

DIAGNÓSTICO Y MEJORAMIENTO DE VIVIENDAS DE EMERGENCIA PARA CLIMA ECUATORIAL CÁLIDO: PROPUESTA DE SISTEMA MODULAR LIGERO PARA CERRAMIENTO VERTICAL

Proyecto de investigación presentado por
ANDRÉS FELIPE POSSO GARCÍA, ARQ

Para obtener el título de
MAGISTER EN ARQUITECTURA Y URBANISMO
Con énfasis en
ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

Tutor del proyecto de investigación:
WALTER GIRALDO CASTAÑEDA, PH.D

Director del programa:
ALEJANDRO GUERRERO TORRENEGRA, PH.D

Santiago de Cali, agosto 2023

Universidad del Valle
Sede Cali
Escuela de Arquitectura
Maestría en Arquitectura y Urbanismo
Énfasis en Arquitectura Bioclimática

Copyright © 2023 por Andrés Felipe Posso García. Todos los derechos reservados.

La vivienda de emergencia es una solución habitacional para los damnificados ante una situación de desastre. En Colombia, la respuesta comúnmente ofrecida por la Unidad de Gestión de Riesgos y Desastres (UNGRD) ante estos casos es un módulo de vivienda construido a partir de toldos y carpas, estos brindan refugio provisional a los afectados, pero vulnera su privacidad, su seguridad y su digna habitabilidad, sumado a la imposibilidad de ajustar el modelo habitacional a las necesidades espaciales de cada usuario, y no ofrece una solución térmica al interior de los espacios. El problema se agrava al prolongarse el tiempo del estado de emergencia, haciendo más necesaria la solución a la insatisfacción en este tipo de viviendas comúnmente debido al sistema de construcción de estos. El objetivo de este trabajo, es evaluar el confort térmico en las viviendas de emergencia, específicamente el modelo propuesto por la UNGDR en un contexto climático ecuatorial cálido, con el fin de proponer un sistema de construcción que mejore dichas condiciones térmicas y continuando con las premisas de prefabricación, modularidad, liviandad y facilidad de ensamblaje en alojamientos temporales prolongados. Para cumplir con el objetivo, se realizaron ejercicios de simulación, donde en un modelo digital de vivienda de emergencia implantado en un contexto de clima ecuatorial cálido (Cali, Colombia), es aplicado como línea base el sistema de construcción propuesto por la UNGRD y evaluado bajo el método adaptativo de ASHRAE Standard y PMV de Fanger, este es comparado con el sistema propuesto, diseñado bajo los parámetros de modularidad, ligereza, facilidad de ensamblaje con sellado en seco y alta resistencia térmica en su materialidad.

Como resultado, la evaluación de la línea base mostró una respuesta deficiente, alcanzando temperaturas en horas críticas cercanas a 9°C por encima de la zona de confort en sus horas de mayor calor con el 80% de aceptabilidad de acuerdo con el método adaptativo. En cuanto a la

propuesta, el sistema de construcción es modulado espacialmente en planta con dimensiones de $0,80 \times 0,80\text{m}$ y en altura de $0,80 \times 2,40\text{m}$, con opción de medio módulo de $0,80 \times 1,20\text{m}$ para adición de ventanería, que ofrece facilidad de armado de espacios de circulación y permanencia, permitiendo un juego de adición y sustracción de módulos para el armado de espacios e implementación de puertas y ventanas. El sistema de ensamblaje maneja en su sentido horizontal, una junta de lengua y ranura (machimbre), y en su sentido vertical, una junta con paralelos atornillados en las dos caras del panel. La respuesta térmica de este sistema, bajo el método adaptativo con el 80% de aceptabilidad, tiene una mejora cercana a 7°C con respecto a la línea base, es decir, en sus momentos más críticos del año alcanza a estar cerca de 2°C por encima de la franja de confort. Tras conocer la respuesta térmica favorable del sistema aplicado en el cerramiento vertical, se probó aplicando el material en la cubierta, generando una respuesta aún más favorable, reduciendo a 0 las horas en las que las temperaturas altas superaran la franja de confort térmico. Finalmente, a partir de la indagación sobre la confortabilidad térmica en la vivienda de emergencia, es propuesto un porcentaje de aceptabilidad (método adaptativo) para este tipo de construcciones, estimando del 75% de personas satisfechas, brindando una mayor tolerancia dentro de la franja de confort térmico, siempre pensando en que este permita una digna habitabilidad, pero que no estimule la permanencia definitiva en la vivienda de emergencia que es de carácter temporal. Esta investigación deja abierta la posibilidad de seguir explorando este importante aspecto en la habitabilidad dentro de la vivienda de emergencia.

Palabras Clave: *Sostenibilidad, Arquitectura Bioclimática, Confort Térmico, Clima Cálido, Alojamiento Temporal, Arquitectura Modular, Construcción Prefabricada, Construcción en Seco, Construcción Liviana.*

The emergency housing is an habitational solution for the victims of a natural disaster. In Colombia, in these cases, the solution commonly offered by Risk and Disaster Management Unit (Unidad de Gestión de Riesgos y Desastres - UNGRD) it is a housing module built from awnings and tents, these houses bring provides provitional shelter to the victims, but they privacy, security and decent habitability is violated, also, adjusting this housing model to the spatial needs of each user, is impossible, and not offer a thermic solution inside. The problem worsens as the time of the state of emergency lengthens, making the solution to the discomfort in this type of housing more necessary, commonly due to the construction system of these. The objective from this investigation, is to evaluate thermal comfort in emergency housing, specifically the model proposed by the UNGDR in a warm equatorial climate context, in order to propose a construction system that improves these thermal conditions and continuing with the premises of prefabrication, modularity, lightness and ease of assembly in prolonged temporary housing. To meet the objective, simulation exercises were carried out, where in an emergency housing's digital model implanted in a warm equatorial climate context (Cali, Colombia), is applied as a baseline, the UNGRD proposed construction system and evaluated by the ASHRAE Standard's adaptative method and Fanger's PMV, this is compared with this investigation's proposed construction system, designed with the parameters of modularity, lightness, ease of assembly with dry sealing and high thermal resistance in its materiality.

As a result, the baseline's evaluation showed a deficient response, reaching temperatures in critical hours close to 9°C above the comfort zone in its hottest hours with 80% acceptability according to the adaptive method. Regarding the proposal, the construction system is modulated in plan with dimensions of 0.80x0.80m and in vertically of 0.80x2.40m, with half module option

of 0.80x1.20m for adding windows, that offers ease of assembly of circulation and permanencevi spaces, allowing a game of addition and subtraction of modules for the assembly of spaces and implementation of doors and windows. The assembly system handles in its horizontal direction, a tongue and groove joint, and in its vertical direction, a joint with screwed studs on both sides of the panel. The thermal response of this system, under the ASHRAE Standard's adaptative method with 80% acceptability, has an improvement close to 7°C with respect to the baseline, that is, at its most critical times of the year it reaches close to 2° C above the comfort zone. After knowing the favorable thermal response of the system applied to the vertical enclosure, it was tested by applying the material to the roof, generating an even more favorable response, reducing to 0 hours in which high temperatures exceeded the thermal comfort range. Finally, Based on the investigation on thermal comfort in emergency housing, a percentage of acceptability (adaptive method) is proposed for this type of construction, estimating 75% of satisfied people, providing greater tolerance within the thermal comfort zone, thinking that this allows decent habitability, but does not encourage definitive permanence in emergency housing, because its characteristic is temporality. This research leaves open the possibility of continuing to explore this important aspect of habitability within emergency housing.

Keywords: *Sustainability, Bioclimatic Architecture, Thermal Comfort, Warm Climate, Temporary Accommodation, Modular Architecture, Prefabricated Construction, Dry Construction, Lightweight Construction.*

TABLA DE CONTENIDOS

vii

PRIMERA PARTE	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
2.1. Insatisfacción en el uso prolongado de las viviendas de emergencia y sus sistemas de construcción	6
2.1.1. Hacinamiento e inseguridad en los albergues	6
2.1.2. Alojamiento temporal espontáneo	7
2.1.3. Transformaciones empíricas en la vivienda de emergencia y sus riesgos	8
2.2. Conclusiones del problema	9
2.3. Árbol de problemas	10
3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	11
4. JUSTIFICACIÓN	12
5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	14
5.1. Objetivo general	14
5.2. Objetivos específicos	14
5.3. Árbol de objetivos	14
6. MARCO TEÓRICO	16
6.1. Desarrollo sostenible	18
6.2. Gestión del riesgo de desastre	20
6.3. Habitabilidad y vivienda de emergencia	20
6.4. Arquitectura prefabricada y sistema modular ligero	23
6.5. Construcción en seco	26
6.6. Confort térmico en los espacios	27
7. ESTADO DEL ARTE	29
7.1. Sistemas de modulación espacial	30
7.2. Sistemas de ensamblaje en seco	42
7.3. Confort térmico y materialidad	52
8. METODOLOGÍA	55
8.1. Metodología de simulación	55
8.2. Estrategias y fases metodológicas	56
8.2.1. (Fase 1) Línea base, evaluación térmica del modelo de vivienda de emergencia implementando la materialidad propuesta por la UNGRD en un contexto determinado	57
8.2.2. Diseñar un sistema modular ligero de paneles prefabricados para viviendas de emergencia flexibles	57
8.2.3. Diseñar un sistema de ensamblaje rápido en seco para los paneles prefabricados modulares	59
8.2.4. Evaluar y estimar el confort térmico al interior de la vivienda de emergencia en clima ecuatorial cálido	60
SEGUNDA PARTE	63
9. LÍNEA BASE	64
9.1. Análisis climático del área de implantación	64
9.2. Análisis y evaluación de la línea base (LB)	78
10. CASO DE ESTUDIO	94
10.1. Diseño previo de modelo espacial y volumétrico de la vivienda de emergencia	94

11. SISTEMA DE PANELES MODULARES.....	100viii
11.1. Análisis y dimensionamiento del sistema de modulación para emplear en los paneles prefabricados.....	100
11.2. Diseño de paneles y accesorios modulares del sistema	105
12. SISTEMA DE ENSAMBLAJE EN SECO	110
12.1. Análisis y diseño de los elementos del sistema de ensamblaje y sellado en seco	110
13. EVALUACIÓN TÉRMICA DE LA VIVIENDA DE EMERGENCIA.....	121
13.1. Selección de la materialidad del panel modular	121
13.2. Análisis y evaluación simulada del confort térmico en el modelo de vivienda de emergencia dentro del contexto de estudio	124
13.2.1. Análisis y evaluación del modelo mejorado (<i>MV</i>).....	130
14. ANÁLISIS DE RESULTADOS	149
14.1. Aplicabilidad y flexibilidad del sistema modular ligero de paneles	149
14.2. Pasos para el armado del sistema de construcción de la vivienda de emergencia propuesta	157
14.3. Evaluación y estimación del nivel de confort térmico al interior de una vivienda de emergencia en clima ecuatorial cálido.....	163
14.3.1. Comparativa de intervención en envolvente vertical: <i>LB</i> vs. <i>MV</i>	163
14.3.2. <i>LB</i> y <i>MV</i> enfrentados a envolvente en Superboard (<i>SB</i>).....	173
14.3.3. Adición de intervención en envolvente horizontal (<i>MVH</i>)	176
14.3.4. Porcentaje de aceptabilidad para viviendas de emergencia	181
15. CONCLUSIONES.....	184
15.1. Introducción	184
15.2. En relación con el marco teórico	184
15.3. En relación con los objetivos	187
15.4. Respuestas a las preguntas de investigación	192
15.5. Reflexiones y trabajos futuros	194
LISTA DE REFERENCIAS	196

LISTA DE FIGURAS

ix

Figura 1: Modelo de vivienda individual 18 m ² , UNGRD, (2013).....	7
Figura 2: Viviendas iglú instaladas por la Cruz Roja Alemana Occidental y Bayer Chemical Company para Nicaragua en el año 1927, y su transformación por los usuarios quince meses después, Davis, (2015)	9
Figura 3: Árbol de problemas, elaboración propia, (2020)	10
Figura 4: Árbol de objetivos, elaboración propia, (2020).....	15
Figura 5: Marco teórico, elaboración propia, (2020).....	17
Figura 6: Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), tomado de “Objetivos y Metas de Desarrollo Sostenible”, ONU, (2015)	19
Figura 7: Factor de bienestar habitacional, tomado de “Bienestar habitacional: Guía de diseño para un hábitat residencial sustentable”, Jirón Martínez et al, (2004)	21
Figura 8: Modelo de habitabilidad orientado a la sostenibilidad (MHOS), tomado de “La habitabilidad como variable de diseño de edificaciones orientadas a la sostenibilidad”, Cubillos-Gonzalez et al, (2014)	22
Figura 9: Unión de módulos prefabricados ligeros para una vivienda, tomado de “Prefabricación ligera con paneles enfocados en la vivienda”, Lantigua, (2015).....	26
Figura 10: Mapa conceptual de estado del arte, elaboración propia, (2020).....	29
Figura 11: Ejemplo de flexibilidad espacial en una superficie fija, Cellucci & Di Silvio, (2015).	32
Figura 12: Ejemplo de flexibilidad tecnológica relacionada con las técnicas de construcción, Cellucci & Di Silvio, (2015).	34
Figura 13: Ejemplo de flexibilidad tecnológica relacionada con el fácil mantenimiento de las instalaciones y subsistemas del edificio, Cellucci & Di Silvio, (2015).	35
Figura 14: Síntesis de los cuatro dominios del diseño, Cellucci & Di Silvio, (2015).	35
Figura 15: Prototipo previo de vivienda de emergencia usada por TECHO México, tomado de “Call for Entries: Emergency Housing Mexico”, Archstorming & TECHO México, (2019).	36
Figura 16: Esquema de adiciones al módulo básico, tomado de “Call for Entries: Emergency Housing Mexico”, Archstorming & TECHO México, (2019).	37
Figura 17: Configuración estándar del prototipo y sus expansiones, tomado de “Call for Entries: Emergency Housing Mexico”, Archstorming & TECHO México, (2019).	38
Figura 18: Configuración espacial interior básico y módulos de ampliación, tomado de “Call for Entries: Emergency Housing Mexico”, Archstorming & TECHO México, (2019).	39
Figura 19: Bocetos de diseño de las técnicas constructivas de la vivienda de emergencia para Nepal, Shigeru Ban, (2015).	40
Figura 20: Perspectiva renderizada de la vivienda de emergencia serializada para Nepal, Shigeru Ban, (2015).	41
Figura 21: Vivienda temporal construida, Shigeru Ban, (2013).	42
Figura 22: Muro dentro del campo de flujo tubular, Lin, Song & Han, (2019).	43
Figura 23: Filtración del aire en las juntas perpendiculares de los paneles analizado desde el software Airpak 3.0, Lin, Song & Han, (2019).	43
Figura 24: Tipos de juntas de muros, Lin, Song & Han, (2019).	43
Figura 25: Simulación comparativa de la infiltración de aire entre paneles fijados con juntas rectas y con juntas especiales, Lin, Song & Han, (2019).	45

Figura 26: Elementos y piezas para el armado del prototipo básico de PIXEL, tomado de “Call for Entries: Emergency Housing Mexico”, Archstorming & TECHO México, (2019).	x
.....	47
Figura 27: Proceso de construcción de PIXEL, tomado de “Call for Entries: Emergency Housing Mexico”, Archstorming & TECHO México, (2019).	48
Figura 28: Valor total en dólares y pesos mexicanos para el prototipo básico de PIXEL, tomado de “Call for Entries: Emergency Housing Mexico”, Archstorming & TECHO México, (2019).	49
Figura 29: Anclaje de las juntas constructivas inferiores y superiores por medio de soleras y tornillos en la vivienda temporal propuesta por Shigeru Ban en 2013, tomado de “Soluciones constructivas aplicadas en la provisión de viviendas de emergencia postdesastre: 3 casos de estudio”, Chamblas, (2017).	50
Figura 30: Sellado de las juntas en los paneles verticales decerramiento en la vivienda temporal propuesta por Shigeru Ban en 2013, tomado de “Soluciones constructivas aplicadas en la provisión de viviendas de emergencia postdesastre: 3 casos de estudio”, Chamblas, (2017).	51
Figura 31: Modelo volumétrico y despiece de todas sus partes en la vivienda temporal propuesta por Shigeru Ban en 2013, tomado de “Soluciones constructivas aplicadas en la provisión de viviendas de emergencia postdesastre: 3 casos de estudio”, Chamblas, (2017).	52
Figura 32: Esquema de metodologías de investigación en arquitectura, tomado de “Architectural research methods”, Groat & Wang, (2013).	55
Figura 33: Metodología, elaboración propia, (2020).	56
Figura 34: Mapa de Santiago de Cali por comunas/ubicación de la zona de implantación de la vivienda, tomado del portal geovisor IDESC (2020).	64
Figura 35: Gráfica Temperatura vs. Hora, tercer cuartil, tomado de la Estación Meteorológica de la Universidad del Valle (2018).	65
Figura 36: Gráfica Humedad relativa vs. Hora, segundo cuartil, tomado de la Estación Meteorológica de la Universidad del Valle (2018).	66
Figura 37: Estimación en la carta psicrométrica de la temperatura de bulbo húmedo y de rocío a partir de la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa, elaboración propia (2020).	67
Figura 38: Rosa de los vientos, velocidad promedio del viento entre las 12:30 y 17:30, tomado de la Estación Meteorológica de la Universidad del Valle (2018).	68
Figura 39: Rosa de los vientos, frecuencia de vientos entre las 12:30 y 17:30, tomado de la Estación Meteorológica de la Universidad del Valle (2018).	69
Figura 40: Confort adaptativo en Cali basado en el modelo de confort adaptativo de ASHRAE 55-2010, extraído del software Climate Consultant, elaboración propia (2020).	70
Figura 41: Rango de temperatura promedio de bulbo seco en Cali, extraído del software Climate Consultant, elaboración propia (2020).	71
Figura 42: Gráfico de temperatura promedio de bulbo seco por horas cada mes en Cali, extraído del software Climate Consultant, elaboración propia (2020).	72
Figura 43: Gráfico de radiación y temperatura promedio de bulbo seco mensual en Cali, extraído del software Climate Consultant, elaboración propia (2020).	73
Figura 44: Gráfico de radiación en fachadas de un edificio situado en Cali, extraído del software Climate Consultant, elaboración propia (2020).	74

Figura 45: Rango de nubosidad mensual en Cali, extraído del software Climate Consultant, elaboración propia (2020).	xi 75
Figura 46: Rango de velocidad del viento mensual en Cali, extraído del software Climate Consultant, elaboración propia (2020).	76
Figura 47: Diagrama de Givonni con la relación estrategias de climatización para la zona de confort en la ciudad de Cali, elaborado por Giraldo, W (2020).	77
Figura 48: Asignación de materiales y sus propiedades para el modelo de simulación, elaboración propia, (2020).	79
Figura 49: Propiedades del vidrio crudo transparente, elaboración propia, (2020).	79
Figura 50: Ubicación de los materiales en los elementos constructivos, elaboración propia, (2020).	80
Figura 51: Ubicación de los materiales en los elementos constructivos, elaboración propia, (2020).	80
Figura 52: Gráfico del comportamiento de Tair, Top y Tmr durante todo el año, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).	82
Figura 53: Gráfico del porcentaje de horas de Satisfacción vs. Insatisfacción térmica en LB, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).	83
Figura 54: Gráfico del porcentaje de horas de insatisfacción en Calor vs. frío en LB, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).	84
Figura 55: Gráfico del promedio de Tair, Top y Tmr anual por horas, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).	85
Figura 56: Gráfico de las temperaturas promedio mensual entre las 12:00 y 15:00 a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).	86
Figura 57: Gráfico de Hr mensual entre las 12:00 y 15:00 a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).	87
Figura 58: Evaluación PMV de confort térmico para LB a partir Top bajo los parámetros de ASHRAE Standard 55-2020, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).	89
Figura 59: Evaluación PMV de confort térmico para LB a partir de Top bajo los parámetros de EN-16798, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).	90
Figura 60: Evaluación PMV de confort térmico para LB desde el método Fanger (Tair y Tmr) bajo los parámetros de ASHRAE Standard 55-2020, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).	91
Figura 61: Evaluación PMV de confort térmico para LB desde el método Fanger (Tair y Tmr) bajo los parámetros de EN-16798, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).	92
Figura 62: Esquema de módulos espaciales y ejemplos de posibles usos para viviendas de emergencia, elaboración propia, (2020).	95
Figura 63: Esquema de distribución espacial del modelo de vivienda de emergencia, elaboración propia, (2020).	95
Figura 64: Esquema volumétrico del modelo de vivienda de emergencia, elaboración propia, (2020).	96
Figura 65: Vista en planta y en volumetría del modelo panelizado propuesto de vivienda de emergencia, elaboración propia, (2020).	97

Figura 66: Secciones del modelo propuesto de vivienda de emergencia, elaboración propia, (2020).	xii 98
Figura 67: Vistas en fachada del modelo de vivienda de emergencia, elaboración propia, (2020).	99
Figura 68: Dimensiones del ser humano y sus posiciones, Neufert (2013).	101
Figura 69: Espacios necesarios para posturas básicas, Neufert (2013).	102
Figura 70: Módulo espacial de 0,80x0x80m que abarca el espacio de una puerta y puede generar recorridos al ser unido con otros, elaboración propia (2020).	103
Figura 71: Unión de módulos para generar espacios de servicios con circulación, elaboración propia (2020).	104
Figura 72: Generación de espacios de permanencia y áreas de servicios a partir de la unión tres por tres módulos (2,40x2,40m), elaboración propia (2020).	104
Figura 73: Diseño modular básico del panel prefabricado, elaboración propia (2020).	106
Figura 74: Diseño modular recortado del panel prefabricado, elaboración propia (2020).	106
Figura 75: Diseño de módulo de puerta para el sistema prefabricado, elaboración propia (2020).	107
Figura 76: Diseño de módulo de ventana con quiebrasol para el sistema prefabricado, elaboración propia (2020).	108
Figura 77: Diseño de módulos de persiana para el sistema prefabricado, elaboración propia (2020).	109
Figura 78: Elementos modulares del sistema de cerramiento para viviendas de emergencia, elaboración propia, (2020).	109
Figura 79: Sistema de junta compuesta (lengua y ranura) para la unión de paneles en sentido horizontal, elaboración propia (2020).	111
Figura 80: Sistema de junta compuesta (lengua y ranura) para la unión de panel y riel inferior de los muros, elaboración propia (2020).	112
Figura 81: Sistema de junta compuesta (lengua y ranura) para la unión de panel y riel superior de los muros, elaboración propia (2020).	113
Figura 82: Sistema de junta por parales verticales en ambas caras del muro, elaboración propia (2020).	114
Figura 83: Parales plegados verticales en ambas caras de las esquinas, elaboración propia (2020).	115
Figura 84: Sistema de junta por parales complejos verticales en ambas caras de las esquinas, elaboración propia (2020).	116
Figura 85: Elementos de estructura (arcos y listones para vigas de amarre) del caso de estudio, elaboración propia (2020).	117
Figura 86: Platinas para fijación de la estructura del caso de estudio, elaboración propia (2020).	118
Figura 87: Elementos de estructura (correas) para la vivienda de emergencia, elaboración propia (2020).	119
Figura 88: Vivienda de emergencia propuesta para caso de estudio con su sistema de construcción, elaboración propia (2020).	120
Figura 89: Coeficiente de conductividad térmica para la esterilla laminada de guadua en comparación a otros materiales, Silva, (2019).	122
Figura 90: Volumetría de la capa interior del panel y su materialidad, Elaboración propia, (2020).	123

Figura 91: Volumetría de las capas del panel y su materialidad, Elaboración propia, (2020).	xiii
.....	124
Figura 92: Modelo esquemático de la vivienda de emergencia propuesta para su análisis y evaluación térmica, elaboración propia, (2020).	125
Figura 93: Configuración de horario de actividad de personas desde el software OpenStudio, elaboración propia, (2020).	126
Figura 94: Configuración de horario de número de personas desde el software OpenStudio, elaboración propia, (2020).	126
Figura 95: Configuración de horario de iluminación desde el software OpenStudio, elaboración propia, (2020).	127
Figura 96: Configuración de horario de equipos electrónicos desde el software OpenStudio, elaboración propia, (2020).	128
Figura 97: Configuración de horario de ventilación desde el software OpenStudio, elaboración propia, (2020).	128
Figura 98: Configuración de horario de termostato de refrigeración desde el software OpenStudio, elaboración propia, (2020).	129
Figura 99: Horarios cargados en el modelo de vivienda de emergencia desde el software OpenStudio, elaboración propia, (2020).	130
Figura 100: Asignación de materiales y sus propiedades para MV de simulación, elaboración propia, (2020).	131
Figura 101: Ubicación de los materiales en los elementos constructivos de MV, elaboración propia, (2020).	131
Figura 102: Ubicación de los materiales en los elementos constructivos, elaboración propia, (2020).	132
Figura 103: Configuración de horario de ventilación para MV desde el software OpenStudio, elaboración propia, (2020).	133
Figura 104: Gráfico del comportamiento de la Tair, Top y Tmr durante todo el año en MV, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).	134
Figura 105: Gráfico del porcentaje de horas de Satisfacción vs. Insatisfacción térmica en MV, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).	135
Figura 106: Gráfico del porcentaje de horas de insatisfacción en Calor vs. frío en MV, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).	136
Figura 107: Gráfico del promedio de Tair, Top y Tmr anual por horas para MV, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).	137
Figura 108: Gráfico de las temperaturas promedio mensual entre las 12:00 y 15:00 para MV, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).	138
Figura 109: Gráfico de Hr mensual entre las 12:00 y 15:00 para MV, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).	139
Figura 110: Evaluación PMV de confort térmico para MV a partir de Top bajo los parámetros de ASHRAE Standard 55-2020, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).	140
Figura 111: Evaluación PMV de confort térmico para MV a partir de Top bajo los parámetros de EN-16798, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).	141

Figura 112: Evaluación PMV de confort térmico para MV desde el método Fanger (Tair y Tmr) bajo los parámetros de ASHRAE Standard 55-2020, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).	xiv 142
Figura 113: Evaluación PMV de confort térmico para MV desde el método Fanger (Tair y Tmr) bajo los parámetros de EN-16798, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).	143
Figura 114: Evaluación PMV de confort térmico para MV a partir de Top con velocidad del aire de 0,4m/s bajo los parámetros de ASHRAE Standard 55-2020, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).	144
Figura 115: Evaluación PMV de confort térmico para MV a partir de Top con velocidad del aire de 0,4m/s bajo los parámetros de EN-16798, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).	145
Figura 116: Evaluación PMV de confort térmico para MV desde el método Fanger (Tair y Tmr) con velocidad del aire de 0,4m/s bajo los parámetros de ASHRAE Standard 55-2020, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).	146
Figura 117: Evaluación PMV de confort térmico para MV desde el método Fanger (Tair y Tmr) con velocidad del aire de 0,4m/s bajo los parámetros de EN-16798, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).	147
Figura 118: Caso de estudio ajustado al sistema modular propuesto, elaboración propia (2020).	149
Figura 119: Adición de módulo de espacio funcional al caso de estudio y ampliación de su uso, elaboración propia (2020).	151
Figura 120: Adición de módulo de servicios al caso de estudio y ampliación de cocina, elaboración propia (2020).	152
Figura 121: Adición de módulos de espacio funcional y de servicios al caso de estudio, elaboración propia (2020).	153
Figura 122: Duplicación del área al caso de estudio y cambio de uso a albergue comunitario, elaboración propia (2020).	154
Figura 123: Duplicación del área al caso de estudio y cambio de uso a aula de clases, elaboración propia (2020).	155
Figura 124: Losa de contrapiso preliminar y fijación del esqueleto de la vivienda de emergencia, elaboración propia (2020).	157
Figura 125: Instalación de rieles inferiores, paneles junto a sus accesorios modulares (puertas y ventanas) y rieles superiores, elaboración propia (2020).	158
Figura 126: Instalación de parales y esquinas para el sellado vertical del sistema, elaboración propia (2020).	159
Figura 127: Instalación de correas y tejado, elaboración propia (2020).	159
Figura 128: Despiece general del sistema de construcción para la vivienda de emergencia propuesta como caso de estudio, elaboración propia (2020).	161
Figura 129: Gráfico comparativo del comportamiento de la Top durante todo el año entre LB y MV, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).	164
Figura 130: Gráficos del porcentaje de horas de Satisfacción vs. Insatisfacción térmica en LB frente a MV, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).	165

Figura 131: Gráfico del porcentaje de horas de insatisfacción en Calor vs. frío en LB frente a xv MV, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).	166
Figura 132: Gráfico comparativo de Top promedio anual por horas para LB y MV, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).	167
Figura 133: Gráfico comparativo de Top mensual entre las 12:00 y 15:00 para LB y MV, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).	168
Figura 134: Evaluación PMV de confort térmico para LB vs. MV a partir de Top bajo los parámetros de ASHRAE Standard 55-2020, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).	169
Figura 135: Evaluación PMV de confort térmico para LB vs. MV desde el método Fanger (Tair y Tmr) bajo los parámetros de ASHRAE Standard 55-2020, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).	170
Figura 136: Evaluación PMV de confort térmico para LB vs. MV a partir de Top con velocidad del viento de 0,4m/s bajo los parámetros de ASHRAE Standard 55-2020, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).	171
Figura 137: Evaluación PMV de confort térmico para LB vs. MV desde el método Fanger (Tair y Tmr) con velocidad del viento de 0,4m/s bajo los parámetros de ASHRAE Standard 55-2020, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).	172
Figura 138: Gráfico comparativo del comportamiento de Top durante todo el año entre el modelo con SB, LB y MV, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).	174
Figura 139: Gráfico comparativo de la temperatura operativa promedio anual por horas para LB, SB y MV, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).	175
Figura 140: Gráfico comparativo del comportamiento de Top todo el año entre LB, MV y MVH, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).	177
Figura 141: Gráfico del porcentaje de horas de Satisfacción vs. Insatisfacción térmica en LB, MV y MVH, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).	178
Figura 142: Gráfico del porcentaje de horas de insatisfacción en Calor vs. frío en LB, MV y MVH, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).	179
Figura 143: Gráfico comparativo de Top promedio anual por horas para LB, MV y MVH, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).	180
Figura 144: Aumento de la franja de confort del 80% (21,5°C a 28,9°C) al 75% de aceptabilidad (21°C a 29°C), elaboración propia, (2020).	183

PRIMERA PARTE

1. INTRODUCCIÓN

El tema de investigación nace a partir de intereses globales y personales en el campo de la arquitectura, la sostenibilidad y la atención al desastre. Como intereses globales están los temas de la sostenibilidad dentro de la arquitectura y los desastres naturales, derivados del acelerado cambio climático, lo que lleva al planteamiento de soluciones arquitectónicas efectivas dentro de la atención de desastres, a través de los recientes avances tecnológicos en materia de planificación y construcción. Como intereses personales, están los temas de la construcción prefabricada y el confort térmico en los espacios, elementos claves dentro de la habitabilidad en el estado de emergencia en el desastre, también empleando el uso de la tecnología para un efectivo desarrollo de los alojamientos temporales para los damnificados.

La primera parte de este documento está compuesta por la introducción, la estructura y el enunciado del camino a seguir en la investigación. Continúa con el planteamiento del problema, basado en una serie de causas y efectos que explican cómo los sistemas de construcción de las viviendas de emergencia propuestos por las entidades de gestión del riesgo, no son óptimos a nivel de confort térmico para su habitabilidad durante el tiempo que podría llevar el estado de emergencia, teniendo en cuenta que este puede prolongarse. Sigue la justificación que explica la importancia de solucionar este problema en la vivienda de emergencia para poder responder a las necesidades que demanda la sociedad actual; continúa con los objetivos, que parten de una serie de fines que enfrentan las causas del problema planteado y los medios para alcanzarlos, siempre en

la búsqueda de mejorar la habitabilidad en el estado de la emergencia y los procesos técnicos que trae consigo, previos y futuros.

Planteado el problema y el objetivo, el documento realiza una contextualización en las teorías, conceptos y definiciones que trazan el camino a seguir alrededor del tema de investigación: el desarrollo sostenible, la gestión del riesgo de desastre, la habitabilidad y vivienda de emergencia, la construcción en seco, el sistema prefabricado modular ligero y el confort térmico.

El estado del arte aborda los estudios realizados por diversos autores que han tratado y resuelto los temas de interés en esta investigación, que han sido reunidos en tres ejes principales: los sistemas de modulación espacial, los sistemas de ensamblaje en seco y el confort térmico en los espacios.

Una vez planteados los objetivos, así como ya conocidas las teorías, conceptos, definiciones y estudios aplicados a los temas seleccionados, el marco metodológico presenta una guía de los medios a emplear para alcanzar los fines propuestos. Bajo la metodología de simulación se realizaron las evaluaciones pertinentes en búsqueda del cumplimiento de los objetivos. En este marco metodológico se explica brevemente las cuatro fases (denominadas como caso de estudio, análisis, propuesta, y prueba, aplicación y resultado) que organizan los pasos a seguir en las soluciones propuestas al problema.

La segunda parte está enfocada al desarrollo de las actividades listadas en la metodología, cada uno siguiendo su eje temático que conforma su correspondiente título, basado en los objetivos específicos.

Los tres títulos principales de esta parte del documento tratan el tema del sistema de paneles modulares, el sistema de ensamblaje en seco, y la evaluación térmica en la vivienda de emergencia, trazando así, los ejes primarios de esta investigación, partiendo de un caso de estudio con el diseño de un modelo de vivienda de emergencia implantado en el sur de Cali (específicamente en el campus de la Universidad del Valle), al que se le aplicó el sistema de construcción planteado (siguiendo los tres ejes primarios mencionados), siendo comparado con una línea base, al que se le ha aplicado el sistema y materialidad indicado por la UNGRD.

Al llegar a los resultados, enmarcados también en los tres ejes de esta investigación, se encontró un sistema modular espacial sobre el cual se estableció también el sistema modular de los paneles y sus elementos complementarios, también se reunieron los procedimientos de ensamble que garantizaran un fácil armado y desarmado de la vivienda, con la menor cantidad de herramienta posible, logrando así que, junto con el sistema modular, se pueda otorgar la flexibilidad deseada para la vivienda de emergencia y/o sus usos complementarios. En cuanto a la evaluación térmica de los modelos, se realizó una comparativa de la respuesta brindada entre la línea base y el sistema propuesto, trayendo consigo una notoria mejora en cuanto a las temperaturas altas al interior de la vivienda, teniendo en cuenta que esta investigación propone un sistema de cerramiento vertical únicamente. Conociendo el resultado obtenido con el sistema de cerramiento vertical, se realizó una nueva simulación contemplando el empleo de esta materialidad como otra capa en la cubierta de la vivienda, generando un resultado todavía más favorable en el confort térmico, también se realizó otra nueva simulación comparando la línea base y propuesta

con otro sistema ligero de cerramiento convencional: superboard, mostrando mejoría con respecto a la línea base, pero no la misma efectividad en comparación con la propuesta.

Teniendo en cuenta que los parámetros de evaluación térmica bajo el método adaptativo con el 80% de aceptabilidad, son contemplados para vivienda de uso permanente, se propuso un porcentaje de aceptabilidad más tolerable con el fin de demarcarlo como un rango permisible en construcciones provisionales, teniendo en cuenta que dicha tolerancia actualmente no existe.

El documento culmina con las conclusiones de la investigación, en relación con el marco teórico, el cumplimiento de los objetivos, las respuestas a las preguntas de investigación, y las reflexiones finales con invitación a trabajos futuros, y cierra con la bibliografía consultada y aplicada en el desarrollo de cada capítulo.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Insatisfacción en el uso prolongado de las viviendas de emergencia y sus sistemas de construcción

Las viviendas de emergencia y albergues temporales son la respuesta inmediata a las necesidades de habitación de los damnificados y desplazados, producto de los desastres naturales y guerras alrededor del mundo. La incomodidad y la complejidad en la construcción de unidades de habitación efectivas para sobrellevar la situación de emergencia ha hecho que ante estos eventos no se cumpla con la demanda habitacional, lo que genera hacinamiento en los campos de refugio, llevando a riesgos sociales y de salubridad. El problema que ha sido evidenciado de acuerdo con las causas y efectos que serán mencionados a lo largo de este capítulo, es la insatisfacción en las viviendas de emergencia en su uso prolongado, por sus sistemas de construcción que no responden a las necesidades térmicas y habitacionales de sus usuarios.

2.1.1. Hacinamiento e inseguridad en los albergues

El albergue comunitario es definido por la Sociedad Nacional de la Cruz Roja Colombiana (2008) como una infraestructura instalada como los colegios, escenarios deportivos, salones comunales, entre otras, que es usada de manera transitoria para quienes han sido afectados por el desastre. Debido a las complicaciones para retomar el uso original de los establecimientos, muchas regiones restringen su uso, sobre todo en las construcciones dedicadas a educación. Sin embargo, sigue siendo contemplado por el manual de la Cruz Roja como una opción para la atención al desastre porque cuenta con servicios básicos y facilita el acceso a la salud.

La infraestructura educativa como albergue comunitario, lleva a un problema de hacinamiento que impide la continuación de las actividades escolares en los niños, genera riesgos de violación y prostitución infantil, malas condiciones de agua y sanidad, y daños a la infraestructura y al mobiliario del edificio que tendrán que ser reparados o reemplazados, representando aumento en los tiempos de readecuación para su uso original (de Educación, C., de Centroamerica, C., & UNICEF, 2008, p. 1-16).

2.1.2. Alojamiento temporal espontáneo

Para el estado de emergencia, una respuesta inmediata a la situación de desastre ofrecida por la Unidad de Gestión de Riesgos y Desastres, es la vivienda de emergencia construida con toldos y carpas. Su modelo de vivienda temporal está compuesto por un cerramiento en tela verde en su zona central, polisombra negra para lograr ventilación en climas cálidos en su base y parte superior del cerramiento y teja de zinc para su cubierta, esto sostenido por parales en madera de 10x10x400cm (UNGRD, 2013, p.123 - 130), el problema radica en que estos materiales de cerramiento son muy permeables y no garantizan la seguridad y la intimidad de quienes habitan el espacio.

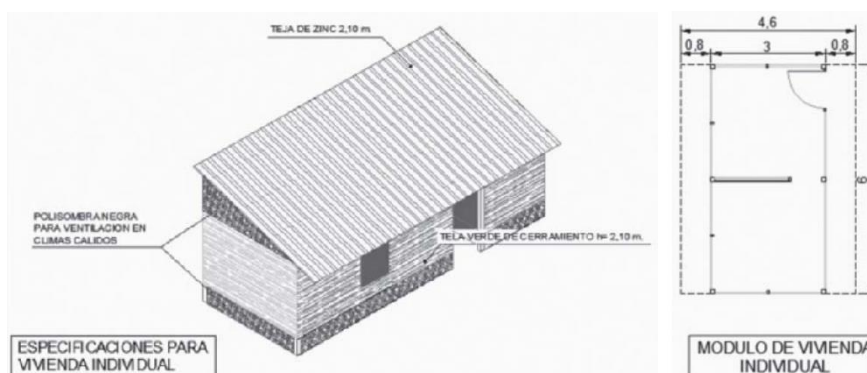


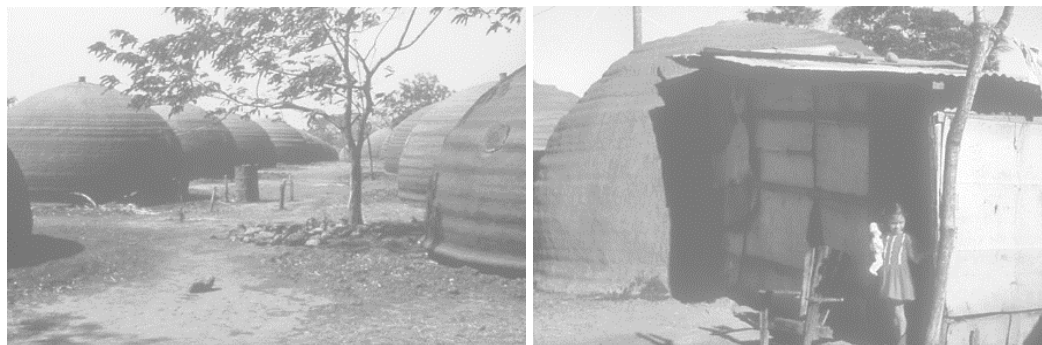
Figura 1: Modelo de vivienda individual 18 m2, UNGRD, (2013)

Esa limitada posibilidad de alojamiento, con pocas oportunidades de desarrollo y transformación, lleva a que la población afectada busque atender sus necesidades a través de la autoconstrucción, algo que la Organización Internacional para las Migraciones (2012) denomina como alojamientos temporales espontáneos, definidos como los espacios contruidos por las personas afectadas que buscan un refugio provisional con o sin la asistencia de alguna entidad o gobierno. Estas construcciones suelen requerir muchas modificaciones debido a su insuficiente capacidad de suplir las necesidades básicas de habitabilidad en la vivienda; suelen estar dentro de esta categoría, los cambuches.

2.1.3. Transformaciones empíricas en la vivienda de emergencia y sus riesgos

Los toldos que son empleadas popularmente para el estado de emergencia, son materiales térmicamente inconfortables para la vivienda. Cantón & Fernández (2011) realizaron estudios en paralelo del comportamiento térmico de toldos vinílicos de colores blanco y verde, y polisombra en patios expuestos de una casa en Mendoza, Argentina durante el verano. Como conclusión, el toldo vinílico blanco tiene un mejor comportamiento térmico, mientras que la polisombra es el material con menor filtro de calor por radiación, con una diferencia de $2,8^{\circ}\text{C}$ entre estos dos materiales. Pero a pesar de que el toldo vinílico blanco tiene mejor comportamiento en el estudio, su interior sigue estando fuera del rango de confort térmico; según el estudio, el confort en Mendoza está a una temperatura de 23°C , y la temperatura promedio usando el toldo blanco está a $25,82^{\circ}\text{C}$, por lo tanto, el material no es apto para cerramiento de vivienda en términos de confortabilidad.

La insatisfacción térmica estimula la necesidad de adaptar el espacio a las condiciones requeridas por quien habita la vivienda, si la unidad de habitación es limitada en sus características térmicas, llevará al usuario a realizar transformaciones empíricas, riesgosas e insalubres al alargarse el plazo de la emergencia. Como pudo evidenciar Davis (2015) en las viviendas iglú de poliuretano que fueron instaladas por la Cruz Roja Alemana Occidental y Bayer Chemical Company en Nicaragua en el año 1972, que tras quince meses de uso, las familias ya habían realizado modificaciones y ampliaciones porque la unidad original era limitada en cuanto a sus posibilidades de adaptación al usuario; estas adecuaciones fueron realizadas en contravía de la forma del iglú, creando adiciones ortogonales junto a la geometría original de la vivienda.



***Figura 2:** Viviendas iglú instaladas por la Cruz Roja Alemana Occidental y Bayer Chemical Company para Nicaragua en el año 1972, y su transformación por los usuarios quince meses después, Davis, (2015)*

2.2. Conclusiones del problema

El problema dentro de la habitabilidad en el estado de emergencia tras un episodio de catástrofe, está en la vivienda temporal como módulo espacial, su construcción, su materialidad y calidad del aire interior, lo que lleva a dificultades en cuanto a la seguridad

e intimidad de sus usuarios, modificaciones y crecimiento espontáneo con los riesgos que conlleva. Es por esto que, para dar solución al problema presente del uso prolongado de viviendas de emergencia insatisfactorias, debe ser tratado desde tres puntos clave: el sistema espacial que se rige a partir de la modulación de sus elementos, su sistema de ensamblaje y la respuesta térmica de su materialidad.

2.3. Árbol de problemas

El problema planteado está soportado y sintetizado por el árbol de problemas de la Figura 3, que lo clasifica en tres efectos que van acompañados por sus respectivas causas.



Figura 3: Árbol de problemas, elaboración propia, (2020)

3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cuáles son las prestaciones de confort térmico alcanzadas por una vivienda de emergencia de uso prolongado propuestas por la UNGRD?
- ¿Cómo puede comportarse térmicamente el sistema de construcción removible ideado para el uso de viviendas de emergencia en un contexto con clima ecuatorial cálido?
- ¿Cuál es el porcentaje de aceptabilidad de confort térmico bajo el método adaptativo al que puede llegar una vivienda de emergencia dentro de un contexto con clima ecuatorial cálido para no perder su cualidad de temporalidad?

4. JUSTIFICACIÓN

La insatisfacción durante el estado de emergencia, debido a los sistemas de construcción en viviendas temporales que no ofrecen una adecuada respuesta térmica en su interior, ni la flexibilidad suficiente para modificar con facilidad sus espacios de acuerdo a las necesidades requeridas por cada familia, vulnera la digna habitabilidad en las personas afectadas por el desastre. Durante el prolongamiento del estado de la emergencia, ya sea por condiciones presupuestales o imprevistos en la zona del desastre (Narváez, Lavell & Pérez, 2009), al no cumplir con las necesidades de la población damnificada, se podría estimular un riesgoso retorno al sitio afectado, ocupando la infraestructura perjudicada o improvisando refugios sin las medidas de seguridad adecuadas (Olivera & González, 2010). Es por esto, que es necesario estimar un índice adecuado de confort térmico para la vivienda de emergencia, y evaluarlo a partir de una materialidad que responda a ello, también es pertinente proponer un sistema de construcción que cumpla con los criterios de modularidad, ligereza y facilidad de ensamblaje, garantizando la flexibilidad requerida para personalizar los espacios según la necesidad del usuario.

Una vivienda de emergencia con un adecuado sistema de construcción que permita cumplir con las condiciones mínimas de habitabilidad residencial (privacidad, salubridad, confort térmico, protección al clima) permite mejorar la calidad de vida de los damnificados que, en el corto, mediano y largo plazo constituyen una reducción de consumos energéticos dedicados a climatización o generación de residuos de demolición y construcción (RCD), puesto que la lona (de acuerdo con la materialidad de vivienda de emergencia propuesta por la UNGRD) no es un material renovable, mientras que un sistema

prefabricado reutilizable con material renovable permitirá reducir el impacto ambiental y generará un aporte a la consciencia ambiental nacional e internacional. Una vivienda de emergencia en condiciones dignas de habitabilidad contribuye a la reducción y prevención de enfermedades físicas y psicológicas tales como estrés postraumático, ansiedad generalizada y depresión (Cernuda, 2012). Reducción en costos de atención en salud en profesionales y medicamentos dedicados a la comunidad damnificada.

Explorar la construcción prefabricada ligera para la vivienda de emergencia, por medio del diseño de sus elementos modulares y de ensamblaje en seco, permite probar soluciones inmediatas desde el enfoque de la practicidad en el proceso constructivo, la ergonomía y flexibilidad en la conformación de espacios mínimos, y el mejoramiento de la calidad y temperatura del aire interior en este tipo de vivienda. Evaluar el confort térmico en una vivienda de emergencia y estimar un índice adecuado para ello, posibilita futuras investigaciones que profundicen acerca de los niveles de confort térmico dentro de una construcción de carácter temporal en un periodo de emergencia por desastre, invitando a explorar diferentes materiales y métodos de evaluación en búsqueda de la mejora en la habitabilidad bajo estas condiciones de riesgo y vulnerabilidad.

5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Objetivo general

Evaluar el confort térmico en viviendas de emergencia en clima ecuatorial cálido y mejorarlo con un sistema de cerramiento vertical prefabricado de construcción en paneles modulares ligeros.

5.2. Objetivos específicos

1. Evaluar el nivel de confort térmico de la propuesta sugerida por la UNGRD para viviendas de emergencia.
2. Diseñar un sistema modular ligero de paneles prefabricados para viviendas de emergencia flexibles.
3. Diseñar un sistema de ensamblaje rápido en seco para los paneles prefabricados modulares.
4. Evaluar y mejorar el nivel de confort térmico al interior de la vivienda de emergencia en clima ecuatorial cálido.

5.3. Árbol de objetivos

Para sintetizar y entender el planteamiento de los objetivos, el esquema presentado en la Figura 4 muestra los fines que dan respuesta a las causas y efectos que plantean el problema de investigación, estos alimentan el objetivo general y a su vez determinan los objetivos específicos.

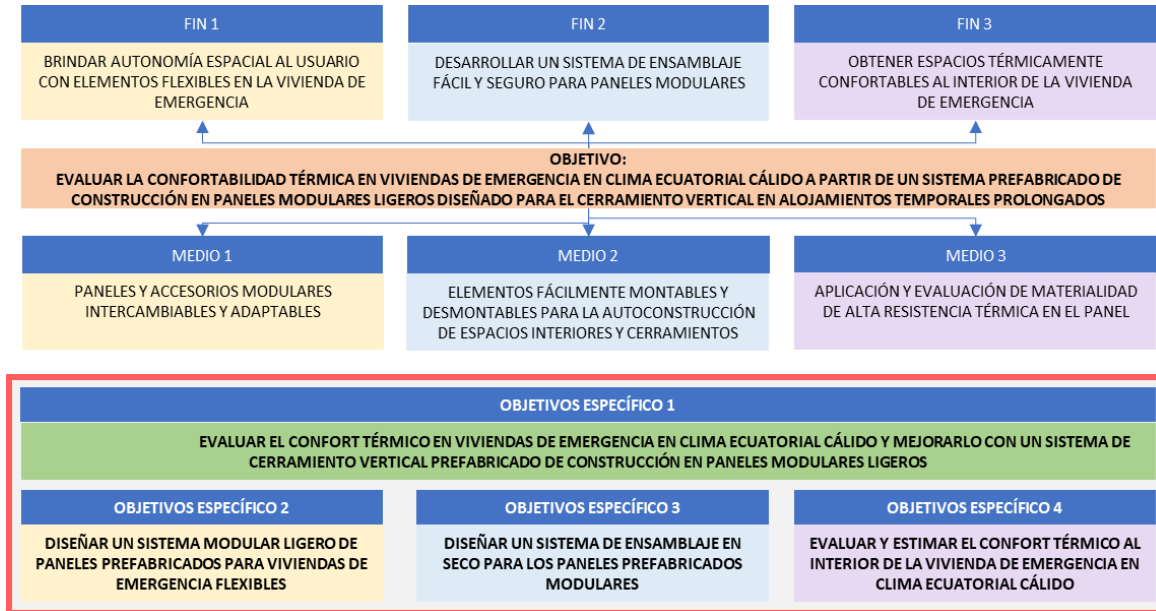


Figura 4: Árbol de objetivos, elaboración propia, (2020).

Los medios definen el camino para alcanzar los fines, que serán ampliados en el Capítulo 8 destinado a la Metodología.

6. MARCO TEÓRICO

El marco teórico aborda 6 temas claves en el desarrollo de este documento, con estos se abordan los conceptos necesarios para la comprensión de los puntos que busca mejorar y solucionar el problema planteado:

- El desarrollo sostenible.
- La gestión del riesgo de desastre.
- La habitabilidad y vivienda de emergencia.
- La construcción en seco.
- El sistema prefabricado modular ligero.
- El confort térmico.

A continuación, en la Figura 5 se muestra un esquema abreviado del marco teórico que apoya a esta investigación.

MARCO TEÓRICO					
TEMA 1	TEMA 2	TEMA 3	TEMA 4	TEMA 5	TEMA 6
DESARROLLO SOSTENIBLE	GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE	HABITABILIDAD Y VIVIENDA DE EMERGENCIA	ARQUITECTURA PREFABRICADA Y SISTEMA MODULAR LIGERO	CONSTRUCCIÓN EN SECO	CONFORT TÉRMICO EN LOS ESPACIOS
ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU)	NARVÁEZ, LAVELL, & PÉREZ	REAL ACADEMIA ESPAÑOLA (RAE)	GÓMEZ JÁUREGUI	FAJRE, ET AL	ISO 7730: 2005
OBJETIVOS Y METAS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (2015)	LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (2009)	HABITABILIDAD (2020)	HABIDITE: VIVIENDAS MODULARES INDUSTRIALIZADAS (2009)	JUNTAS, UNIONES Y VÍNCULOS EN LOS CERRAMIENTOS VERTICALES EXTERIORES, CONSTRUÍDOS CON TECNOLOGÍA EN SECO (2018)	ERGONOMICS OF THE THERMAL THERMAL ENVIRONMENT. ANALYTICAL DETERMINATION AND INTERPRETATION OF THERMAL COMFORT USING CALCULATION OF THE PMV AND PPD INDICES AND LOCAL THERMAL COMFORT CRITERIA (2005)
MANZANO-AGUGLIARO, ET AL		JIRÓN MARTINEZ, ET AL	LAWSON, OGDEN & GOODIER		FANGER
REVIEW OF BIOCLIMATIC ARCHITECTURE STRATEGIES FOR ACHIEVING THERMAL COMFORT (2015)		BIENESTAR HABITACIONAL: GUÍA DE DISEÑO PARA UN HÁBITAT RESIDENCIAL SUSTENTABLE (2004)	DESIGN IN MODULAR CONSTRUCTION (2014)		THERMAL COMFORT, ANALYSIS AND APPLICATION IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING (1970)
		CUBILLOS-GONZALEZ, ET AL	LANTIGUA DE LA CRUZ		AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONED ENGINEERS (ASHRAE)
		LA HABITABILIDAD COMO VARIABLE DE DISEÑO DE EDIFICACIONES ORIENTADAS A LA SOSTENIBILIDAD (2014)	PREFABRICACIÓN LIGERA CON PANELES ENFOCADOS EN LA VIVIENDA (2015)		ASHRAE STANDARD 55-2017 THERMAL ENVIRONMENTAL CONDITIONS FOR HUMAN OCCUPANCY (2017)
		FONTANA CABEZAS, ET AL	PONS VALLADARES		
		VIVIENDAS DE EMERGENCIA EN URUGUAY (2014)	EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE PREFABRICACIÓN APLICADAS A LA ARQUITECTURA ESCOLAR (2010)		
		TAPIA ZARRICUETA			
		VIVIENDA Y EMERGENCIA ANTE DESASTRES NATURALES PRODUCIDOS POR SISMOS. SISMO DE 1997 EN LA COMUNA DE PUNITAQUI (2003)			

Figura 5: Marco teórico, elaboración propia, (2020).

6.1. Desarrollo sostenible

El desarrollo sostenible es definido como la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de satisfacer las necesidades de las generaciones futuras (Organización de las Naciones Unidas, 1987), aquí la ONU resalta su interés por la conservación de las condiciones óptimas para el desarrollo de la vida humana en el planeta para las generaciones venideras, estimula el consumo responsable y la vida digna sin excesos.

La ONU (2015) planteó para ello los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), una serie de 17 objetivos globales que abarcan temas ambientales, económicos y políticos, que se interrelacionan y se afectan mutuamente (Figura 6), con la meta de ser cumplidos en el año 2030, estos reemplazan y amplían los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) que poseían 8 objetivos que vencieron en el año 2015. Los objetivos de interés para esta investigación desde el área de la arquitectura y la tecnología son principalmente enfocados en el número 9, correspondiente a la industria, innovación e infraestructura, y el número 11, correspondiente a las ciudades y comunidades sostenibles.



Figura 6: *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), tomado de “Objetivos y Metas de Desarrollo Sostenible”, ONU, (2015).*

La arquitectura bioclimática es una respuesta desde el sector del diseño y la construcción al desarrollo sostenible, esta intenta alcanzar el confort térmico interactuando energéticamente con el clima exterior. Aunque la expresión es reciente, su aplicación es ancestral, inherente a sus orígenes, la llamada arquitectura vernácula era pensada para responder al refugio y al confort térmico humano, pero tras la Revolución Industrial, se hizo un cambio hacia una arquitectura indiferente basada en tecnologías de consumo intensivo de energía, la arquitectura moderna concedió el papel del confort térmico a los sistemas mecánicos de acondicionamiento del ambiente interior, generando un impacto en la huella de carbono. Tras la observación de los efectos ambientales a nivel global y el enfoque de la conciencia hacia la sostenibilidad, ha habido un retorno a los valores de

acondicionamiento pasivo de los ambientes internos en la arquitectura (Manzano-Agugliaro, et al, 2015, p. 738).

6.2. Gestión del riesgo de desastre

Según Narváez, Lavell, & Pérez (2009), es un proceso social que tiene como objetivo controlar permanentemente los factores de riesgo de desastre en la sociedad; esto quiere decir que la gestión del riesgo de desastre, más que una alusión a la prevención y mitigación de desastres, está presente en todos los momentos del riesgo, desde el momento previo hasta después de ocurrida la catástrofe. Por lo tanto, la vivienda de emergencia como uno de los medios de atención a los damnificados, forma parte de un plan de gestión del riesgo de desastres.

6.3. Habitabilidad y vivienda de emergencia

La situación de emergencia tras el desastre viene acompañada de una población damnificada, por lo que la habitabilidad es un tema a resolver con urgencia. La definición del concepto de habitabilidad permitirá continuar con el desarrollo de esta investigación y aclarar los temas por resolver en esta población.

La Real Academia Española[RAE] (2020) define la habitabilidad como la “cualidad de habitable, y en particular la que, con arreglo a determinadas normas legales, tiene un local o una vivienda”. Esta definición la complementa Jirón Martínez et al (2004) indicando que la habitabilidad está “determinada por la relación y adecuación entre el hombre y su entorno y se refiere a cómo cada una de las escalas territoriales es evaluada según su capacidad de satisfacer las necesidades humanas”; y a partir de estas definiciones, los autores elaboraron su guía de diseño de hábitat residencial sustentable a partir de una

evaluación basada en un conjunto de factores para determinar el bienestar habitacional en distintas escalas: vivienda, entorno inmediato, conjunto habitacional. Los seis factores para evaluar las distintas escalas determinan un aspecto diferente que compone la habitabilidad anteriormente definida: físico espacial, psicosocial, térmico, acústico, lumínico y seguridad y mantenimiento (Figura 7).



Figura 7: Factor de bienestar habitacional, tomado de “Bienestar habitacional: Guía de diseño para un hábitat residencial sustentable”, Jirón Martínez et al, (2004) .

La habitabilidad según Cubillos-Gonzalez, et al (2014) es la capacidad de un edificio para garantizar en sus usuarios, las condiciones mínimas de confort y salubridad, los autores dan enfoque al desarrollo de lo que han denominado como modelo de habitabilidad orientado a la sostenibilidad (MHOS), indicando que esto surge de la relación entre un eficiente uso de los recursos naturales y la dimensión espacial de un hábitat construido. Es así como la habitabilidad puede ser entendida como un elemento de suma importancia dentro de la sostenibilidad, los autores toman tres agentes clave (crecimiento poblacional, cambio climático e impacto ambiental), desde donde plantean las siguientes

necesidades para un edificio habitable: flexibilidad, relación del edificio con un mayor espacio público, accesibilidad a nivel arquitectónico y urbano, relación de edificaciones con ciudades que gestionen ahorro y consumo de energía, eficiencia en sus procesos de producción y gestión. A partir de esas ideas, los autores diseñan este modelo teórico para evaluar la habitabilidad en un edificio sostenible al combinar las variables expuestas para generar un sistema de comprensión del factor de habitabilidad, permitiendo su evaluación al identificar variables desde múltiples dimensiones; como ejemplo, la figura 8 muestra cuatro variables principales e independientes, que rodean el esquema, de los que se desprenden cinco variables dependientes en su centro. Partiendo de lo expuesto, para los autores un edificio con habitabilidad sostenible debe ser adaptable a las necesidades del usuario, eficiente energéticamente, y de procesos constructivos eficientes.

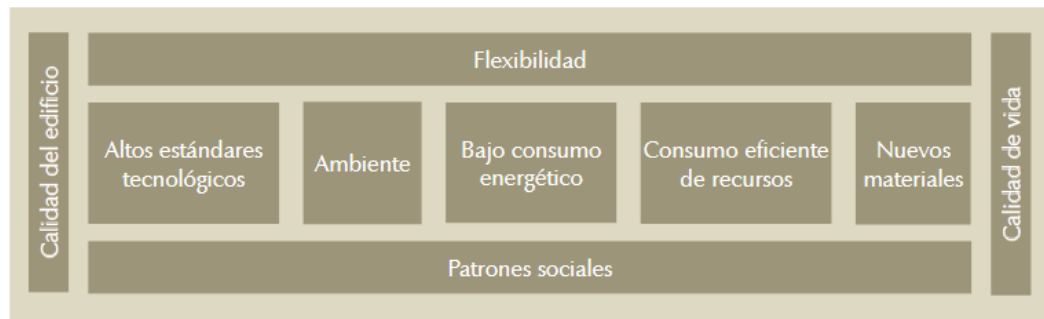


Figura 8: Modelo de habitabilidad orientado a la sostenibilidad (MHOS), tomado de “La habitabilidad como variable de diseño de edificaciones orientadas a la sostenibilidad”, Cubillos-Gonzalez et al, (2014) .

La vivienda de emergencia es la solución parcial al problema de habitabilidad, mientras es resuelta la residencia permanente del damnificado. Fontana Cabezas, et al (2014) definen la vivienda de emergencia como un módulo habitacional para una población temporal (damnificados o realojados), que brinda adecuadas condiciones de seguridad

física y emocional durante el periodo de carencia de vivienda permanente, ofreciendo sitio para bienes materiales personales, protección al clima y un grado aceptable de intimidad, y que, al finalizar el tiempo de uso, pueda ser desarmado para futuros usos, sin dejar huella en su zona de implantación. Esto quiere decir, según los autores, que la vivienda de emergencia es una solución habitacional temporal y removible, cumpliendo con estándares mínimos de habitabilidad, para una población afectada por eventos de desastre o desplazamiento, mientras les es solucionada la ubicación a una vivienda de uso permanente.

Para Tapia Zarricueta (2003) la vivienda de emergencia se puede entender como una solución de alojamiento provisional para los damnificados de una situación de catástrofe. Aclara que el plan de solución habitacional termina con la instalación de la familia o individuos en la vivienda definitiva. Indica que la alternativa tecnológica aparece primordialmente en la etapa de reconstrucción por la emergencia, y el problema está relacionado directamente con la variable constructiva, referida al deterioro de la vivienda, correspondiente a la calidad de los materiales y sistema constructivo que están diseñados para una duración limitada. El aceleramiento del deterioro físico puede ir de la mano del inadecuado funcionamiento de otra variable, que es el de la localización.

6.4. Arquitectura prefabricada y sistema modular ligero

Para lograr un efectivo cumplimiento con la cantidad de viviendas necesarias para suplir la necesidad de un techo para las familias e individuos afectados, la producción en serie permite disminuir el tiempo de construcción de los elementos que componen la vivienda. De acuerdo a Gómez Jáuregui (2009), el sistema modular ligero permite la

producción prefabricada en serie que optimiza los tiempos de fabricación de las piezas y su carácter ligero facilita su transporte y ensamblaje, y una vez finalizado el uso del edificio construido bajo este sistema, sus partes pueden ser reutilizadas y recicladas.

Lawson, Ogden & Goodier (2014) recopilando la información publicada por Buildoffsite (Glibb & Pendlebury, 2006), comparten una serie de definiciones relacionadas a la construcción modular:

- Construcción modular: unidades en tres dimensiones que son concebidos generalmente en fábricas y entregadas a la obra como sus principales elementos estructurales.
- Construcción plana: paneles en dos dimensiones, usados principalmente para muros, que pueden ser preacabados con su aislamiento y juntas antes de ser entregadas al sitio.
- Construcción híbrida: conformado por el uso combinado de elementos lineales, paneles y módulos para crear un sistema de construcción mixto.
- Paneles de revestimiento: elementos prefabricados de fachada, son pegadas en la construcción para completar su envoltura.
- Pods: unidades modulares no estructurales, como los baños, son soportadas directamente por las superficies de la construcción.

La investigación realizada por Lantigua (2015) recopila en su marco conceptual las definiciones que diversos autores hacen acerca de la prefabricación, donde también da su propia definición como “el procedimiento mediante el cual se fabrican por piezas, los elementos y componentes que luego serán llevados a su lugar de montaje; Dichas piezas se

unirán a otros elementos para así ser parte de una estructura completa y definitiva”. También expone dos sistemas fundamentales dentro de la fabricación, citando al Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETCC):

- Prefabricación abierta: utiliza elementos fabricados en serie de distinta procedencia que pueden ser combinables e intercambiables parcialmente.
- Prefabricación cerrada: utiliza elementos fabricados en serie que no pueden ser intercambiables ni combinables con otros elementos de distinta procedencia, además de poseer su propio y estricto procedimiento de fabricación, transporte y montaje.

Lantigua también hace referencia a la ligereza en la arquitectura y vivienda, donde indica que la construcción al pasar de las épocas, ha evolucionado progresivamente para ser más ligera. Esto también permite ampliar las posibles aplicaciones en los sistemas, como la vivienda prefabricada ligera que también sirve para solucionar temas de alojamiento que posteriormente puede ser desmontada sin dejar huella en el paisaje; o los elementos prefabricados ligeros de manera individual que pueden complementar una construcción en una estructura residencial en deficiente estado para reciclarla y darle un nuevo uso.

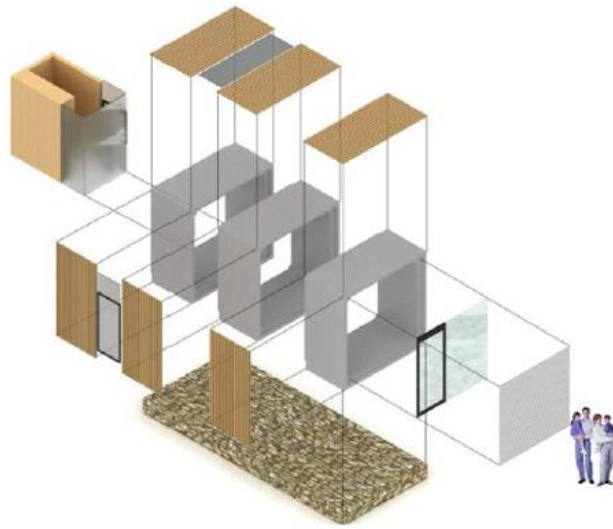


Figura 9: Unión de módulos prefabricados ligeros para una vivienda, tomado de *“Prefabricación ligera con paneles enfocados en la vivienda”, Lantigua, (2015).*

Pons (2010) en su estudio sobre la construcción prefabricada para su aplicación en la arquitectura escolar, expone también sobre los sistemas de prefabricación, clasificándolas de dos maneras, la primera como los sistemas abiertos y cerrados (definiéndolos de manera muy similar a como lo hizo la IETCC) y la segunda como sistemas ligeros y pesados:

- Prefabricación ligera: con estructura metálica o mixta.
- Prefabricación pesada: con estructura en concreto reforzado.

6.5. Construcción en seco

La vivienda de emergencia debe ser construida con la mayor velocidad posible para cumplir de manera efectiva con la demanda habitacional del momento, por lo tanto, la construcción en seco es una opción que permite armar viviendas en poco tiempo. De acuerdo a Fajre, et al (2018), la construcción en seco es aquella donde no hay intervención

del agua como catalizador del proceso constructivo para llevar a cabo su ejecución, es un proceso de construcción de montaje mecánico de sus partes, uso de productos industriales y caracterizado por ser más limpio al momento de la organización de las obras, porque al no tener tiempos de fraguado, endurecimiento y secado (propios de la construcción húmeda), su tiempo de realización es menor.

6.6. Confort térmico en los espacios

El confort térmico es definido por la norma ISO 7730 (2005) como “aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico”, esto quiere decir que la comodidad térmica es subjetiva y puede variar dependiendo de varios factores presentes, como las condiciones externas (temperatura ambiente, humedad relativa, etc.) y las internas de cada individuo (vestimenta, actividad realizada, etc.).

Un espacio confortable es un espacio habitable, por eso la vivienda debe garantizar la comodidad de quien lo habite. Fanger (1970) habla del confort térmico en los espacios interiores, utilizando su propio método de estimación y cuantificación basado en el cálculo de PMV (Voto Medio Estimado en sus siglas en inglés) y PPD (Porcentaje de Personas Insatisfechas en sus siglas en inglés), donde con el cálculo de la temperatura del aire, la temperatura media radiante y la humedad relativa, estima una franja de confortabilidad en el espacio, y del cálculo de las dimensiones del espacio y las cargas térmicas de las superficies, las personas, sus ropas y los equipos utilizados, estiman el porcentaje de personas insatisfechas y fuera de la franja de confortabilidad, ya sea por sensación de frío o calor, para poder así determinar el confort en un espacio, donde el valor PMV ideal abarca

el rango entre -0.5 y +0.5, y el valor PPD entre 0% y 10% según el estándar estipulado por ASHRAE (2017).

Luciani (2013), habla sobre la confortabilidad en una vivienda de emergencia, mencionando la respuesta de la ONU a Shigeru Ban con respecto al confort térmico como determinante de diseño en su propuesta de alojamiento de emergencia para los refugiados del terremoto de Kobe en Japón en 1995, donde se debe garantizar en la vivienda, la comodidad suficiente para el usuario que lo habite durante el tiempo de la emergencia, pero asegurando que este índice de confort no sea lo suficiente como para estimular la permanencia en la vivienda que es concebida para uso temporal. Por lo tanto, los criterios de confort en la vivienda de emergencia deben manejar un índice de confortabilidad menor al de una vivienda de uso permanente.

7. ESTADO DEL ARTE

Para abordar el confort térmico y la construcción prefabricada ligera para la vivienda de emergencia, es necesario revisar a los autores cuyas investigaciones hayan tratado y dado solución a los distintos temas a abordar. Para ampliar las posibles soluciones y precisar los puntos a tratar, el estado del arte, sintetizado en la Figura 10, es revisado desde los tres fines propuestos para solucionar el problema planteado que será abordado en el Capítulo 4.

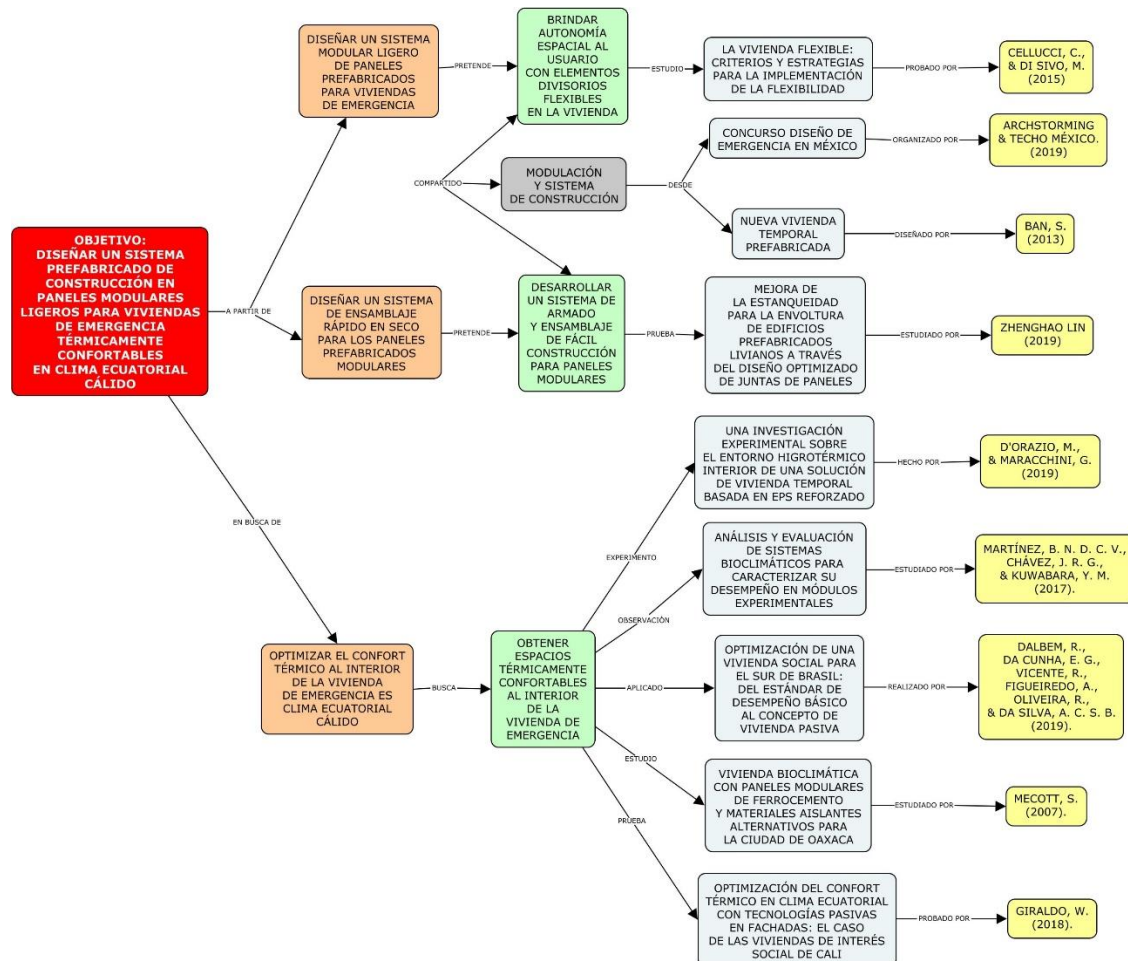


Figura 10: Mapa conceptual de estado del arte, elaboración propia, (2020).

7.1. Sistemas de modulación espacial

Cellucci, C., & Di Sivo, M. (2015) examinan la flexibilidad en las viviendas tanto desde un punto de vista conceptual, como desde un punto de vista práctico, para definir con precisión los temas relacionados y llevarlos a la realidad. El trabajo se enfoca en el concepto de la flexibilidad como una característica indispensable en la construcción de la vivienda para extender su ciclo de vida por medio de estrategias constructivas que permitan las transformaciones en el espacio, permitiendo que los elementos construidos puedan ser reversibles y así asegurar la flexibilidad de los espacios habitables.

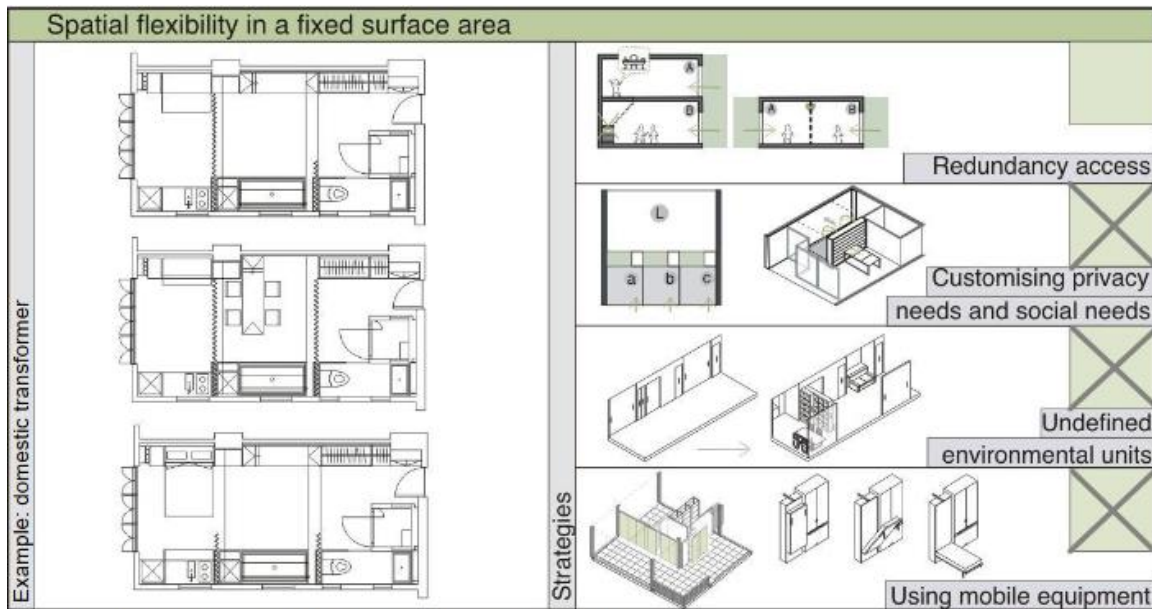
Menciona cuatro criterios de enfoques, con sus respectivas estrategias hacia la flexibilidad en la vivienda: 1. Flexibilidad espacial en una superficie fija, 2. Flexibilidad espacial evolutiva, 3. Flexibilidad tecnológica relacionada con las técnicas de construcción, 4. Flexibilidad tecnológica relacionada con el fácil mantenimiento de las instalaciones y subsistemas del edificio. A continuación, serán explicados de manera breve, cada uno de estos criterios.

1. Flexibilidad espacial en una superficie fija.

Consiste en el estudio de estrategias de diseños que brinden al edificio de una alta convertibilidad interna sin generar modificaciones en el volumen, esto significa la posibilidad de transformar la distribución y funcionalidad de un edificio dentro de un área determinada fija de acuerdo las necesidades demandadas por el tiempo.

La primera estrategia de este criterio de flexibilidad es el acceso por redundancia, que brinda la posibilidad de reducir el espacio de la vivienda para otorgar uno para otra unidad de vivienda, de trabajo, o cualquier otra función que requiera un uso independiente,

para esto, se debe planificar de manera anticipada dos accesos mínimos para una eventual división de las unidades. La segunda estrategia es la de la personalización de las necesidades privadas y sociales, este consta de dar a la unidad dos ambientes equitativos, uno privado y sus servicios, y otro para espacios de socialización y convivencia, el criterio de flexibilidad interior sería aplicado respetando la delimitación de estos ambientes, generando los espacios de acuerdo a su carácter y función. La tercera estrategia corresponde a las unidades ambientales indefinidas, que consta de la dotación de espacios indefinidos en la casa que puedan ser adaptados en su uso sin representar un cambio físico, esto se puede lograr con dimensionamientos neutros en los espacios de la vivienda para ajustarse a cualquier función, y a la supresión de la jerarquización espacial, para que así cualquier espacio pueda servir para cumplir varias funciones. El uso de equipos móviles es la cuarta estrategia, donde en un espacio totalmente libre, todos los elementos como los muebles y los muros son instalados en seco, por lo tanto, móviles e intercambiables, permitiendo cambios en la totalidad de su interior.



Domestic transformer, Gar Chang, Hong Kong, China, 2007.

Figura 11: Ejemplo de flexibilidad espacial en una superficie fija, Cellucci & Di Silvio, (2015).

2. Flexibilidad espacial evolutiva.

Este criterio consiste en la programación del ciclo de vida de la vivienda, permitiendo posibles grados de convertibilidad donde se pueda expandir o contraer el volumen de acuerdo a las necesidades del tiempo y el usuario, lo que permite un rediseño total de los espacios del edificio en tiempos relativamente cortos con costos más bajos.

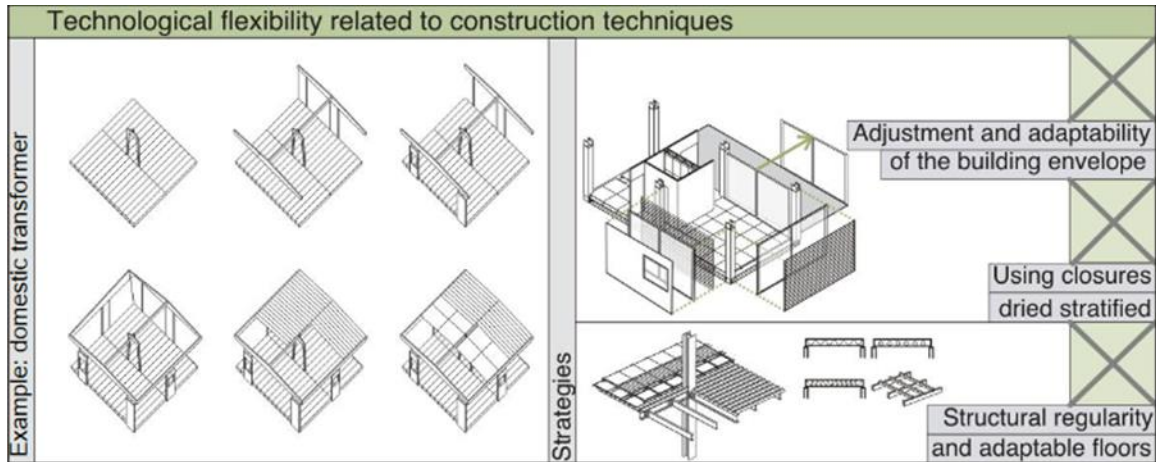
La primera estrategia de este criterio es incrementar la superficie dentro del soporte existente, que consiste en la ampliación de la vivienda desde espacios disponibles dentro de este, pero no aptos aún para ser habitados, como un balcón o una terraza, lo que no requiere una ampliación o modificación de la estructura. La segunda estrategia, que es la de incrementar la superficie de la vivienda aumentando su volumen a partir de la adición de una nueva estructura, preferiblemente se debe diseñar para elementos modulares que se

puedan ampliar en las tres dimensiones espaciales según lo requerido. La tercera estrategia está en incrementar la superficie interna mediante la adición de unidades de vivienda, se trata de añadir las unidades dentro del mismo volumen, como el cierre de espacios horizontales con altura completa, posible en viviendas de dos pisos, donde la independencia se daría en los dos niveles para ambas unidades.

3. Flexibilidad tecnológica relacionada con las técnicas de construcción.

Este criterio se basa principalmente en la posibilidad de mover los elementos de la vivienda para que sus espacios puedan ser modificados a criterio del usuario, esto a partir de soluciones constructivas ligeras y prefabricadas, siendo la estructura el único elemento fijo del edificio.

La primera estrategia para este criterio es el ajuste y adaptabilidad de la envolvente del edificio, se trata de la aplicación de elementos de fachada que pueden ser móviles, removibles y reemplazables, ofreciendo la posibilidad de generar ampliaciones y/o mantenimientos a sus elementos por separado. La segunda estrategia es el uso de cierres secos, que se basa en el uso de elementos instalados en seco para generar espacios, que pueden ser removidos e instalados en otras partes para modificar los espacios según se requiera, sin necesidad de generar desperdicios y escombros en las intervenciones. La regularidad estructural y pisos adaptables corresponden a la tercera estrategia, consta del armado de una estructura en cuadrícula regular y elementos de piso fácilmente removibles y libres de restricciones, también se debe tener contemplada la posibilidad de ampliar la estructura para así también ampliar la superficie del suelo.



Tropical house, Jean Prouvé, Francia, 1949.

Figura 12: Ejemplo de flexibilidad tecnológica relacionada con las técnicas de construcción, Cellucci & Di Silvio, (2015).

4. Flexibilidad tecnológica relacionada con el fácil mantenimiento de las instalaciones y subsistemas del edificio.

Este criterio busca reducir los costos y esfuerzos en la modificación de las instalaciones en una vivienda transformable, estableciendo ubicaciones que permitan una mayor facilidad en el mantenimiento y/o reemplazo de estos elementos.

La primera estrategia es el sistema de automatización del hogar, donde este sistema domótico se puede ligar a un elemento vertical específico que puede ser móvil y permitir ampliaciones y reducciones de espacios. La segunda estrategia consta de establecer unos puntos verticales fijos para instalaciones que permitan realizar cambios de posición de áreas de servicio como baños y cocinas, pues, serían limitados los puntos de mantenimiento de instalaciones, lo que permitiría mover de manera más fácil los espacios.

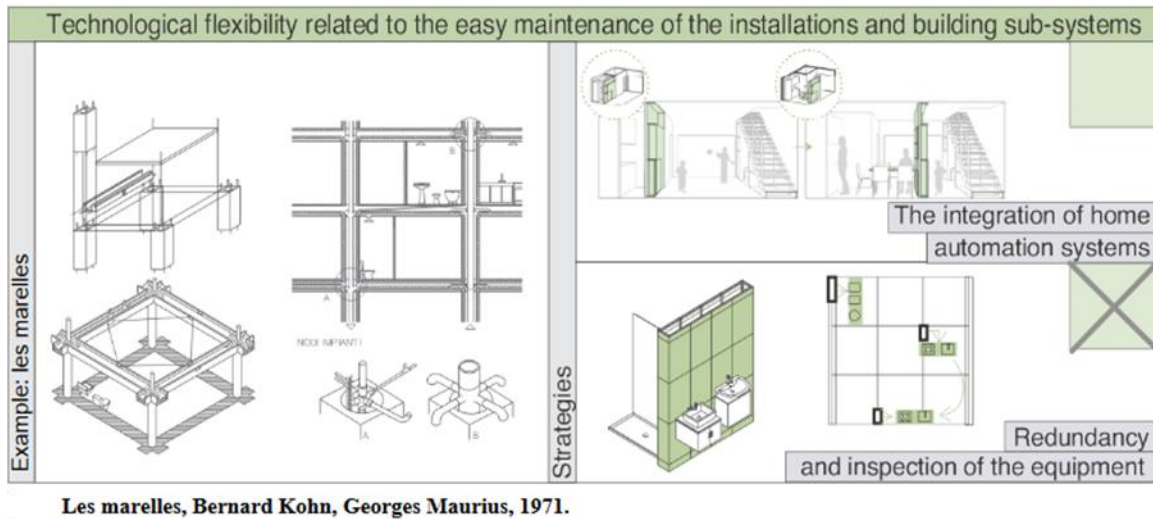


Figura 13: Ejemplo de flexibilidad tecnológica relacionada con el fácil mantenimiento de las instalaciones y subsistemas del edificio, Cellucci & Di Silvio, (2015).

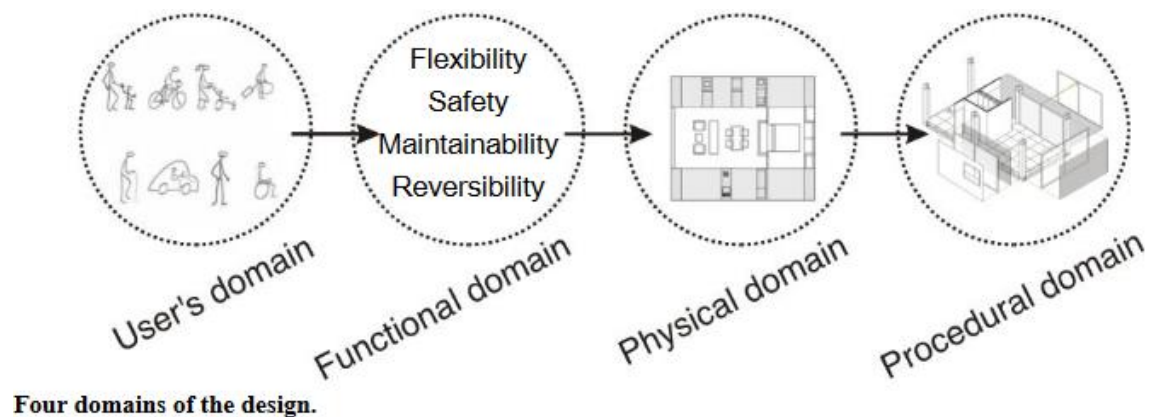


Figura 14: Síntesis de los cuatro dominios del diseño, Cellucci & Di Silvio, (2015).

Archstorming y TECHO México (2019) organizaron un concurso internacional de diseño de prototipo de vivienda de emergencia, en búsqueda de mejorar el modelo existente (Figura 15) y utilizado por TECHO México hasta ese momento. El concurso manejaba ocho objetivos que establecían los criterios de evaluación:

- Reducir los tiempos de construcción y las dificultades logísticas que presenta el modelo actual.

- Disminuir la complejidad del ensamblaje del proceso de fabricación.
- Aumentar la vida útil de los cimientos y estructuras, así como mejorar el aislamiento térmico casi inexistente.
- Facilitar el crecimiento futuro de la unidad de la casa (modular).
- Aumentar la flexibilidad para ubicar las puertas y ventanas de la casa.
- Posibilitar la adición de módulos adicionales a la casa (baño, cocina u otros)
- Utilizar materiales sostenibles y fáciles de obtener.
- Tener un espacio más habitable como casa.



Figura 15: Prototipo previo de vivienda de emergencia usada por TECHO México, tomado de “Call for Entries: Emergency Housing Mexico”, Archstorming & TECHO México, (2019).

El prototipo debía ocupar un área básica de 18m² que puede alojar hasta 5 personas, que pudiera ser ampliado a 40m² para hasta 11 personas, su diseño debía contemplar un sistema modular para que pudiera satisfacer la necesidad de cada familia con respecto al espacio. Como parte del sistema, se podía añadir módulos adicionales (Figura 16) para el momento de la construcción o posterior a este, estos módulos comprenden uno de baño, uno de cocina y uno cuyo uso estaría a criterio del proponente en miras del beneficio a la

familia que ocupará el espacio, dichos módulos no estaban incluidos en la limitación presupuestaria que era entre 1000 y 1600USD para el módulo básico (18m²), e iba en aumento proporcional a la expansión de su área.

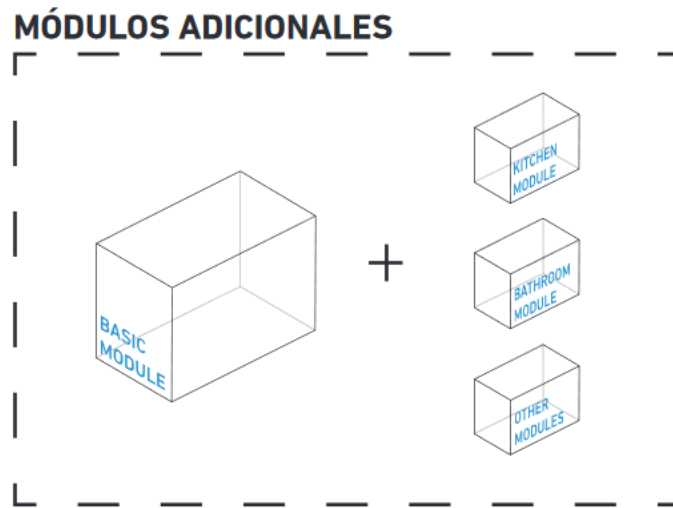


Figura 16: Esquema de adiciones al módulo básico, tomado de “Call for Entries:

Emergency Housing Mexico”, Archstorming & TECHO México, (2019).

El proyecto ganador del concurso, titulado como PIXEL, realizado por Luis Barillas, Marielos Rosales, Milton Martinez y Sara Vásquez, proponen un sistema espacial basado en un módulo estándar donde se desarrolla el uso asignado, se requieren tres módulos para obtener el prototipo básico de 18m², y el área se amplía de acuerdo a los módulos añadidos (Figura 17).

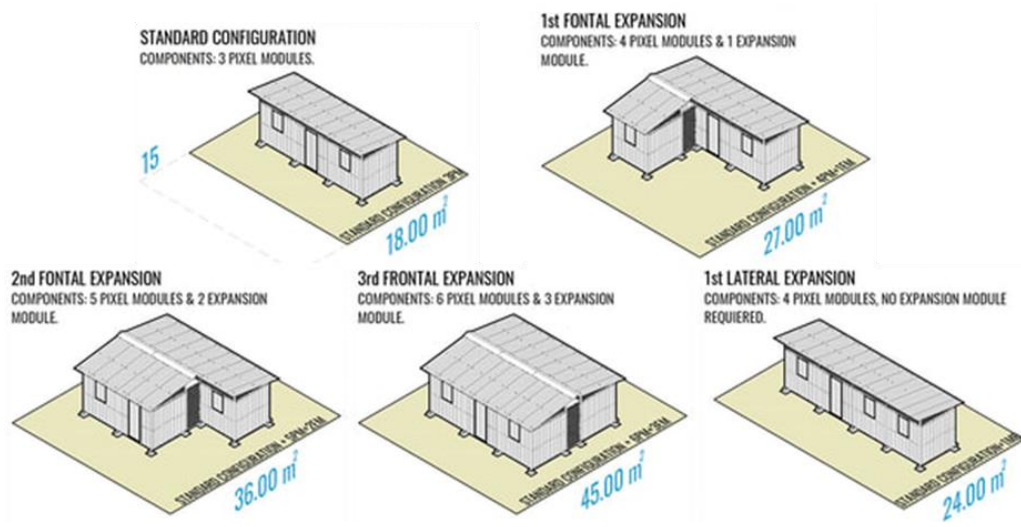


Figura 17: Configuración estándar del prototipo y sus expansiones, tomado de “Call for Entries: Emergency Housing Mexico”, Archstorming & TECHO México, (2019).

Los tres módulos que conforman el prototipo básico están conformados por dos dormitorios (para 2 a 4 personas cada uno) y una sala con cocina básica, la propuesta ofrece varias opciones de distribución para los mismos espacios y mezclando usos, además de ofrecer módulos adicionales para usos complementarios como baño, alcoba principal, alcoba con cocina, espacio multifuncional, entre otros (Figura 18). También el proyecto argumenta otros posibles usos como el comercio, sede de la comunidad, escuela, o refugio de emergencia, gracias a la flexibilidad que ofrece la configuración espacial de la propuesta. Para que los espacios puedan ser más personalizables, los paneles que conforman el cerramiento de los módulos poseen las mismas dimensiones, incluso en sus puertas y ventanas, lo que permite que la vivienda pueda ser ajustada a las necesidades de la familia que la ocupará.

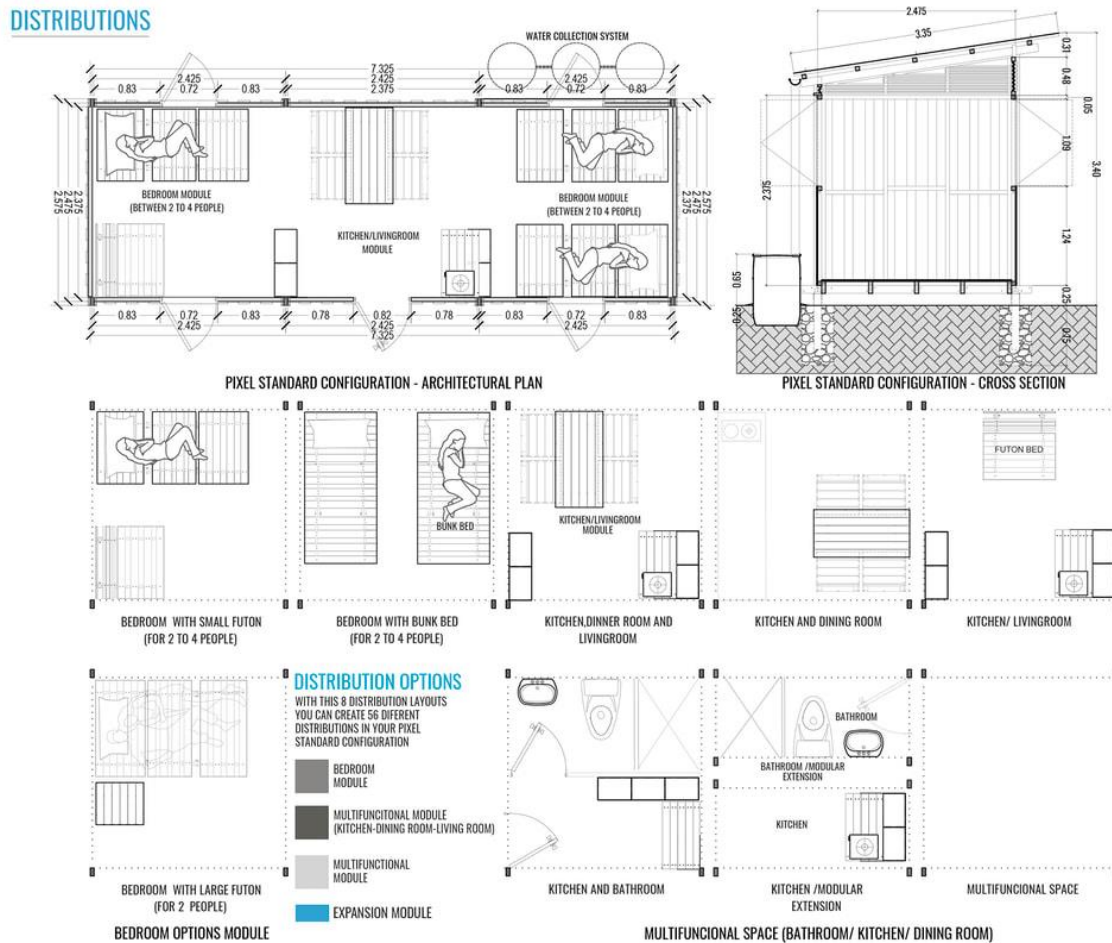


Figura 18: Configuración espacial interior básico y módulos de ampliación, tomado de “Call for Entries: Emergency Housing Mexico”, Archstorming & TECHO México, (2019).

Tras el desastre ocurrido en el año 2015 en Nepal, un sismo de magnitud 7,8 con epicentro en Khudi, aproximadamente a 80 kilómetros al noroeste de Katmandú, su capital (USGS, 2015), el arquitecto Shigeru Ban (2015), tras atender a la solicitud de viajar al país, realizó estudios de los materiales y técnicas de Nepal para pensar en una solución de vivienda de plazos más largos, y pudo observar que en los edificios tradicionales que no se derrumbaron tras el desastre, poseían marcos de madera tallados incrustados en el ladrillo,

es de ahí donde plantea la idea de construir viviendas de emergencia en marcos de madera, que funcionarían como estructura de soporte principal, y estos serían llenados por los ladrillos recuperados de los escombros de los edificios destruidos, que servirían como cerramiento y soporte secundario, y cubierta en paja (Figura 19), el empleo de técnicas y materiales locales permitieron la identificación y participación de las comunidades afectadas en los procesos de construcción. El arquitecto propuso para el dimensionamiento y modulación de los paneles, unidades de 0,9x2,1m, que conforman los espacios tras unirlos, puede sustraerse un panel para instalar una puerta en madera con las mismas dimensiones, los paneles pueden ser llenados con bloque en su totalidad, o solo la mitad dar paso a una ventana en madera proyectante de 0,9x1,05m, ofreciendo así una posibilidad de personalizar la vivienda de acuerdo a su sistema modular, permitiendo también la replicabilidad y la serialización de la vivienda, de ser requerido (Figura 20).

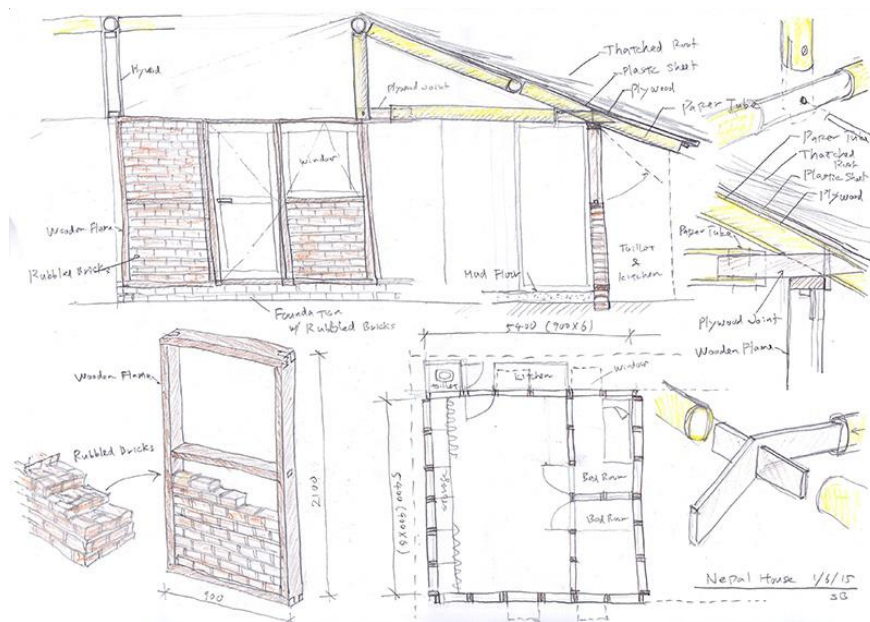


Figura 19: Bocetos de diseño de las técnicas constructivas de la vivienda de emergencia para Nepal, Shigeru Ban, (2015).



Figura 20: *Perspectiva renderizada de la vivienda de emergencia serializada para Nepal, Shigeru Ban, (2015).*

Años atrás, Ban (2013), realizó una propuesta de vivienda temporal de 36m², compuesta por una sala-comedor, una alcoba, un baño con ducha y una cocina, esta vivienda maneja una lógica similar con respecto a la modulación de paneles, esta vez compuestos por un material ligero en panel sándwich de FRP (plástico reforzado con fibras, o fiber reinforced plastic en sus siglas en inglés). Los paneles de cerramiento son propuestos para cubrir la totalidad de la altura interior de la vivienda, correspondiendo a la dimensión de 1x2,35m y 80mm de espesor, con la posibilidad de ser reemplazados por puertas y ventanas con las dimensiones de uno hasta tres paneles en serie, estos elementos de cerramiento sirven también como complemento a la estructura principal que se compone de cuatro paneles esquineros con forma de “L” en planta manejando la misma dimensión del panel de cerramiento en cada lado, estos apoyados sobre unos paneles de piso en forma de corchete hechos en el mismo material, con una dimensión de 1x2m para seguir

correspondiendo con la modulación de los paneles de cerramiento. Sobre los elementos de cerramiento se proponen los frontones, sobre los cuales se apoyan las vigas de cubierta y el cielorraso, todos en el mismo material que se ha estado empleando, finalmente sobre las vigas se instala la cubierta en zinc (Figura 21).



Figura 21: Vivienda temporal construida, Shigeru Ban, (2013).

7.2. Sistemas de ensamblaje en seco

Lin, Song & Han (2019) realizan un estudio a partir de la búsqueda por solucionar un problema poco investigado, como lo es la abertura entre las juntas de los paneles de cerramiento en los espacios. El estudio compara dos tipos de juntas para paneles, las juntas rectas y las juntas de forma especial, con varios parámetros de diseño. Posteriormente, se simula y calcula el volumen de infiltración de aire para probar y corregir la estanqueidad de las juntas en los paneles.

A través del Airpak 3.0, un software que sirve para simular la velocidad del aire y su infiltración en las superficies, analizan desde un muro de 2,0x2,0x0,2m vertical conformado por dos paneles con junta en el eje central, este muro es ubicado dentro de un campo de flujo tubular de 2,0x2,0x8,0m, esto con el fin de que el muro sirva para dividir

este campo en dos ambientes, uno exterior y otro interior para poder generar la simulación de la infiltración del aire en las juntas.

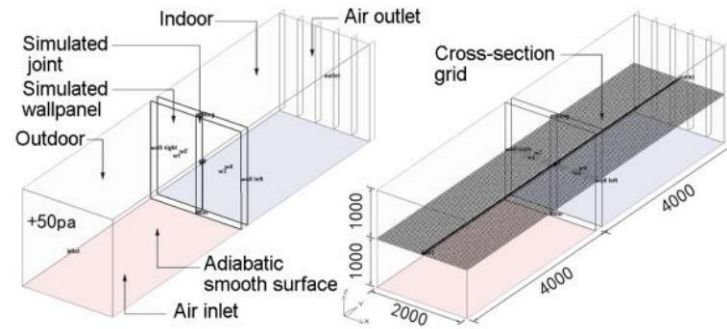


Figura 22: Muro dentro del campo de flujo tubular, Lin, Song & Han, (2019).

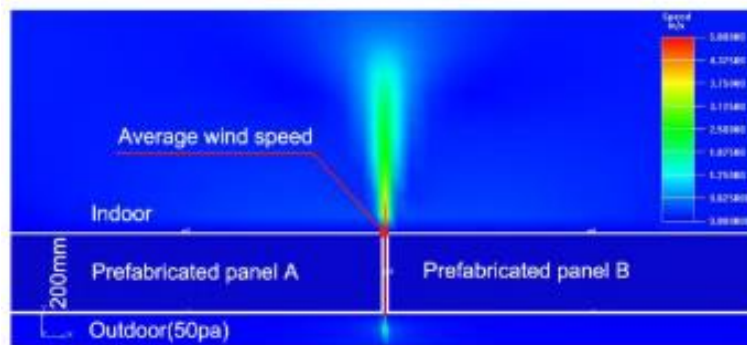


Figura 23: Filtración del aire en las juntas perpendiculares de los paneles analizado desde el software Airpak 3.0, Lin, Song & Han, (2019).

El estudio divide los tipos de juntas, como rectas (a) y de formas especiales, y de estas últimas destacan las juntas escalonadas (b) y las de lengüeta y ranura (c).



Figura 24: Tipos de juntas de muros, Lin, Song & Han, (2019).

Primero estudian la estanqueidad en las juntas rectas, analizando desde dos características, el espesor del panel y la distancia de la junta; pudieron determinar desde la

simulación que entre mayor espesor posea el panel, menor es la infiltración del aire, pero que un panel de espesor mayor a 200mm puede afectar la efectividad estructural de la construcción en ese panel; en cuanto a la distancia de la junta, pudieron determinar que con una distancia menor a 5mm entre paneles la estanqueidad mostraba una significativa mejora.

En cuanto a la estanqueidad en las juntas de formas especiales, determinaron desde la simulación que, a mayor recorrido de flujo, mejora la estanqueidad, por lo que a mayor cantidad de lengua y ranura (T&G), la hermeticidad se ve beneficiada, pero también dificultaría la construcción, proceso de fabricación y costos, por lo que el estudio considera que es más conveniente el uso de un T&G único. En cuanto a la longitud del T&G, siguiendo el principio de recorrido del flujo, entre mayor sea, mejor es su estanqueidad, pero también por las dificultades de fabricación, de transporte, sellado en sitio y riesgos de daño (lo que significaría también un riesgo de mayor infiltración de aire), la longitud del T&G no debería exceder la mitad del espesor del panel. El ancho del T&G, entre mayor sea, mayor es la infiltración del aire, por lo que sugieren que en ancho no puede ser mayor a la mitad del espesor del panel. Finalmente estudian la posición del T&G, donde pudieron observar que entre más cerca esté de la zona de salida del aire (área de baja presión), mejor funciona su hermeticidad, mostrando que la posición de este elemento es clave para la estanqueidad entre las juntas.

Para realizar la comparación de estas dos juntas, establecieron un espacio interior de 3x3x3m en donde estarían cubiertos con los paneles con sus respectivas juntas, para un total de 12 juntas verticales en cada volumen. Se hizo la evaluación simulada de la

infiltración en ambos modelos con una separación de juntas de 1mm y 2mm, lo que se pudo determinar es que la infiltración aumenta significativamente al separar 1mm los paneles, tanto que las juntas rectas a 1mm funcionan mejor que las juntas T&G optimizadas a 2mm, pero al comparar ambas juntas con la misma separación, siempre presenta una menor infiltración las juntas T&G optimizadas.

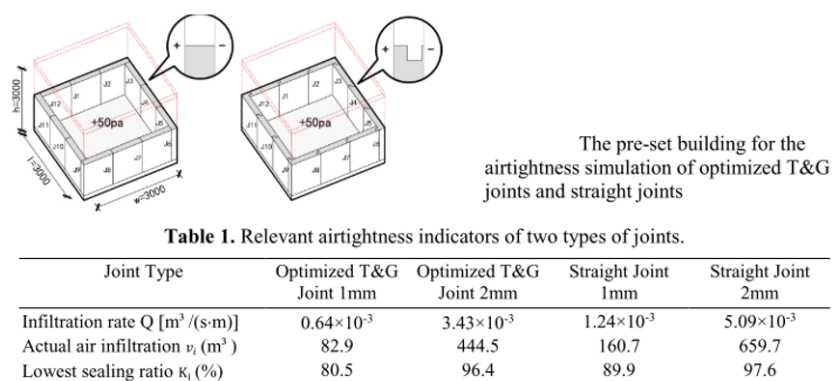


Figura 25: Simulación comparativa de la infiltración de aire entre paneles fijados con juntas rectas y con juntas especiales, Lin, Song & Han, (2019).

Retomando el concurso de Archstorming y TECHO México (2019), la vivienda que ya usaba previamente TECHO México era fabricada en un sistema de construcción en seco, por lo que la exigencia para el concurso partía también del mismo principio. La materialidad de estructura en madera debía ser conservada debido al taller de carpintería propio que manejaba la fundación, los cerramientos en fibrocemento liso (muros), corrugado (cubierta) y demás materiales de elementos no estructurales, podían ser cambiados de acuerdo a la propuesta, pero cuya disponibilidad estuviera al alcance dentro de México y sin exceder el presupuesto. Otra condición dentro del planteamiento de la vivienda era la técnica de construcción, la vivienda debía ser capaz de ser montada entre 5

y 10 voluntarios en un plazo máximo de dos días, por lo que la complejidad de su sistema constructivo debía ser mínima, y al ser una solución temporal de habitación, debía ser un sistema desmontable y transportable. Al tratarse de zonas de asentamientos de difícil acceso, los elementos no podían ser muy pesados ni grandes (que se pudieran cargar entre dos personas) para facilitar su transporte, y su armado no requiriera herramientas distintas a las manuales mecánicas (como palas, destornilladores, martillos, entre otros).

Recurriendo nuevamente al proyecto ganador, PIXEL, su sistema de construcción está basado en la modulación de la estructura y los paneles principalmente, y no requiere de muchos elementos para construir el prototipo básico de 18m² (Figura 26). Cada módulo de la vivienda se sostiene por dos marcos estructurales en madera en sus extremos laterales, para el prototipo básico se requiere dos marcos más para armar los tres módulos que lo compone, sobre la parte inferior de los marcos, se apoyan los tres paneles de piso sobre los cuales se apoyarán los paneles de muro que cumplen la función de cerramiento y refuerzo transversal para la estructura principal, para el mismo modelo se requieren ocho de estos, en los que el usuario puede escoger libremente la ubicación de las ventanas y las puertas, estos paneles de muro son rematados por paneles de ventilación que son fabricados de acuerdo a su posición y dirección del agua de la cubierta (tres frontales, dos laterales y tres posteriores), encima de estos, se ubican las vigas y correas en madera, de los cuales se requieren seis y quince unidades respectivamente sobre las cuales se acomodan las tejas para cubierta; para unir cada una de las piezas, se emplean láminas, bisagras, perfiles, clavos y tornillos de hierro que pueden ser trabajados con herramientas comunes como martillos y destornilladores.

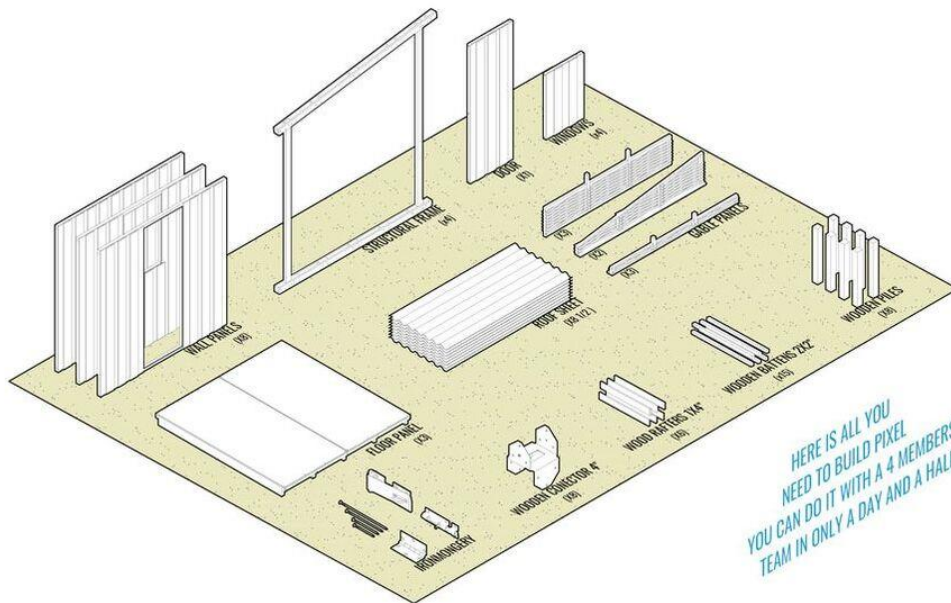


Figura 26: Elementos y piezas para el armado del prototipo básico de PIXEL, tomado de “Call for Entries: Emergency Housing Mexico”, Archstorming & TECHO México, (2019).

Para el proceso de construcción, mostrado en la Figura 27, se adecúa primero el terreno a las dimensiones solicitadas, luego se excava donde serán ubicados los puntos estructurales, en estas excavaciones se ubican los pilares en madera que rematan con los conectores donde se apoyarán los marcos estructurales, una vez acomodados los marcos, se ubican sobre ellos los paneles de losa para reposar sobre ellos los paneles de muro, encima van los paneles de ventilación donde se recuestan las vigas y luego las correas, donde finalmente se instala las tejas.

CONSTRUCTION PROCESS

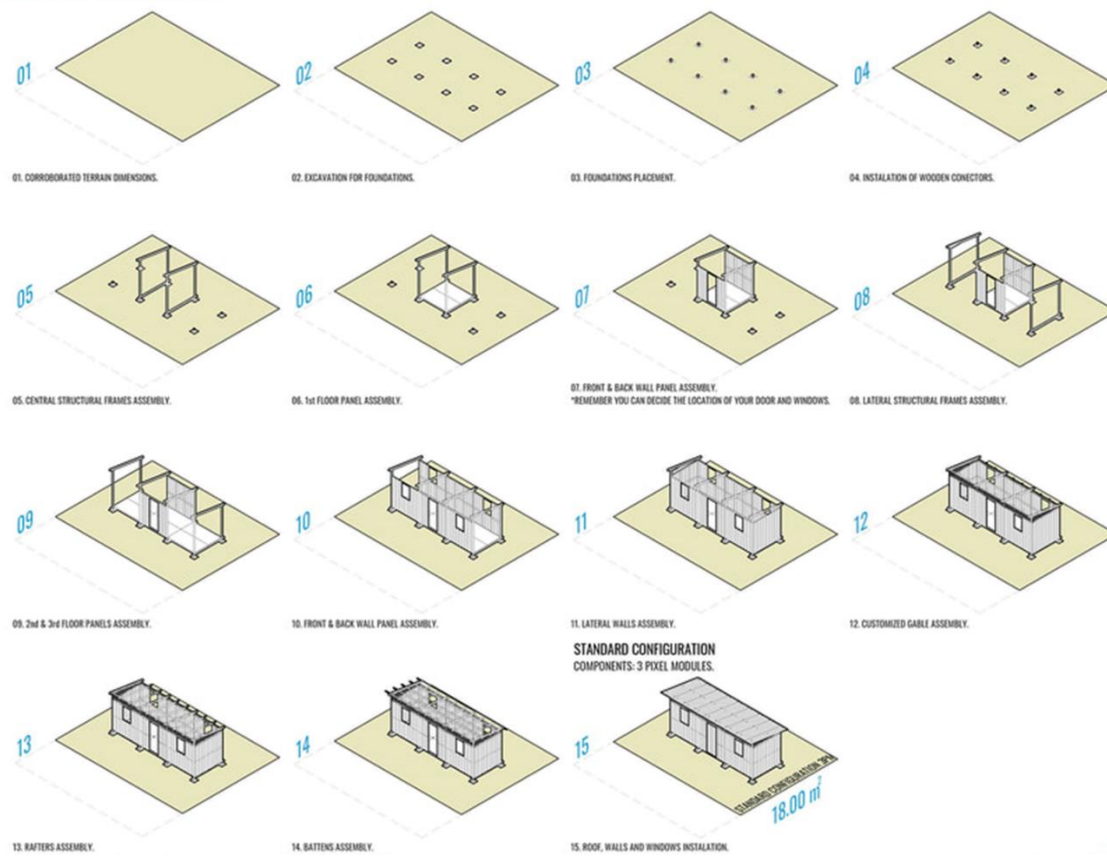


Figura 27: Proceso de construcción de PIXEL, tomado de “Call for Entries: Emergency Housing Mexico”, Archstorming & TECHO México, (2019).

Finalmente, la suma de los valores monetarios de cada elemento, sumado a su prefabricación, gestión y transporte, da un total de 1599,30USD para el prototipo básico de 18m2 (Figura 28).

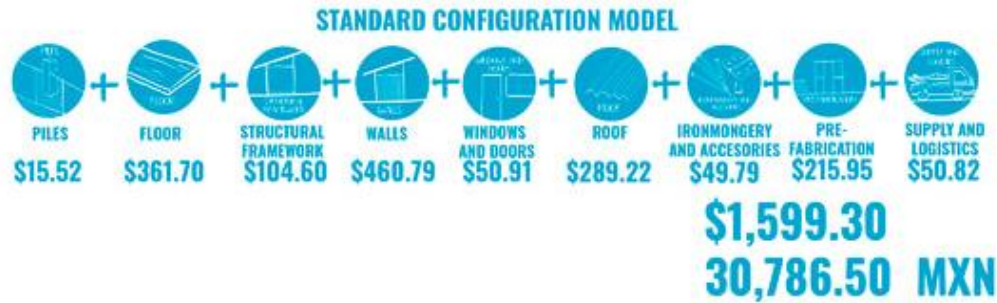


Figura 28: Valor total en dólares y pesos mexicanos para el prototipo básico de PIXEL, tomado de “Call for Entries: Emergency Housing Mexico”, Archstorming & TECHO México, (2019).

La propuesta de vivienda temporal realizada por Shigeru Ban (2013), que manejaba paneles sándwich modulares y sus accesorios de sellado, todos en FRP. Para unir los paneles de cerramiento a su base y a su cielo, se usan soleras en el mismo material con perfil en “L”, para poder anclar estas soleras con el panel y el cielo, así como el cielo con las vigas y los frontones, son incrustados tornillos a cada 15cm (Figura 29), para uso como refuerzo estructural y sellado de juntas, se usa tanto en su interior como en su exterior, clavijas en el plástico reforzado, atornillados por ambos lados al panel (Figura 30).

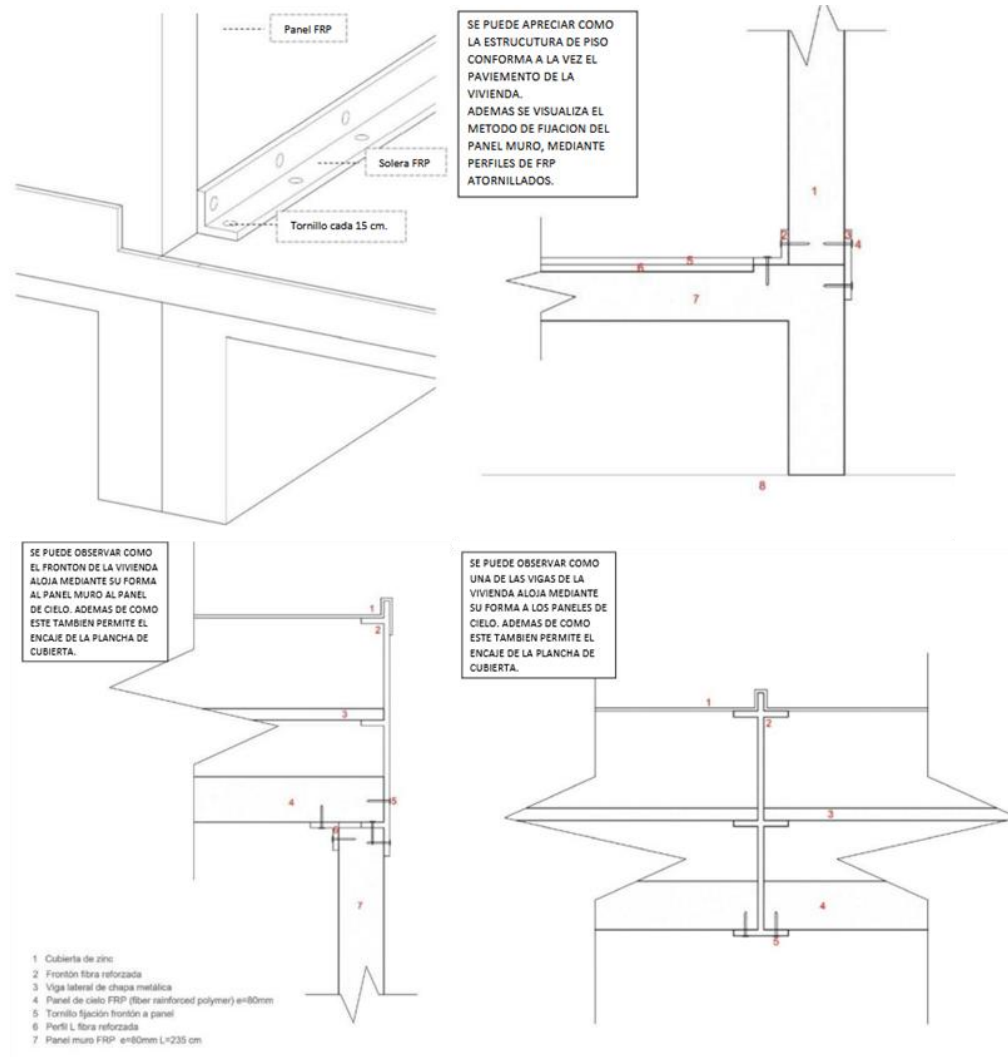


Figura 29: Anclaje de las juntas constructivas inferiores y superiores por medio de soleras y tornillos en la vivienda temporal propuesta por Shigeru Ban en 2013, tomado de “Soluciones constructivas aplicadas en la provisión de viviendas de emergencia postdesastre: 3 casos de estudio”, Chamblas, (2017).

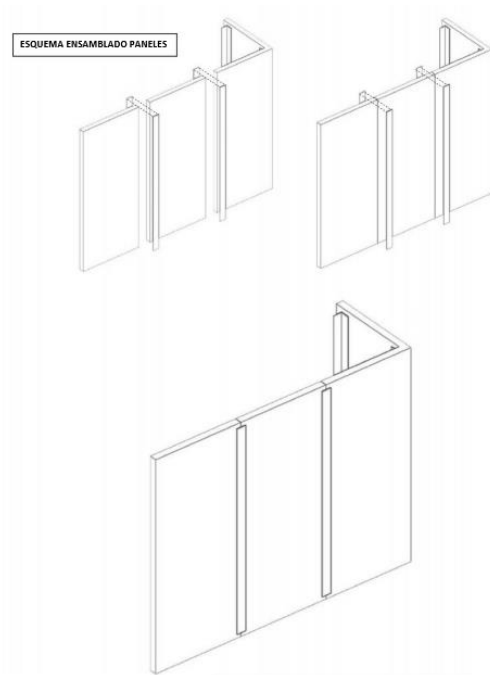


Figura 30: Sellado de las juntas en los paneles verticales de cerramiento en la vivienda temporal propuesta por Shigeru Ban en 2013, tomado de “Soluciones constructivas aplicadas en la provisión de viviendas de emergencia postdesastre: 3 casos de estudio”, Chamblas, (2017).

Básicamente, la propuesta constructiva de esta vivienda temporal, se basa en una serie de elementos modulares que pueden ser acomodados de acuerdo a sus lógicas dimensionales, y sus elementos se anclan entre sí con accesorios lineales en su mismo material para dar un sellado y asegurados por medio de tornillos, esto no requiere herramientas especiales fuera de los utensilios básicos de trabajo manual, lo que finalmente permite que restar complejidad a la hora de construir la vivienda en su totalidad en un menor tiempo (Figura 31).

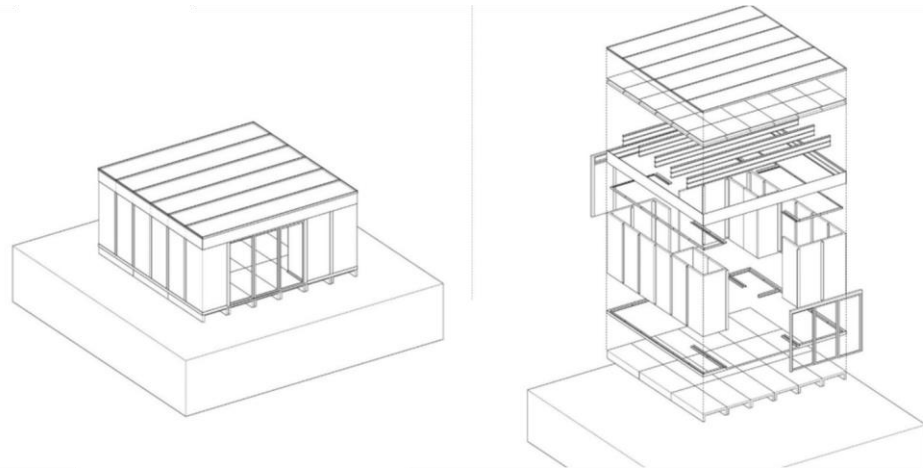


Figura 31: Modelo volumétrico y despiece de todas sus partes en la vivienda temporal propuesta por Shigeru Ban en 2013, tomado de “Soluciones constructivas aplicadas en la provisión de viviendas de emergencia postdesastre: 3 casos de estudio”, Chamblas, (2017).

7.3. Confort térmico y materialidad

Una investigación experimental realizada por D'Orazio & Maracchini (2019), estudia el confort térmico de la vivienda de emergencia, manteniendo el criterio de temporalidad de este tipo de viviendas, se analiza y evalúa el entorno higrotérmico interior de un caso de vivienda temporal, modular y ligero llamado HOMEDONE, construido en EPS reforzado, monitoreo durante las temporadas de primavera y verano. Presentó un importante resultado de buen rendimiento de hermeticidad y baja transmitancia térmica, sin embargo, la temperatura interior y la humedad relativa pueden ser muy altas bajo condiciones de hermeticidad, por lo tanto, no lo recomiendan para uso muy prolongado en climas cálidos sin los adecuados tratamientos para reducir el sobrecalentamiento interior.

Martínez, Chávez & Kuwabara (2017) analizan y evalúan el papel de la envolvente del edificio en su rendimiento bioclimático. Se analizó el rendimiento térmico de tres

módulos experimentales, con diferentes sistemas de control solar y características de envoltura en relación con un módulo de control, los resultados mostraron que las paredes de tierra apisonada mostraron un mejor rendimiento térmico en relación con el módulo de control. Este estudio tiene el fin de motivar la aplicación de estas soluciones para viviendas de bajo costo y mejorar el confort térmico en sus espacios interiores.

El trabajo realizado por Dalbem, et al (2019) tiene como objetivo discutir la adaptación de un proyecto de vivienda social al estándar de la Casa Pasiva, definiendo la envoltura térmica para los climas del sur de Brasil, partiendo del estándar de rendimiento brasileño. El estudio es desarrollado en cuatro pasos, el primero es la evaluación térmica y energética de la vivienda base, el segundo es un estudio de la sensibilidad, variando los parámetros de la envoltura térmica del edificio con el fin de satisfacer su rendimiento, el tercero es la optimización de la envoltura térmica del edificio, como cuarto y último paso, se optimizó el modelo numérico definido de acuerdo al estándar de la Casa Pasiva, posteriormente, se hizo una evaluación térmica, energética y económica. Mostrando que la inversión adicional de entre 26% y 27%, y las soluciones basadas en el estándar de la Casa Pasiva, presentaron costos adicionales de entre un 39% y 42%.G.

Mecott (2007) realiza un estudio de la materialidad proveniente de Oaxaca, México para la elaboración de paneles modulares aislantes; su metodología de trabajo es el estudio de los materiales por medio de simulación y cálculos con la carta psicrométrica, y pruebas en laboratorio para determinar cuáles serían los que conformarían el panel. El resultado fue la construcción de un panel modular de fibrocemento y vidrio volcánico-cemento. Esta

metodología de selección de material puede ser un insumo determinante a la hora de investigar los componentes de los paneles que se desarrollarán en esta investigación.

Giraldo (2018) realiza estudios de la evaluación térmica de las envolventes verticales de las viviendas VIS en clima ecuatorial cálido, desde el ejercicio experimental y de simulación, su investigación propone soluciones constructivas ajustadas a los bajos costos que implica la construcción de una vivienda VIS. El objetivo de su investigación fue evaluar la reducción de la temperatura radiante (T_r) en las envolventes verticales opacas y la optimización del confort térmico que puede alcanzar una vivienda VIS en Cali a través de algunos sistemas de enfriamiento pasivo. La metodología empleada tuvo cinco etapas, la primera evaluó el confort térmico en un espacio de vivienda VIS y la T_r de la envolvente, donde fue encontrada un alto nivel de insatisfacción térmica y una T_r superior a 47°C ; la segunda y tercera etapa evaluaron desde la experimentación en un laboratorio a cielo abierto con contacto directo a la radiación solar, la capacidad de reducción de T_r y la transmitancia térmica respectivamente; la cuarta etapa evaluó desde la simulación por ordenador, el nivel de optimización de confort térmico alcanzado por el elemento con mejor desempeño evaluado en la etapa anterior usando el índice de Fanger; la última etapa evaluó la relación de costo y beneficio. Los resultados mostraron que dos de las combinaciones redujeron la T_r de la envolvente en un 74%, y también redujeron en un 60% la insatisfacción en una habitación VIS en su hora crítica de incomfortabilidad, y en cuanto a costos, esta solución resultó más económica a largo plazo que la instalación de un aire acondicionado.

8. METODOLOGÍA

Para poder dar cumplimiento a los fines propuestos, serán empleadas unas estrategias que parten de la metodología de simulación, identificada por Groat & Wang (2013) en su libro *Architectural research methods*, que será descrita en cada estrategia y sus tácticas clasificadas en tres fases: análisis, propuesta, y prueba y aplicación, finalmente se dará una discusión de la relación costo/beneficio de la propuesta.

8.1. Metodología de simulación

Según lo descrito por Groat & Wang (2013) en su libro *Architectural research methods*, las metodologías para la investigación en arquitectura están identificadas como investigación histórica, cualitativa, correlacional, experimental, simulación, lógica/argumentativa, caso de estudio y estrategias combinadas (Figura 32). Para esta investigación fue tomada una metodología: simulación.

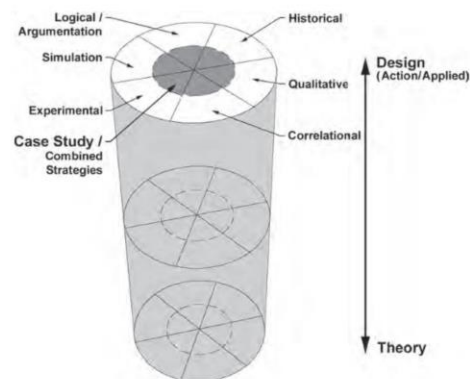


Figura 32: Esquema de metodologías de investigación en arquitectura, tomado de “*Architectural research methods*”, Groat & Wang, (2013).

La metodología de simulación es una estrategia que implica control y manipulación sobre un objeto simulado (que se asemeja a la realidad), pero a diferencia de la metodología

experimental, pueden ser eliminadas las pruebas empíricas. El objeto de estudio bajo esta metodología, puede ser recreado en diseño asistido por computadora o en un modelo físico que permita simular distintas condiciones del entorno físico.

8.2. Estrategias y fases metodológicas

Partiendo de cada objetivo específico, se describe la metodología y las estrategias que serán empleadas para cumplir cada fin, organizadas en fases que desarrollarán los procesos y guiarán a los resultados.

La Figura 33 sintetiza las fases que se exponen a continuación, partiendo de los fines y objetivos específicos de esta investigación.

CONFORT TÉRMICO EN VIVIENDAS DE EMERGENCIA DE USO PROLONGADO DENTRO DE CLIMA ECUATORIAL CÁLIDO ESTUDIADO A PARTIR DEL DISEÑO DE UN SISTEMA PREFABRICADO DE CONSTRUCCIÓN EN PANELES MODULARES LIGEROS PARA CERRAMIENTO VERTICAL			
OBJETIVO GENERAL: EVALUAR LA CONFORTABILIDAD TÉRMICA EN VIVIENDAS DE EMERGENCIA EN CLIMA ECUATORIAL CÁLIDO A PARTIR DE UN SISTEMA PREFABRICADO DE CONSTRUCCIÓN EN PANELES MODULARES LIGEROS DISEÑADO PARA EL CERRAMIENTO VERTICAL EN ALOJAMIENTOS TEMPORALES PROLONGADOS			
PLANTEAMIENTO OBJETIVOS FINES Y MEDIOS	OBJETIVO 2	OBJETIVO 3	OBJETIVO 4
	DISEÑAR UN SISTEMA MODULAR LIGERO DE PANELES PREFABRICADOS PARA VIVIENDAS DE EMERGENCIA FLEXIBLES	DISEÑAR UN SISTEMA DE ENSAMBLAJE EN SECO PARA LOS PANELES PREFABRICADOS MODULARES	EVALUAR Y ESTIMAR EL CONFORT TÉRMICO AL INTERIOR DE LA VIVIENDA DE EMERGENCIA EN CLIMA ECUATORIAL CÁLIDO
	FIN 1 BRINDAR AUTONOMÍA ESPACIAL AL USUARIO CON ELEMENTOS FLEXIBLES EN LA VIV. DE EMERGENCIA MEDIO 1 PANELES Y ACCESORIOS MODULARES INTERCAMBIABLES Y ADAPTABLES	FIN 2 DESARROLLAR UN SISTEMA DE ENSAMBLAJE FÁCIL Y SEGURO PARA PANELES MODULARES MEDIO 2 ELEMENTOS FÁCILMENTE MONTABLES Y DESMONTABLES PARA LA AUTOCONSTRUCCIÓN DE ESPACIOS INTERIORES Y CERRAMIENTOS	FIN 3 OBTENER ESPACIOS TÉRMICAMENTE CONFORTABLES AL INTERIOR DE LA VIVIENDA DE EMERGENCIA MEDIO 3 APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE MATERIALIDAD DE ALTA RESISTENCIA TÉRMICA EN EL PANEL
METODOLOGÍA	METODOLOGÍA DE SIMULACIÓN		
	ESTUDIO DE LAS DIMENSIONES Y PROPORCIONES HUMANAS, PRUEBA DE LA FLEXIBILIDAD DEL SISTEMA MEDIANTE EL DISEÑO DE ESPACIOS	ESTUDIO DE CRITERIOS, DISEÑO DEL SISTEMA ASISTIDO POR SOFTWARE DE MODELADO 3D, ELABORACIÓN DE GUÍAS	ESTUDIO, SIMULACIÓN MEDIANTE SOFTWARE DE CÁLCULO TÉRMICO Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS
	FASE 1: LINEA BASE		
	EVALUACIÓN TÉRMICA DEL MODELO DE VIVIENDA DE EMERGENCIA IMPLEMENTANDO LA MATERIALIDAD PROPUESTA POR LA UNGRD EN UN CONTEXTO DETERMINADO		
	FASE 2: ANÁLISIS	FASE 2: ANÁLISIS	FASE 2: ANÁLISIS
	ANÁLISIS Y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE MODULACIÓN PARA LOS PANELES PREFABRICADOS	ANÁLISIS DEL SISTEMA DE ENSAMBLAJE EN SECO	SELECCIÓN DE LA MATERIALIDAD DEL PANEL MODULAR
	FASE 3: PROPUESTA	FASE 3: PROPUESTA	FASE 3: PROPUESTA
FASES	DISEÑO DE PANELES Y ACCESORIOS MODULARES DEL SISTEMA	DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE ENSAMBLAJE Y SELLADO EN SECO	ANÁLISIS Y EVALUACIÓN SIMULADA DEL CONFORT TÉRMICO EN EL MODELO DE VIVIENDA DE EMERGENCIA DENTRO DEL CONTEXTO DE ESTUDIO
	FASE 4: PRUEBA, APLICACIÓN Y RESULTADO	FASE 4: PRUEBA, APLICACIÓN Y RESULTADO	FASE 4: PRUEBA, APLICACIÓN Y RESULTADO
	EXPLORACIÓN DE LA APLICABILIDAD Y FLEXIBILIDAD DEL SISTEMA MODULAR LIGERO DE PANELES	PASOS PARA EL ARMADO DEL SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN DE LA VIVIENDA DE EMERGENCIA PROPUESTA	EVALUACIÓN Y ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE CONFORT TÉRMICO AL INTERIOR DE UNA VIVIENDA DE EMERGENCIA EN CLIMA ECUATORIAL CÁLIDO
RESULTADO 1			
RESULTADO 2			
RESULTADO 3			

Figura 33: Metodología, elaboración propia, (2020).

8.2.1. (Fase 1) Línea base, evaluación térmica del modelo de vivienda de emergencia implementando la materialidad propuesta por la UNGRD en un contexto determinado

Relacionado al primer objetivo, se establece un diseño de vivienda de emergencia (basado en a partir de los criterios del concurso organizado por Archstorming y TECHO (2019), titulado *Call for Entries: Emergency Housing Mexico*), esto para tener una base de distribución espacial y concepción volumétrica, a través de un ejercicio de combinación de módulos espaciales funcionales, al que se le carga por medio de simulación por software, la materialidad conforme a lo propuesto por la UNGRD, para así mismo evaluar la respuesta térmica a lo largo del año durante todas sus horas, dentro de un contexto propuesto de clima ecuatorial cálido.

8.2.2. Diseñar un sistema modular ligero de paneles prefabricados para viviendas de emergencia flexibles

Correspondiente al segundo objetivo específico propuesto, que va enlazado al primer fin de brindar autonomía espacial al usuario con elementos flexibles en la vivienda de emergencia, y su medio propuesto para alcanzarlo, de emplear paneles y accesorios modulares intercambiables y adaptables; la metodología a aplicar para este caso es la de simulación, bajo la estrategia de realizar un estudio de las dimensiones y proporciones humanas, para luego realizar una prueba de la flexibilidad del sistema mediante el diseño de los espacios, todo a través del diseño asistido por ordenador mediante un software de modelado 3D (para este caso, Revit de Autodesk® y Sketchup). Las fases que apoyan esta estrategia son las siguientes.

1. Fase 2 (análisis): *Análisis y dimensionamiento del sistema de modulación para los paneles prefabricados*

Con el fin de determinar un idóneo dimensionamiento del panel y la forma en que puede ser ensamblado con otros para formar el sistema que construya los prototipos de vivienda de emergencia, esta fase inicia con una revisión a los estudios de ergonomía y antropometría, las proporciones del ser humano, los espacios que habita y los mobiliarios que utiliza, por medio la guía construida por Neufert (2013) donde esta enfocado en el capítulo que analiza el dimensionamiento y las proporciones del ser humano y su relación con el espacio que ocupa; el entendimiento de esta lógica permite su replicabilidad para conformar espacios más complejos. Esto ayuda a determinar un módulo espacial estándar pensado en un óptimo uso a partir del uso del mobiliario y las proporciones humanas, sobre el cual se dimensionan los paneles y sus accesorios modulares que conforman el sistema que armaría el prototipo.

2. Fase 3 (propuesta): *Diseño de paneles y accesorios modulares del sistema*

A partir de esta selección del sistema modular, así como el dimensionamiento de los paneles y accesorios modulares, se realiza el diseño de los paneles, sus variaciones y accesorios, sus combinaciones y maneras armar el espacio, siempre bajo los criterios de flexibilidad y modularidad, este diseño se realiza también desde el ejercicio de construcción virtual del sistema de módulos espaciales con sus paneles dimensionados, uniendo los elementos para construir unidades habitacionales.

3. Fase 4 (prueba, aplicación y resultado): *Exploración de la aplicabilidad y flexibilidad del sistema modular ligero de paneles*

Una vez establecidos los módulos y diseñados los paneles junto con sus complementos, se realiza la conformación de espacios, creando módulos por separado y uniéndolos para crear espacios y volúmenes funcionales para adaptar, ampliar y/o cambiar el uso, planteando la generación de unidades modulares estandarizadas que puedan ser combinados y así conformar prototipos.

8.2.3. Diseñar un sistema de ensamblaje rápido en seco para los paneles prefabricados modulares

La metodología a emplear en el segundo objetivo específico, planteado a partir del segundo fin que corresponde a desarrollar un sistema de ensamblaje fácil y seguro para paneles modulares, es la simulación 3D asistida por ordenador del sistema de ensamblaje en seco y su proceso constructivo en la vivienda de emergencia, bajo la estrategia del estudio de los criterios que debe llevar un sistema de construcción prefabricado en seco, y el diseño del sistema mediante software de modelado 3D para así elaborar una guía visual. Las fases se desarrollan de la siguiente manera.

1. Fase 2 (análisis): *Análisis del sistema de ensamblaje en seco*

Con la modulación espacial definida y el dimensionamiento de los paneles, lo primero es identificar la manera en cómo pueden funcionar los sistemas de ensamblaje en seco, el estudio realizado por González (1985) explica sobre la construcción prefabricada, sus tipos, procesos, y lo que concierne a esta investigación, los procedimientos de fijación de paneles de cerramiento en la construcción ligera. Conocidas estas definiciones, se

establece la selección de cada uno de los elementos que cumplirán su función dentro de sistema de construcción propuesto, para finalmente definir el mecanismo de fijación.

2. Fase 3 (propuesta): *Diseño de los elementos de ensamblaje y sellado en seco*

Se realiza el diseño de los elementos seleccionados del sistema de ensamblaje y fijación en seco desde un modelado 3D asistido por ordenador, ejemplificando su uso y aplicación dentro del sistema.

3. Fase 4 (prueba, aplicación y resultado): *Pasos para el armado del sistema de construcción de la vivienda de emergencia propuesta*

Una vez diseñado el sistema de ensamblaje, se realiza una guía que muestra los pasos para ensamblar el sistema de construcción, estas instrucciones estar apoyadas en gráficas descriptivas de la aplicación de los elementos en su momento de ejecución.

Esta guía finaliza con un gráfico resumen de cada elemento del sistema agrupado en su orden de aplicación, basado en las propuestas ganadoras en el concurso de diseño de vivienda de emergencia organizado por Archstorming y TECHO (2019).

8.2.4. Evaluar y estimar el confort térmico al interior de la vivienda de emergencia en clima ecuatorial cálido

La estrategia metodológica a emplear en el tercer objetivo específico, planteado a partir del tercer fin que corresponde a obtener espacios térmicamente confortables al interior de las viviendas de emergencia, es el estudio de la materialidad que conformará el panel y la simulación mediante el cálculo térmico asistido por ordenador de la materialidad que conformará el sistema para evaluar su afectación en el espacio interior de la vivienda de emergencia, y así obtener criterios para proponer un porcentaje de aceptabilidad

adecuado para la condición especial de habitabilidad que posee una vivienda de emergencia. Las fases son desarrolladas de la siguiente manera.

1. Fase 2 (análisis): *Estudio y mejoramiento térmico de la materialidad del panel modular.*

Se seleccionan los materiales que conformarían el panel y sus accesorios, cuyas propiedades térmicas permitan llegar al objetivo sin perder de vista las cualidades de ligereza. Para ello, se realiza la selección del material basada en criterios de confort térmico en clima tropical, para ello, se usa la tabla de propiedades de materiales aislantes elaborada de Cengel (2007) para identificar los materiales más adecuados que compondrán el panel modular.

2. Fase 3 (propuesta): *Análisis y Evaluación simulada del confort térmico en el modelo de vivienda de emergencia en el contexto de estudio.*

Será cargada la información térmica de la materialidad propuesta por la UNGRD en el modelo como línea base y las condiciones climáticas del contexto de implantación a un software de simulación (OpenStudio y Energy Plus), donde es evaluado su comportamiento térmico de acuerdo a la información suministrada, y de donde se establece un punto de comparación con la materialidad del sistema de construcción que propone esta investigación. Esta evaluación se realiza a partir del método adaptativo propuesto por ASHRAE Standard y del método PMV propuesto por Fanger, para comparar y conocer la respuesta de la materialidad ante estos puntos de vista.

3. Fase 4 (prueba, aplicación y resultado): *Evaluación y estimación del nivel de confort térmico al interior de una vivienda de emergencia en clima ecuatorial cálido*

Finalmente, a partir de la evaluación térmica del modelo de vivienda de emergencia, siguiendo el método de Giraldo (2018), se enfrentan los modelos evaluados y sus respuestas térmicas en las horas críticas del año, también se comparará con otra materialidad usada comúnmente en construcciones temporales y ligeras, bajo los métodos adaptativo y PMV, para así poder estudiar los niveles de confort térmico al interior de la vivienda de emergencia e indagar sobre un porcentaje de aceptabilidad adecuado para sobrellevar el periodo de atención al desastre, sin perder de vista el carácter de temporalidad en este tipo de habitación, así luego, proponer uno bajo estos criterios.

SEGUNDA PARTE

DESARROLLO DEL PROYECTO

9. LÍNEA BASE

9.1. Análisis climático del área de implantación

Para realizar la evaluación del confort térmico, el modelo de vivienda de emergencia debe ser ubicado en un contexto real, para analizar desde sus condiciones climáticas cuáles serán sus niveles óptimos de confortabilidad. La ciudad de estudio será Santiago de Cali, Colombia, y el área de implantación será la Universidad del Valle, en su campus al sur de la ciudad, ubicada en la Comuna 17. El lugar es seleccionado por sus amplias extensiones de terreno aptas para atender un posible episodio de desastre en la ciudad.

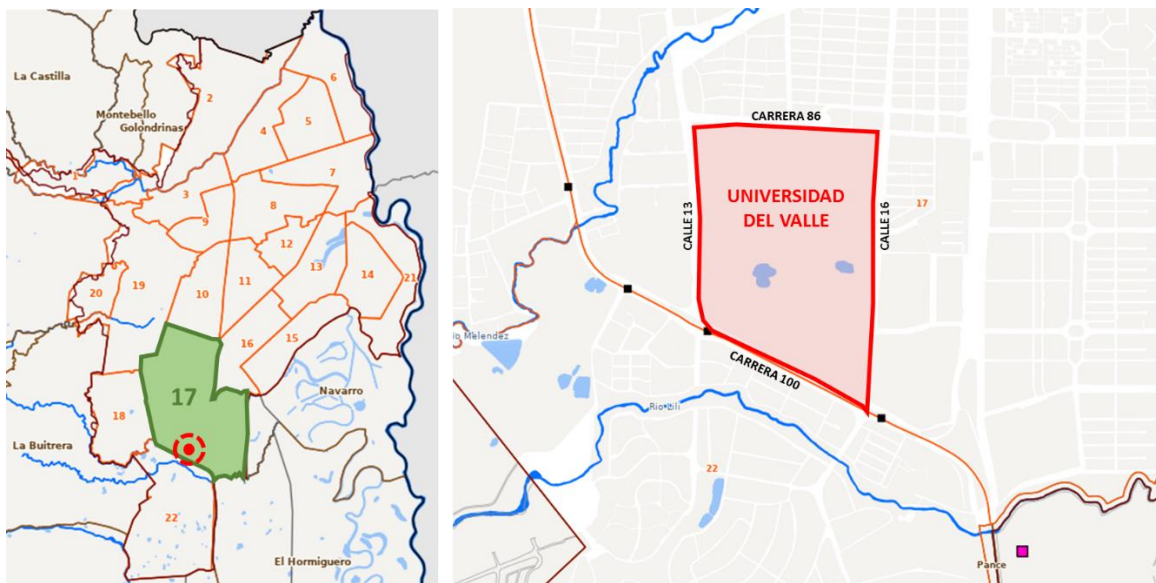


Figura 34: Mapa de Santiago de Cali por comunas/ubicación de la zona de implantación de la vivienda, tomado del portal geovisor IDESC (2020).

La Universidad del Valle está ubicada a una longitud $76^{\circ}32'1.6''\text{W}$, una latitud $3^{\circ}22'40.8''\text{N}$ y una elevación de 985, la temperatura promedio anual es de 24.5°C con una humedad relativa promedio anual de 72% (IDEAM, 2016). Pero el promedio anual no

define la realidad y variación diaria en la ciudad, así que la información será manejada a partir de datos precisados en horas, esto con el fin de elegir una hora de trabajo en el modelo de vivienda para su evaluación, para ello será utilizada la información de la Estación Meteorológica de la Universidad del Valle (2018), que recopila datos obtenidos desde el 9 de mayo de 2013 hasta el 6 de marzo de 2017, en horas comprendidas desde las 11:00 hasta las 17:00, es decir, horas de la tarde, mostrando datos promedios y máximos, dividiendo estos en cuartiles. Para seleccionar la hora de trabajo, se observa la temperatura desde el tercer cuartil, con el fin de elegir una hora donde presente temperaturas altas en un horario que con mayor frecuencia de gente en un hogar, como se señala en la Figura 35, finalmente es escogida la hora de las 13:00 que abarca una temperatura de 33°C, esta va ascendiendo hasta las 14:00 para mantener constante hasta las 16:00.

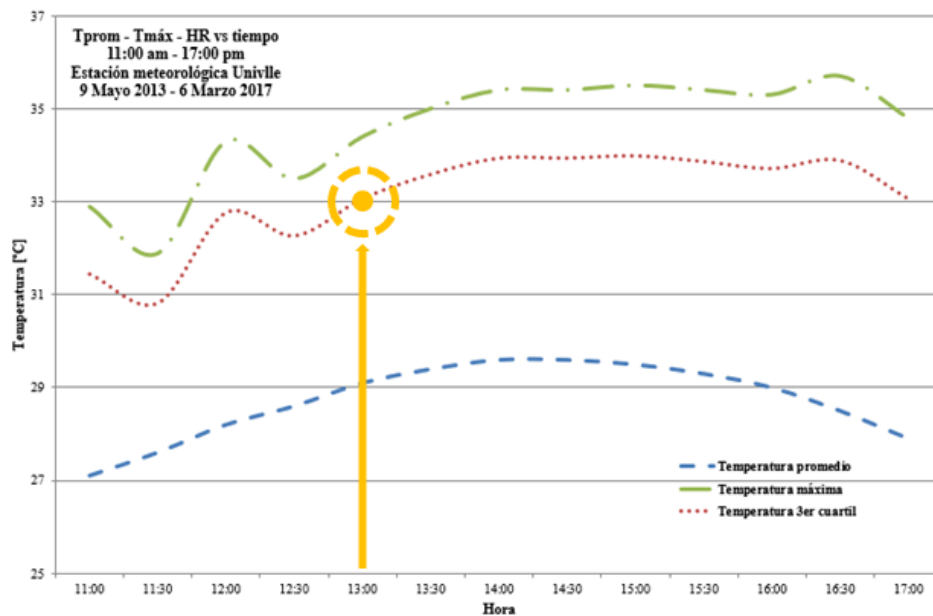


Figura 35: Gráfica Temperatura vs. Hora, tercer cuartil, tomado de la Estación Meteorológica de la Universidad del Valle (2018).

La Figura 36 ubica la humedad relativa tras la selección de la hora de trabajo, para esto, bajo el mismo criterio, es revisado el segundo cuartil a las 13:00, la humedad relativa identificada es de 44%.

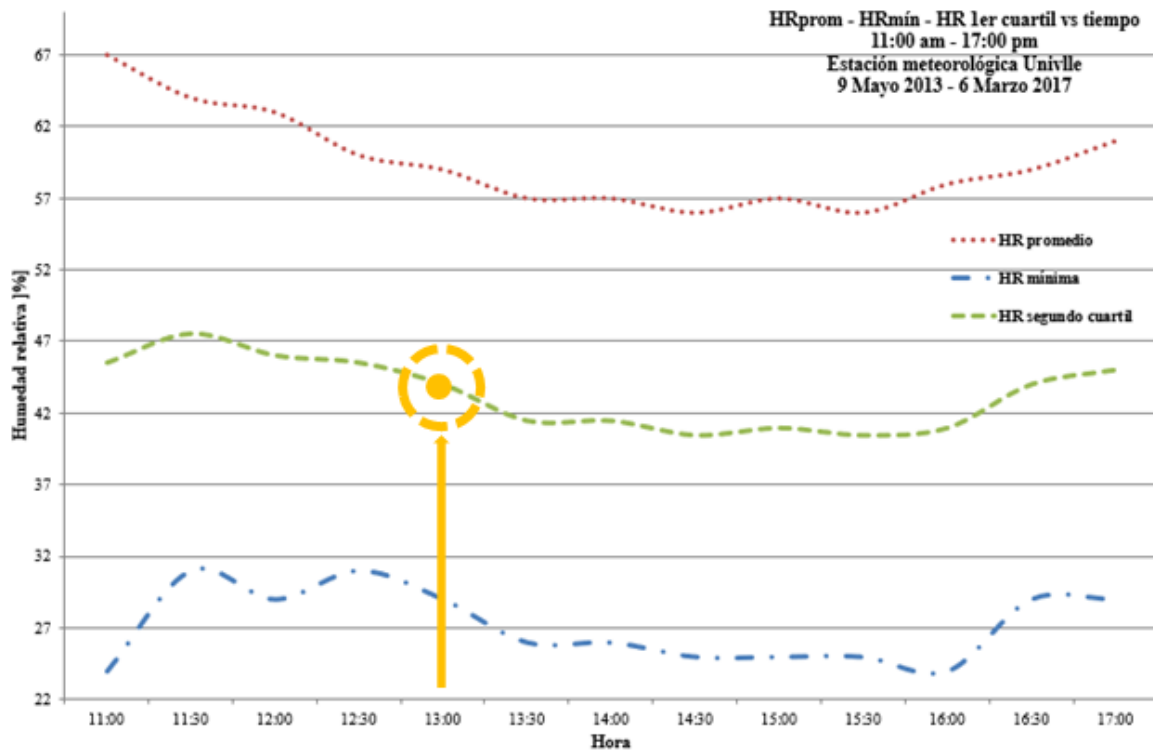


Figura 36: Gráfica Humedad relativa vs. Hora, segundo cuartil, tomado de la Estación Meteorológica de la Universidad del Valle (2018).

Los datos obtenidos de temperatura (este pasará a llamarse temperatura de bulbo seco) y humedad relativa son puestos en la carta psicrométrica mostrada en la Figura 37, para determinar otros dos datos, la temperatura de bulbo húmedo que representa la temperatura del aire humedecido, y la temperatura de rocío que representa la temperatura a la cual el agua empieza a condensarse, en otras palabras, la temperatura en la que puede presentar mayor humedad. Los datos obtenidos finalmente a través de la carta

psicrométrica con la presión atmosférica de 89 kPa que presenta la ciudad de Santiago de Cali, son los siguientes:

5. Temperatura de bulbo seco: 33°C
6. Humedad relativa: 44%
7. Temperatura de bulbo húmedo: 23°C
8. Temperatura de rocío: 19,8°C

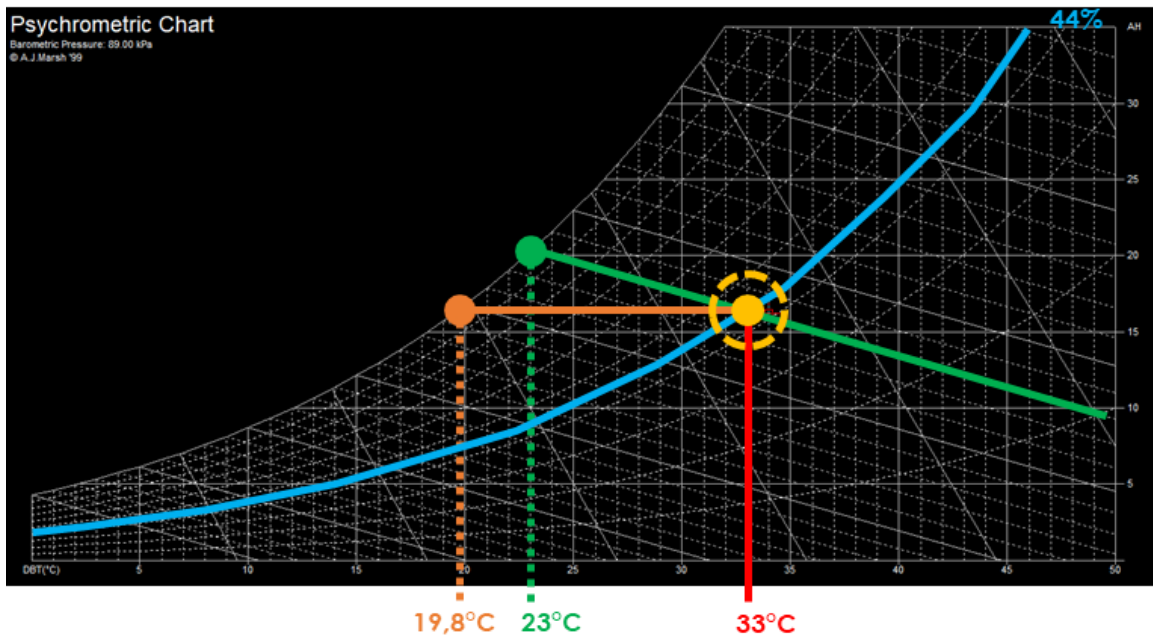


Figura 37: Estimación en la carta psicrométrica de la temperatura de bulbo húmedo y de rocío a partir de la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa, elaboración propia (2020).

Ahora se hace una revisión a los vientos de la zona, a través de la rosa de los vientos de la Figura 38, la información es suministrada por la Estación Meteorológica de la Universidad del Valle (2018), con la recopilación de los datos entre el 9 mayo de 2013 y el 6 de marzo de 2017. Debido a que la hora ya ha sido seleccionada (13:00), se revisa

primero la velocidad promedio en un horario entre 12:30 y 17:30, donde la velocidad promedio más fuerte llega desde el nornoroeste (NNW), el sursuroeste (SSW) y el noreste (NNE), con una velocidad aproximada de 1,2m/s.

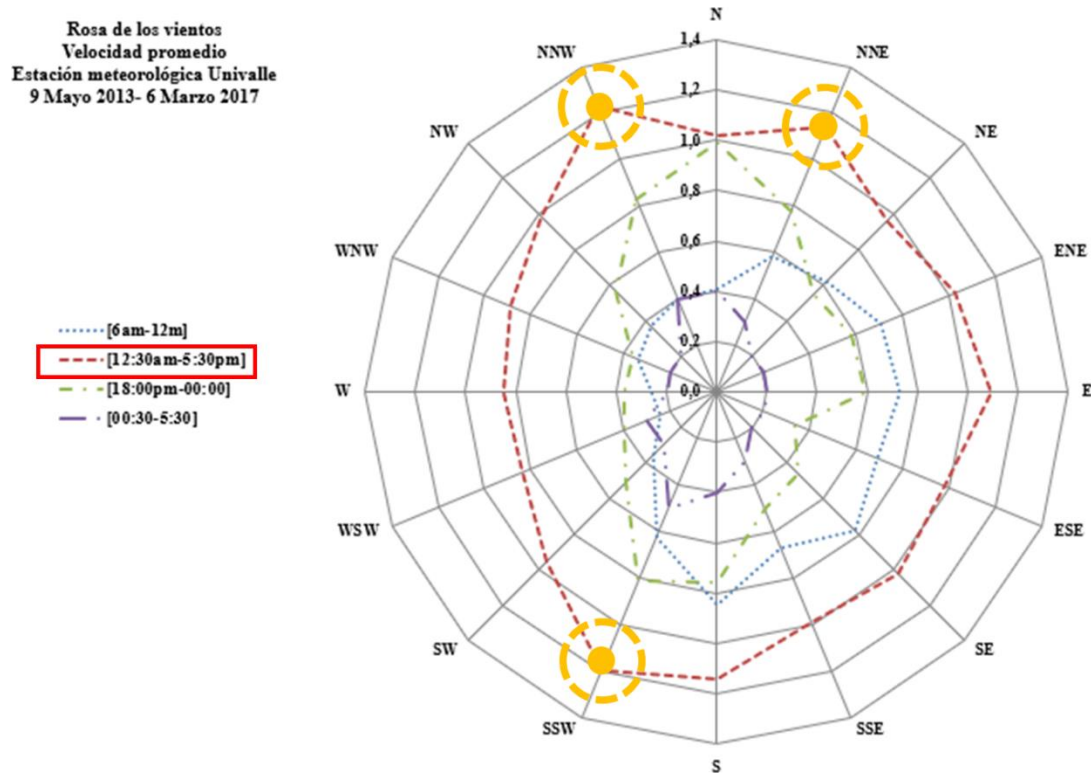


Figura 38: Rosa de los vientos, velocidad promedio del viento entre las 12:30 y 17:30, tomado de la Estación Meteorológica de la Universidad del Valle (2018).

La frecuencia de vientos, evaluada también en un horario entre las 12:30 y 17:30, es mayor desde el norte (N) al sureste (SE) y todos los puntos intermedios, salvo el esteseeste (ESE), con una velocidad de 0,4 a 1,3m/s. De acuerdo con la Figura 39, los vientos fuertes más frecuentes llegan del norte (N) y el nornoroeste (NNW), con una velocidad de 1,8 a 2,7m/s.

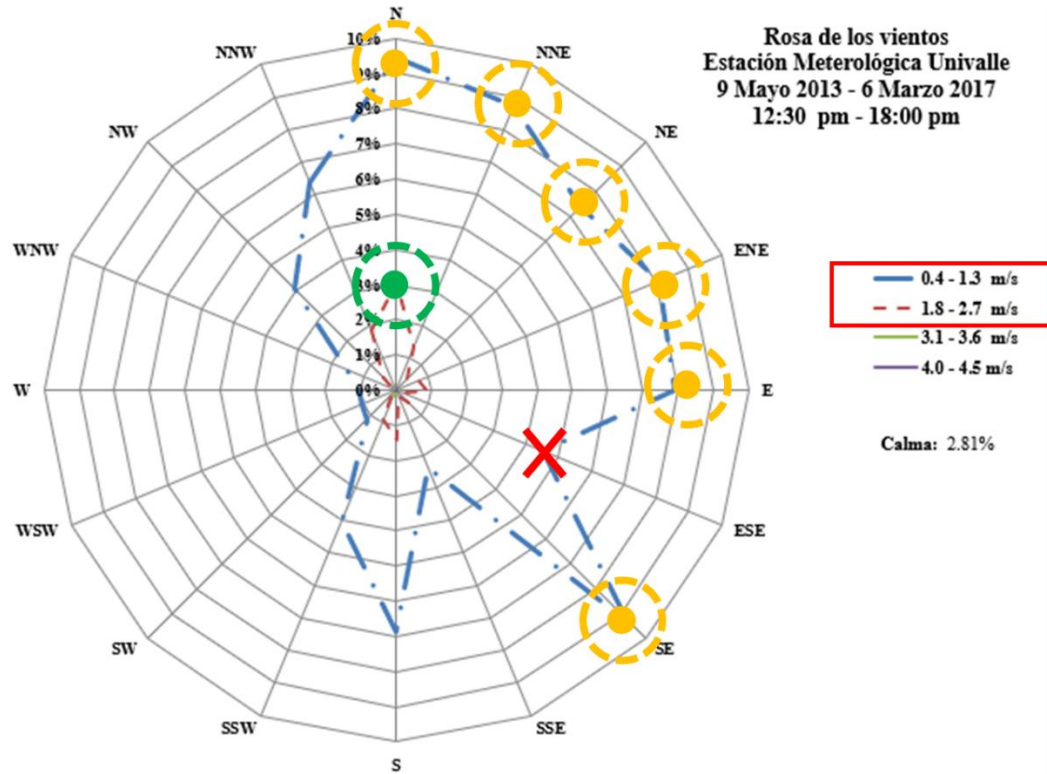


Figura 39: Rosa de los vientos, frecuencia de vientos entre las 12:30 y 17:30, tomado de la Estación Meteorológica de la Universidad del Valle (2018).

Haciendo un contrastado de información, es analizado el clima también desde el software Climate Consultant, cargando los datos de la ciudad de Cali para obtener la información necesaria para analizar los aspectos climáticos de la ciudad.

Conforme al modelo de confort adaptativo de ASHRAE 55-2010 seleccionado desde el software, con un límite de aceptabilidad del 80%, el rango de confort para la temperatura operativa está desde los 21,5°C hasta los 28,9°C, para redondear y facilitar el ejercicio de análisis, el rango será manejado desde 22°C hasta 29°C.

7. ADAPTIVE COMFORT USING NATURAL VENTILATION:	
80.0	% Acceptability Limits (80% or 90%)
23.3	Minimum Mean Monthly Outdoor DB Temp (10° C or less)
24.4	Maximum Mean Monthly Outdoor DB Temp (33.5° C or less)
21.5	Comfort Low - Min Operative Temp in this Climate (°C)
28.9	Comfort High - Max Operative Temp in this Climate (°C)
(Air Velocity is controlled by opening and closing windows)	

Figura 40: Confort adaptativo en Cali basado en el modelo de confort adaptativo de ASHRAE 55-2010, extraído del software Climate Consultant, elaboración propia (2020).

El siguiente gráfico de rango de temperatura de bulbo seco muestra un promedio muy regular durante todos los meses del año, llegando a una media anual de 24°C. La temperatura promedio más alta registrada está en los meses de agosto y septiembre, superando los 32°C, mientras que la temperatura promedio más baja registrada está en el mes de agosto, cerca de los 19°C. De acuerdo al gráfico, la temperatura de bulbo seco en Cali presenta muy pocas variaciones a lo largo del año, por lo que se puede considerar que la ciudad mantiene con una temperatura estable.

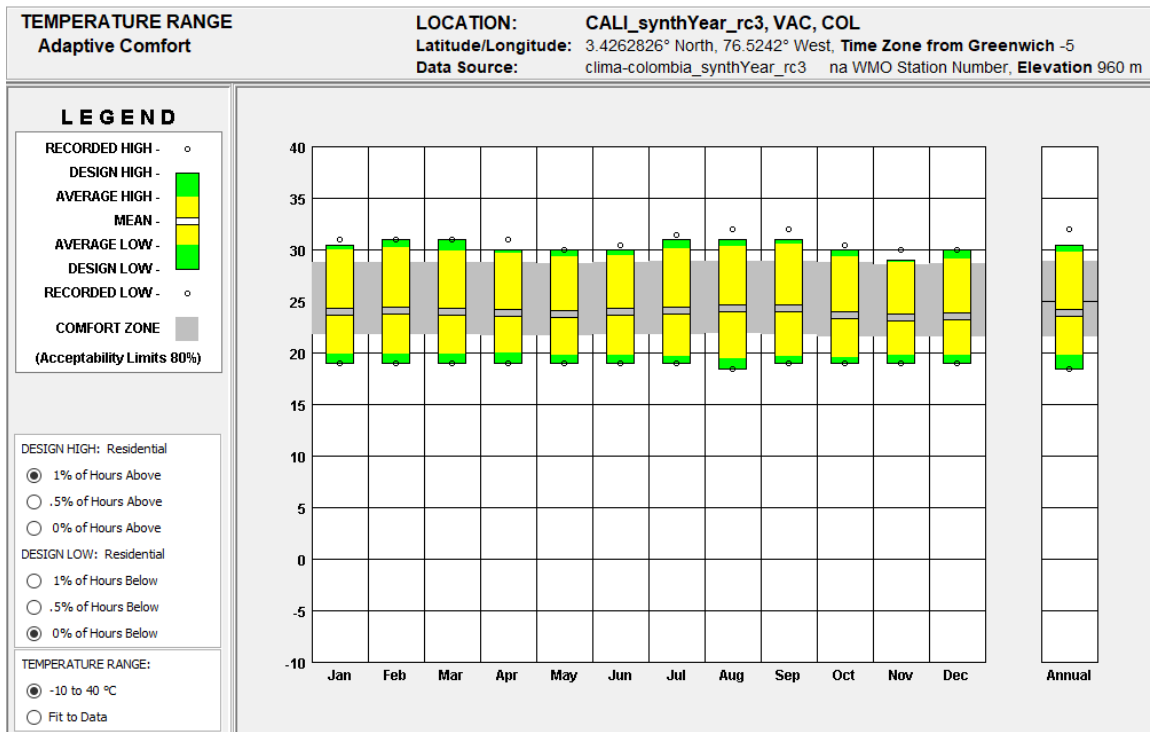


Figura 41: Rango de temperatura promedio de bulbo seco en Cali, extraído del software *Climate Consultant*, elaboración propia (2020).

De acuerdo a los siguientes gráficos, la temperatura de bulbo seco se sale del rango de confort principalmente desde las 14:00 horas hasta las 16:00 horas. En ocasiones, este tiempo de insatisfacción comienza una hora antes y termina una hora después, lo que quiere decir que la temperatura del aire de la ciudad sale del rango de confort en un plazo de 2 a 4 horas en promedio por mes. La humedad relativa mantiene una relación muy similar durante todo el año, Siendo en un alto rango entre 80% y 100% durante las horas de la noche y la mañana (22:00 a 8:00), y en un rango por debajo del 60% en horas de la tarde (12:00 a 19:00).

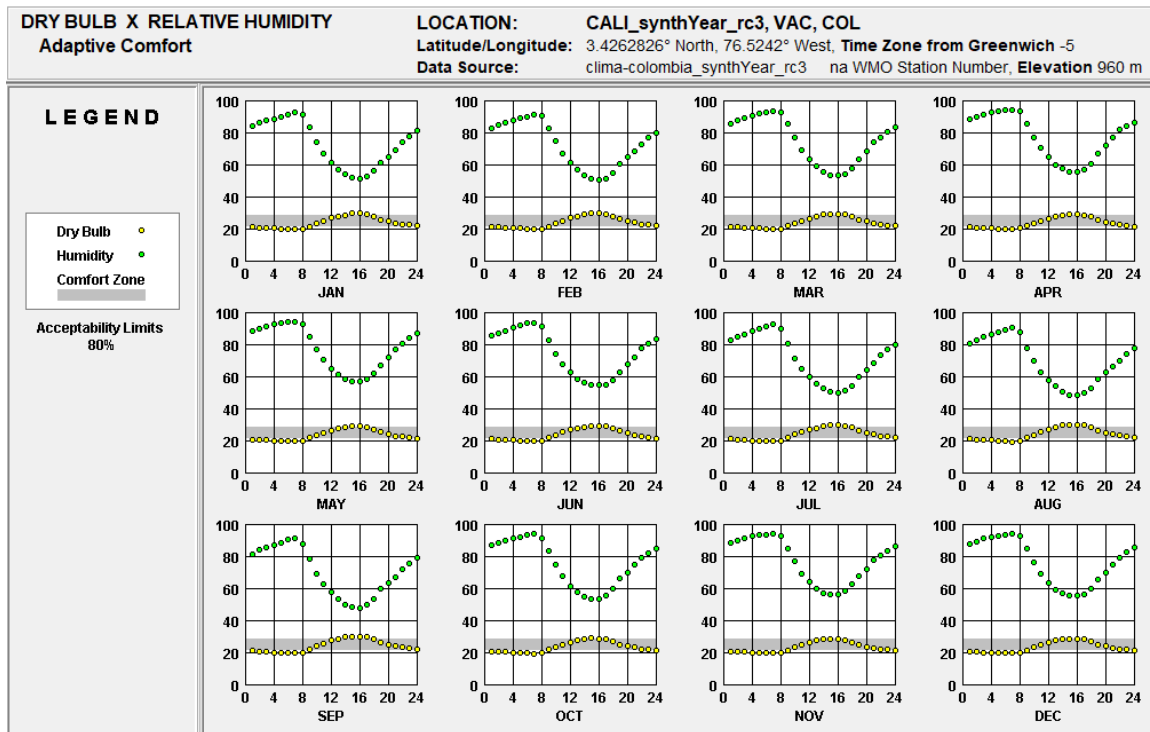


Figura 42: Gráfico de temperatura promedio de bulbo seco por horas cada mes en Cali, extraído del software *Climate Consultant*, elaboración propia (2020).

Relacionando las curvas del siguiente gráfico, se puede observar que los niveles de radiación global son proporcionales al aumento de la temperatura de bulbo seco, lo mismo sucede en menor medida con la radiación difusa, pero esta relación se pierde con la radiación normal directa, que parece manejar cierta independencia de la temperatura.

De acuerdo a la gráfica de radiación, el cielo en la ciudad de Cali es equilibrado en la nubosidad, pues durante todo el año, la radiación difusa se acerca a los niveles de radiación directa.

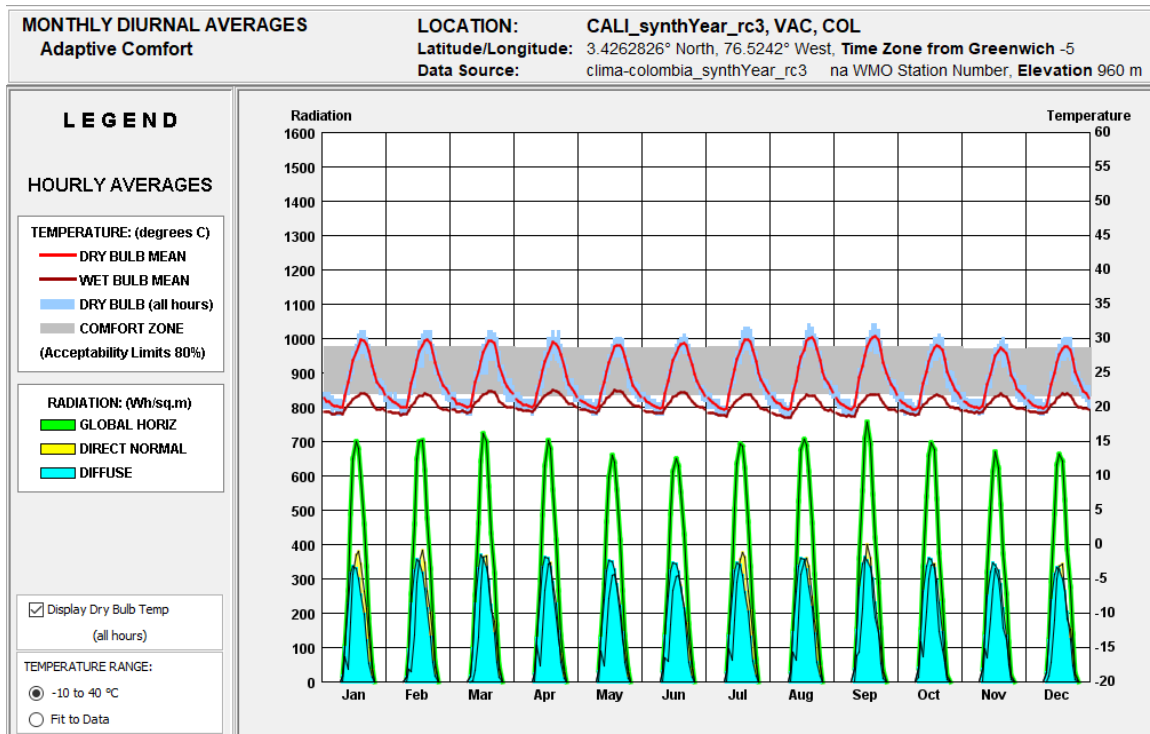


Figura 43: Gráfico de radiación y temperatura promedio de bulbo seco mensual en Cali, extraído del software *Climate Consultant*, elaboración propia (2020).

Situando un edificio rectangular, perpendicular a los ejes de los puntos cardinales, el promedio anual de la radiación global en todas las fachadas se mantiene en similares condiciones, con una escala promedio de 380Wh/m² por hora, esta similitud también se mantiene con la radiación directa, con una escala promedio de 170Wh/m² por hora. la diferencia se da en la superficie total, donde la mayor escala promedio la tiene la fachada oeste (200Wh/m² por hora), y la menor la tiene la fachada este (110Wh/m² por hora).

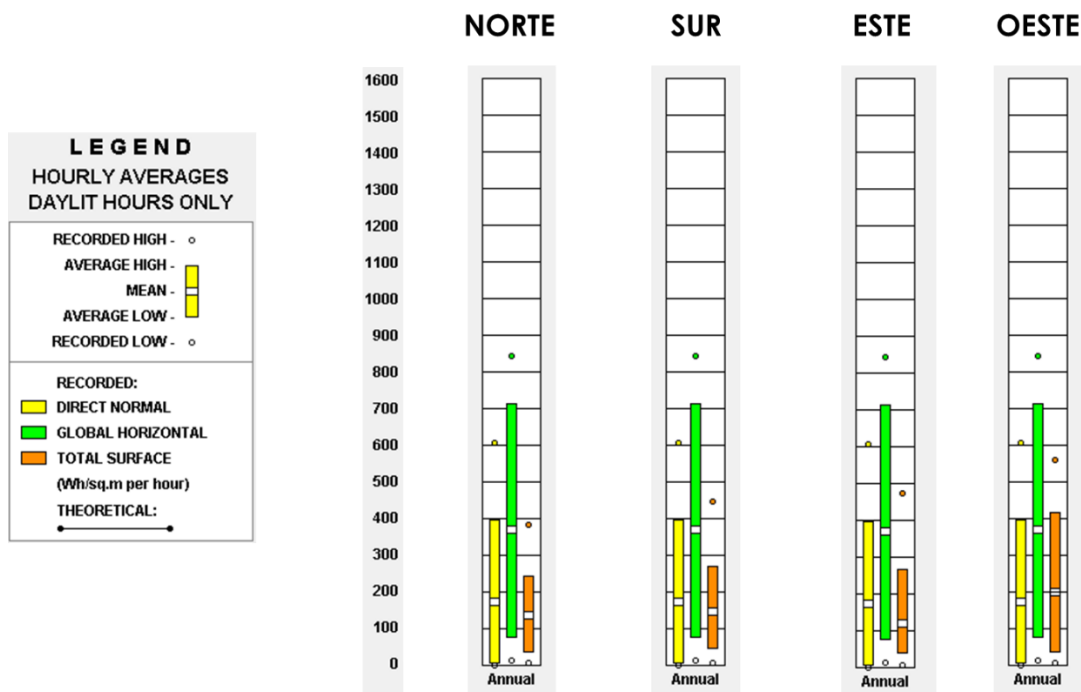


Figura 44: Gráfico de radiación en fachadas de un edificio situado en Cali, extraído del software *Climate Consultant*, elaboración propia (2020).

En cuanto al rango de nubosidad en el cielo, el porcentaje promedio de nubosidad anual es de 30%, estando dentro los menores rangos registrados el 20% de nubosidad, y alcanzando en sus mayores rangos hasta el 80%.

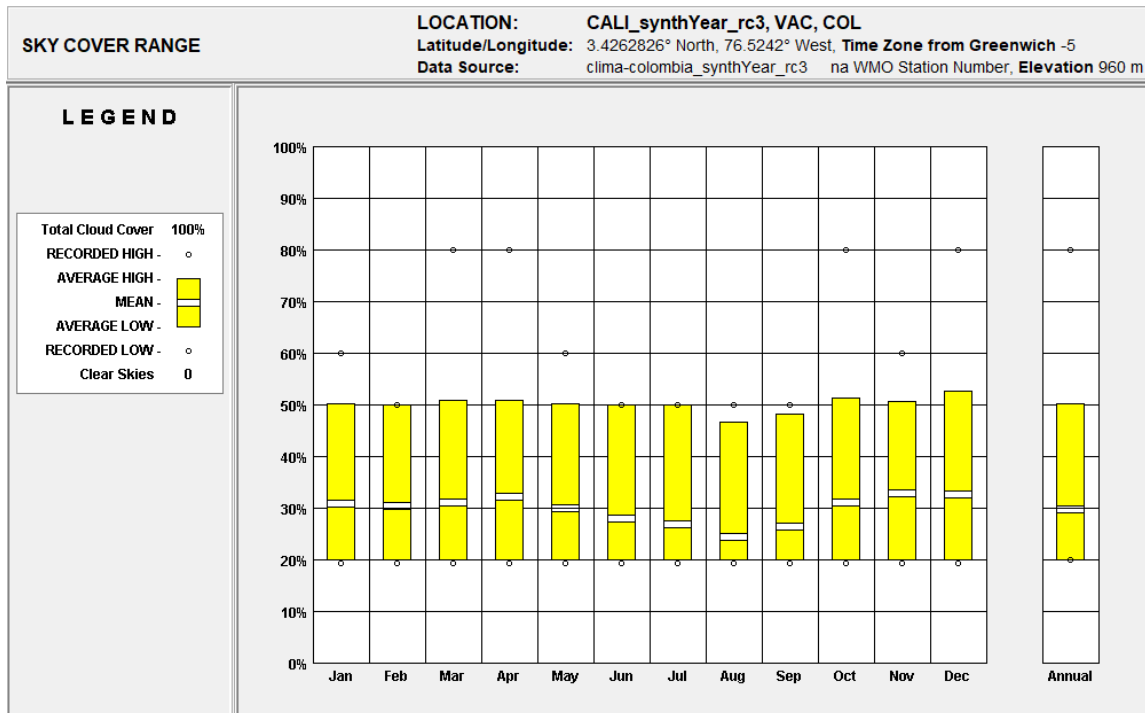


Figura 45: Rango de nubosidad mensual en Cali, extraído del software Climate Consultant, elaboración propia (2020).

En el rango de velocidad del viento de Cali, mensualmente mantiene su estabilidad, con muy pocas variaciones, manteniendo un promedio entre 1,5m/s y 2m/s, estando dentro de la categoría 2 en la escala de fuerza del viento de Beaufort, denominada como brisa muy débil. Dentro de los registros de velocidad más alta y más baja, llega a 4 m/s (estando dentro de la categoría 3, brisa débil) y menor a 1m/s (categoría 1, ventolina).

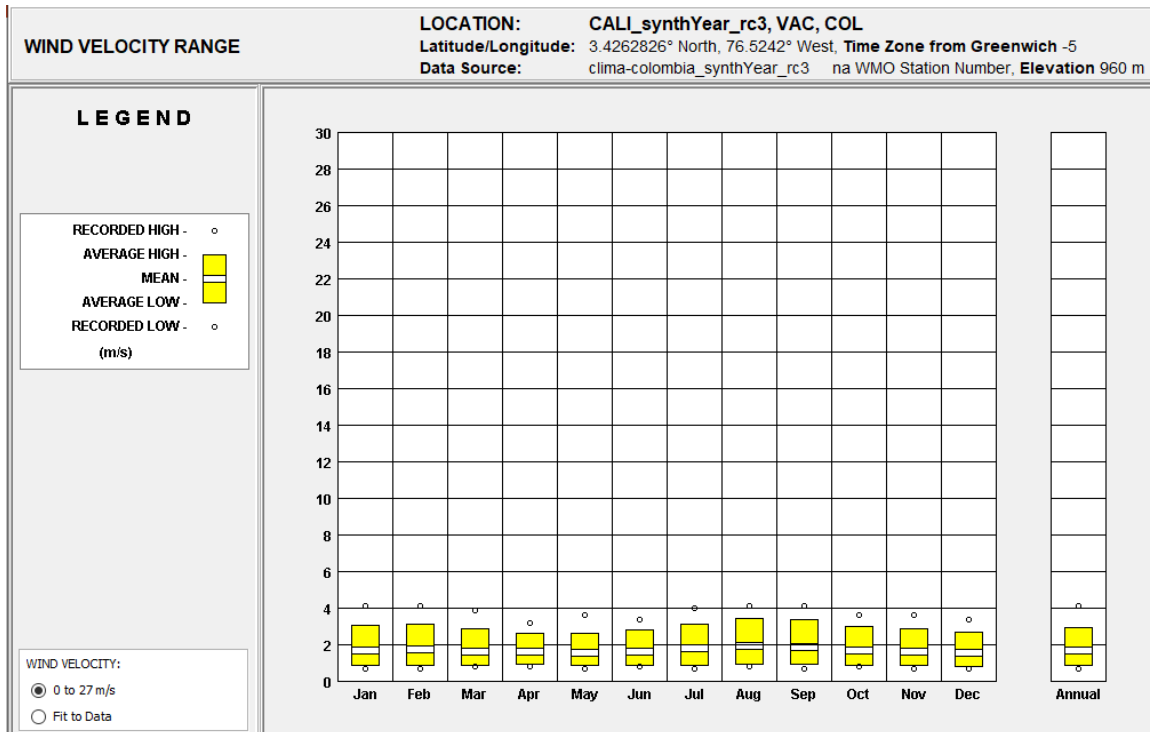


Figura 46: Rango de velocidad del viento mensual en Cali, extraído del software *Climate Consultant*, elaboración propia (2020).

De acuerdo con lo indicado por Giraldo Castañeda, W., Czajkowski, J. D. y Gómez, A. F. (2021), y corroborado por Climate Consultant, la zona de confort en el contexto está entre los 21,5°C y 28,9°C. De acuerdo con el siguiente diagrama de Givonni, analizado y editado por el arquitecto Walter Giraldo Castañeda (2020), cada punto de color azul corresponde a una temperatura registrada en determinado momento en la ciudad de Cali, cada franja dibujada sobre el diagrama representa el rango en el que se puede usar cada una de las estrategias de climatización en el espacio (ventilación natural, enfriamiento evaporativo, aire acondicionado, etc.), marcando también, dentro de la franja rellena de color azul, lo que corresponde a la zona de confort térmico. Según dicho gráfico, se puede llegar a zona de confort por medio de ventilación natural, sin necesidad de medios

mecánicos, estrategia que en el marco de la vivienda de emergencia es la única opción debido a las limitaciones económicas dentro del episodio de catástrofe y restauración del hábitat.

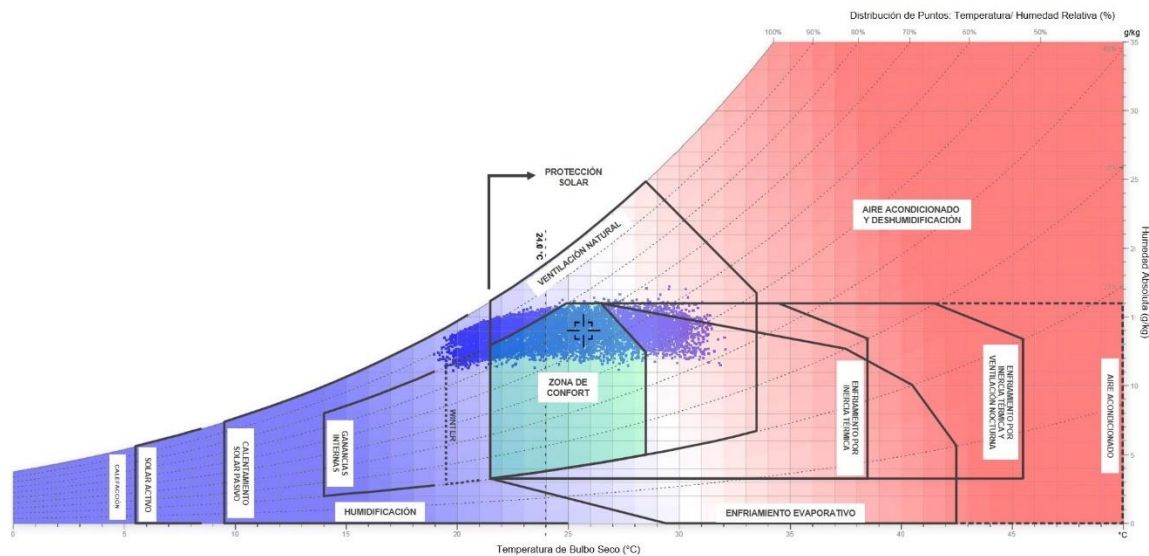


Figura 47: Diagrama de Givonni con la relación estrategias de climatización para la zona de confort en la ciudad de Cali, elaborado por Giraldo, W (2020).

Al haber contrastado ambas fuentes de información climática, pudo ser observado que los datos de la Estación Meteorológica de La Universidad del Valle recopila información más específica para el área de implantación, pero los datos de Climate Consultant, aunque aborda la información de Cali de manera más global, muestra resultados que no se alejan de manera muy significativa a la otra fuente, y por lo tanto resultan útiles para trabajar en la simulación y evaluación térmica del modelo de vivienda de emergencia.

9.2. Análisis y evaluación de la línea base (LB)

La línea base (LB) para el análisis y la evaluación de los modelos térmicos, corresponde a la materialidad propuesta por la UNGRD (2013) para la construcción de viviendas de emergencia individuales, cuyo cerramiento vertical está conformado por tela verde (polipropileno) como material principal, también la polisombra negra (polietileno de alta densidad) como entrada de aire y filtro de iluminación, y como cerramiento superior de cubierta, es propuesta la teja de zinc.

Para este ejercicio, las puertas son propuestas como una capa de tela verde estructurada, y las ventanas como una capa de polisombra negra, cada una como superficie operable; la base y piso de la vivienda es una losa en hormigón de 0,1m de espesor.

El primer paso es tomar las propiedades térmicas de los materiales de cerramiento, organizarlas y cargarlas al modelo de simulación. Las propiedades que solicita el software son la rugosidad, el espesor, la resistencia térmica (si se tiene), la conductividad térmica, la densidad, el calor específico y la absorptancia, cada una con la unidad de medida especificada por el programa. Para esto, fue consultada las propiedades de cada uno de los materiales: la losa en hormigón (Incropera, 1996) y la tela verde (polipropileno) («Material Properties», 2022), y finalmente la teja de zinc (Díaz, 2012).

Material	Rugosidad	Espesor (m)	Conductividad Térmica (W/mK)	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (J/kgK)	Absortancia Térmica (%)	Absortancia Solar (%)	Absortancia Visible (%)
Losa en hormigón	Rough	0,1	1,4	2300	840	0,9	0,7	0,7
Tela verde (polipropileno)	Medium smooth	0,0001	0,20	900	1900	0,7	0,7	0,7
Teja en zinc	Medium smooth	0,00032	110	7,14	388	0,34	0,34	0,34

Figura 48: Asignación de materiales y sus propiedades para el modelo de simulación, elaboración propia, (2020).

Para la simulación la polisombra negra (polietileno de alta densidad), es tomado como un vidrio crudo transparente, debido a que su comportamiento (ya que la polisombra posee un espesor de 0,0001m) es similar en cuanto al paso de la radiación solar al interior del espacio, que es casi total, además que el software OpenStudio no tiene forma de simular elementos enmallados. Por lo tanto, a continuación, es mostrada las propiedades del vidrio crudo transparente configurado por defecto en el software de simulación.

Material	Espesor (m)	Conductividad Térmica (W/mK)	Transmitancia solar a incidencia normal	Reflectancia solar del lado frontal a incidencia normal	Transmitancia visible a incidencia normal	Reflectancia visible del lado frontal a incidencia normal	Emisividad hemisférica infrarroja del lado frontal a incidencia normal	Emisividad hemisférica infrarroja del lado posterior a incidencia normal	Factor de corrección de suciedad para transmitancia solar y visible
Vidrio crudo transparente	0,003	0,9	0,837	0,075	0,898	0,081	0,84	0,84	1,0

Figura 49: Propiedades del vidrio crudo transparente, elaboración propia, (2020).

Una vez configurados los materiales en el programa, son organizados para su función en la vivienda, como el piso (losa en hormigón), los muros exteriores (tela verde y polisombra negra), las puertas (tela verde), las ventanas (polisombra negra) y la cubierta (teja de zinc).

Piso	Muros exteriores	Cubierta	Puertas	Ventanas
Losa en hormigón	Tela verde (polipropileno)	Teja de Zinc	Tela verde (polipropileno)	Polisombra negra (polietileno de alta densidad)

Figura 50: Ubicación de los materiales en los elementos constructivos, elaboración propia, (2020).

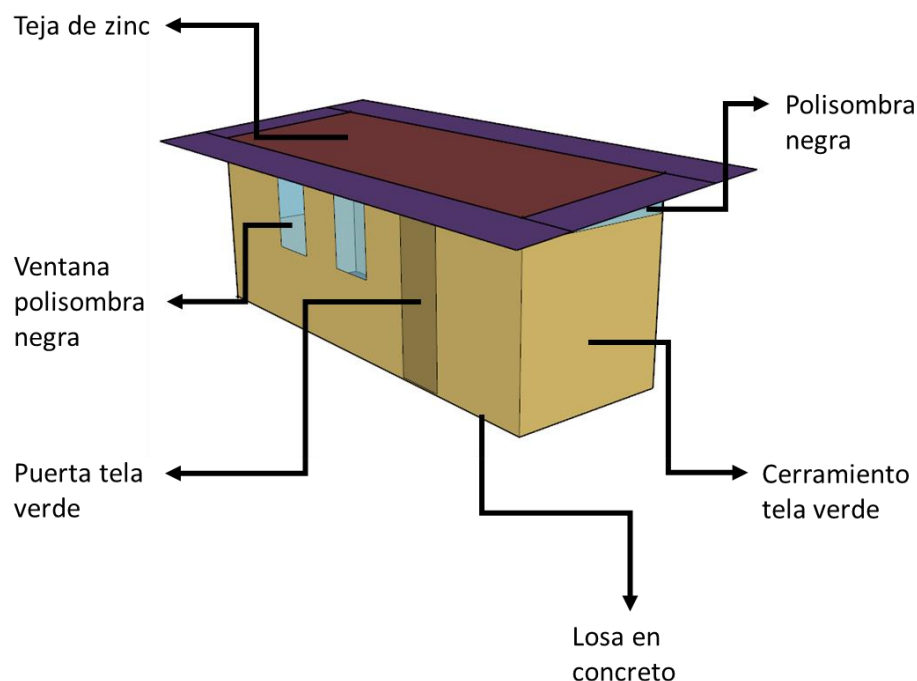


Figura 51: Ubicación de los materiales en los elementos constructivos, elaboración propia, (2020).

Ya cargados los materiales y elementos constructivos, es iniciada la simulación del modelo de la línea base. La simulación evaluó el aire interior de la vivienda desde cuatro indicadores:

- La temperatura del aire o de bulbo seco (°C): T_{air} .
- La temperatura media radiante (°C): T_{mr} .
- La temperatura operativa (°C): T_{op} .
- La humedad relativa del aire (%): H_r .

La simulación realizada ofrece información discriminada para cada indicador en horas, para evitar un resultado de muy poca precisión, no fue tomada la información promedio de las 24 horas del día, debido a la significativa diferencia entre los datos del día y de la noche. Por lo tanto, para este análisis han sido seleccionados los datos promedio de entre las 12:00 y 15:00 horas, que es el periodo de tiempo con la *Tair* más alta del día al interior de la vivienda, posteriormente esta información fue promediada para cada mes para analizar su comportamiento térmico a lo largo del año.

Considerando el rango de confort, que es estimado desde 21,5°C hasta 28,9°C para un clima ecuatorial cálido como lo es en la ciudad de Cali, a partir de un límite de aceptabilidad del 80% de acuerdo al método adaptativo según ASHRAE 55-2010, son realizadas las evaluaciones, los valores de temperatura que salgan de dicho rango son considerados como insatisfactorios.

La Figura 52 muestra el comportamiento de las temperaturas de estudio a lo largo del año durante cada hora y en cada día, muestra que este modelo de vivienda presenta insatisfacción durante la mayor parte del tiempo del año, mostrando que presenta considerables elevaciones de temperatura, superando los 35°C.

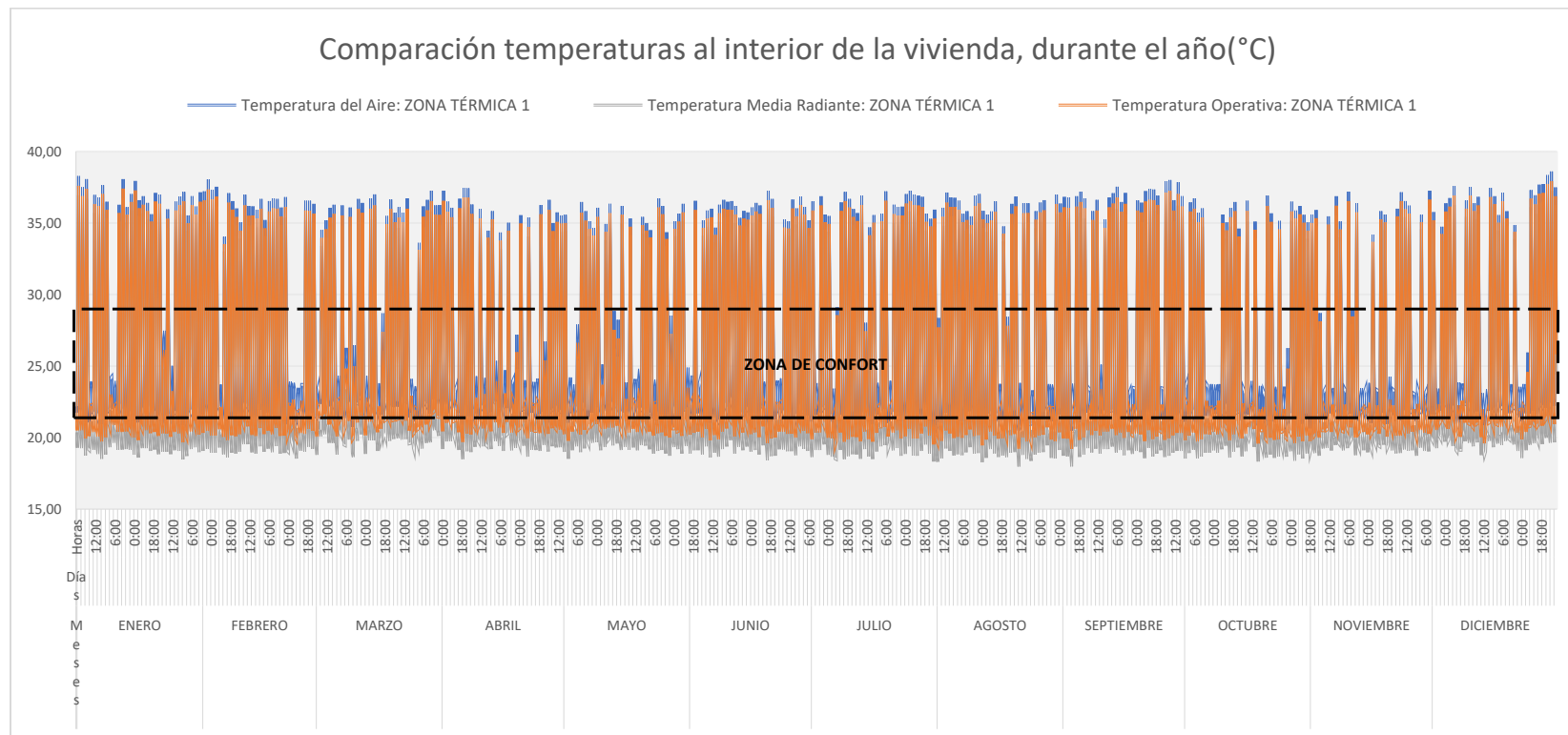


Figura 52: Gráfico del comportamiento de T_{air} , T_{op} y T_{mr} durante todo el año, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).

En cuanto al tiempo de insatisfacción térmica, la Figura 53 muestra que, durante las 8760 horas del año, 5888 horas son insatisfactorias, es decir, el 67,21% del tiempo (partiendo de *Top*), distribuidos entre insatisfacción por temperaturas altas (calor) y bajas (frío).

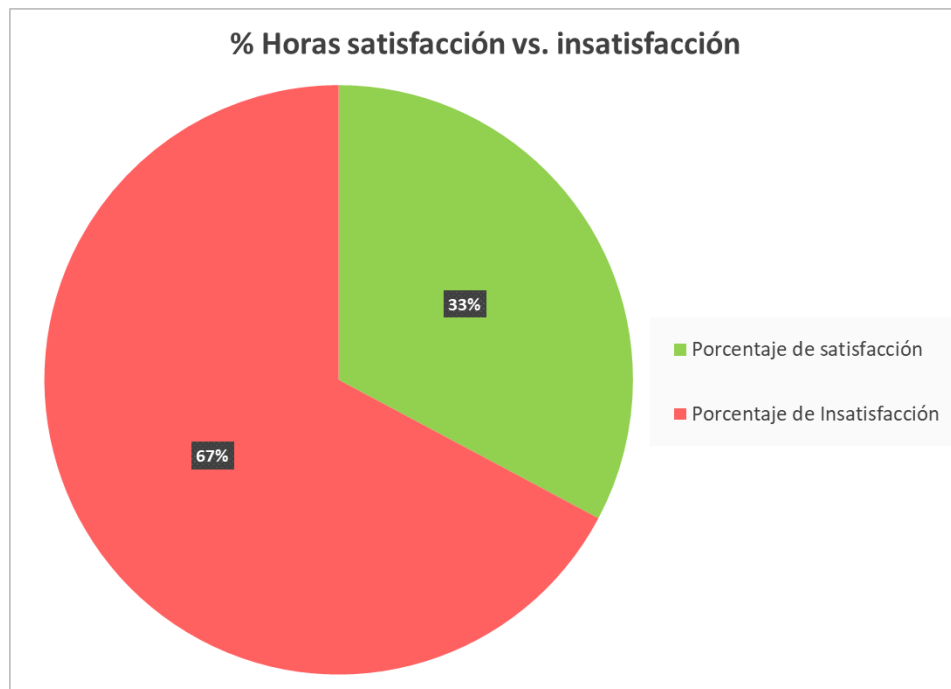


Figura 53: Gráfico del porcentaje de horas de Satisfacción vs. Insatisfacción térmica en LB, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).

La Figura 54, muestra la cantidad tiempo registrada desde *Top* en insatisfacción, de esta, el 34% corresponden a temperaturas altas (calor) y el 66% a temperaturas bajas (frío).



Figura 54: Gráfico del porcentaje de horas de insatisfacción en Calor vs. frío en LB, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).

Pese a que la mayor parte del tiempo en insatisfacción corresponde a bajas temperaturas que se presentan principalmente durante las horas de la noche y la madrugada, estas no se alejan mucho de la zona de confort, a comparación de las temperaturas altas que se presentan principalmente durante las horas de la tarde, llegando a alejarse mucho más de la zona de confort, representando en una sensación de calor muy alta durante un periodo de tiempo activo y productivo en el diario vivir.

Al promediar las temperaturas durante las 24 horas de todos los días del año, como muestra la Figura 55, se puede observar de manera más directa los horarios con mayor

insatisfacción en el transcurrir del día; estos se representan en horas frías desde las 23:00 hasta las 7:00, y en horas calurosas desde las 10:00 hasta las 16:00.

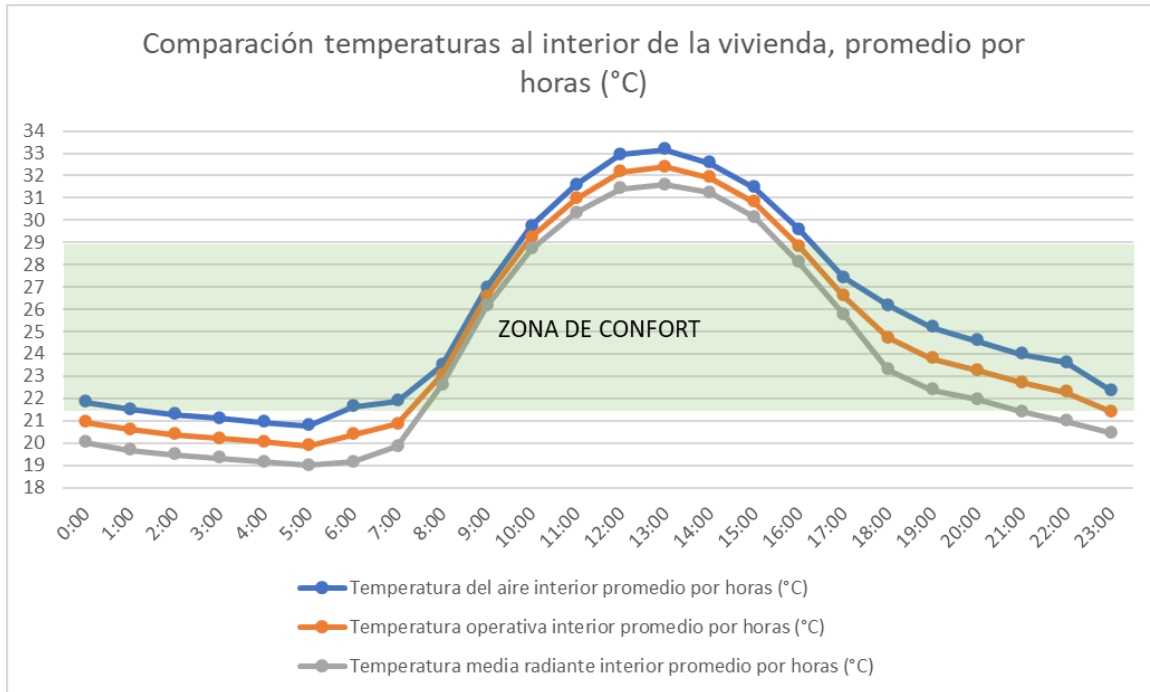


Figura 55: Gráfico del promedio de T_{air} , T_{op} y T_{mr} anual por horas, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).

Los datos de las temperaturas mostraron resultados paralelos con un grado de diferencia entre cada uno, siendo el más crítico el dato de T_{air} y el menos crítico el dato de T_{mr} ; también mostraron que, bajo este sistema de construcción, dentro del horario asignado (12:00 a 15:00), que muestra la Figura 56, permanece en un estado de insatisfacción durante todo el año, siendo enero y julio los meses más críticos, llegando a los 34,37°C. Entre los meses en que la vivienda más se aproxima al confort (e incluso entra a esta zona en cuanto a T_{mr} se refiere), están los meses de octubre y noviembre, estando entre los 28°C y 29°C, lo que representa que la vivienda durante las horas asignadas

mantiene en una temperatura alta a lo largo del año, aún en sus meses menos insatisfactorios.

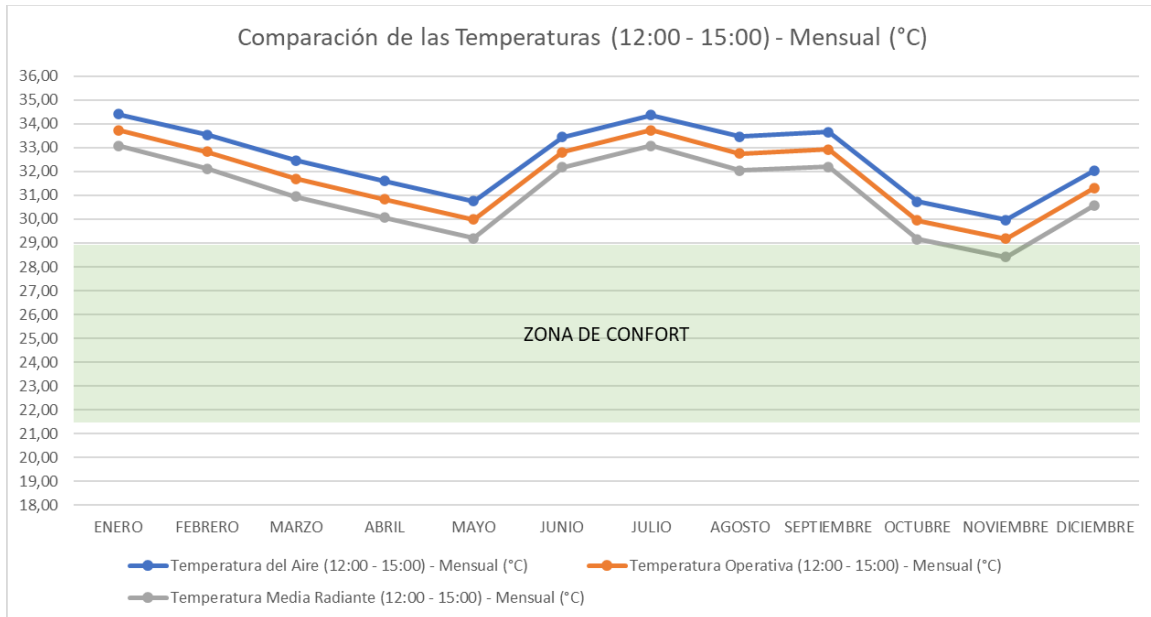


Figura 56: Gráfico de las temperaturas promedio mensual entre las 12:00 y 15:00 a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).

En cuanto a *Hr*, muestra una relación inversamente proporcional a la temperatura, donde los meses más calurosos presentan menor porcentaje de humedad, llegando cerca al 55%, durante los meses de menor temperatura, aumenta el porcentaje de humedad hasta cerca del 74% en los meses de mayo y noviembre.

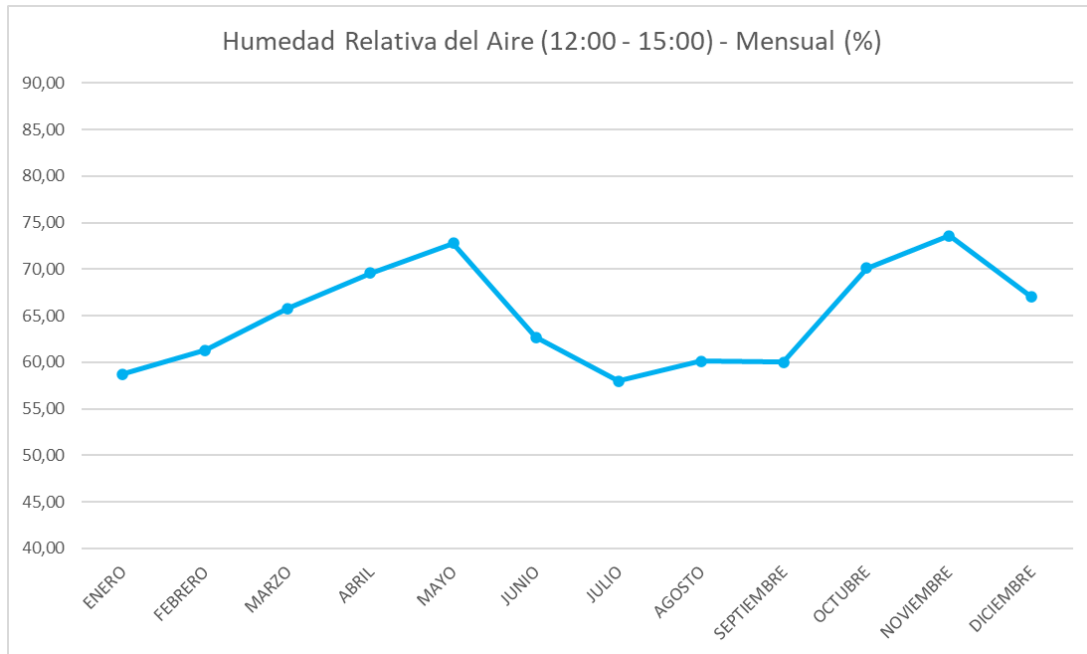


Figura 57: Gráfico de Hr mensual entre las 12:00 y 15:00 a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).

De acuerdo con lo observado, los materiales propuestos por la UNGRD son de resistencia térmica muy baja, lo que genera constantemente insatisfacción térmica a lo largo del día y el año (temperaturas bajas en la noche y madrugada, y temperaturas altas en la tarde).

Siguiendo la evaluación PMV, apoyado en la herramienta CBE Thermal Comfort Tool de la Universidad de California Berkeley (<https://comfort.cbe.berkeley.edu/>) mostrado en la Figura 58, fueron asignados los datos arrojados por la simulación para evaluar el confort térmico de LB, partiendo de los resultados correspondientes a las 13:00 horas que es el momento que presenta las temperaturas más altas. La herramienta presenta la opción de evaluar bajo los parámetros de ASHRAE Standard 55-2020 y EN-16798, teniendo en cuenta la presión atmosférica del contexto que es 89,00kPa, y tras incluir los

datos de *Top* (32,37°C), velocidad del aire (0,8m/s que ha sido establecido al promediar los valores más frecuentes de la velocidad del viento en el sitio de implantación, que está entre 0,4 y 1,2m/s), *Hr* (62,88%), tasa metabólica (1,0met que corresponde a la cantidad de energía que consumiría una persona sentada y en reposo) y nivel de ropa (0.5clo que corresponde a la ropa de verano en espacios interiores), la herramienta muestra que bajo los parámetros de ASHRAE Standard 55-2020, su valor PMV (con el método de velocidad del aire elevada) es de 1,34 y su PPD (con el mismo método) es de 43% generando una sensación “ligeramente cálida”, saliendo de la zona de confort térmico establecida bajo esta norma.

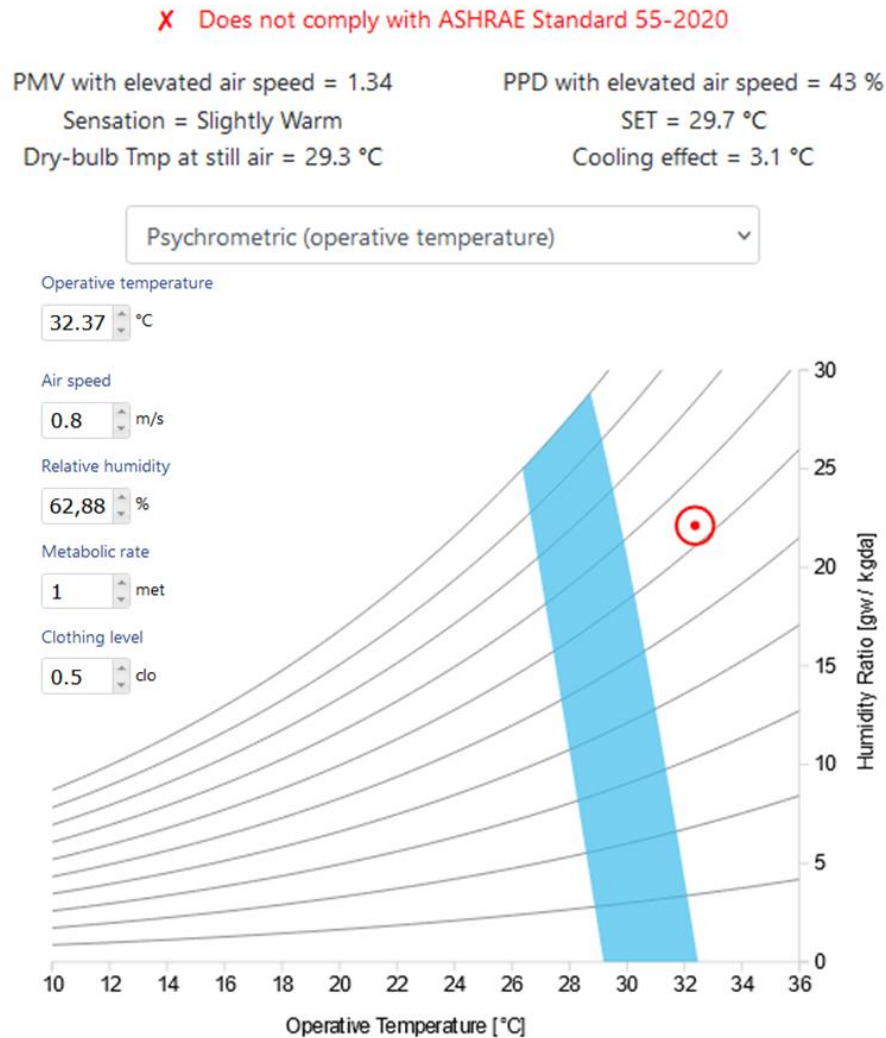


Figura 58: Evaluación PMV de confort térmico para LB a partir Top bajo los parámetros de ASHRAE Standard 55-2020, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).

Al introducir los mismos datos bajo los parámetros de EN-16798, mostrado en la Figura 59, que es más restrictivo en cuanto a sus niveles de confort térmico, el valor PMV es de 2,35 y el valor PPD es de 90%, ubicado en la categoría IV, que indica estar fuera de la calidad aceptable del ambiente al interior del espacio.

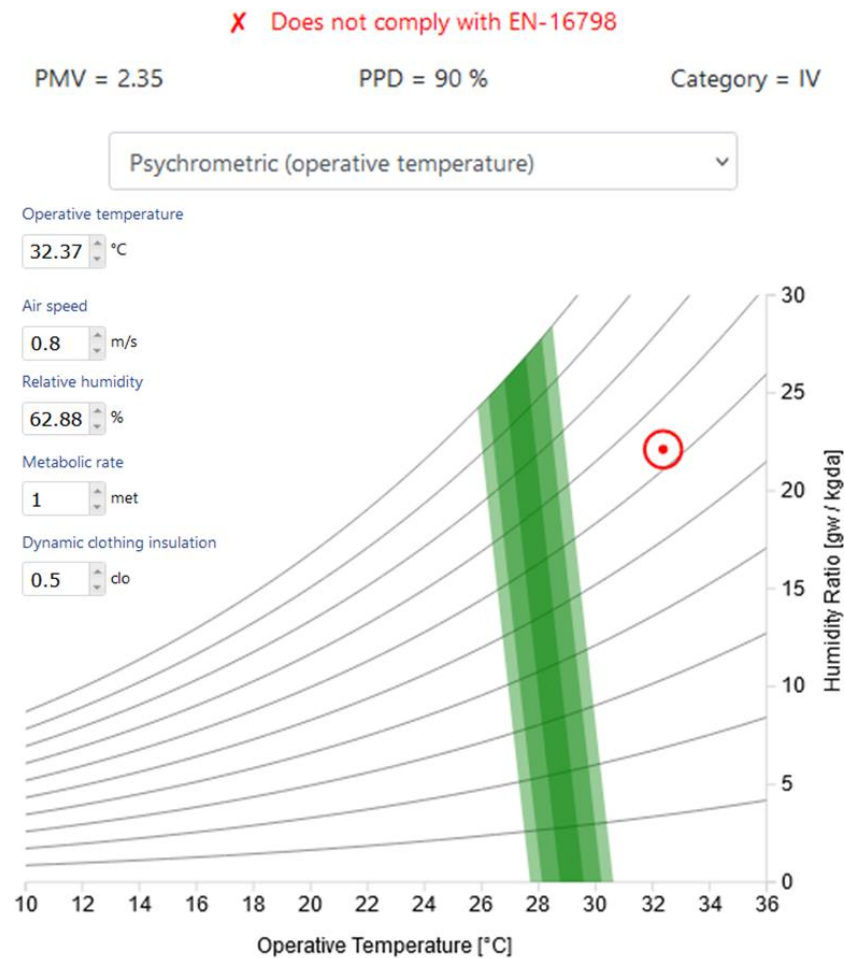


Figura 59: Evaluación PMV de confort térmico para LB a partir de *Top* bajo los parámetros de EN-16798, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).

Para contrastar información, con la misma herramienta y método, y retomando los parámetros de ASHRAE Standard 55-2020, fue realizada la evaluación con el método Fanger, a partir de *Tair* (33,17°C) y *Tmr* (31,58°C), dejando de lado *Top*, los demás datos fueron introducidos con los mismos valores. Esto generó un resultado con el método de velocidad del aire elevada de PMV de 1,48 y PPD de 50% generando también una sensación “ligeramente cálida” y quedando por fuera de la zona de confort térmico. Pese a

que ambos resultados (Adaptativo vs. Fanger) enseñan que la línea base no llega a confort térmico, no coinciden en sus valores de PMV y PPD, obteniendo una diferencia en valores de 0,14 y 7% respectivamente, mostrando ser más insatisfactorio bajo esta medición.

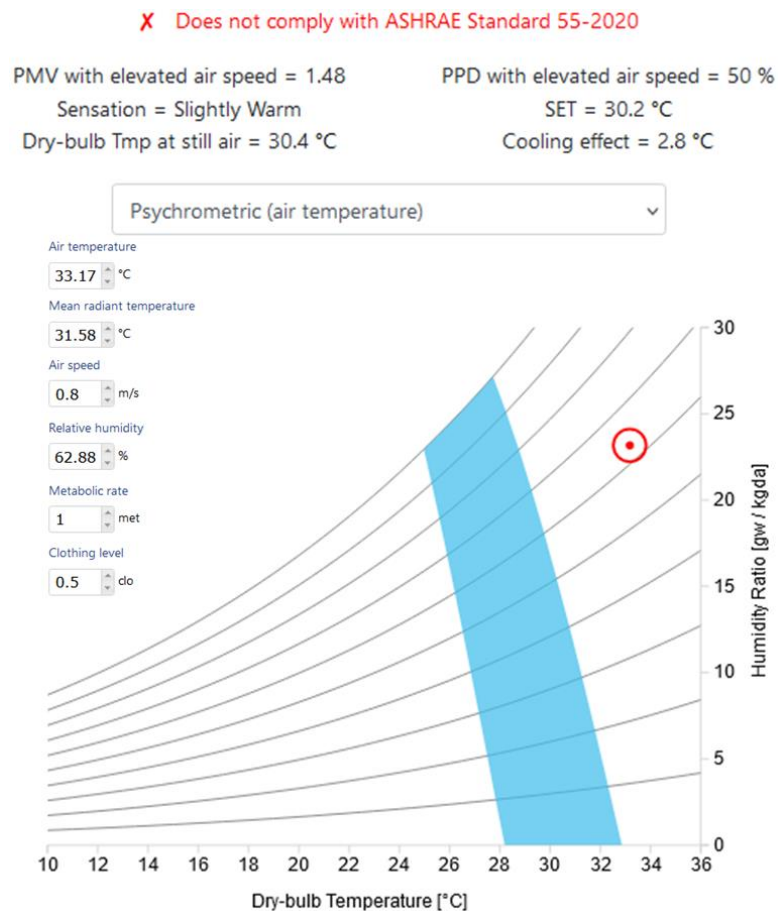


Figura 60: Evaluación PMV de confort térmico para LB desde el método Fanger (T_{air} y T_{mr}) bajo los parámetros de ASHRAE Standard 55-2020, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).

Al asignar los mismos datos bajo los parámetros de EN-16798, su valor resultante de PMV, mostrado en la Figura 61, es de 2,55 y de PPD es de 94%, ubicado también en la categoría IV. Esta nueva evaluación presenta también diferencias como en el caso anterior con su PMV y PPD de 0,20 y 4% respectivamente.

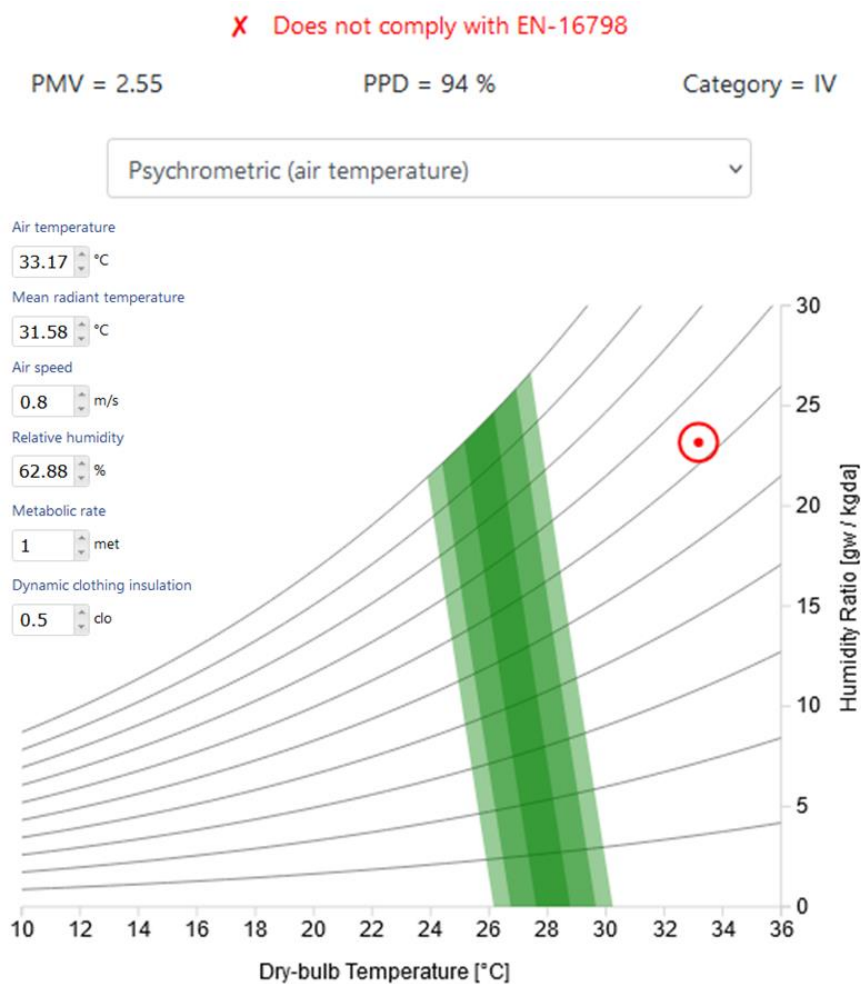


Figura 61: Evaluación PMV de confort térmico para LB desde el método Fanger (T_{air} y T_{mr}) bajo los parámetros de EN-16798, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).

Tanto por el método adaptativo, como por el método Fanger (tanto bajo los parámetros de ASHRAE Standard 55-2020 como EN-16798), la materialidad de la línea base presenta una respuesta térmica alejada del confort a las 13:00 horas, que de acuerdo a la simulación realizada en OpenStudio, es el momento más crítico del día en cuanto a temperaturas altas en la vivienda de emergencia en clima ecuatorial cálido.

10.CASO DE ESTUDIO

10.1.Diseño previo de modelo espacial y volumétrico de la vivienda de emergencia

Pará poder cumplir a cabalidad con las fases del marco metodológico, y probar el cumplimiento de los fines propuestos, cada producto será desarrollado sobre un modelo de vivienda de emergencia diseñado por el autor, de acuerdo a los estándares indicados por Cubillos-Gonzalez, et al (2014) en cuanto a los requerimientos de habitabilidad en una vivienda, teniendo en cuenta principalmente los criterios de flexibilidad y crecimiento espacial. Para ello será también tenidos en cuenta los parámetros del concurso público *Call for Entries: Emergency Housing Mexico* organizado por Archstorming y TECHO (2019), que propone el diseño de un módulo básico de vivienda de emergencia con un área de entre 18 y 20m² con posibilidad de crecimiento progresivo al adherir más módulos espaciales, donde fue revisado principalmente su proyecto ganador, PIXEL.

Partiendo de estas bases, y como rápido ejercicio proyectual para el real interés de poner a prueba los objetivos de esta investigación, es propuesta una vivienda organizada en módulos espaciales cuyas dimensiones específicas serán definidas durante el desarrollo de las fases metodológicas, cada módulo espacial estará dedicado a un uso (por ejemplo, un módulo para alcoba, otro para sala/comedor, otro para servicios, etc.), estos pueden ser combinados para armar prototipos de vivienda de varios tamaños que cumplan con las necesidades espaciales de los ocupantes.

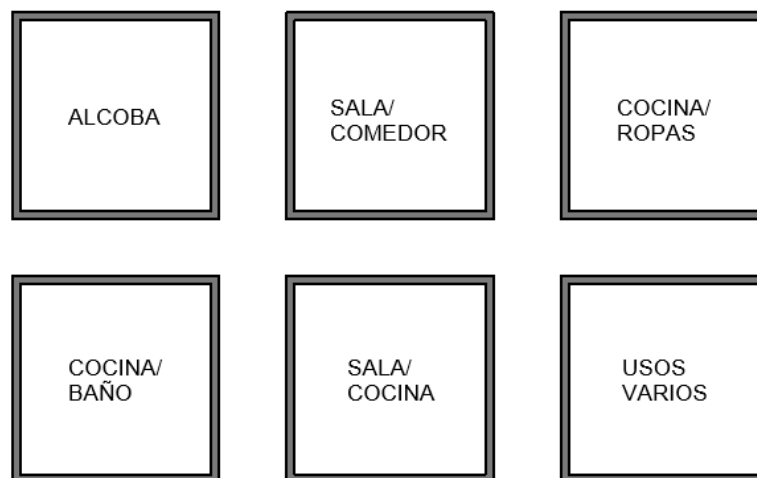


Figura 62: Esquema de módulos espaciales y ejemplos de posibles usos para viviendas de emergencia, elaboración propia, (2020).

Para este ejercicio, se tomarán tres módulos espaciales para alojar a una familia de cuatro personas, donde el primer módulo será una alcoba con dos camarotes, el segundo será una sala con comedor, que comprenderá también el acceso principal a la vivienda, y el tercero será una cocina con baño; esto conformará una unidad de vivienda que cumpla con las necesidades espaciales básicas en el estado de la emergencia.

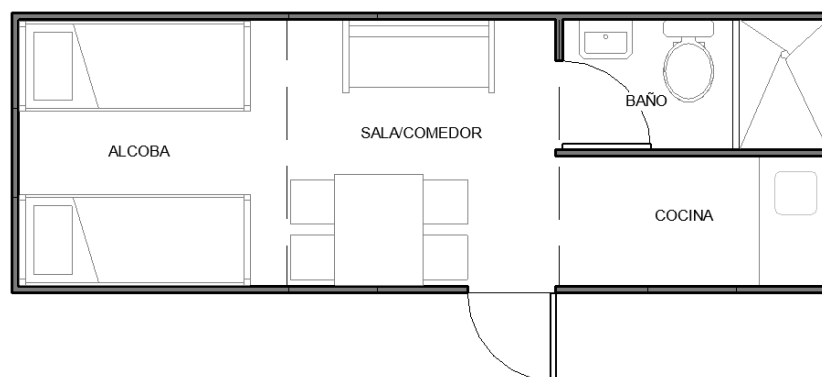


Figura 63: Esquema de distribución espacial del modelo de vivienda de emergencia, elaboración propia, (2020).

En cuanto al diseño básico en vertical y volumétrico, se propone una altura de muro igual a la dimensión de longitud interior en planta, resultando en un módulo cúbico. Sobre los muros se ubican rejillas de ventilación como sistema básico de extracción de aire caliente, finalmente, remata en una cubierta con pendiente de 8,75% (5 grados) de un agua.

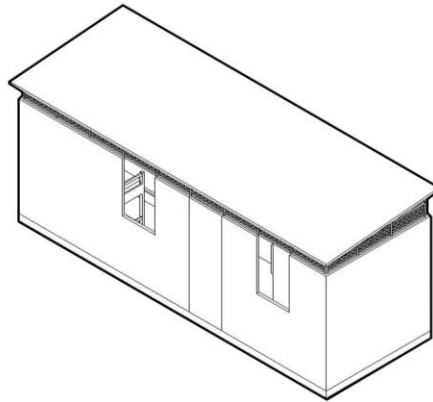


Figura 64: Esquema volumétrico del modelo de vivienda de emergencia, elaboración propia, (2020).

La panelización de la envoltura estaría compuesta por la misma cantidad de tres paneles en cada uno de sus extremos, siguiendo la intención de la forma cuadrada intercambiable del módulo en su vista en planta, esto también con el fin de poder reemplazar un módulo para uso de puertas o ventanas, dando la posibilidad de ubicar estos elementos según la conveniencia de quien habite la vivienda.

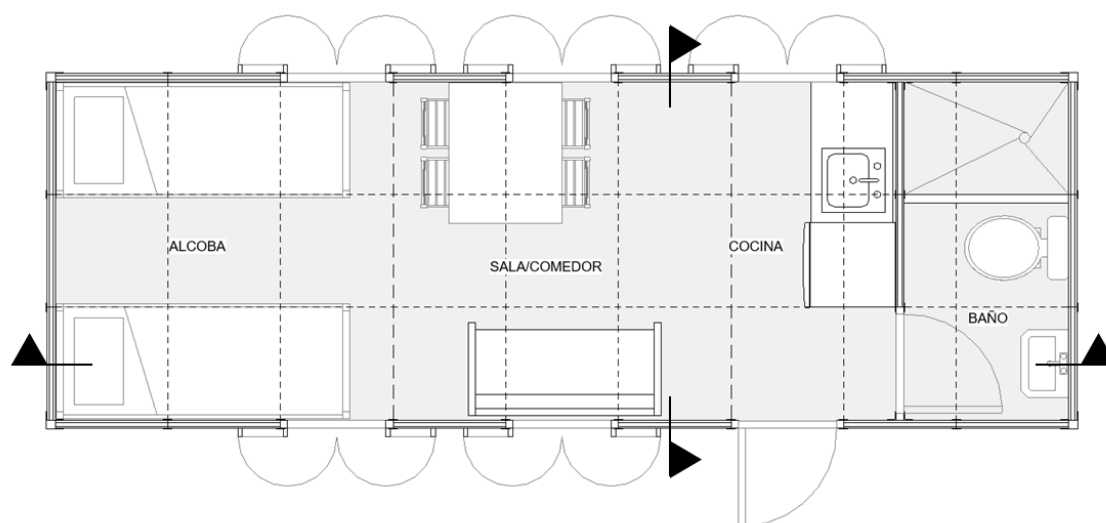
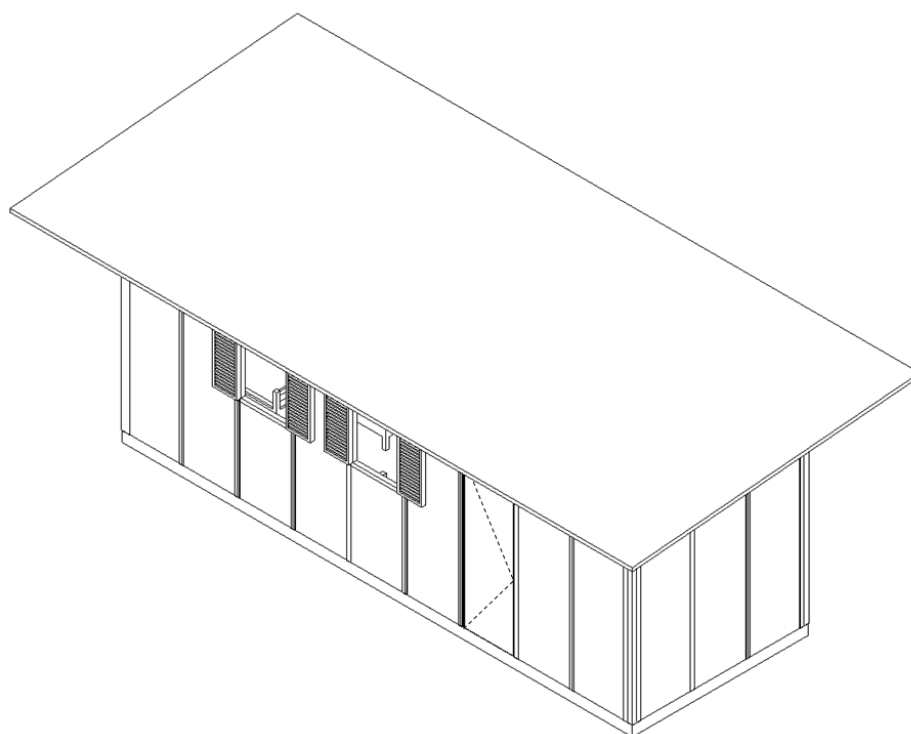
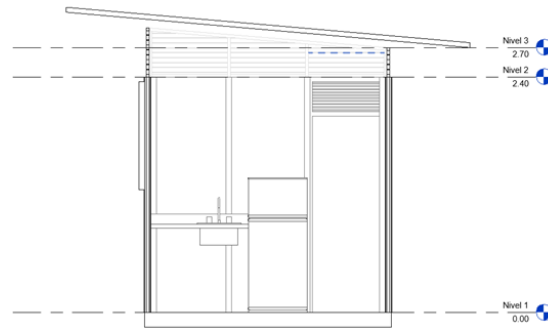
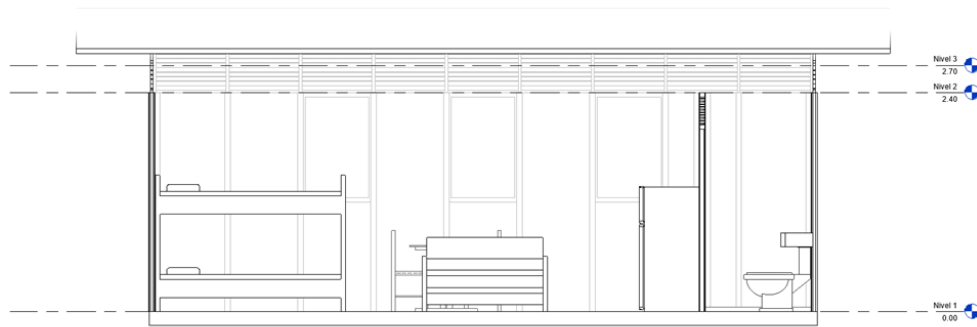
**PLANTA****VOLUMETRÍA**

Figura 65: Vista en planta y en volumetría del modelo panelizado propuesto de vivienda de emergencia, elaboración propia, (2020).

En sentido vertical, se manejarán dos paneles alargados, y para generar una apertura de ventanas, es tomado el módulo superior, donde es reemplazado un panel para poder ubicar el elemento que puede ser abierto y cerrado a voluntad del usuario, con la función adicional de brindar protección solar.



CORTE TRANSVERSAL



CORTE LONGITUDINAL

Figura 66: Secciones del modelo propuesto de vivienda de emergencia, elaboración propia, (2020).

Siempre se mantendrá el criterio de la modularidad en fachadas, donde cualquiera de sus elementos puedan ser reemplazados por otros paneles, puertas o ventanas, o removidos para generar una ampliación bajo este mismo criterio.

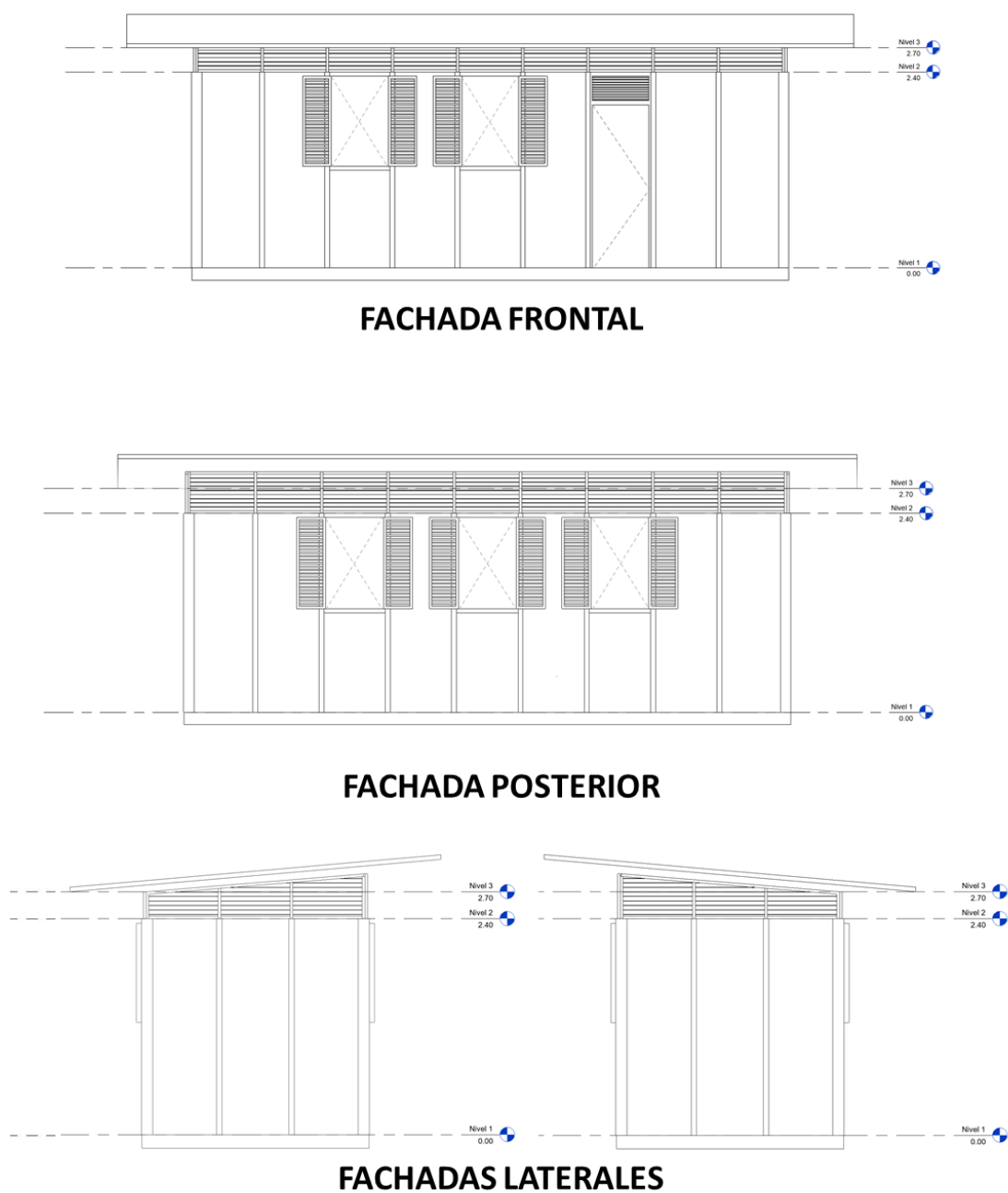


Figura 67: *Vistas en fachada del modelo de vivienda de emergencia, elaboración propia, (2020).*

11.SISTEMA DE PANELES MODULARES

11.1.Análisis y dimensionamiento del sistema de modulación para emplear en los paneles prefabricados

El libro de Neufert (2013) hace una revisión a las proporciones del ser humano, sus posiciones y actividades como determinantes para el diseño de los espacios en un edificio, basado en los estudios realizados por A. Zeising sobre las proporciones del cuerpo, el libro determina unas dimensiones para las diferentes posturas cotidianas del ser humano, estableciendo una estatura promedio de 1,75m en una persona puesta de pie, con un ancho de 0,875m cuando la persona tiene sus codos flexionados hacia los lados, 1,125m cuando tiene el brazo completamente estirado hacia un lado y una dimensión de 0,875 de profundidad cuando la misma extiende el brazo hacia el frente. La medida longitud necesaria para un ser humano acostado es de 2,00m (Figura 68).

Para una persona de pie, es necesario como mínimo a sus costados un espacio entre muros de 0,625m, y para una persona con equipaje en mano, la medida mínima es de 0,800m, para el caso de dos personas juntas hombro a hombro, la medida sugerida mínima es de 1,150m (Figura 69).

Estas medidas y otras más contempladas en la fuente consultada (Neufert, 2013), son el punto de partida para diseñar la modulación del sistema de construcción, el siguiente paso será el de comprender las dimensiones de los espacios domésticos a partir de las proporciones de la escala humana, y así determinar una medida estándar para la construcción de los espacios.

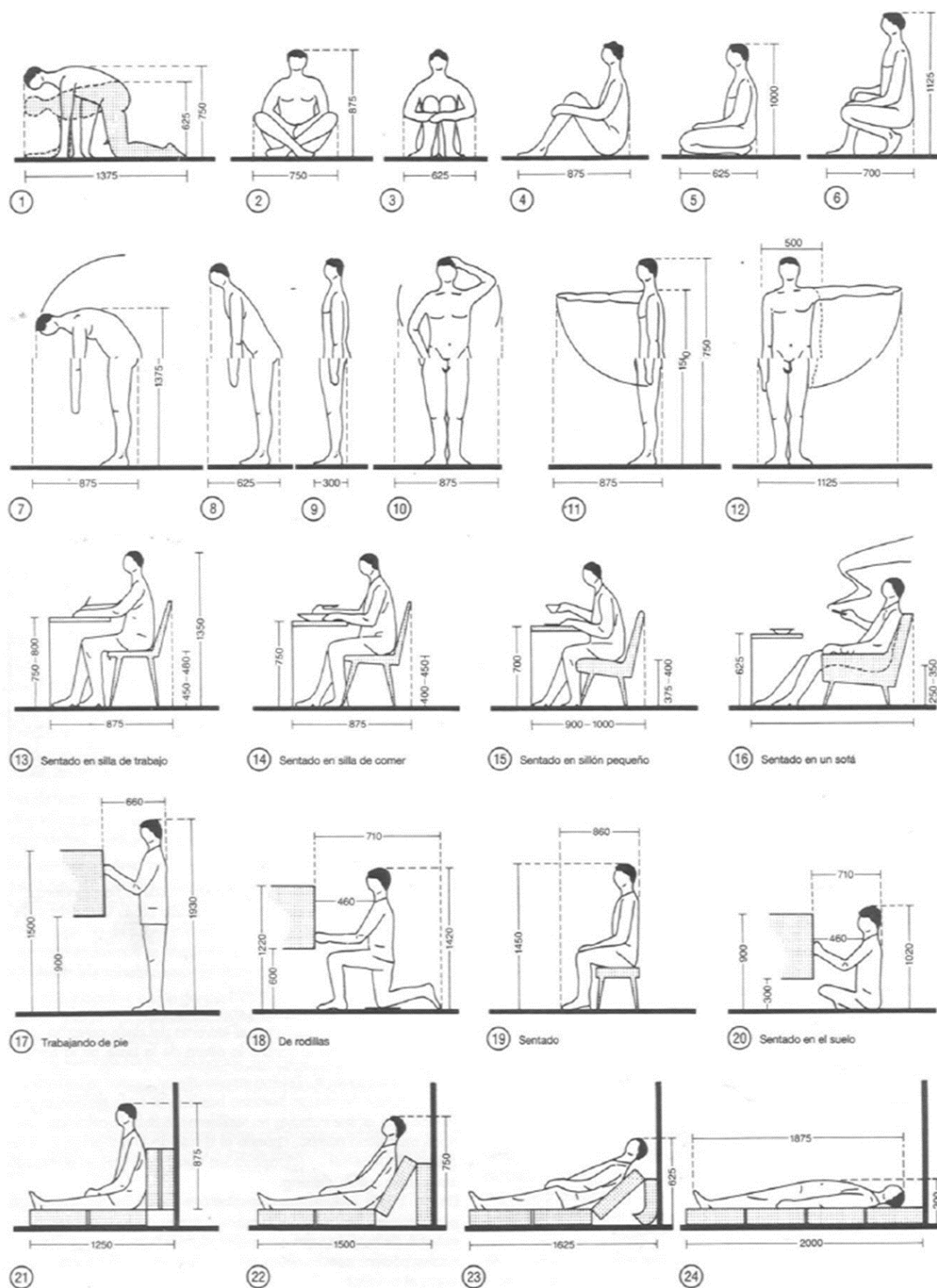
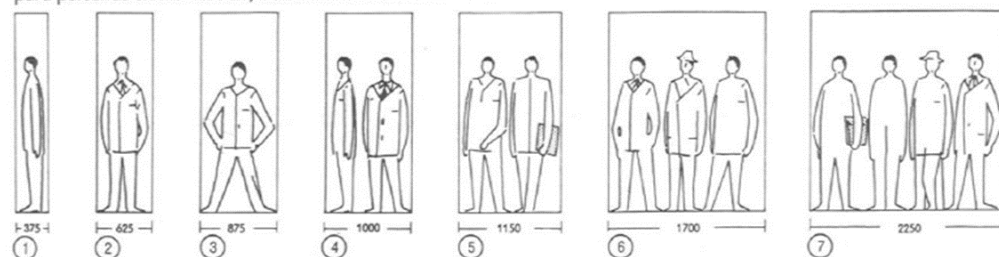
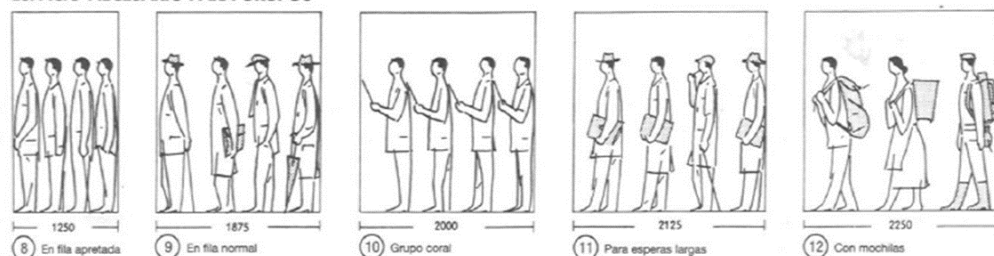
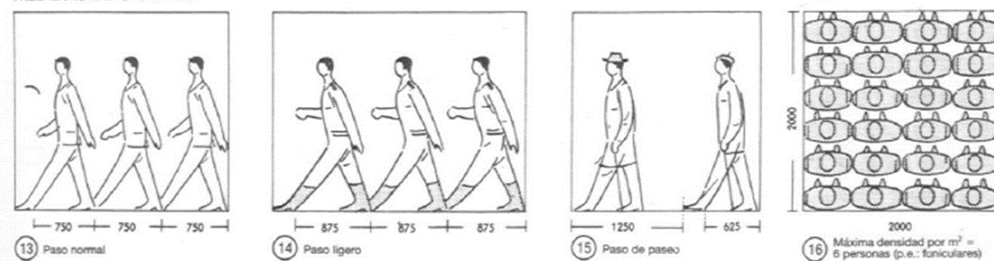
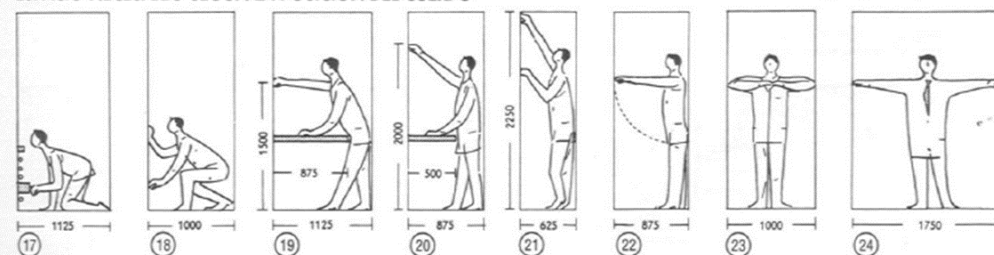
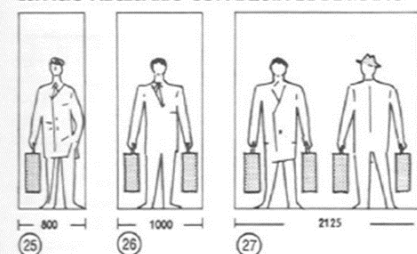
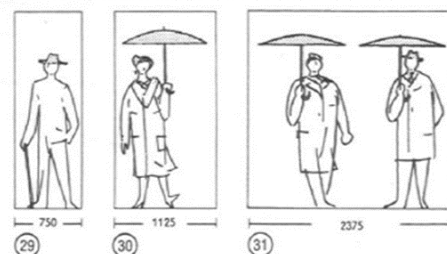


Figura 68: Dimensiones del ser humano y sus posiciones, Neufert (2013).

ESPACIO NECESARIO ENTRE PAREDESpara personas en movimiento, aumentar la anchura $\geq 10\%$ **ESPACIO NECESARIO PARA GRUPOS****MEDIDAS DE UN PASO****ESPACIO NECESARIO SEGÚN LA POSICIÓN DEL CUERPO****ESPACIO NECESARIO CON EQUIPAJE DE MANO****ESPACIO NECESARIO CON BASTÓN Y PARAGUAS****Figura 69:** Espacios necesarios para posturas básicas, Neufert (2013).

De acuerdo a lo revisado en cuanto a las dimensiones que ocupa una persona en el espacio, las dimensiones seleccionadas para el módulo espacial, los cuales también rigen el dimensionamiento del sistema de paneles prefabricados, son de 0,80x0.80m, esto permite que la unión de dos o más de estos módulos puedan generar espacios funcionales.

Esta dimensión es suficiente para tener un ancho de circulación mínima, por lo que una secuencia de módulos en su longitud sirve como recorrido, también es el ancho suficiente para ubicar una puerta o una ventana.

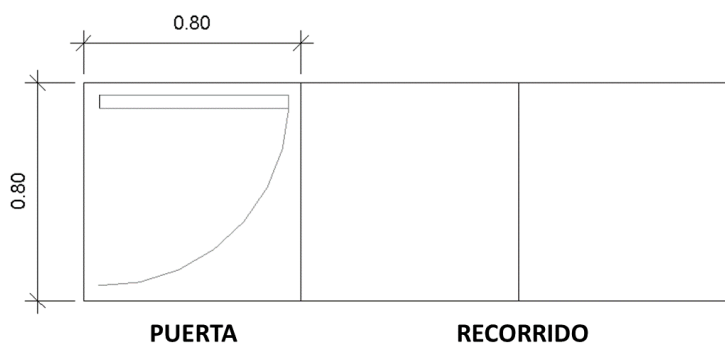


Figura 70: Módulo espacial de 0,80x0x80m que abarca el espacio de una puerta y puede generar recorridos al ser unido con otros, elaboración propia (2020).

Un módulo también es útil para tener un espacio mínimo de inodoro o ducha, por lo que con seis módulos organizados en tres de longitud por dos de ancho (2,40x1,60m), es posible tener un baño completo o una cocina.

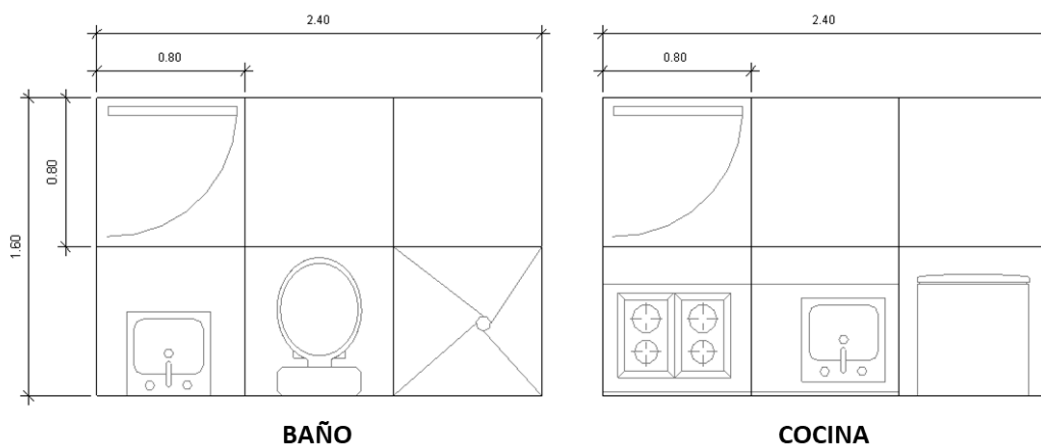


Figura 71: Unión de módulos para generar espacios de servicios con circulación, elaboración propia (2020).

Con tres módulos en su longitud y tres en su ancho (para un total de nueve módulos) puede ser generado un espacio de estancia (2,40x2,40m) como una sala o una alcoba, incluso puede llevar una división en la mitad para tener dos espacios de servicios como un baño y una cocina (1,20x2,40m).

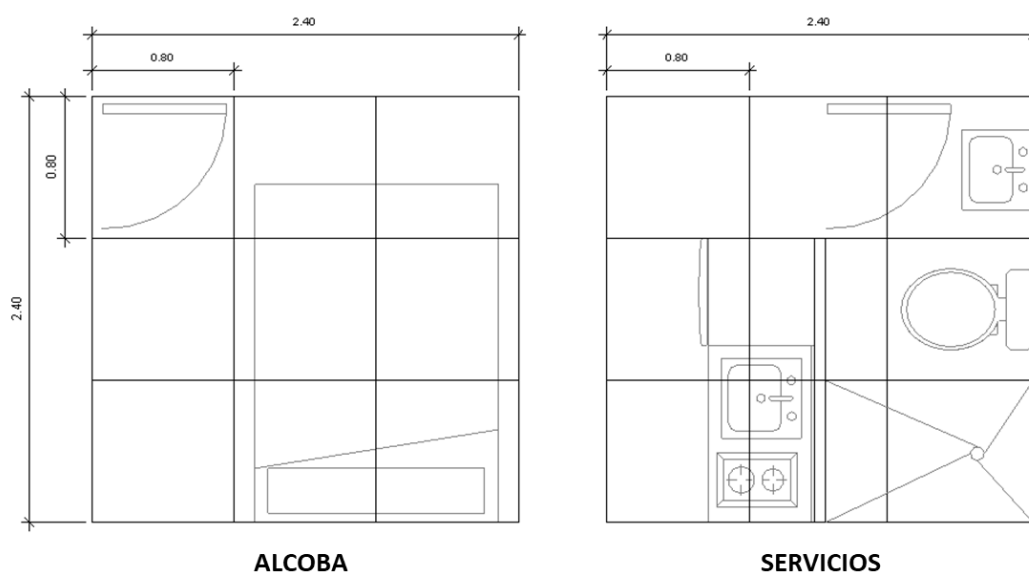


Figura 72: Generación de espacios de permanencia y áreas de servicios a partir de la unión tres por tres módulos (2,40x2,40m), elaboración propia (2020).

Tomando esta misma modulación también en altura, y organizándolo tal como fue mostrado en el último ejemplo, es obtenido un módulo de espacio funcional en tres dimensiones (2,40x2,40x2,40m), esto también ayudará a determinar la altura de los paneles prefabricados, teniendo en cuenta que su dimensionamiento debe permitir la mayor facilidad posible para manipular los elementos y ensamblar la vivienda, por lo tanto, para evitar tener una excesiva cantidad de elementos por vivienda, la altura del panel corresponderá a la misma altura total del módulo, obteniendo 0,80x2,40m como medidas finales de los paneles, ajustándose así a la modulación espacial propuesta para las viviendas de emergencia.

11.2.Diseño de paneles y accesorios modulares del sistema

Tras la definición de la modulación de los paneles prefabricados, a partir del dimensionamiento espacial, los diseños de los elementos modulares del sistema fueron realizados a partir de esa lógica, siempre en miras de la flexibilidad y adaptabilidad bajo sus reglas espaciales y constructivas.

El diseño de los paneles, ha sido modulado siguiendo las dimensiones de 0,80 x 2,40m instalados, el módulo base del sistema, esto permitirá una mayor facilidad en cuanto a la manipulación y transporte del material, también permitirá que puedan ser reemplazados por otro panel en caso de avería, ser reemplazado por una puerta o ser sustraído para dar paso a una circulación.

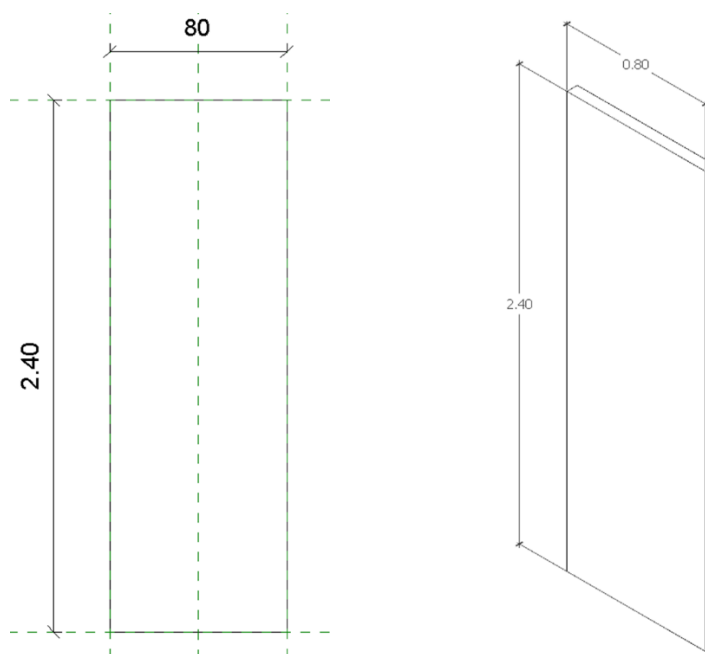


Figura 73: *Diseño modular básico del panel prefabricado, elaboración propia (2020).*

Es diseñado también el módulo de panel con dimensiones de 0,80 x 1,20m, este medio módulo permitirá la ubicación de ventanas o funcionar de antepecho. Estos dos modelos de paneles lograrían así, la posibilidad de armar un juego personalizado de aperturas, cerramientos, ampliaciones y divisiones en la vivienda.

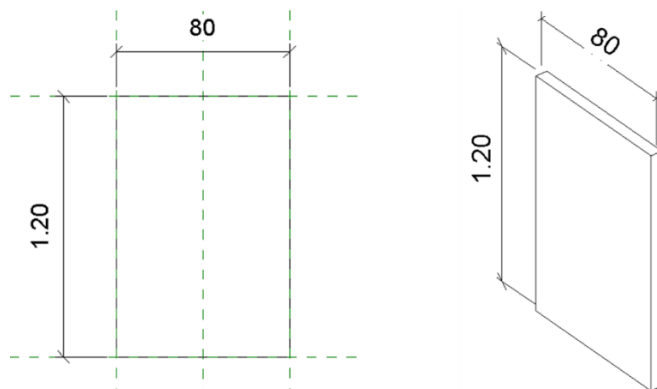


Figura 74: *Diseño modular recortado del panel prefabricado, elaboración propia (2020).*

El siguiente elemento en diseñar dentro del sistema, fue la puerta, este elemento abarca la altura de dos módulos de panel, lo que representa una altura total de 2,40m y manteniendo los 0,80m en su modulación horizontal, los cuales 2,00m son usados como puerta abatible y 40cm como rejilla que permite la entrada de aire y luz al espacio. Dentro de estas dimensiones, han sido tomados 5cm para los marcos, teniendo un ancho útil de puerta de 0,70m y 30cm de altura para el desarrollo de la rejilla de ventilación, este elemento reemplazaría a dos paneles en altura.

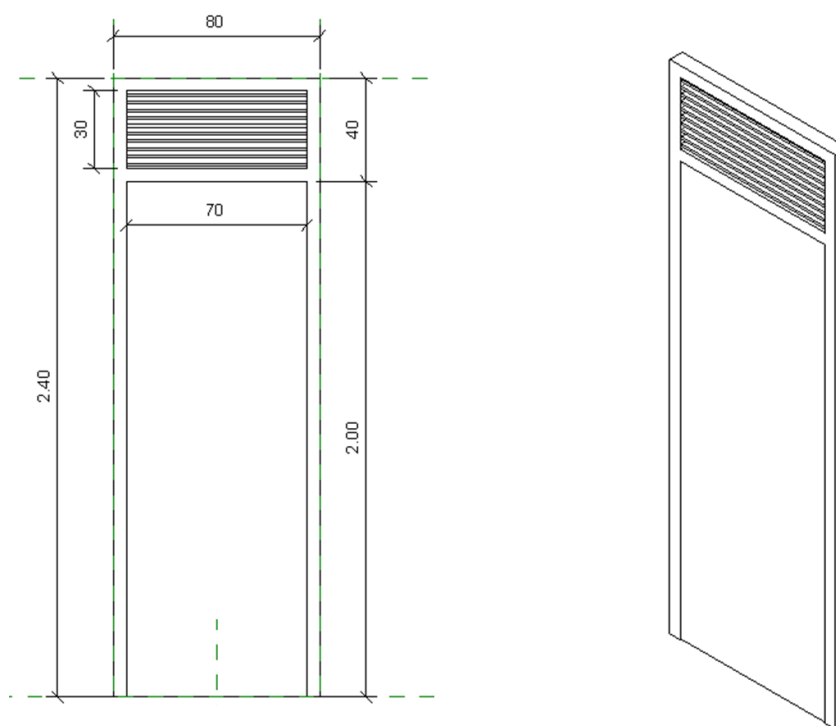


Figura 75: *Diseño de módulo de puerta para el sistema prefabricado, elaboración propia (2020).*

En cuanto al diseño de la ventana, fue pensado sin vidrios (por temas de costos y portabilidad), pero con elementos apersianados que cumplen la función de protección solar, tanto si la ventana está cerrada o abierta, su sistema de apertura es abatible de dos naves,

lo que permite convertir la ventana en un quiebrasol vertical que apoya a la protección de la radiación directa. Las dimensiones de la ventana son las mismas del medio panel modular ($0,80 \times 1,20\text{m}$), lo que permite ser adaptado en cualquier parte de la vivienda y así generar iluminación y ventilación en el espacio deseado.

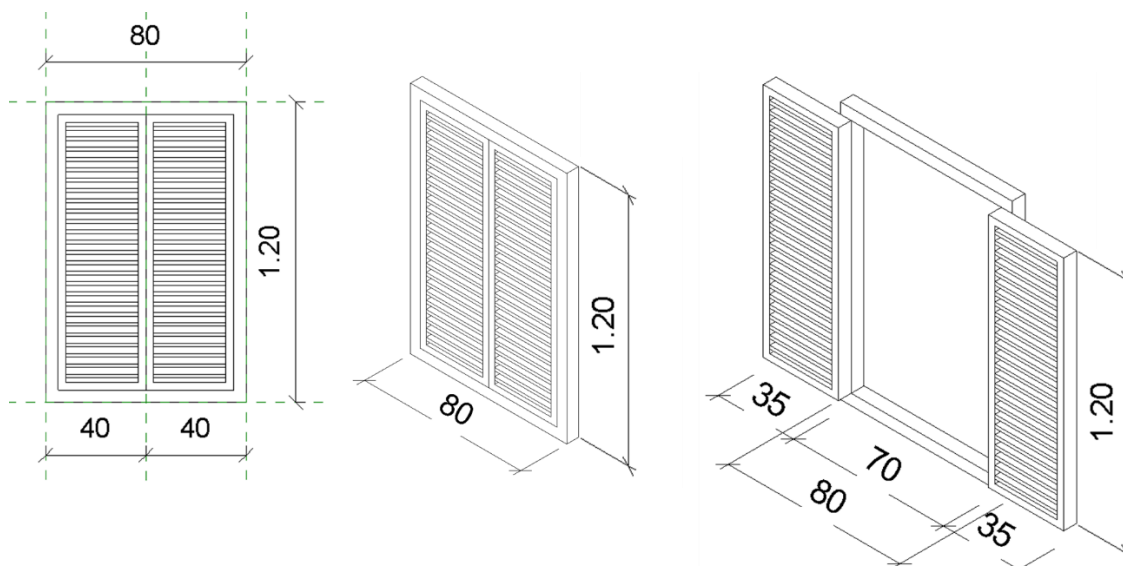


Figura 76: Diseño de módulo de ventana con quiebrasol para el sistema prefabricado, elaboración propia (2020).

Como remate de los paneles, y previo a la cubierta, fueron diseñados para manejar dos lados principales de la vivienda: la parte alta de la pendiente, que posee 0,50m de altura, y la parte baja de la pendiente, que posee 0,30m de altura; cada uno modulado de acuerdo al ancho de los paneles. Para las fachadas laterales, fueron diseñados de acuerdo a la pendiente, cuya altura va ligada a la cantidad de paneles que conforman el espacio, para este caso fueron tres, para dar una altura final de 0,50m. Estos elementos sirven para brindar una entrada y salida de aire en la parte superior de la vivienda, para así ventilar la cubierta

en su interior y garantizar la circulación del aire en todos los espacios, apoyando también con iluminación natural.

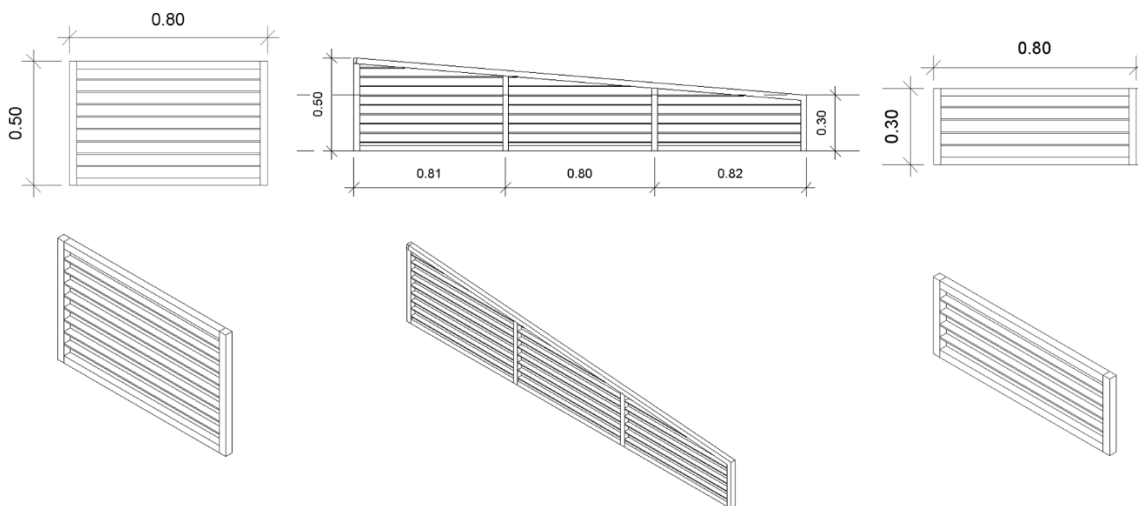


Figura 77: Diseño de módulos de persiana para el sistema prefabricado, elaboración propia (2020).

En la siguiente tabla está registrado el resumen de los elementos que conforman el sistema prefabricado modular para la construcción de la vivienda de emergencia a evaluar.

Elemento	Ancho (m)	Alto (m)
Panel de cerramiento	0,80	2,40
Panel de cerramiento (medio módulo)	0,80	1,20
Puerta con montante apersianado	0,80	2,40
Ventana pivotante apersianada	0,80	1,20
Persiana superior	0,80 – 2,40	0,30 – 0,50

Figura 78: Elementos modulares del sistema de cerramiento para viviendas de emergencia, elaboración propia, (2020).

12.SISTEMA DE ENSAMBLAJE EN SECO

12.1.Análisis y diseño de los elementos del sistema de ensamblaje y sellado en seco

Durante el estado de emergencia, la pronta respuesta es determinante, especialmente en la solución habitacional. Es por eso que esta estrategia inicia con el análisis de los sistemas de ensamblaje en seco, que son los sistemas que requieren menor tiempo para construir y cerrar un espacio, así que es tenido en cuenta lo escrito por González (1985) para seleccionar el ensamblaje más adecuado para el sistema de paneles prefabricados propuesto.

De acuerdo a González (1985), los sistemas de ensamblaje, en cuanto al aspecto de su orden y tecnología, procura señalar la importancia de estos términos cuando se trata de ordenes abiertos (flexibles) y su construcción (tecnología actual). Cuando menciona la construcción flexible, hace referencia a una prefabricación abierta, manejable y modificable por el usuario que posibilita la autoconstrucción. Por lo tanto, “el orden en el espacio, su construcción, y sus ensambles, nos llevaría a la cualificación de sus piezas, a partir de la cualificación del sistema:

- Sistemas espaciales desmontables y manejables.
- Sistemas constructivos desmontables y manejables.
- Piezas desmontables y manejables.”

También explica, entre otras cosas, los procedimientos de fijación de paneles de cerramiento en la construcción ligera, indicando que los elementos fundamentales para fijar un panel de cerramiento son la base y el apriete, y los elementos de sellado son la guarnición de estanqueidad y el tapajuntas; conocidos estos elementos, explica los

mecanismos fundamentales de fijación, que son por costura (cuando el panel es atravesado por la base o el apriete) o pinzada (cuando los elementos quedan abrazados sin ser atravesados), y estas poseen sus dos variantes, por fijación sencilla (los paneles son independientes) y por fijación doble (los paneles son dependientes).

Partiendo del estudio realizado por Lin, Song & Han (2019) sobre las juntas entre paneles y su infiltración de aire, ha sido escogido el modelo de junta compuesta para la unión de los paneles en sentido horizontal, esto garantiza que se puedan fijar más fácilmente, así como aumenta el camino del flujo del aire, reduciendo así su filtración. La ranura posee 2,00cm de ancho por 2,00cm de altura, por toda la longitud del panel en su cara superior, en la cara inferior posee la lengua con las mismas dimensiones que permite encajar de manera precisa con otro panel o elemento que tenga debajo de sí, este mismo mecanismo de ensamblaje es usado para las puertas y ventanas del sistema.

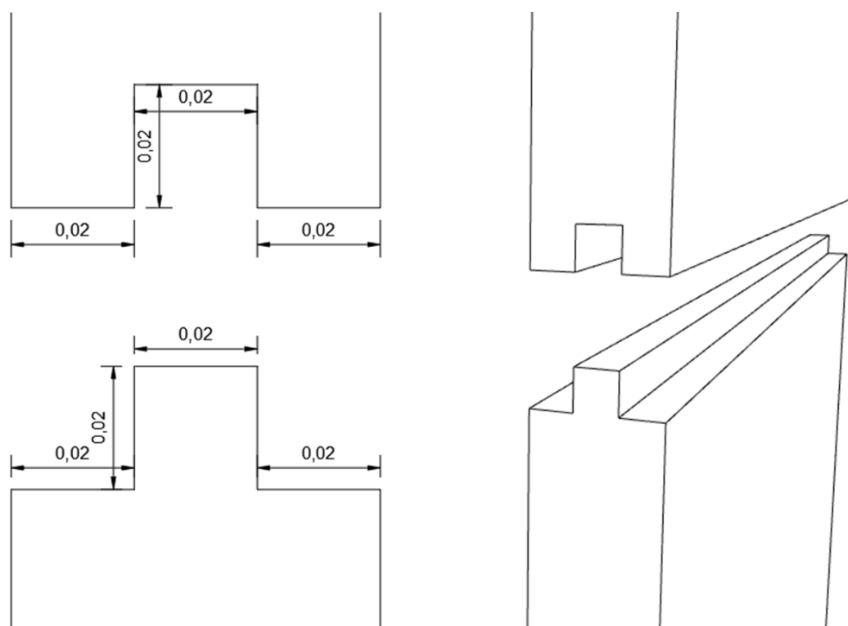


Figura 79: Sistema de junta compuesta (lengua y ranura) para la unión de paneles en sentido horizontal, elaboración propia (2020).

Como base del sistema, los paneles son apoyados sobre un riel cuya longitud es el equivalente a 3 paneles (2,40m). Este riel posee la misma lengua de 2,00cm de ancho por 2,00cm de altura, lo que significa que en este sentido el anclaje es exactamente igual a la junta horizontal entre paneles, su longitud permite que sea más sencillo arrastrar los paneles una vez son instalados.

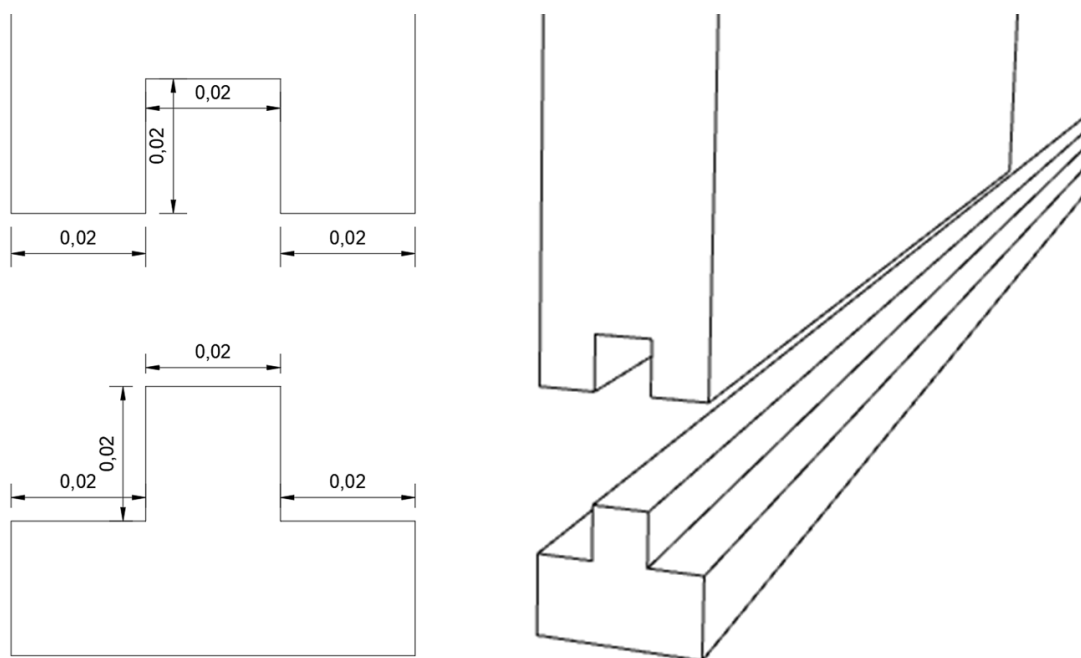


Figura 80: Sistema de junta compuesta (lengua y ranura) para la unión de panel y riel inferior de los muros, elaboración propia (2020).

Como remate superior, manejando el mismo sistema de junta compuesta, es ubicado un riel con 2,40m de longitud sobre el último elemento modular; en este riel, a diferencia del inferior, su junta es de ranura, siguiendo la lógica del orden en el sistema, permitiendo así el sellado horizontal de este remate.

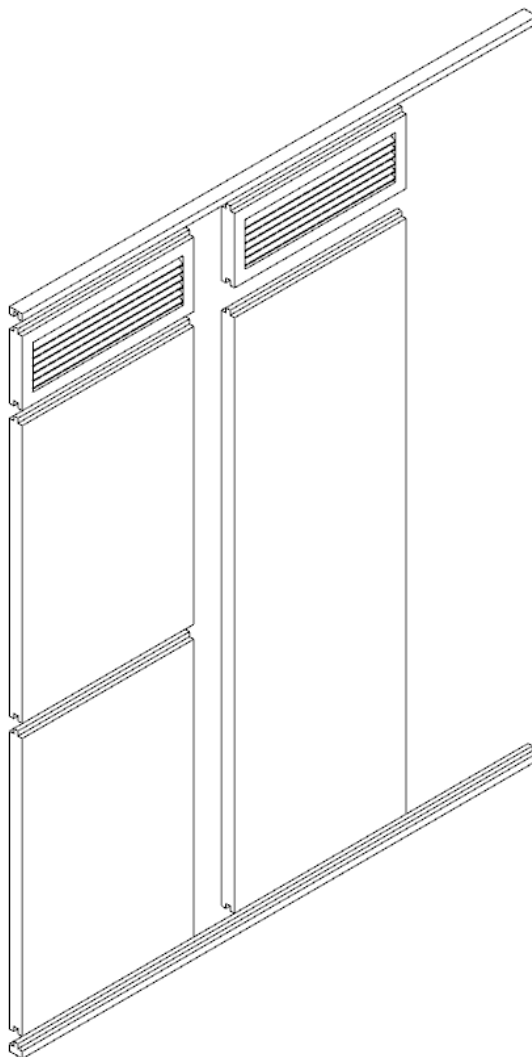


Figura 81: Sistema de junta compuesta (lengua y ranura) para la unión de panel y riel superior de los muros, elaboración propia (2020).

Para las juntas verticales entre los paneles, para lograr la fijación de estos elementos en su sitio, fue tenido en cuenta lo realizado por Ban (2013), que consta de unir dos parales con 6,00cm de ancho y 0,50cm de espesor en las juntas por ambas caras de los muros por medio de tornillería, de tal manera que, al deseo de reemplazar o sustraer un panel, solo requiere retirar los parales que correspondan a ese elemento. Así que estos parales cumplen dos funciones, la primera es sellar las juntas, aumentando también el recorrido del flujo de

aire, reduciendo su filtración, la segunda es otorgar rigidez al muro una vez está instalado en su totalidad, evitando que las juntas generen pliegues por fuerzas producidas por el ambiente, como el viento.

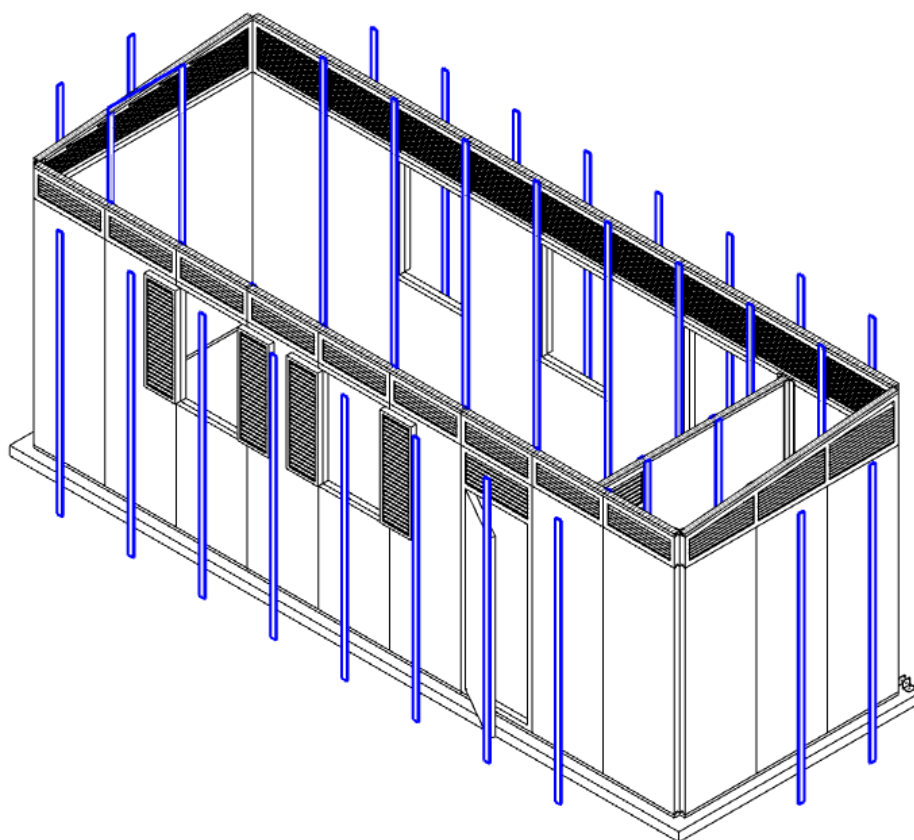


Figura 82: Sistema de junta por parales verticales en ambas caras del muro,
elaboración propia (2020).

Para las esquinas, son propuestos parales más complejos, en el exterior es ubicado un listón con sección de 6,00x6,00cm, cubierto por un paral plegado en ángulo de 90° con 9,50cm cada lado para cubrir el empate entre los dos paneles en las esquinas, en el lado opuesto es ubicado un paral con un plegado similar de 6,00x6,00cm para sellar el interior de la esquina y anclar con su contraparte exterior. Estos son anclados entre sí por medio de tornillos y pernos de 3/8” que permite la fijación vertical del sistema.

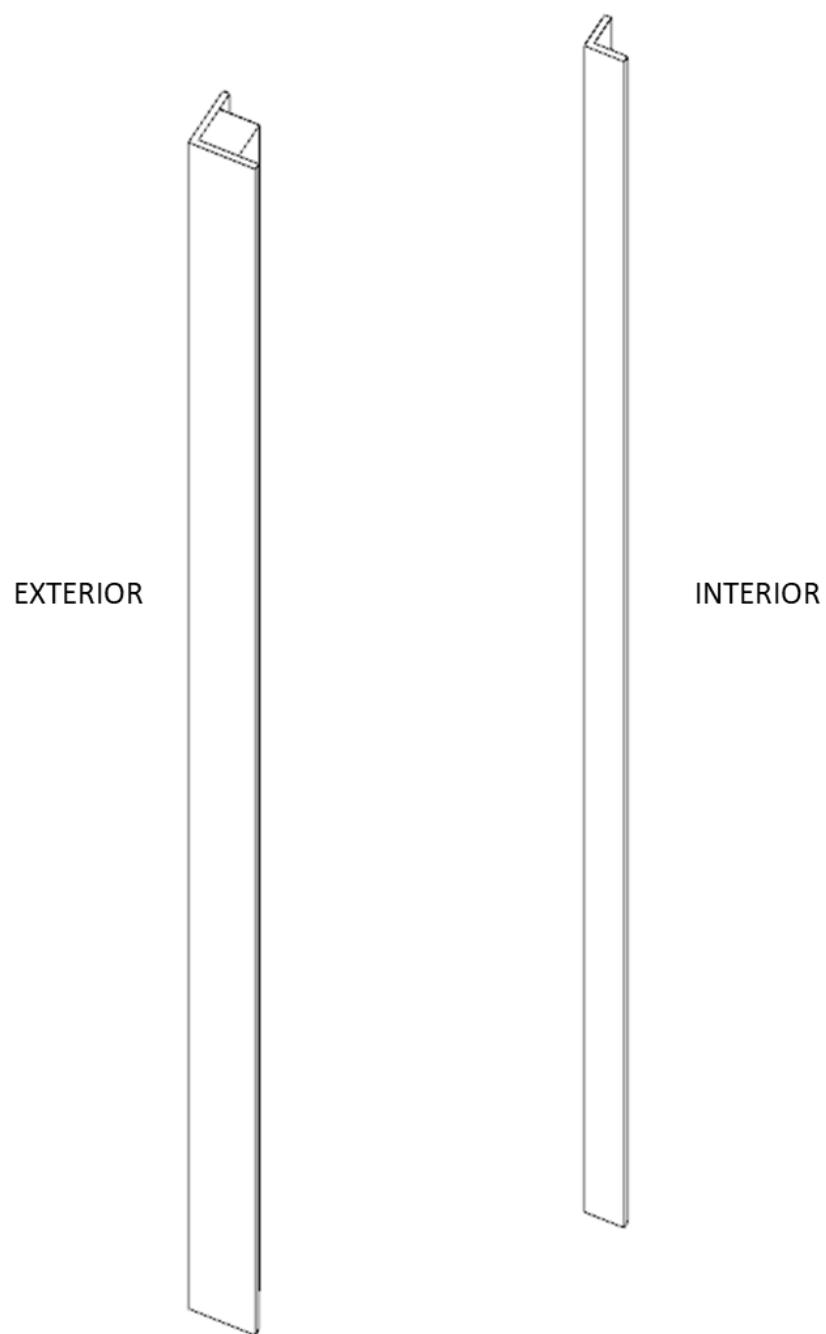


Figura 83: *Parales plegados verticales en ambas caras de las esquinas, elaboración propia (2020).*

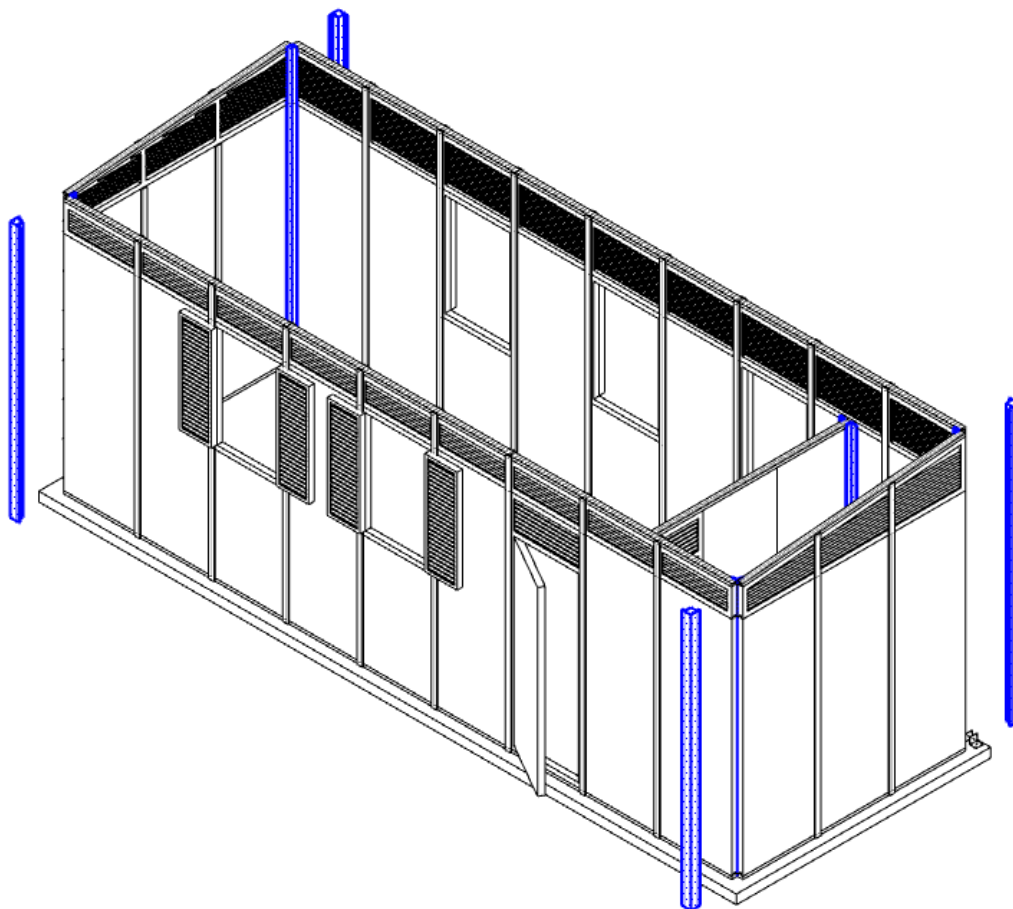


Figura 84: Sistema de junta por parales complejos verticales en ambas caras de las esquinas, elaboración propia (2020).

Para el ejercicio de la construcción de la vivienda de emergencia que ha sido diseñada como caso de estudio, es propuesta una estructura y remate de cubierta que no hacen parte directamente del sistema de cerramiento vertical de esta investigación, pero que ayuda a generar una base más realista sobre la cual se realizarán los estudios pertinentes sobre el modelo. Así que como propuesta de estructura, basado en lo que fue visto en el proyecto ganador del concurso organizado por Archstorming y TECHO México (2019), es implementado un arco estructural de 2,40x2,40m, que funciona como soporte vertical y horizontal de la vivienda, estos arcos deben ser ubicados a los extremos de cada módulo

espacial funcional (2,40m de separación entre ejes), y añadiendo listones que sirven como vigas de amarre entre los arcos en su parte superior, para los aleros, las vigas son extendidas 0,30m en los cuatro extremos de la vivienda. Esta estructura es exterior para no irrumpir con la espacialidad de la vivienda propuesta como caso de estudio.

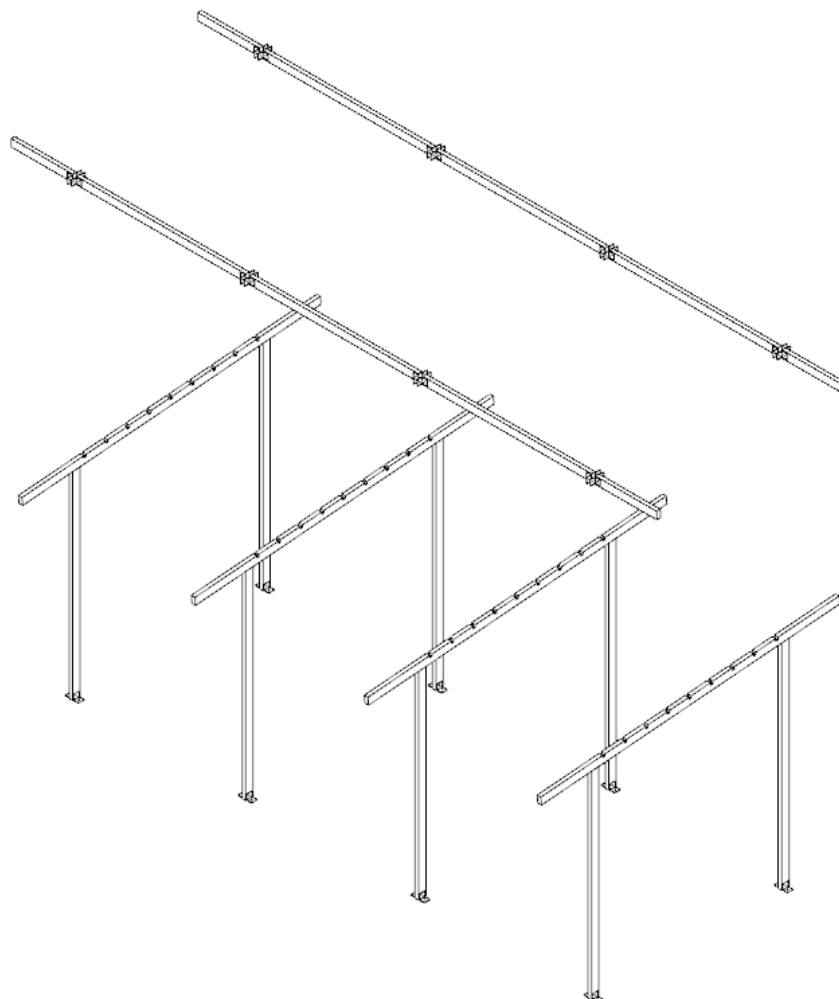


Figura 85: Elementos de estructura (arcos y listones para vigas de amarre) del caso de estudio, elaboración propia (2020).

En su parte inferior, las columnas, son ancladas por medio de platinas a una losa en concreto que sería fundida previamente para la instalación de las viviendas, en cuanto a la

unión entre los arcos y las vigas de amarre, son anclados en cada lado también por medio de platinas en ángulo de 90° para asegurar su fijación en cada extremo.

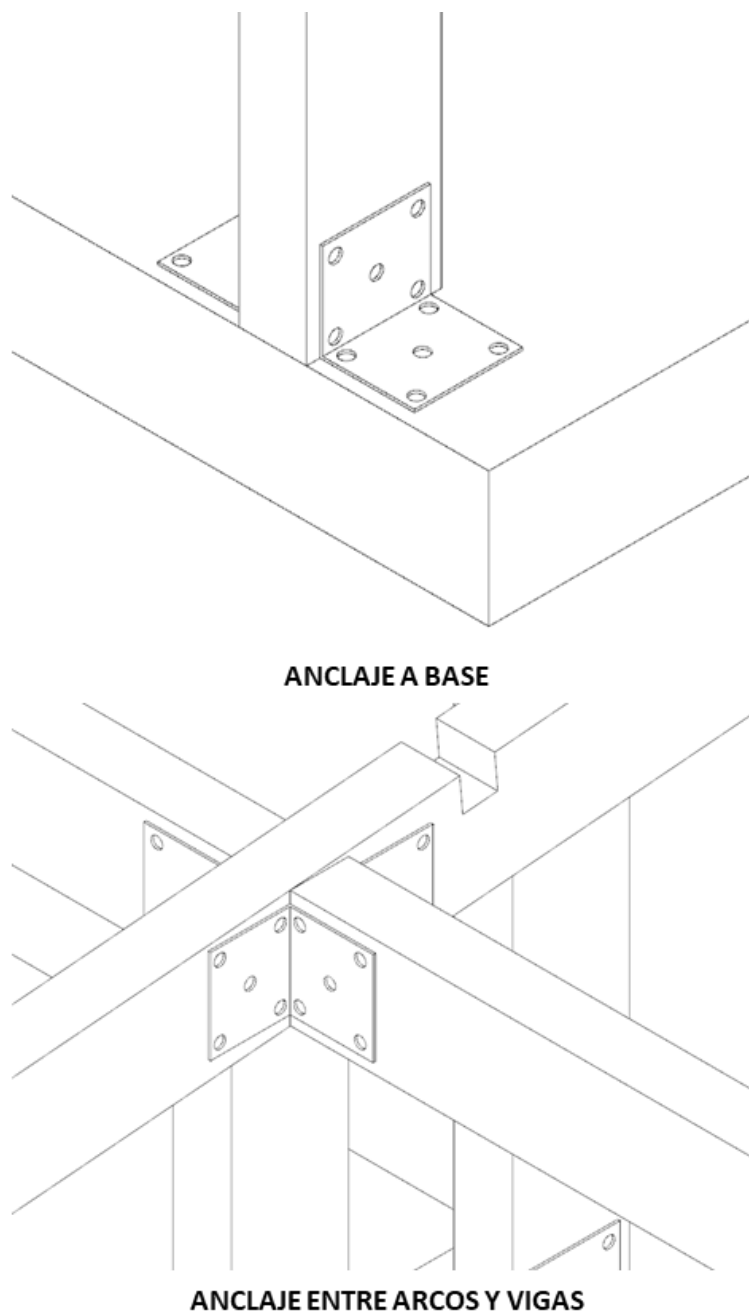


Figura 86: *Platinas para fijación de la estructura del caso de estudio, elaboración propia (2020).*

Para estructurar las tejas, son instalados unos listones de menor sección que cumplen la función de correas, estos son ubicados a cada 0,30m en el sentido longitudinal de la vivienda a través de las ranuras presentes en la parte superior de los arcos.

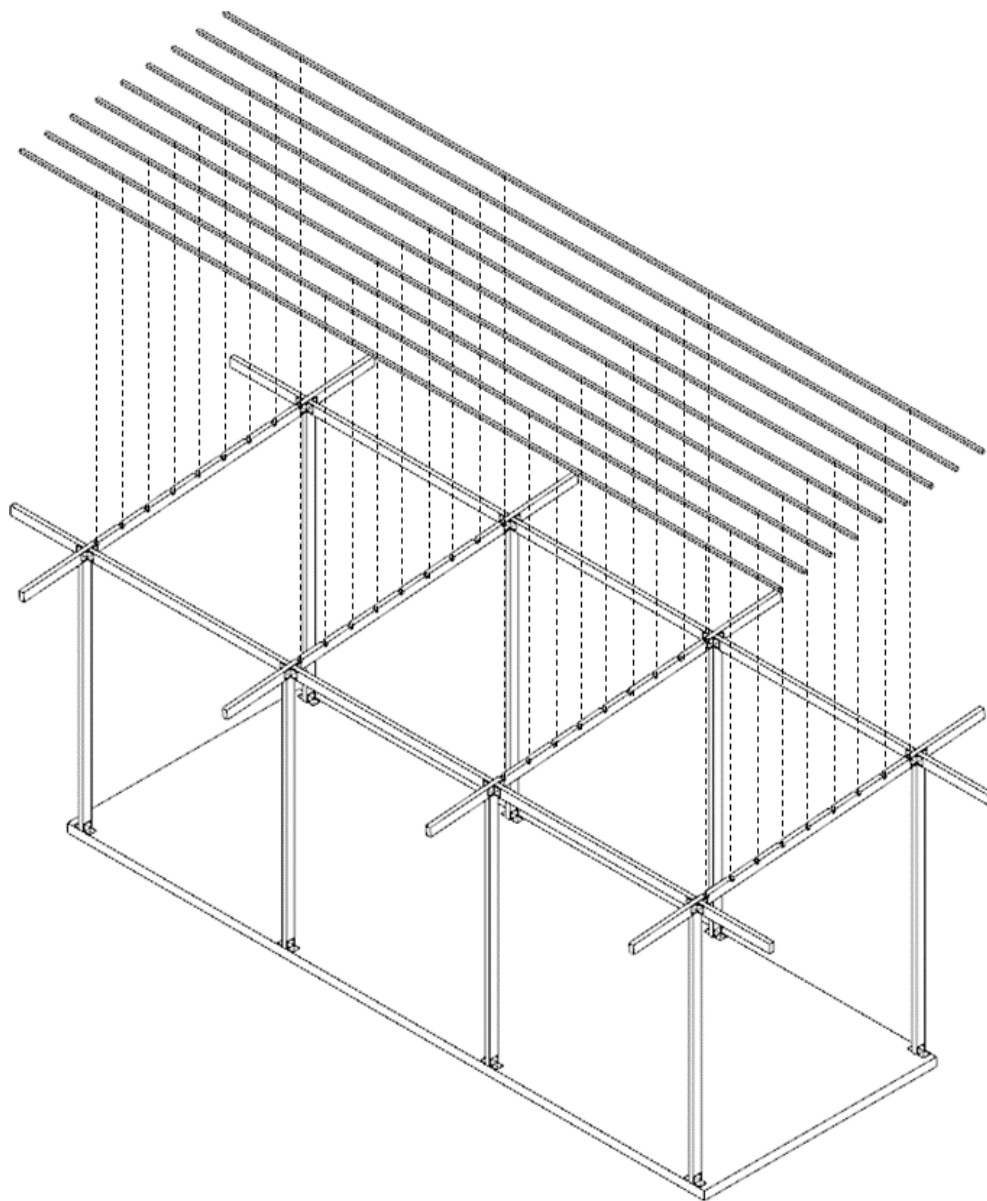


Figura 87: Elementos de estructura (correas) para la vivienda de emergencia, elaboración propia (2020).

Sobre esta estructura es instalada la teja respetando los aleros establecidos y los traslapos, esta teja es fijada sobre las correas con tornillería autoperforante y arandela de neopreno que ayuda a evitar filtraciones de agua producidas por la lluvia.

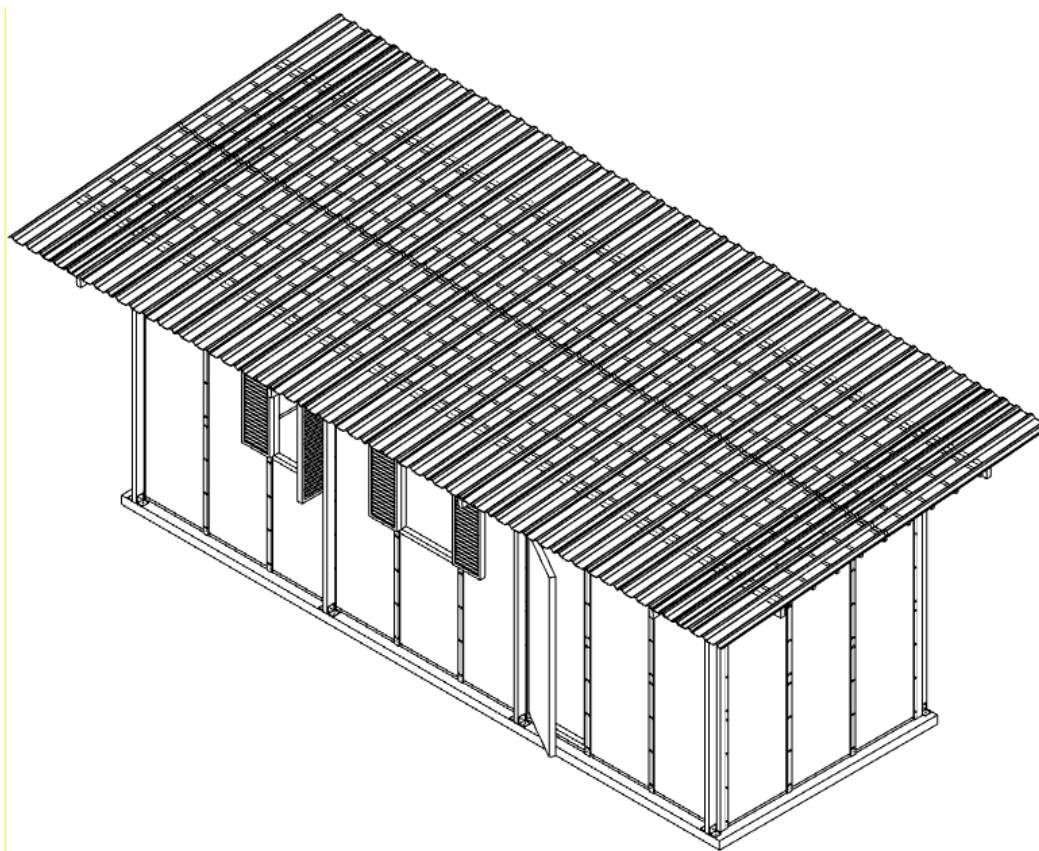


Figura 88: Vivienda de emergencia propuesta para caso de estudio con su sistema de construcción, elaboración propia (2020).

13.EVALUACIÓN TÉRMICA DE LA VIVIENDA DE EMERGENCIA

13.1.Selección de la materialidad del panel modular

Para obtener una eficiente respuesta térmica al interior de la vivienda de emergencia, el sistema de construcción debe tener una materialidad que permita desde sus propiedades térmicas, ofrecer una calidad de aire interior confortable a quien habite el espacio.

El panel modular debe ser de tipo sándwich, compuesto por los materiales necesarios que garanticen su ligereza y resistencia térmica, por lo tanto, se hizo una selección de cada capa que formará parte del panel.

Para la capa exterior, el material a seleccionar debe ser lo suficientemente rígido para contener el interior del panel, apto para uso exterior y con una conductividad térmica que permita generar un primer aislamiento del calor la radiación solar.

El material seleccionado para la capa exterior en ambas caras del panel es la esterilla laminada de guadua de 16mm, que de acuerdo a la investigación realizada por Silva (2019), su densidad es de 720kg/m^3 y su coeficiente de conductividad térmica es de $0,072\text{W}/(\text{m.K})$, que es menor a otras superficies como la madera contrachapada ($0,12\text{W}/(\text{m.K})$), maderas duras ($0,159\text{W}/(\text{m.K})$), maderas suaves ($0,115\text{W}/(\text{m.K})$), y el tablero de fibrocemento ($0,346\text{W}/(\text{m.K})$), además de provenir de un bambú americano de rápido crecimiento y requerir tres capas de material para su tablero, en comparación a la madera contrachapada que requiere una mayor madurez en la edad de los tallos y el uso de 5 capas de material (Silva, 2019).

Material	Conductividad Térmica
	k w/(m*k)
Esterilla Laminada de Guadua	0,0720
Madera Contrachapada	0,1200
Maderas Duras	0,1590
Maderas Suaves	0,1150
Tablero de Fibrocemento	0,3460

Figura 89: Coeficiente de conductividad térmica para la esterilla laminada de guadua en comparación a otros materiales, Silva, (2019).

Para la capa interior, la porosidad del material es de suma importancia para lograr una alta resistencia térmica en el panel, debido a que es una de las claves de una baja conductividad térmica según Carnicer (2022), por lo tanto, el material para esta capa debe ser poroso, ligero y común en el mercado.

De acuerdo a la tabla de propiedades de materiales aislantes elaborada por Cengel (2007), el poliestireno expandido (EPS) posee un coeficiente de conductividad térmica de 0,04W/(m.K) y una densidad de 16kg/m³, este material es el seleccionado para la capa interior del panel, y será contenido entre bastidores en madera de pino de 2,50x3,00cm para darle rigidez y soporte al panel, esta misma madera será aplicada en las puertas, ventanas y persianas del sistema.

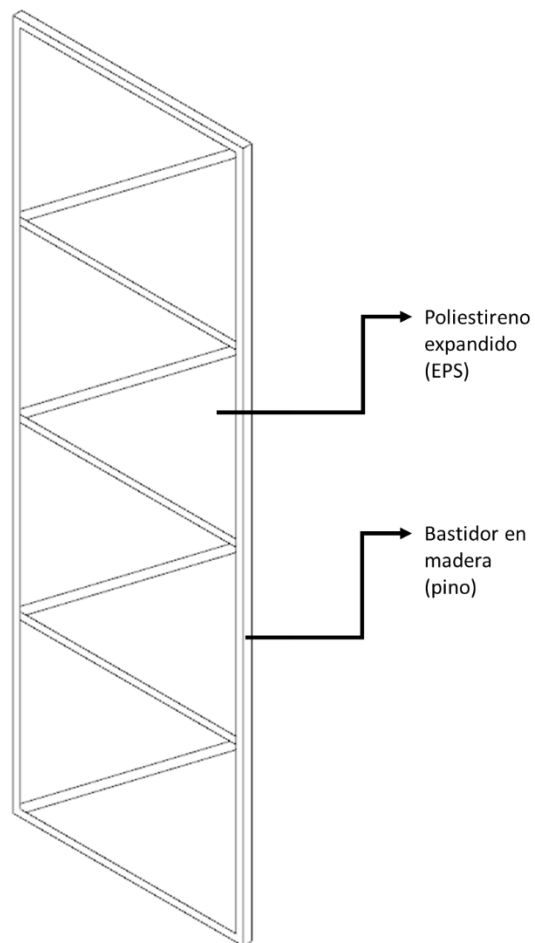


Figura 90: *Volumetría de la capa interior del panel y su materialidad, Elaboración propia, (2020).*

El espesor final del panel es de 6,2cm, resultante del espesor de las dos capas de esterilla laminada de guadua (1.6cm) y la lámina de EPS con los bastidores de pino (3cm), lo que resulta en un panel delgado, ligero y resistente. Debido a que el panel tendrá la función de cerramiento y división de espacios, no cumplirá una función estructural en la vivienda, por lo que la estructura en la vivienda es un elemento aparte de este sistema.

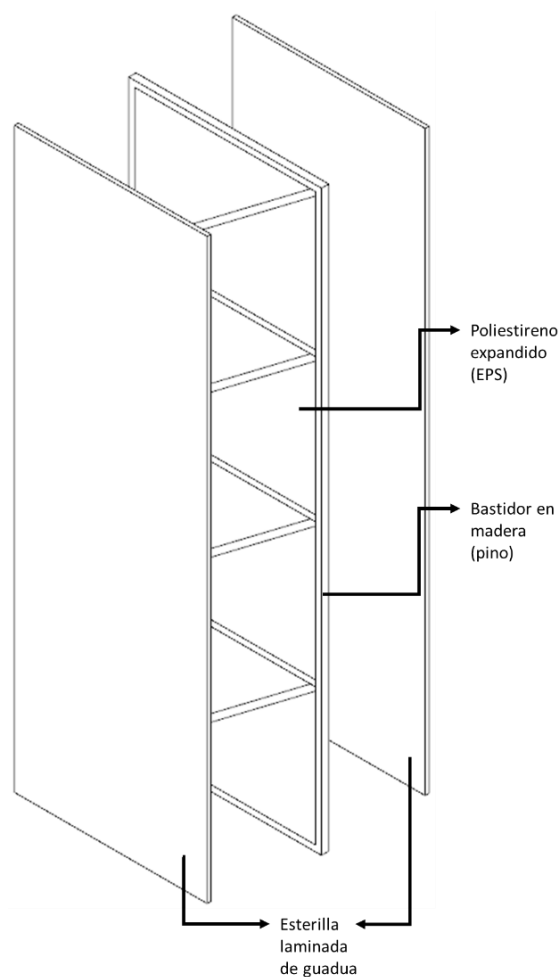


Figura 91: *Volumetría de las capas del panel y su materialidad, Elaboración propia, (2020).*

13.2. Análisis y evaluación simulada del confort térmico en el modelo de vivienda de emergencia dentro del contexto de estudio

Desde el software OpenStudio, siguiendo la metodología de Giraldo (2018), es simulado el comportamiento térmico de la vivienda de emergencia, para esto, es necesario primero realizar una modelación usando este plugin desde Sketchup. Tomando todas las características del caso de estudio (áreas, alturas, espacios, vanos e inclinación de cubierta), son definidas las caras para aplicar la materialidad y realizar la evaluación a partir de los

datos climáticos del sitio, ocupación de la vivienda, uso y características térmicas del material empleado.

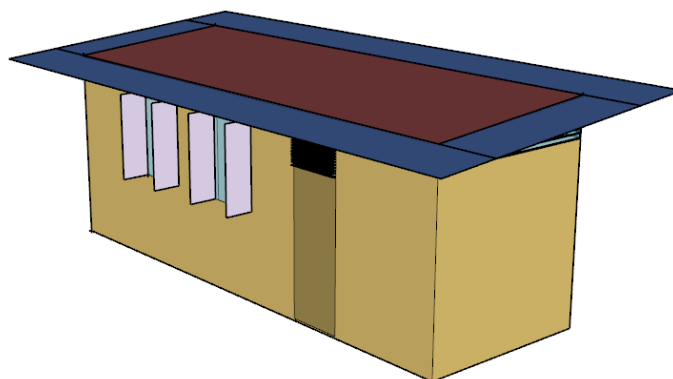


Figura 92: *Modelo esquemático de la vivienda de emergencia propuesta para su análisis y evaluación térmica, elaboración propia, (2020).*

Para continuar con el análisis, desde la definición del uso residencial del modelo, fueron establecidos unos horarios, de acuerdo a la cantidad de personas, su actividad, iluminación, equipos electrónicos, ventilación y refrigeración, con el fin de cargar esta información en el modelo y realizar una simulación de la actividad diaria en la vivienda.

El primer horario establecido es el de la actividad de las personas, cuantificada en W/persona, siendo las actividades de valores más bajos, la de la persona acostada durmiendo o en reposo, y los valores más altos correspondiendo a diversas actividades domésticas; debido a que las actividades son variables en cada persona en cualquier hora del día, fue estimado un rango de 100 a 200W/persona, en donde el valor de 100W/persona es ubicado dentro de los horarios de menor actividad, de 21:00 a 7:00, que es cuando la mayoría de las personas están en total reposo, y en los horarios de mayor actividad, de 7:00 a 21:00, es asignado el valor de 200W/persona.

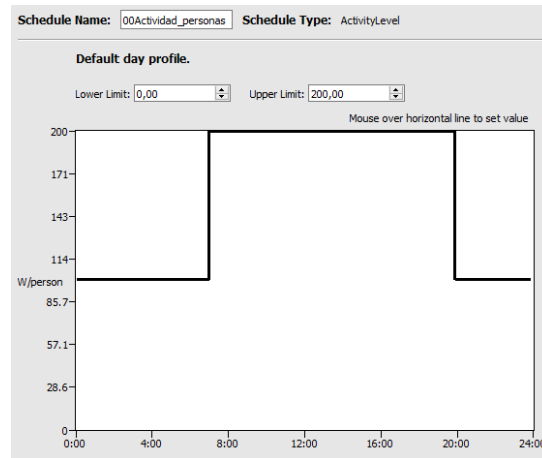


Figura 93: Configuración de horario de actividad de personas desde el software OpenStudio, elaboración propia, (2020).

El horario del número de personas presentes en la vivienda es cuantificado por medio de porcentajes, la vivienda ha sido diseñada para ser ocupada por cuatro personas, por lo tanto, esta cantidad corresponde al 100%, que estaría presente principalmente durante las horas no laborales, y estableciendo que se podría tratar de una familia compuesta por dos adultos y dos jóvenes, la presencialidad en la vivienda es permanente, y es estimada la presencia de la mitad de las personas entre las 7:00 y 18:00 horas.

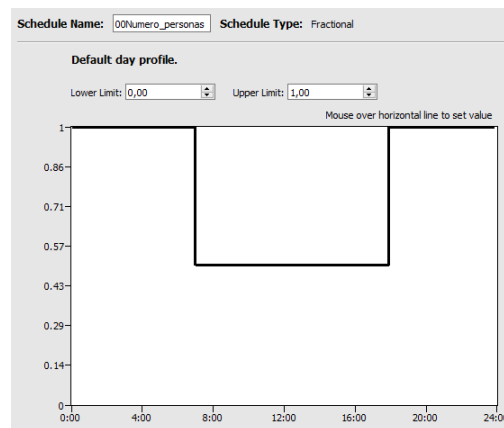


Figura 94: Configuración de horario de número de personas desde el software OpenStudio, elaboración propia, (2020).

El siguiente horario configurado fue el de iluminación, las luces están activas cuando las personas están realizando actividades mientras el ambiente no produce la suficiente luz natural, por lo tanto, los horarios de iluminación abarcan las primeras horas activas de la mañana (6:00 a 8:00) y las horas de tarde y noche antes del sueño (18:00 a 23:00). Durante el resto de las horas, es considerada la luz como apagada, mientras están bajo la luz del día y mientras las personas están durmiendo.

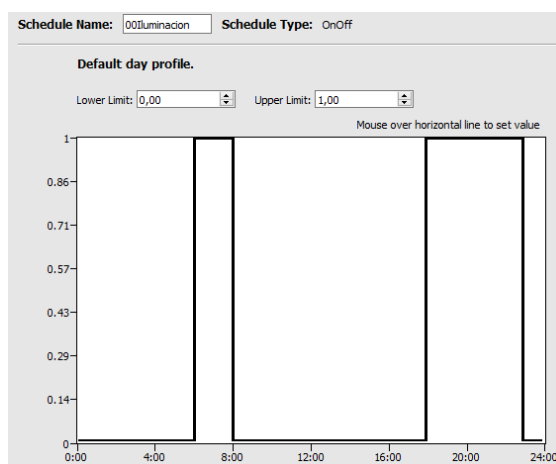


Figura 95: Configuración de horario de iluminación desde el software OpenStudio, elaboración propia, (2020).

Para el caso de los equipos electrónicos, ha sido estimado el caso en que han sido donados para la familia que habita la vivienda, equipos como nevera y estufa, también la adquisición de otros como ventilador y televisor. La totalidad de estos equipos son utilizados durante los horarios no laborales, en la mañana (6:00 a 8:00), al mediodía (12:00 a 14:00) y en la noche (18:00 a 23:00), pero durante el resto de las horas hay equipos que mantienen en uso, como la nevera y algún otro que esté siendo utilizado por la persona que permanezca a lo largo del día, por lo tanto, es estimado el uso de un 20% de los equipos electrónicos.

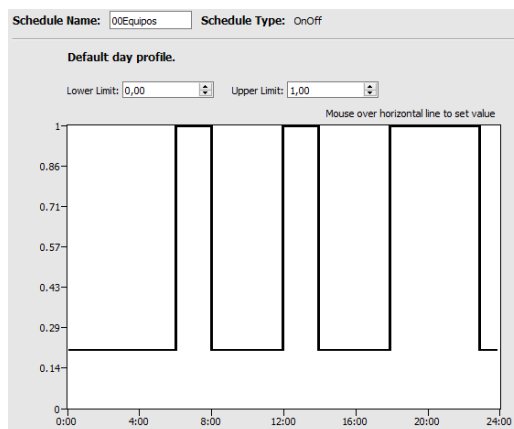


Figura 96: Configuración de horario de equipos electrónicos desde el software

OpenStudio, elaboración propia, (2020).

Los horarios de ventilación también son estimados de acuerdo a la ocupación y el momento del día, durante las horas de la mañana (7:00 a 12:00) es habilitado el 70% de las entradas de aire, la habilitación del 100% es estimado durante las horas más calurosas, que corresponden a la tarde, extendiendo su apertura hasta la noche (12:00 a 22:00), la entrada de ventilación es limitada a un 20% durante las horas de sueño, donde la temperatura del ambiente es menor (22:00 a 7:00).

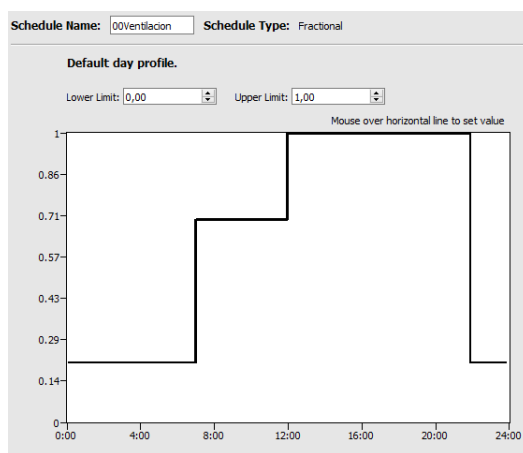


Figura 97: Configuración de horario de ventilación desde el software OpenStudio,

elaboración propia, (2020).

Para poder realizar la relación de costo/beneficio con respecto a soluciones de ventilación mecánica para la vivienda, es necesario establecer el momento en que el termostato de refrigeración será activo, para este caso fue establecido cuando la temperatura de bulbo seco alcance los 28°C, a partir de esta temperatura en adelante, sistemas de ventilación mecánica como el aire acondicionado estarían activos de manera independiente a la hora.

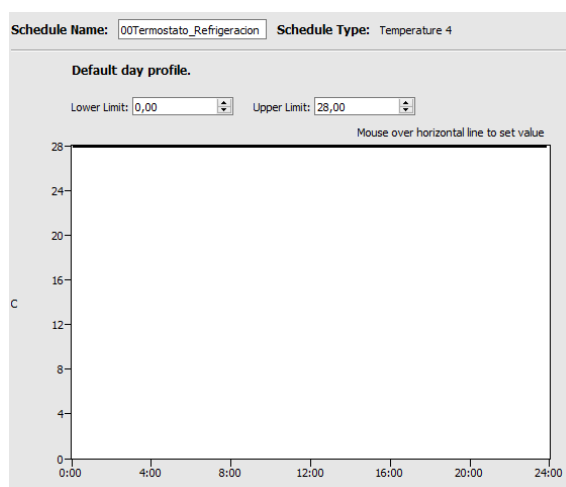


Figura 98: Configuración de horario de termostato de refrigeración desde el software OpenStudio, elaboración propia, (2020).

Todos estos horarios configurados son cargados al modelo, donde más adelante es realizada la simulación de acuerdo a las horas que se establezcan para estudiar. Todos estos horarios cargados son guardados dentro de un conjunto que especifica ser para el análisis de la vivienda de emergencia. A partir de esto, inició la modelación térmica a partir de dos conjuntos de materiales para su análisis y evaluación comparativa; el primer conjunto perteneciente a *LB*, a partir de la materialidad propuesta por la UNGRD (2013), y el segundo grupo al sistema constructivo propuesto en esta investigación.



Figura 99: Horarios cargados en el modelo de vivienda de emergencia desde el software OpenStudio, elaboración propia, (2020).

13.2.1. Análisis y evaluación del modelo mejorado (MV)

Ahora sobre el mismo modelo de vivienda, es aplicado el material seleccionado para los paneles y elementos modulares (esterilla laminada de guadua, con sus caras pintadas de blanco, poliestireno expandido y madera de pino), recogiendo toda la información necesaria para la simulación. Debido a que la investigación realizada en la esterilla laminada de guadua es muy reciente y el dato suministrado corresponde solo a la conductividad térmica y su densidad (Silva, 2019), los datos de calor específico cargados

a su simulación corresponden a la de una madera dura y la absorción a la de una superficie pintada de color blanco (Cengel, 2007). Como el enfoque de esta investigación está sus elementos de cerramiento vertical, la losa de contrapiso y la cubierta siguen siendo las mismas utilizadas en la línea base.

Material	Rugosidad	Espesor (m)	Conductividad Térmica (W/mK)	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (J/kgK)	Absortancia Térmica (%)	Absortancia Solar (%)	Absortancia Visible (%)
Losa en hormigón	Rough	0,1	1,4	2300	840	0,9	0,7	0,7
Esterilla laminada de guadua con superficie pintada de blanco	Rough	0,016	0,072	720	1260	0,2	0,2	0,2
Poliestireno expandido	Medium smooth	0,03	0,22	910	1900	0,4	0,4	0,4
Madera de pino (5cm)	Medium Rough	0,05	0,115	513	1380	0,3	0,3	0,3
Madera de pino (1,5cm)	Medium Rough	0,015	0,115	513	1380	0,3	0,3	0,3
Teja en zinc	Medium smooth	0,00032	110	7,14	388	0,34	0,34	0,34

Figura 100: Asignación de materiales y sus propiedades para MV de simulación, elaboración propia, (2020).

Los materiales son nuevamente organizados para su función en la vivienda, conservando la misma configuración para el piso y la cubierta, los muros exteriores son compuestos ahora por el nuevo panel, las puertas en madera de pino de 5cm de espesor, los sombreados de los vanos superiores de fachada con persianas en madera de pino de 1,5cm y las ventanas con las persianas en la misma madera.

Piso	Muros exteriores	Cubierta	Puertas	Ventanas	Sombreados
Losa en hormigón	Panel esterilla laminada de guadua (superficie pintada de blanco) + EPS	Teja de Zinc	Puerta en madera de pino	Ventana pivotante con persiana en madera de pino	Persiana en madera de pino

Figura 101: Ubicación de los materiales en los elementos constructivos de MV, elaboración propia, (2020).

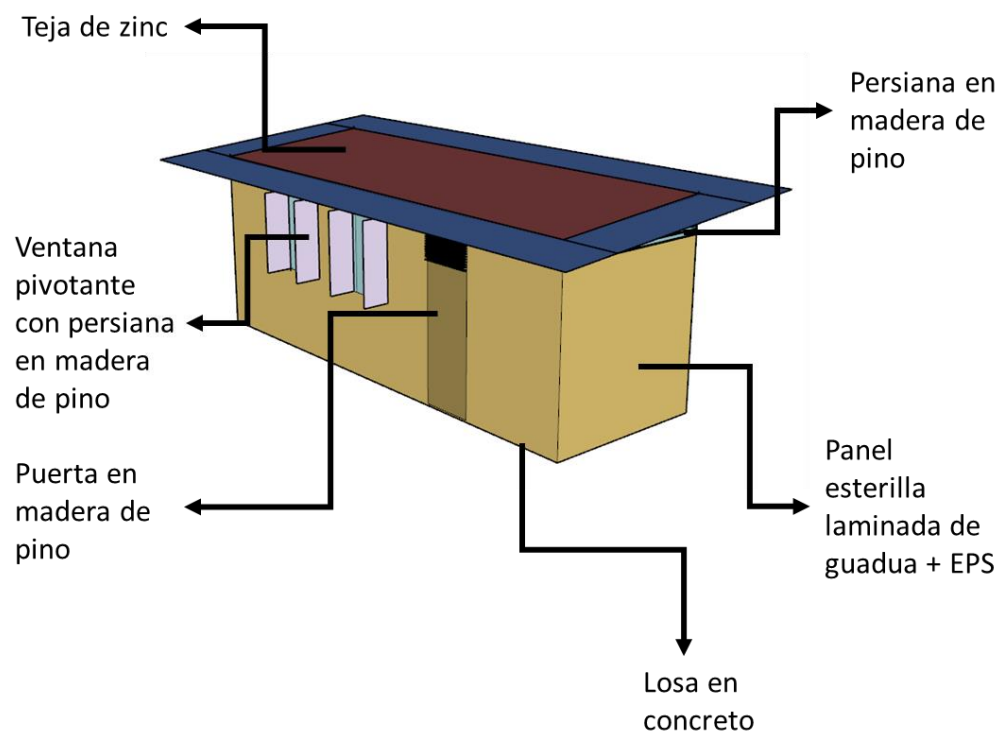


Figura 102: Ubicación de los materiales en los elementos constructivos, elaboración propia, (2020).

Los horarios de ventilación (usando las mismas horas que en la línea base) y su porcentaje de apertura son modificados para que la simulación de la ventana apersianada pivotante sea más precisa. Como la ventana apersianada cerrada posee un 42% de vacío, este mismo porcentaje es el manejado en la menor entrada de ventilación, que es cuando todas las ventanas están cerradas en las horas de sueño (22:00 a 7:00), durante las horas de la mañana (7:00 a 12:00) es habilitado el 80% de su entrada de aire, y el 100% es estimado durante las horas de la tarde y noche (12:00 a 22:00), cuando todas las ventanas están abiertas.

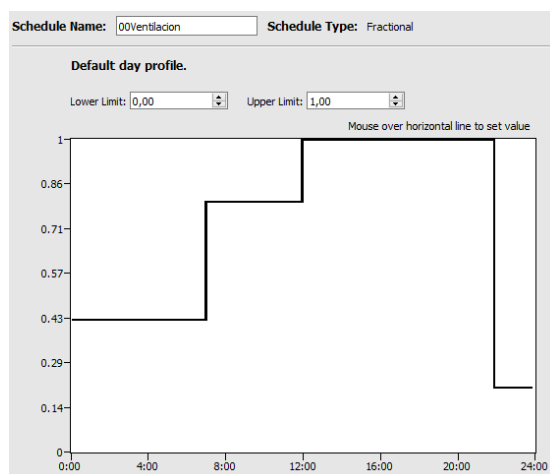


Figura 103: Configuración de horario de ventilación para MV desde el software OpenStudio, elaboración propia, (2020).

Para el paso de la radiación solar, la ventana apersianada es configurado como una persiana móvil desde la herramienta Shading Control de OpenStudio, configurando los tramos horizontales con un espesor de 1,5cm a 26,2cm de separación y en un ángulo de 45°, con la conductividad térmica de 0,115W/(m.K) asignada a la madera de pino, cubriendo la superficie en los momentos del día donde la radiación es directa.

Realizada la simulación del modelo mejorado (en adelante, mencionado como *MV*) con los paneles y accesorios propuestos, son revisados los datos de *Tair*, *Top*, *Tmr* y humedad relativa, estos valores son puestos en evaluación a partir del método adaptativo bajo los parámetros de ASHRAE Standard 55-2010.

En la Figura 104, tal como fue mostrado en *LB*, el comportamiento de las temperaturas de estudio a lo largo del año, muestra que *MV* presenta picos de insatisfacción en temperatura alta que no exceden muy significativamente el tope de la zona de confort, superando en determinados momentos apenas los 30°C en *Top*.

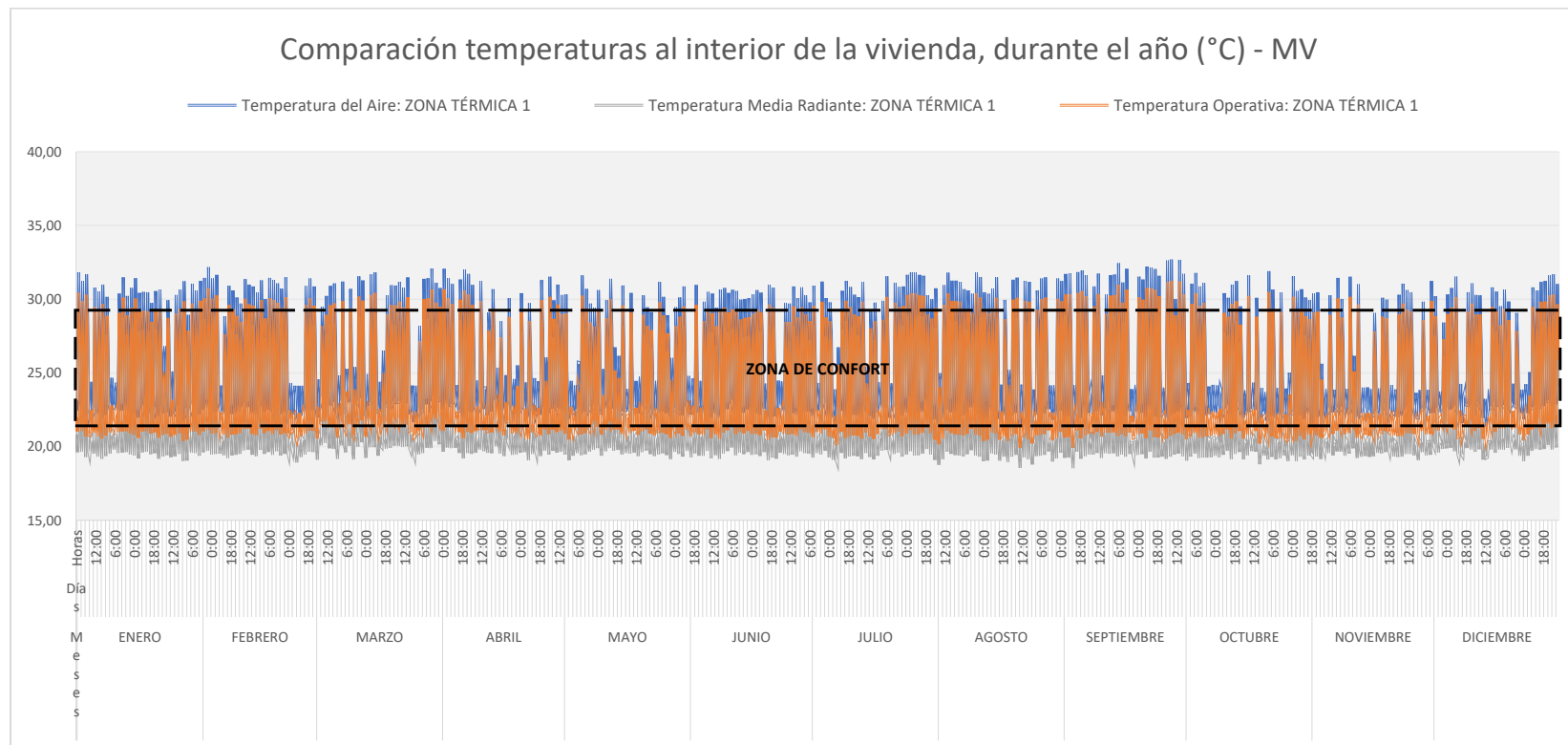


Figura 104: Gráfico del comportamiento de la T_{air} , T_{op} y T_{mr} durante todo el año en MV, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).

Calculando nuevamente el tiempo de insatisfacción térmica a partir de *Top*, durante las 8760 horas del año, como indica la Figura 105, ahora son 4531 horas insatisfactorias, 1357 menos que en *LB*, representando ahora el 52% del tiempo, representado principalmente en horas de temperatura baja (frío), y reduciendo significativamente las horas de temperaturas altas (calor).

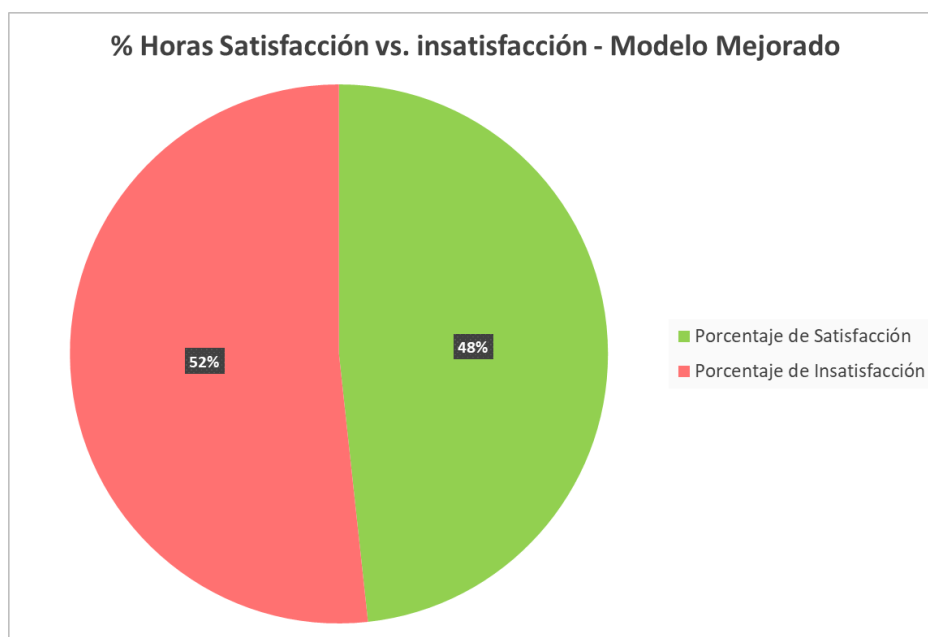


Figura 105: Gráfico del porcentaje de horas de Satisfacción vs. Insatisfacción térmica en MV, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).

De las horas presentadas en insatisfacción térmica, el 17% corresponden a temperaturas altas (calor) y el 83% a temperaturas bajas (frío). En relación con la totalidad de horas del año, la insatisfacción por calor corresponde al 8,54% y la insatisfacción por frío corresponde al 43,18% del tiempo total. Esto muestra, de acuerdo con la Figura 106, que el sistema de construcción propuesto ha respondido principalmente a las temperaturas

altas que se presentan en las horas de la tarde, reduciendo significativamente las horas de insatisfacción por calor, mientras que, para la insatisfacción por frío, aunque hubo también una reducción de este margen, el usuario debe seguir recurriendo a otras alternativas para mitigar la sensación que esta pueda producir.

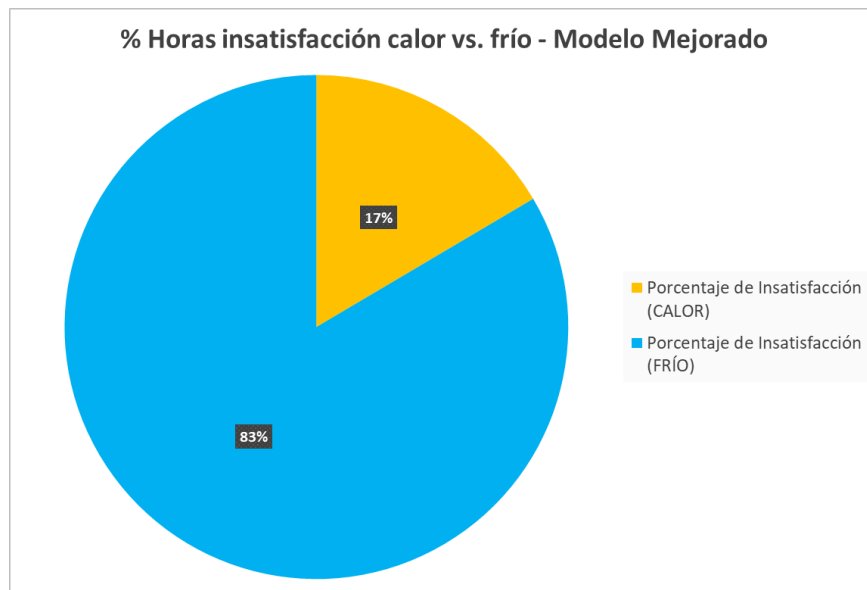


Figura 106: Gráfico del porcentaje de horas de insatisfacción en Calor vs. frío en MV, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).

La Figura 107, que presenta con el promedio anual por horas muestra que desde las 0:00 hasta las 8:00 las diferentes temperaturas salen de la franja de confort por bajas temperaturas (salvo T_{air} que sale de la zona entre 3:00 y 6:00), llegando a 21,52°C en T_{air} , 20,47°C en T_{op} y 19,43°C en T_{mr} , durante el resto del día permanecen dentro de la zona de confort (salvo T_{air} que, a las 13:00 alcanza los 29,36°C, saliendo por poco de la franja) hasta llegar nuevamente a las 00:00.

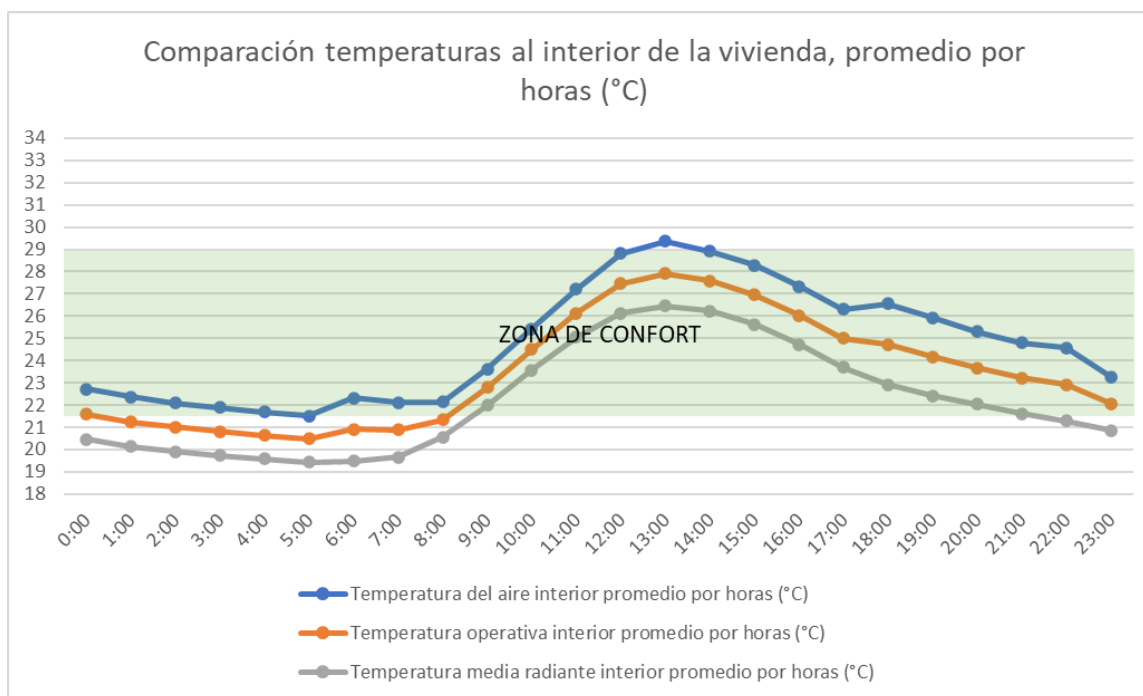


Figura 107: Gráfico del promedio de T_{air} , T_{op} y T_{mr} anual por horas para MV, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).

Al evaluar el promedio mensual, en la Figura 108, entre las 12:00 y 15:00 horas (las más calurosas del día), las temperaturas, T_{op} y T_{mr} mantienen en la zona de confort a lo largo del año, entrando en el límite durante los meses de enero, febrero, julio y septiembre, mientras que T_{air} supera este límite en los meses de enero y febrero, y de junio a septiembre hasta cerca de 1°C.

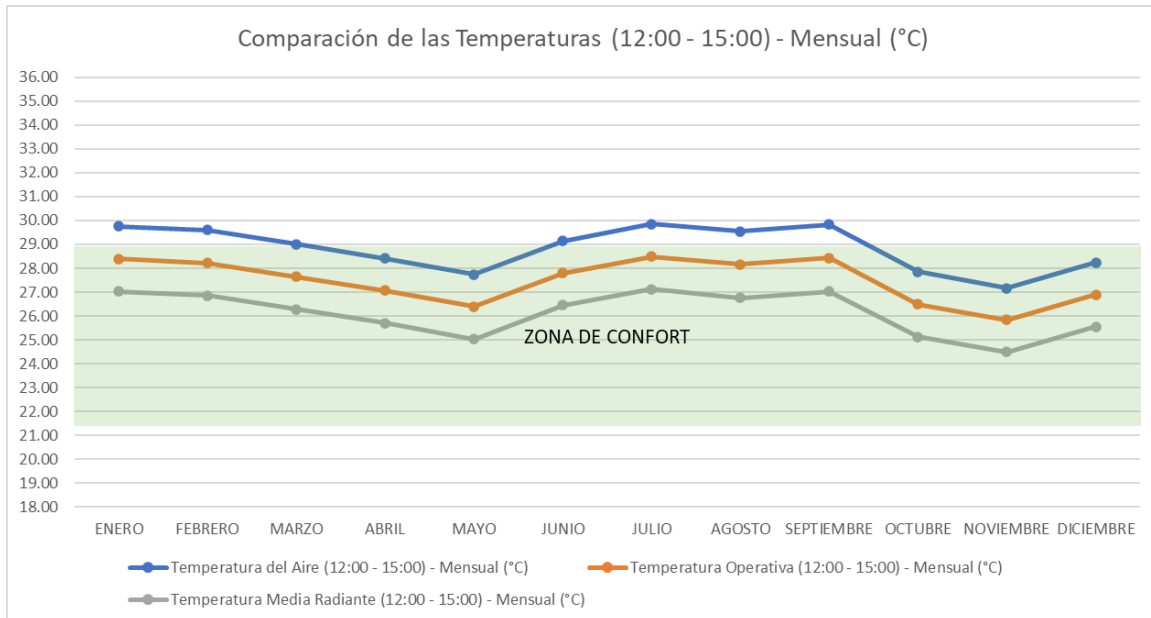


Figura 108: Gráfico de las temperaturas promedio mensual entre las 12:00 y 15:00 para MV, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).

En cuanto a Hr, en el mismo rango de horas, su mayor porcentaje llega al 81% durante los meses de mayo y noviembre, mientras que en los meses de enero, febrero, julio, agosto y septiembre están por debajo del 70%, que son los meses cuando temperatura es más alta.

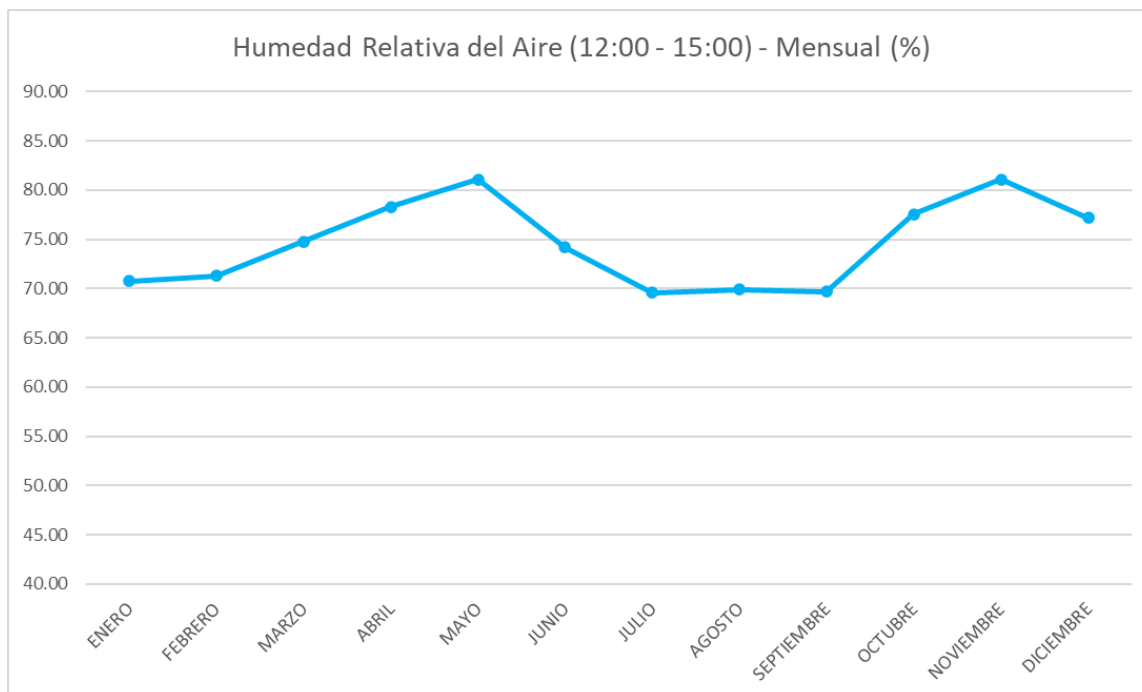


Figura 109: Gráfico de Hr mensual entre las 12:00 y 15:00 para MV, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).

Utilizando nuevamente la herramienta CBE Thermal Comfort Tool (<https://comfort.cbe.berkeley.edu/>) en la Figura 110, para evaluar PMV, con los nuevos datos suministrados por la simulación de MV, y usando nuevamente las 13:00 horas como punto de partida, con incluidos los datos de *Top* (27,91°C), velocidad del aire (0,8m/s promediado a partir de los vientos más frecuentes en el área de implantación), Hr (72,60%), tasa metabólica (1,0met correspondiente a una persona sentada y en reposo) y nivel de ropa (0.5clo correspondiente al uso de ropa de verano en espacios interiores). Bajo los parámetros de ASHRAE Standard 55-2020, con el método de velocidad del aire elevada, su valor es de -0,02 y su PPD es de 6% generando una sensación “neutral”, cumpliendo con la franja de confort según esta norma.

✓ Complies with ASHRAE Standard 55-2020

PMV with elevated air speed = -0.20

PPD with elevated air speed = 6 %

Sensation = Neutral

SET = 24.8 °C

Dry-bulb Tmp at still air = 25.0 °C

Cooling effect = 2.9 °C

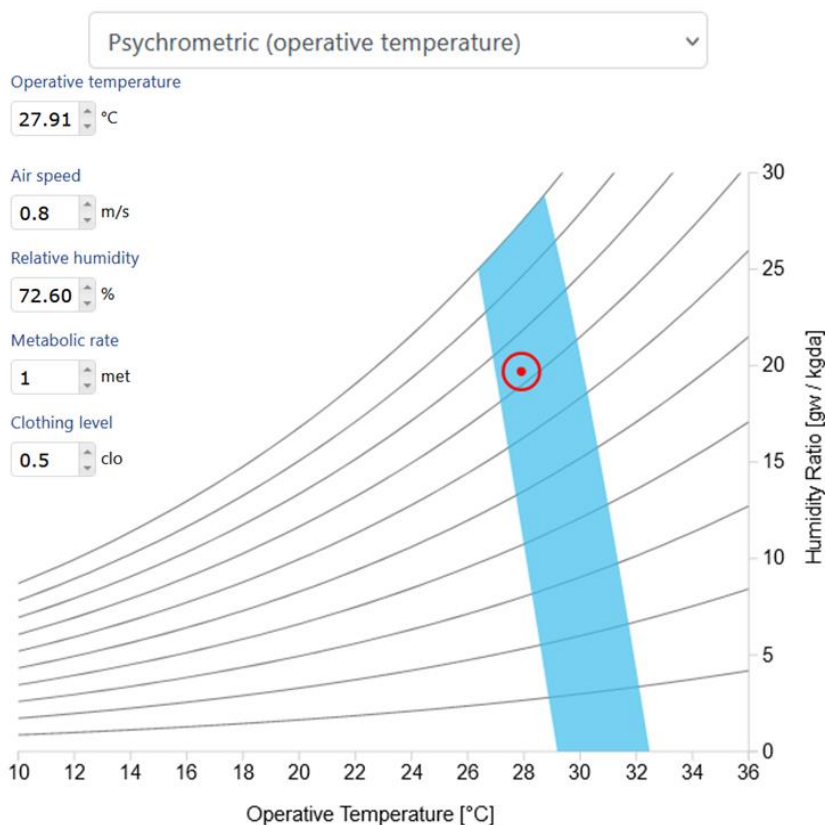


Figura 110: Evaluación PMV de confort térmico para MV a partir de Top bajo los parámetros de ASHRAE Standard 55-2020, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).

Según EN-16798 y al introducir los mismos datos anteriores, el valor PMV mostrado en la Figura 111, es de 0,12 y el valor PPD es de 5%, ubicado en la categoría I, esto indica que el espacio está a un nivel alto de expectativa, siendo válido para edificaciones nuevas.

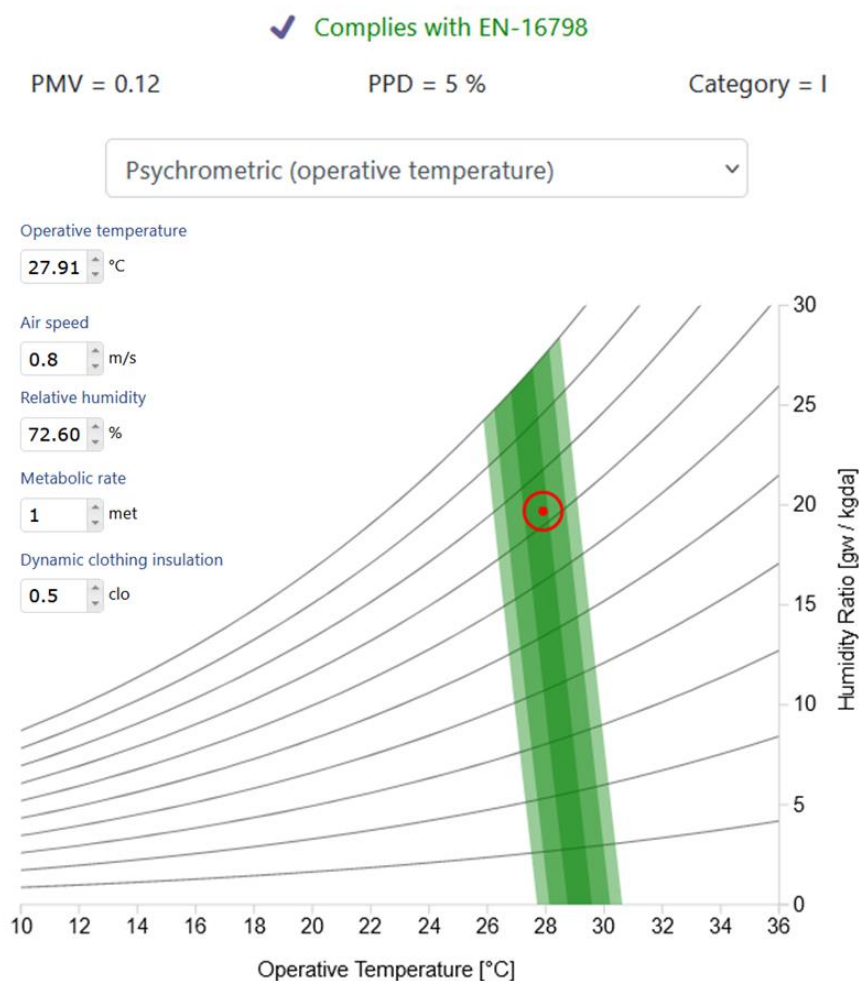


Figura 111: Evaluación PMV de confort térmico para MV a partir de Top bajo los parámetros de EN-16798, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).

Ahora al evaluar este método desde T_{air} y T_{mr} , añadiendo sus respectivos datos (29,36°C y 26,46°C) y conservando el resto, el resultado con el método de velocidad del aire elevada de PMV es 0,05 y de PPD es 5%, con una sensación “neutral”, la Figura 112 muestra que está dentro de la franja de confort de acuerdo a ASHRAE Standard 55-2020. Tal como ocurrió al evaluar la línea base, este resultado empieza a diferir con la anterior

medición, pero en una menor proporción en relación a *LB*, en este caso, la diferencia con relación a la evaluación por el método desde *Top* de PMV y PPD, es de 0,15 y 1% respectivamente.

✓ Complies with ASHRAE Standard 55-2020

PMV with elevated air speed = 0.05

Sensation = Neutral

Dry-bulb Tmp at still air = 27.0 °C

PPD with elevated air speed = 5 %

SET = 25.5 °C

Cooling effect = 2.3 °C

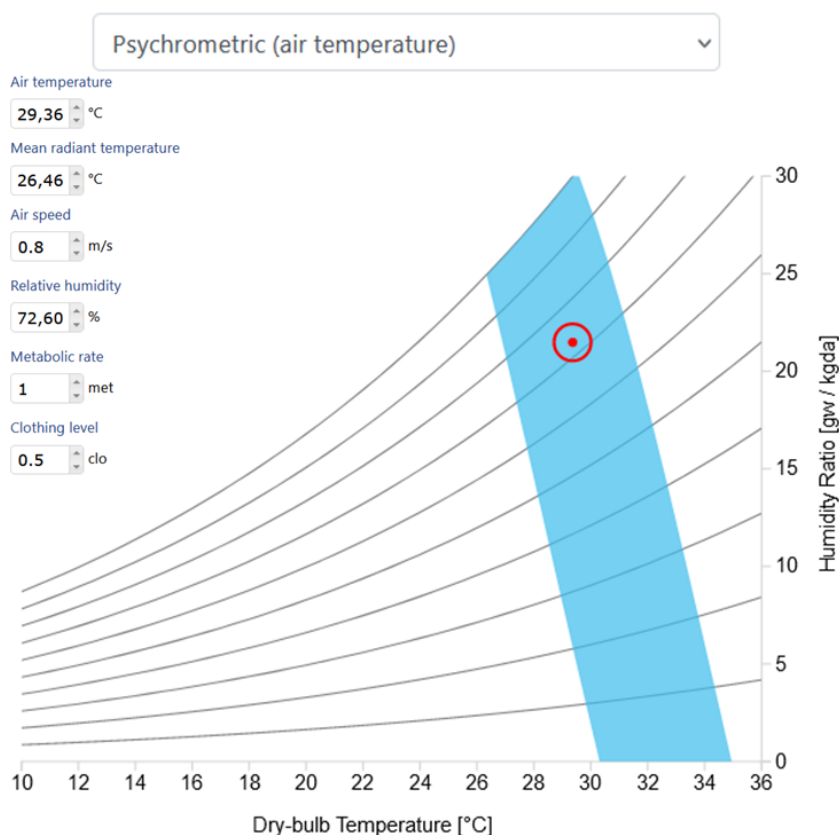


Figura 112: Evaluación PMV de confort térmico para MV desde el método Fanger (*T_{air}* y *T_{mr}*) bajo los parámetros de ASHRAE Standard 55-2020, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).

La Figura 113 muestra que, al introducir estos datos ahora evaluando desde EN-16798, el resultado varía un poco más, entrando en la categoría II, es decir, a un nivel

normal de expectativa, con un PMV de 0,48 y un PPD de 10%. Aquí la diferencia de PMV y PPD es de 0,36 y 5% respectivamente, siendo mucho más significativa que en ASHRAE Standard 55-2020.

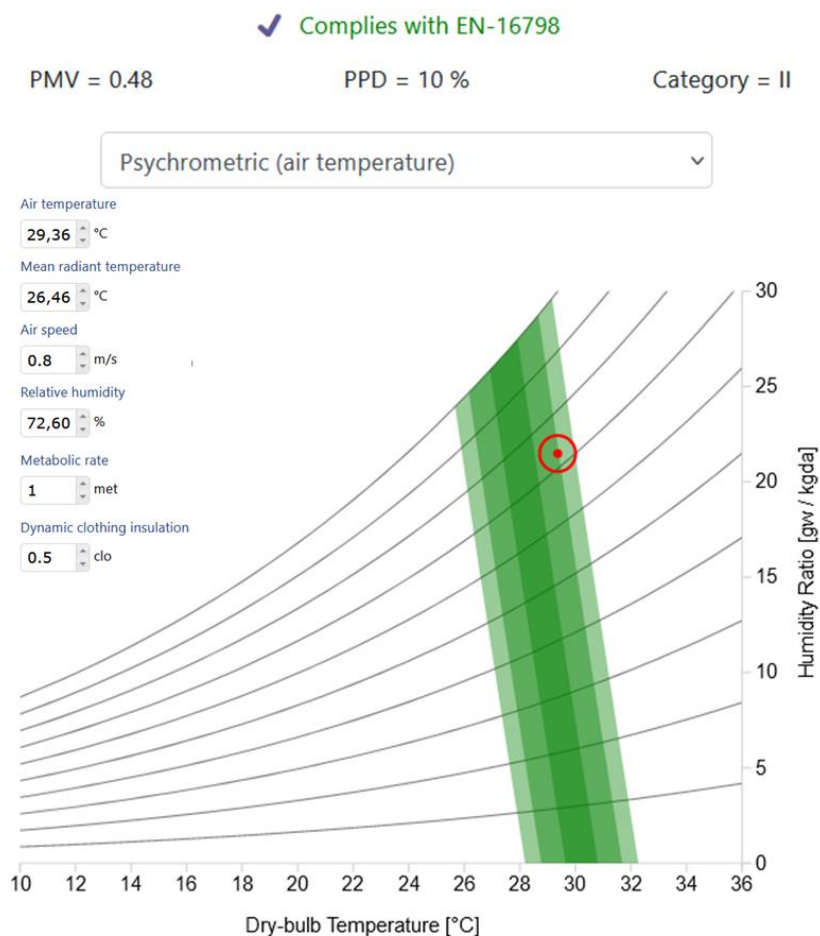


Figura 113: Evaluación PMV de confort térmico para MV desde el método Fanger (T_{air} y T_{mr}) bajo los parámetros de EN-16798, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).

Debido a que las evaluaciones anteriores fueron realizadas con una velocidad del aire promediada, tomando la velocidad más baja hasta la más alta dentro los vientos más

frecuentes, esta nueva evaluación es realizada con el caso de la velocidad del aire más baja frecuentada en el área de implantación, que en este caso es de 0,4m/s.

Así que tomando nuevamente los datos suministrados y partiendo de *Top*, los nuevos resultados de la Figura 114, muestran desde el método de velocidad del aire elevada, un PMV de 0,18 y un PPD de 6%, continuando dentro de la franja de confort según ASHRAE Standard 55-2020, manejando el mismo porcentaje de PPD con respecto al uso de la velocidad del aire promediada.

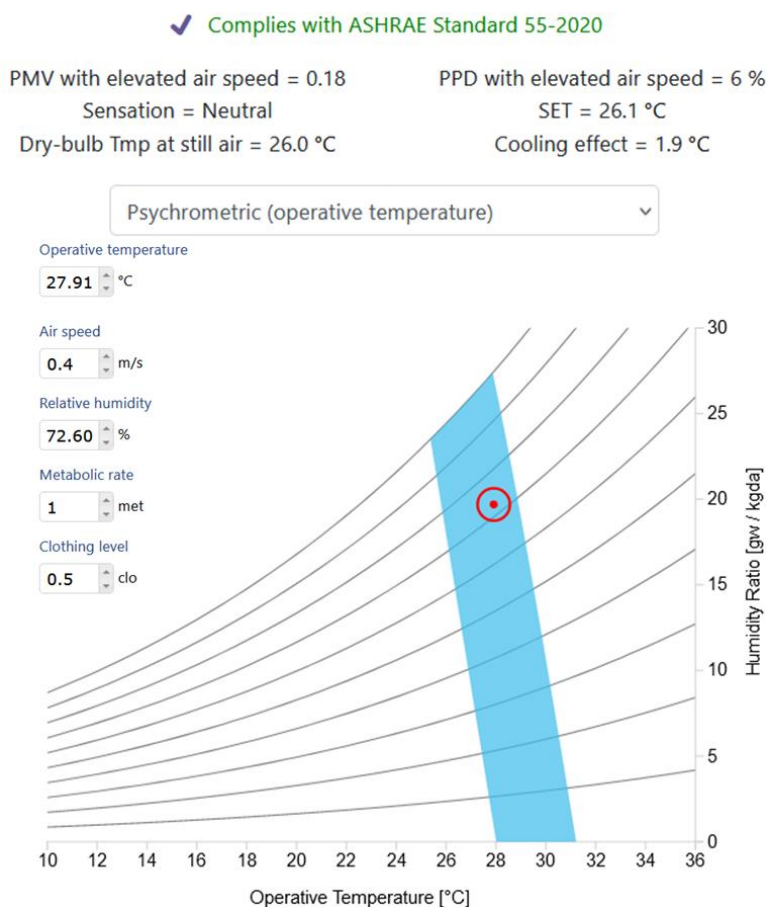


Figura 114: Evaluación PMV de confort térmico para MV a partir de *Top* con velocidad del aire de 0,4m/s bajo los parámetros de ASHRAE Standard 55-2020, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).

Con un valor PMV de 0,42 y PPD de 9%, indicado en la Figura 115, la vivienda con el material de MV entra en la categoría II bajo el EN-16798, que se puede usar en viviendas y edificios ya existentes, en relación a la evaluación anterior con la velocidad del viento promediada, la diferencia porcentual es de 4% y representa también un cambio de categoría en la calidad del aire.

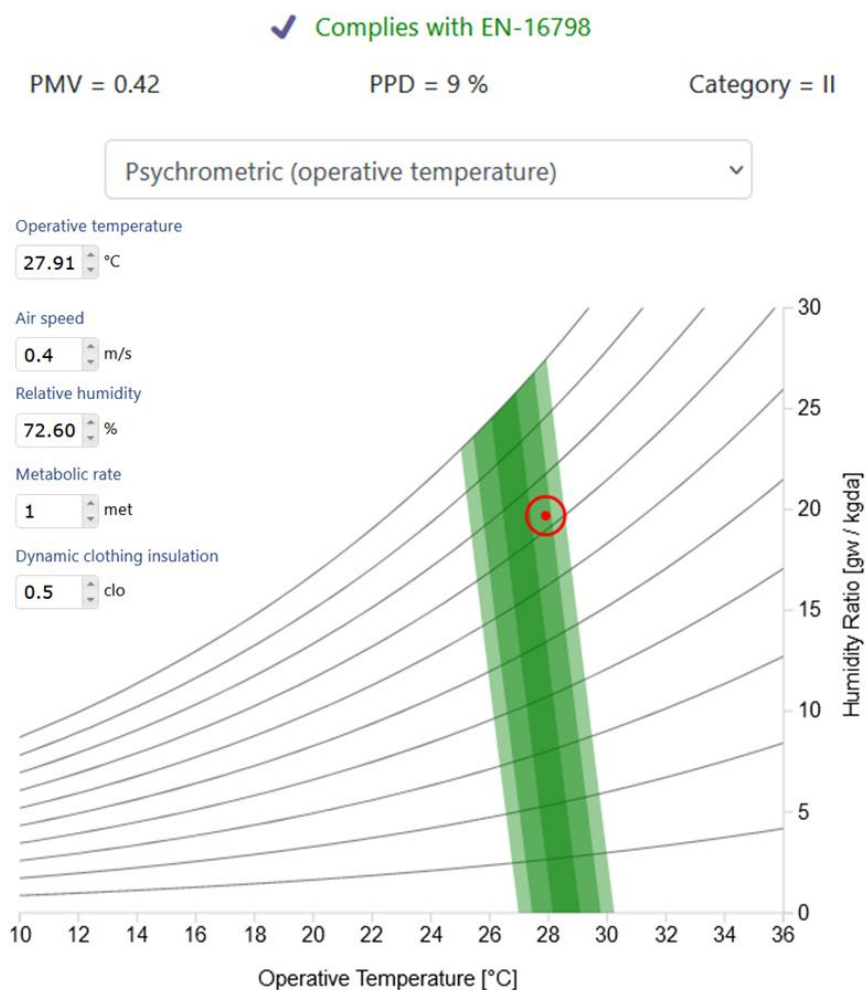


Figura 115: Evaluación PMV de confort térmico para MV a partir de Top a partir de Top con velocidad del aire de 0,4m/s bajo los parámetros de EN-16798, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).

Ahora es realizada nuevamente la evaluación a partir de T_{air} y T_{mr} desde ASHRAE Standard 55-2020, al añadir la velocidad del aire de 0,4 m/s, la Figura 116 muestra los valores PMV y PPD con el método de velocidad del aire elevada son de 0,35 y 8% respectivamente. Para este caso, la diferencia porcentual con respecto a la velocidad del aire promediada es de 3%.

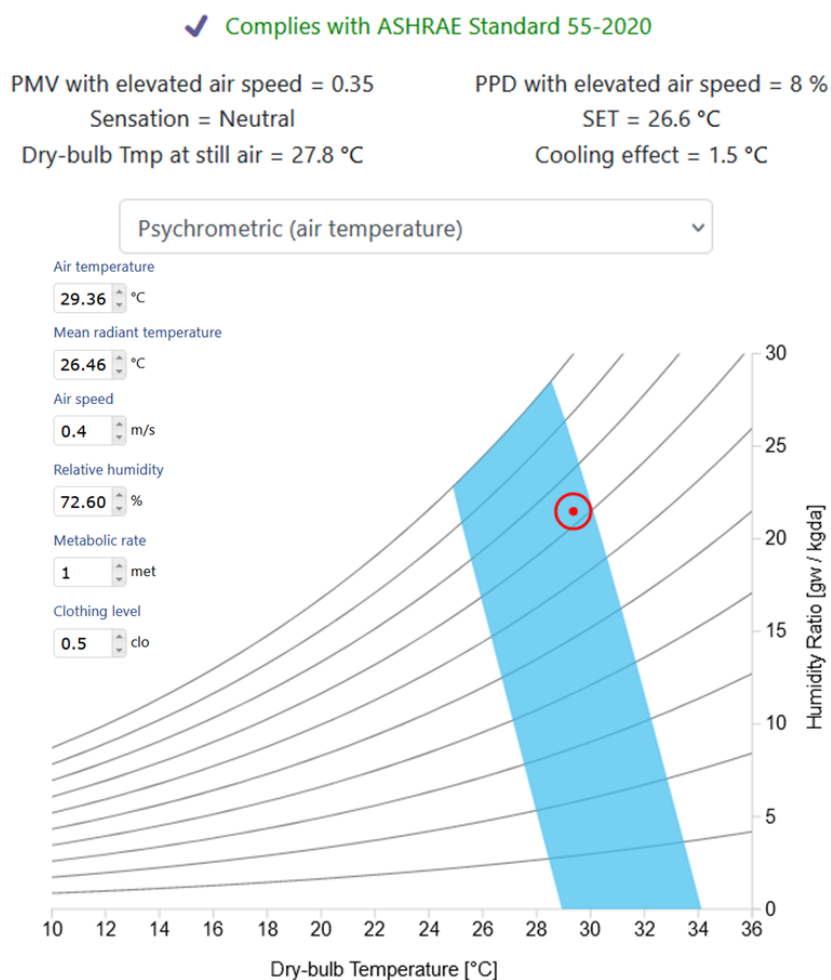


Figura 116: Evaluación PMV de confort térmico para MV desde el método Fanger (T_{air} y T_{mr}) con velocidad del aire de 0,4m/s bajo los parámetros de ASHRAE Standard 55-2020, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).

La Figura 117 muestra que, bajo el EN-16798, el valor PMV es de 0,66 y PPD es de 14%, ubicado en la categoría III, estando dentro del rango de confort térmico por muy poco, la diferencia porcentual con respecto a la velocidad del área promediada es de 4%.

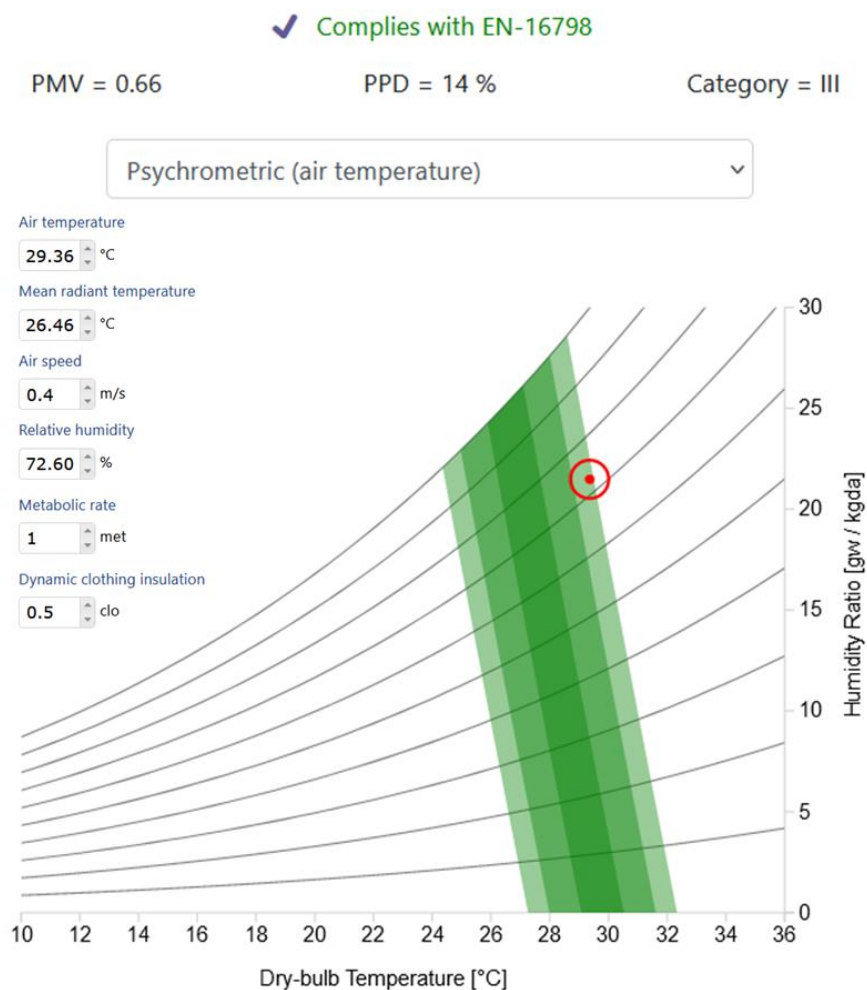


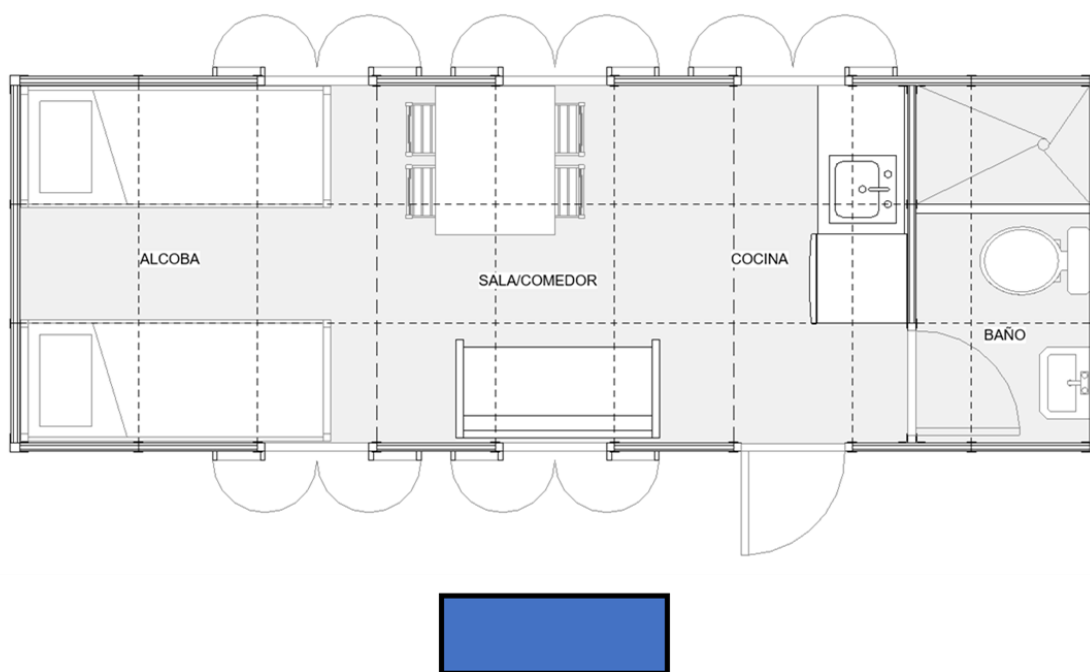
Figura 117: Evaluación PMV de confort térmico para MV desde el método Fanger (T_{air} y T_{mr}) con velocidad del aire de 0,4m/s bajo los parámetros de EN-16798, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).

Tras la evaluación con ambos métodos (adaptativo y Fanger) en su hora más crítica (13:00), es evidenciado que la materialidad propuesta usada en el modelo de la vivienda de emergencia, mejora considerablemente la calidad de su aire interior con respecto a la línea base, logrando estar dentro de las zonas de confort bajo ambos parámetros (ASHRAE Standard 55-2020 y EN-16798), esto tratando únicamente el cerramiento vertical del espacio, puesto que la cubierta y la base de la vivienda no fueron modificados para este estudio.

14. ANÁLISIS DE RESULTADOS

14.1. Aplicabilidad y flexibilidad del sistema modular ligero de paneles

Establecido el sistema modular espacial y de los elementos del sistema constructivo creados a partir de esta modulación, es acomodado el diseño del caso de estudio presentado en la Figura 118, la cual sigue el principio de módulos funcionales de 2,40x2,40m, en este diseño se generan tres áreas principales (privado, social y servicios) que han sido unidos entre sí. A partir de este diseño base, se formularon adiciones de módulos para ampliar la vivienda, e incluso adaptar otros usos.



**CASO DE ESTUDIO
MODULADO**

Figura 118: Caso de estudio ajustado al sistema modular propuesto, elaboración propia (2020).

La modularidad del sistema permitió que la vivienda pueda ampliarse en cualquier dirección, cambiando la ubicación de muros, puertas y ventanas sin requerir de complejos movimientos que signifiquen desocupar la vivienda, por lo que su flexibilidad presenta menos limitaciones que otros sistemas de construcción para viviendas de emergencia.

En la Figura 119, se presenta un espacio adicional que permite privatizar las alcobas, adicionando un módulo funcional de 2,40x,240 (3x3 módulos básicos) para separar la sala del comedor, sin modificar la posición de las puertas y las ventanas, solo suprimiendo una de las caras del cerramiento de la antigua alcoba y sumando los paneles necesarios para generar el nuevo espacio, con su respectiva ventilación reemplazando un panel de cerramiento por una ventana.

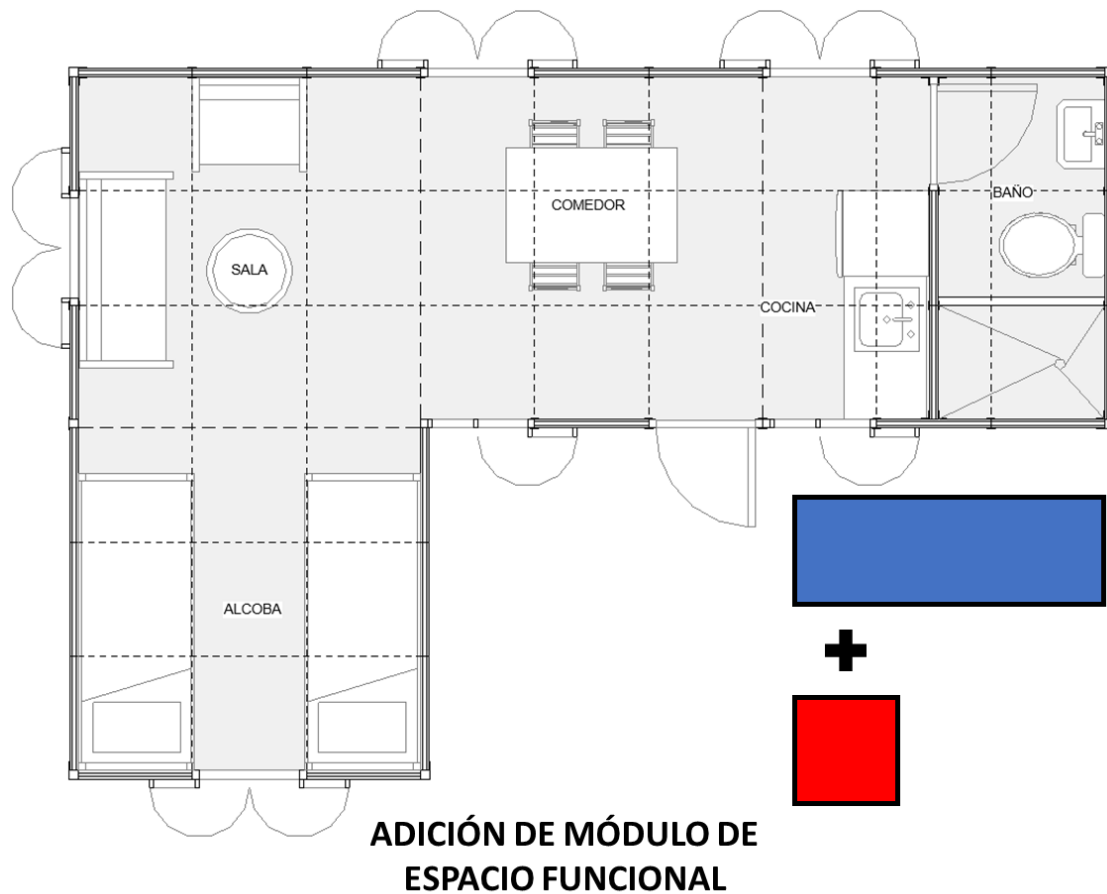


Figura 119: Adición de módulo de espacio funcional al caso de estudio y ampliación de su uso, elaboración propia (2020).

Para el ejemplo de la Figura 120, es añadido un módulo de servicios al caso de estudio base, lo que permite ampliar el baño y utilizar un módulo funcional completo para la cocina, añadiendo una barra que serviría para ser usado como comedor. Para este caso, las puertas y ventanas también siguen en su sitio, es eliminado el muro divisorio del área de servicios preexistente y es puesto para el baño ubicado en el nuevo módulo adicionado, ampliando también su espacio.

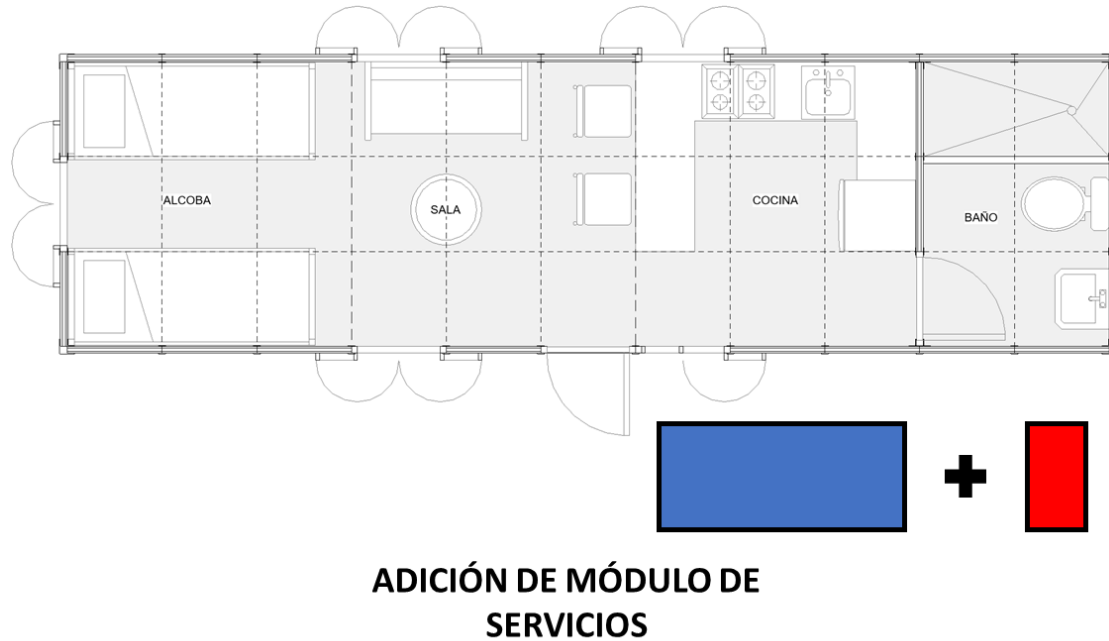


Figura 120: Adición de módulo de servicios al caso de estudio y ampliación de cocina, elaboración propia (2020).

A continuación, en la Figura 121, son añadidos al área, dos módulos funcionales y uno de servicios, esto generó dos zonas de alcoba, una sala y un comedor separados, una cocina completa y un baño. Para que los espacios puedan funcionar en sus accesos y ventilación, fueron cambiados de sitio las puertas y las ventanas, ya que la modulación se lo permite, pero dependiendo de cómo vaya a ser usada la vivienda, esta ubicación de vanos puede ser distinta, sin dificultar la disposición de los elementos modulares. Así es formada una vivienda de 32,64m² con todos los espacios mínimos de una vivienda con condiciones óptimas de privacidad.

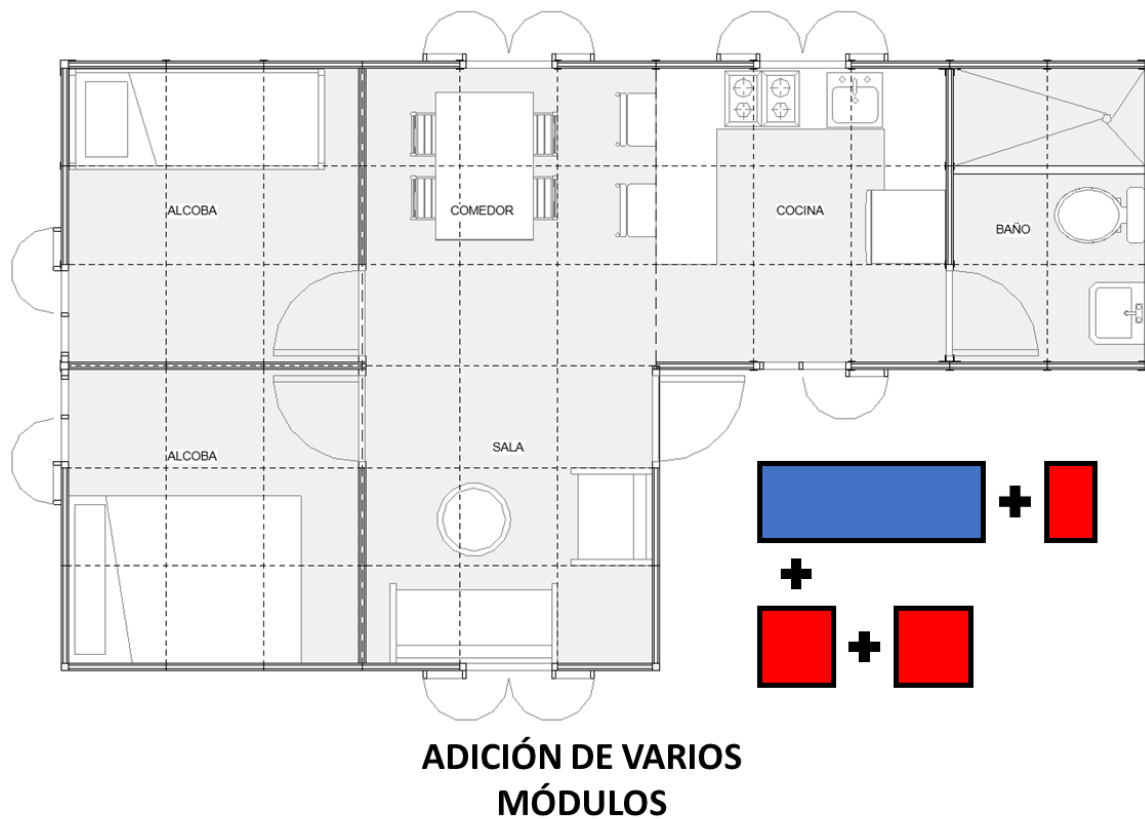


Figura 121: Adición de módulos de espacio funcional y de servicios al caso de estudio, elaboración propia (2020).

Adicionar módulos al caso de estudio puede también dar la posibilidad de cambiar el uso; en el siguiente ejemplo de la Figura 122, es adicionado tres módulos funcionales al modelo base, es decir, es duplicado el área del mismo, y esta vez no es usado como una unidad de vivienda, sino como albergue comunitario, otro uso de habitación para el estado de emergencia en poblaciones más numerosas, para esto es organizado el mobiliario (camarotes), las circulaciones, las puertas y las ventanas en función a su modulación y uso; esto como primera muestra de la aplicabilidad de la modulación en el sistema de

construcción para diferentes usos dentro del estado de la emergencia, este modelo puede seguir siendo ampliado según la necesidad en la habitabilidad tras la catástrofe.

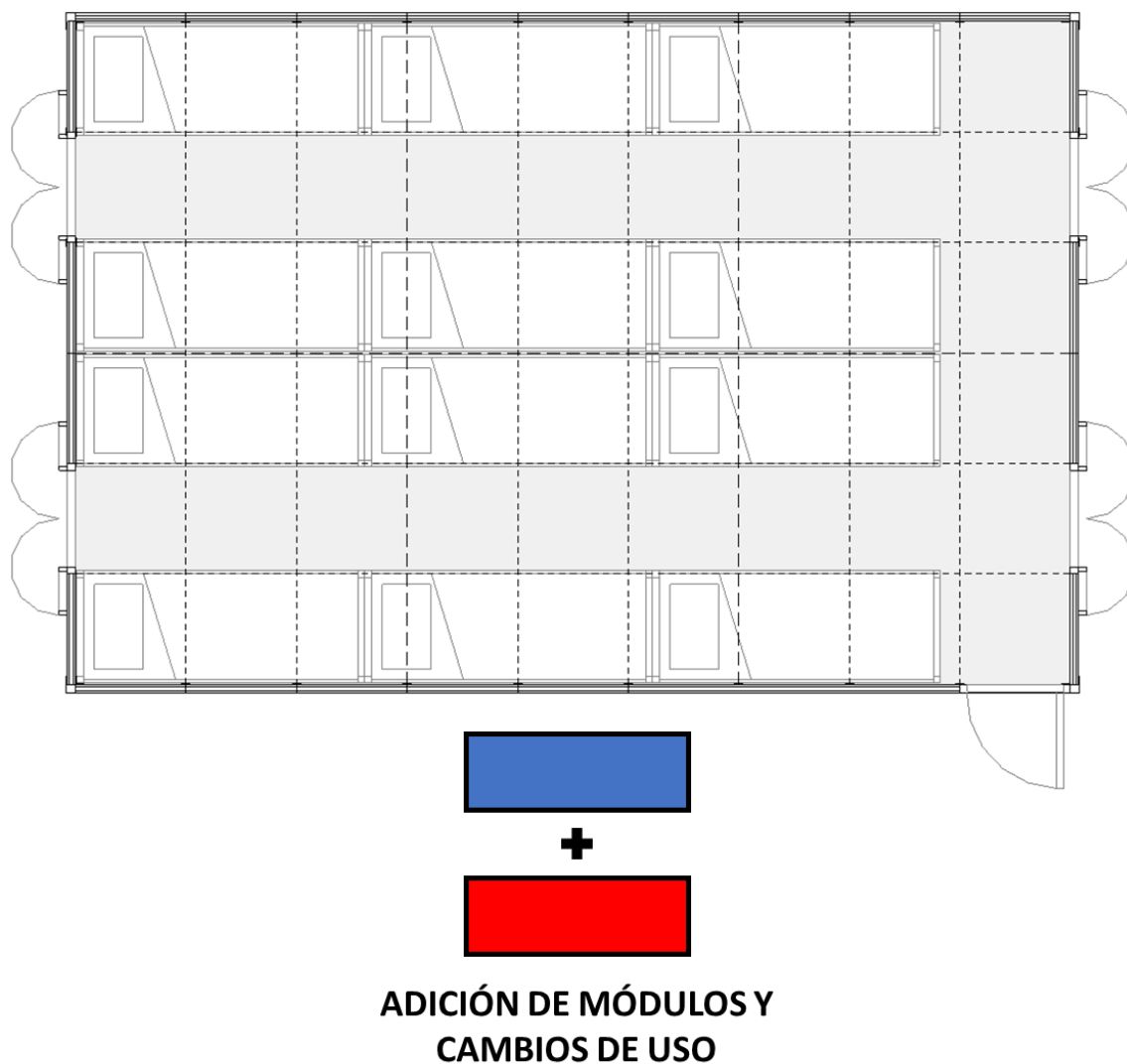


Figura 122: Duplicación del área al caso de estudio y cambio de uso a albergue comunitario, elaboración propia (2020).

En el ejemplo de la Figura 123, es probado un uso distinto al de residencia, en este caso es educativo, cambiando las aperturas del modelo (que posee la misma área del ejemplo anterior) y el mobiliario, puede ser cambiado con facilidad el destino del espacio,

la modularidad permite que el uso de un aula escolar pueda ser desarrollado sin inconvenientes, pues las circulaciones y muebles pueden ser organizados de acuerdo a estos módulos.

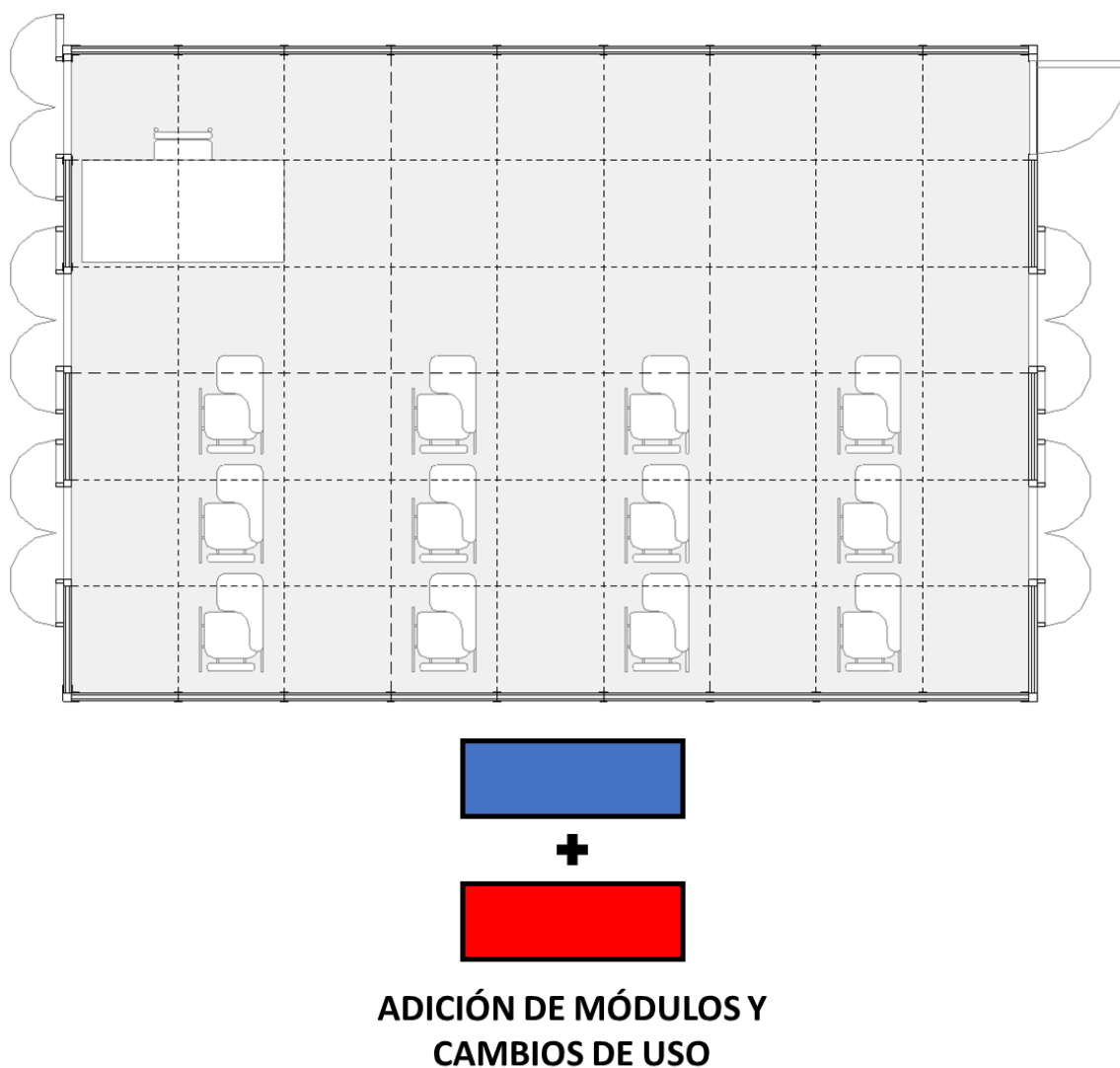


Figura 123: Duplicación del área al caso de estudio y cambio de uso a aula de clases, elaboración propia (2020).

Estos fueron solo unos ejemplos de lo que podría ser realizado con esta modulación en el sistema de paneles prefabricados, ya que el estado de emergencia puede variar de

acuerdo a los daños realizados tras la catástrofe, esta exploración permitió dar a conocer las posibilidades espaciales que ofrece este sistema modular para construir varias formas de habitar, por fuera del uso de vivienda, que serían necesarios también tras eventos de catástrofe, como zonas de atención médica, baños y cocinas comunitarias, áreas de abastecimiento, aulas de clase, entre otros. Incluso también para otros tipos de espacios temporales que no necesariamente forman parte del estado de emergencia.

14.2. Pasos para el armado del sistema de construcción de la vivienda de emergencia propuesta

Ya diseñado el ensamblaje del sistema de construcción, se muestra de manera sintética los pasos para poder armar la vivienda de emergencia desde su sistema propuesto, basado en el esquema presentado por el equipo ganador del concurso Archstorming y TECHO México (2019).

La Figura 124 muestra los dos primeros pasos de armado, como paso inicial, sobre una base en concreto fundida previamente, son instalados los arcos que arman el esqueleto de la vivienda, distanciados de acuerdo a la modulación de los paneles del sistema (2,40m entre ejes), estos arcos son fijados a la base por medio de platinas con dimensiones de 0,10x0,10m, y 5 pernos de 3/8". Posteriormente, son instaladas las vigas de amarre y ancladas a los arcos por medio de las platinas con dimensiones de 0,10x0,10m y 5 pernos de 3/8".

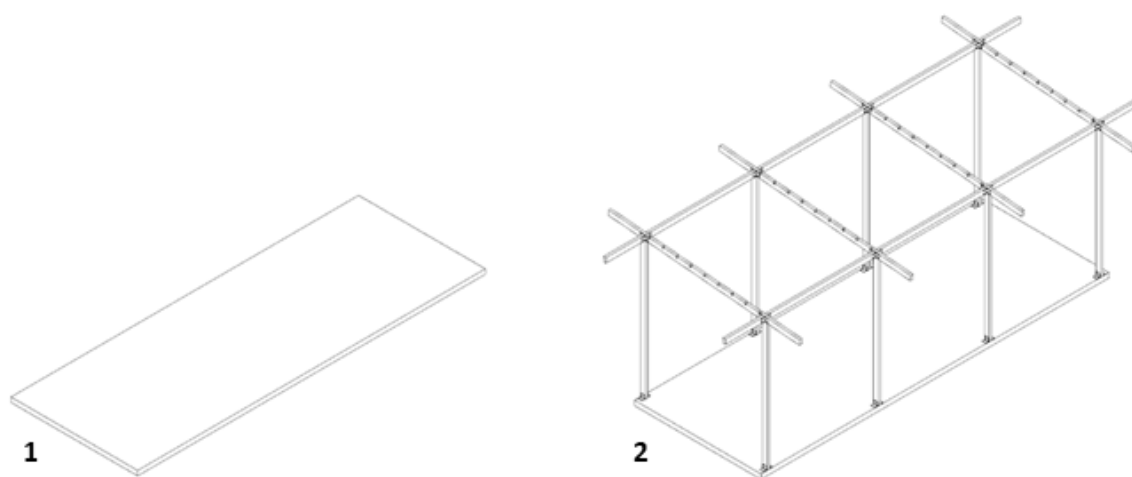


Figura 124: Losa de contrapiso preliminar y fijación del esqueleto de la vivienda de emergencia, elaboración propia (2020).

Continúa en la Figura 125 con la instalación de los rieles inferiores, que son acomodados contiguos a la estructura de la vivienda, son fijados atornillándolos a la estructura, sobre estos rieles son instalados los paneles y accesorios (puertas y ventanas) según el deseo y requerimiento del usuario de la vivienda, sobre estos, son instalados los elementos de remate y los rieles superiores para cerrar el sistema desde arriba.

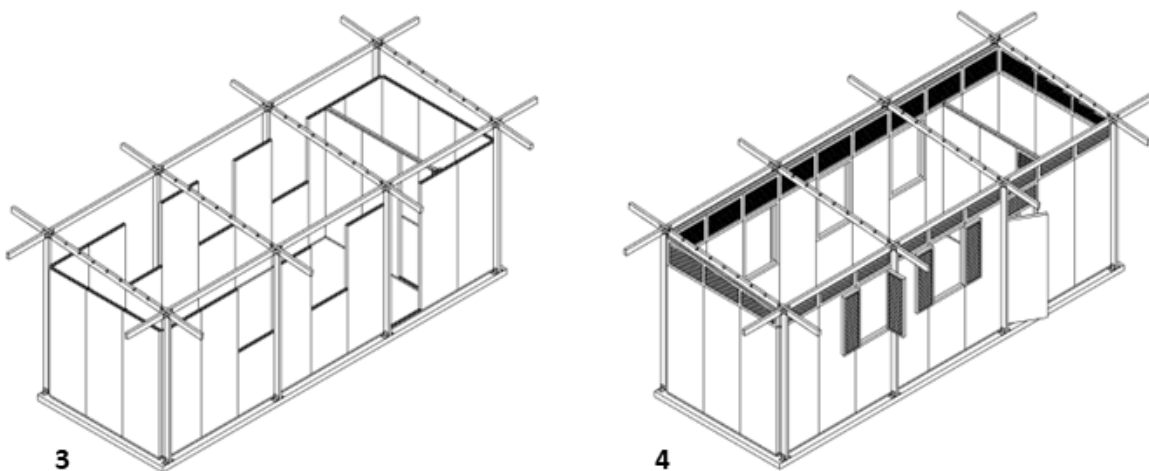


Figura 125: *Instalación de rieles inferiores, paneles junto a sus accesorios modulares (puertas y ventanas) y rieles superiores, elaboración propia (2020).*

Luego, como señala la Figura 126, son instalados los parales por ambas caras de los muros, que terminarían con el sellado del cerramiento vertical, estos son conectados de afuera hacia adentro por medio de tornillos y pernos de 3/8" que atraviesan los bastidores de pino de los paneles modulares previamente perforado.

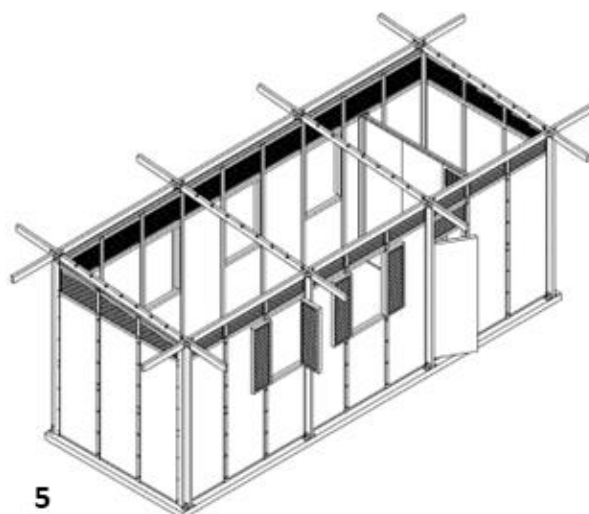


Figura 126: *Instalación de parales y esquinas para el sellado vertical del sistema, elaboración propia (2020).*

Como pasos finales mostrados en la Figura 127, son instaladas las correas entre las ranuras de las vigas que forman parte de los arcos, estos son fijados a presión, sobre esta estructura de cubierta es instalado el tejado de la vivienda, con su respectivo traslapo y fijado a la estructura con tornillería autoperforante de 3/8" y arandela de neopreno.

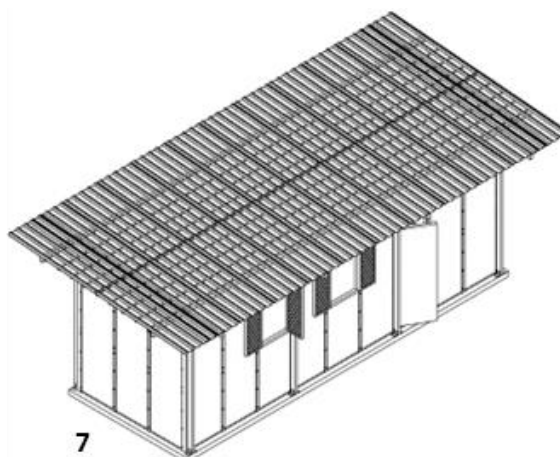
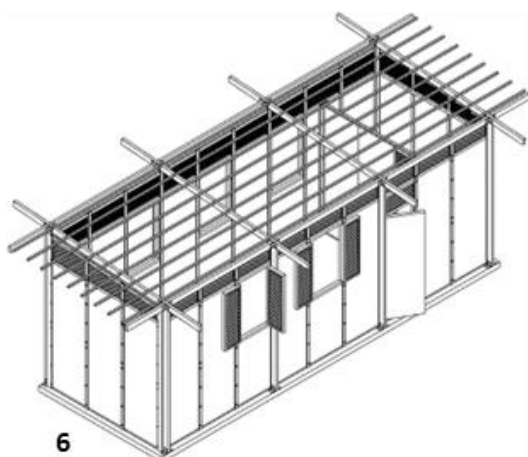


Figura 127: *Instalación de correas y tejado, elaboración propia (2020).*

A continuación, la Figura 128 resume el despiece del sistema de construcción de la vivienda de emergencia propuesta como caso de estudio, mostrando cada uno de sus elementos principales por capas, acomodados en orden de ejecución (de abajo hacia arriba), con el fin de entender mejor la composición de la vivienda en todas sus partes (primero la base, luego la estructura, seguido de los rieles inferiores, los paneles y accesorios modulares, el remate de los rieles inferiores, continuando con los parales de fijación vertical, después las correas para cubierta y finalmente el tejado).

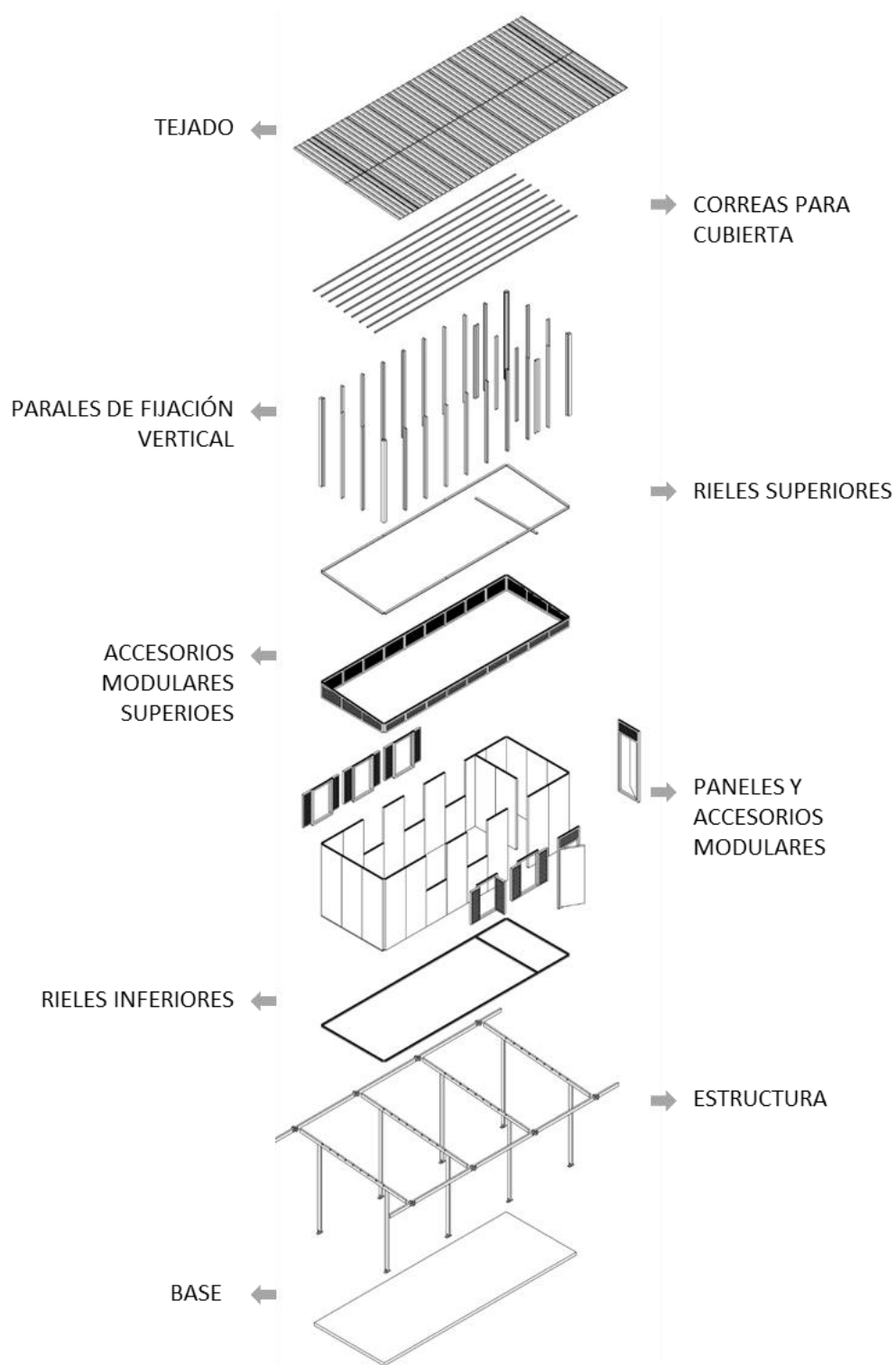


Figura 128: Despiece general del sistema de construcción para la vivienda de emergencia propuesta como caso de estudio, elaboración propia (2020).

Este sistema de armado en seco para el cerramiento vertical de la vivienda no requiere de mano de obra especializada ni grandes tiempos de ejecución, puede ser construido fácilmente solo con herramientas básicas de trabajo manual y sin requerir de equipo especializado, logrando que un grupo reducido de personas sin experiencia en construcción pueda llevar a cabo la ejecución de la obra, sin utilizar elementos adherentes, permitiendo también desmontarlo sin dificultad y sin requerir demoliciones, para realizar modificaciones o nuevas disposiciones a estos elementos para construcciones temporales después del estado de emergencia.

Los elementos para anclar el sistema pueden variar de acuerdo a las necesidades presupuestales y del sitio de implantación, siempre que siga manejando el principio de ser un sistema de construcción en seco y permita su adaptabilidad a cualquier estructura que se pueda emplear para el soporte de la vivienda.

14.3. Evaluación y estimación del nivel de confort térmico al interior de una vivienda de emergencia en clima ecuatorial cálido

14.3.1. Comparativa de intervención en envolvente vertical: *LB* vs. *MV*

La Figura 129, muestra el comportamiento de la *Top* de las envolventes verticales, tanto de *LB* (UNGRD, lona verde y polisombra negra) como de *MV* (paneles en esterilla laminada de guadua de 1.6cm de espesor pintada de blanco + poliestireno expandido de 3cm de espesor), en ella se señala el rango de confort con línea discontinua de color negro entre 21,5 y 28,9°C. Representado con la línea continua en color azul, *MV* se encuentra más cercano a la franja de confort que *LB* que se representa con color rojo. Se encuentran diferencias en los picos altos de temperatura de hasta 7,89°C, mientras que, en los picos bajos, llega a 1,7°C también en favor de *MV*. Esto es positivo, puesto que el mayor rango de insatisfacción térmica está presente en las temperaturas altas, el cual requiere de intervenciones directas en el sistema de construcción para hacerle frente a las altas temperaturas que, como se vio en el Capítulo 9, van desde la mitad de la mañana hasta el final de la tarde. Pese a que, en temperaturas bajas, la cantidad de horas representa un mayor tiempo dentro de la insatisfacción térmica, se puede mitigar mediante otros aspectos fuera de la técnica constructiva, como el clo o cortando el flujo constante de aire en la vivienda (cerrado de ventanas).

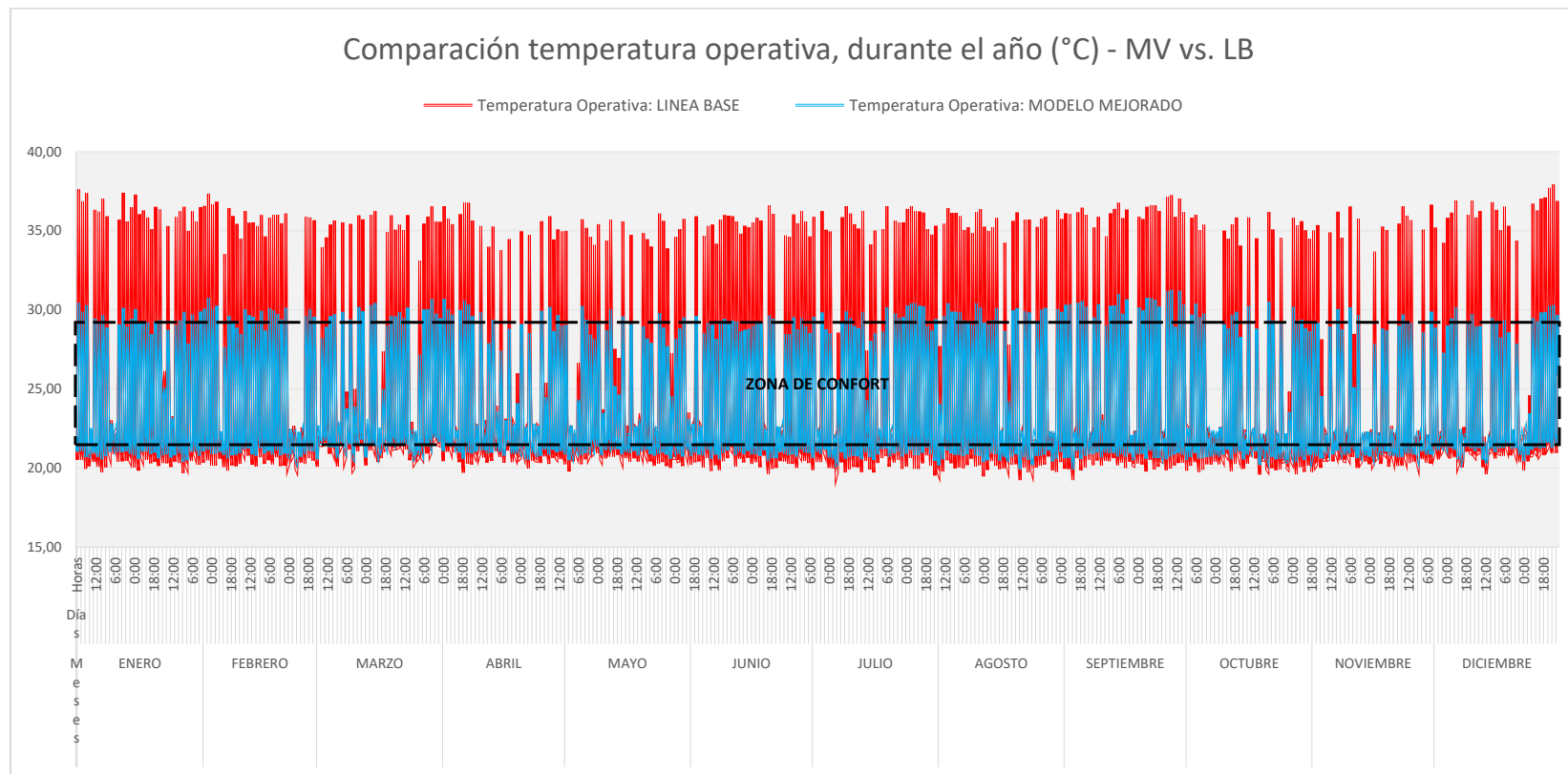


Figura 129: Gráfico comparativo del comportamiento de la Top durante todo el año entre LB y MV, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).

La siguiente Figura 130, compara el porcentaje de horas en satisfacción vs. Insatisfacción entre *LB* y *MV*, allí se nota una reducción del 15% en las horas de insatisfacción, es decir, 584 horas menos para *MV*. Es importante tener en cuenta que este tiempo puede ser tratado dependiendo de, si la insatisfacción se debe a temperaturas altas o bajas.

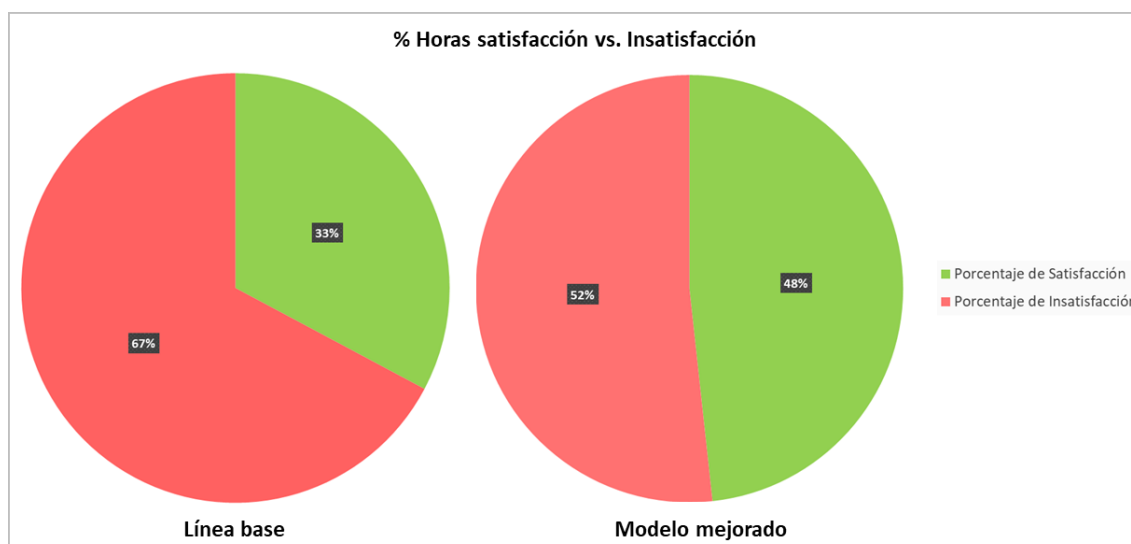


Figura 130: Gráficos del porcentaje de horas de Satisfacción vs. Insatisfacción térmica en *LB* frente a *MV*, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).

En la Figura 131, el porcentaje de horas en insatisfacción por calor fue reducido un 17%, es decir, que en *MV*, dentro de las horas en insatisfacción, solo el 17% corresponde al tiempo en temperaturas altas, lo que significa que, durante el día, el tiempo en confort térmico es más prolongado.

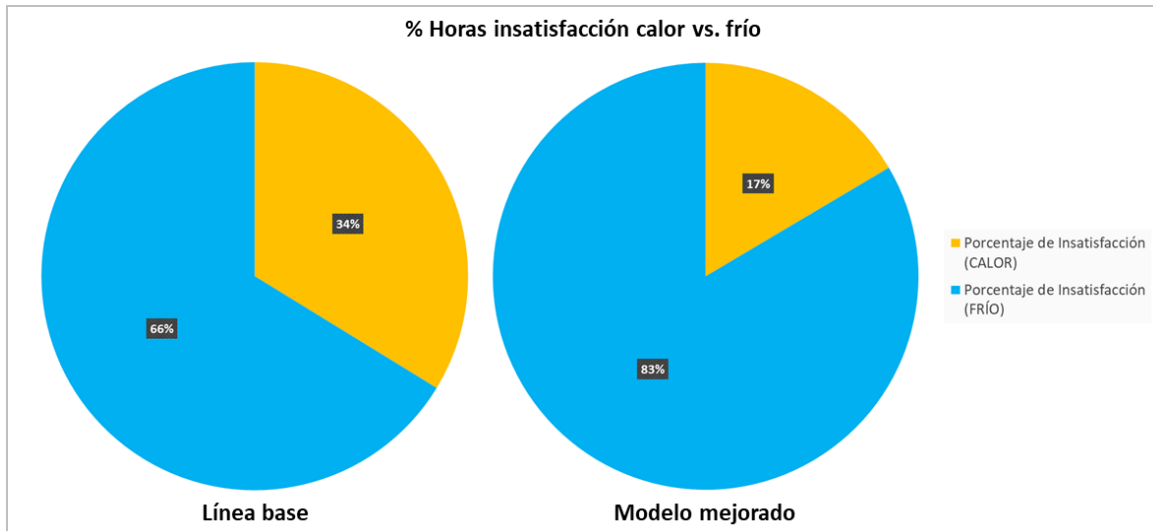


Figura 131: Gráfico del porcentaje de horas de insatisfacción en Calor vs. frío en LB frente a MV, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).

Para vislumbrar cómo sería un día promedio de LB y MV, en la Figura 132 se presenta un comparativo del promedio anual por horas de *Top* entre LB (línea continua roja) y MV (línea continua azul). Entre las 00:00 a 8:00 el cambio no es muy significativo, puesto que la diferencia es de 0,66°C en favor de MV, sin embargo, entre las 10:00 a 15:00 se notan diferencias de hasta 4,83°C, lo cual hace que MV permanezca dentro de la zona de confort durante las horas de *Top* más alto, sin superar los 28°C, a diferencia de LB que llega hasta los 32,37°C.

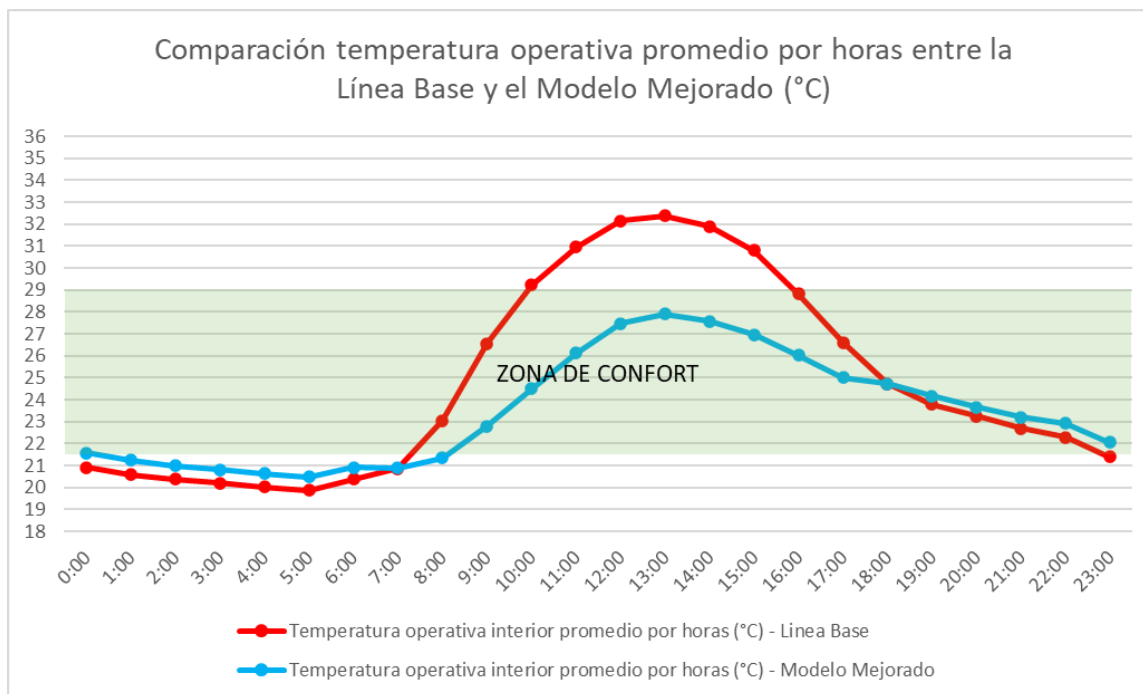


Figura 132: Gráfico comparativo de *Top* promedio anual por horas para LB y MV, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).

A continuación, la Figura 133 compara la *Top* promedio de las horas más calurosas del día (12:00 a 15:00) durante todos los meses del año, esta muestra una significativa mejora en la línea de color azul, que representa MV. Por otro lado, la línea roja de LB muestra que, durante estas horas, la vivienda está fuera de la zona de confort durante todo el año, llegando a *Top* de 33,74°C en enero y a 33,72°C en julio, pero estando más cerca de la zona de confort en los meses de mayo y noviembre, por debajo de los 30°C. En contraste, bajo la misma medición, MV se mantiene dentro del rango de confort, incluso durante los meses más críticos (enero y julio) sin superar los 28,5°C.

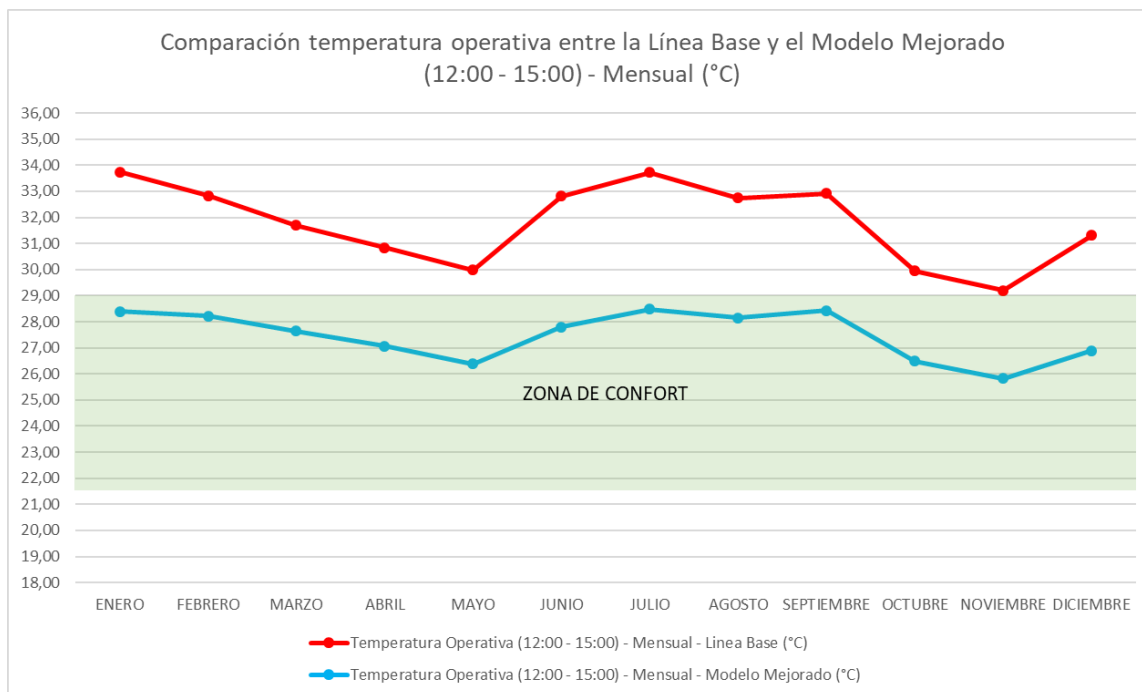


Figura 133: Gráfico comparativo de Top mensual entre las 12:00 y 15:00 para LB y MV, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).

En la siguiente Figura 133, es evaluado y contrastado, bajo el método adaptativo, la PMV de LB y MV a través de un diagrama psicrométrico soportado por CBE Thermal Comfort Tool (<https://comfort.cbe.berkeley.edu/>). En la gráfica, el punto perteneciente a LB, etiquetado con el #1, muestra que está por fuera del rango de confort térmico, mientras que el punto #2 perteneciente al MV, se mantiene dentro de este rango. Se observan diferencias de 1,54 puntos PMV y 37% de porcentaje PPD, lo cual se interpreta mediante el ASHRAE Standard 55-2020 que, al implementar las mejoras a la envolvente vertical, se pasa de una sensación térmica “ligeramente cálida” a “neutral”.

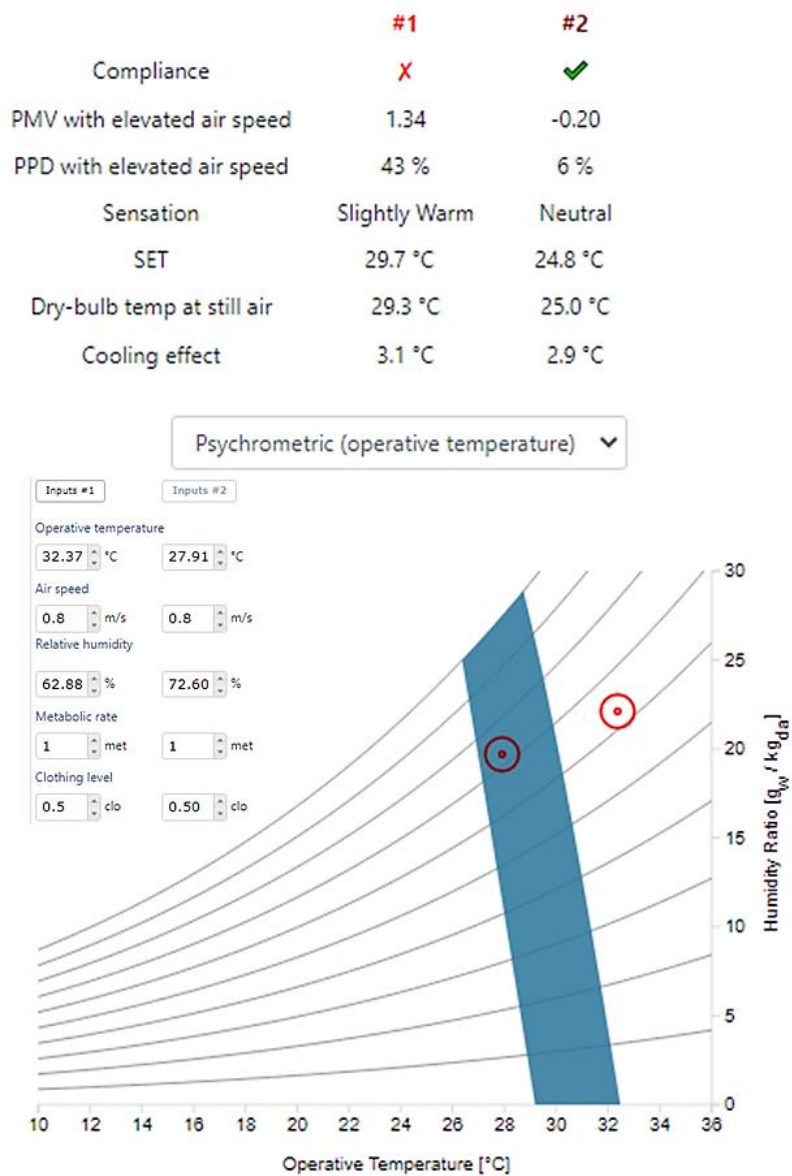


Figura 134: Evaluación PMV de confort térmico para LB vs. MV a partir de Top bajo los parámetros de ASHRAE Standard 55-2020, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).

Ahora, la misma evaluación bajo el modelo de Fanger, en el cual se toma las variables de T_{air} y T_{mr} , representado en la Figura 135, muestra que, para cada caso (#1 y #2), la franja de confort es distinta, sin embargo, el PPD es mayor para ambos con respecto

al ejemplo anterior. Su diferencia en PMV y PPD son de 1,43 y 45% respectivamente, con la misma diferencia de sensación térmica.

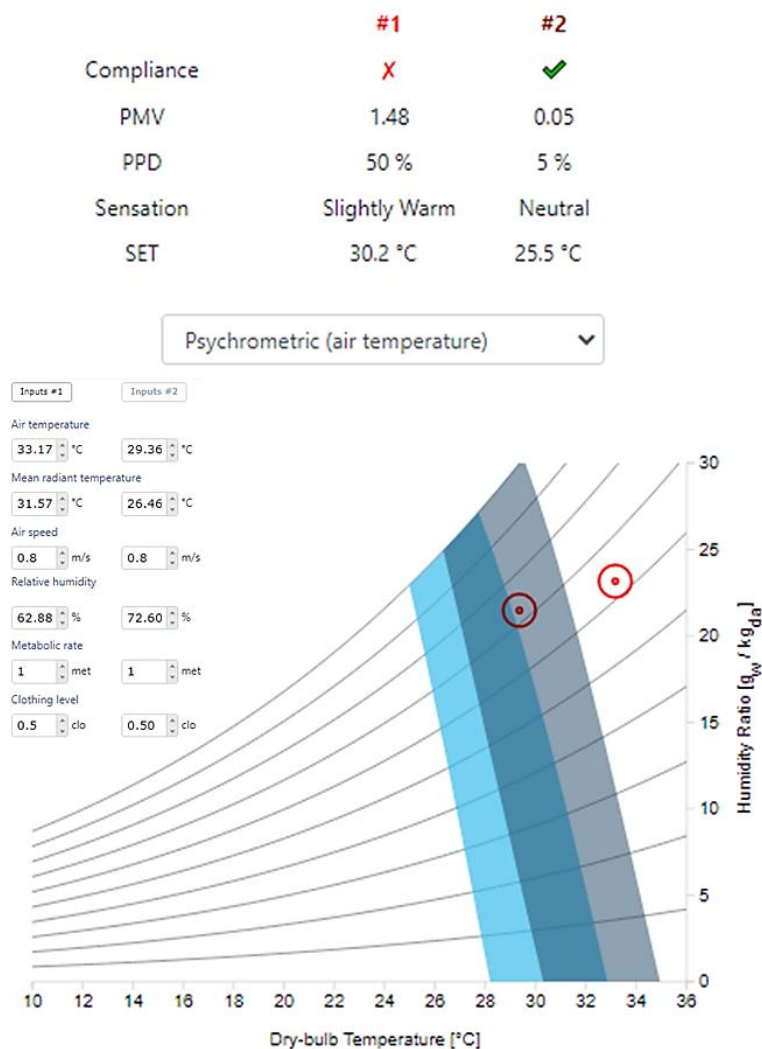


Figura 135 Evaluación PMV de confort térmico para LB vs. MV desde el método Fanger (T_{air} y T_{mr}) bajo los parámetros de ASHRAE Standard 55-2020, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).

La Figura 136 muestra, esta vez, los resultados comparados con una velocidad del aire de 0,4m/s, partiendo de *Top*, entre ambos datos hay una diferencia en PMV de 1,57 y en PPD de 58%. Con una sensación térmica cálida en #1 y neutral en #2.

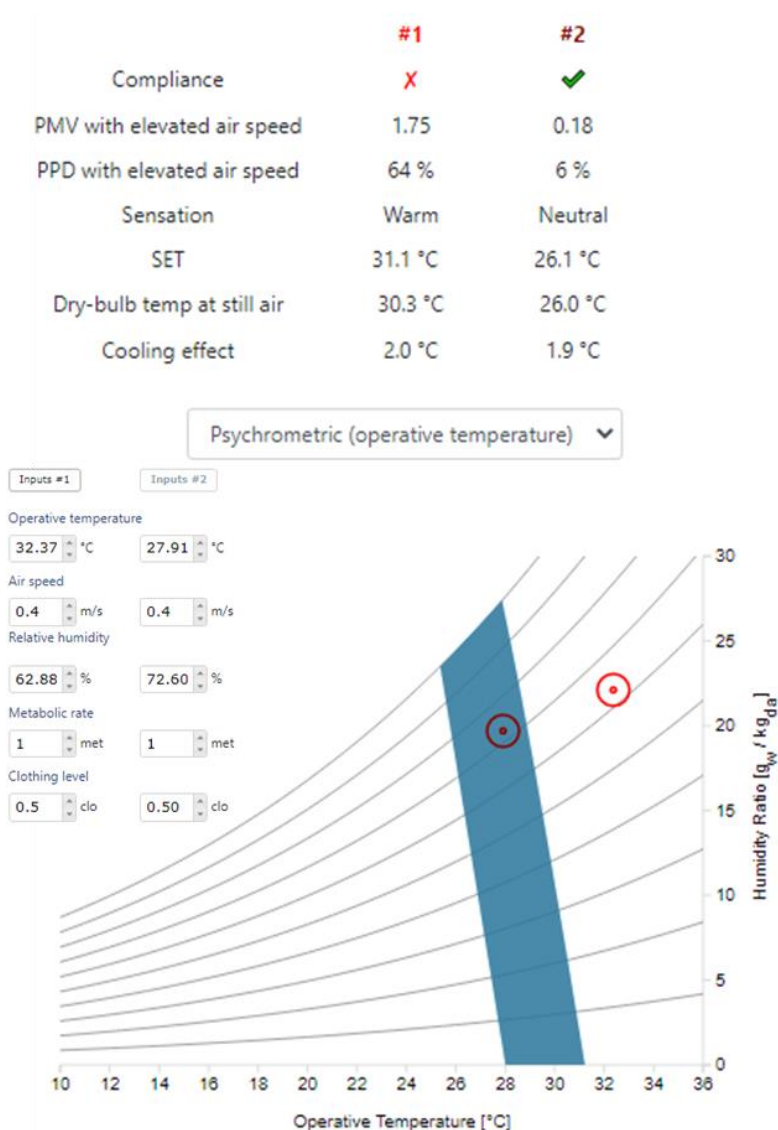


Figura 136: Evaluación PMV de confort térmico para LB vs. MV a partir de Top con velocidad del viento de 0,4m/s bajo los parámetros de ASHRAE Standard 55-2020, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).

Bajo el método Fanger, teniendo en cuenta que este método es usado pensando en el empleo de ventilación mecánica, pero que se aprovecha el recurso para obtener más herramientas para el análisis de los datos, la diferencia en los resultados de los casos #1 y

#2 muestran en la Figura 137, una diferencia en PMV de 1,49 y PPD de 61%, con la misma sensación térmica del resultado anterior.

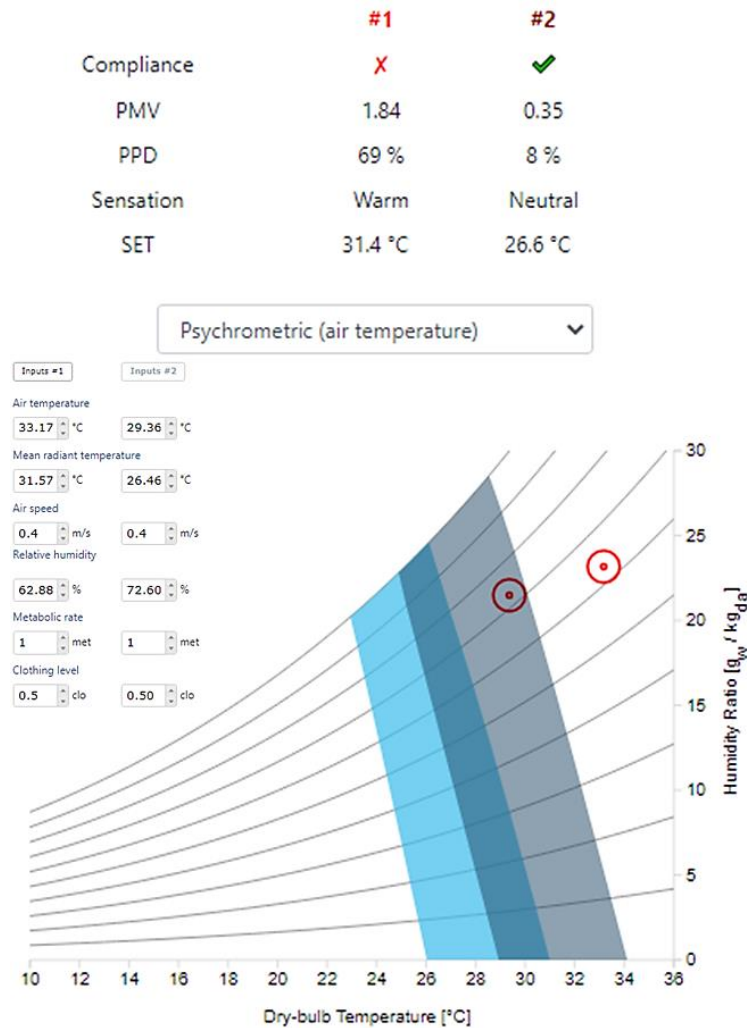


Figura 137: Evaluación PMV de confort térmico para LB vs. MV desde el método Fanger (T_{air} y T_{mr}) con velocidad del viento de 0,4m/s bajo los parámetros de ASHRAE Standard 55-2020, usando CBE Thermal Comfort Tool de Berkeley University of California, elaboración propia, (2020).

Al evaluar bajo los métodos adaptativo (con 80% de aceptabilidad) y Fanger, la respuesta térmica entre LB y MV muestran diferencias notorias; pero en lo que coinciden

las evaluaciones, es en que la materialidad de *LB* (propuesta por la UNGRD) está muy alejado de los parámetros de confort térmico para un espacio habitable en el clima ecuatorial cálido, mientras que en *MV*, su tiempo en confort térmico es más prolongado y apto para uso residencial.

Aunque el sistema de construcción propuesto logró mejorar muy considerablemente su respuesta térmica, es necesario indagar sobre los límites de la franja de confort térmico para la habitabilidad en espacios de características provisionales, con el fin de no traspasar la barrera entre el uso temporal y permanente.

14.3.2. *LB* y *MV* enfrentados a envolvente en Superboard (*SB*)

Siendo el sistema Drywall uno de los más utilizados para construcciones ligeras y rápidas en ejecución, siendo empleado también para construcciones temporales de uso comercial y frecuentado por TECHO para sus viviendas, se hace el ejercicio de aplicar este sistema a la envolvente vertical del modelo de vivienda de emergencia para enfrentarlo a *LB* y *MV*. Al simular con un sistema de paneles en fibrocemento (superboard, en adelante mencionado como *SB*), representado en color amarillo, y al evaluarlo en comparación con *LB* en color rojo y *MV* en azul, la Figura 138 muestra una respuesta casi paralela entre sí.

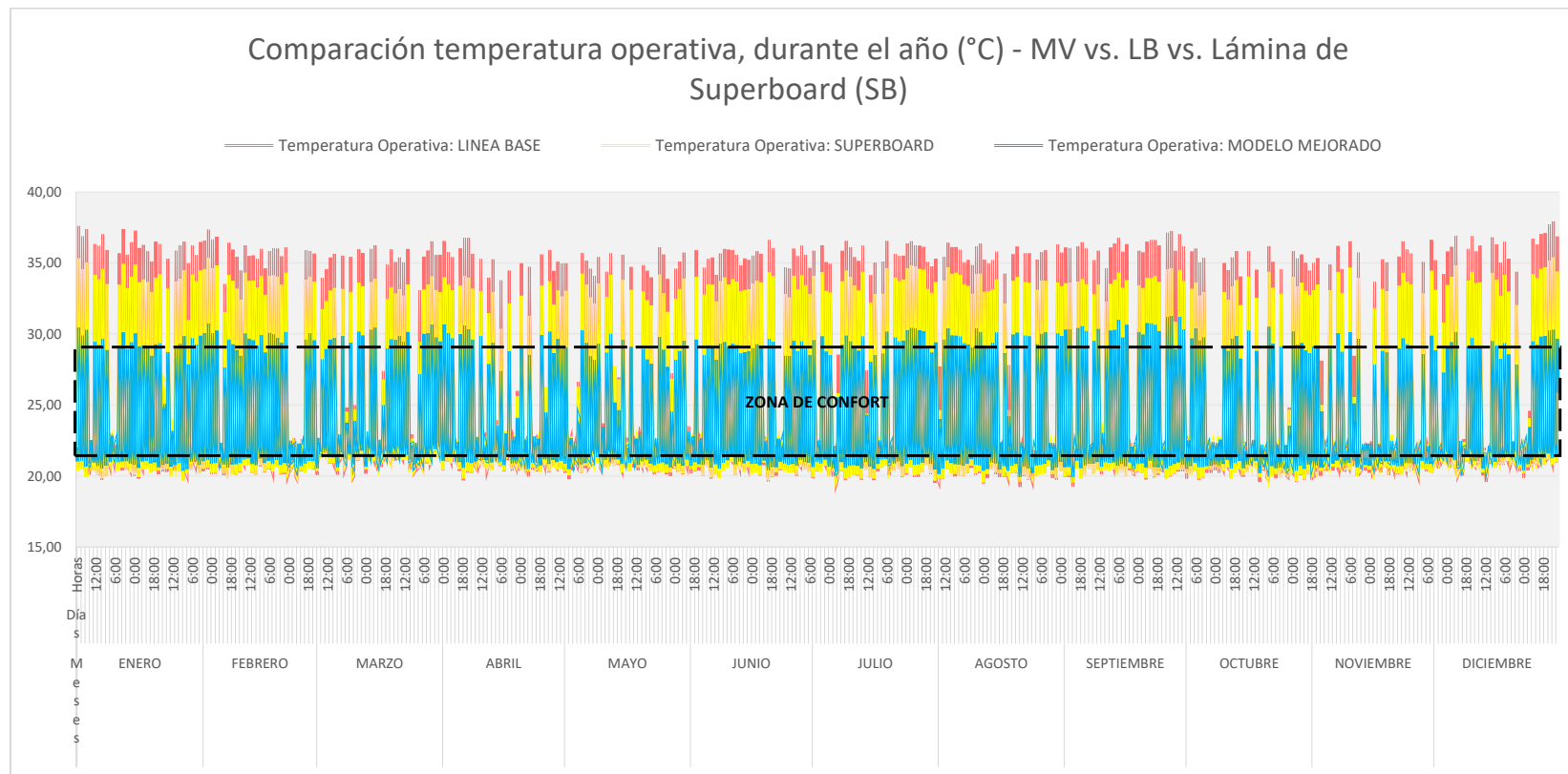


Figura 138: Gráfico comparativo del comportamiento de Top durante todo el año entre el modelo con SB, LB y MV, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).

Esta nueva simulación muestra que *SB* presenta una mejor respuesta térmica con respecto a *LB*, pero sin obtener resultados tan favorables como *MV*, teniendo también en cuenta que durante las horas críticas (12:00 – 15:00), mostrado en la Figura 139, no alcanza el confort térmico, teniendo una diferencia aproximada de 1,5°C con respecto a *LB*.

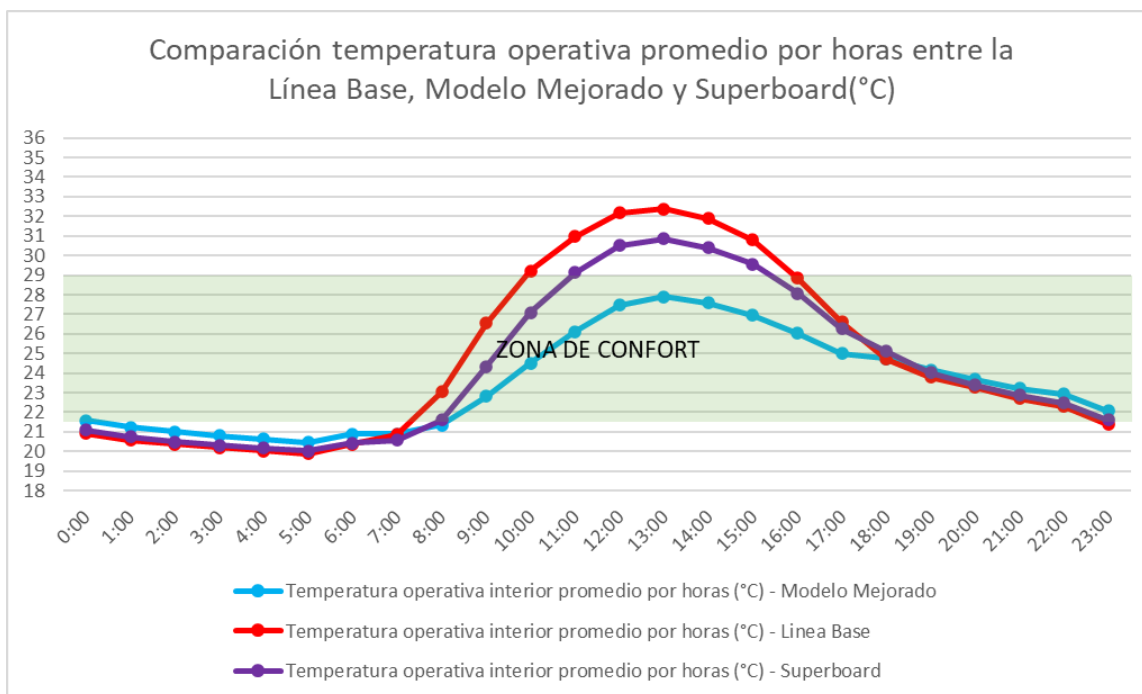


Figura 139: Gráfico comparativo de la temperatura operativa promedio anual por horas para *LB*, *SB* y *MV*, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).

14.3.3. Adición de intervención en envolvente horizontal (*MVH*)

Al observar la respuesta de *MV*, se experimentó implementando su materialidad a la cubierta (referenciado desde ahora como *MVH*), instalando bajo la teja de zinc, una capa de poliestireno expandido con el mismo espesor usado en el panel de cerramiento (3cm), y una capa de esterilla laminada de guadua, al comparar el comportamiento de *Top* a lo largo del año entre *LB*, *MV* y *MVH*, visualizado en la Figura 140, la respuesta frente a las temperaturas altas es muy positiva ante el ajuste en cubierta, en la línea color amarillo que representa a *MVH*, llega al pico de 26,6°C, mientras que, frente a las temperaturas bajas, llega a un pico de 19,9°C.

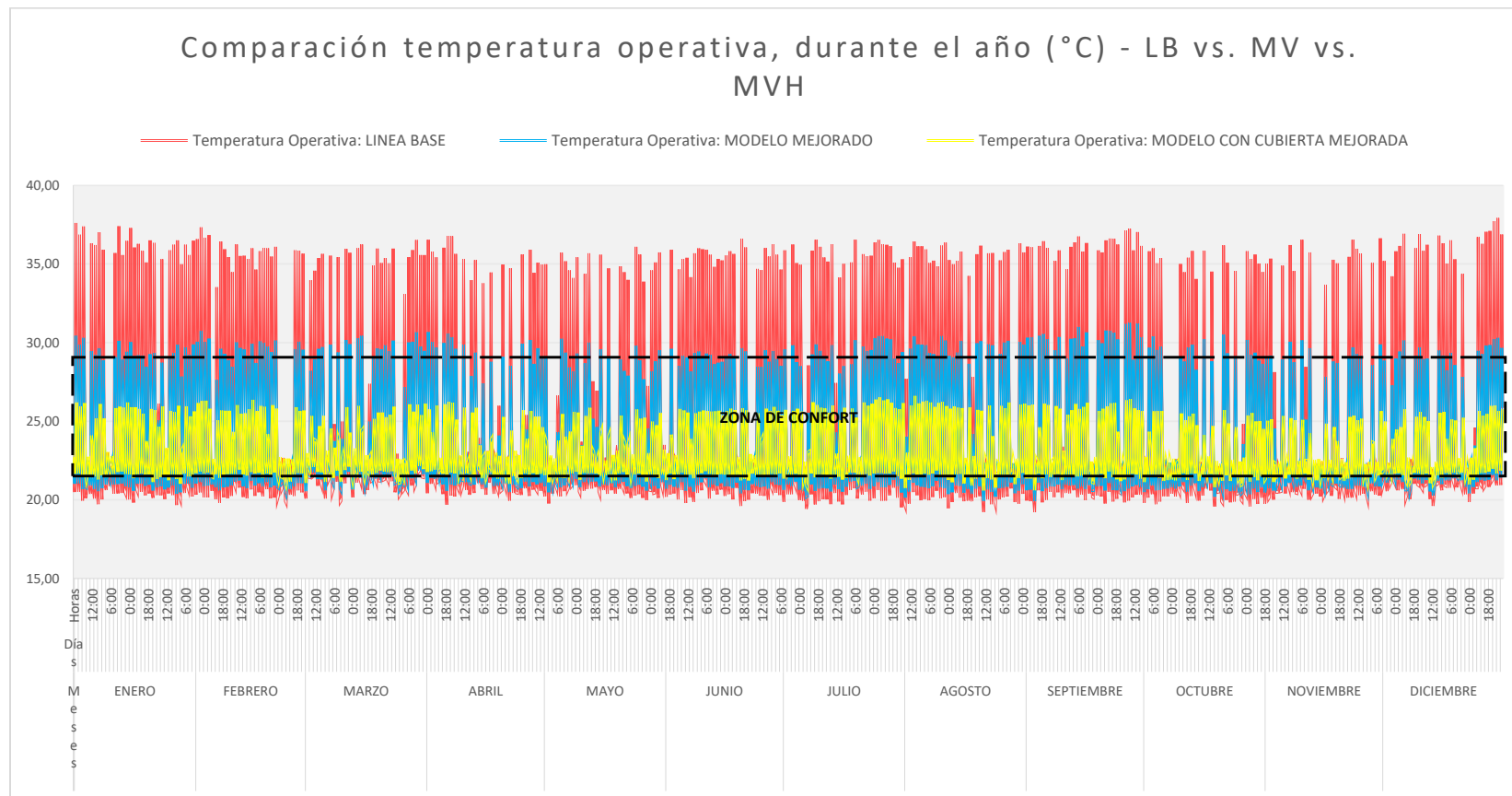


Figura 140: Gráfico comparativo del comportamiento de Top todo el año entre LB, MV y MVH, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).

Este resultado positivo se ve reflejado en el tiempo de insatisfacción térmica, de acuerdo con la comparativa en la Figura 141, de 8760 horas, 3572 horas son insatisfactorias, es decir, el 41% del tiempo del año, 11% menos que en *MV*, en esta ocasión, el porcentaje de horas en satisfacción supera al de insatisfacción.

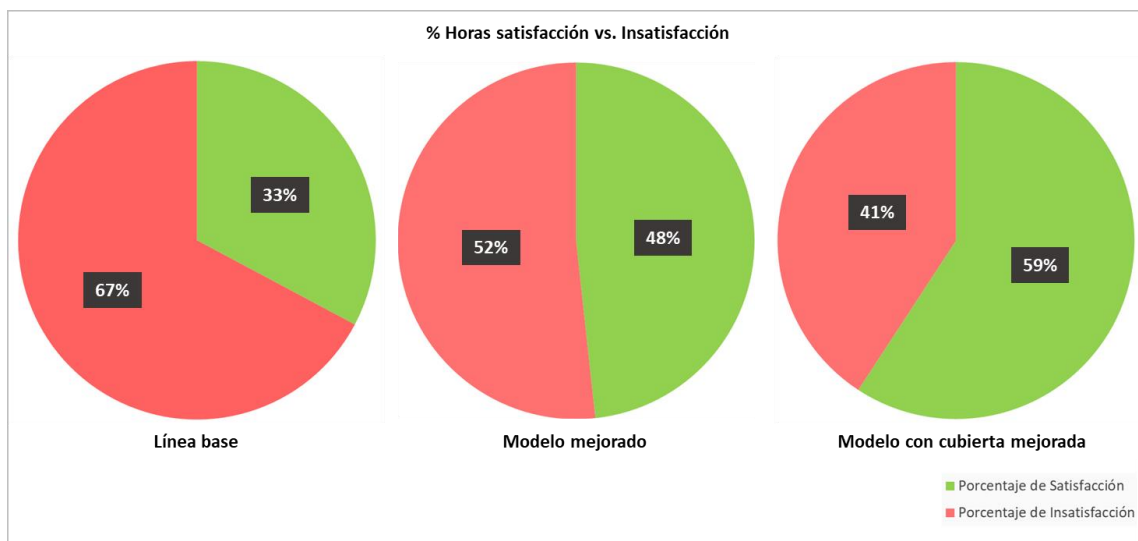


Figura 141: Gráfico del porcentaje de horas de Satisfacción vs. Insatisfacción térmica en *LB*, *MV* y *MVH*, a partir de la información suministrada por *OpenStudio*, elaboración propia, (2020).

Para *MVH*, al comparar con *LB* y *MV* en la figura 142, el porcentaje de horas en insatisfacción por calor fue reducido a 0%, por lo que ahora este tiempo corresponde únicamente a temperaturas bajas, teniendo en cuenta que esta insatisfacción se presenta durante la noche y la madrugada, es mitigable empleando elementos de abrigo.

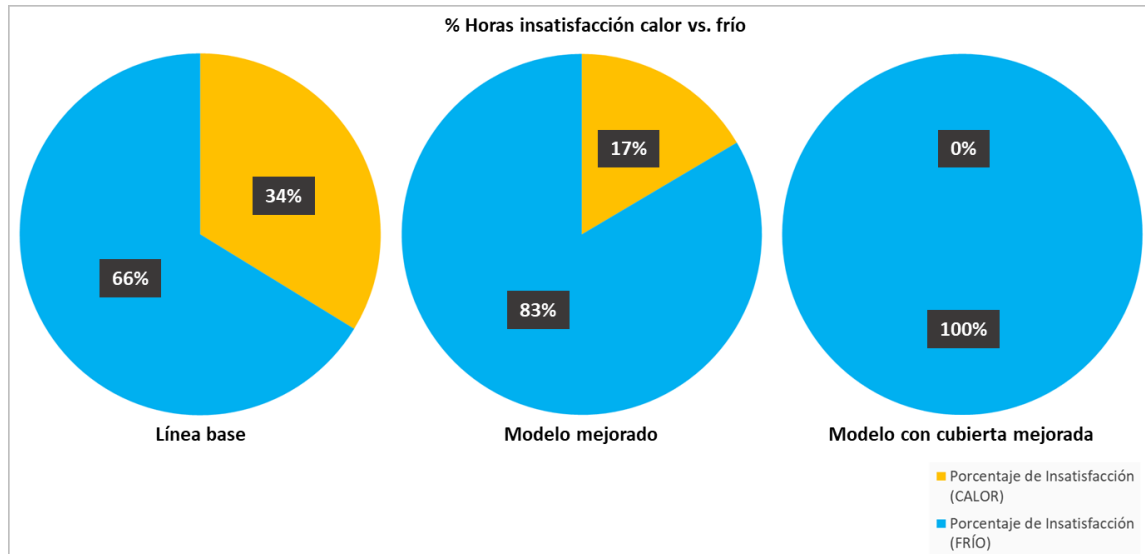


Figura 142: Gráfico del porcentaje de horas de insatisfacción en Calor vs. frío en LB, MV y MVH, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).

En la comparación de la Figura 143 de *Top* promedio por hora durante el año, muestra que MVH hace que, en las horas más críticas, *Top* se mantenga más estable dentro de la zona de confort, alcanzando temperaturas entre 23,49°C y 24,63°C, con una diferencia superior a 3°C con relación a MV.

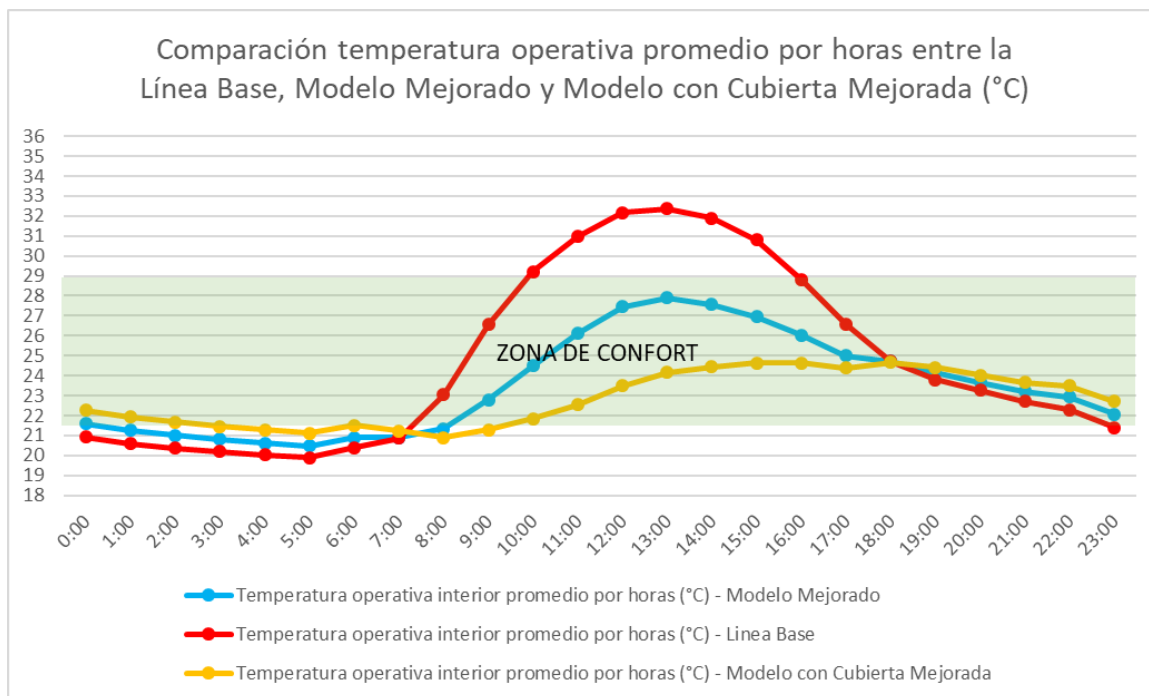


Figura 143: Gráfico comparativo de Top promedio anual por horas para LB, MV y MVH, a partir de la información suministrada por OpenStudio, elaboración propia, (2020).

Al enfrentar el mejoramiento en confort térmico vs. el área del elemento intervenido en m²; en fachada, con 46m² de intervención, MV mejora un 15% el tiempo en confort térmico con respecto a LB, mientras que, tras una intervención en 36,89m² de cubierta, mejoramiento en confort térmico de MVH es del 26% en relación con LB y del 11% en relación con MV, como muestra la Figura 141. Esto quiere decir que, el mejoramiento en cubierta requiere de menor área de intervención para obtener resultados más favorables que operando únicamente sobre fachada.

Es de tener en cuenta que, la literatura bioclimática es consecuente en cuanto a que resulta más eficiente atender como prioridad la cubierta para el mejoramiento térmico de espacios en estas latitudes, ya que es el elemento que recibe más directamente la radiación,

luego de intervenida la cubierta, se les presta atención a las fachadas. Sin embargo, debido al interés en esta investigación de un sistema de construcción que promoviera la flexibilidad y facilidad en la delimitación de espacios, se decidió enfocar el mejoramiento térmico únicamente en los elementos de cerramiento vertical, poniendo a prueba los alcances del mismo sin tener que recurrir a la intervención en cubierta, experimentar hasta dónde podría mejorar térmicamente una vivienda de emergencia únicamente interviniendo las fachadas. El resultado fue favorable, pero no una solución definitiva, es por esto que, como un ejercicio adicional, se decidió por realizar la prueba del uso del material de la envolvente para mejorar también la cubierta, y es importante dejar claro que esto solo fue un ejercicio de empleo de materialidad, y se debe profundizar en la técnica constructiva que puede hacer posible un mejoramiento real en este elemento.

14.3.4. Porcentaje de aceptabilidad para viviendas de emergencia

Actualmente, bajo el método adaptativo, la franja de confort térmico en Cali, con 80% de aceptabilidad (la menos restrictiva) está en un rango entre 21,5°C y 28,9°C, estas franjas son empleadas para la habitabilidad en espacios permanentes, por lo que, al cumplir con esto, se está estimulando el uso definitivo de la vivienda, lo que va contra el principio de temporalidad de una vivienda de emergencia. Por eso, para este tipo de construcciones, la franja de confort debe ser más flexible en cuanto a su tolerancia en temperaturas y porcentaje de aceptabilidad. Así que se establece un porcentaje de aceptabilidad del 75% para el método adaptativo, que ampliaría la zona de confort a 21°C como *Top* inferior, y 29,5°C como *Top* superior, esto se representa en la Figura 144, mostrando el 80% de aceptabilidad en color verde claro, y el 75% en color verde oscuro.

Aumentar la tolerancia un 5% más para viviendas de emergencia, permite ampliar las posibles soluciones para confort térmico en un espacio residencial que no estimule un carácter de permanencia definitiva. En esta aplicación, dentro de los dos grupos de materiales empleados, aumenta las horas y meses promediados dentro de la franja de confort térmico. Cabe aclarar que, aunque no se busque estimular la permanencia definitiva en la vivienda de emergencia, si es importante que el clima interior sea lo suficientemente tolerable durante el periodo del estado de emergencia, que tiende a prolongar.

Figura 144: Aumento de la franja de confort del 80% (21,5°C a 28,9°C) al 75% de aceptabilidad (21°C a 29°C), elaboración propia, (2020).

15.CONCLUSIONES

15.1.Introducción

La habitabilidad en el estado de emergencia, incluye una serie de factores especiales que no son tenidas en cuenta dentro de la habitabilidad en condiciones básicas fuera de la etapa posterior a un desastre, es por esto que la vivienda de emergencia es construida para poder suplir las necesidades mínimas del damnificado, pero sin perder su característica de temporalidad y solución provisional. Partiendo de estos criterios, las conclusiones de esta investigación se enmarcan en la digna solución habitacional dentro un periodo de tiempo limitado, pero que puede ser prolongado dependiendo de la gravedad del desastre presente en el territorio.

El contenido de este capítulo se divide en lo que se puede concluir de lo propuesto en relación con el marco teórico, los objetivos, las respuestas que brinda a las preguntas de investigación y reflexiones finales con invitación a trabajos futuros.

15.2.En relación con el marco teórico

1. **Desarrollo sostenible:** Esta propuesta de un sistema ligero, desmontable y generador de espacios térmicamente confortables para viviendas de emergencia, contribuye, por su característica de reutilización, a la disminución de residuos de demolición y construcción, a la disminución en la producción de material nuevo, lo que evita la explotación de nueva materia prima, a un menor consumo energético por climatización interior dentro de un clima ecuatorial cálido, así como a la rápida solución habitacional en estado de emergencia, generando aportes a los objetivos 9 (industria, innovación e infraestructura), 10

(reducción de las desigualdades), 11 (ciudades y comunidades sostenibles), 12 (producción y consumo responsables) y 13 (acción por el clima) dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, como resumidos en la Figura 6.

2. **Gestión del riesgo del riesgo de desastre:** La gestión del riesgo del desastre requiere una solución oportuna y efectiva para el déficit de vivienda que pueda generar un estado de emergencia, por lo que el sistema de construcción propuesto genera una rápida respuesta con la posibilidad de volver a ser utilizado en siguientes situaciones con afectación en infraestructura residencial, educativa o cualquier equipamiento de uso esencial en las comunidades.
3. **Habitabilidad y vivienda de emergencia:** Teniendo en cuenta las limitadas condiciones que puede ofrecer una vivienda de emergencia en cuanto a habitabilidad, el sistema de construcción propuesto puede disminuir la complejidad que presenta la solución a espacios que puedan ser habitados de acuerdo al modo de vivir del usuario (flexibilidad y adaptabilidad), así como una mejor calidad de vida durante el estado de emergencia al brindar una respuesta térmica más favorable que los métodos convencionales de solución de vivienda temporal dentro de un contexto que cuenta con un clima ecuatorial cálido.
4. **Arquitectura prefabricada y sistema modular ligero:** Un sistema prefabricado, modular y ligero ofrece una solución flexible a la demanda que se presenta en la habitabilidad durante un estado de emergencia, teniendo en cuenta que las maneras de habitar el espacio pueden variar por ubicación, uso,

cantidad de personas, familia e individuo, también este sistema podría adaptarse en otros tipos de espacios de uso temporal complementarios a la vivienda y de utilidad para el estado de emergencia.

5. **Construcción en seco:** La construcción en seco, aunque no es la opción más efectiva para sellar una construcción, ofrece una mayor velocidad a la hora de construir, desmontar y corregir, lo que lo hace muy fiable para la elaboración de espacios temporales. El ejemplo mostrado en esta investigación es una de las tantas maneras de construir un espacio con ensamblaje en seco, teniendo en cuenta que pueden existir maneras más óptimas en cuanto a tiempo, complejidad, estabilidad y/o durabilidad.
6. **Confort térmico en los espacios:** El sistema de construcción propuesto para emplear en viviendas de emergencia cuenta con materiales de baja conductividad térmica, lo que ofrece un ambiente interior más confortable, y una protección contra el ambiente exterior, al que se ve la población más expuesta cuando se está enfrentando a un estado de emergencia, durante el desarrollo de este capítulo se mostrará de manera más específica la respuesta que el sistema modular ligero en paneles propuesto brinda a este tipo de vivienda en cuanto a confort térmico.

15.3. En relación con los objetivos

1. **Objetivo general - *Evaluar el confort térmico en viviendas de emergencia en clima ecuatorial cálido y mejorarlo con un sistema de cerramiento vertical prefabricado de construcción en paneles modulares ligeros***: Al evaluar el confort térmico de la vivienda de emergencia con la aplicación de la materialidad propuesta por la UNGRD (*LB*), y posteriormente realizar la misma evaluación con el sistema que esta investigación propone (*MV*), fue posible obtener una significativa mejora en el comportamiento térmico al interior de la vivienda, reduciendo el tiempo en insatisfacción, principalmente en temperaturas altas, a través de un sistema de envolvente y división vertical modular ligero de construcción en seco, compuesto por paneles de fácil ensamblaje (desarrollado en los Capítulos del 9 al 14).

La materialidad de *LB* (lona verde y polisombra negra en su envolvente vertical y teja de zinc) mostró en el Capítulo 9, picos de *Top* de hasta 38,30°C y 18,66°C para calor y frío respectivamente, con un porcentaje de horas en insatisfacción al año del 67,21% bajo el método adaptativo con el 80% de aceptabilidad, sirviendo como información base para el desarrollo de la propuesta que claramente requiere de una mejora tanto en concepción espacial, como de técnica constructiva y confort térmico.

Tras estudiar las dimensiones y posturas del cuerpo humano, así como su ocupación en el espacio, apoyado en la literatura de Neufert, se estableció en el Capítulo 11 una modulación sobre la que parte el dimensionamiento de los

paneles de 0,80x2,40m, que conforman los espacios de la vivienda de emergencia (diseñado en el Capítulo 10), así como de todos sus elementos complementarios, siempre en miras de obtener una flexibilidad al momento de concebir espacios, y así ofrecer una experiencia más personalizada para el usuario.

El sistema de ensamblaje fue diseñado en el Capítulo 12 a partir de su infiltración de aire al interior, así como su facilidad para montar y desmontar los elementos que conforman la vivienda, necesitando herramienta básica. También, como ejercicio adicional y aparte del sistema de cerramiento en el que se centra la investigación, se realizó el diseño básico de la estructura que conformaría la vivienda de emergencia del caso de estudio.

Al indagar sobre la materialidad para emplear en el sistema de cerramiento vertical, en el Capítulo 13, fue escogida la esterilla laminada de guadua como la cara exterior en ambos lados del panel, mientras que en su interior fue seleccionado el poliestireno expandido (EPS), al simular esta materialidad aplicada en el modelo de vivienda de emergencia (sin cambiar el material de teja en zinc en la cubierta), *MV* mostró unos picos de *Top* de hasta 32,02°C y 19,30°C para calor y frío respectivamente, y esta vez con un porcentaje de horas en insatisfacción durante el año de 52%, es decir, una mejora del 15,2% con relación a *LB*; por lo que, partiendo de lo evaluado en *LB* y *MV*, el confort térmico de la vivienda de emergencia mejoró muy significativamente con el

sistema propuesto de paneles de cerramiento vertical, dando por cumplido el objetivo general de esta investigación.

Aparte del cumplimiento del objetivo, fue realizado en el Capítulo 14, un ejercicio de simulación incluyendo la intervención en cubierta, añadiendo a la teja en zinc, una capa de EPS y de esterilla laminada de guadua, mostrando un resultado para *MVH* con picos de *Top* de hasta 26,61°C y 19,93°C, con 41% de horas en insatisfacción durante el año, los cuales, estos solo pertenecen a horas frío, pues las de calor han sido subsanadas en su totalidad.

También se realizó un ejercicio comparativo entre *LB*, *MV* y panel en fibrocemento (*SB*), mostrando picos de *Top* de hasta 36,13°C y 18,90°C, validando nuevamente el cumplimiento del objetivo general con el mejoramiento del confort térmico a través de la implementación del sistema constructivo propuesto en su envolvente vertical.

2. **Objetivo específico 1 - *Evaluar el nivel de confort térmico de la propuesta sugerida por la UNGRD para viviendas de emergencia:*** Tras su desarrollo en el Capítulo 9, fue comprobado por medio de simulación asistida por ordenador, que la respuesta térmica de la materialidad propuesta por la UNGRD para viviendas de emergencia es deficiente, manteniendo una gran cantidad de horas en insatisfacción térmica, como es mostrado en la Figura 53, representando el 67,21% del tiempo del año y alcanzando la *Top* más alta de 38,30°C.
3. **Objetivo específico 2 - *Diseñar un sistema modular ligero de paneles prefabricados para viviendas de emergencia flexibles:*** Al proponer un sistema

modular en planta de 0,80x0,80m, desarrollado en el Capítulo 11, se dio un módulo básico que al combinarlo en la relación 3x3, creó un módulo espacial completamente funcional de 2,40x2,40m, esto es visualizado en la Figura 72, esto permitió la generación de espacios privados, sociales y de servicios, que al unirlos, se tuvo una hábitat básico de vivienda, esta modulación en planta fue replicada en altura para finalmente obtener un módulo espacial en tres dimensiones de 2,40x2,40x2,40m. Esto se reflejó en el diseño de los paneles prefabricados, cuya dimensión de ancho es de 0,80m, siguiendo las reglas establecidas en planta y de altura de 2,40m, con opción de medio módulo de 1,20 para la aplicación de ventanería con la misma altura, como muestran las Figuras 73, 74 y 76, logrando una variedad de combinaciones entre estos módulos para la generación de varios espacios de distintos usos, tanto para vivienda como para otros complementarios, estos pueden ser vistos claramente en las Figuras del 118 al 123 en el Capítulo 14.1.

4. **Objetivo específico 3 - Diseñar un sistema de ensamblaje rápido en seco para los paneles prefabricados modulares:** Uno de los criterios por el que fue seleccionado el sistema de ensamblaje en seco de la propuesta, es la infiltración del aire en los muros, es por esto que, de acuerdo al estado del arte, desarrollado en el Capítulo 7.2, fue seleccionado el sistema de lengua y ranura (o machimbrado) en las juntas horizontales, por el recorrido que debe hacer el aire hasta pasar al otro lado, encontrando obstáculos en el camino y protegiendo así, al espacio de las condiciones externas; para las juntas verticales, fue propuesto

el sellado por medio de parales hacia ambas caras del muro, manteniendo el mismo principio de reducir la infiltración de aire en la superficie (sistema desarrollado en el Capítulo 12). Este sistema de ensamblaje no supone una complejidad especial para el armado de muros y la vivienda como tal, lo que reduce el tiempo de construcción, la mano de obra especializada y la herramienta a emplear. Esta propuesta de ensamblaje puede seguirse puliendo y optimizando en miras de facilitar el proceso constructivo de armado y desarmado de la vivienda, reduciendo pasos y modificando y/o cambiando elementos y accesorios a emplear.

5. **Objetivo específico 4 - *Evaluar y mejorar el nivel de confort térmico al interior de la vivienda de emergencia en clima ecuatorial cálido***: Tras evaluar *LB* y entender su respuesta térmica, y haber diseñado el sistema de paneles modulares del sistema de construcción, es momento de seleccionar la materialidad del mismo. Tras su desarrollo en el Capítulo 13 y al realizar la comparativa de ambos sistemas en el Capítulo 14.3, se evidenció que el empleo del panel compuesto por lámina de esterilla de guadua, pintado en color blanco en sus caras exteriores y poliestireno expandido (EPS) en su interior, muestra una mejora muy significativa en la respuesta térmica al interior del espacio tan solo usándose como material de cerramiento vertical, de acuerdo con la figura 129, obteniendo una diferencia en reducción de la *Top* de hasta 7,89°C, aunque por sí solo no logra llegar completamente a confort térmico (80% de aceptabilidad con el método adaptativo), el tiempo en insatisfacción térmica se

reduce del 67,21% (Figura 53) al 52% (Figura 105) al año, teniendo en cuenta que dentro este tiempo en insatisfacción, la producida por altas temperaturas pasó de un 34% (Figura 54) en *LB*, a un 17% (Figura 106) en *MV*. Al emplear el uso de este mismo material como complemento para el aislamiento térmico en cubierta, la respuesta que brinda permite llegar al confort térmico en la mayor cantidad de horas en el año, es decir, el tiempo en insatisfacción es reducido hasta llegar al 41% (Figura 141), del cual, el tiempo producido por temperaturas altas es del 0% (Figura 142).

15.4.Respuestas a las preguntas de investigación

1. Pregunta 1 - *¿Cuáles son las prestaciones de confort térmico alcanzadas por una vivienda de emergencia de uso prolongado propuestas por la UNGRD?:*

La UNGRD propone una vivienda de emergencia compuesta en sus superficies por un cerramiento en lona verde y polisombra negra (este último para ventilación por su porosidad), con cubierta en teja en zinc, los resultados de la simulación, tras cargar toda la materialidad con sus características térmicas al modelo digital, como fue visto en las Figuras del 48 al 51, mostró que la respuesta térmica de esta vivienda ofrece confort térmico (entre 21,5°C y 28,9°C en el método adaptativo) en momentos muy limitados en la mañana y finalizando la tarde en un día promedio (Figura 55), y solo el 33% de las horas totales del año (Figura 53), llegando a temperaturas bajas de hasta 18,66°C y altas de hasta 38,30°C (Figura 52).

2. **Pregunta 2 - *¿Cómo puede comportarse térmicamente el sistema de construcción removible ideado para el uso de viviendas de emergencia en un contexto con clima ecuatorial cálido?***: Como ha sido mostrado a lo largo de este documento, el sistema de construcción para envolventes verticales en viviendas de emergencia está compuesto por paneles de lámina de esterilla de guadua en sus caras exteriores, pintada de color blanco para mejorar su reflectancia, y poliestireno expandido (EPS) en su cuerpo, por su porosidad, que permite tener cámaras de aire interior; la simulación se realizó también con la aplicación de cubierta en teja en zinc, para probar directamente la efectividad de este sistema en cuanto a su respuesta térmica, esto puede ser corroborado en las Figuras del 100 al 102. Los resultados mostraron que la vivienda *MV*, bajo el método adaptativo, ofrece confort térmico en unos rangos de tiempo más ampliados con relación a *LB*, como muestran las Figuras 129 y 132, y donde las temperaturas más bajas llegan hasta 19,30°C y las altas hasta 32,02°C (Figura 129), el confort térmico está presente el 48% de las horas totales a lo largo del año, de acuerdo con la Figura 105.
3. **Pregunta 3 - *¿Cuál es el porcentaje de aceptabilidad de confort térmico bajo el método adaptativo al que puede llegar una vivienda de emergencia dentro de un contexto con clima ecuatorial cálido para no perder su cualidad de temporalidad?***: Pese a que ya se cuenta con unos porcentajes establecidos de aceptabilidad para el método adaptativo, estos son pensados para el uso de vivienda permanente, la vivienda de emergencia lleva consigo unas reglas

distintas, pues no son habitaciones pensadas para perdurar, es por esto, que la rigurosidad con la que se evalúa el confort térmico en estos espacios, no debería ser la misma con la que se evalúa una vivienda permanente (que en este caso tolera hasta un 80%), es por esto que este documento sugiere una disminución del 5% en la aceptabilidad, pues, aunque se debe cumplir con el confort de quien habita el espacio, es importante tener en cuenta que se trata de una medida provisional y no se debe estimular la permanencia definitiva en este tipo de viviendas, pues estas no cuentan con todas las características esenciales de una vivienda consolidada, el porcentaje de aceptabilidad sugerido es del 75%.

15.5. Reflexiones y trabajos futuros

1. El autor considera necesario indagar, y si es posible, replantear las condiciones mínimas en las que una vivienda de emergencia es entregada a la familia que lo requiere, puesto que lo mostrado por la UNGRD, ofrece como opción mínima una vivienda que solo brinda un cerramiento y techo sobre el cual refugiarse, mas no garantiza la vida digna de las personas en aspectos de privacidad, protección al clima y confort térmico.
2. Debido a las características de modularidad, ligereza, ensamblaje en seco y respuesta térmica del sistema de construcción propuesto; su flexibilidad y efectividad pueden ir más allá de su empleabilidad en viviendas de emergencia y usos complementarios, la posibilidad de explorar en construcciones removibles como stand comercial, módulos de exposición, divisiones internas en edificios, entre otros. Revisar estas posibilidades puede ampliar la

perspectiva de reutilización de estos materiales posterior a un estado de emergencia.

3. Durante el desarrollo de esta investigación, se hizo la prueba de aplicar el material empleado en el panel para uso complementario en la cubierta, si bien, esto arrojó unos resultados en su respuesta térmica al interior de la vivienda, mejorando de manera muy considerable el tiempo en confort térmico, todavía se debe profundizar en su técnica constructiva, pues los elementos horizontales manejan reglas y lógicas distintas a los elementos verticales.
4. Este documento propone una disminución en la rigurosidad de la evaluación térmica en viviendas de emergencia, sugiriendo un 75% de aceptabilidad en estos casos, debido a que es una construcción temporal con limitaciones en la implementación de materiales, pero que no debe dejar de lado las condiciones dignas de habitabilidad de quien use el espacio; se deja la puerta abierta a una indagación más profunda sobre este aspecto en las viviendas de emergencia.
5. Este proyecto de investigación se realizó a partir de simulaciones asistidas por ordenador, el autor reconoce la importancia de realizar las pruebas del sistema propuesto en un modelo de escala 1:1 en el área de implantación (o con características similares) para, no solo confirmar los datos que han sido evaluados, sino también, para seguir en la búsqueda del perfeccionamiento del sistema constructivo, así como el diseño del modelo de vivienda. Es importante saber que, tras la construcción virtual, es necesario prototipar y testear el modelo para hacer posible su materialización.

LISTA DE REFERENCIAS

- American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioned Engineers[ASHRAE]. (2017). *ASHRAE STANDARD 55-2017 Thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta.
- Archstorming & TECHO México. (2019). *Call for Entries: Emergency Housing Mexico*. Recuperado de <https://www.archstorming.com/info-ehm.html?lang=es>
- Ban, S. (2013). *New Temporary House*. Recuperado de http://www.shigerubanarchitects.com/works/2013_new-temporary-house/index.html
- Ban, S. (2015). *Nepal Project*. Recuperado de http://www.shigerubanarchitects.com/works/2015_nepal_earthquake-3/index.html
- Ban, S. (2015). *The Report of Nepal Visit, May 31 - Jun 2*. Recuperado de http://www.shigerubanarchitects.com/works/2015_nepal_earthquake-2/index.html
- Cantón, M. A., & Fernández, J. (2011). *EFEECTO DE LOS TOLDOS EN LAS CONDICIONES TÉRMICAS DEL ESPACIO ABIERTO Y SU INFLUENCIA EN LOS INTERIORES EN ZONAS ÁRIDAS*. Energías Renovables y Medio Ambiente (ERMA), 26(1).
- Carnicer Cervera, V. (2022). *Diseño de recubrimientos porosos basados en circona mediante proyección térmica por plasma de suspensiones concentradas*.

- Cellucci, C., & Di Sivo, M. (2015). *The flexible housing: criteria and strategies for implementation of the flexibility*. Journal of Civil Engineering and Architecture, 9, 845-852.
- Cengel, Y. (2007). *Heat and Mass Transfer: A practical approach 3rd ed.* McGraw-Hill
- Cernuda Martinez, J. (2012). *Impacto de los desastres en la salud mental*.
- Chamblas, Y. (2017). *Soluciones constructivas aplicadas en la provisión de viviendas de emergencia postdesastre: 3 casos de estudio*. Recuperado de https://issuu.com/yurichamblas/docs/soluciones_constructivas_aplicadas
- Cubillos González, R. A., Trujillo, J., Cortés Cely, O. A., Rodríguez Álvarez, C. M., & Villar Lozano, M. R. (2014). *La habitabilidad como variable de diseño de edificaciones orientadas a la sostenibilidad*. Revista de Arquitectura, Vol. 16 (ene.-dic. 2014); p. 114-125.
- D'Orazio, M., & Maracchini, G. (2019). *An experimental investigation on the indoor hygrothermal environment of a reinforced-EPS based temporary housing solution*. Energy and Buildings, 204, 109500.
- Dalbem, R., da Cunha, E. G., Vicente, R., Figueiredo, A., Oliveira, R., & da Silva, A. C. S. B. (2019). *Optimisation of a social housing for south of Brazil: From basic performance standard to passive house concept*. Energy, 167, 1278-1296.
- Davis, Ian (2015). *Shelter after Disaster. Second Edition*. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. Geneva, Switzerland

- Díaz, Osttuhen (2012). *La cubierta metálica en el clima cálido húmedo: análisis del comportamiento térmico del techo de zinc de la vivienda vernácula dominicana*.
- Estación Meteorológica de la Universidad del Valle. (2018). *Datos filtrados y gráficos, 9 mayo 2013 – 6 marzo 2017*.
- Fajre, N., Doz Costa, M., Elsinger, E., & Pacheco, J. (2018). *Juntas, uniones y vínculos en los cerramientos verticales exteriores, contruidos con tecnología en seco*. In X Congreso Regional de Tecnología en Arquitectura (CRETA)(La Plata, 2018).
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort, analysis and application in environmental engineering*. New York, McGrew-Hill.
- de Educación, C., de Centroamerica, C., & UNICEF. (2008). *Albergues en escuelas,¿ cuándo?,¿ cómo?,¿ porqué?*. In *Albergues en escuelas,¿ cuándo?,¿ cómo?,¿ porqué?*. NU. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (NU/EIRD); UNICEF; Coordinadora de Educación y Cultura de Centroamerica (CECC); Departamento de Ayuda Humanitaria de la Comisión Europea (ECHO).
- Fontana Cabezas, J. J., Laurino Casti-glioni, P. G., Vila Rivero, M. V. y Botti Azambuya, L. A. (2014). *Viviendas de emergencia en Uruguay*. Revista de Arquitectura, 16, 48-57. doi: 10.14718/RevArq.2014.16.
- Giraldo-Castañeda, W., Czajkowski, J. D. y Gómez, A. F. (2021). *Confort térmico en vivienda social multifamiliar de clima cálido en Colombia*. Revista de

Arqui-tectura (Bogotá), 23(1), 115-124.

<https://doi.org/10.14718/RevArq.2021.2938>

- Giraldo Castañeda, W. (2018). *Optimización del confort térmico en clima ecuatorial con tecnologías pasivas en fachadas: el caso de las viviendas de interés social de Cali* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Gómez Jáuregui, V. (2009). *Habidite: viviendas modulares industrializadas*.
- González, J. M. R. (1985). *Morfología y funcionamiento del ensamble en construcción ligera*. *Informes de la Construcción*, 36(367), 31-51.
- Groat, L. N., & Wang, D. (2013). *Architectural research methods*. John Wiley & Sons.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales[IDEAM]. (2016). *Promedios climatológicos 1981-2010*.
- Infraestructura de Datos Espaciales Santiago de Cali[IDESC]. (2020). *Geovisor IDESC*. Recuperado de <http://idesc.cali.gov.co/geovisor.php>
- ISO 7730: 2005 *Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*.
- Jirón Martínez, P., Toro Blanco, A., Caquimbo S., S., Goldsack, L. y Martínez Muñiz, L. (2004). *Bienestar habitacional : guía de diseño para un hábitat residencial sustentable* . Disponible en <https://doi.org/10.34720/s0k1-2823>
- International Organization for Standardization[ISO]. (2005). *Ergonomics of the Thermal Environment. ISO 7730*. 3ra edición. Geneva, Suiza.

- LANTIGUA DE LA CRUZ, Sayruvy (2015). *Prefabricación ligera por paneles enfocados en la vivienda*.
- Lawson, M., Ogden, R., & Goodier, C. (2014). *Design in modular construction*.
- Lin, Z., Song, Y., & Han, D. (2019, July). *Improvement of Airtightness for Lightweight Prefabricated Building Envelope through Optimized Design of Panel Joints*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 556, No. 1, p. 012063). IOP Publishing.
- Luciani, S. (2013). *Análisis de antecedentes de forma y función para la identificación de criterios de diseño aplicado en alojamientos temporales*. *Iconofacto*, 9(13), 27-45.
- Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., Sabio-Ortega, A., & García-Cruz, A. (2015). *Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 736-755.
- Martínez, B. N. D. C. V., Chávez, J. R. G., & Kuwabara, Y. M. (2017). *Analysis and evaluation of bioclimatic systems to characterize their performance in experimental modules*. *Energy Procedia*, 122, 1093-1098.
- Material Properties. (2022). Recuperado 14 de junio de 2022, de <https://material-properties.org/es/polipropileno-densidad-resistencia-punto-de-fusion-conductividad-termica/#:~:text=Polipropileno%20%E2%80%93%20Conductividad%20t%C3%A9rmica%20La%20conductividad%20t%C3%A9rmica%20del,k%20%28o%20%CE%BB%29%2C%20medida%20en%20W%20%2F%20mK>.

- Mecott Gómez, S. (2007). *Vivienda bioclimática con paneles modulares de ferrocemento y materiales aislantes alternativos para la ciudad de Oaxaca, Oax.*
- Narváez, L., Lavell, A., & Pérez, G. (2009). *La gestión del riesgo de desastres.* Secretaría General de la Comunidad Andina.
- Olivera, A., & González, G. (2010). *Enfoque multidimensional de la reconstrucción post-desastre de la vivienda social y el hábitat en países en vías de desarrollo: estudios de casos en Cuba.* Revista de la Construcción, 9(2), 53-62
- Organización de las Naciones Unidas[ONU]. (1987). *Informe Brundtland*
- Organización de las Naciones Unidas[ONU]. (2015). *Objetivos y Metas de Desarrollo Sostenible.* Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Organización Internacional para las Migraciones. (2012). *Manual de Introducción a la Gestión de Alojamientos Temporales.*
- Pons Valladares, O. (2010). *Evolución de las tecnologías de prefabricación aplicadas a la arquitectura escolar.* Informes de la construcción: revista de información técnica, 62(520), 15-26.
- Real Academia Española[RAE] (2020) Habitabilidad. *rae.es.* Recuperado de URL. <https://dle.rae.es/?w=habitabilidad>.

- Silva Flórez, H. (2019). *Caracterización del confort pasivo de envolventes arquitectónicas en esterilla laminada de guadua* (Tesis de maestría). Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Sociedad Nacional de la Cruz Roja Colombiana. (2008). *Manual Nacional para el manejo de Albergues Temporales*.
- Tapia Zarricueta, Ricardo (2003). *Vivienda y Emergencia ante desastres naturales producidos por Sismos. Sismo de 1997 en la comuna de Punitaqui, Chile. Revista INVI, 18(47),91-105.*[fecha de Consulta 28 de Febrero de 2020]. ISSN: 0718-1299. Disponible en:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=258/25804709>
- UNGRD. (2013). *Manual de Estandarización de Ayuda Humanitaria de Colombia*.
- U.S. Geological Survey[USGS]. (2015). *M 7.8 - 36km E of Khudi, Nepal*. Recuperado de
<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20002926/executive>