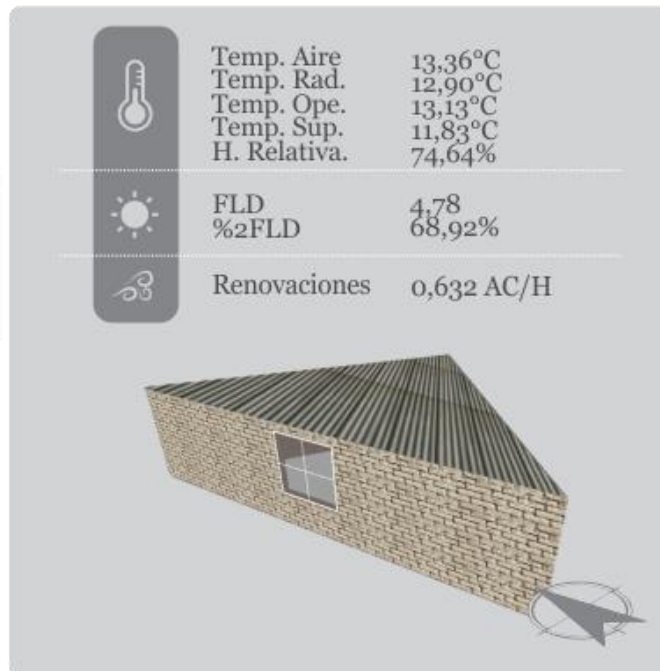
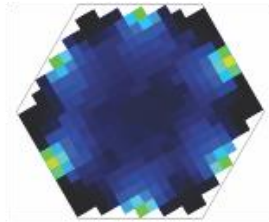
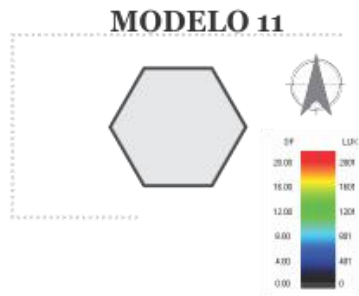
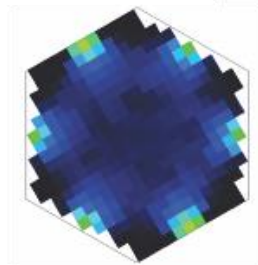
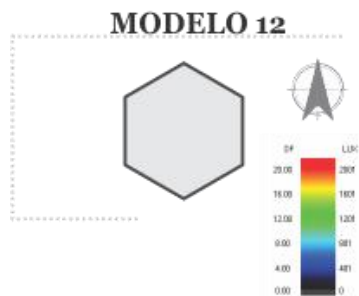
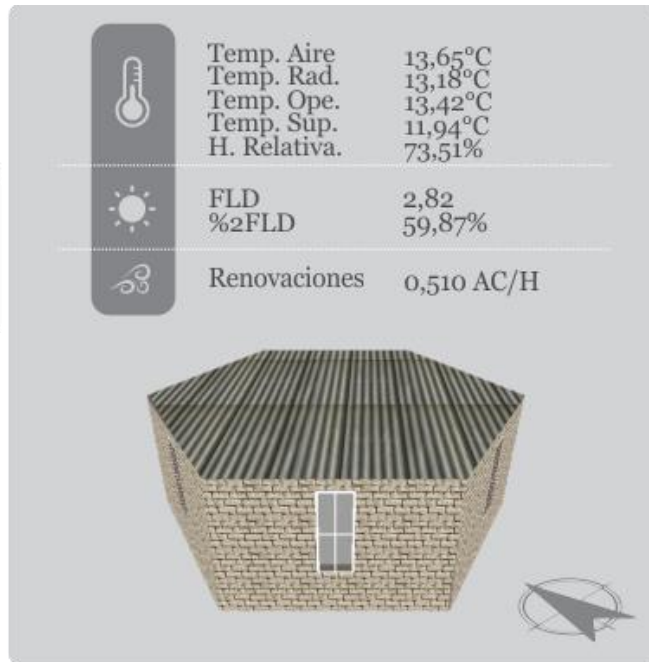


Tabla 8. Resultados simulación anual de forma y orientación modelo 9 y modelo 10.
Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0



Simulación iluminación natural



Simulación iluminación natural

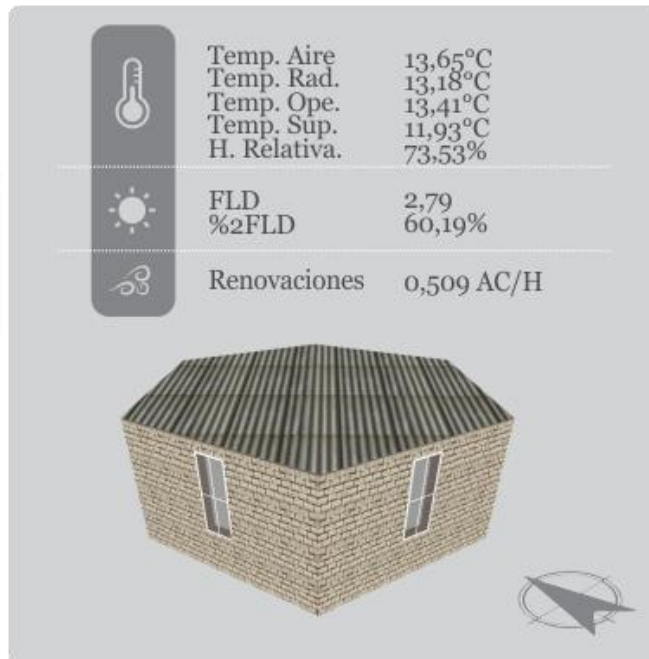
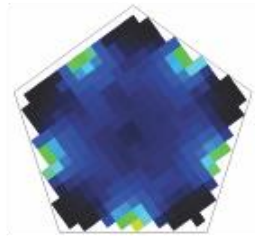
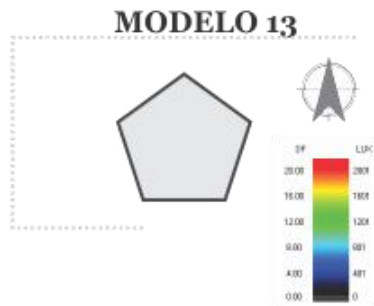
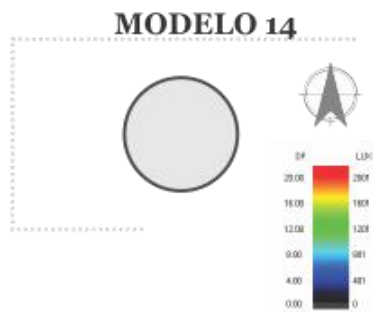
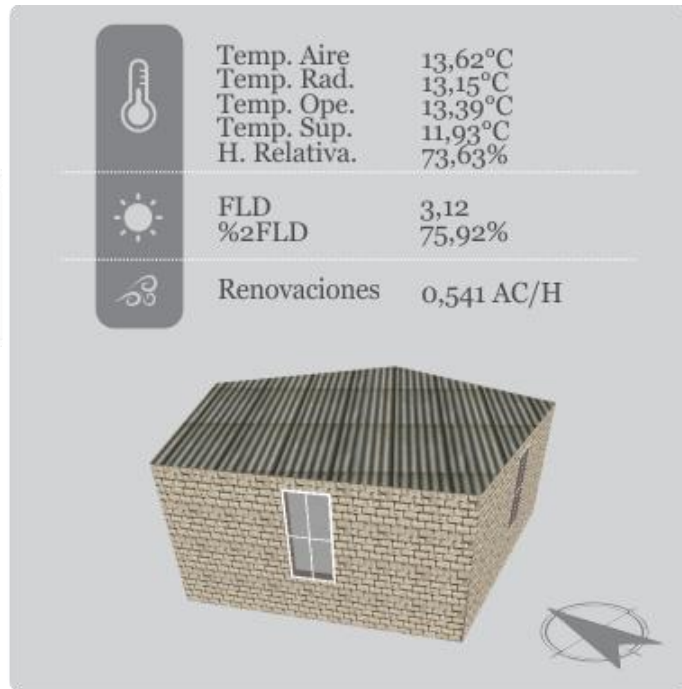


Tabla 9. Resultados simulación anual de forma y orientación modelo 11 y modelo 12. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0



Simulación iluminación natural



Simulación iluminación natural

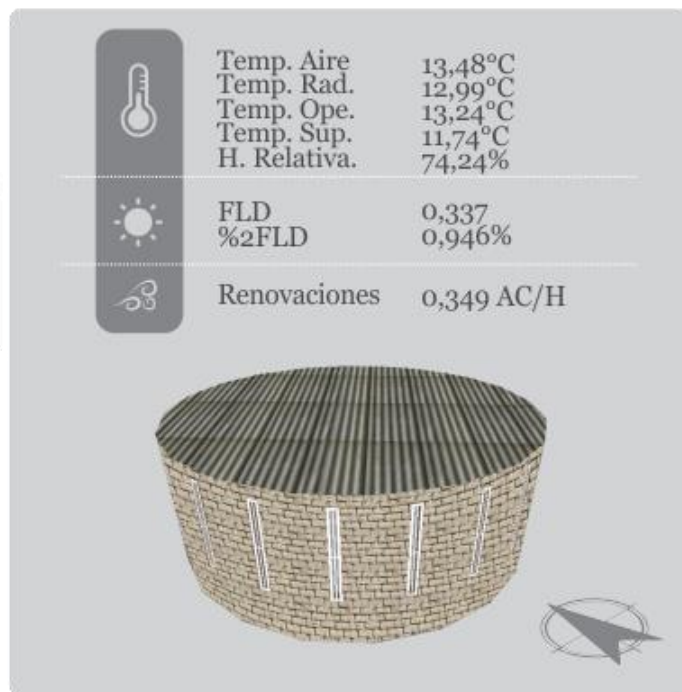


Tabla 10. Resultados simulación anual de forma y orientación modelo 13 y modelo 14. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

De acuerdo a las simulaciones anuales realizadas en el software Design Builder y los resultados indicados en las tablas, se procede a elaborar una tabla comparativa de los

modelos de forma y orientación para comprender que elemento puede brindar una solución al confort integral más eficiente.

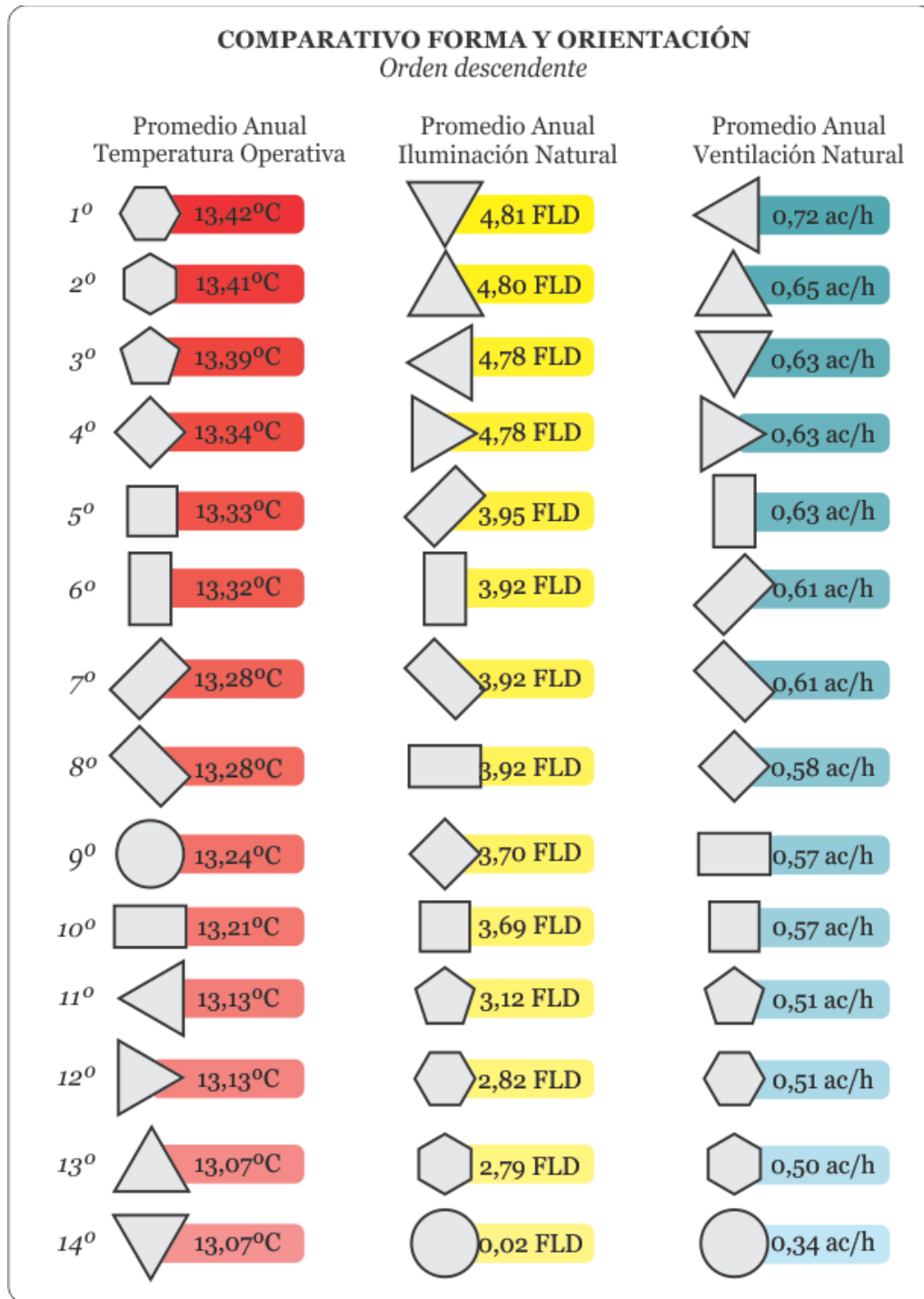


Tabla 11. Tabla comparativa de forma y orientación de las figuras. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

La tabla califica en orden descendente las figuras de acuerdo a las características relacionadas al confort integral; el confort térmico indicado por la temperatura operativa promedio anual, la iluminación natural a través del factor luz día y la ventilación natural indicada por el promedio de renovaciones de aire. La temperatura operativa promedio anual aumenta proporcionalmente a la cantidad de superficies o caras en las orientaciones oriente y occidente, es por ello, que el hexágono y el pentágono, tienen la calificación de temperatura más alta. En el caso de iluminación y ventilación natural, los triángulos poseen los rangos más altos de factor luz día FLD y renovaciones de aire; esto se debe a que el triángulo, respecto a las demás figuras, posee menor cantidad de lados, y por tanto, las aperturas son más amplias pues la relación ventana pared es la misma en todos los modelos.

El modelo seleccionado como figura más eficiente es el hexágono, pues posee la característica que, en diferentes orientaciones, puede brindar un comportamiento de confort similar, además, en su descomposición geométrica proporciona practicidad y adaptabilidad a las viviendas ya existentes, así como se puede evidenciar en la figura No. 36:

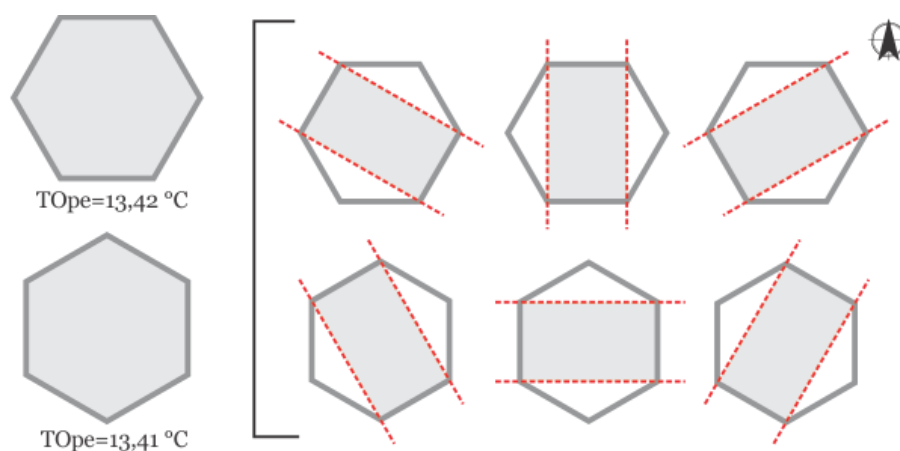


Figura 36. Análisis geométrico del hexágono. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

A partir de la referencia bidimensional del hexágono, se procede a ensayar la volumetría más eficiente teniendo en cuenta el comportamiento térmico, pues no se podrán evidenciar cambios en ventilación e iluminación natural debido a la opacidad de los materiales de las formas de cubierta. Se elaboran tablas con la visualización y datos de las simulaciones, y finalmente, una tabla comparativa.

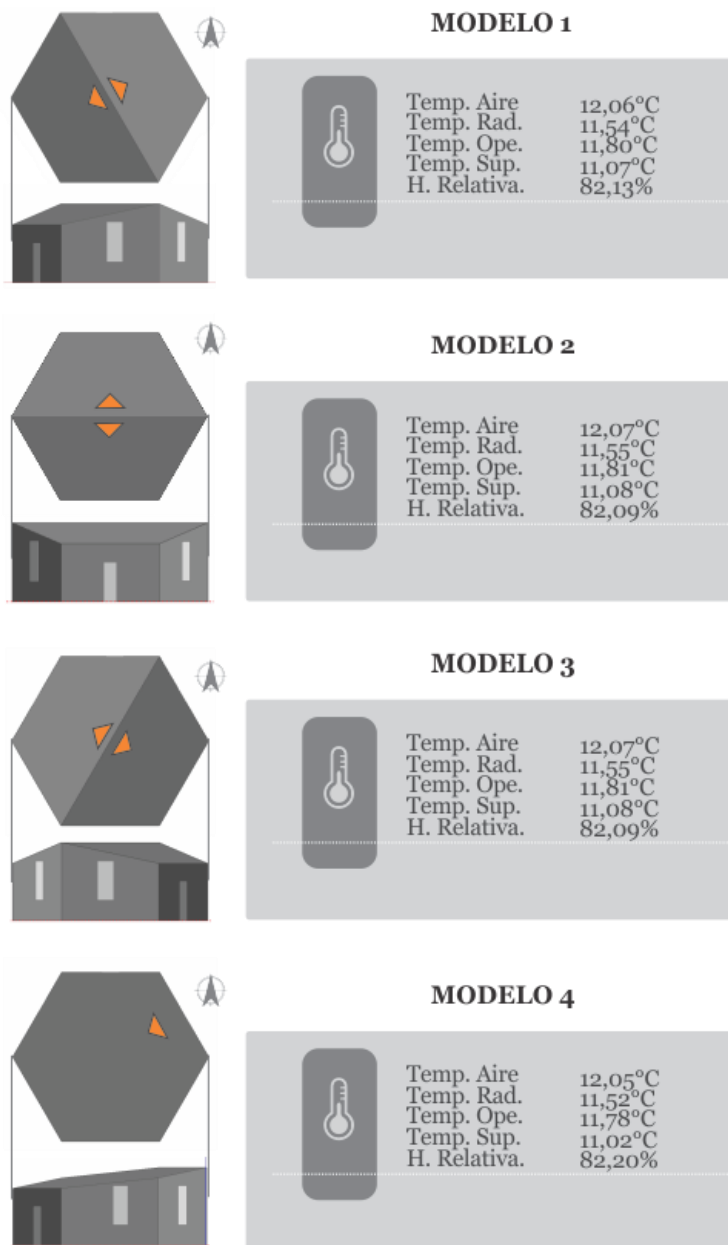


Tabla 12. Resultados de simulación de cubiertas modelo 1, 2, 3 y 4. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

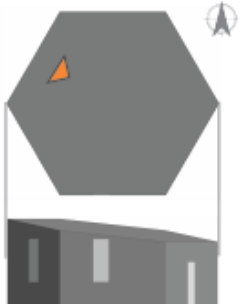

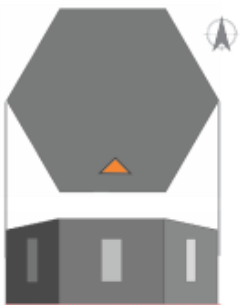

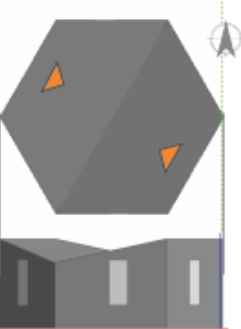

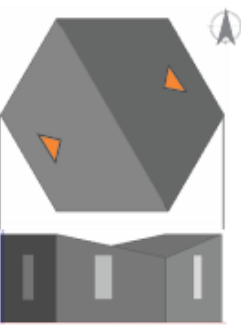

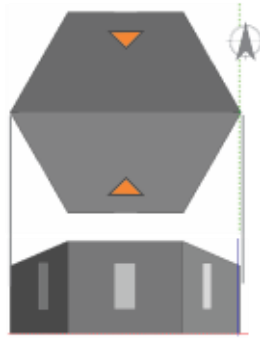
	<p style="text-align: center;">MODELO 5</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <table border="0"> <tr><td>Temp. Aire</td><td>12,04°C</td></tr> <tr><td>Temp. Rad.</td><td>11,52°C</td></tr> <tr><td>Temp. Ope.</td><td>11,78°C</td></tr> <tr><td>Temp. Sup.</td><td>11,03°C</td></tr> <tr><td>H. Relativa.</td><td>82,37%</td></tr> </table> </div>	Temp. Aire	12,04°C	Temp. Rad.	11,52°C	Temp. Ope.	11,78°C	Temp. Sup.	11,03°C	H. Relativa.	82,37%
Temp. Aire	12,04°C										
Temp. Rad.	11,52°C										
Temp. Ope.	11,78°C										
Temp. Sup.	11,03°C										
H. Relativa.	82,37%										
	<p style="text-align: center;">MODELO 6</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <table border="0"> <tr><td>Temp. Aire</td><td>12,05°C</td></tr> <tr><td>Temp. Rad.</td><td>11,52°C</td></tr> <tr><td>Temp. Ope.</td><td>11,79°C</td></tr> <tr><td>Temp. Sup.</td><td>11,03°C</td></tr> <tr><td>H. Relativa.</td><td>82,18%</td></tr> </table> </div>	Temp. Aire	12,05°C	Temp. Rad.	11,52°C	Temp. Ope.	11,79°C	Temp. Sup.	11,03°C	H. Relativa.	82,18%
Temp. Aire	12,05°C										
Temp. Rad.	11,52°C										
Temp. Ope.	11,79°C										
Temp. Sup.	11,03°C										
H. Relativa.	82,18%										
	<p style="text-align: center;">MODELO 7</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <table border="0"> <tr><td>Temp. Aire</td><td>12,06°C</td></tr> <tr><td>Temp. Rad.</td><td>11,55°C</td></tr> <tr><td>Temp. Ope.</td><td>11,80°C</td></tr> <tr><td>Temp. Sup.</td><td>11,02°C</td></tr> <tr><td>H. Relativa.</td><td>82,13%</td></tr> </table> </div>	Temp. Aire	12,06°C	Temp. Rad.	11,55°C	Temp. Ope.	11,80°C	Temp. Sup.	11,02°C	H. Relativa.	82,13%
Temp. Aire	12,06°C										
Temp. Rad.	11,55°C										
Temp. Ope.	11,80°C										
Temp. Sup.	11,02°C										
H. Relativa.	82,13%										
	<p style="text-align: center;">MODELO 8</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <table border="0"> <tr><td>Temp. Aire</td><td>12,06°C</td></tr> <tr><td>Temp. Rad.</td><td>11,55°C</td></tr> <tr><td>Temp. Ope.</td><td>11,80°C</td></tr> <tr><td>Temp. Sup.</td><td>11,03°C</td></tr> <tr><td>H. Relativa.</td><td>82,14%</td></tr> </table> </div>	Temp. Aire	12,06°C	Temp. Rad.	11,55°C	Temp. Ope.	11,80°C	Temp. Sup.	11,03°C	H. Relativa.	82,14%
Temp. Aire	12,06°C										
Temp. Rad.	11,55°C										
Temp. Ope.	11,80°C										
Temp. Sup.	11,03°C										
H. Relativa.	82,14%										

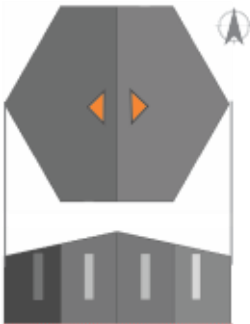
Tabla 13. Resultados de simulación de cubiertas modelo 5, 6, 7 y 8. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0



MODELO 9



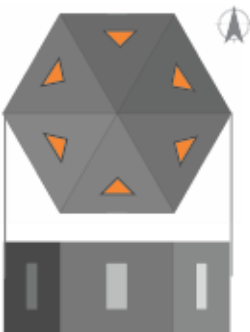
Temp. Aire	12,05°C
Temp. Rad.	11,54°C
Temp. Ope.	11,80°C
Temp. Sup.	11,03°C
H. Relativa.	82,08%



MODELO 10



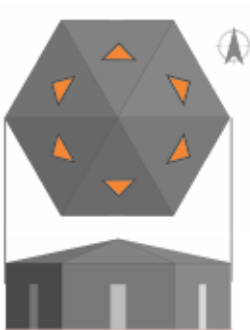
Temp. Aire	12,07°C
Temp. Rad.	11,56°C
Temp. Ope.	11,82°C
Temp. Sup.	11,02°C
H. Relativa.	82,08%



MODELO 11



Temp. Aire	12,02°C
Temp. Rad.	11,51°C
Temp. Ope.	11,77°C
Temp. Sup.	11,08°C
H. Relativa.	82,31%



MODELO 12



Temp. Aire	12,11°C
Temp. Rad.	11,58°C
Temp. Ope.	11,84°C
Temp. Sup.	11,11°C
H. Relativa.	82,07%

Tabla 14. Resultados de simulación de cubiertas modelo 9, 10, 11 y 12. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

A continuación, se presenta el resultado de las simulaciones ordenada de forma descendente, de acuerdo al resultado del promedio anual de temperatura operativa del espacio. El modelo 12 y 10 tienen la característica de tener sus superficies sobre las orientaciones occidente y oriente; de esta forma, obtienen mayores ganancias térmicas del sol y por tanto, son los modelos que tienen el mayor promedio de temperatura operativa.

Por otro lado, los modelos que tienen menor cantidad de lados, u ocultan sus superficies a las orientaciones oriente y occidente son los que poseen el comportamiento térmico más bajos de acuerdo a la temperatura operativa.

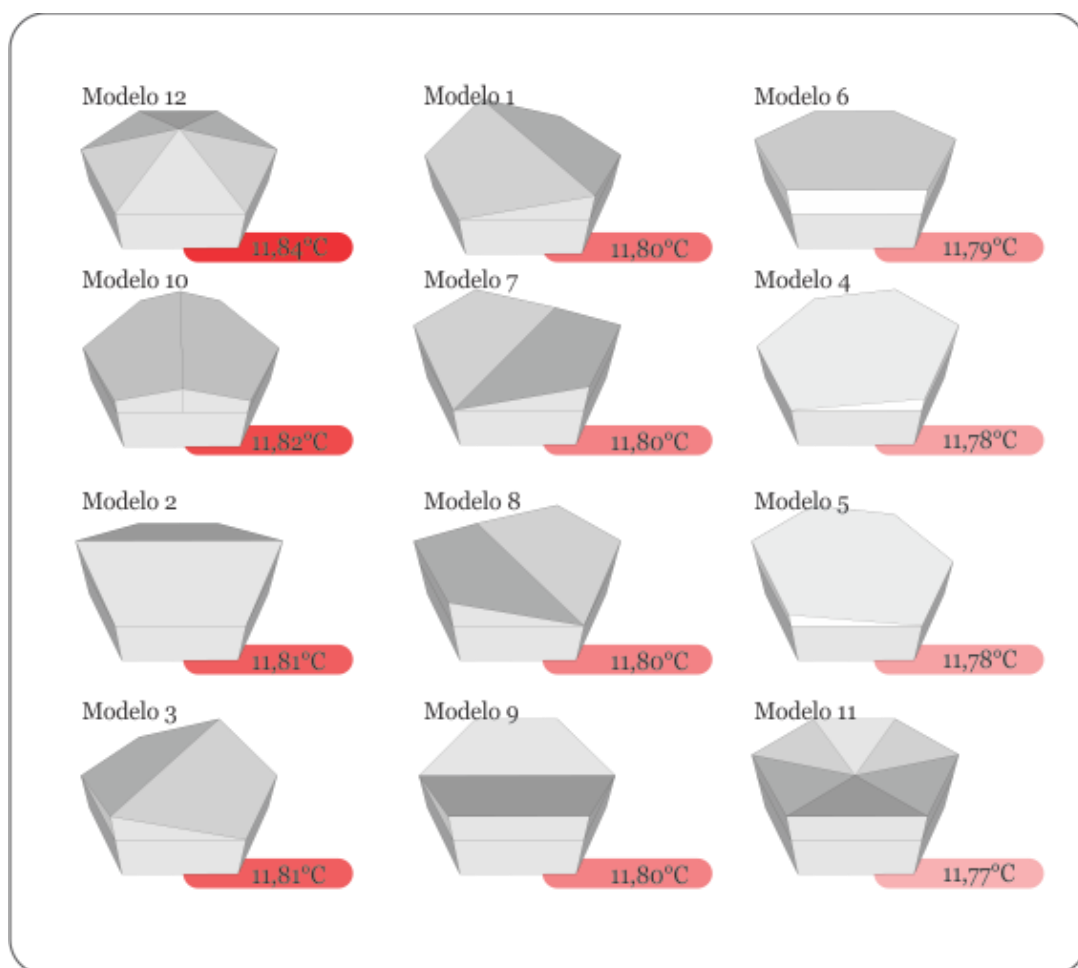


Tabla 15. Tabla de comparativos de modelos de cubierta. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

11.2.2. Zonificación Eficiente

A partir del conocimiento de la figura bidimensional y tridimensional más eficiente, se realiza la subdivisión interna del espacio para conocer cuál es el comportamiento de las zonas teniendo en cuenta las renovaciones de aire, la iluminación natural y la temperatura operativa anual. En concordancia con lo anterior, se elaboran diferentes modelos de zonificación interna para hallar el resultado de funcionamiento ambiental de las zonas y así, encontrar una distribución óptima de acuerdo a los espacios de la vivienda.

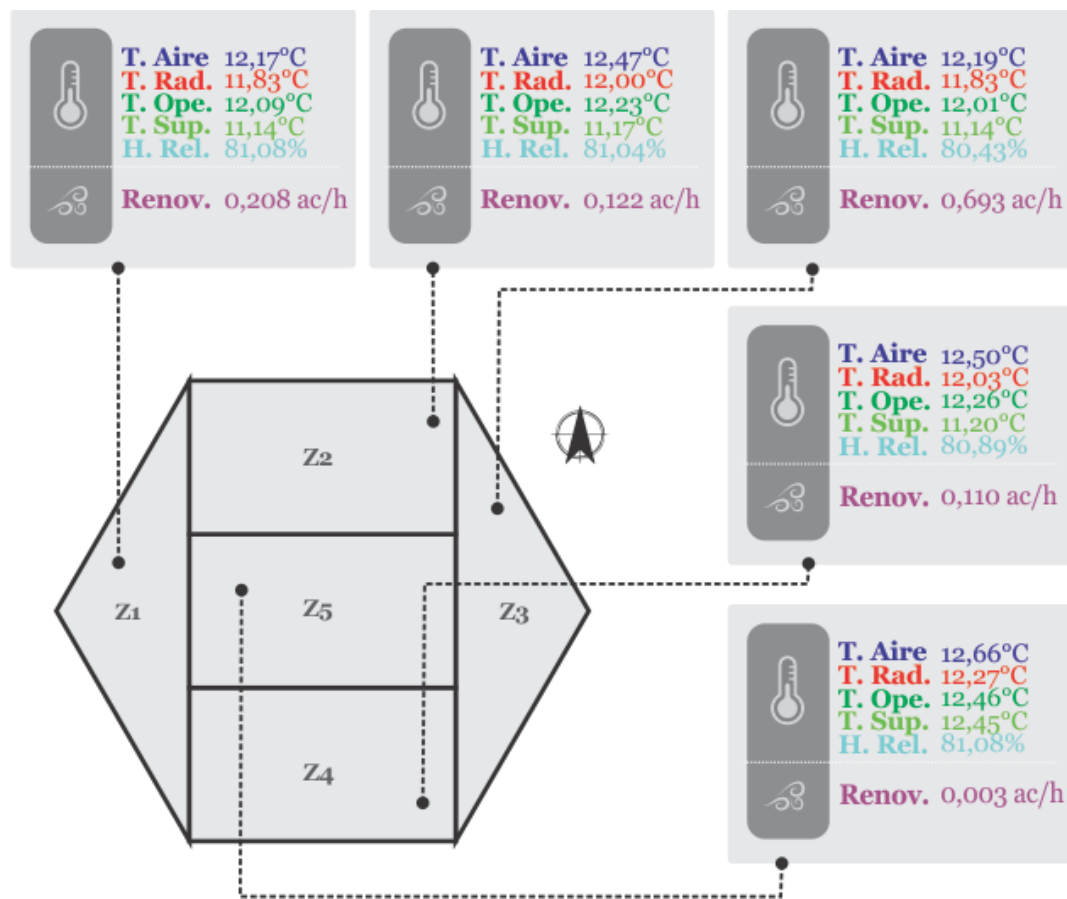


Figura 37. Referencia de zonificación eficiente No. 1 Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

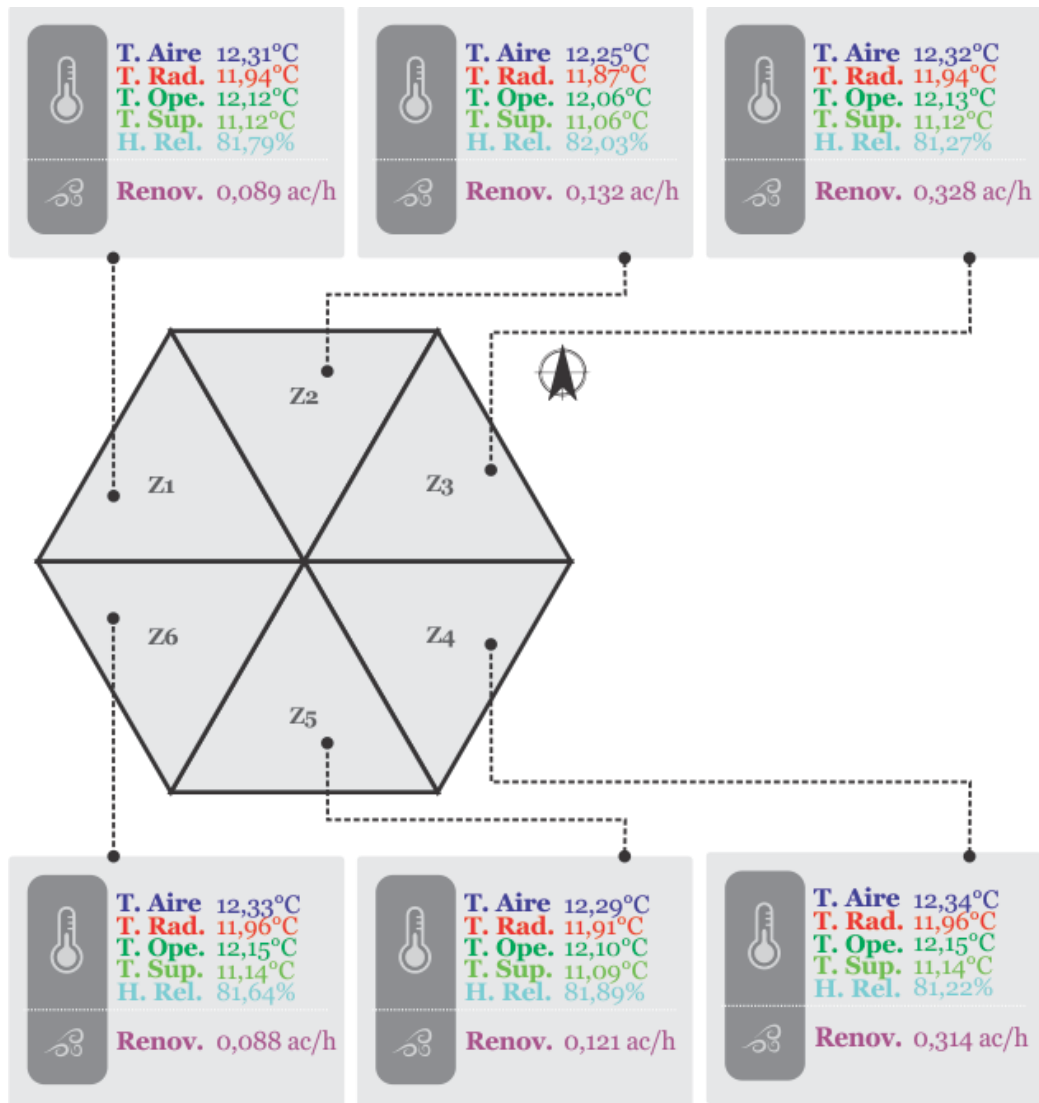


Figura 38. Referencia de zonificación eficiente No. 2 Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

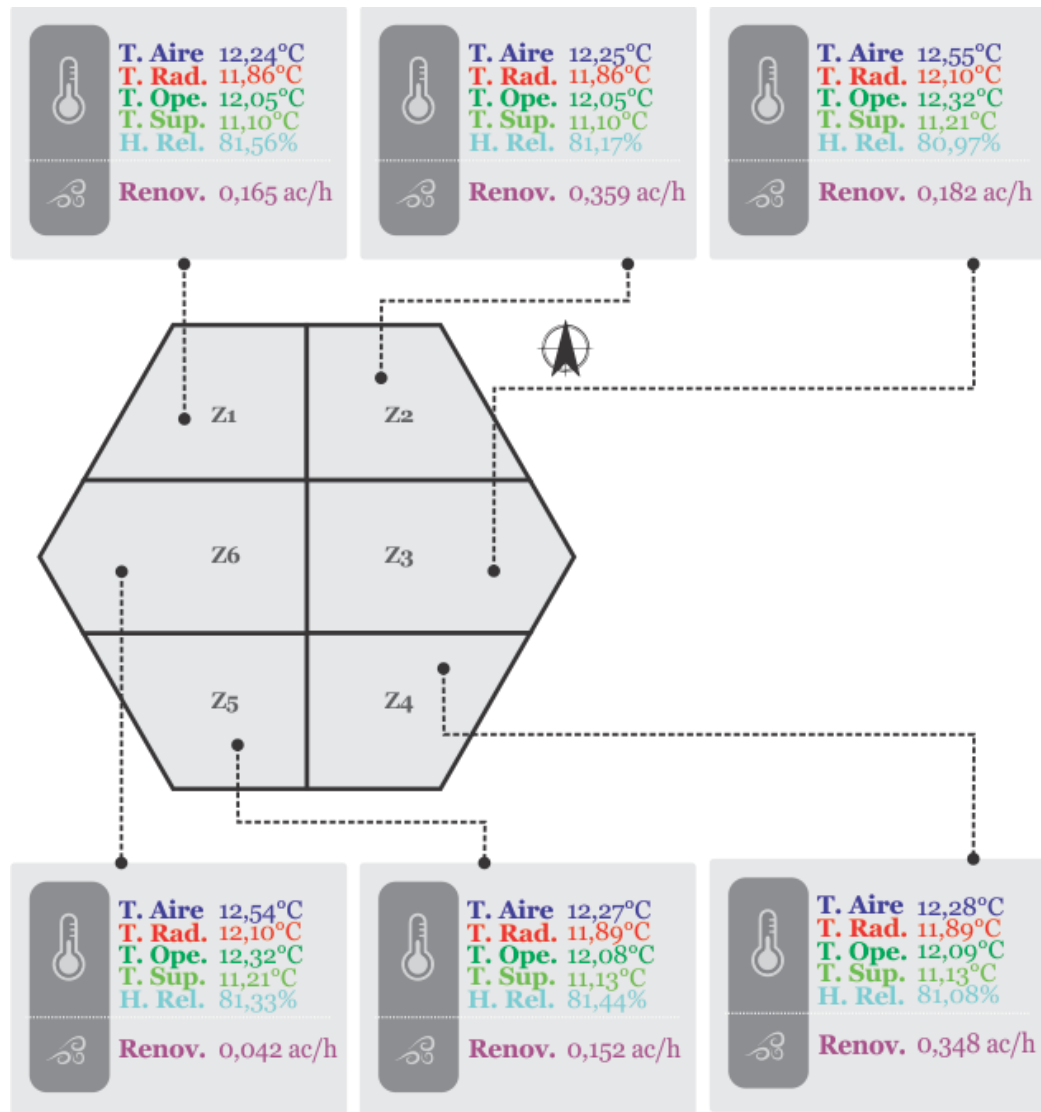


Figura 39. Referencia de zonificación eficiente No. 3 Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

Las referencias se ordenan en una escala de color descendente de acuerdo al valor del promedio anual de temperatura operativa, en el cual se indica las zonas más cálidas y las más frías. De las gráficas se puede analizar que las zonas con mayor aislamiento de las fachadas exteriores, tienen mayores temperaturas, pues no tienen una relación directa con el flujo del aire.

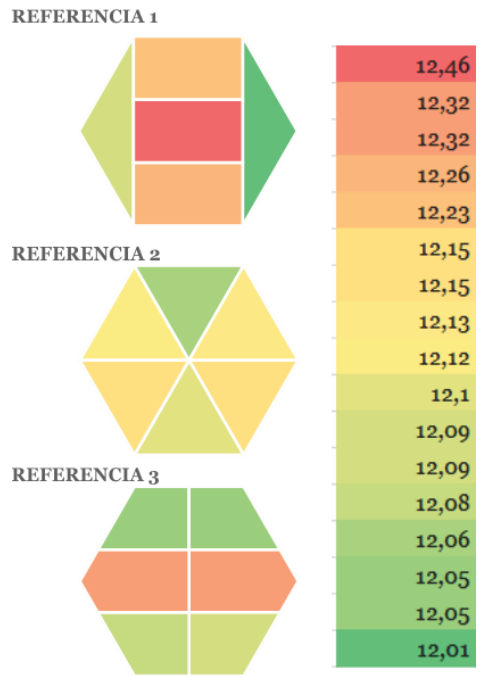


Figura 40. Tabla comparativa de zonificaciones. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

Los resultados obtenidos se grafican en un mapa de color para tener una comprensión más clara del comportamiento de las zonas; adicionalmente, se elaboran los resultados obtenidos para las diferentes orientaciones.

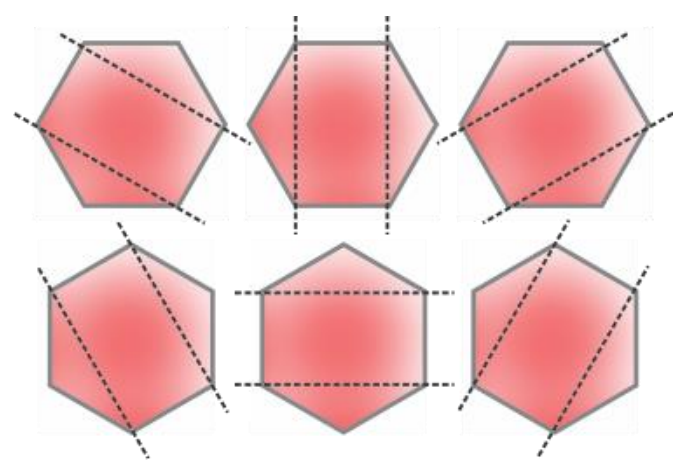


Figura 41. Mapa de calor de las zonificaciones. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

De acuerdo a los resultados evidenciados anteriormente, se concibe el siguiente diagrama de distribución arquitectónico:

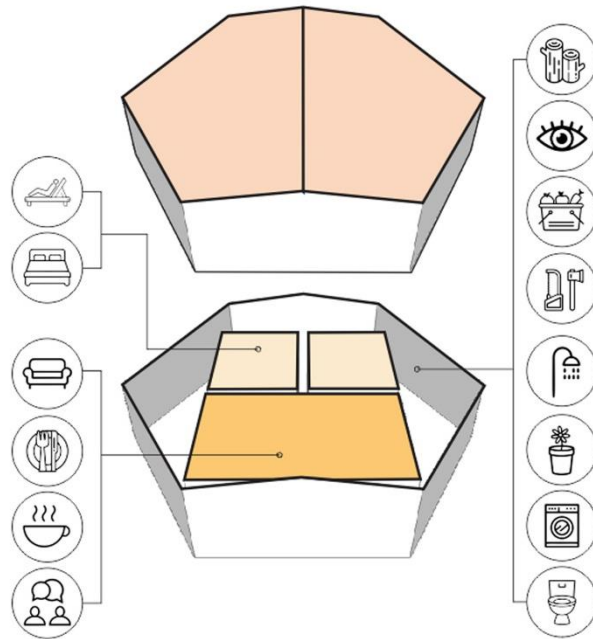


Figura 42. Despiece de funcionamiento arquitectónico óptimo. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

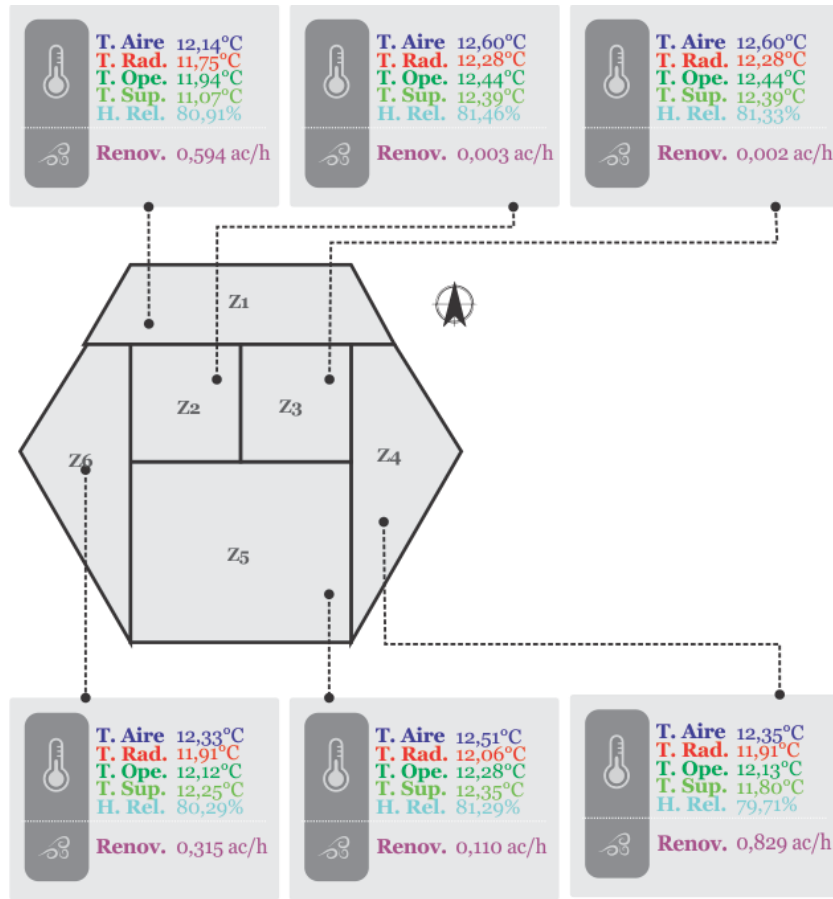


Figura 43. Zonificación óptima. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

11.2.3. Relación Ventana Pared Eficiente

La variación en el porcentaje de ventana pared puede incidir en la distribución de la iluminación natural, en flujo del viento y las renovaciones de aire; y por supuesto, en el comportamiento térmico del espacio. Debido a esto, se analiza las variaciones en esos indicadores realizando modificaciones del porcentaje de las ventanas de la fachada, incrementando la relación en 10% para cada simulación.

A continuación, se representa el resultado de estas modificaciones para la simulación de iluminación natural para el espacio sin divisiones internas:

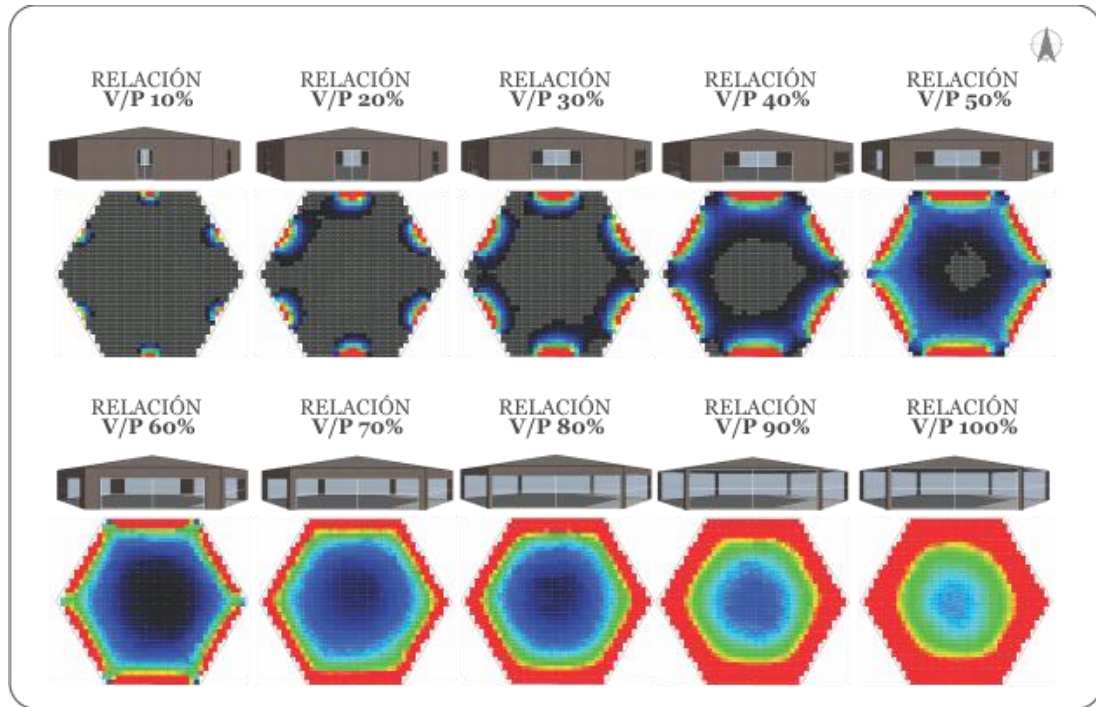


Figura 44. Comportamiento lumínico según relación ventana pared. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

De igual forma, se realiza la simulación con las variaciones en el porcentaje de ventana y las divisiones internas; obteniendo los siguientes resultados:

TEMPERATURA (°C)	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
DEPÓSITO	11,94	12,2	12,42	12,62	12,8	12,96	13,1	13,23	13,35
HABITACIÓN 1	12,44	12,56	12,67	12,72	12,88	12,97	13,05	13,14	13,22
HABITACIÓN 2	12,44	12,56	12,68	12,78	12,88	12,97	13,05	13,14	13,22
SERVICIOS 1	12,12	12,45	12,74	13	13,23	13,44	13,62	13,8	13,95
SERVICIOS 2	12,13	12,45	12,74	13,01	13,25	13,46	13,66	13,85	14,03
SOCIAL	12,28	12,44	12,58	12,71	12,84	12,96	13,07	13,18	13,29

Tabla 16. Resultados de temperatura operativa y variación en RVP. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

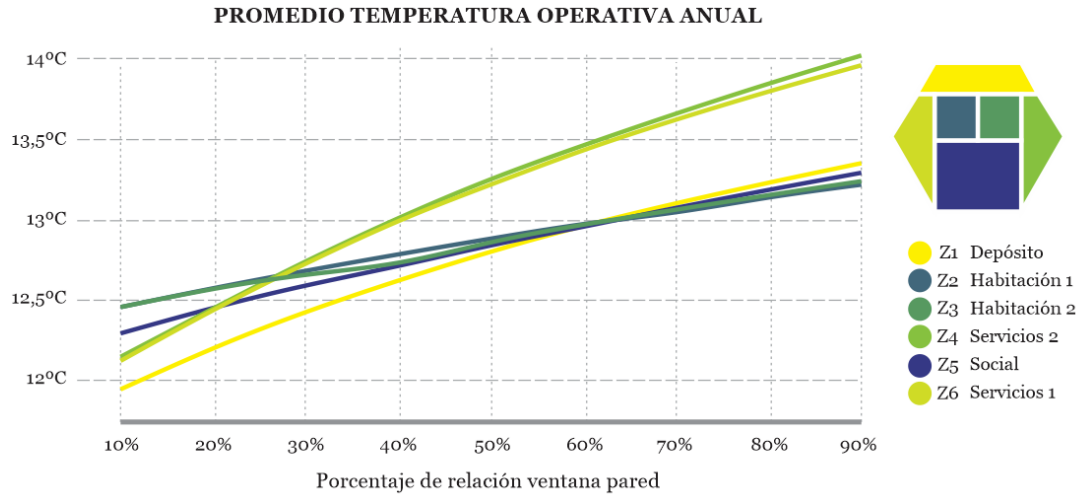


Figura 45. Resultados de temperatura operativa y variación en RVP. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

FLD (%)	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
DEPÓSITO	1,22	3,09	4,26	6,5	7,44	8,41	9,68	11,2	15,13
HABITACIÓN 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HABITACIÓN 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SERVICIOS 1	2,32	3,86	5,19	7,17	7,75	9,18	10,05	12,81	15,66
SERVICIOS 2	1,94	3,3	5,17	6,75	7,1	8,69	9,89	12,41	14,89
SOCIAL	0,6	1,19	1,66	2,28	3,31	3,83	4,08	6,21	6,29

Tabla 17. Resultados de iluminación natural y variación en RVP. Fuente: Elaboración propia. CC BY-NC 4.0

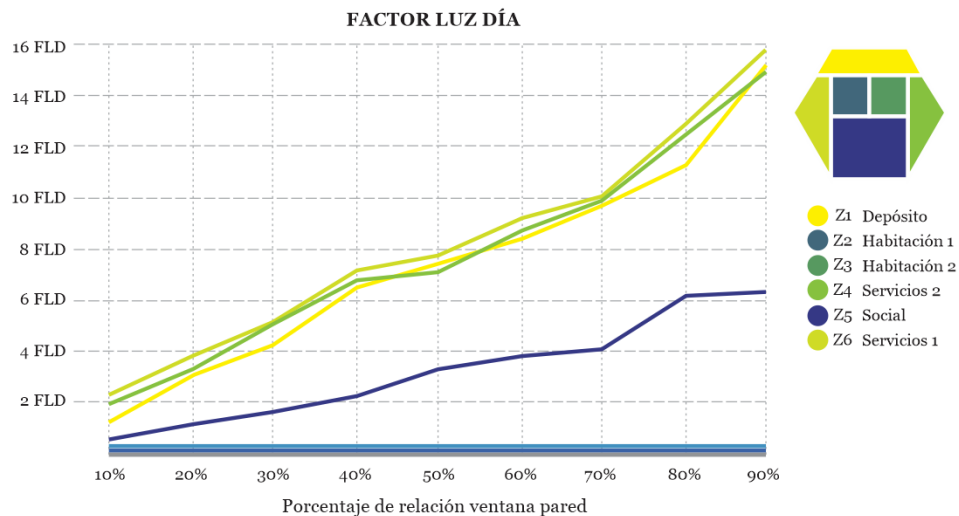


Figura 46. Resultados de iluminación natural y variación en RVP. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

RENOVACIONES AC/H	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
DEPÓSITO	0,594	1,186	1,768	2,34	2,92	3,514	4,1	4,824	5,639
HABITACIÓN 1	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
HABITACIÓN 2	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
SERVICIOS 1	0,315	0,706	1,108	1,541	2,013	2,504	2,999	3,62	4,343
SERVICIOS 2	0,829	1,397	1,954	2,506	3,057	3,607	4,158	4,838	5,614
SOCIAL	0,11	0,195	0,28	0,365	0,453	0,543	0,635	0,761	0,918

Tabla 18. Resultados de renovaciones de aire y variación en RVP. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

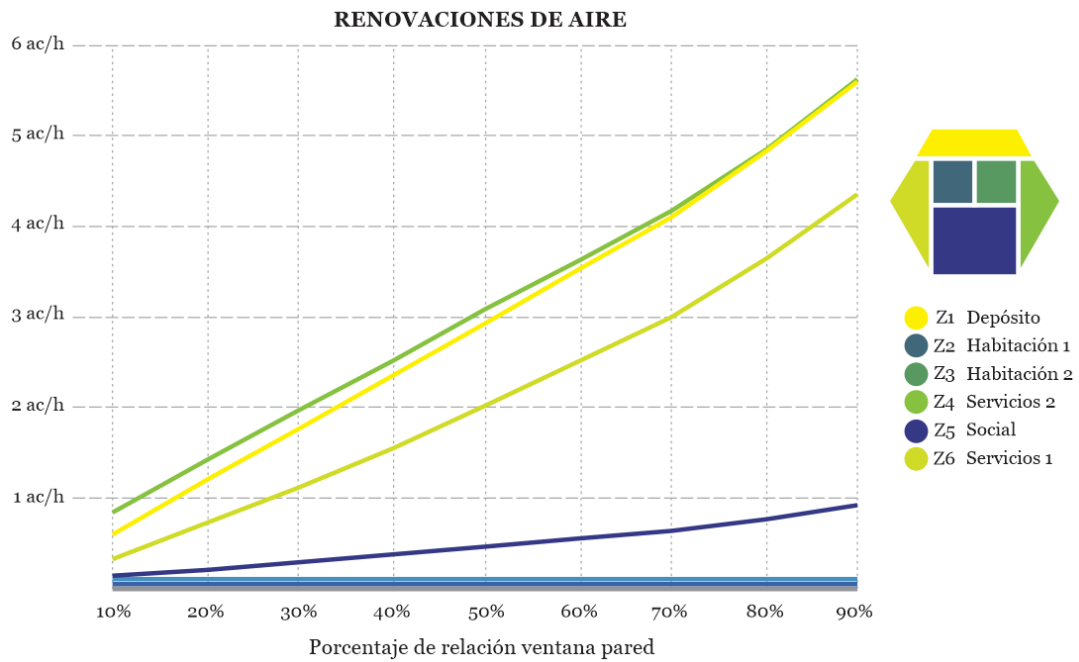


Figura 47. Resultados de renovaciones de aire y variación en RVP. Fuente: Elaboración propia. CC BY-NC 4.0



Figura 48. Porcentaje de horas dentro del rango de confort según relación ventana pared. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

11.2.4. Materialidad Eficiente

La materialidad local es pilar importante en el desarrollo de la investigación, por tal razón, se realiza un recorrido fotográfico del sector para analizar los recursos con los que las personas han edificado sus viviendas y de tal forma, evaluar los elementos que tienen el comportamiento más eficiente para el confort térmico. A través de esta herramienta, se concluyó que, en los muros, se usan materialidad como el bloque, ladrillo de arcilla, y el adobe; en las cubiertas se destaca el uso de la teja de arcilla y otros materiales como la teja de fibrocemento y en ciertos espacios, las cubiertas plásticas.

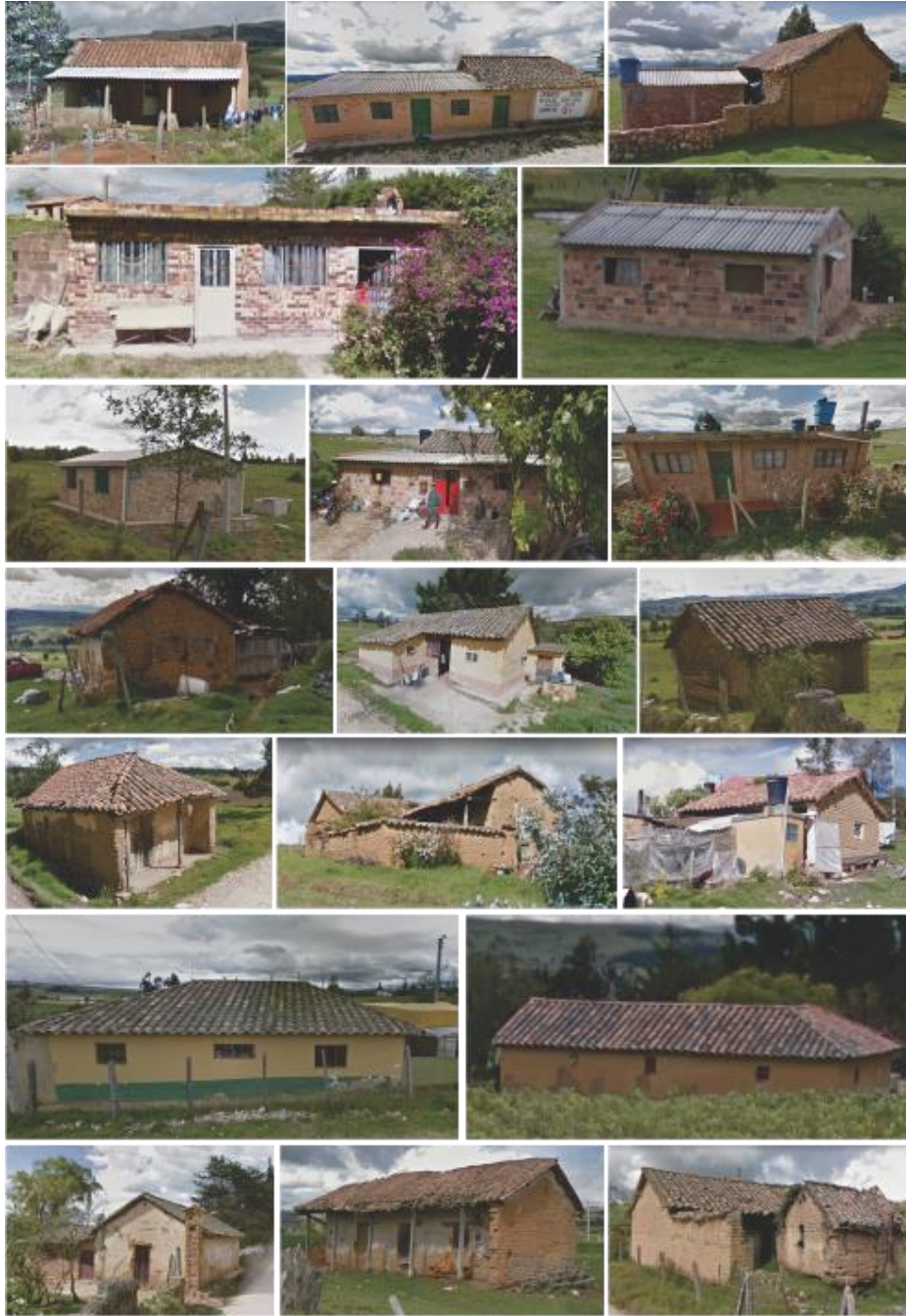


Figura 49. Registro fotográfico viviendas aledañas a los casos de estudio. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

A partir de este registro, se incorporan las variaciones de material en el software Design Builder para conocer la alteración en el confort térmico de acuerdo a cada material, y se representan en la siguiente tabla:

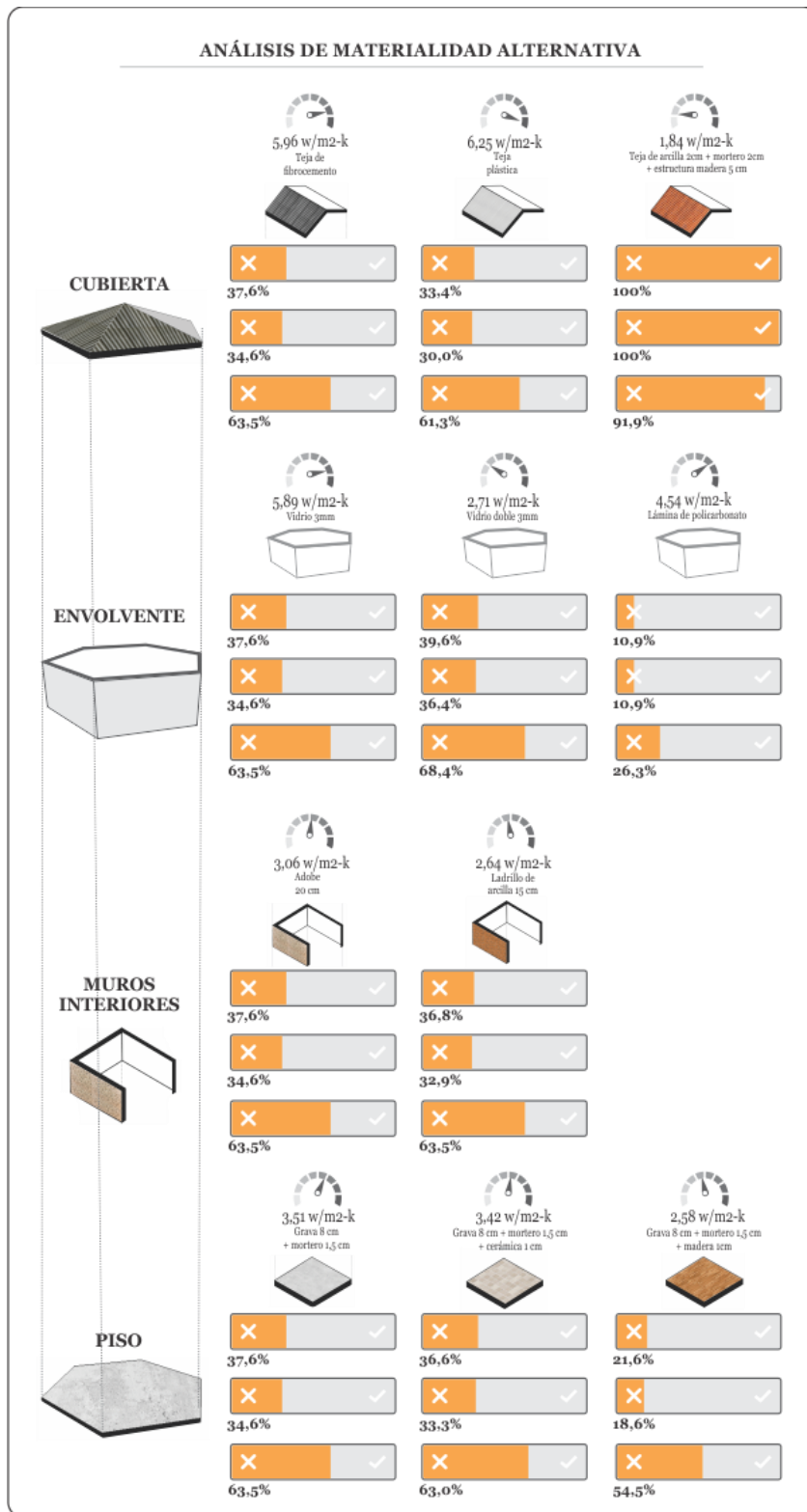


Tabla 19. Incidencia de la materialidad en el confort térmico. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

La efectividad de la cubierta es directamente proporcional a la masa térmica del material, a mayor cantidad, mejor resultado; en las simulaciones, la teja de arcilla junto a los elementos estructurales de la misma, mantienen los espacios internos dentro del rango de confort, más tiempo respecto a los otros materiales. De esta misma manera, en los muros internos: el ladrillo, en la envolvente propuesta: el doble vidrio de 3mm y en piso: grava con mortero, proporcionan los mejores resultados.

Aun así, para la fase proyectiva se sustituirán algunos materiales, teniendo en cuenta el impacto ambiental y cultural, y la poca diferencia en los resultados de la simulación, como es el caso del adobe en remplazo del ladrillo, y la envolvente propuesta con una sola capa de vidrio claro de 3mm.

12. Fase Proyectiva

El resultado de la fase experimental se resume en estrategias de diseño (forma, orientación, volumetría, materialidad y características) que brindan un comportamiento de confort integral más eficiente. Estas estrategias se reúnen concibiendo un modelo de vivienda, con la finalidad de conocer el comportamiento térmico, lumínico y olfativo de los espacios principales, con los siguientes resultados:

Como primer modelo, una vivienda que atiende a la zonificación propuesta (Ver figura 42) donde no se han aplicado aperturas en algunos muros, por tanto, el porcentaje de renovaciones e iluminación natural es mínimo en las habitaciones. Caso contrario en el espacio social, debido a una relación ventana pared del 100% aplicada en la fachada sur.

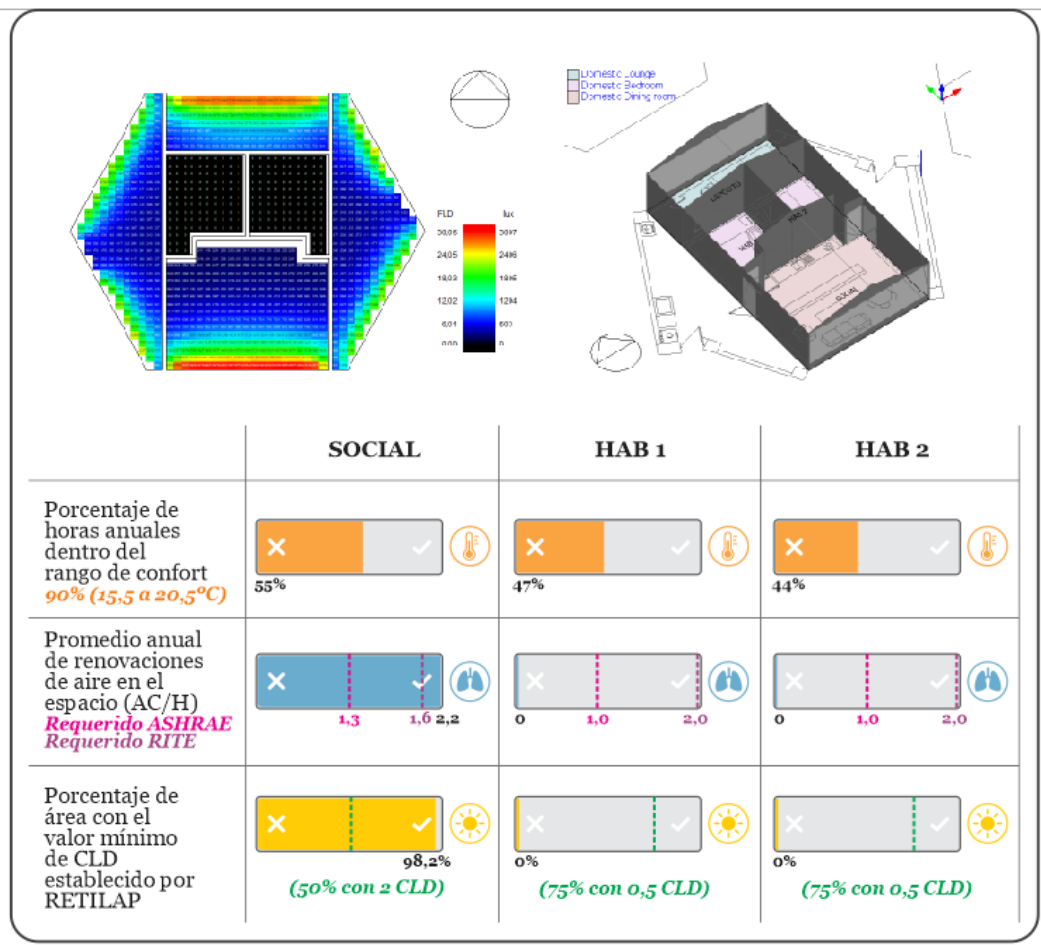


Tabla 20 Resultados de simulación modelado No. 1. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

De acuerdo a los resultados obtenidos, se aplican algunas variaciones al modelo: aperturas en las habitaciones, que reducen el confort térmico y aumentan tenuemente la iluminación natural, y se disminuye la relación ventana pared de la fachada sur (zona social) que reducen el confort térmico, las renovaciones de aire y la iluminación natural.

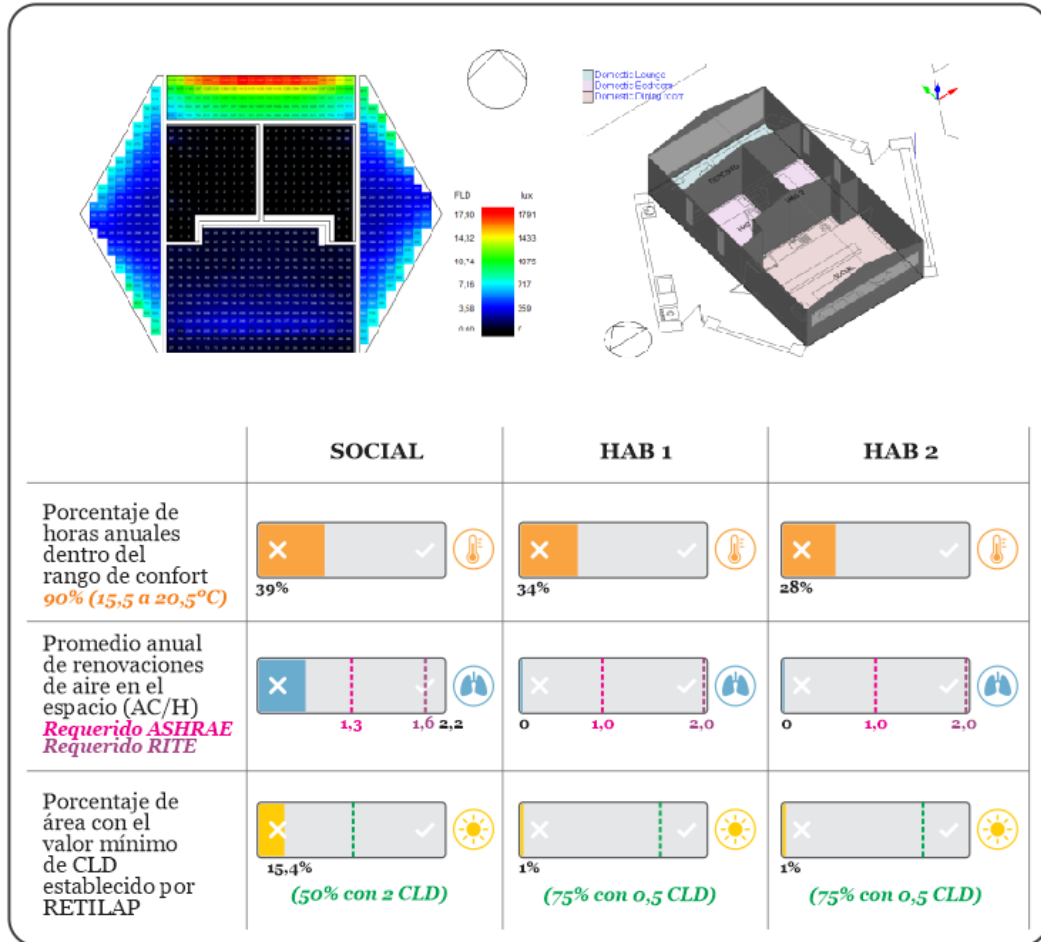


Tabla 21 Resultado de simulación modelado No. 2. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

Para el siguiente modelado, se aplicaron estrategias como celosía en los muros de la zona social, y una variación de la orientación en las aperturas de las habitaciones, las cuales disminuyeron el porcentaje de tiempo dentro de la zona de confort térmico de los espacios, el porcentaje de espacio con iluminación natural adecuada y el indicador de renovación de aire adecuado.

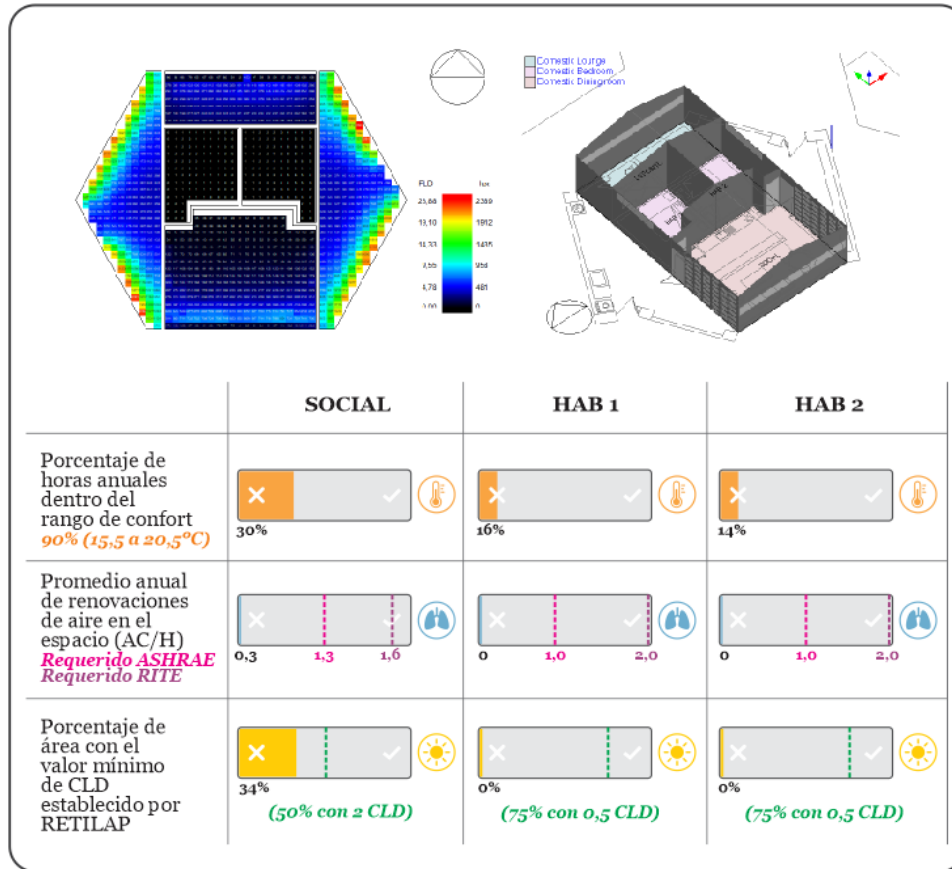


Tabla 22 Resultado de simulación modelado No. 3. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

Teniendo en cuenta el comportamiento obtenido por las estrategias aplicadas, se modifican las ventanas de orientación, forma, tamaño y porcentaje de apertura para conseguir un equilibrio entre los indicadores de confort, debido a las pérdidas de calor, entradas de iluminación y aire que estas representan.

Dentro de las pautas de diseño y construcción ya concebidas, se añaden otras como la localización de una fuente de calor en el centro de la vivienda (estufa) y algunas aperturas en la cubierta, estas, se evidencian a continuación:

Los resultados del modelo final se pueden evidenciar en la siguiente gráfica; se logra mantener un equilibrio entre los indicadores con mejores resultados a los de las viviendas existentes en los espacios más concurridos.

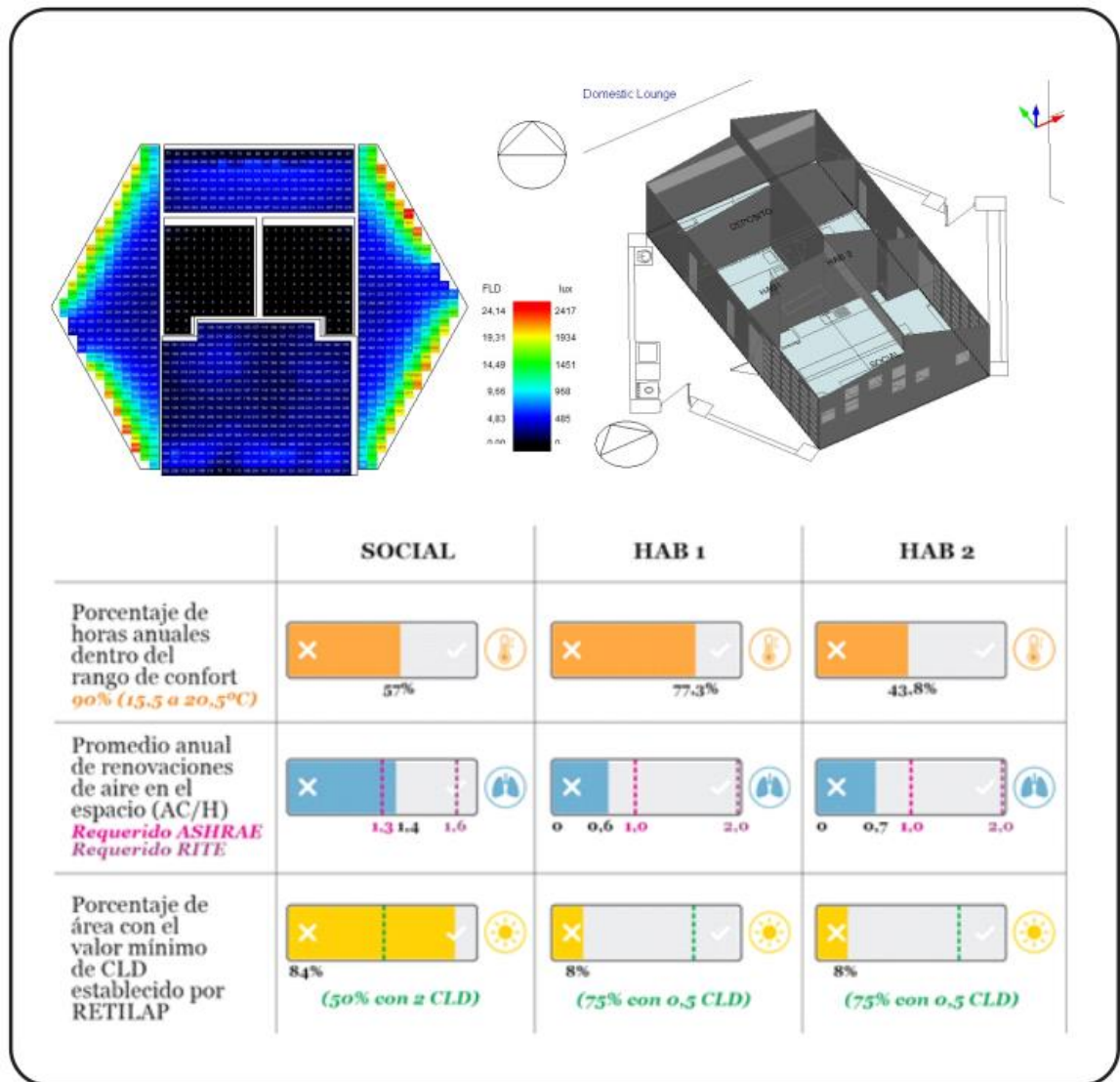


Tabla 23 Resultados de modelo final. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

12.2. Evaluación de las estrategias constructivas sobre casos de estudio

Las estrategias resultantes de la investigación se aplicaron a las 3 viviendas tomadas como caso de estudio con el objeto de analizar su incidencia y efectividad en cada una de estas. Este resultado se representa a través de las siguientes gráficas: las barras representan el porcentaje de horas dentro del rango de confort de los espacios indicados; en primer lugar, para la vivienda existente, y posteriormente para cada una de las estrategias.

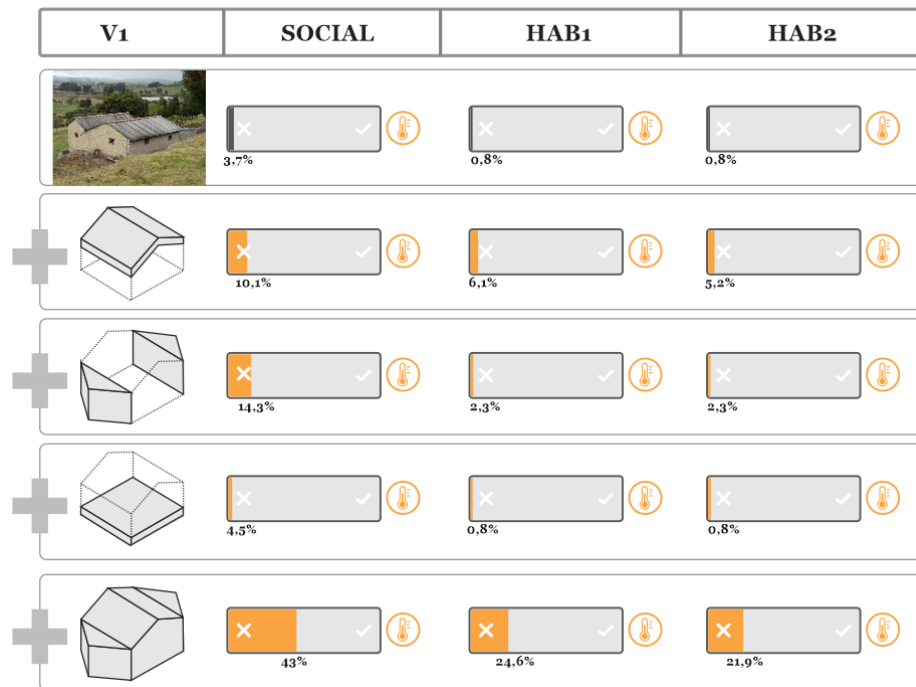


Tabla 24. Incidencia de horas dentro del rango de confort y evaluación de estrategias en vivienda No. 1. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

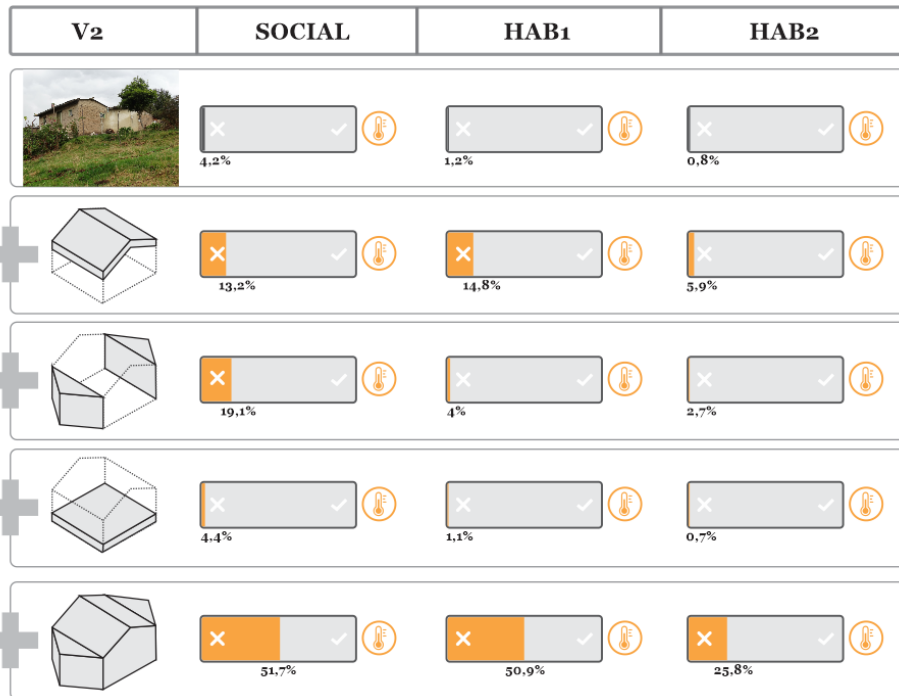


Tabla 25. Incidencia de horas dentro del rango de confort y evaluación de estrategias en vivienda No. 2. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

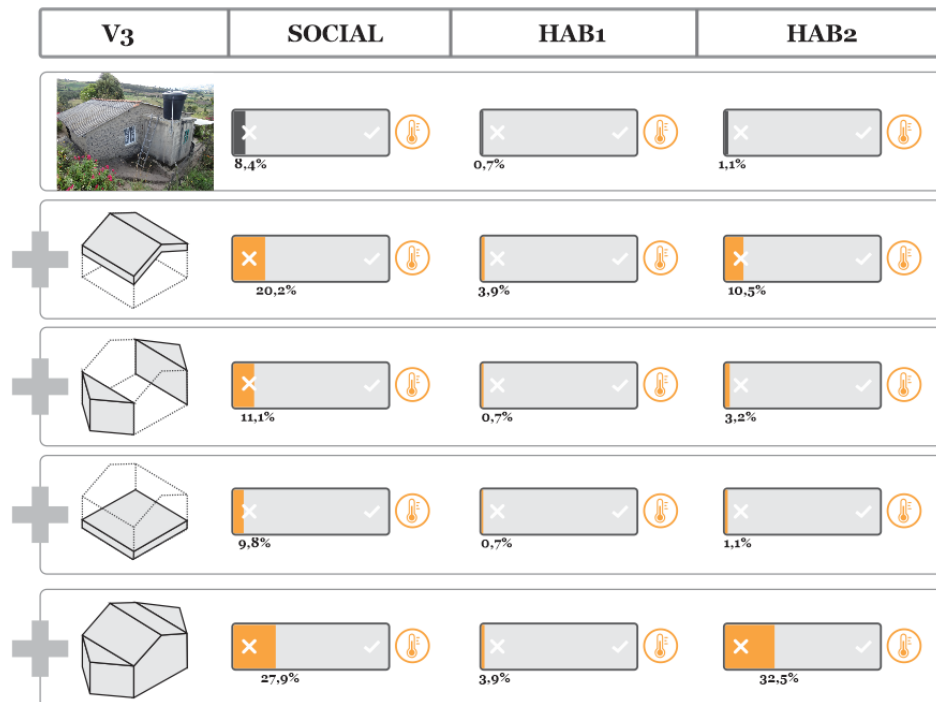


Tabla 26. Incidencia de horas dentro del rango de confort y evaluación de estrategias en vivienda No. 3. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

Teniendo en cuenta los porcentajes resultantes, la estrategia de aumentar el aislamiento en la cubierta es una de las más efectivas frente a las demás; así mismo, la combinación de todas las estrategias, aumenta el porcentaje de horas dentro del rango de confort casi hasta un 50% adicional, al porcentaje de la vivienda actual.

La estrategia de localizar la fuente de calor en el espacio central de la vivienda se evaluó a partir del modelo propuesto en la fase proyectiva. Según Boccaccini et al (2018) una estufa de alto rendimiento fabricada en mampostería en un hogar cerrado tiene una potencia térmica emitida de 1433,73 W; para el ejercicio de simulación, esta cifra se divide a la mitad teniendo en cuenta la simplicidad de las estufas de leña construidas en las viviendas existentes, de esta manera, se toma un valor de 26 w/m² para la zona donde se ubica la cocina y un funcionamiento de 4 horas diarias, ajustado al horario normal de cocina y se pudieron evidenciar que localizar esta fuente de calor en la centralidad de la vivienda, se puede aumentar hasta en un 20% el porcentaje de horas dentro del rango de confort.

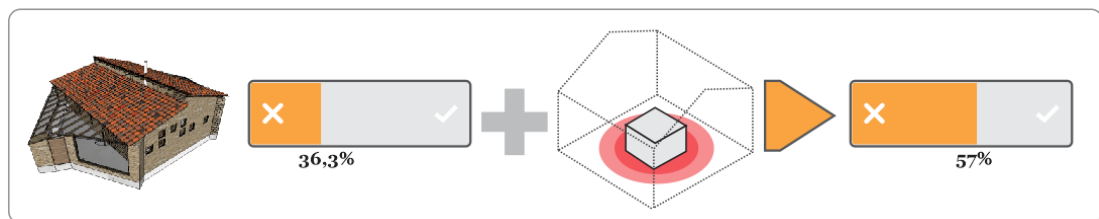


Figura 50. Porcentaje de horas dentro del rango de confort con fuente de calor.
Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

13. Evaluación de Sostenibilidad

13.1. Impacto Ambiental

Todas las actividades ejecutadas por el hombre generan un impacto ambiental, la importancia de cuantificar estos permite valorar la importancia del proyecto respecto a los

elementos actuales, para el caso de la investigación: las viviendas existentes. De acuerdo a Martínez et al (2019) los impactos se pueden clasificar según su efecto en irreversible, temporal, reversible, persistente, actual o potencial y local o diseminado.

Teniendo en cuenta los análisis realizados en la construcción de las viviendas: la producción de tejas en fibrocemento es una de las actividades que puede representar el mayor impacto ambiental negativo, y se podría clasificar como irreversible y persistente. De esta manera, se puede deducir que su sustitución por materiales renovables, que tengan impactos ambientales reversibles y temporales puede marcar una diferencia significativa en la construcción de viviendas rurales. En el desarrollo de la investigación y las estrategias para mejorar las condiciones de las viviendas a partir de materiales y técnicas locales; como el uso del adobe, las cubiertas en teja de arcilla junto con maderas locales y el mantenimiento de algunas características constructivas de las viviendas existentes, permiten además de disminuir las huellas ecológicas (emisiones de gases contaminantes y disminución en el consumo de recursos) rescatar elementos culturales así como crear alternativas de empleo para la comunidad o región.

Un factor determinante para la evaluación de sostenibilidad ambiental del proyecto son los recursos consumidos bajo la fase de operación y sostenimiento de la edificación. Resolver situaciones de discomfort térmico e iluminación natural insuficiente a través de estrategias arquitectónicas pasivas, influye en la reducción de consumo de energía durante el número de años de ocupación y funcionamiento de los espacios.

13.2. Impacto Social

Plantear el desarrollo de una guía para la población afectada, que contiene los parámetros para transformar un entorno, significa un reto fundamental en la sostenibilidad social del proyecto. Como cita Echeverri (2010):

La arquitectura pertenece tanto a lugares como a las personas, por lo tanto, debe ser pensada para la gente, no para los arquitectos y por eso una arquitectura que no sea construida desde sus comienzos con la ayuda de sus usuarios finales nunca llegará a generar gran impacto físico ni social, pues si no logra entender la esencia de sus beneficiarios ésta no tendrá el impacto esperado (p. 1).

La inclusión de la población a través de los ejercicios de recolección de información de diseño y percepción térmica, permitieron alcanzar una propuesta que no altera los valores culturales, sino que más bien, brinda un refuerzo en la continuación de técnicas ancestrales y el sostenimiento de algunas costumbres. Asimismo, teniendo en cuenta que el material es extraído del mismo territorio se requiere la mano de obra local, lo que incentiva la creación de empleos que beneficiarían económicamente a la población aledaña al proyecto.

En adición, la búsqueda del entorno saludable y la contribución positiva en la salud de las personas de la tercera edad; población vulnerable y de especial protección, permite consolidar en los mismos, herramientas para fortalecer aspectos de la dignidad humana.

13.3. Impacto Económico

El planteamiento del confort integral como una condición que contempla la iluminación natural y el confort térmico, influye directamente en la eficiencia energética y por tanto en la reducción en el consumo de energía, que es directamente proporcional a la inversión económica de este servicio. Además, el uso de materiales y técnicas locales son herramientas que generan mano de obra local y por tanto, empleo para la población en la construcción y adecuación de las viviendas.

La búsqueda de la salud como objetivo social del proyecto permite minimizar los impactos económicos futuros derivados de los activos necesarios para costear los gastos en

salud, a través del bienestar dentro de las viviendas. Por lo tanto, el confort térmico, lumínico y olfativo influyen positivamente en la salud de las personas que se desenvuelven en un ambiente con estas características, es decir, las personas que habitan en una vivienda saludable pueden resultar menos susceptibles a desarrollar cierto tipo de enfermedades, además pueden presentar un mejor rendimiento y productividad en sus actividades diarias (trabajo, estudio, etc).

13.4. Cuantificación de la Evaluación de Sostenibilidad

Un proceso de calificación y comparación de las estrategias propuestas, respecto a la línea base de las viviendas existentes, puede suponer una herramienta de análisis del impacto de las mismas. A través de un sistema de cuantificación, que tiene en cuenta algunos indicadores de desarrollo sostenible que están relacionados con el impacto ambiental, social y económico de la propuesta y el entorno existente, se elabora una evaluación detallada de cada una de estas dentro con los valores de 0, 1 y 2, siendo esta última la más alta; la tabla que contiene los indicadores tomados se encuentra a continuación:

INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD		LINEA BASE	PROPUESTA
			
 AMBIENTAL  ECONÓMICO  SOCIAL			
INDICADORES OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	APLICACIÓN LOCAL		
De aquí a 2030, reducir considerablemente el número de muertes y enfermedades causadas por productos químicos peligrosos y por la contaminación del aire, el agua y el suelo.	<i>Reducir el uso de materiales que tienen impactos negativos en la salud humana como el asbesto.</i>		
De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética	<i>Aplicar en la vivienda pautas de diseño y construcción que permitan mantener los espacios dentro de los mínimos de iluminación natural.</i>		
Mejorar progresivamente, de aquí a 2030, la producción y el consumo eficientes de los recursos mundiales y procurar desvincular el crecimiento económico de la degradación del medio ambiente.	<i>Incentivar el uso de materiales y técnicas locales en la construcción para disminuir las emisiones de gases efecto invernadero.</i>		
De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia.	<i>Promover las técnicas y materiales sostenibles como estrategia de industria y generación de empleo.</i>		
Promover una industrialización inclusiva y sostenible y, de aquí a 2030, aumentar significativamente la contribución de la industria al empleo y al producto interno bruto, de acuerdo con las circunstancias nacionales.	<i>Motivar el uso de materiales como la tierra, para generación de empleo a partir de la producción de adobe.</i>		
De aquí a 2030, asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles y mejorar los barrios marginales	<i>Aplicar en viviendas existentes, como en la construcción de vivienda nueva; estrategias para mejorar la calidad de vida.</i>		
Apoyar los vínculos económicos, sociales y ambientales positivos entre las zonas urbanas, periurbanas y rurales fortaleciendo la planificación del desarrollo nacional y regional	<i>Desarrollar estrategias constructivas que pueden ser aplicadas en viviendas rurales como urbanas.</i>		
De aquí a 2020, aumentar considerablemente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan e implementan políticas y planes integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él.	<i>Brindar a los habitantes información sobre la construcción de vivienda saludable a través de herramientas de difusión.</i>		
		TOTAL  2/10  1/10  1/10	TOTAL  7/10  6/10  6/10

Tabla 27. Evaluación de sostenibilidad ambiental, social y económica de la propuesta y línea base. Fuente propia, 2020. CC BY-NC 4.0

En el siguiente diagrama, se representa la calificación cuantitativa de la propuesta frente al sistema constructivo de las viviendas existentes, a través de un sistema de 3 ejes (ambiental, social y económico) se estructura una pirámide que dimensiona el aporte a la sostenibilidad del proyecto; la evaluación de las estrategias se representa en la pirámide blanca, mientras el beneficio que brindan las edificaciones existentes se puede evidenciar en la pirámide negra.



Figura 51. Esquema evaluación de sostenibilidad. Fuente propia, 2020. CC BY-NC 4.0

14. Resultados

Las estrategias de confort integral adaptables a la vivienda rural de clima frío son la resultante de 71 modelos elaborados en el software para la realización de simulaciones de confort térmico. Las estrategias son el consolidado de la envolvente del edificio, y son tomadas en cuenta de acuerdo con la incidencia que brindan sobre los modelos de las viviendas tomadas como casos de estudio. A continuación, se indica el promedio de incidencia de cada estrategia sobre los espacios existentes:

TABLA CALCULO INCIDENCIA DE LAS ESTRATEGIAS										
VIVIENDA CASO DE ESTUDIO	ESPACIO DE LA VIVIENDA	Porcentaje de horas de confort vivienda existente	Porcentaje de horas de confort vivienda existente + cubierta	Porcentaje de horas de confort vivienda existente + envolvente	Porcentaje de horas de confort vivienda existente + piso	Porcentaje de horas de confort vivienda existente + todas	Incidencia en porcentaje de horas de confort con cubierta	Incidencia en porcentaje de horas de confort con envolvente	Incidencia en porcentaje de horas de confort con piso	Incidencia en porcentaje de horas de confort con todas
V1	Social	3,7	10,1	14,3	4,3	43	6,4	10,6	0,6	39,3
V1	Hab 1	0,8	6,1	2,3	0,8	24,6	5,3	1,5	0	23,8
V1	Hab 2	0,8	5,2	2,3	0,8	21,9	4,4	1,5	0	21,1
V2	Social	4,2	13,2	19,1	4,4	51,7	9	14,9	0,2	47,5
V2	Hab 1	1,2	14,8	4	1,1	50,9	13,6	2,8	-0,1	49,7
V2	Hab 2	0,8	5,9	2,7	0,7	25,8	5,1	1,9	-0,1	25
V3	Social	8,4	20,2	11,1	9,8	27,9	11,8	2,7	1,4	19,5
V3	Hab 1	0,7	3,9	0,7	0,7	3,9	3,2	0	0	3,2
V3	Hab 2	1,1	10,5	3,2	1,1	32,5	9,4	2,1	0	31,4
PROMEDIO INCIDENCIA POR ESTRATEGIA							7,58	4,22	0,22	28,94

Tabla 28. Cálculo de la incidencia en el confort térmico de las estrategias. Fuente: Elaboración propia, 2021. CC BY-NC 4.0

La incidencia de la estrategia de una fuente de calor, puede ser observada en la figura 50, donde se puede evidenciar que una localización central de la estufa de leña, manifestó un aumento en el porcentaje de horas dentro del rango de confort de 36,3% a 57%, un diferencial de 20,7%. Basado en estos datos, se puede deducir que, en orden de incidencia positiva para el confort térmico, las estrategias se pueden numerar de mayor a menor de la siguiente forma:

1. Fuente de calor

2. Aumento aislamiento en cubierta
3. Envoltente
4. Aumento de aislamiento en piso.

Se debe tener en cuenta, de manera adicional que de acuerdo a las simulaciones y los resultados indicados en la Tabla No. 28; el porcentaje de horas dentro del rango de confort de los espacios aumenta con la aplicación de las estrategias de manera conjunta.



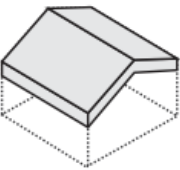

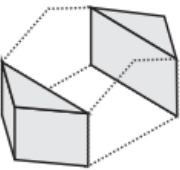

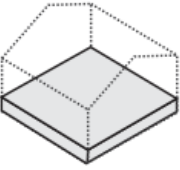



1 FUENTE DE CALOR	+		Localización central de zona de cocina	
2 AISLAMIENTO CUBIERTA	+		Teja de arcilla Estructura en madera	
3 ENVOLVENTE	+		Vidrio transparente 3mm Policarbonato	
4 AISLAMIENTO PISO	+		Aislamiento en grava 30cm Concreto Piso en madera	
5 APERTURAS	+		Aperturas estratégicas	

Tabla 29. Estrategias adaptativas de confort integral para las viviendas existentes.
Fuente: Elaboración propia, 2021. CC BY-NC 4.0

La estrategia 5 de aperturas estratégicas, tiene mayor incidencia en iluminación natural y ventilación natural, además de ser una estrategia con aplicación de múltiples variaciones por parte de la población en su realización. Aun así, las condiciones indicadas en su descripción pueden brindar un mejor comportamiento lumínico y olfativo, sin alterar el confort térmico de manera drástica.

14.1. Estrategia 1: Localización de la fuente de calor (estufa)

Teniendo en cuenta la evaluación de las estrategias sobre las viviendas tomadas como casos de estudio, se pudo determinar que el uso y localización de la estufa de carbón/leña (común en estos escenarios) en el espacio más central de la vivienda, puede brindar ganancias de calor que son absorbidas por los muros y demás materiales, en este sentido, este puede ser aprovechado durante las horas siguientes. De esta forma, el diseño arquitectónico de las viviendas en la proyección de construcciones nuevas o adecuación de las existentes, otorga en la cocina, un emplazamiento primordial y estratégico para mantener los espacios dentro de los rangos ideales de las temperaturas de confort de la población.

La construcción de las estufas usadas en estos espacios se lleva a cabo con mano de obra local, con materiales como ladrillos refractarios, mortero, accesorios en acero y el ducto de salida del humo o chimenea que es construido con tubería de gres en las viviendas tomadas como casos de estudio. El aprovechamiento de la tubería que conduce el aire caliente por la espacialidad de la vivienda como un efecto de aplazamiento en la salida del mismo, puede producir en los espacios internos un máximo aprovechamiento de la energía y el calor generado en la estufa durante las horas de actividad de la cocina. La planificación de un sistema de difusión de aire contaminado que debería ser realizado con minuciosidad para evitar las pérdidas de humo y, por tanto, contaminación de la calidad del aire interior.

El diseño de la cocina como espacio central en la vivienda propuesta introdujo un diseño de circulación cruzada para la evacuación del humo generado por situaciones como el encendido de la estufa. En la Figura 52 se puede observar:

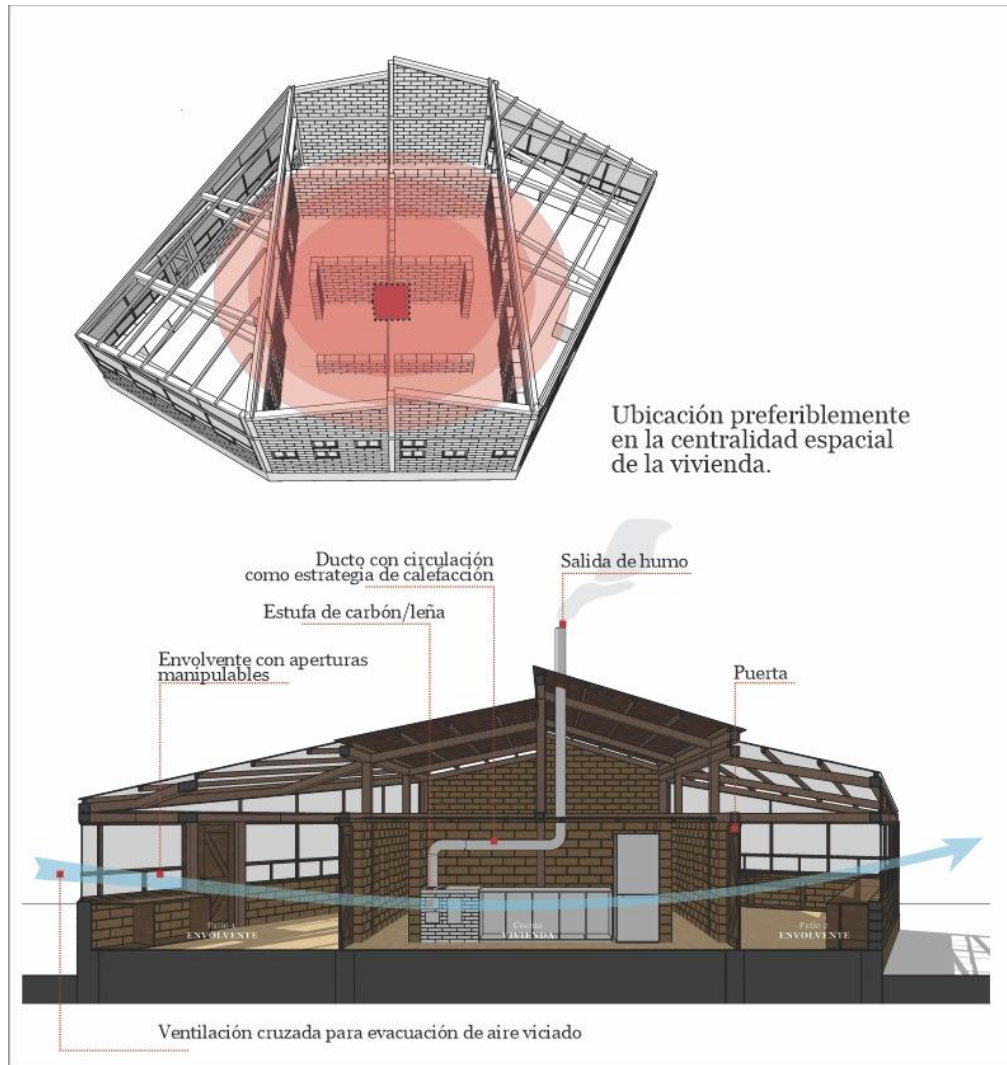


Figura 52. Fuente de calor en la vivienda. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

14.2. Estrategia 2: Aumentar aislamiento en cubierta

La sustitución de las cubiertas típicas de fibrocemento por teja de barro o asimismo, la superposición de estas sobre la teja de fibrocemento, aumenta la sección de la cubierta, esto permite ralentizar la transmisión de calor, disminuyendo el tiempo de

pérdida de calor generado en los espacios internos de la vivienda. Esta estrategia, además de proporcionar un comportamiento de la temperatura más cercano al rango de confort, restaura en las viviendas un valor cultural y paisajístico a través de las tejas de barro o arcilla; pues, es una técnica constructiva que ha disminuido su aplicación en las construcciones rurales por parte de la población.

Es importante comprender que la construcción de la cubierta con tejas de barro es efectiva únicamente si en el traslape y montaje de estas no existen aberturas que permitan las filtraciones de aire, que producen pérdidas de energía dentro de los espacios. La construcción de las cubiertas de arcilla se realiza normalmente con una mezcla de cemento, arena y agua (mortero).

Como elemento opcional, la instalación de cielo raso en madera, aumenta la sección de la cubierta generando una cámara de aire que permite incrementar sutilmente el porcentaje de horas de la temperatura operativa dentro del rango de confort térmico de los habitantes.

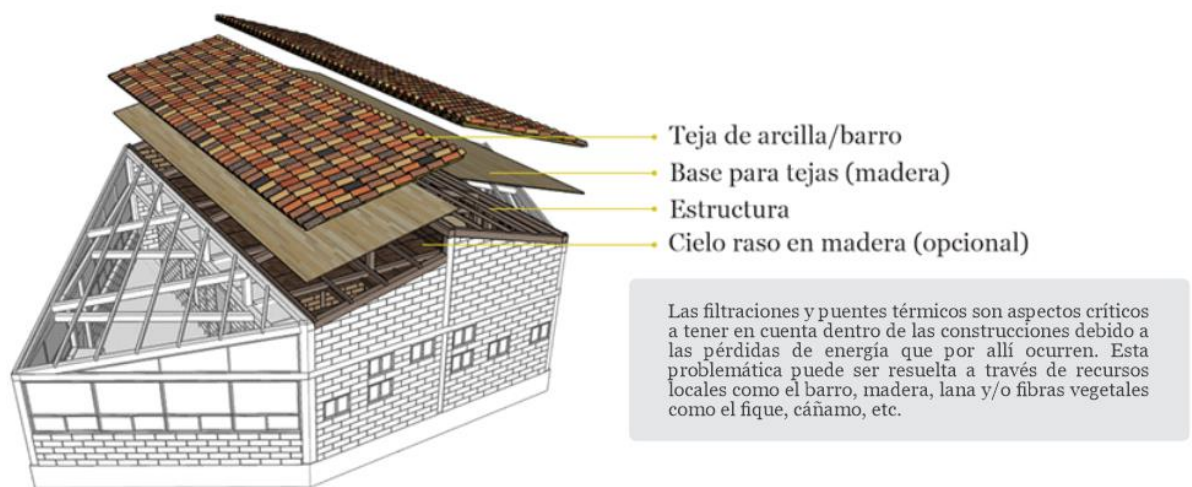
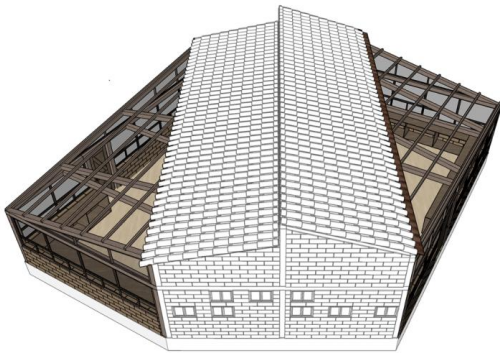


Figura 53. Sección de aislamiento cubierta propuesta. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

14.3. Estrategia 3: Envolverte traslúcida

De acuerdo con los ejercicios de geometrías y experimentación planteados en el banco de estrategias; una envolvente traslúcida en vidrio claro o policarbonato que defina una forma hexagonal en la planta de la vivienda, tiene la capacidad de aumentar las ganancias térmicas y transmitir las a los muros. Esta adaptación puede ser aplicada en viviendas existentes, pues, la orientación en que sean proyectadas no varía de manera perceptible el comportamiento y absorción de calor para los muros internos. En la aplicación de esta estrategia se debe tener en cuenta el uso de elementos para el control solar de los espacios, esto con la finalidad de evitar discomfort lumínico y térmico por vislumbra miento o por altas temperaturas respectivamente. Además de fungir como estrategia de mejoramiento en las condiciones que determinan la vivienda como espacio saludable, la envolvente a través de los dos invernaderos laterales proporciona a los habitantes, espacios para la realización de diferentes actividades: interacción social, invernadero en casa, zona de servicios para el lavado y secado de ropa, almacenamiento e incluso actividades de uso comercial.

ENVOLVENTE EN MODELO



APLICACIÓN EN VIVIENDAS EXISTENTES



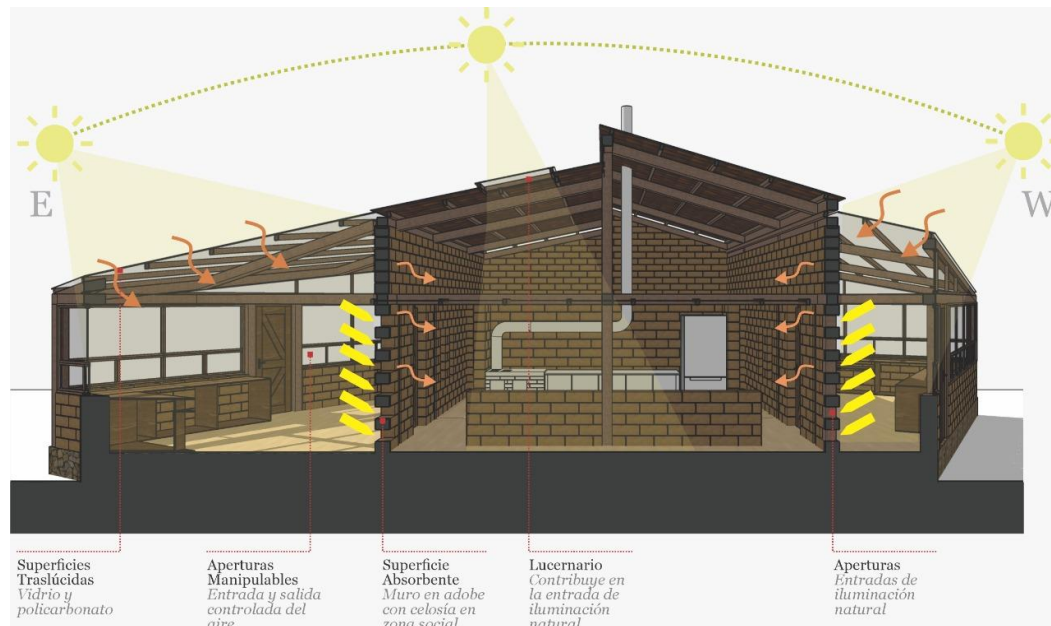


Figura 54. Envoltentes laterales de la vivienda modelo y casos de estudio. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

El efecto invernadero y las condiciones térmicas que son generadas por la aplicación de esta estrategia, pueden ser ajustadas por los habitantes a través de la entrada de aire y control de aperturas en la envoltente, esto se puede evidenciar en la Figura No. 52

14.4. Estrategia 4: Aumentar aislamiento en piso

Las viviendas existentes presentan un bajo aislamiento en piso; sobre el suelo existe únicamente un afinado en concreto o placa con acabado en mineral, materiales con una sección que permite una transmisión apresurada de la temperatura y, por tanto, pérdida de calor. El aumento del aislamiento por medio de la grava teniendo en cuenta las posibilidades y la sustitución del acabado por uno de madera, disminuye la transmitancia térmica y en consecuencia las pérdidas de calor que se dan por el suelo.



Figura 55. Aumento en aislamiento piso vivienda existente y propuesta. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

14.5. Estrategia 5: Aperturas/ ventanas estratégicas

Las ventanas planteadas para la estrategia se proyectan en madera, material que reduce velocidad en la transmisión de calor para evitar pérdidas de energía y vidrio claro de 4 mm (material habitual en las viviendas del sector). Estas, se localizan de manera estratégica para lograr un mínimo de iluminación natural que, puede ser observado en la Figura. 56. Las reducidas dimensiones (60cm x 50cm medidas de ventanas propuestas) permiten además de la entrada de calor, evitar grandes pérdidas de energía calórica que en conclusión, no afecta de manera significativa el confort térmico. Las ventanas, deben considerar las aperturas o batientes manipulables para que sean ajustadas por la población de acuerdo a la preferencia circunstancial. Esta distribución se puede observar en la siguiente gráfica:

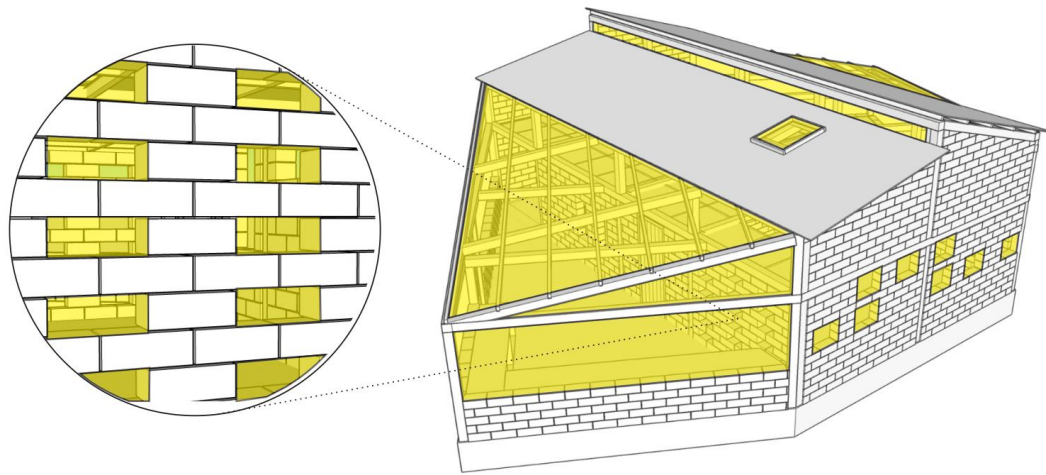


Figura 56. Aperturas estratégicas aplicadas a la vivienda. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

El uso de recursos técnicos como la celosía (muro con colocación de ladrillos que generan vanos) permite mejorar las condiciones lumínicas de los espacios, en este caso la zona social, área donde se proyecta esta técnica constructiva en sus muros laterales que son adyacentes a la envolvente. La abertura de vanos en la cubierta (lucernarios) permite de igual manera, proyectar iluminación natural desde distintos ángulos hacia los espacios,

y así, mantener las condiciones necesarias, para la realización confortable de actividades sin necesidad de luz artificial.

Las aperturas con colocación uniforme, proporcionan una distribución de la iluminación natural que cumple con lo dispuesto en la norma colombiana RETILAP; en al menos el 50% del espacio social de la vivienda, para obtener un valor mínimo de 2 CLD (Coeficiente luz día), como se observa en el siguiente gráfico:

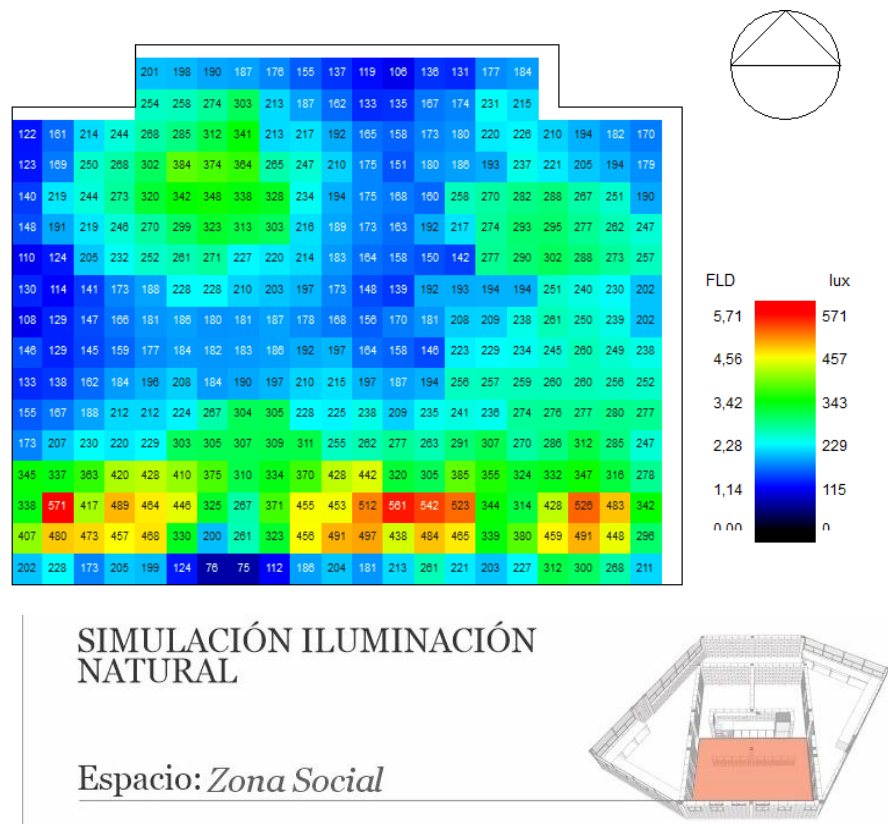


Figura 57. Simulación de iluminación natural del espacio social con aperturas propuestas. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

El desarrollo de las estrategias planteadas al final de esta investigación, parte de resultados individuales que posteriormente fueron unificados para la obtención de un

resultado final conjunto que es el modelo de vivienda. En la figura 58 se puede observar un esquema de vivienda con algunos detalles constructivos:



Figura 58. Visualización 3d con estrategias de confort integral. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

15. Conclusiones

Con base en los logros obtenidos por el desarrollo y los resultados de la investigación, se pudo evidenciar que:

Las entrevistas estructuradas realizadas reflejaron que existe una relación entre el tiempo de habitabilidad que posee la población de determinado lugar, con respecto a su adaptación a las condiciones climáticas. En el caso de la investigación, la población de tercera edad manifiesta bienestar térmico por debajo del rango de confort del sistema adaptativo de ASHRAE 55; aun así, la medición con estación meteorológica podría haber determinado y cuantificado esta relación de manera más exacta.

El ejercicio de realizar las entrevistas no estructuradas permitió recolectar información que proporciono un acercamiento a una propuesta que no altera los caracteres

culturales y brinda una amplitud de ideas que permitieron mayor avance en el desarrollo de diseño.

El desarrollo de la investigación a partir de un banco de estrategias potenciales, permitió el diseño de un modelo de vivienda con el comportamiento más efectivo para obtener confort integral. Por tal razón, el trabajo con herramientas digitales como el software Design Builder y los resultados obtenidos configuran un modelo que podría alcanzar un comportamiento similar en condiciones climáticas semejantes.

Las estrategias volumétricas que tienen la mayor exposición de superficies sobre oriente y occidente; los modelos alargados en sentido sur-norte tienen los mejores resultados en el comportamiento térmico debido a la geometría en función del sol.

Los espacios adyacentes a la fachada sur, son más cálidos que los inmediatos a la fachada norte; esto, debido a la ubicación geográfica y exposición solar en mayor medida por la superficie sur durante el año.

Experimentar con la relación ventana pared facilitó comprobar el comportamiento térmico, lumínico y olfativo, de acuerdo al porcentaje aplicado en cada superficie del volumen. De esta forma, se logró concluir que las zonas externas con una proporción total traslúcida, permiten una fácil absorción del calor por parte de los muros internos que, al poseer una mayor masa térmica con materiales como el adobe o ladrillos de arcilla, pueden brindar en los espacios internos un aprovechamiento del calor durante la noche.

Los modelos digitales elaborados comprenden un nivel de hermeticidad establecido por el porcentaje de apertura en las ventanas y filtraciones dentro del software *Ver Anexo A*. Es decir, las simulaciones se efectuaron entendiendo que en las conexiones de elementos de construcción o materiales (muros-ventanas, muros-puertas, muros-cubiertas, etc.) no existieron filtraciones ni pérdidas de energía calórica, por tanto, el

comportamiento de las simulaciones es la resultante de un escenario ideal. Las filtraciones y entradas de aire frío influyen en la disminución del porcentaje de horas dentro del rango de confort de los espacios internos. Por tal razón los puentes térmicos son aspectos críticos a tener en cuenta dentro de las construcciones debido a las pérdidas de energía que por allí ocurren. Esta problemática puede ser resuelta a través de recursos locales como el barro, madera, lana y/o fibras vegetales como el fique, cáñamo, etc.

Teniendo en cuenta la fase analítica de la investigación, se pudo verificar que la técnica constructiva de las viviendas infiere de manera negativa en los comportamientos térmicos, lumínicos y olfativo; aun así, el adobe como material de construcción es eficiente para brindar condiciones de bienestar, por tanto, la primera hipótesis es parcialmente verdadera. De acuerdo a la hipótesis No. 2, se puede deducir que es parcialmente verdadera, pues, teniendo en cuenta las estrategias identificadas y los resultados evidenciados, la población afectada puede adecuar sus viviendas para obtener espacios saludables, aun así, esta información podría ser objeto de difusión para materializar los resultados.

La evolución del proyecto puede implicar una ampliación en los escenarios aplicables de las estrategias constructivas; la búsqueda de espacios saludables y confortables para la habitación, el trabajo e incluso la recreación de la población citadina, como efecto de la pandemia por COVID-19, permitiría adaptar los resultados de la investigación a arquitecturas de tipo turístico, comercial, institucional, etc. Además, el desarrollo y construcción de prototipos para la verificación, mejoramiento y/o correcciones a los resultados evidenciados en la investigación.

Teniendo en cuenta el resultado del trabajo, el proceso evolutivo de proyecto puede involucrar la investigación en técnicas o tecnologías que involucren la eficiencia energética,

uso racional del agua, infraestructura verde, materialidad alternativa y productividad, para conformar así, una edificación autónoma; cómo se puede evidenciar en la siguiente gráfica:

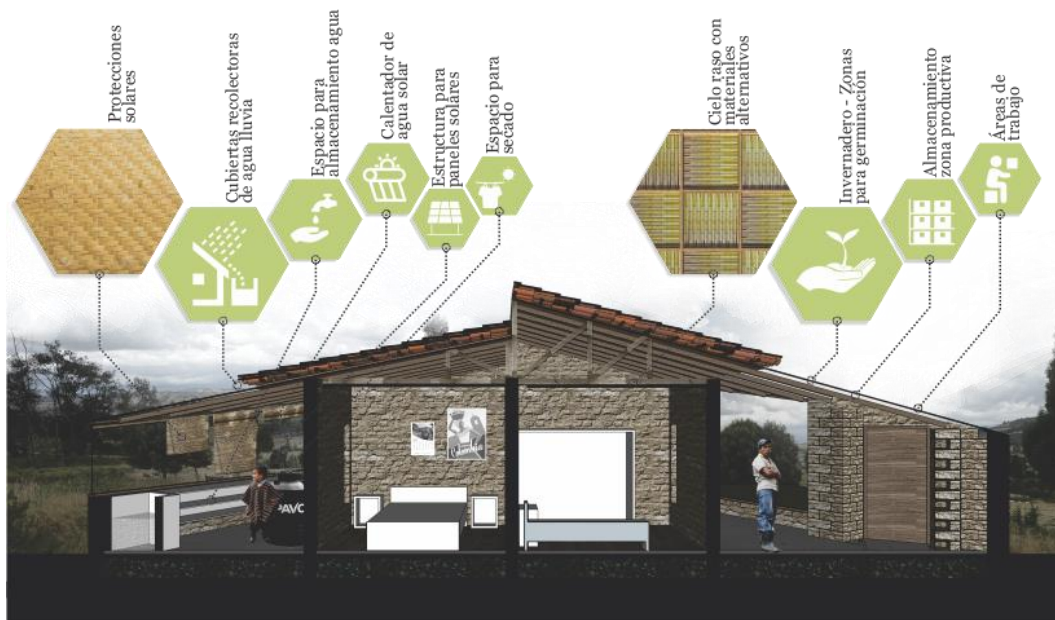


Figura 59. Sección del modelo con estrategias complementarias de eficiencia energética, hídrica y productiva. Fuente: Elaboración propia, 2020. CC BY-NC 4.0

Teniendo en cuenta los resultados de la investigación, se puede aludir que el apoyo profesional y el soporte de conocimientos en arquitectura bioclimática para la población que habita en viviendas similares a las tomadas como caso de estudio, puede significar un mejoramiento en los aspectos relacionados con el confort integral (iluminación natural, ventilación natural y confort térmico). Además, podrían proporcionar un impacto ambiental, económico y social positivo.

16. Referencias

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers [ASHRAE] (2007)

Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.

net<https://aws.state.ak.us/OnlinePublicNotices/Notices/Attachment.aspx?id=113385>

Asociación Colombia de Acondicionamiento y de la Refrigeración [ACAIRE] (2017) *Reglamento*

Técnico de Instalaciones Térmicas en Edificaciones.

http://www.cceecol.org/images/archivos/Biblioteca/RITE_2017_FINAL.pdf

Banco Mundial (2020) *Población Rural (% de la población total) – Colombia*

<https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.RUR.TOTL.ZS?locations=CO>

Ballester, D. F. (1996). Meteorología y salud. La relación entre la temperatura ambiental y la mortalidad. *Rev Esp Salud Pública*, 70(3), 251-259.

<http://www.divulgameteo.es/uploads/Relaci%C3%B3n-temp-mortalidad.pdf>

Barbadilla, M. E. Aparicio, R. P. Guadix, J y Onieva, L. (2019) Metodología para el análisis de sensibilidad de un logaritmo de control adaptativo [Libro de resúmenes] *13th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management*. Gijón, España.

<http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/51623/2/Metodologia.pdf>

Barceló, C. (2007). Vivienda saludable por la construcción de la salud humana. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 45 (1) <https://www.redalyc.org/pdf/2232/223219928001.pdf>

Boccaccini, L. Quiñonez, J y Hernández, A. (2018). Estudio experimental de la radiación térmica emitida por una estufa de alto rendimiento. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 41, 69-78.

https://www.researchgate.net/publication/330205728_ESTUDIO_EXPERIMENTAL_DE_LA_RADIACION_TERMICA_EMITIDA_POR_UNA_ESTUFA_DE_ALTO_RENDIMIENTO_EXPERIMENTAL_STUDY_OF_THERMAL_RADIATION_EMITTED_BY_A_HIGH_PERFORMANCE_STOVE

Cámara Colombiana de la Construcción [CAMACOL] (2013) *Mapa de Clasificación del Clima en Colombia según la temperatura y la humedad Relativa y listado de municipios*

<https://camacol.co/sites/default/files/sala-prensa/ANEXO%20%20-%20Zonificaci%C3%B3n%20Climatica%20del%2007072015.pdf>

Constitución Política de Colombia (2010) Consejo Superior de la Judicatura, Sala Administrativa

<https://www.ramajudicial.gov.co/documents/10228/1547471/CONSTITUCION-Interiores.pdf>

Cuitiño, G., Esteves, A., Maldonado, G., y Rotondaro, R. (2015). Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha. *Informes de la Construcción*, 67(537), e063.

doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.082>

Czajkowski, J. D., Discoli, C. A., Rosenfeld, E., Gentile, C. M y Moreno, J. M. (1999) Hacia un modelo de confort integral. *Avances en energías renovables y medio ambiente. Volumen 3*, 13-17.

<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/88965>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE] (2014) *Censo Nacional*

Agropecuario (Avance de resultados – Agosto 11 de 2015)

https://www.dane.gov.co/files/CensoAgropecuario/avanceCNA/CNA_agosto_2015_new_present.pdf

Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE] (2018) *Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda*. [https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-](https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/presentaciones-territorio/190727-CNPV-presentacion-Boyaca-Sogamo.pdf)

[tecnica/presentaciones-territorio/190727-CNPV-presentacion-Boyaca-Sogamo.pdf](https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/presentaciones-territorio/190727-CNPV-presentacion-Boyaca-Sogamo.pdf)

E.S.E Centro de Salud de Toca. (2018) *Análisis de situación de salud con el modelo de los determinantes sociales de salud, municipio de Toca Boyacá 2018*.

https://www.boyaca.gov.co/SecSalud/images/Documentos/Asis2018/asis_toca_2018.pdf

Echeverri-Aranzazu, I. La arquitectura como arma de renovación social

<https://arquiblog.uniandes.edu.co/blogs/arqu3920-1/files/2014/08/manifiesto-de-inter%C3%A9s-isabel-echeverri-aranzazu.pdf>

- Enet, M. (2012). Diseño participativo: Estrategia efectiva para el mejoramiento ambiental y economía social en viviendas de baja renta. *Cuadernos De Vivienda Y Urbanismo*, 5(10).
<https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu5-10.dpee>
- García, A., Olivieri, F., Larrumbide, E., y Ávila. P. (2019). Thermal Comfort Assessment in Naturally Ventilated Offices Located in a Cold Tropical Climate. Bogotá. *Building and Environment*. 158, 237-247. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.05.013>
- García Ubaque, C. A., & Gil Hernández, M. F. (2018). Estado del arte sobre vivienda de interés social rural en Colombia. Ajustes normativos desde 1930 hasta 2015. *Revista vínculos*, 15(1), 49-60. <https://doi.org/10.14483/2322939X.13006>
- Gobernación de Boyacá. (2012). *Aspectos Geográficos* <https://www.boyaca.gov.co/aspectos-geograficos/>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] (2011) *Clasificaciones Climáticas Colombia*
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/climas+%5BModo+de+compatibilida+d%5D.pdf/d8c85704-a07a-4290-ba65-f2042ce99ff9>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC]. (2004). *NTC 5316 Condiciones ambientales térmicas de inmuebles para personas*.
<https://docplayer.es/50203778-Norma-tecnica-colombiana-5316.html>
- Luna-Mendoza, P. (1999). *NTP 462: Estrés por frío: evaluación de las exposiciones laborales*.
https://www.insst.es/documents/94886/326962/ntp_462.pdf/9f976f99-fbd2-4e12-b2e0-a35358a99eaf
- Martínez Jarquín, C. D., Morales Montejó F. J., y Reyes Hernández G. A. (2019). *Estudio de Evaluación de impacto ambiental en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador* [Tesis de pregrado, Universidad de El Salvador]. Repositorio institucional de la Universidad de El Salvador. <https://core.ac.uk/reader/195383920>

- Mesa, N. A. Arboit, M y De Rosa, C. (2009). Modelos de cálculo de los rangos de confort térmico. Verificación de su aplicabilidad y la incidencia de las variables determinantes. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 1, 61-68 URL: <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2009/2009-t005-a009.pdf>
- Moncloa Guardia, C. (2017). CONFORT TÉRMICO: UN SISTEMA AISLANTE PARA LA VIVIENDA ALTO ANDINA FABRICADO CON MATERIALES RECICLADOS. *MÓDULO ARQUITECTURA CUC*, 18(1), 73-90. <https://doi.org/10.17981/moducuc.18.1.2017.04>
- Mondelo. R. P., Torada. E. G., Castejón. V. E., Comas. U. S., y Lacambra. E. B., (2004). *Ergonomía 2 Confort y estrés térmico Volumen 2 de Temas de Ergonomía y Prevención*. Universidad Politecnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politecnica, 2004
<https://books.google.com.co/books?id=dEFpBgAAQBAJ&pg=PP1&dq=ergonomia+2&hl=es&sa=X&ved=oahUKEwik2LyZ-6zpAhXJm-AKHQCjAEUQ6AEIJzAA#v=onepage&q=ergonomia%202&f=false>
- Neves, C., y Borges, F. O. (2011). *Técnicas de construcción con tierra*. https://redproterra.org/wp-content/uploads/2020/05/4a_PP-Tecnicas-de-construccion-con-tierra_2011.pdf
- Olgyay, V. (1968). *Clima y Arquitectura en Colombia*. Universidad del Valle, Facultad de Arquitectura. <http://arquitectura.univalle.edu.co/>
- Pabón, J. D., Zea, J., León. G., Hurtado. G., González. O. C., y Montealegre. J. E. (2001) *La atmósfera, el tiempo y el clima*. Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales [IDEAM] <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000001/cap3-i.pdf>
- Pineda Restrepo, B. (2012). Desarrollo humano y desigualdades en salud en la población rural en Colombia / Human Development and Health Inequalities in Rural Population in Colombia. *Universitas Odontologica*, 31(66). Recuperado a partir de <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/revUnivOdontologica/article/view/2717>

[Ranson, R. \(2002\). *Healthy Housing: A Practical Guide*. Taylor & Francis.](#)

https://books.google.es/books?id=pmV4AgAAQBAJ&dq=healthy%20housing&hl=es&lr&source=gbs_book_other_versions

Rodríguez, C., Medina, J., Pinzón, A., & García, A. (2019). Estrategia pos-ocupación para mejorar el confort térmico en vivienda social en climas tropicales de montaña: un caso de estudio en Bogotá, Colombia. *Informes de la Construcción*, 71(555), e305.

doi:<http://dx.doi.org/10.3989/ic.61006>

Rougeron, C. (1977) *Aislamiento acústico y térmico en la construcción*. Construcción Editores técnicos asociados s. a. Reverte, 1977.

<https://books.google.com.co/books?id=l62bH8f9AJYC&printsec=frontcover&dq=aislamiento+acustico+y+termico+en+la+construccion&hl=es&sa=X&ved=oahUKEwjHsOyXoK3pAhWhnOAKHW6pC8sQ6wEIKjAA#v=onepage&q&f=false>

Sánchez-Quintanar, C., Jiménez-Rosas, E. O. (2010) La vivienda rural. Su complejidad y estudio desde diversas disciplinas. *Luna Azul*, (30), 174-196. Retrieved May 11, 2020, from

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742010000100011&lng=en&tlng=es

Zarza-Delgado, M. P., Mejía-López, M., y Serrano, Barquín, H. P. (2019) *Diseño para el buen vivir, la convivencia, la sustentabilidad y el patrimonio*. Universidad Autónoma del Estado de

México. <http://coloquio2019.faduaemex.org.mx/wp-content/uploads/2019/11/buen-vivir-web.pdf#page=35>

ANEXOS

Anexo A – Especificaciones de simulaciones en Design Builder

DATOS DE SIMULACIÓN

Las especificaciones consignadas aquí fueron usadas para las simulaciones realizadas en las distintas fases de la investigación.



Archivo de simulación de clima: TOGA.EPW

-Los datos climáticos pueden ser observados en 9. FASE DESCRIPTIVA

-Tomado del software Meteonorm 5.1 teniendo en cuenta las coordenadas geográficas indicadas en la descripción del proyecto.

PLANTILLA DE ACTIVIDAD

TIPO DE SIMULACIÓN

Confort Higrotérmico

Transferencia de calor de superficies
Ganancias internas y solares
Energía, HVAC, etc.
Cargas latentes
Medio ambiente
Aire
Distribución de temperatura

ESPACIOS SOCIALES/SERVICIOS	Personas/m2	% Ocupación
Densidad de ocupación	0,0188	
Programación de ocupación	6am - 9am 11am - 3pm 4pm - 8pm	100% 100% 100%

ESPACIOS PRIVADOS	Personas/m2	% Ocupación
Densidad de ocupación	0,0188	
Programación de ocupación	7pm - 6am	100%

PLANTILLA DE CERRAMIENTOS

CUBIERTAS

Transmitancia térmica (w/m2-k)	Valor U
Cubierta teja arcilla + mortero + madera	1,843
Cubierta fibrocemento	5,960
Cubierta policarbonato	6,250

MUROS

Transmitancia térmica (w/m2-k)	Valor U
Muros en tierra (Adobe 20cm)	2,402
Muro en ladrillo	2,970
Muro en bloque de arcilla	0,282

PISOS

Transmitancia térmica (w/m2-k)	Valor U
Piso tierra + Grava + Concreto	3,511
Piso tierra + Grava + Madera	2,200
Piso tierra + Grava + Cerámica	3,425

ABERTURAS

Transmitancia térmica (w/m2-k)	Valor U
Vidrio claro	5,894
Posición de aperturas: Arriba	
% de área de apertura: 10%	
Coefficiente de descarga: 0,6500	

TIPO DE SIMULACIÓN

Iluminación natural

Tipo de simulación: 01 General
Detalle de plantilla: 02 Estandar
Plano de trabajo: 0,76 metros
Método de cielo: 01 Cielo Estandar
Modelo de cielo: 06 CIE Overcast
Iluminación cenital (lux): 10000
Tamaño de grilla: 0,30m x 0,30m

Rebotes ambientales: 3
Precisión ambiental: 0,25
Resolución ambiental: 256
Divisiones ambientales: 512
Numero de super-muestras ambientales: 256