

**UNIVERSIDAD CENTRAL
VICERRECTORÍA ACADÉMICA**

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

**DISEÑO Y ANÁLISIS DE TRES VIVIENDAS MODULARES DE
INTERÉS SOCIAL ADAPTADAS BIOCLIMÁTICAMENTE
PARA EL TRÓPICO HÚMEDO, TRÓPICO SECO Y VALLE
CENTRAL, PARA SER UTILIZADAS EN EMERGENCIAS
CUANDO SE PRESENTEN DESASTRES NATURALES, EN LA
ETAPA DE RECUPERACION DE DAÑOS.**

MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL

LEIVER HURTADO CÓRDOBA

FERNANDO HERRERA CABEZAS

SEDE CENTRAL

Julio, 2024

Índice general

Dedicatoria y agradecimiento	XI
Resumen.....	XII
Capítulo I: Problema	1
Planteamiento del Problema.....	1
Objetivos	3
Objetivo General.....	3
Objetivos específicos.....	3
Justificación.....	4
Antecedentes	7
Proyecciones.....	24
Capitulo II: Marco teórico	25
Caracterización climática en Costa Rica.....	26
Trópico húmedo.....	27
Trópico seco	27
Valle Central.....	28
Riesgo de desastres naturales en Costa Rica.....	29
Vulnerabilidad	30
Riesgo	30
Tipos de desastres a los que se expone Costa Rica	31

Principio de modulación en la construcción	33
Concepto de modulación	33
Ventajas de la construcción modular.....	33
Modular versus prefabricada	35
Vivienda de emergencia	35
Lineamientos para atención de emergencias y refugios temporales en Costa Rica ..	36
Etapa de reconstrucción de los daños.....	38
Bioclimatización.....	39
Beneficios de la bioclimatización.....	39
Temperaturas de confort.....	40
La carta bioclimática de Givoni.....	40
Tablas de Mahoney.....	41
Efecto Venturi en arquitectura.....	41
Factibilidad en proyectos constructivos	41
Factibilidad económica.....	42
Factibilidad en relación a la durabilidad.....	42
Factibilidad medioambiental	42
Viabilidad en proyectos constructivos	43
Análisis de estructuras.....	44
Análisis de estructuras de marcos.....	44

Análisis dinámico	45
Esfuerzos internos.....	45
Beneficios en el uso de programas informáticos para el análisis de estructuras	46
Sap2000	47
Capítulo III: Marco metodológico	48
Enfoque de la investigación	48
Método de la investigación	49
Fuentes de información	50
Variables o unidades de análisis.....	51
Instrumentos	57
Proceso para la recolección y análisis de datos.....	58
Capítulo IV: Análisis de resultados	61
Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones	142
Conclusiones	142
Recomendaciones.....	147
Índice de referencias bibliográficas	149
Apéndices.....	157

Tablas

Tabla 1 Cuadro operacional de variables.....	51
Tabla 2 Resumen de datos meteorológicos de las estaciones CoopeAgropal, Santa Cruz y Aranjuez.....	63
Tabla 3 Opinión de expertos en relación a consideraciones climáticas.....	70
Tabla 4 Temperatura neutral en las regiones del trópico seco, húmedo y valle central	75
Tabla 5 Tabla de Mohoney estación meteorológica de Aranjuez.....	78
Tabla 6 Tabla de Mohoney estación meteorológica de Sants Cruz	79
Tabla 7 Tabla de Mohoney estación meteorológica de Laurel.....	81
Tabla 8 Secciones de área preliminares para mantener caudales de aire mínimos dentro del módulo	84
Tabla 9 Opinión de cuerpos de emergencia en relación a consideraciones bioclimáticas.....	85
Tabla 10 Opinión de cuerpos de emergencia en relación a variables post desastre	92
Tabla 11 Documentación utilizada para el diseño arquitectónico preliminar de los módulos de emergencia	95
Tabla 12 Detalles para diseño esquemático del trópico húmedo.....	96
Tabla 13 Detalles para diseño esquemático del trópico seco.....	98
Tabla 14 Detalles para diseño esquemático del valle central	99

Tabla 15 Cuadro comparativo en relación a las características que tendría en el diseño esquemático cada fachada.....	107
Tabla 16 Opinión de expertos en relación a la selección de materiales.....	108
Tabla 17 Opinión de expertos en relación a la comparativa de materiales.....	112
Tabla 18 Cargas a las que estará sometida la estructura.....	117
Tabla 19 Opinión de expertos en relación al impacto ambiental de producir este tipo de estructuras	132
Tabla 20 Opinión de cuerpos de emergencia en relación a aspectos relacionados a la factibilidad de implemetación de los módulos.....	136
Tabla 21 Presupuesto por unidad para el trópico húmedo	137
Tabla 22 Matriz de desiciones	142
Tabla E1 Estación representativa del trópico húmedo.....	166
Tabla E2 Estación representativa del trópico seco	167
Tabla E3 Estación representativa del valle central	168

Figuras

Figura 1 Prototipo de la vivienda armada con acoples a fricción	9
Figura 2 Elevación de refugio propuesto	14
Figura 3 Prototipo propuesto de vivienda a escala comunitaria	23
Figura 4 Ubicación de las regiones que componen el trópico húmedo, seco y valle central.....	29
Figura 5 Etapas del análisis.....	60
Figura 6 Datos climatológicos adicionales de trópico seco	66
Figura 7 Datos climatológicos adicionales del valle central.....	67
Figura 8 Datos climatológicos adicionales del trópico húmedo	68
Figura 9 Carta solar latitud 10° posición en la que se encuentra Costa Rica.....	73
Figura 10 Experiencias vividas de los cuerpos de emergencia en cuanto a desastres naturales..	87
Figura 11. Consulta en relación a los pasos a seguir para instalar refugios y miembros por familia atendidos	88
Figura 12 Consulta en relación a consideraciones de seguridad, normativa, resistencia y materiales, a la hora de instalar refugios de emergencia	89
Figura 13 Consulta en relación a consideraciones de distribución, privacidad, accesibilidad, mantenimiento de refugios de emergencia	91
Figura 14 Patrones de ventilación cruzada	101
Figura 15 Diseño esquemático de fachada este del módulo de vivienda.....	103

Figura 16 Diseño esquemático de fachada oeste del módulo de vivienda.....	104
Figura 17 Diseño esquemático de fachada norte del módulo de vivienda.....	105
Figura 18 Diseño esquemático de fachada sur del módulo de vivienda.....	106
Figura 19 Zonificación tectónica y de amenaza sísmica de Costa Rica	119
Figura 20 Perspectiva que tendrá la parte estructural de cada módulo	120
Figura 21 Perfiles utilizados en pilotes	121
Figura 22 Perfiles utilizados en módulos de piso	122
Figura 23 Corte para mostrar perfiles utilizados en todas las cerchas y cerramiento.....	123
Figura 24 Dimensiones de la zapata prefabricada que se utilizará y unión de pilotes cuadrados a pedestal de zapata	125
Figura 25 Vista de planta del acomodado de los perlin de cada módulo	126
Figura 26 Tipo de unión esquinera a utilizar para entrelazar los módulos laterales.....	127
Figura 27 Tipo de unión central a utilizar para enlazar los módulos laterales	127
Figura 28 Escuadras esquineras y centrales tipo U para amarre de módulos	128
Figura 29 Unión entre planchas de piso	129
Figura 30 Unión entre módulos de piso y pilotes cuadrados	130
Figura 31 Unión de cubiertas a cerchas	130
Figura 32 Unión de cerchas a marcos de cerramiento	131
Figura 33 Unión de los módulos de cerramiento a estructura de piso	131

Figura 34 Temperatura interior que alcanzará el módulo en el trópico húmedo	143
Figura 35 Temperatura interior que alcanzará el módulo en el trópico seco	144
Figura 36 Temperatura interior que alcanzará el módulo en el valle central	144
Figura F1 Casa de emergencia en un clima húmedo	169
Figura F2 Casa de emergencia en un clima seco	170
Figura F3 Casa de emergencia en una situación de inundación	171
Figura F4 Casa de emergencia en una situación de lluvia torrencial	172

Apéndices

Apéndice A Cuestionario dirigido al personal encargado de atender emergencias a nivel nacional	157
Apéndice B Cuestionario dirigido a personal profesional en diseño estructural de las principales entidades del país	161
Apéndice C Matriz de análisis de condiciones climáticas y ambientales	164
Apéndice D Matriz para agrupar la documentacion utilizada en el diseño general.....	165
Apéndice E Datos climatológicos de tres estaciones meteorológicas representativas de los trópicos y valle central	166
Apéndice F Diseño terminado de la vivienda de emergencvia modular en diferentes situaciones climatológicas	169

Dedicatoria y agradecimiento

Primero quiero dar gracias a Dios por haberme dado vida, coraje y salud para poder haber llegado hasta este momento tan importante en mi formación profesional. A Dios gracias por haber fortalecido mi mente y mi espíritu en momentos difíciles que impedían continuar con la culminación de la investigación.

A mi familia por el apoyo brindado durante todo el proceso de la investigación y en especial a mi padre, cuya memoria vive en cada paso que doy. Este logro es tanto suyo como mío, porque siempre soñaste con verme alcanzar esta meta. Aunque ya no estás físicamente a mi lado, siento tu presencia en cada logro y desafío superado. Gracias por tu amor, tus enseñanzas y por haber creído siempre en mí. Esta tesis es para ti, papá, con todo mi amor y gratitud eterna.

Resumen

La investigación tiene como objetivo diseñar y analizar tres viviendas modulares de interés social, adaptadas bioclimáticamente destinadas a ser utilizadas en emergencias. El estudio emplea un enfoque mixto con un diseño explicativo secuencial, analizando variables como condiciones climáticas y ambientales, vivienda de emergencia, bioclimatización natural, ventilación continua, análisis dinámico, viabilidad y factibilidad.

El Capítulo I introduce la investigación, describiendo su relevancia y planteando el problema mediante una descripción de la situación actual. Se justifica el estudio, formulan antecedentes, objetivos específicos y generales.

El Capítulo II presenta la perspectiva teórica que respalda la elaboración de los tres prototipos de viviendas modulares, considerando las condiciones del trópico húmedo, trópico seco y valle central para la atención de emergencias.

El Capítulo III detalla el enfoque y método de investigación, fuentes de información, variables, instrumentos y el proceso de análisis de la información.

En el Capítulo IV se analizaron los resultados obtenidos, explicando y comparando los datos desde la perspectiva teórica. Los resultados indican que los módulos de emergencia son viables y factibles, especialmente cuando se construyen con materiales como acero y paneles tipo sándwich, que garantizan ligereza y confort climático sin necesidad de maquinaria especializada para su instalación.

El Capítulo V presenta las conclusiones y recomendaciones, estableciendo que las configuraciones propuestas permiten alcanzar zonas de confort térmico, reducen el impacto ambiental mediante la reutilización de módulos y, aunque la construcción inicial puede ser costosa, los beneficios a largo plazo justifican la inversión, proporcionando confort y seguridad invaluable a las familias afectadas por desastres.

Palabras clave: *Condiciones climáticas y ambientales, vivienda de emergencia, bioclimatización natural, ventilación continua, análisis dinámico, viabilidad y factibilidad.*

Capítulo I: Problema

Planteamiento del problema

Las autoridades encargadas de atender situaciones de emergencia en el país no han contemplado generar un diseño de vivienda modular para ubicar a los damnificados y que esto implique un escenario en donde afronten la situación de una manera digna, sino más bien se limitan a ubicarlos en grandes lugares, donde, en muchos casos, no existen condiciones, y que lo relacionado con la distribución de las ayudas, estas se hacen bastante complicadas en aspectos logísticos.

Desde el 2007 hasta la fecha se han realizado investigaciones en relación con el tema que han llevado a diseñar viviendas de emergencia de madera prefabricada, de 18 metros cuadrados, que se construyen sobre 15 pilotes o bases, que la aíslan del suelo y, por ende, la protegen de la humedad, inundaciones y plagas, casas de bambú guadua y, por último, el uso de albergues temporales adaptados para pocos días. Pero aun así no han logrado resolver la problemática que esto lleva al proponer diseños en su mayoría poco factibles de desarrollar en el momento del evento.

Se necesita resolver el problema de vivienda post desastres naturales debido a que en la actualidad la solución que más se utiliza es en una primera etapa, tomar centros educativos y gimnasios para ubicar a los damnificados, que al final de esto, los lugares quedan destrozados, lo que se traduce en incrementar los costos para reparaciones y la gente no está cómoda, ya sea por desarraigo o por la parte cultural. Este mismo problema se traslada a la etapa de reconstrucción, ya que las autoridades, una vez que pasa la emergencia, en ocasiones benefician a las familias con ayudas económicas para que cancelen ciertos meses un alquiler, pero después de esto deben

buscar refugiarse con familiares, vecinos entre otras personas que no brindan las condiciones de estabilidad social, emocional y cultural que buscaría una familia en estas condiciones.

A este problema se asocian problemas tales como centros educativos destruidos, no se tiene un mapeo de las familias damnificadas, distribución ineficiente de recursos necesarios, proliferación de enfermedades y choques culturales. De igual manera se pueden asociar datos numéricos como la inversión de 50 mil dólares que para el 2012 realizó el BCIE en la edificación de 26 casas de emergencia, por otro lado, la fundación TECHO ha construido más de 1909 casas de emergencias, y el que se relaciona con el paso de la tormenta tropical Nate en donde un total de 1605 viviendas fueron afectadas en diferentes partes del territorio nacional, con un costo de ¢21.529 millones en pérdidas.

El trabajo de investigación tendrá un aporte a la ciencia en cuando procurará brindar soluciones de vivienda digna para familias damnificadas que son afectadas por un desastre natural, lo cual permitirá una distribución más ordenada de los recursos que las instituciones y personas que donan en su momento y, a la postre, un mejor mapeo de la ubicación de cada familia para lo que son atenciones de primera mano.

La hipótesis que surge en relación a la problemática es que, con la implementación de viviendas modulares adaptadas bioclimáticamente, las autoridades encargadas de atender situaciones de emergencia en el país podrán ubicar a los damnificados y que estos sobrelleven la situación de una manera digna, mejorando las condiciones sanitarias y problemáticas sociales que conlleva un hacinamiento.

Con lo expuesto surge la siguiente pregunta de investigación ¿Cómo diseñar tres prototipos de viviendas modulares de interés social, adaptadas bioclimáticamente para el trópico

húmedo, trópico seco y valle central, que integren soluciones simples para el tratamiento del agua potable, servicio eléctrico y que cumplan con los más altos estándares de diseño antisísmico, con el fin de brindar soluciones habitacionales de emergencia ante desastres naturales, durante el segundo cuatrimestre del año 2024?

Objetivos

Objetivo general

Elaborar tres prototipos de viviendas modulares de interés social, adaptadas bioclimáticamente para el trópico húmedo, trópico seco y valle central, para la atención de emergencias ante desastres naturales en la etapa de recuperación de daños.

Objetivos específicos

1. Investigar las condiciones climáticas y ambientales imperantes en las zonas del trópico húmedo, trópico seco y valle central en la actualidad, mediante un estudio bibliográfico, para la correcta modulación de las viviendas de emergencia.
2. Analizar los principios de la bioclimatización pasiva, para el correcto diseño de viviendas de emergencia en las zonas trópico húmedo, trópico seco y valle central.
3. Diseñar tres prototipos de viviendas modulares de interés social, con adaptación bioclimática para el trópico húmedo, trópico seco y valle central.
4. Realizar un análisis dinámico de las estructuras modulares mediante el programa SAP2000, el cual permitirá la determinación de los esfuerzos internos, como referencia para el diseño de los elementos de unión entre las piezas estructurales.

5. Desarrollar la viabilidad de los tres prototipos en función de costos, durabilidad e impacto ambiental, para la facilidad de implementación en contextos de emergencia.

Justificación

El presente trabajo de investigación radica su importancia en que Costa Rica, a pesar de tener una posición geográfica muy privilegiada en relación a que sirve de puente biológico y cultural de especies forestales y animales, es también debido a esta posición que es un país vulnerable ante amenazas naturales consecuencias del cambio climático como tormentas, huracanes, ciclones que llevan a inundaciones, deslizamientos, entre otras consecuencias. Por otro lado, el país se ubica entre placas tectónicas muy propensas a temblores que en ocasiones causan pérdidas humanas y materiales en una alta tasa.

En relación con lo anterior Garza (2016) expresa que:

Costa Rica es el quinto país entre los más expuestos a los desastres naturales, según el Índice Mundial de Riesgo, elaborado por Universidad de las Naciones Unidas.

Hay un 42,6% de exposición a desastres del país respecto a otras 171 naciones, de acuerdo con el estudio.

Esto, sumado a otros factores como vulnerabilidad, susceptibilidad y capacidad para atender a la población afectada, entre otros, dan un promedio del 17% de riesgo a desastres.

Costa Rica se convierte así en el segundo país más vulnerable a desastres en América Latina, solo detrás de Guatemala, con un 19,8%.

Afectaciones en el suministro de energía, alimento y agua, también se incluyen entre los riesgos. Cuanto más alta es la vulnerabilidad, mayores serán los problemas en estas áreas. (p.1)

Es trascendental que cuando se den los eventos que anteriormente se mencionan, Costa Rica tenga un medio de respuesta para dar un refugio digno, salubre y acondicionado bioclimáticamente, para que las familias afectadas puedan sobrellevar su estancia el periodo que persista la emergencia y que este, a su vez, sea capaz de estar disponible en un corto tiempo, sin utilización de maquinaria avanzada ni mano de obra especializada, que durante el evento de catástrofe estarán escasas o nulas.

Esta investigación será útil porque permitirá a la Comisión Nacional de Emergencia, en primera instancia, Organizaciones No Gubernamentales (ONG) y a la población en general, disponer de tres diseños de casas de emergencia acondicionadas bioclimáticamente, para poder ser utilizadas cuando se presenten desastres naturales y en la etapa de recuperación de daños, teniendo por garantía que dichos modelos serán modulares para su pronta instalación y sencilla, esto para no necesitar maquinaria especializada que durante un evento de desastre en muchas ocasiones no se tiene a la mano.

La relevancia social que tiene este trabajo de investigación que culminará en una propuesta de diseños innovadores y de mucha utilidad para las familias damnificadas, radica en que será más factible implementar este sistema que el utilizar albergues por un periodo de larga estancia, ya que permitirá un mejor mapeo de las familias necesitadas para asuntos de ayudas humanitaria, las familias están siempre unidas y, por ende, un aspecto trascendental es que este tipo de refugio permitirá que la estancia de los damnificados pueda ser más prolongada mientras

se les consigue un hogar digno, a diferencia de un albergue como gimnasio o escuela que deben ser desalojados en pocos días, quedando a la deriva en relación con su situación de hogar digno.

Bajo esta medida se tiene que tomar en cuenta que la afectación no solo es de vivienda, sino que existe un factor psicológico que habría que tomar en cuenta, en cuanto estas familias beneficiadas han perdido en cierta forma su historia. Con lo que, al implementar las casas modulares con las condiciones óptimas, se busca y se trasladen a una nueva localidad, creando con ello una nueva condición de pueblo.

Los beneficios personales que tiene este trabajo radican en que se muestra un sentido de propósito al tener un impacto real en la vida de las personas víctimas de un desastre natural, contribuye al conocimiento en relación con las viviendas modulares adaptadas bioclimáticamente.

Por otro lado, la parte personal se beneficia al mostrar la sensibilización sobre lo importante de trabajar temas de vivienda social y la promoción de buenas prácticas sostenibles respetuosas con el medio ambiente al no tener que afectar la madre naturaleza durante su implementación.

A nivel institucional la investigación contribuirá a la Comisión Nacional de Emergencias y toda aquella institución que brinde algún tipo de apoyo económico o de vivienda a damnificados producto de un desastre, a mejorar aspectos relacionados con la seguridad y bienestar, al poder brindar un refugio seguro y cómodo, evitando hacinamientos que se convierten en ocasiones en lugares de proliferación de enfermedades que agravan aún más la situación.

Y por último, hablando políticamente, la investigación promoverá ideas para que a nivel interno de las organizaciones encargadas de brindar ayuda a los damnificados para que se gestionen partidas presupuestarias que prioricen en establecer hogares temporales, ante la reubicación en lugares que lejos de traer soluciones, en ocasiones lo que hacen es generar una serie de problemas en cadena que ocasionan gastar más recursos en solucionar un problema por el cual no se tenía quizá un plan de trabajo adecuado, desviando la atención a lo que de verdad merece priorización.

Antecedentes

El presente trabajo pretende describir los conceptos que circunscriben el tema propuesto, esto basado en una revisión bibliográfica exhaustiva cuyo propósito principal será demostrar que se ha revisado todo lo pertinente al tema y, a su vez, mostrar los resultados alcanzados en dichas investigaciones anteriores, tomadas artículos de revistas especializadas, tesis entre otras fuentes.

Por otro lado, se busca demostrar que se ha sabido seleccionar y discriminar lo útil de lo no atinente en cada trabajo realizado. También se tiene por objetivo determinar ¿cuál es el avance actual de este tema en particular, enmarcado dentro de un contexto mundial y nacional? Los antecedentes aquí propuestos buscan formular una propuesta novedosa de un trabajo con el enfoque, aproximación y profundidad, como el presente, los mismos se expondrán de manera cronológica, en donde primeramente se expondrán el análisis de los resultados y procesos de las investigaciones más antiguas, a las más reciente para con ello estructurar el tema en análisis y así se pueda observar cómo han venido evolucionando los conceptos, que compones el problema.

Los antecedentes aquí expuestos evidenciarán que, hasta el momento, no se han realizado trabajos de investigación que culminen en una propuesta de casa modular para tratar emergencias

en el país de Costa Rica, que, aunque sí se ha abordado el tema desde la temática de la bioclimatización, propiamente la modulación como tal no se ha tratado.

Las fuentes consultadas, en su mayoría representan trabajos de tesis de grado y posgrado con amplia trascendencia investigativa de parte de los autores, quienes culminaron obras que trascienden entre teorías y conceptos que desarrollaron otros teóricos, con vasto estudio del espacio social, como educativo.

Antecedentes internacionales

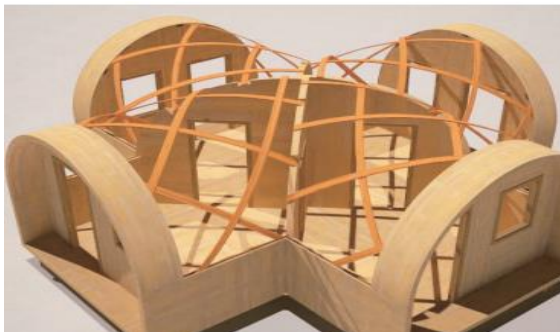
Para el año 2009 en el país de China se trabajó un proyecto titulado “Casa+Roja” que basó en diseñar una casa de emergencia para ser utilizada en áreas de desastres tipo tienda de campaña, que se construyó con maderas delgadas puestas a post tensión que, al formar una estructura de arco, daba rigidez a la estructura para enfrentar el desastre. Este diseño pensó en todos los aspectos, por ejemplo, transporte, donde al ser por piezas de bambú, su desarme es sencillo.

En cuanto a su desarrollo, esta contempló una serie de “simples modificaciones que lo pueden convertir en una solución útil en cualquier parte del mundo: agregar aislación y una estufa en climas fríos, remover puertas y ventanas en climas cálidos o reemplazar materiales por aquellos disponibles localmente”. (Castro, 2009, p.38)

Entre las principales conclusiones que se llegó con este proyecto se encuentran el que la fricción entre el acople de las piezas de bambú era algo trascendental, ya que permitió ahorrar recursos en muchos aspectos, como diseño de piezas extras y por su puesto al utilizar un material de uno común en toda la zona de Bejín, China.

Figura 1

Prototipo de la vivienda armada con acoples a fricción



Nota: Modelo presentado como solución a la problemática.

Por otro lado, se pensó en concluir el diseño con el uso de cruces, ya que:

La geometría de las cruces, organizadas en grupos, definen espacios contenidos de infinita flexibilidad que puede sugerir un contexto urbano o un campo de casitas desplegadas en el paisaje. Considerando cada casa, el exterior de la cruz crea espacios que median entre exterior e interior, además de un contexto para que la gente tenga un lugar para estar afuera, junto a la casa. (Castro, 2009, p. 41)

Para el año 2014 en la Universidad La Gran Colombia se desarrolló una tesis para el grado de arquitecto cuyo título fue “Diseño y desarrollo de vivienda de emergencia para catástrofes naturales en Bogotá-Colombia”. La misma se basó en una hipótesis que coincide con la que se tiene para este trabajo investigativo y es la que se relaciona con que:

el desplazamiento de comunidades a lugares diferentes a los que normalmente se desarrollan, generan pérdida de pertenencia y características propias, del grupo social que sufre el desastre, generando a su vez la instalación de pequeños sub-grupos en diversas

zonas de la ciudad y con esto la aparición de muchas más comunidades que mantienen algunas características principales de sus grupos y otras son modificadas o sumadas.

(Acuña y Romero, 2014, p.22)

El objetivo principal por el que se orientó este trabajo fue el de únicamente plantear el diseño de hábitat de emergencia para dar solución habitacional en casos de catástrofes naturales en la zona y que a su vez proporcionara refugio a la población afectada, brindando servicios básicos que permitan la reestructuración social y cultural, sin alterar el entorno de ocupación.

Para lograr este objetivo, los autores basaron su perspectiva teórica en lograr conceptualizar hábitat transitorio, viviendas de emergencia, catástrofes, vulnerabilidad, refugio, riesgos y sus tipos, construcciones de emergencia y un aspecto que llama la atención es que mostró la perspectiva legal por el que se norma la construcción de viviendas de emergencias en Colombia.

Hablando metodológicamente, el trabajo se desarrolló en 5 fases, la primera un tipo de estudio, donde el autor revisó bibliografía para delimitar el tema y ver así también los elementos básicos de una casa de emergencia, en la fase dos se dio la tarea de consultar sus fuentes mediante planimetría, documentación histórica y legal. En una tercera fase se depuró y se organizó la información, en la cuarta fase se tabularon los resultados para terminar en la quinta fase en donde se trabajó puntualmente en el estudio de caso.

Entre las principales conclusiones y recomendaciones que se llegó con este trabajo de investigación se tiene que:

En Colombia no se ha tenido una cultura de respuesta a las amenazas, como pasó en armero la catástrofe llegó, pero después de hacer advertencias sobre ella, Sin embargo,

muchas personas no se desplazaban del pueblo, ante todo los puntos urbanos de implantación de viviendas de emergencia deben impactar en la comunidad con un reconocimiento de la seriedad de las catástrofes y la importancia de tomar las medidas necesarias para evitar la pérdida de personas. (Acuña y Romero, 2014, p.75)

Ya trabajando más los temas de modulación, se tiene que para el año 2020 en la Universidad Politécnica de Madrid, se desarrolló un trabajo de investigación de grado titulada “Arquitectura modular de emergencia” la cual centra su atención en los aspectos sostenibles y bioclimáticos en el diseño constructivo.

Su objetivo principal radicó en poder desarrollar una metodología de diseño de elementos constructivos de cara a una arquitectura modular, sostenible y bioclimática de hábitats de emergencia, tomando como referentes ejemplos de otras culturas como lo son la Tipi, Iglú, Shabono y la Yurta.

Su perspectiva teórica se basó en lograr definir arquitectura de emergencia y sus principales elementos, algunos casos existentes, concretar el concepto de arquitectura modular y sus antecedentes en construcciones de refugios de emergencia. Se definió claramente lo que circunscribe la arquitectura sostenible y bioclimática.

Su enfoque mixto llevó a las siguientes conclusiones en relación al diseño de refugios de emergencia:

La solución que se ha propuesto no lleva a la desaparición de los paneles que forman cada refugio, sino que los devuelven a su zona de almacenaje para que, si se diera otro motivo por el cual emplearlos, estos puedan reutilizarse sin ningún tipo de problema, colocándolos en el orden y sentido necesarios.

El tiempo disponible para la realización de esta pequeña investigación no es el suficiente como para desarrollar un sistema en su plenitud que nos lleve a soluciones completas donde tanto el cerramiento como el suelo, cubierta y las pendientes que ella conlleva queden resueltas. (Kopac, 2020, p.53)

Al pasar de los años, el concepto de adaptabilidad toma importancia en los trabajos investigativos, siendo el caso del año 2021 en la Universidad Piloto de Colombia en donde mediante un trabajo de grado, se propone generar un “Prototipo de vivienda para emergencia, con la posibilidad de adaptarse a cualquier lugar”. Su principal objetivo fue el de llegar a establecer un diseño de vivienda transitoria de emergencia, que brindara refugio a las personas más vulnerables después de la ocurrencia de los desastres naturales, empleando para ello estructuras no convencionales.

Su perspectiva teórica se enmarcó en definir y trabajar los conceptos de prototipo, vivienda de emergencia y dar a conocer materiales poco convencionales. En relación a la metodología empleada nos mostró que:

El tipo de investigación utilizada para llevar a cabo la propuesta en la primera etapa se basa en la exploración de diferentes documentos, en la segunda etapa se realizó la exploración en San Andrés Isla y se obtuvieron algunas imágenes y documentos con información útil y por último se interpretó la información recogida logrando diferentes características del proyecto, de cómo funcionan las viviendas de emergencia, y se pueden llegar a suplir las necesidades de las personas que requieran ayuda en su momento, por otra parte se logra entender cómo funcionan las estructuras no convencionales y como se pueden aplicar en el proyecto, generando facilidad en armado y transporte, debido a que los desastres naturales no dan espera. (Diaz, 2021, p.12)

Como resultados de la aplicación de dicha metodología la autora nos mostró que el principal campo de implantación se da en la costa caribe colombiana “ya que es la zona más afectada por el desequilibrio climático, como lo han sido los huracanes los últimos años, aunque este es un proyecto que se puede implantar en cualquier parte del mundo” (Diaz, 2021, p. 13).

Por otro lado, y en relación con el uso de materiales no convencionales, se llegó a concluir que “este sistema de construcción tenía un costo más bajo que un sistema convencional, ya que usa materiales mucho más económicos, los cuales algunas veces suelen ser mejores que los usados en el sistema convencional” (Diaz, 2021, p. 14).

A esto se añade una conclusión interesante y es la que se consideró:

emplear este sistema no convencional, ya que sus elementos son reutilizables y de fácil adquisición se propone la posibilidad de ser módulos flexibles en cuanto al armado de las unidades dependiendo del programa que se considere necesario. Por otra parte, se consideró en un centro de servicios común para cada área dado a que las viviendas no presentan los servicios básicos requeridos.

Un centro de acopio de alimentos, baños y manejo de desperdicios. Es un proyecto con diferentes modalidades, a corto plazo de 24 horas a 10 días, a mediano plazo de 10 días a 30 días y a largo plazo de 30 días a 90 días, el tiempo de implantación se define de acuerdo a la gravedad del desastre y como el gobierno les dé solución a las personas. (Diaz, 2021, p.18)

El siguiente trabajo de investigación se realizó en el año 2022 en Colombia, pero se enfocó en viviendas de emergencias que sirvan de respuesta para ciclones tropicales en la Isla de San Andrés. Su objetivo principal de trabajo fue el de desarrollar un nuevo modelo de vivienda

de emergencia para la prevención del desplazamiento y desalojo de comunidades vulnerables en áreas afectadas por ciclones el cual permitiera su transformación al paso del tiempo según las necesidades de sus habitantes.

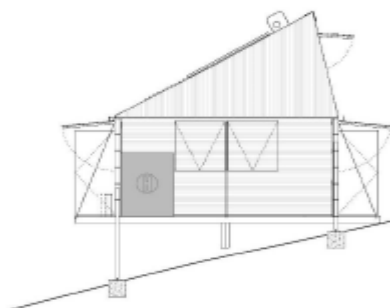
Su perspectiva teórica giró en relación a temas novedosos y poco utilizados en este tipo de trabajos como lo son habitáculos, complejidades culturales, demográficas y psicológicas, comunidades vernáculas y también uno muy común como es el de definir lo que es un módulo habitacional y lo que conlleva a su construcción.

Entre las conclusiones que se llegó, es la de concretar la construcción de un refugio llamado “vivienda raíz” que para su construcción toma como referencia el tipo de vivienda que se nombra como “vivienda raizal” la cual

Tiene como elementos característicos las pocas divisiones interiores, la planta rectangular, estar sobre pilotes altos (Palafítico) para evitar inundaciones y hacer uso del espacio inferior como depósito de materiales. Las viviendas son construidas en madera, con balcones y chambranas, cubiertas a dos aguas, entre 1-2 pisos. (Munar, 2022, p.82)

Figura 2

Elevación de refugio propuesto



Nota: Propuesta de vivienda sobre pilotes

Entre otras conclusiones de este trabajo, se tiene que la vivienda propuesta debería contar con baño, habitaciones: separado el de los hijos, cocina, área de uso múltiple (sala, comedor, estudio). Sus costos se estimaron entre 23.000.000-26.000.000 pesos colombianos. Lo que respecta a factores climáticos, esta vivienda usaría ventilación cruzada y usaría paneles solares para abastecerse de electricidad. En sus paredes debería de llevar aislante térmico.

Por último, se tiene que para el año 2023 en la Universidad Nacional de la Plata se produce un material como proyecto final de graduación titulado “vivienda modular de emergencia, adaptación-integración-comunidad” este tenía como principal objetivo el de elaborar una propuesta de vivienda de emergencia temporal para contingencias naturales, que fuese eficiente, práctica que llegará a resolver las necesidades básicas de habitabilidad.

Este trabajo tomó como base lo sucedido en la ciudad de la Plata en el año 2013, donde se dieron precipitaciones que llevaron a una extraordinaria inundación que afectó toda la zona y lugares aledaños, dejando cientos de personas sin un refugio digno y confortable para afrontar la situación.

La perspectiva teórica, así como el rumbo metodológico, se basó en procurar responder a 5 preguntas:

¿Qué desastres naturales afectan a nuestro país? ¿Cuáles son las necesidades de emergencia? ¿Por qué construir en contenedores? ¿Cómo se puede adaptar la vivienda de emergencia desde un contenedor prototipo técnico constructivo? Y ¿es económicamente viable la vivienda de emergencia en contenedores? (Meléndez, 2023, p.10).

A diferencia de los anteriores trabajos, este en particular al trabajar sobre contenedores, se llegó a concluir que se debe dar cuidado a las fundaciones, dándole un lugar especial a las

bases de concreto móvil, las cuales en el lugar de la emergencia sería complicado fabricarlas, pero que se propuso hacerlas en planta y llevarlas ya instaladas al sitio requerido.

Al finalizar con el diseño, se llegó que para que estos sitios den confort a las familias, en relación con los servicios básicos, utilizaron sistemas de tres en uno, el cual reduce significativamente los tiempos de conexión y costos. Para las instalaciones eléctricas y pluviales, cada casa tendría la suya y solo se les dejarían las previstas de instalación principal.

Se llegó a un hallazgo determinante en relación a la bioclimatización y es que para el acondicionamiento térmico se debieron utilizar aislantes para que estos produjeran una ventilación cruzada entre los cerramientos, donde se conseguiría que el aire circulara evitando un interior insalubre. Y, por último, en relación a la envolvente, estos refugios de emergencia utilizaron la Norma Iram 11605 sobre acondicionamiento térmico para edificios que rige en Ciudad de la Plata.

Antecedentes nacionales

Costa Rica al igual que otras partes del mundo es propensa a ser afectada por desastres naturales de toda índole y es por eso que desde el año 2005 se ha venido trabajando el tema de refugios de emergencia para atender a personas víctimas de dichos eventos. Con la salvedad que en los últimos 5 años el tema no ha sido trabajado por académicos en busca de modernizar los sistemas constructivos de dichos refugios.

Para el 2005 en la Universidad de Costa Rica se desarrolló un proyecto final de graduación en la escuela de arquitectura titulado “Diseño arquitectónico bioclimático para las instalaciones de un Centro Agroecológico en la finca experimental Fraijanes” que, aunque no

puntualizó propiamente en construcción de emergencia, sí trabajó un aspecto medular para la presente investigación que es la bioclimatización.

El objetivo principal de este trabajo se basó en una propuesta de modelo bioclimático para la creación del Centro de Visitantes en la Finca Experimental Fraijanes, que permitiera emplear apropiadamente los recursos y elementos ambientales de la región y promover las condiciones óptimas para satisfacer las necesidades físicas, espaciales y funcionales de investigación y capacitación agroecológica y ecoturística.

La tesis se enmarcó en lograr definir puntualmente conceptos tales como turismo en Costa Rica, desarrollo sostenible, caracterización socioeconómica y cultural de la zona, desarrollo agrícola, agroecología y bioclimática, la parte bioclimática se trabajó muy de la mano tomando las ventajas de la zona, la cual es muy rica en variedad de climas y de ahí la importancia de explotar este recurso y dar así una infraestructura sustentable a la región.

Metodológicamente se trabajó en tres etapas, la primera de investigación, donde se realizaron reconocimientos de la finca, entrevistas, revisiones bibliográficas, segunda etapa de análisis donde los datos de la primera fase se tabularon y codificaron finalizando con la tercera etapa que consistió en el diseño arquitectónico que su alcance fue únicamente de propuesta.

Entre las conclusiones más relevantes a las que se llegó en materia de bioclimatización, se tiene que según Marín (2005):

Se debe buscar una planificación de sitio que integre los diversos componentes a proyectar y de ser necesario la reubicación de lo que ya se halla. Para la proyección de las instalaciones se tomará como base las condiciones macroclimáticas (temperaturas, pluviometría, radiación solar y dirección de los vientos) y microclimáticas (pendientes

del lugar, masas boscosas y construcciones presentes). Impedir efecto de Condensación-
Uso de materiales con un coeficiente de conductividad térmica $K_{max} = 1.8 \text{ W/ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$).
(p.102)

Ya para el 2007 el Instituto Tecnológico de Costa Rica centró sus miradas en producir viviendas del tipo de emergencia, a lo que realizaron una investigación titulada “Refugio Temporal de bambú para casos de Emergencia Nacional”. Trabajo donde más que proponer una estructura ya modular o previamente construida, lo que se basó fue en generar una guía del paso a paso del cómo cualquier persona víctima de un desastre, podría, mediante el bambú, construir el refugio.

En relación con la literatura que sustentó la investigación Carmiol y Escoto (2007):

La literatura para este proyecto fue muy escasa sobre todo por tratarse de una estructura liviana con un material poco conocido en nuestro medio. Fue especialmente útil la información práctica recibida por la investigadora en Colombia y la literatura que trata específicamente sobre uniones y ensamblés.

También se consultó todo lo referente a las características físico mecánicas del bambú que permiten la construcción de edificaciones más permanentes. (p. 5)

Entre los principales resultados, se llegó a determinar que la técnica utilizada fuera lo suficientemente sencilla para ser construida por cualquier persona, sin conocimiento previo ni ser profesionales en el área de construcción. También que otro factor importante para escoger el proceso constructivo del Refugio, fueron las condiciones precarias que se presentan en el sitio post desastre. La investigación deja un vacío en cuanto no realiza un análisis profundo del

bambú, el cual no se han estudiado a fondo los efectos de fuerzas cortantes y ensambles con cimentaciones ante eventos dinámicos.

Al finalizar con la investigación se llegó a la conclusión que:

La estructura de bambú resultó ser suficientemente estable, resistente y segura para albergar una familia. El gobierno de Costa Rica tiene la posibilidad de implementar esta propuesta en los casos que considere conveniente. La utilización del bambú en este proyecto es fundamental, no solo por el bajo costo que representa para el Estado, sino también porque es biodegradable.

Se recomienda probar el Refugio con diferentes cubiertas para valorar la durabilidad del material, así como la resistencia del mismo al asoleamiento, a la lluvia y al viento. Se aconseja aprovechar la materia prima (plantaciones de bambú Guadua) que tiene el Estado en Guápiles y el Arenal y utilizarla en casos de bien social como propuesto por nuestro proyecto. Se exhorta a continuar la investigación en lo relacionado al tipo de unión que requieren las cañas. (Carmioli y Escoto, 2007, p.16)

Para el año 2017 en la Universidad de Costa Rica, en específico la cátedra de arquitectura, se desarrolló un trabajo titulado “Modulo habitacional creciente, el diseño de un módulo habitacional creciente para un contexto vulnerable”. Este trabajo tenía por objetivo principal de llegar a diseñar de un modelo de “vivienda creciente” para familias que hayan experimentado una situación de emergencia, enfocado en un contexto de alta vulnerabilidad, colocando como antecedente los eventos climáticos que enfrentó el país como el huracán Otto y el terremoto de Cinchona.

Su perspectiva teórica se basó en trabajar temas de vulnerabilidad y crisis, componentes de un desastre, vivienda saludable, lo que pasa después de la emergencia, el problema del modelo de vivienda actual y las estrategias de refugio que actualmente se dan. No se abordaron temas de bioclimatización, pero sí se le dio énfasis en organizar las necesidades básicas para con ello generar una idea de modelo.

Metodológicamente esta investigación tomó como fuentes de información a arquitectos relacionados en el campo profesionales relacionados con situaciones de emergencia, investigaciones y análisis de diseño de viviendas de emergencia e interés social a nivel nacional e internacional. Utilizó paradigma naturalista con un enfoque cualitativo, ya que se estudiaron mucho las reacciones de las personas.

Entre las conclusiones relacionadas con los refugios de emergencia y que a la postre interesan para el presente trabajo investigativo, se tiene que Mesquita (2017) estableció:

El problema que vivimos en la actualidad es que muchas de las organizaciones que se dedican a la reubicación de los habitantes en situación de vulnerabilidad, se concentran más que todo en los factores de temporalidad y rapidez y no se toma en consideración el tiempo que estas familias necesitan para la recuperación o cómo lo van a lograr. El concepto de módulo creciente, también conocido como “vivienda progresiva”, resulta ser una buena opción para la vivienda social, ya que permite reducir la inversión inicial y ser transformada, mejorada y completada en el tiempo, según las necesidades de cada familia. Se aleja de la rigidez actual, permite la continua adaptación y permite a que las familias se sientan identificadas con el espacio. Este tipo de modelo habitacional permite a que las familias evolucionen y adapten su vivienda a las necesidades actuales. (p. 197)

Para el 2018, último año que se tiene registro y se trabajó el tema, la Universidad de Costa Rica en la facultad de ingeniería desarrolló dos trabajos finales de graduación enfocados en hábitat de emergencia y temporales, uno de ellos dirigido a poblaciones indígenas y titulado “Diseño de un Módulo Espacial Temporal y Multifuncional, de Soporte para la Comunidad Migrante Indígena Ngobe-Buglé, durante la Recolección de Café en el Cantón de Tarrazú, Zona de los Santos” este trabajo se justificó en el hecho que cuando se habla de las condiciones laborales y físicas, de habitación y satisfacción de necesidades básicas de los indígenas estas son en muchos de los casos realmente deplorables, bajo condiciones de hacinamiento, instalaciones y refugios en mal estado, sin servicios básicos adecuados, en algunos casos sin agua potable ni electricidad.

El objetivo principal de este trabajo fue generar una propuesta de diseño que consistiera en un proyecto de arquitectura, que buscara solventar las principales necesidades físicas y espaciales que derivan de la recolección del café, el desarrollo y la promoción de la actividad cafetalera en la Zona de los Santos. Para esto se generó un marco conceptual que se orientó en 3 líneas, la primera siendo la estrategia general de diseño, la segunda estudio de caso y la última conceptualizar aspectos como pliegue, despliegue modulación y versatilidad.

Solano (2018) llegó a una conclusión de interés para el presente trabajo, y es la que se relaciona con la arquitectura convencional

La idea implantada de la arquitectura como elementos estáticos insertados en un determinado contexto, es contradictoria y entra en conflicto con el concepto de que la arquitectura es un medio para suplir las necesidades y albergar las actividades de los diversos grupos que configuran la sociedad. Debido a que aún hay grupos para los cuáles

los modelos estáticos no son coherentes con su dinámica social, económica, laboral, familiar entre otros. (p. 68)

Esto lo que nos afirma es que la modulación sigue siendo un elemento primordial para tener presente en la construcción de refugios temporales, debido a su versatilidad para adaptar a cualquier contexto y facilidad de transporte que es el último escalón para instalación.

Por último, como se mencionó anteriormente, para el mismo año 2018 la Universidad de Costa Rica produce un trabajo titulado “Hábitat temporal de emergencia” que sienta sus bases en el aspecto, que el uso de albergues después de una emergencia no es una acción del todo efectiva debido que al pasar del tiempo se convierte en una situación insostenible tanto económicamente como logísticamente.

El objetivo por el que dirigió la investigación fue el de plantear el diseño de un hábitat temporal de emergencia a escala comunitaria conformado principalmente por viviendas unifamiliares prefabricadas con el fin de que sirvieran como modelo institucional para la atención de los damnificados de desastres naturales. Para alcanzar este objetivo se buscó sustentar teóricamente el proyecto en un marco de referencia que se nutrió de conceptos como arquitectura adaptable, necesidades humanas, vida en comunidad y, por último, un tema que en los anteriores trabajos no se dio y es el de los aportes de la psicología ambiental.

Metodológicamente, la investigación se basó en 3 etapas, la primera de investigación que se refería a la recopilación y análisis de conceptos teóricos, técnicos y normativos que aportarían la base del proyecto, la segunda fase de síntesis que era donde se daría el confrontamiento de los conceptos teóricos, los criterios técnicos y las normas específicas con el desarrollo conceptual del proyecto y la toma de decisiones del partido arquitectónico y se culminó con la tercera fase

que consistiría en la aplicación de los ejes conceptuales de la investigación en el proceso de diseño del proyecto.

Entre los hallazgos más relevantes a los que se llegó el trabajo de investigación en relación a las ventajas que tendría el sistema constructivo es que según Torres (2018) esta vivienda estaría diseñada especialmente para “la ventilación cruzada y la evacuación del aire caliente. También posee una cubierta con pendiente del 100% para evitar la radiación solar directa. Todos los cerramientos poseen doble forro de material polimérico” (p. 92). Este es un aspecto que interesa para la presente investigación ya que se trabajará en zonas muy calientes y frías a lo que dichos aportes serán de gran ayuda para implementarlos.

Figura 3

Prototipo propuesto de vivienda a escala comunitaria



Nota: Viviendas de ensamble.

Por otro lado, en relación con la posibilidad de autonomía, llama la atención la conclusión que hizo el trabajo, ya que según Torres (2018):

Al tratarse de una vivienda de emergencia, y que el consumo energético y de agua potable per cápita es muy bajo, se pueden utilizar sistemas ecológicos para el suministro de los recursos que se necesitan en la vivienda. Por ejemplo: cosecha de agua de lluvia para usos de agua no potable y generación eléctrica mediante paneles solares. (p. 92)

Este trabajo concluyó un aspecto determinante en relación con la construcción de refugios de emergencia y es el hecho que, si se va a construir el módulo, se deberá pensar en un análisis estructural por seguridad y pruebas a los materiales que se utilizarán como materia prima a la hora de construir en sitio o planta.

Proyecciones

El alcance del presente trabajo de investigación radica en la entrega de tres modelos modulares adaptados bioclimáticamente para tres regiones específicas del país. Estos modelos cumplirán con lo que establece el manual de construcciones y ciertos apartados del código sísmico de Costa Rica.

Por su parte, uno de los alcances es que después de mostrar los tres diseños, se realizará la viabilidad de estos en función de costos, durabilidad e impacto ambiental. También se le realizará un análisis dinámico para prever situaciones extremas que se den si es el caso después del desastre como sismos o vientos que generan grandes esfuerzos a la estructura.

El trabajo no contempla la parte de tramitologías municipales o estatales para propiamente el asentamiento de un refugio de emergencia en una zona determinada.

Las proyecciones en cuanto a las limitaciones radican en que los tres modelos de viviendas modulares para emergencia, aunque se diseñaran con todo lo investigado en relación a aspectos de adaptabilidad de espacio y bioclimática, no se podrán construir a escala real para ser probados debido a la limitante presupuestaria que se tiene y la falta de apoyo de instituciones estatales destinadas a la atención de emergencia en el patrocinio de anteproyectos que no emanen de ellos propiamente.

Capítulo II: Marco teórico

El marco teórico conceptual representa la columna vertebral de todo trabajo investigativo, ya que va a reflejar la base teórica que sustentará los aportes que se realizan a la investigación, mediante los estudios de campo y estudios de la teoría atinente al tema, por otra parte, el marco teórico permite visualizar desde un punto de vista más concreto ¿Cómo ha venido evolucionando el problema en estudio a pesar del tiempo? Y por otra parte permite contrastar las diversas teorías que circunscriben un mismo concepto.

En este apartado se contemplarán aspectos teóricos de las condiciones climáticas y ambientales de Costa Rica, bioclimatización, viabilidad de refugios de emergencia y aspectos del análisis dinámico y estático de estructuras. Por otro lado, se contemplarán el conjunto de definiciones y proposiciones que se encargarán de mostrar en forma sistemática el fenómeno, relacionando para ello las variables, con objeto de poder prevenir errores que se han cometido en otras investigaciones relacionadas con el tema en cuestión.

La presente investigación se basa en el diseño y análisis de tres viviendas modulares de interés social adaptadas bioclimáticamente para el trópico húmedo, trópico seco y valle central. Para ser utilizadas en emergencias, cuando se presenten desastres naturales, en la etapa de

recuperación de daños. La misma se sustentará mediante teoría y bases confiables de cuatro grandes temas.

En cuestión, para ir teniendo una visión clara y precisa en cuanto a lo que se refiere al diseño y análisis de viviendas modulares de interés social adaptadas bioclimáticamente, se prosigue a continuación con el desarrollo de los temas y subtemas que sirven de fundamento teórico para esta investigación.

Caracterización climática en Costa Rica

Se debe de tener claro que la topografía de Costa Rica es muy variada, en cuanto se presenta en forma de montañas y valles que llegan a cubrir la pequeña extensión del país. Por otro lado, existen dos sistemas montañosos principales que corren longitudinalmente sobre la parte central del país, los cuales se denominan: la Cordillera Volcánica del Norte y la Cordillera de Talamanca que se localiza al sur. La existencia de estas dos cordilleras va a determinar la división del país en tres regiones fisiográficas, norte, central y sur. Esta misma disposición montañosa, junto con los vientos predominantes del noreste (alisios), han enmarcado también tres regiones climáticas diferentes: la Región Tropical Húmeda, a la cual pertenece la Región Norte y Atlántica, la Región Central Intermontana a la cual pertenece la Región Valle Intermontano Central y Montañosa Sur, y la Región Tropical del Pacífico, a la cual pertenecen la Regiones Pacífico Norte, Sur y Central, con dos estaciones bien definidas, la húmeda y seca (Solano y Villalobos, s. f).

Para la presente investigación esta caracterización climática se centrará en tres zonas en específico: Trópico húmedo, Trópico seco y Valle Central, cuyas características principales se detallan a continuación:

Trópico húmedo

En este trópico se dan climas muy variados entre una región y otra, ya que dentro de esta se tiene la región Brunca, Huetar atlántica y la Huetar norte quienes presentan problemáticas variadas, así como variedad de temperaturas entre una estación y otra. Las temperaturas en algunas zonas del trópico oscilan entre los 12 grados centígrados y 17 grados centígrados y en otras zonas entre los 17 grados centígrados y 24 grados centígrados.

Está ubicada en su mayoría al sureste del territorio nacional, por lo que es una de las dos regiones que limita con Panamá. Este es uno de los trópicos más lluviosos del país y su clima es tropical húmedo caracterizado por ser cálido pero lluvioso.

Este trópico se dedica principalmente a la agricultura, ya que su relieve que está formado mayoritariamente de llanuras recorridas por ríos, los cuales facilitan la actividad. Estos ríos se desbordan con facilidad, causando inundaciones en época de lluvia (El maestro en casa, s. f). Esta zona tiene varios retos importantes de establecer para esta investigación, tales como: Mejorar la red vial para el transporte de materias primas y el tránsito de los vecinos y el de crear nuevas viviendas y dignas.

Otra de las regiones de interés y con una caracterización climática opuesta es la del trópico seco, mismo que se detalle a continuación:

Trópico seco

Esta región figura como la más extensa del país. Por otro lado, sus tierras son poco elevadas y cuenta con una gran diversidad de paisajes, tales como playas, volcanes, montañas ríos, lagos, parques nacionales, esto hace y que la región posea un gran valor turístico.

En esta región predomina el latifundio, lo cual quiere decir que la tierra concentrada en pocos dueños. La región del trópico seco es una zona en donde se debe de mejorar las vías de comunicación, la cobertura de los servicios básicos, la distribución del agua potable es irregular, así como el tratamiento de aguas negras. En esta zona los veranos suelen ser muy calientes, pero en general las temperaturas oscilan entre los 17 grados centígrados y 24 grados centígrados (Solano y Villalobos, s. f).

La última zona de interés es la que comprende el valle central del país, llamada región central.

Valle Central

Esta región se caracteriza por tener un clima templado y semi-húmedo tropical, con temperaturas promedio de 20 grados centígrados. En esta zona se tiene múltiples problemáticas, como situaciones graves de contaminación del aire, del agua y el mal manejo de los desechos sólidos. También hay grandes dificultades con el congestionamiento vial, hay una grave falta de planificación urbana, que se combina con la inseguridad ciudadana, entre otras problemáticas. Su clima es variado según las estaciones, en verano pueden darse días muy calientes y noches muy frías y en invierno las lluvias suelen ser muy fuertes (El maestro en casa, s. f).

Como se pudo observar cada una de las zonas climáticas de Costa Rica tiene sus respectivas problemáticas y aún más importantes las relacionadas producto de los embates del clima, es por eso que se hace prescindible exponer lo relacionado al riesgo que tiene el país en relación a los desastres naturales.

En la siguiente figura se puede observar la ubicación geográfica de las zonas antes mencionadas.

Figura 4

Ubicación de las regiones que componen el trópico húmedo, seco y valle central



Nota: También llamadas regiones socioeconómicas.

Riesgo de desastres naturales en Costa Rica

Se debe de tener en cuenta que en la actualidad todo país está sujeto a enfrentar desastres en cualquier ocasión, relacionados al cambio climático, las inundaciones, las cuales suponen riesgos cada vez más comunes y más costosos para las regiones afectadas, tanto así que a nivel internacional se ha llegado a advertir que Costa Rica no es un país sostenible debido al alto costo financiero de los desastres, añadido que “Costa Rica se ubica en una de las zonas más vulnerables del mundo y los riesgos se han incrementado sustancialmente en los últimos 30 años” (Richmond, 2019, p.1). Tal como se muestra en dicho pronóstico, el país debe de implementar desde este momento, mecanismos y soluciones para dar solución a futuros eventos.

Lo anterior hace relevante el mostrar la referencia teórica de conceptos tales como vulnerabilidad, riesgo y tipos de a los que se expone Costa Rica, para comprender a profundidad la idea de trabajo del presente trabajo investigativo.

Vulnerabilidad

Vulnerabilidades las hay de muchas maneras, desde una perspectiva económica, social, hasta de construcción, pero se debe englobar todo esto en un solo término que permita generalizar el concepto, por lo que se puede decir que la vulnerabilidad es un tema emergente, que se plantea muchos análisis desde lo social hasta la movilidad social de las personas. Pero es de saber que la vulnerabilidad en sí es un fenómeno que contribuye a generar inestabilidad desde la parte económica, las condiciones de pobreza, la fragmentación social y la situación de vulnerabilidad de la población ante los riesgos.

A nivel mundial existen numerosos estudios que hablan del tema, tales como el Banco Mundial, el BID, Naciones Unidas y todos ellos llegan al punto en común que vulnerabilidad se relaciona con la debilidad de los más pobres para enfrentar las crisis o la propia supervivencia, aproximándose así a la ligazón entre vulnerabilidad y pobreza (Foschiatti, s.f).

Riesgo

Hablar de riesgo es un concepto muy amplio que se aplica en muchas áreas, como por ejemplo economía, política, medicina, lo que revela el amplio alcance del concepto. Pero en todas las áreas mencionada se concluye que este

Es la probabilidad de ocurrencia de un peligro define riesgo como un contexto caracterizado por la probabilidad de pérdidas y daños en el futuro, las que van desde las físicas hasta las psicosociales y culturales, el autor centra el análisis del concepto en la “posibilidad”, que está sujeta a análisis de tipo cuantitativo y cualitativo. (Rojas y Martínez, 2011, p.86)

Lo anterior da una idea general para poder llegar a definir el concepto de riesgo, ya propiamente en situaciones de preemergencia, se conocerá como “probabilidad de que en un espacio ocurra un peligro determinado de origen natural, y que pueda generar potenciales daños y pérdidas en las actividades humanas” (Rojas y Martínez, 2011, p.86), siendo esto lo que para presente investigación toma especial relevancia.

Tipos de desastres a los que se expone Costa Rica

Costa Rica debido a la posición geográfica que se encuentra dentro del continente americano, está propensa a múltiples acontecimientos naturales, tales como sismos, tormentas tropicales, deslizamientos entre otros. Para el presente trabajo la atención se centrará en los deslizamientos, sismos e inundaciones, ya que a la postre una tormenta tropical traerá por consecuencias grandes deslices de tierra e inundaciones severas.

Los deslizamientos, según la Comisión Nacional de Emergencias de Costa Rica (CNE), se definen como:

El movimiento lento o rápido del material superficial de la corteza terrestre (suelo, arena, roca u otros materiales) pendiente abajo, debido a una pendiente muy empinada, a un aumento de peso, pérdida de la consistencia de los materiales o algún otro factor que genere un desequilibrio en la ladera. A estas condiciones se deben sumar factores externos como la sismicidad, el vulcanismo y las lluvias. En un segundo plano, se deben considerar la deforestación, las aguas subterráneas, entre otras. (CNE, s.f, p 5)

Por otro lado, tenemos a las inundaciones, que pueden deberse a fenómenos naturales y a fenómenos antrópicos, siendo estos últimos también de interés, ya que tienen el potencial para causar una emergencia nacional que deje sin refugio a miles de personas. Para este tipo de

desastre la CNE (s.f.) tiene una definición concreta “las inundaciones se definen como la incursión o desborde del agua sobre zonas o áreas que en condiciones normales son o se encuentran secas. Pero por el efecto del desborde temporal de un río, lago u otro; se inundan o son anegados”. (p. 13).

Por último, se tiene el desastre natural de sismos, los cuales según la Red Sismológica Nacional (RSN) (2014):

Existen diversas palabras en el idioma español para referirse a los fenómenos sísmicos. De ellas, tres son frecuentemente confundidas. El ‘Temblor’, al igual que el ‘Sismo’, es un evento sísmico que no ocasiona daños materiales o económicos perceptibles ni pérdidas humanas. Se le llama ‘Terremoto’ al evento cuando este ocasiona daños perceptibles de cualquier tipo en la sociedad humana. En España se emplea con frecuencia el término ‘Seísmo’ para hablar de temblores (sismos). (p. 1)

Aunque esta definición de sismo es muy pasiva, para efectos de la presente investigación, se toma el sismo como un desastre al estar dentro de este el llamado terremoto, los cuales no son frecuentes en el país, pero que cuando suceden, dejan serios problemas de vivienda en las familias más vulnerables.

Debido a los desastres anteriormente mencionados es que los tiempos de reacción se hacen importante controlar y para esto es que crear refugios de emergencia lo más pronto posible es un aspecto crucial al atender estos eventos. El implementar casas funcionales y modulares se convierte en una de las opciones más viables de la actualidad, siendo esto un aspecto de interés para la presente investigación.

Principio de modulación en la construcción

Concretamente este principio se basa en desarrollar la construcción (de casas, edificios, etcétera) fuera del sitio donde se ubicará en el futuro de forma permanente o por un corto tiempo, esto, bajo condiciones de planta estrictamente controladas, sin dejar de lado que se utilizan los mismos materiales y diseñando bajo los mismos códigos y estándares que en una construcción convencional en sitio.

Concepto de modulación

En lo que concierne al concepto de modulación se tiene que este hace referencia a un sistema alternativo en el mismo campo, que brinda mayores ventajas a lo que respecta plantear soluciones a un costo menor, confort y por sus procesos y posibilidades, en la dirección de la eficiencia en la mayoría de los casos energética (Sánchez, 2016).

Se debe de tener claro que las ventajas y beneficios al utilizar esta alternativa constructiva sobrepasan los estereotipos sobre la construcción a niveles de industria que es una construcción ligera y poco eficiente, ya que una de sus características es mantener la calidad, pero a costos energéticos menores, así como de tiempo.

Para efectos de la presente investigación se hace importante presentar las ventajas de estos sistemas, para con ello respaldar la idea que la modulación en emergencia es la mejor alternativa hasta el momento.

Ventajas de la construcción modular

Algunos de los beneficios más notorios de este tipo de construcción son, sin lugar a duda, la rapidez en la instalación, la facilidad para transportar los módulos y el nivel de sostenibilidad

que presenta, además porque produce un bajo impacto en el entorno de la construcción, ya que su instalación produce considerablemente menos ruidos y emisiones de polvo.

Muchos investigadores que han trabajado la construcción modular afirman que otras ventajas asociadas a este sistema son:

Rápido montaje en destino: No requieren un permiso de edificación cuando son consideradas como viviendas provisionales o de construcción ligera.

Sustentabilidad: Si son producidas con materiales reciclables pueden ser sustentables y amigables con el medio ambiente, cumpliendo con las exigencias de aislamiento térmico y de eficiencia energética.

Velocidad: Es más segura para los trabajadores y los vecinos a la construcción, ya que, por tratarse de prefabricados, la mayor parte de la construcción se realiza en Fábrica.

Costo: Rentabilidad Es una Inversión más rentable y de retorno más rápido son Móvil y reubicables, lo que es imposible en la construcción tradicional, no se demuelen, se reconstruyen, ideales para obras de ingeniería. Te lo puedes llevar y disfrutarlo en otro lugar.

Resistencia: Es antisísmica, por su flexibilidad a terrenos sísmicos. (Rodríguez, 2018, p.74)

Con lo anterior se debe dejar claro que construcción modular no es lo mismo que prefabricada, esto porque en la construcción de casa de emergencias se suelen confundir los términos, a lo que se hace prescindible trabajar la diferencias entre ambas para dejar claro la ruta que sigue la presente investigación, que se basa en modulación.

Modular versus prefabricada

En primera instancia se tiene los métodos prefabricados van a ahorrar mucho tiempo de ejecución, ya que en estos se utilizan elementos conformados en su geometría y posición final. Hoy en día, en el mercado se encuentra gran variedad de materiales y productos para este tipo de construcciones. Los elementos prefabricados se clasifican según el peso y la dimensión. Por su parte la modulación destaca por su construcción de rápida respuesta. El montaje del módulo, en fabrica, pasa por las diferentes fases de una cadena de montaje hasta su finalización. El módulo, acabado en la fábrica, es trasladado al sitio donde se ubicará.

Una de sus mejores características de los módulos es la capacidad de adaptarse a diferentes dimensiones según se requiera. De forma horizontal como vertical, con la superposición de las piezas. Los módulos adquieren una mayor calidad respecto a otros sistemas constructivos. Se trabajan en mejores condiciones, ya que no están expuestos a las inclemencias del tiempo durante su montaje. Esto se ve reflejado tanto en acabados de los diferentes materiales, como en las uniones entre los elementos que lo componen (Aguilar, 2021).

Lo anterior expuesto nos lleva a conclusiones que la modulación es uno de los métodos pioneros e ideal para las viviendas que se utilizan ante emergencias producto de desastres tanto naturales como los generados por el ser humano. Con lo que es preciso en este punto definir lo que se entiende por vivienda de emergencia.

Vivienda de emergencia

En caso de existir alguna catástrofe, existe la necesidad de contar con una vivienda de emergencia, la cual según Cartagena (2021) “se define como un hábitat que permite sobrellevar la supervivencia. Cuenta con ciertas necesidades y resguarda de los riesgos externos mediante ciertas funciones básicas como protección contra agentes climáticos, almacenamiento y

protección de los bienes” (p. 21). Para efectos de la presente investigación se tiene que la idea de refugio de emergencia es precisamente esta, la de proteger por un tiempo considerable a las familias de los embates climáticos o producidos por el hombre mientras las autoridades solucionan el problema de reubicación y vivienda digna.

Ante la emergencia, resulta trascendental el conocer la normativa nacional que gira alrededor de estas soluciones, esto para evitar atrasos en el momento del evento que causen que las familias estén al margen por mucho tiempo.

Lineamientos para atención de emergencias y refugios temporales en Costa Rica

En lo que refiere a la atención y construcción de los refugios de emergencia, esto está de manera implícita en la ley 8488 llamada ley nacional de emergencias y prevención de riesgos. La cual en el artículo 15 dicta los principales puntos, entre los que destaca que declarado el estado de emergencia establecido en el artículo 29 de esta Ley corresponderá a la Comisión planear, coordinar, dirigir y controlar las acciones orientadas a resolver necesidades urgentes, ejecutar programas y actividades de protección, salvamento y rehabilitación. Para ello, deberá ejecutar, como mínimo, las tareas de evaluar los daños, coordinar las investigaciones científicas y técnicas necesarias para el plan, así como los programas de recuperación física y económica, y darles el seguimiento necesario y contratar al personal especial que requiera por períodos determinados y conforme a la declaración de emergencia (Asamblea Legislativa, 2006).

En lo que refiere a la construcción, esta ley en el artículo 30 establece una fase de la emergencia que se llama fase de reconstrucción la cual:

Está destinada a reponer el funcionamiento normal de los servicios públicos afectados; incluye la reconstrucción y reposición de obras de infraestructura pública y de interés

social dañadas, así como la implementación de las medidas de regulación del uso de la tierra orientadas a evitar daños posteriores. Para concluir la fase de reconstrucción, la Comisión contará con un plazo máximo de cinco años. (Asamblea Legislativa, 2006, p. 25)

Otro aspecto relevante en relación a los lineamientos para la construcción de refugios de emergencia es lo que se estipula en el artículo 34 de la ley en discusión el cual permite que “Bajo estado de emergencia, el Poder Ejecutivo podrá decretar restricciones temporales en el uso de la tierra, con el fin de evitar desastres mayores y facilitar la construcción de obras” (Asamblea Legislativa, 2006, p. 27). Lo que quiere exponer este artículo, es que, durante una emergencia, ya las disposiciones regulatorias no dependen del todo de cada gobierno local, si no propiamente al poder ejecutivo.

Así mismo si se ocupasen espacios para el tránsito de maquinaria de reconstrucción, salvamento o entregar ayudas, el artículo 36 dicta que los propietarios estarán obligados a permitir la ocupación temporal de sus predios, cuando sea absolutamente indispensable para atender oportunamente la emergencia, esto quiere decir que los dueños de estos deben de facilitar el paso de esta sin restricción alguna.

En lo que respecta a la etapa de recuperación de daños muchas familias deben de ser ingresadas a albergues temporales para su estancia, pero para que estos sean aptos para atender personas damnificadas deben de cumplir una serie de parámetros tales como: contemplar las recomendaciones nutricionales que les brinde el CNE, para que los alimentos sean en proporciones adecuadas y garanticen la nutrición de las personas albergadas, en cuando a los dormitorios para períodos largos, se recomienda la construcción de paredes o divisiones que permitan cierto nivel de privacidad, Se recomienda un sanitario o letrina por cada 20 personas,

alejadas del área de cocina, de las fuentes de abastecimiento de agua potable y de zonas de inundación, buen manejo de aguas servidas, de esorrentía y desechos sólidos, condiciones estructurales y no estructurales básicas con accesibilidad universal, se recomienda un espacio de 3.5 m² por persona, para periodos cortos de tiempo se puede reducir a 2 m² (CNE, 2019).

Ahora, se debe comprender que posterior a una emergencia el comprender la normativa para la instalación de refugios de emergencia se hace trascendental, pero no hay que dejar de lado que para la instauración debe de existir toda una investigación que garantice que las familias, posterior a esta, estén cómodas y sin riesgo de enfrentar efectos secundarios, como el clima, a lo que trabajar dichos módulos con un fin bioclimático se hace trascendental, y es de lo que se expondrá seguidamente.

Etapas de reconstrucción de los daños

Para esta etapa se debe tener claro que la reconstrucción se aplica con o sin Decreto de Emergencia con competencias definidas para los sectores involucrados en la afectación.

Esta etapa según el MIVAH (2018):

Consiste en reponer el funcionamiento normal de los servicios públicos, la reconstrucción de viviendas de interés social destruidas, la reconstrucción de viviendas a través del Instituto Nacional de Seguros (INS), por medios propios, donaciones, créditos bancarios, o cuando no están incluidas en lo anterior, con recursos del Estado con vivienda de interés social, siempre y cuando cumplan con los requisitos del Sistema Financiero Nacional para la Vivienda (SFNV), los acueductos, los alcantarillados y los tendidos eléctricos; en general, es la fase donde se repone el funcionamiento normal de los servicios públicos afectados. (p.17)

Para esta etapa se tiene que participarán muchas instituciones gubernamentales como: CNE, los CMEs de las Municipalidades y se incorporan las instituciones nacionales, Instituto Mixto de Ayuda Social (IMAS), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos (MIVAH), Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), Ministerio de Educación Pública (MEP), Sistema Financiero Nacional para la Vivienda (SFNV), entre otros, cada uno con un papel específicos y según sus funciones.

Bioclimatización

Este concepto principalmente se refiere al uso del proceso natural de enfriamiento por ventilación continua, con lo que se genera una renovación constante del aire dentro del aposento, dando por resultado un espacio fresco y a un costo mínimo. Lo anterior hace referencia a una técnica de bioclimatización pasiva las cuales según García (2013):

Son sistemas de un edificio cuya misión principal es optimizar su comportamiento climático, actuando sobre los fenómenos de radiación, térmicos y del movimiento del aire, que actúan de forma natural en la arquitectura. El término pasivo se refiere a no utilizar ninguna fuente de energía artificial para el funcionamiento de estos sistemas.
(p.17)

Al utilizar este sistema de enfriamiento los beneficios serán muchos tanto para el medio ambiente, al no utilizar fuentes a base de petróleo, y para la economía de quienes lo implementan, quienes se ven beneficiados al pagar menos dinero por su factura eléctrica.

Beneficios de la bioclimatización

La bioclimatización, llamada así en muchas partes del mundo, tiene grandes beneficios para la construcción en general, tales como que los costes operativos son similares a los de un

ventilador. Su coste de instalación es bajo, ya que sólo precisa de tapicheles debidamente diseñados, con láminas reguladoras de entrada de aire que garanticen la renovación del aire constantemente. Su mantenimiento es muy económico y al incorporar pocas piezas de trabajo se reducen las probabilidades de producción de fallos. Destaca también la sencillez en el mantenimiento (Biocool, 2018).

Temperaturas de confort

Cuando se habla de bioclimatización, también se debe de hacer énfasis en las temperaturas que puede llegar a generar y que son las ideales para sobrellevar los climas extremos, al respecto Biocool (2018) establece que

Este permite disminuir la temperatura entre 4 °C y 12 °C respecto a la del exterior, impulsando aire entre 20 °C y 24 °C aproximadamente, dependiendo principalmente de las condiciones del aire exterior (grado de humedad, temperatura...) y de la zona geográfica donde se ubique. Cuanto más calor y más seco sea el día, mayor eficacia mostrará el sistema. (p. 14)

Lo anterior muestra temperaturas de referencia y, tal como se menciona, depende mucho de las condiciones externas entre ellas, el soleamiento, aunque se puede decir que confort es un término bastante subjetivo al depender de cada una de las personas y su percepción de calor o frío.

La carta bioclimática de Givoni

Esta carta se basa en las modificaciones que la arquitectura puede realizar en el clima y va a señalar las cualidades que se deben de adoptar en las construcciones para lograr la sensación de confort.

Tablas de Mahoney

Estas tablas tienen por finalidad comparar datos del clima con el límite de confort establecido para un lugar en específico y van a permitir realizar una evaluación de las condiciones climáticas, para tener una referencia del tipo de recurso bioclimático a utilizar.

Efecto Venturi en arquitectura

La ventilación por efecto Venturi se basa en la teoría de Bernoulli en que se demostraba que un aumento de velocidad de un fluido hacía disminuir necesariamente su presión. Lo que quiere decir en arquitectura es que, si colocamos aperturas para ventilación, entre más pequeñas sean las entradas de aire, más velocidad tendrá este al ingresar a la vivienda y, por ende, se puede dar una circulación más adecuada.

Lo que refiere a procesos propiamente constructivos y de gestión ante la emergencia, aunque se debe de tener una planificación estratégica y ver la factibilidad de diseñar este tipo de prototipos, a lo que se hace relevante exponer aspectos relacionados a factibilidad en proyectos constructivos para conocer los por menores que llevaron a concretar una idea constructiva, en este caso refugios de emergencia.

Factibilidad en proyectos constructivos

El Estudio de factibilidad, también llamado estudio previo o estudio preliminar, tiene por objetivo verificar si en un proyecto existen soluciones que cumplan los objetivos definidos en el planteamiento inicial y así con ellos poder determinar que son viables tanto física, legal, social, económica como financieramente. En esta fase es donde se persigue obtener una visión de conjunto del proyecto, siendo, por tanto, sus objetivos fundamentales son el de conocer el proyecto en su conjunto, obtener posibles soluciones del problema y estudiar la viabilidad de estas soluciones (Universidad Politécnica de Cartagena, s.f.).

Factibilidad económica

González y Vidaud (2009) establecen que en lo que respecta a la factibilidad económica de un proyecto constructivo, esta establece la “condición que evalúa la conveniencia de un proyecto, atendiendo a la relación que existe entre los recursos empleados para obtenerlo y aquellos de los que se dispone” (p. 28). Lo anterior explica que, para determinar la factibilidad económica de un proyecto, primeramente, se deben de establecer los costos totales de la obra para posterior contrastarlos con lo que se dispone en el momento y ver si efectivamente se puede ejecutar o por el contrario se deben de realizar ajustes al modelo empleado.

Factibilidad en relación a la durabilidad

En el contexto de proyectos constructivos, se tiene que la factibilidad en relación con la durabilidad hace referencia a la capacidad de una estructura para mantener su funcionalidad, integridad y seguridad a lo largo de su vida útil prevista, considerando los factores ambientales, el uso y el mantenimiento. De manera concreta y en las casas de emergencia modulares, se trata de evaluar si el módulo está diseñado y construido de manera que pueda resistir el paso del tiempo, sin deteriorarse significativamente ni requerir reparaciones o reemplazos costosos.

En lo que refiere a la durabilidad se deben de tener aspectos claves como selección de materiales, diseño estructural, detalles de construcción y lo relacionado al mantenimiento preventivo que hará y el bien se conserve con el paso del tiempo.

Factibilidad medioambiental

Para producir en masa, ya sea módulos como elemento constructivo o cualquier otro elemento, se debe de tener presente que estudiar la factibilidad medioambiental resulta trascendental, ya que se debe de tener en cuenta que los recursos no son infinitos y se debe

garantizar que los mismos tengan capacidad de renovación para que la construcción del bien se mantenga al pasar del tiempo, González y Vidaud (2009) la definen como

Condición que evalúa el resultado de cualquier actividad o proyecto que frena o minimiza el impacto de un evento peligroso que imposibilita el uso, deteriora o destruye bienes y servicios ambientales que son utilizados para mejorar la calidad de vida del ser humano.

(p. 28)

Viabilidad en proyectos constructivos

En lo concierne a la viabilidad se debe dejar claro que, a diferencia de la factibilidad, esta se enfoca en la esencia del proyecto, ya que evalúa si este responde a una necesidad real del mercado y si tiene el potencial de generar un impacto positivo. En palabras simples, la viabilidad analiza si la idea del proyecto tiene sentido y si existe una demanda o un problema que resolver. Es aquí donde precisamente se trata de responder a las preguntas ¿tiene sentido el proyecto? ¿responde a una necesidad real?

Lo mostrado anteriormente evidencia que, para consumir un proyecto a nivel constructivo, ya sea modular u otro estilo, se requiere conocer más que asuntos tramitológicos, de viabilidad o factibilidad, sino, que se deben de analizar todas las variables. A lo que lleva a una interrogante ¿qué sucede una vez que las etapas previas se cumplen satisfactoriamente y se tiene la idea concreta de diseño? En esta etapa es que intervienen factores determinantes que tienen que ver con la integridad y seguridad de los futuros habitantes como lo es el análisis dinámico de la estructura en condiciones extremas de emergencias como por ejemplo fuerzas de empuje debido a vientos extremos y sismos.

Análisis de estructuras

Este principio consiste en el estudio del comportamiento de una estructura; aquí se debe dejar claro que la estructura funciona como un dato, y mediante su análisis se obtiene el cómo funciona en determinadas condiciones. Así, por ejemplo, si se necesita analizar una estructura, si se quiere conocer cómo se deforma ante una hipótesis de carga, pero para ello hay que tener tal estructura diseñada previamente. La importancia del análisis de una estructura es que este va a permitir validar o invalidar las decisiones de diseño, cuando no se cuenta con procedimientos de cálculo capaces de definir la estructura (González, 1990).

Análisis de estructuras de marcos

Debido a que las casas modulares tienen un soporte de marco generado por elementos de acero con uniones soldadas y articuladas, es que resulta de vital importancia cómo se realiza un análisis en estructuras de acero, en especial de este estilo.

Se acostumbra a llamar pórtico o marco a una estructura reticular cuya estabilidad y capacidad portante dependen en parte de la habilidad de una o más de sus uniones para resistir momentos. Sus elementos constitutivos están sometidos usualmente a fuerzas axiales y cortantes, y a momentos flectores; en ocasiones experimentan también torsión. Para su análisis existen muchas maneras tal como método de la rigidez el cual se basa en la aplicación de las ecuaciones de equilibrio y compatibilidad para determinar las fuerzas internas y los desplazamientos en la estructura. El método de la rigidez es preciso y versátil, pero puede ser complejo y laborioso para estructuras grandes o complejas.

Método de la flexibilidad: el cual se basa en la relación entre las fuerzas y las deformaciones de los elementos estructurales. Este método es más simple que el método de la rigidez, pero es menos preciso para estructuras con articulaciones o elementos no lineales.

Método del marco continuo: se basa en la suposición de que la estructura se comporta como una viga continua. El método del marco continuo es simple y rápido, pero es menos preciso que los métodos de la rigidez o la flexibilidad para estructuras con articulaciones o elementos no lineales (Uribe, 2002).

Y por último se tiene que se puede realizar un análisis utilizando software de análisis estructural como Sap2000 e Etabs, los cuales tienen funciones similares, siendo el Sap2000 más utilizado en estructura de acero.

Tomando la línea de los análisis por equipo tecnológico, se hace relevante teorizar en el tipo de análisis que se realizará a la estructura en la presente investigación, como lo es el dinámico.

Análisis dinámico

Mientras que el análisis estático se limita únicamente a los tipos de cargas de constantes en el tiempo, el dinámico abarca muchas más cargas, entre las cuales se puede citar la más importante, la sísmica, las cargas de impacto, las dinámicas alternantes o pulsantes (en tracción o compresión) y otras como las cargas producto de la presión hidrodinámica de algún fluido. (Carrasco, 2011).

Este análisis claramente está asociado con la idea de determinar todos los esfuerzos internos a los que estará sometida la estructura, a lo que resulta vital conceptualizar dicho concepto para comprender de una mejor manera el fenómeno en estudio.

Esfuerzos internos

Los esfuerzos internos son siempre parejas de fuerzas (o momentos) iguales y contrarios, que actúan sobre las dos caras de la región transversal producto de un corte y de cada elemento

estructural. Según la dirección que tengan estas fuerzas (o momentos) los esfuerzos se dividen en cuatro: axial, cortante, flector y torsión. Si sobre elemento actúan dos fuerzas paralelas a la directriz de la barra, se dice que es esfuerzo axial, si sobre la rebanada actúan dos fuerzas perpendiculares a la directriz de la barra, se dice que está sometida a esfuerzo cortante, si sobre la rebanada actúan dos momentos en el plano de la barra, entonces está sometida a momento flector y si sobre la rebanada actúan dos momentos contenidos en sus caras, entonces está sometida a momento torsión. (Delgado, De Justo, Lozano, Bascón, 2016).

Beneficios en el uso de programas informáticos para el análisis de estructuras

La incorporación de Software especializado en el diseño y análisis estructural ha permitido a muchos profesionales reducir considerablemente los tiempos, problemas con alto grado de complejidad que años anteriores solo podían resolverse mediante simplificaciones y aproximaciones. Con lo que la tecnología en la ingeniería ha permitido lograr mejores soluciones sustentadas en la precisión, las optimizaciones y el estudio de variantes.

La Academia Nacional de Ingeniería de Buenos Aires Argentina (2017) establece que entre las principales ventajas del uso de Software especializado se pueden señalar:

- Utilizar modelos estructurales 3D, incluyendo comportamiento no lineal de materiales y estructuras e introduciendo como variable el tiempo.
- Visualización e interpretación gráfica de los resultados.
- Analizar el comportamiento de estructuras con diferentes esquemas estructurales que permiten simular los diversos comportamientos posibles durante las etapas de construcción y uso.

- Proponer variantes en los modelos de análisis del comportamiento estructural, tarea fundamental en la etapa de diseño para lograr la solución óptima. En algunos casos el software incluye funciones de optimización.
- Facilitar el desarrollo y la revisión de los diseños estructurales.
- Ajustar y optimizar los proyectos simulando distintas configuraciones.
- Reducir sensiblemente el tiempo de análisis y verificación de problemas estructurales. (p. 7)

Sap2000

SAP200 es un programa desarrollado por la compañía CSI Spain que trabaja con elementos finitos con interfaz gráfica 3D orientada a objetos que está preparado para modelar, analizar y dimensionar la mayoría de los problemas de ingeniería de estructuras de manera integrada.

Conocido por su poder de cálculo, la flexibilidad en el tipo de estructuras que permite analizar y la fiabilidad de los resultados, SAP200 es la herramienta de trabajo diaria para varios ingenieros. La capacidad de modelar estructuras le permite utilizarla para dimensionar puentes, edificios, estadios, presas, estructuras industriales, estructuras marítimas y cualquier otra infraestructura que necesite ser analizada y dimensionada.

En relación a sus acciones, este programa es capaz de generar automáticamente cargas de sismo, viento y vehículos, y posteriormente, hacer el dimensionamiento y comprobación automática de estructuras de hormigón armado, perfiles metálicos, de aluminio y conformados en frío, a través de las normativas europeas, americanas, canadienses, turcas, indias, chinas, y otras.

Desde sencillos modelos estáticos utilizados para análisis 2D, a los modelos complejos y de grandes dimensiones que requieren análisis avanzados no lineales, el programa SAP2000 es la solución más eficiente y productiva para los ingenieros de estructuras en general (CSI, 2024).

Capítulo III: Marco metodológico

En esta sección del trabajo investigativo, se planteará el abordaje desde el cual se desarrollará la recolección de información necesaria para el análisis del tema en cuestión, esto a la luz de los objetivos planteados desde el inicio y mismos que buscan encaminar a la solución de una problemática que se genera dentro del marco constructivo.

A fin de mostrar la validez de la presente investigación, esta sección contendrá los elementos que darán soporte metódico, tal como enfoque por el cual se va llevar a cabo el camino investigativo, método de investigación, fuentes de información y variables. Por otro lado, se muestran las técnicas de recolección y análisis de datos.

Como en todo proceso de investigación, la metodología va a crear los pilares para concreción de los objetivos, ya que esta habla sobre el objeto y su comportamiento en diferentes contextos. Esta misma sirve para acercarse al objeto, recogerlo, procesarlo y por ende analizarlo.

La metodología va a significar la teoría sobre los métodos, la ruta y la manera en que se va a procesar la investigación, para así seguir los pasos y las huellas de aquello que se desea investigar; a lo que se dice que la metodología está constituida por técnicas y métodos (Ramírez, 2011).

Enfoque de la investigación

Respecto a la naturaleza de la investigación y sus metodologías para la recolección de datos, el enfoque que se utilizó es el mixto, ya que, para responder a cada objetivo formulado, las

técnicas que se utilizaron fueron analizadas tanto estadísticamente, como de manera no estandarizada. Tal como lo menciona Hernández et al (2010):

Los métodos mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada (metainferencias) y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio. (p. 546)

Esta selección del enfoque hace que todo el diseño del proyecto sea también mixto, ya que los diferentes instrumentos diseñados para la recolección de datos poseen interrogantes basadas en lo cuantitativo y cualitativo, esto en su integración. Por otro lado, se eligió este enfoque debido a que los datos que se recolectaron fueron de carácter cuantitativo y cualitativo en varios niveles y de manera simultánea, al igual que el análisis de la información permitió generar contrastes de la información recolectada.

Método de la investigación

Según Barrantes (2012) el método “es un conjunto de principios generales que sientan las bases de la investigación. Es un procedimiento concreto que se emplea, de acuerdo con el objeto y con los fines de ésta, para organizar los pasos y propiciar resultados coherentes” (p. 49).

Para la presente investigación se utilizó el diseño explicativo secuencial el cual “se caracteriza por una primera etapa en la cual se recaban y analizan datos cuantitativos, seguida de otra donde se recogen y evalúan datos cualitativos” (Hernández, 2010, p, 566), siendo esta metodología de recolección la que se utilizó en el presente trabajo.

Fuentes de información

Para este trabajo investigativo se contó con el acceso suficiente a las fuentes de información tanto primarias como secundarias, ya que, en el caso de las primarias, se comprometieron a generar la información necesaria, al ser considerado el tema de la modulación de casas de emergencia un tema que causa interés a toda la comunidad académica como de las autoridades encargadas de comandar las situaciones de emergencia.

Como fuentes primarias, las cuales según Hurtado (2000) se van a definir como “aquellas que proporcionan datos de primera mano.” (p.200), se tienen los lineamientos constructivos que ha establecido las autoridades del país para su efecto, como el código de viento, Código Sísmico, reglamento de construcciones, entre otros. Por otro lado, las fuentes primarias fueron el Instituto Meteorológico Nacional, Departamento de Ingeniería Estructural de la Universidad de Costa Rica, Departamento de Ingeniería en Construcción de la Universidad de Costa Rica, Departamento de operaciones de la Comisión Nacional de Emergencias, Colegio de Ingenieros Civiles de Costa Rica, LANAME, Experto en arquitectura bioclimática y departamento de ingeniería estructural de bomberos de Costa Rica.

Las fuentes secundarias las cuales según Hurtado (2000) van ser “aquellas que hacen referencia a las fuentes primarias, en ellas se procesa la información de primera mano y se proporciona información sobre dónde encontrar la fuente primaria” (p. 202), para el presente trabajo fueron los artículos académicos de reconocidas revistas de carácter constructivo, trabajos finales de graduación (tesis), los cuestionarios aplicados a los profesionales en atender este tipo de emergencias, matrices de análisis y libros que proporcionaron los soportes para fundamentar la perspectiva teoría.

Variables o unidades de análisis

Las variables en un estudio de investigación van a ser todo aquello que se mide, la información que se recolecta, o bien, los datos que se recaban, esto con la finalidad de responder las preguntas de investigación y a los objetivos.

A continuación, se mostrará las principales variables del trabajo, su definición conceptual, así como su definición instrumental y operacional.

Tabla 1

Cuadro operacional de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Instrumental	Definición Operacional
Condiciones climáticas.	Las condiciones climáticas se definen como el conjunto de condiciones meteorológicas promedio en una región determinada.	El investigador hace uso de una matriz documental, la cual se base en considerar atributo como precipitación, estacionalidad de lluvias y tipo de desastre a la que está expuesta la zona.	Ítems de la matriz (apéndice C)
Condiciones ambientales	Las condiciones ambientales se	El investigador hace uso de una matriz	Ítems de la matriz (apéndice C)

Variable	Definición Conceptual	Definición Instrumental	Definición Operacional
	definen como las características del lugar donde se habita, en relación con las cosas que se pueden ver, sentir y oler, como la temperatura, la humedad, la cantidad de luz y el ruido.	documental, la cual se basa en considerar atributo como temperatura máxima y mínima registrada en los último 20 años, humedad relativa. Y aplica un cuestionario a profesionales en ingeniería estructural de las principales entidades del país especialistas en el diseño y análisis se estructuras.	Ítems 3 y 4 del cuestionario aplicado a profesionales en ingeniería estructural.
Vivienda de emergencia	Se define como un “hábitat que permite sobrellevar la	El investigador para esta variable realiza dos instrumentos, el	Ítems del 1-18 del cuestionario

Variable	Definición Conceptual	Definición Instrumental	Definición Operacional
	<p>supervivencia. Cuenta con ciertas necesidades y resguarda de los riesgos externos mediante ciertas funciones básicas como protección contra agentes climáticos, almacenamiento y protección de los bienes” (Cartagena, 2021, p.21)</p>	<p>primero una matriz documental donde se colocan los materiales recomendados para cada zona según sus características mecánicas y físicas. Y se aplica un cuestionario a cuerpos de emergencia donde exponen basados en la experiencia, la caracterización que deben de tener los refugios de emergencia.</p>	<p>aplicado a cuerpos de emergencias</p>
Bioclimatización natural	Se define como el uso de elementos naturales para crear	El investigador aplicará un cuestionario	Ítems del 19-21 del cuestionario

Variable	Definición Conceptual	Definición Instrumental	Definición Operacional
	condiciones térmicas confortables en un edificio o espacio	estructurado a cuerpos de emergencia donde exponen basados en la experiencia, la caracterización que deben de tener los refugios de emergencia en relación a la bioclimatización.	aplicado a cuerpos de emergencias. Ítems de la matriz (apéndice D)
Ventilación continua	Este tipo de ventilación busca renovar el aire interior de un espacio de manera constante y natural, aprovechando con ello las corrientes de aire y la diferencia de temperaturas	El investigador aplicará un cuestionario estructurado a cuerpos de emergencia donde exponen basados en la experiencia, la caracterización que deben de tener los	Ítems del 19-21 del cuestionario aplicado a cuerpos de emergencias.

Variable	Definición Conceptual	Definición Instrumental	Definición Operacional
	entre el interior y el exterior.	refugios de emergencia en relación a la ventilación.	
Análisis dinámico	Es un proceso que evalúa el comportamiento de estructuras, componentes y sistemas bajo la acción de cargas que varían con el tiempo, considerando en este caso los efectos de la vibración, el impacto y otras fuerzas.	Para esta variable se utilizará la herramienta Sap2000 para generar los datos necesarios en el análisis dinámico. Se asignarán cargas respectivas y se generarán tablas de datos.	Se aplicarán deformaciones a las estructuras y se realizarán las simulaciones respectivas. Ítems 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 17, 18 de cuestionario a profesionales en ingeniería estructural.
Viabilidad	La viabilidad se define como “la posibilidad que tiene un proyecto de	El investigador suministrará un cuestionario estructurado a las	Ítems 22 al 25 de cuestionario a cuerpos de emergencia.

Variable	Definición Conceptual	Definición Instrumental	Definición Operacional
	<p>lograr sus objetivos mediante la superación de las restricciones que le impone el entorno legal, tecnológico, político, social, competitivo, y el cumplimiento de las condiciones que se derivan de su configuración” (Aifan, 2024, p.1)</p>	<p>entidades de atender emergencias a nivel nacional.</p>	
Factibilidad	<p>La factibilidad se define como “la capacidad estructurada de un proyecto, para generar beneficios a su entorno social o retornos de capital</p>	<p>El investigador suministrará un cuestionario estructurado a los profesionales en ingeniería estructural de las principales instituciones del país</p>	<p>Ítems 8, 14 y 15 de cuestionario a profesionales en ingeniería estructural.</p>

Variable	Definición Conceptual	Definición Instrumental	Definición Operacional
	suficientes dentro de ciertos parámetros de racionalidad relativa, en el uso de recursos reales y financieros” (Aifan, 2024, p.2)	encargadas participar en el diseño y análisis de estructuras.	

Nota: Diseño propio del investigador.

Instrumentos

Para el presente trabajo de investigación se tuvieron cuatro instrumentos, dos de ellos matrices de análisis documental, donde mediante investigaciones y datos aportados por el Instituto Meteorológico Nacional se procedió a su llenado para luego utilizar dichos datos en el análisis.

Por otra parte, se tiene que, de los cuatro instrumentos, dos son cuestionarios que se aplicarán a profesionales en el área de la ingeniería.

Cuestionario

Se tiene que para la investigación se aplicaron dos cuestionarios, el primero dirigido al personal encargado de atender emergencias a nivel nacional que consta de 26 ítems de respuesta abierta en donde se buscó que, mediante la experiencia tomada en emergencias pasadas, se

brindara una ruta de trabajo y sugerencias de lo que se debe y no en el diseño y análisis de un refugio de emergencia.

El segundo cuestionario fue aplicado a profesionales en el diseño estructural de las principales instituciones del país, quienes cuentan con amplia experiencia en el diseño y análisis de estructuras. Este instrumento se divide en apartados como introducción y contexto, consideraciones climáticas, selección de materiales, diseño modular, cimentación y estructura, servicios e instalaciones, análisis del ciclo de vida, comparativa de materiales y aplicación práctica. En total este instrumento se compone de 18 ítems.

Matrices de análisis documental y testimonial

Estos instrumentos lo que buscaban era ordenar y agrupar la información por variables para que a la hora de depositar la información sea más sencillo su análisis, el cual buscaba similitudes entre los trópicos y así generar tres modelos no tan diferentes uno del otro.

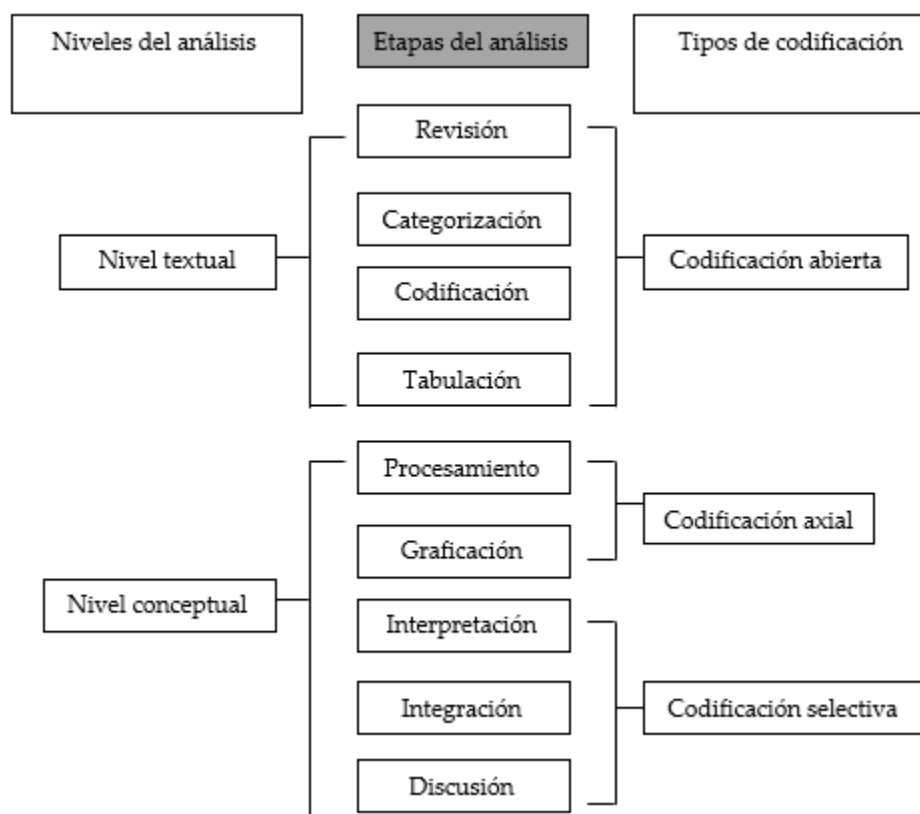
Proceso para la recolección y análisis de datos

En lo que respecta a la recolección de información de los cuestionarios y matrices de análisis documental el primer paso fue el de enviar correos electrónicos a las personas encargadas de la parte estructural del CFIA, LAMNAME y de atender emergencias a nivel nacional como CNE junto a Bomberos de Costa Rica, solicitando la colaboración para el trabajo, y a su vez se les detalló la importancia del estudio y los beneficios que este tendrá tanto para los cuerpos de emergencias como para futuros profesionales en la construcción.

En este apartado se mostrará cómo se aplicaron cada uno de los instrumentos en la recolección de información:

En el caso de la matriz de análisis estas se llenaron basados en la documentación dada por la investigación de materiales, fichas técnicas y demás elementos recabados producto de la aplicación de cuestionarios, como investigación exhaustiva. En el caso de los cuestionarios a profesionales en ingeniería estructural y cuerpos de emergencia, se les realizó una breve introducción y presentación sobre el anonimato, y sobre todo la importancia de la información recolectada para el bienestar futuro de la población vulnerable. Por otro lado, se solicitó leer primeramente el cuestionario para que dé surgir dudas en cuanto a conceptos y demás tipologías, estas puedan ser aclaradas por el aplicador y por ende se obtengan los mejores resultados. Estos cuestionarios fueron aplicados en un lugar tranquilo y sin que el participante tuviese distracciones que a la postre afectaran las respuestas.

En lo que respecta al análisis de los datos, se utilizó como referencia los niveles que presenta Hurtado (2010), en donde se pueden observar a detalle cada una de las etapas por las que atravesará dicho proceso de caracterización de los resultados.

Figura 5*Etapas del análisis*

Nota: Gráfico de Jackeline Hurtado de Barrera, 2010

Como parte del análisis de los datos se procedió en una primera etapa de revisión, donde se acomodaron estos y se transcribieron de manera textual las entrevistas y hallazgos dentro de las categorías que subyacen en la matriz de análisis documental.

Posterior a esto se realizó la categorización por cada una de las preguntas que componen los cuestionarios, con lo que se dio un especial cuidado a las categorías emergentes, pudiéndose dar estas cuando el entrevistado a alguna pregunta, con argumentos que no se contemplaron dentro de las categorías iniciales.

El análisis de los datos se basó en la elaboración de cuadros comparativos, tabulación, divididos en respuestas de los diferentes profesionales y departamentos consultados para luego homogenizarlos y obtener evidencias acompañadas de recomendaciones. Por otro lado, las matrices de análisis documental fueron cotejadas de forma individual, para así buscar posibles coincidencias de ideas o por el contrario planteamientos desde distintos enfoques.

Por su parte, una vez que se tenga cuantificada la totalidad de la información con su respectiva interpretación, se incluyó un apartado que tenía por objetivo la integración de datos, comparando y destacando similitudes en respuestas de los diferentes consultados, lo cual permitió destacar vivencias a nivel de emergencias.

Como apartado último se tiene una discusión de los resultados obtenidos, en donde se pretendió comparar tomando como base la teoría desplegada en la perspectiva teórica, misma desarrollada en apartados anteriores, esto permitió dar solides a las conclusiones que se obtuvieron, así como para dar validez y confianza en que el trabajo que se vino desarrollando desde inicios del planteamiento del problema, ha sido exitoso o que por el contrario evidenciar que se hace necesario para futuras investigaciones la inclusión como exclusión de unidades de análisis que se acoplen a la naturaleza del estudio o que por el contrario se hace necesario la creación de toda una teoría que circunscriba la modulación de casas de emergencia.

Capítulo IV: Análisis de resultados

En el presente capítulo se presentarán los principales resultados, producto de la aplicación de instrumentos a las diferentes fuentes mencionadas anteriormente, así como investigación minuciosa de fuentes directamente relacionadas con el objeto de estudio. Posterior a estos se realizará un análisis concreto y preciso de los principales hallazgos, para lograr

establecer la manera en que esto contribuyó a concretar el producto final, como lo son casas modulares de emergencias adaptadas a tres zonas del país.

Los resultados y su respectivo análisis serán presentados por objetivo específico, con el fin de dar una estructura lógica al apartado en cuestión.

Se tiene que para el objetivo específico investigar las condiciones climáticas y ambientales imperantes en las zonas del trópico húmedo, trópico seco y valle central en la actualidad, mediante un estudio bibliográfico, para la correcta modulación de las viviendas de emergencia.

Se procedió a investigar y solicitar información al Instituto Meteorológico Nacional de las estaciones meteorológicas instaladas alrededor de los trópicos, lo cual y al ser más de 100 estaciones, se facilitó la información de tres de ellas, tomando la más representativa de cada una de las zonas estudiadas.

Las estaciones suministradas fueron: Por el trópico húmedo la de CoopeAgropal; Laurel, por el trópico seco la estación Santa Cruz y por el valle central la estación de Aranjuez, estas estaciones a criterio del IMN son las que representan el comportamiento general de cada trópico. Los datos suministrados mostraban el histórico de mediciones que registró la estación desde su instalación, y los resultados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 2

Resumen de datos meteorológicos de las estaciones CoopeAgropal, Santa Cuz y Aranjuez

Atributos a considerar	Trópico húmedo	Trópico seco	Valle central
Temperatura máxima registrada en los últimos periodos por la estación más representativa.	32,7 °C	33,1 °C	24,9 °C
Temperatura mínima registrada en los últimos periodos por la estación más representativa.	22,4°C	23 °C	17,3°C
Humedad relativa.	88,2°C	74,1°C	75,7 °C
Precipitación anual.	294, 2 mm	141,3 mm	144,8 mm
Estacionalidad de lluvias.	De junio a Noviembre	De junio a Noviembre	De junio a Noviembre
Riesgos naturales (huracanes, sequías, inundaciones, etc.).	Inundaciones Huracanes Fuertes sismos	Sequias Huracanes Fuertes sismos	Inundaciones Fuertes sismos

Nota: Diseño propio del investigador.

La tabla anterior nos refleja que, para el trópico seco y húmedo, la temperatura es bastante alta en comparación al valle central, y que sus temperaturas más bajas pueden compararse con la más alta del valle central. Esto indica que los días en las zonas del trópico húmedo son bastantes calurosos en la estación seca y que las noches de invierno son también calientes, esto a tener presente que temperaturas mayores son registradas en las estaciones de verano y las bajas muy probablemente en la estación de lluvia.

Ahora la tabla muestra que los rangos de temperatura para los trópicos, oscila entre los 13 grados centígrados y 13,5 grados centígrados, mientras que para el Valle Central es mucho menos, con 7,6 grados centígrados, lo cual indica que en el Valle Central los cambios de temperatura no son tan bruscos como si lo puede llegar a ser en los trópicos.

Otro factor de importancia en el análisis es la humedad relativa, la cual es bastante alta en el trópico húmedo y muy similar en el valle central y el trópico seco. Esto porque es fundamental para la sensación térmica en las personas y lo cual puede llevar a la comodidad.

Lo anterior nos dice que, en el trópico húmedo en cuanto a la sensación de calor, el sudor no se evapora tan rápido. Esto hace que las personas se sientan más calurosas, en días de calor intenso y húmedos. La capacidad para evaporar el sudor disminuye, lo que provoca que la sensación de calor exceda la temperatura real del aire. En relación a la sensación de frío, esta se acentúa en este trópico al ser la humedad muy alta, el calor corporal se disipa más lentamente, esto hará que las personas sientan más frío de lo que realmente se está.

Lo anterior no implica que para el trópico seco y valle central las condiciones en cuanto a la sensación de calor son ideales, sino que al estar por debajo del umbral de los 80, pueden tener condiciones más favorables.

Para la presente investigación, lo anterior es relevante debido a que ayudará en la selección de los materiales con los que se construyan los módulos, donde el análisis de los insumos constructivos deberá ir de la mano en disminuir estas sensaciones desfavorables para las personas que a la postre son las que habitarán los espacios.

En lo que respecta a la cantidad de lluvia promedio que se da en cada una de las zonas estudiadas, se tiene que la más alta se registra en el trópico húmedo, que adicionado a lo que establece INFOBAE, es una cantidad significativa para causar inundaciones en la época lluviosa que se da de junio a noviembre, ya que se tiene registro que, para esta zona, históricamente entre 50 y 200 mililitros de agua han causado severas inundaciones. A esto debe de agregársele que la zona del trópico húmedo es recorrida por grandes ríos que al desbordarse agravan a un más la situación.

Para el Valle Central se tiene que la cantidad de lluvia establecida se combina, pero a los problemas que tiene intervención directa el ser humano, como el caso de las alcantarillas llenas de basura o pequeños ríos abarrotados de desechos. Claro que esto hace y la situación sea igual de riesgosa, pero se diferencia el trópico húmedo en que se puede controlar con rapidez si las autoridades intervienen oportunamente.

Para el caso del trópico seco la cantidad reportada de caída de lluvia, al ser una zona muy plana en su mayoría, causa que sus suelos se saturen demasiado y el nivel de las aguas se prolongue aún más en bajar y causar con ello una zona de poca seguridad a los habitantes.

Analizar esta situación de lluvia resulta relevante para el trabajo, debido a que sirve de insumo para el diseño de los módulos y así su emplazamiento, donde perfectamente puede y

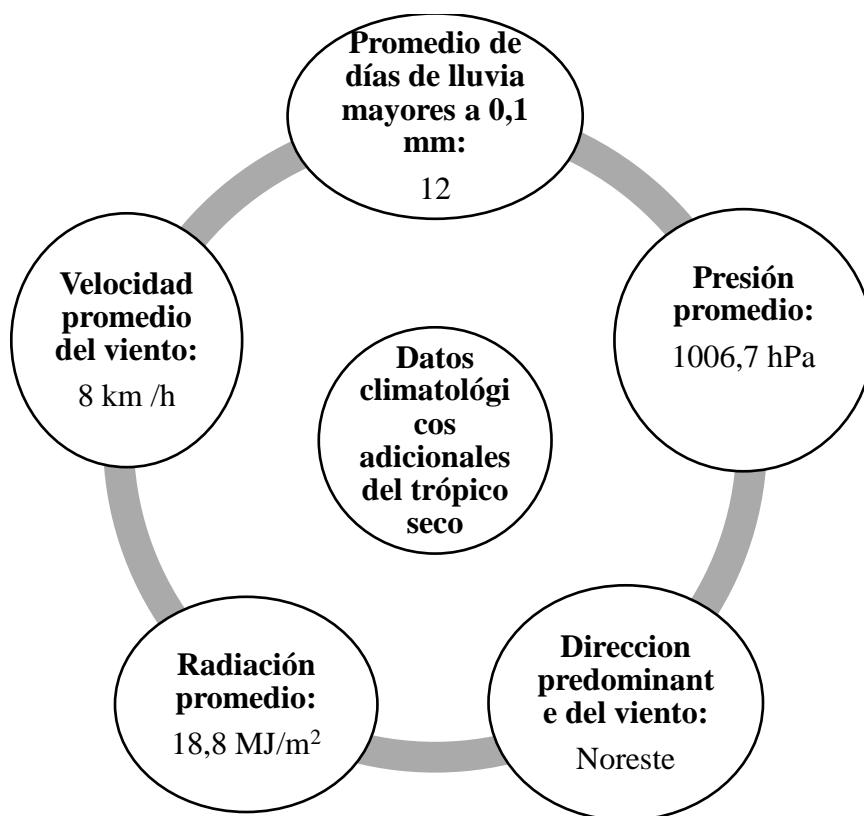
darse sobre pilotes prefabricados para evitar que el factor inundación no sea un problema determinante para la instalación de los refugios cuando se les requiera.

Ahora en lo que respecta a los desastres naturales que son propensas las zonas en estudio, se tiene que coinciden en su mayoría, demostrando así que Costa Rica es una región donde no existen zonas específicas para evitar ser afectado por fenómenos naturales y que la implementación de estos módulos es factible en cualquier sitio del territorio nacional.

Las siguientes figuras muestran datos adicionales climáticos de las zonas en estudio.

Figura 6

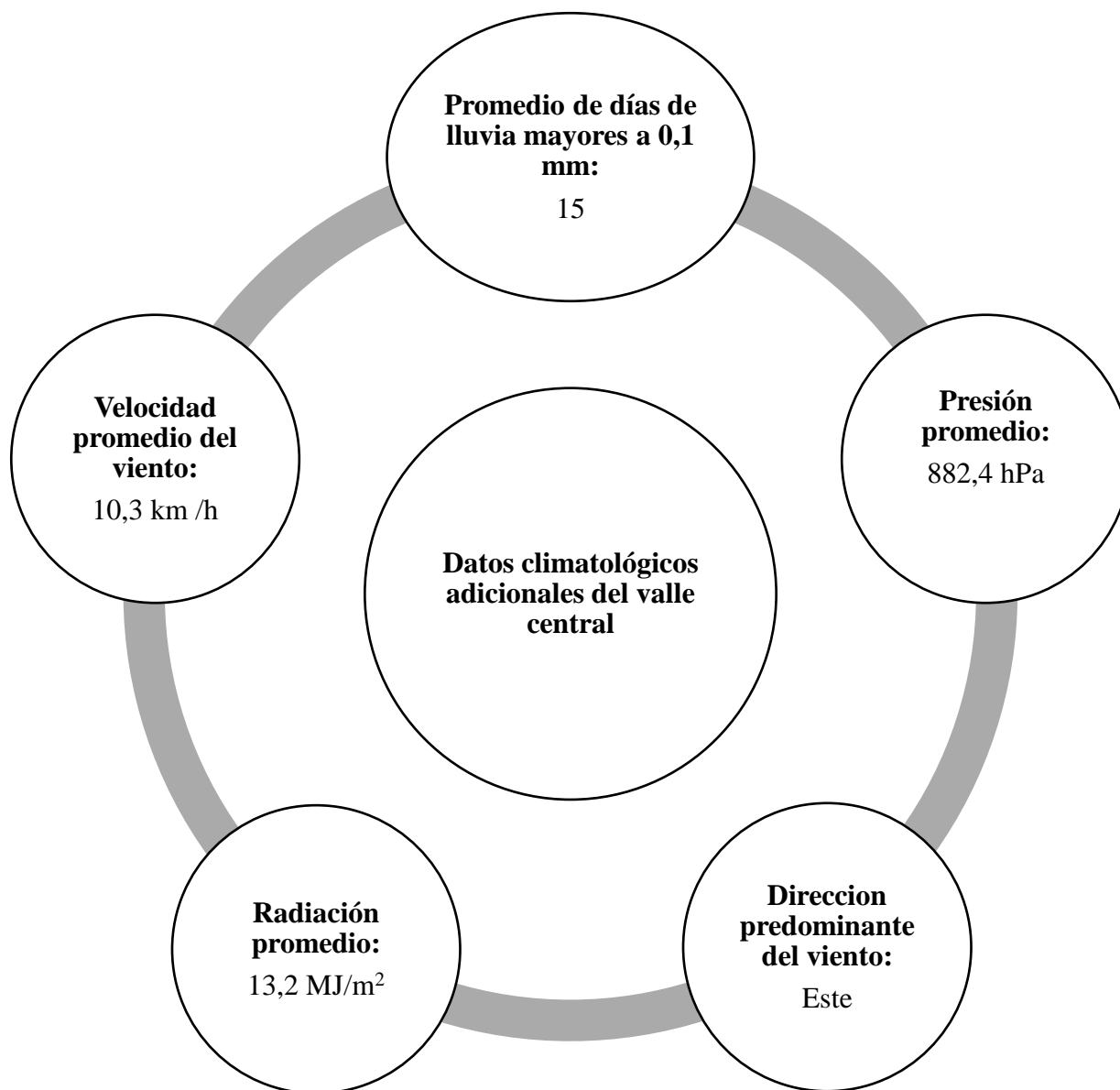
Datos climatológicos adicionales del trópico seco



Nota: Diseño propio del investigador.

Figura 7

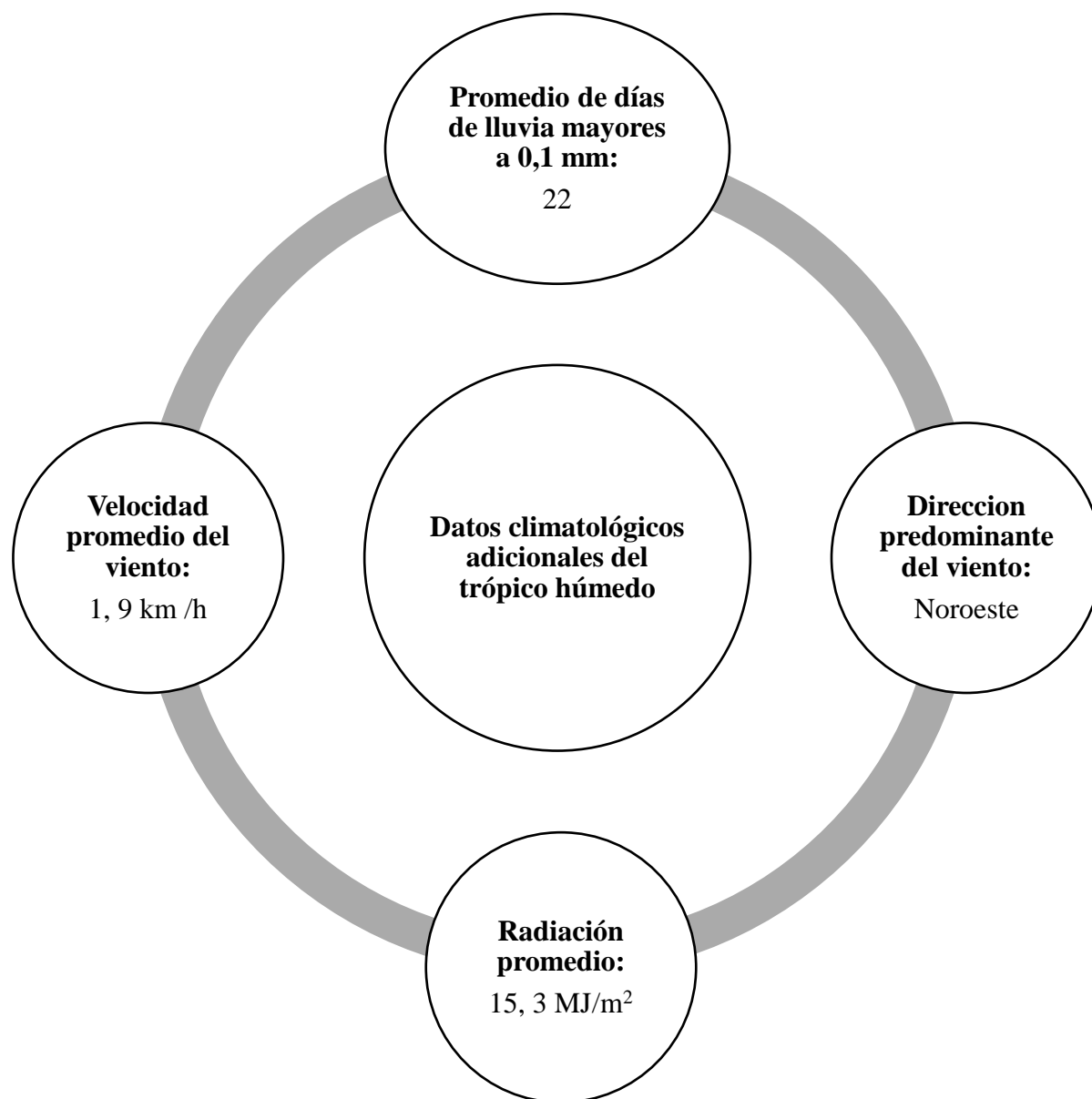
Datos climatológicos adicionales del valle central



Nota: Diseño propio del investigador.

Figura 8

Datos climatológicos adicionales del trópico húmedo



Nota: Diseño propio del investigador.

Según las figuras anteriores podemos notar que en las tres regiones se tiene una radiación por encima del promedio, ya que en Costa Rica los niveles medios diarios observados de radiación solar oscilan entre 6.1 y 10.1 MJ/m². Los valores más altos los podemos encontrar

en las secciones norte de la vertiente del pacífico, al oeste del valle central y en las cimas de las montañas más altas. Por otro lado, los valores más bajos coinciden con la zona norte y la vertiente del caribe. Este tema de radiación es de suma importancia para el diseño de los módulos debido a que esta se deberá considerar para planificar la elaboración de las casas de emergencia. Por ejemplo, al orientar ventanas hacia el sur que maximice la entrada de luz solar directa en invierno para calentar los espacios interiores, además que será de utilidad en el sistema de calefacción solar pasiva, como paredes y pisos que absorben y liberan calor durante el día.

En relación con la presión se puede decir que en Costa Rica varían mucho de un lugar con otro, para el caso de las regiones en cuestión están en el promedio. En relación a este factor se debe de considerar que a medida que aumenta la altitud, la presión disminuye. Las variaciones en la presión atmosférica están relacionadas con los cambios climáticos. Las zonas de alta presión suelen estar asociadas con tiempo más estable y soleado, mientras que las zonas de baja presión pueden traer lluvias y tormentas.

En relación con la velocidad del viento esta es mayor en el Valle Central y más baja en el trópico húmedo. Este factor se deberá tomar en cuenta para el factor de ventilación pasiva de los módulos, ya que vientos muy bajos hacen y la sensación térmica, si la temperatura es alta, se mantenga de esta manera mientras que, si la velocidad es alta, esta ayudará a mantener a las personas en zonas de confort y los módulos más frescos y ventilados.

En relación con la dirección del viento esta es de vital importancia tanto para la ubicación de aleros, ventanas, puertas, como para el diseño de entradas y salidas de aire. Para el caso de las tres regiones, presentan direcciones predominantes distintas, lo que implicará diseños diferentes en los elementos mencionados anteriormente.

La parte de investigación documental es sumamente importante para justificar ciertas condiciones en un diseño final, pero también se debe tener en cuenta la opinión de profesionales en el área del diseño que durante muchos años han implementado y generado experiencia en la construcción de módulos.

Se les consultó a cinco profesionales, entre los que estaban cuatro ingenieros civiles especialistas en estructuras y un arquitecto con especialidad en bioclimatización, sobre consideraciones climáticas y los resultados a continuación:

Tabla 3

Opinión de expertos en relación a consideraciones climáticas

Profesional	¿Qué factores climáticos debemos de tener en cuenta al diseñar viviendas modulares para el trópico húmedo, trópico seco y valle central?	¿Cómo afecta la humedad, la temperatura y la radiación solar al diseño estructural?
Ingeniero civil	Temperatura, humedad, calidad del aire, control de agua pluvial, control de aguas servidas, estabilidad del terreno, inundaciones, accesibilidad, aspectos culturales de los habitantes	El diseño estructural, poco. Tal vez la durabilidad de los materiales considerados y la dilatación térmica

Ingeniero civil 2	Ventilación, aleros para sombra.	Revisión de expansión o contracción en vigas metálicas simplemente apoyadas.
CFIA	Eso es área de arquitectura el departamento de civil no se mete mucho en eso.	Demasiado, porque por ejemplo la humedad afecta al acero en corrosión y la temperatura afecta en que cambios bruscos produce contracción
Lamname	Humedad, temperatura.	Depende, por ejemplo, el acero no se afecta por la historia de carga como tal a como lo es el concreto.
Arquitecto experto en biclomatización	La humedad y la temperatura.	Demasiado porque temperaturas muy altas si el elemento estructural está expuesto puede causar dilataciones y contracciones que podría a la postre afectar en futuro elementos como soldaduras.

Nota: creación propia en relación a cuestionario de preguntas aplicado

En relación a la primera pregunta se coincide que factores como temperatura, humedad, aleros y ventilación son factores determinantes por tomar en cuenta, y es que es a partir de ellos que se obtienen datos muy significativos en el diseño como la ubicación de ventanas, emplazamiento.

La segunda pregunta deja en evidencia que factores como humedad, temperatura y la exposición al sol combinados pueden causar que el acero por ejemplo, entre en dilaciones y

contracciones que al pasar del tiempo debiliten las conexiones de elementos como soldaduras, de ahí la importancia que al diseñar los módulos, elementos estructurales deben de estar protegidos de la inclemencia climática para garantizar su durabilidad al pasar de los años y poder con ello ser utilizados en muchas emergencias.

Se debe recordar que el presente proyecto tiene como finalidad, no solo buscar dar un producto de modelos de casas modulares para ser utilizadas cuando se den emergencias y en la etapa de reconstrucción de los daños, si no que busca, ser utilizadas por las familias afectadas, que estas estén en un ambiente cómodo sin tener que adicionar a su problemática de pérdida de vivienda, las inclemencias extremas del clima que pueden dar.

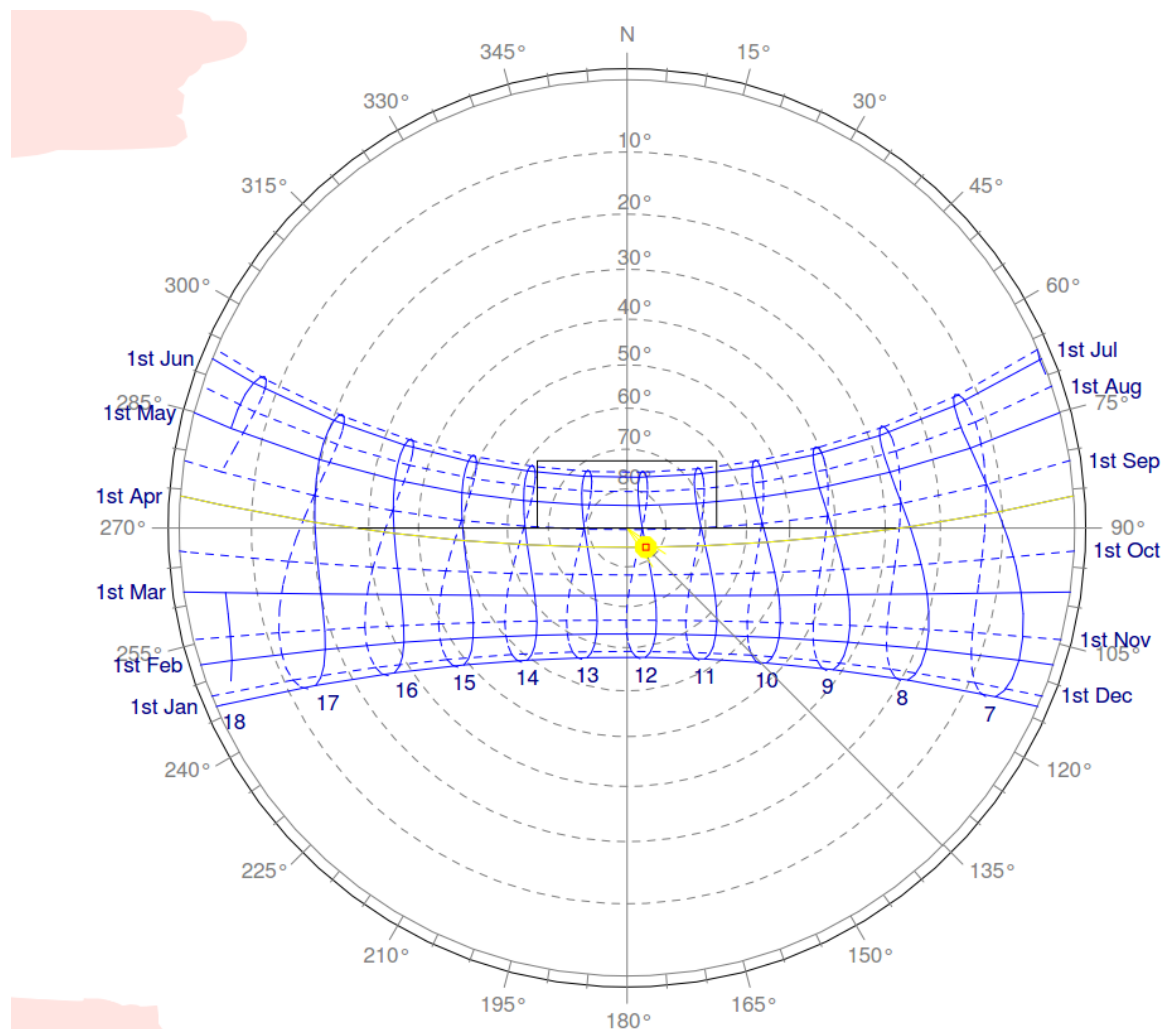
Por lo que en esta etapa se van a exponer los resultados minuciosos de todo lo relacionado a la bioclimatización pasiva, respondiendo al segundo objetivo específico el cual es analizar los principios de la bioclimatización pasiva, para el correcto diseño de viviendas de emergencia en las zonas trópico húmedo, trópico seco y valle central.

Como primer punto se expondrán todos los aspectos bioclimáticos como tablas de Mahoney, carta solar, entre otros, con el fin de exponer las mejores técnicas de diseño y ambientación de los módulos, para que seguidamente se realice un análisis de la guía de preguntas que se le realizaron a diferentes fuentes en relación al efecto de bioclimatización.

Lo que a continuación se muestra es la carta solar de Costa Rica en la latitud de 10° donde podremos observar cómo se comportan las sombras y la dirección que tiene el sol durante las horas del día.

Figura 9

Carta solar latitud 10° posición en la que se encuentra Costa Rica



Nota: Imagen adaptada de la guía para la sostenibilidad en arquitectura.

Según la anterior figura, aunque el sol sale por el este y se oculta por el oeste, durante el día, los rayos de este tendrán más efecto en el sur, a lo que se deberán colocar los módulos estrictamente en dirección al norte y por ende el alero del sur deberá ser un poco más amplio que el alero del norte. Para la parte este y oeste se deberá responder a los equinoccios de primavera con pantallas verticales (aleros verticales), los cuales funcionarán mejor para proteger a los

módulos de la radiación con bajos ángulos de soleamiento incidente. Por otro lado, la posición del módulo se debe a que no se recomienda que los rayos del sol entren directamente por entradas principales como puertas, debido que puede causar incomodidad visual a los habitantes y hará que la temperatura aumente considerablemente dentro.

Lo anterior básicamente será la técnica por utilizar para proteger a los habitantes de los módulos de emergencia de los rayos del sol, que si no se toma esto en cuenta (el emplazamiento) como los aleros, puede y durante la estancia las personas tengan recibir bastantes horas de sol durante el día incluso y estando dentro de los módulos, qué pasaría si la puerta, por ejemplo, se coloca equivocadamente viendo al sur.

La anterior carta solar también es sumamente importante para la ubicación de ventanas de los módulos ya en sitio debido a que si se está ante un clima frío, las ventanas orientadas hacia el sur pueden ser una excelente opción, ya que estas reciben una gran cantidad de luz solar y calor durante todo el día, lo que ayuda a calentar el hogar de forma natural. Mientras que las ventanas orientadas hacia el este y el oeste son adecuadas para climas cálidos. Las ventanas orientadas al este reciben luz solar por la mañana, mientras que las orientadas al oeste la reciben por la tarde. Esto ayuda a calentar el hogar sin que se vuelva demasiado caluroso.

Para el presente trabajo interesa conocer la temperatura neutral que se presentará en cada una de las zonas, con el fin de elegir materiales de cerramientos y cubiertas que hagan y las personas estén en confort dentro de los módulos. Para este trabajo investigativo, esta temperatura se refiere al punto en el que una persona no siente ni frío ni calor, sino que está cómoda y equilibrada en términos de temperatura ambiental. Es el estado en el que la percepción subjetiva de la temperatura es neutra, sin sensación de incomodidad térmica.

La guía para la sostenibilidad en arquitectura establece que un buen parámetro para lograr conocer esta temperatura es la ecuación de Auliciems la cual se plantea como:

$$T_n = 17,6 + 0,31 * T_{promedio}$$

Al igual establece que los límites superior e inferior de confort se delimitan sumando y restando 2.5°C a la temperatura neutral, respectivamente. Lo que a continuación se realizará es obtener esta temperatura neutral con las máximas y mínimas registradas con el fin de tener zonas de confort cuando se caiga en un extremo de temperatura en alguna de las zonas de interés

Tabla 4

Temperatura neutral en las regiones del trópico seco, húmedo y valle central

Región	Trópico húmedo	Trópico seco	Valle central
Temperatura máxima registrada	32,7 °C	33,1 °C	24,9 °C
Temperatura mínima registrada	22,4°C	23 °C	17,3°C
Temperatura neutral cuando se registre temperatura máxima	$T_n = 17,6 + 0,31 * 32,7 = 27,7°C$	$T_n = 17,6 + 0,31 * 33,1 = 27,9°C$	$T_n = 17,6 + 0,31 * 24,9 = 25,3°C$
Temperatura neutral cuando se registre temperatura mínima	$T_n = 17,6 + 0,31 * 22,4 = 24,5°C$	$T_n = 17,6 + 0,31 * 23 = 24,7°C$	$T_n = 17,6 + 0,31 * 17,3 = 22,9°C$
Rangos de la temperatura neutral cuando se registre temperatura máxima	$25,2°C < T_n < 30,2°C$	$25,4°C < T_n < 30,4°C$	$22,8°C < T_n < 27,8°C$
Rangos de la temperatura neutral cuando se registre temperatura mínima	$22°C < T_n < 27°C$	$22,2°C < T_n < 27,2°C$	$20,4°C < T_n < 25,4°C$

Nota: Creación propia del autor

La tabla anterior evidencia que, para lograr esa sensación mencionada dentro de los módulos, para los dos trópicos, al tener rangos de temperatura muy similares, pueden ser diseñados con materiales similares, mientras que para el valle central se deben de buscar materiales que logren esos niveles, que en cuestión de temperatura varían significativamente en relación a los dos trópicos.

Ahora para complementar lo expuesto anteriormente, se mostrarán los resultados de la carta de Mahoney por cada una de las regiones, la cual basado en los datos históricos totales facilitados por el IMN, nos brindara parámetros de estrés térmico al que se enfrentan las personas con esos valores estadísticos y además nos dará indicaciones arquitectónicas para aminorarlos.

Esta tabla trabaja partiendo de los datos climáticos del lugar para cada mes del año (temperaturas, humedad y precipitaciones), las tablas de Mahoney generan, mes a mes, un conjunto de seis indicadores en relación con la humedad y la lluvia (indicadores H1, H2, H3) y con la aridez y el calor (indicadores A1, A2, A3). Después, basándose en estos indicadores, un conjunto de reglas que permiten generar recomendaciones arquitecturales generales que deberán tener lo módulos de emergencia. En dicha tabla se introducen datos mes a mes (media de temperatura diaria máxima y mínima, media de humedad relativa diaria máxima y mínima, precipitaciones). Esto dará lo que se denomina estrés térmico el cual indicará para cada mes del año tres posibilidades: sensación térmica de calor, sensación térmica de frío y confort.

Para cada mes se pueden activar seis indicadores diferentes:

H1: Necesidad de ventilación debido a la humedad y el calor

H2: Ventilación deseable debido a la humedad y el calor

H3: Necesidad de protección contra la lluvia

A1: Es deseable la utilización de inercia térmica para obtener confort en el edificio

A2: Puede ser necesario dormir en el exterior

A3: Frío; es necesario disponer de mecanismos de aclimatación naturales y/o artificiales

Tabla 5*Tabla de Mahoney estación meteorológica de Aranjuez*

INTRODUCCIÓN DE DATOS												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media de las temperaturas máximas	22,9	23,5	24,4	25,6	26,2	26,2	25,3	25,8	26,3	25,5	24,2	23,3
Media de las temperaturas mínimas	16,4	16,3	16,7	17,6	18,1	18,1	18,1	17,9	17,9	17,5	17,2	16,8
Humedad relativa máxima	76%	75%	74%	75%	80%	81%	80%	80%	82%	84%	81%	78%
Humedad relativa mínima	70%	68%	68%	69%	74%	75%	74%	74%	76%	77%	75%	72%
Lluvia (mm Hg)	12,5	9,1	10,7	45,3	250	249,1	173,2	207,4	317,8	301,7	132	28,8
ESTRÉS TÉRMICO												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
DÍA	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort
NOCHE	Frío	Frío	Frío	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Confort	Frío
INDICADORES												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
H1 Ventilación esencial (calor y humedad)												
H2 Ventilación deseable (calor y humedad)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
H3 Protección contra la lluvia					X	X		X	X	X		
A1 Inercia térmica												
A2 Dormir fuera												
A3 Problemas con el frío												
RECOMENDACIONES ARQUITECTURALES												
PLAN MASA	Edificios orientados en eje este-oeste para disminuir exposición al sol											
ESPACIO ENTRE EDIFICIOS												

Planos compactos
CIRCULACIÓN DEL AIRE Edificios de orientación doble que permitan una circulación de aire intermitente
DIMENSIONES DE LAS ABERTURAS Grandes, 40 a 80% de las fachadas norte y sur
POSICIÓN DE LAS ABERTURAS Aberturas en los muros norte y sur, a la altura humana del lado expuesto del viento y con aberturas en muros interiores
PROTECCIÓN DE LAS ABERTURAS (*) Protección contra la radiación solar directa Prever una protección contra la lluvia
MUROS Construcciones ligeras; débil inercia térmica
TEJADO Ligero y bien aislado
ESPACIOS EXTERIORES (*) Drenaje apropiado de agua de lluvia Protección contra las lluvias violentas

Nota: Matriz de Mahoney

Tabla 6

Tabla de Mahoney estación meteorológica de Santa Cruz

INTRODUCCIÓN DE DATOS												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media de las temperaturas máximas	33,0	34,1	35,1	35,8	33,9	32,5	32,5	32,6	32,1	31,3	31,6	32,1
Media de las temperaturas mínimas	22,6	23,3	24	24	23,6	23,2	23	22,8	22,7	22,7	22,3	22,2
Humedad relativa máxima	74%	69%	67%	73%	88%	95%	91%	95%	97%	96%	92%	82%
Humedad relativa mínima	51%	47%	45%	51%	66%	73%	69%	72%	86%	85%	70%	59%
Lluvia (mm Hg)	3	2,2	5,3	51	215,6	204,3	144,1	213,6	319,5	399	127,2	10,4

ESTRÉS TÉRMICO

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
DÍA	Calor	Calor	Calor	Calor	Calor	Calor	Calor	Calor	Calor	Calor	Calor	Calor
NOCHE	Confort	Calor	Calor	Calor	Calor	Calor	Calor	Calor	Calor	Calor	Calor	Calor

INDICADORES

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
H1 Ventilación esencial (calor y humedad)					X	X	X	X	X	X	X	X
H2 Ventilación deseable (calor y humedad)												
H3 Protección contra la lluvia					X	X		X	X	X		
A1 Inercia térmica	X	X	X	X								
A2 Dormir fuera												
A3 Problemas con el frío												

RECOMENDACIONES ARQUITECTURALES

PLAN MASA Edificios orientados en eje este-oeste para disminuir exposición al sol
ESPACIO ENTRE EDIFICIOS Grandes espacios para favorecer la penetración del viento y protección contra vientos cálidos o fríos
CIRCULACIÓN DEL AIRE Edificios de orientación simple. Dispositivos que permitan una circulación de aire permanente
DIMENSIONES DE LAS ABERTURAS Medianas, 25 a 40% de la superficie de los muros
POSICIÓN DE LAS ABERTURAS Aberturas en los muros norte y sur, a la altura humana del lado expuesto del viento
PROTECCIÓN DE LAS ABERTURAS (*) Protección contra la radiación solar directa Prever una protección contra la lluvia
MUROS Construcción pesada para fuerte inercia térmica; desfase horario superior a 8 horas
TEJADO Ligero y bien aislado

RECOMENDACIONES ARQUITECTURALES

PLAN MASA

Edificios orientados en eje este-oeste para disminuir exposición al sol

ESPACIO ENTRE EDIFICIOS

Grandes espacios para favorecer la penetración del viento

CIRCULACIÓN DEL AIRE

Edificios de orientación simple. Dispositivos que permitan una circulación de aire permanente

DIMENSIONES DE LAS ABERTURAS

Grandes, 40 a 80% de las fachadas norte y sur

POSICIÓN DE LAS ABERTURAS

Aberturas en los muros norte y sur, a la altura humana del lado expuesto del viento

PROTECCIÓN DE LAS ABERTURAS (*)

Protección contra la radiación solar directa

Prever una protección contra la lluvia

MUROS

Construcciones ligeras; débil inercia térmica

TEJADO

Construcción ligera, revestimiento reflectante y cámara inferior de aire

ESPACIOS EXTERIORES (*)

Drenaje apropiado de agua de lluvia

Protección contra las lluvias violentas

Nota: Matriz de Mahoney

Según las tablas 4, 5 y 6 tenemos que en relación con el estrés térmico la zona del trópico seco y húmedo muestran tanto de día como de noche sensación de calor. En cuanto a la humedad se tiene que, durante la época lluviosa, los dos trópicos tendrán problemas con la humedad y se necesitan técnicas especiales para tratarla. Por otro lado, las tablas de los trópicos muestran que en estas dos regiones no se tendrá problema por frío.

En cuanto a las recomendaciones generales Mahoney nos muestra que para ambos trópicos se concuerda con algunas, tal como es el caso de plan masa donde se recomienda orientar los módulos en eje este-oeste para disminuir exposición al sol, en cuanto al espacio se concuerda que, de colocar varios módulos seguidos, entre ellos existan grandes espacios que permitan la ventilación del aire. En cuanto a la circulación de este, la tabla manifiesta que para ambos trópicos se deben de diseñar dispositivos que permitan una circulación de aire permanente.

En relación con las aberturas se recomienda que para el seco sean medianas de 25% a 40% del área de los muros, mientras que para el húmedo recomienda que sean grandes, 40 a 80% de las fachadas norte y sur. En relación a la posición de las mismas se recomienda que en ambos trópicos las aberturas en los muros norte y sur estén a la altura humana del lado expuesto del viento. Por otro lado, se recomienda que los cerramientos, para el caso del trópico seco sea con materias con fuerte inercia térmica mientras que, para el húmedo, sería lo contrario y tengan una débil inercia térmica.

El caso del valle central los resultados de la tabla arrojaron zona de confort para todo el año, tanto como de día como de noche, pero con ventilación todo el año. Al igual que con los trópicos se recomienda que el plan masa contemple la orientación en eje este-oeste para disminuir la exposición al sol. Se recomienda circulación del aire intermitente y que las aberturas

sean grandes de entre 40% y 80% en las fachadas norte y sur, estas deben de estar en los muros norte y sur, a la altura humana del lado expuesto del viento y con aberturas en muros interiores. Se debe de prever una protección contra la lluvia y los muros deben construirse con materiales ligeros y baja inercia térmica. El techo debe ser ligero y bien aislado.

En lo que respecta a la bioclimatización, es relevante lograr conocer los caudales de aire que deben estar circulando dentro del módulo para que las personas estén cómodas, ya que esto permitirá determinar área de secciones para la entrada y salida de aire del módulo para posterior diseñar.

Como en el país no se cuenta con una norma específica para estos caudales, para la presente investigación se tomará la de referencia la norma ASHRAE 62.1-2022 la cual indica que lo mínimo que se requiere por persona es 20,9 l/s

Tabla 8

Secciones de área preliminares para mantener caudales de aire mínimos dentro del módulo

Atributos a considerar	Trópico húmedo	Trópico seco	Valle central
Caudal mínimo necesario	20,9 l/s	20,9 l/s	20,9 l/s
Velocidad del viento	1,9 km /h	8 km /h	10,3 km /h
Área mínima requerida para entrada de aire.	$Q = A \cdot v$ $A = \frac{Q}{v}$ $A = \frac{0,0209m^3/s}{0,53m/s}$ $A = 0,04m^2$	$Q = A \cdot v$ $A = \frac{Q}{v}$ $A = \frac{0,0209m^3/s}{2,22m/s}$ $A = 0,009m^2$	$Q = A \cdot v$ $A = \frac{Q}{v}$ $A = \frac{0,0209m^3/s}{2,86m/s}$ $A = 0,007m^2$

Nota: Creación propia

En la tabla anterior se muestran valores únicamente referenciales. En la parte del diseño esquemático se deberá contemplar la cantidad de personas por módulo, tasa de renovación y volumen del recinto para calcular los valores finales del diseño en relación con las áreas transversales de entrada y salida.

Al igual que con el objetivo anterior, para desarrollar este segundo relacionado a la bioclimatización, es sumamente importante justificar ciertas condiciones en un diseño final, máxime si se toman en cuenta sugerencias de los especialistas en atender emergencias a nivel histórico como lo son el cuerpo de bomberos y la CNE.

Se les realizaron 3 preguntas en la línea de la bioclimatización y los resultados a continuación:

Tabla 9

Opinión de cuerpos de emergencia en relación a consideraciones bioclimáticas

<p>Cuerpo de emergencias</p>	<p>¿Qué características bioclimáticas considera importantes para las viviendas modulares de interés social que se utilizan en la atención de emergencias?</p>	<p>¿Tiene alguna experiencia con el uso de viviendas bioclimáticas en la respuesta a desastres naturales? Si es así, ¿qué lecciones aprendieron?</p>	<p>¿Qué recomendaciones tiene para la incorporación de principios bioclimáticos en el diseño de viviendas modulares de interés social para</p>
-------------------------------------	--	---	---

			la atención de emergencias?
Comisión Nacional de Emergencias	Confort y que no tengan un aspecto que permita que las familias se queden ahí mucho tiempo ya que se da el asentamiento de suburbios.	Solo he escuchado de unas construcciones en Upala de domos y a las familias les apodaban los teletubies. Pero en si experiencia no.	Como son de interés social, yo recomiendo materiales baratos pero duraderos y que permitan un confort a las familias.
Bomberos de Costa Rica	Siempre importante la ventilación y que este bien definida una salida de emergencias.	Solo tengo en mente el SEACO que se utilizó como hospital para contener el COVID.	Salidas de aire y entrada de este constante.

Nota: creación propia en relación a cuestionario de preguntas aplicado a cuerpos de emergencia.

En relación con las características bioclimáticas las respuestas se enfocan en el confort y en la ventilación, pero se hace un señalamiento relevante en relación al diseño, que consiste en que los módulos no deberían de lucir muy estéticos para evitar que se asienten por mucho tiempo las familias, ya que lo que se busca es una estancia pasajera. En relación con las experiencias vividas en la construcción de refugios de emergencia, llama poderosamente la atención la experiencia de bomberos en acondicionar y dar sugerencias muy específicas en proyectos que tienen relación estrecha con la salud de las personas, como lo fue el hospital temporal para contener la pandemia causada por el Covid en el territorio nacional. Con lo que en aspectos de

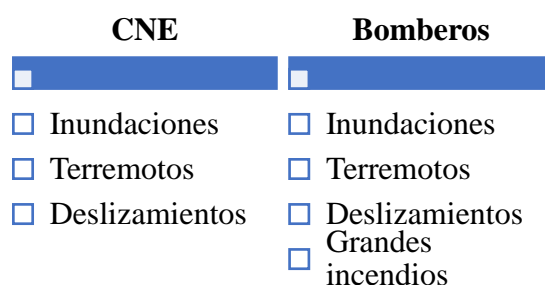
ventilación y seguridad los bomberos muestran amplio conocimiento y más en el diseño de estas entradas y salidas de aire, al ser un asunto directamente relacionado con el fuego.

Por último, y en relación con la incorporación de principios bioclimáticos en el diseño de viviendas modulares de bien social, bomberos muestra una respuesta muy relacionada con la seguridad y en entradas con salidas de aire continuo, claramente dando un enfoque de seguridad ante una emergencia por fuego, en cambio la CNE con experiencia gestionar presupuestos para emergencias nacionales se enfoca en el costo, que sea cómodo, pero duradero para poder reutilizarlos en futuras emergencias.

Todo lo anterior resulta relevante para la etapa siguiente y la cual es mostrar resultados en relación al objetivo específico de diseñar tres prototipos de viviendas modulares de interés social, con adaptación bioclimática para el trópico húmedo, trópico seco y valle central. Para responder a este objetivo en el proceso de investigación primeramente se les hicieron una serie de preguntas a los cuerpos de emergencias mencionados anteriormente, para todo lo que antecede a un diseño de viviendas de emergencias y con ello tener referencias certeras de los elementos que se diseñan, a la medida que cada uno de ellos tenga una función específica dentro del modelo final.

Figura 10

Experiencias vividas de los cuerpos de emergencia en cuanto a desastres naturales

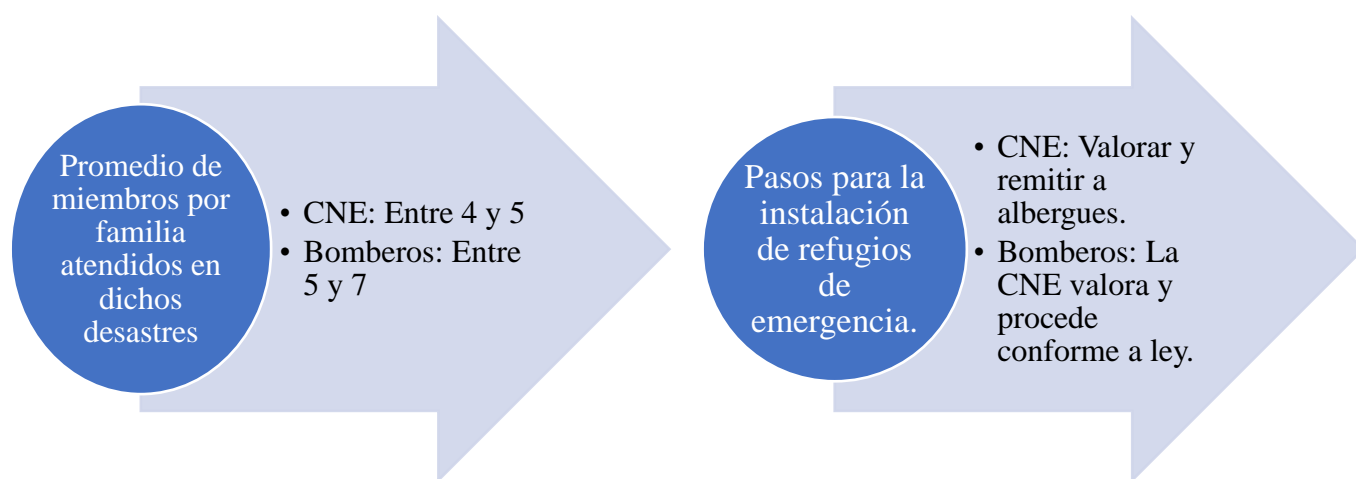


Nota: Resultados obtenidos de cuestionario aplicado a cuerpos de emergencia.

Para este caso resaltar que la experiencia de ambos cuerpos es amplia. Bomberos que casi abarca toda la gama de desastres, destacando el de incendios, que en ocasiones se deja de lado y que puede llegar a dejar cientos de personas damnificadas y reubicadas en refugios de emergencia.

Figura 11

Consulta en relación con los pasos a seguir para instalar refugios y miembros por familia atendidos.



Nota: Resultados obtenidos de cuestionario aplicado a cuerpos de emergencia.

En las respuestas de los cuerpos de emergencia, llama poderosamente la atención que el promedio de personas por familia que se han atendido históricamente supera los cinco, lo cual dista mucho de lo que se estableció la última encuesta nacional de hogares en julio 2023 donde según el INEC en el ámbito nacional, el promedio de miembros por hogar en ese año se estimó en 2,94 personas por hogar, mientras en el 2022 fue de 3,0. Para el diseño del módulo se deberán valorar dichos aspectos y tomar valores intermedios.

Por otro lado, y en cuanto a los pasos para instalar refugios, es claro que la batuta la lleva la CNE y son los encargados en ese momento de la logística, de dónde y cómo instalar refugios, ya que bomberos lo que gestiona son labores meramente coordinadas por la CNE en su momento. Cabe destacar que bomberos es un cuerpo de primera respuesta más que todo en trabajos como de contener emergencias de incendios donde no se le debe de consultar a la CNE el actuar previo.

En cuanto a la seguridad que deben de presentar estos refugios de emergencia para un diseño óptimo, se tienen los siguientes resultados:

Figura 12

Consulta en relación a consideraciones de seguridad, normativa, resistencia y materiales, a la hora de instalar refugios de emergencia

Consideraciones de seguridad	Normativa de instalación	Resistencia	Materiales con que se elaboran
<ul style="list-style-type: none"> • CNE: La idea es instalar un albergue temporal lo más lejado de la zona del desastre para evitar consecuencias producto del primer evento. • Bomberos: No instalar refugios cerca de laderas, ríos incluso largo de caída de árboles. 	<ul style="list-style-type: none"> • CNE: Ley 8488 y manual de instalación de refugios de emergencia de la CNE. • Bomberos: Se utiliza la de bomberos para requisitos de materiales estructurales. 	<ul style="list-style-type: none"> • CNE: Los albergues son analizados previamente por logística e ingenieros especializados. • Bomberos: Estructuralmente se tiene el RNPCI capítulo 8 punto 5 donde dice que materiales utilizar para garantizar estabilidad estructural. 	<ul style="list-style-type: none"> • CNE: Acero y concreto • Bomberos: En su mayoría carpas.

Nota: Resultados obtenidos de cuestionario aplicado a cuerpos de emergencia.

En relación con las consideraciones de seguridad se puede observar que la CNE concretamente solo tiene por prioridad sacar a las personas del sitio para llevarlos a refugios, mientras que los bomberos son aún más minuciosos por su gran experiencia acumulada y establecen desde la no cercanía de ríos, hasta alejar a los damnificados de árboles, que a la postre podrían caer sobre ellos. Este punto es relevante como indicación para instalar los módulos de emergencia donde sería en lugares planos lejos de laderas y peligros posteriores al desastre.

En cuanto a la normativa de instalación la CNE tiene su propia ley por la cual gestionan desde recursos económicos, hasta materiales. Esta ley acuerpa también a bomberos, solo que este último tiene normas propias en el tema estructural. En relación con la resistencia de los refugios la CNE deposita su confianza en los albergues que previamente fueron diseñados con acero y hormigón, mientras que bomberos cuenta con el RNPCI, un manual especializado que dice que tipo de material se debe usar en diferentes construcciones para evitar que en una emergencia posterior las consecuencias sean mayores.

Ya instalados los refugios es de vital importancia conocer el cómo manejan que los damnificados tengan acceso a los requerimientos básicos de alimentos, privacidad entre otros, con el fin de detectar mejoras que les pueden hacer a los módulos y que garanticen una estancia digna para las familias.

Figura 13

Consulta en relación con la consideraciones de distribución, privacidad, accesibilidad, mantenimiento de refugios de emergencia

Distribución de vivienda.	Medidas para la privacidad y dignidad	Accesibilidad	Mantenimiento y reparación.
<ul style="list-style-type: none"> • CNE: Eso lo maneja el MIVAH en el proceso de reconstrucción de los daños. • Bomberos: Eso he visto y lo maneja el MIVAH y la CNE. 	<ul style="list-style-type: none"> • CNE: Este manual que le comenté establece cantidad de baños, vestíbulos, espacio por persona, entre otras muchas cosas. Se busca y la persona no se sienta incomoda. • Bomberos: Lo que prevalece es contener la emergencia, en albergues si estoy sabido que tienen todo eso normado, hasta la cantidad de baños por x cantidad de personas 	<ul style="list-style-type: none"> • CNE: Ley 7600 • Bomberos: Ley 7600 	<ul style="list-style-type: none"> • CNE: CNE repara solo los daños en albergues. • Bomberos: Eso le compete a logística de la CNE.

Nota: Resultados obtenidos de cuestionario aplicado a cuerpos de emergencia.

Para este aspecto parece ser que todo está muy definido, el MIVAH se encarga de distribuir vivienda post desastre y la CNE ni bomberos tienen inherencia, ahora en cuanto a la

privacidad ambos cuerpos se remiten al manual que la CNE estructuró para este tipo de eventos y lo siguen en una sola línea sin interferir en el proceso.

Para garantizar la accesibilidad ambos cuerpos remiten a la 7600 ya que consideran que en ella se encuentra todo lo que se quiere saber. La CNE y bomberos durante la entrevista sí coincidieron en que antes de habilitar un albergue, este debe de pasar la inspección de bomberos, ya que es el encargado de aprobar ciertas condiciones como salidas de emergencia y manejo de artículos inflamables dentro del albergue de emergencia.

Las siguientes opiniones complementarían lo comentado anteriormente por los cuerpos de emergencia.

Tabla 10

Opinión de cuerpos de emergencia en relación a variables post desastre

	CNE	Bomberos
Transición de casas de emergencia a vivienda permanente.	MIVAH y las demás instituciones de bien social como IMAS.	Involucrar al MIVAH y las demás instituciones de bien social.
Capacitación en vivienda de emergencia.	No se capacita para construirlas, pero si en cómo valorar un posible sitio a usar como albergue	Se les evalúan constantemente las bodegas de almacenaje de productos inflamables y se les orienta en su adecuado manejo.

Papel de las comunidades en instalación de casas de emergencia	Se tiene coordinación con ellos para identificar en su momento posibles emergencias y para la coordinación de mapeos vecinales en cuanto a la cantidad de familias existentes en un determinado sector.	En ocasiones nos colaboran en el armado de carpas
Logística y transporte en casas de emergencia	Lo único que se debe de transportar es colchonetas, artículos de higiene personal, ropa y alimentación	La CNE tiene su maquinaria
Donaciones para casas de emergencia	Todo se maneja con fondos públicos	Desconozco este papel.
Efectividad y la eficiencia de las casas de emergencia después de su instalación.	De eso se encarga el MIVAH	Siempre se está al tanto de hablar con las personas para saber su condición de salud, y también en ocasiones mental.

Nota: Resultados obtenidos de cuestionario aplicado a cuerpos de emergencia.

Analizar el papel de los cuerpos de emergencia en periodos post desastre es importante para conocer todo lo que circunscribe al transporte logística de instalación de los módulos, así como garantizar que las personas que estén en dichos refugios están atendidas en todo momento.

Nótese que el proceso de transición a casas permanentes el MIVAH y el IMAS siempre están involucrados, pero hay que hacer la salvedad que estas instituciones no brindan una solución de vivienda pronta, sino que las familias deben de pasar por engorrosos trámites para ser incluidas en listas de posibles beneficiados, con esto la importancia de brindar una solución no permanente pero que sí reúna las condiciones para una estancia prolongada mientras se soluciona su problema.

En cuanto a preparación de refugios de emergencia al parecer no están capacitados, si no que más bien hacen labores propias a su naturaleza como lo exponen bomberos que lo que realizan es inspeccionar bodegas de almacenamiento, es decir, el apoyo es durante el evento y no posterior.

En la instalación de refugios las comunidades juegan un papel determinante ya que ayudan a mapear familias cercanas y en ayudar en ciertas labores, pero durante la emergencia. Al parecer en el periodo post desastre el aporte que pueden dar no es mucho, ya que entran en participación entidades gubernamentales, aunque para la presente investigación los miembros de las comunidades podrían jugar un papel determinante al ayudar con el armado de los módulos de las familias afectadas.

En cuanto al transporte no habría problema ya que los cuerpos de emergencia tienen su propia flotilla de maquinaria, esto inclusive si los módulos fuesen financiados por una ONG, se podría solicitar este recurso a los cuerpos de emergencia para que logren llevar las casas a los lugares de difícil acceso, de ahí es donde radica la idea de que sean módulos desarmables que permitirán su fácil transporte y no se requiera de insumos de maquinaria especializada.

Y por último cabe resaltar, de las preguntas realizadas, que al parecer el tema de las donaciones está muy regulado por la CNE la cual es la encargada de gestionar fondos públicos para que a las familias no les falten insumos durante su estancia en los refugios de emergencia.

Todo lo anterior, tanto con los resultados del objetivo uno, objetivo dos, como el tres, proporcionaron insumos para el diseño esquemático de los refugios modulares y permitió generar una matriz (Anexo E) con la documentación necesaria para llevar a cabo el mismo, el cual consistirá en planta arquitectónica, elevaciones y fachadas preliminares, las cuales deberán ser sometidas a un arduo proceso de análisis desde la parte de factibilidad hasta estructural.

Tabla 11

Documentación utilizada para el diseño arquitectónico preliminar de los módulos de emergencia

Documento o norma	Diseño	
	Estructural y arquitectónico	Bioclimático
Código sísmico de Costa Rica	x	
Reglamento de construcciones	x	x
Guía para la sostenibilidad en la Arquitectura		x
Guía para el manejo de albergues temporales	x	
Reglamento nacional de protección contra incendios	x	
Código de viento	x	

Nota: Documentación consultada y facilitada por fuentes primarias.

A continuación, y consultada cada normativa, se procede a detallar cada diseño esquemático, con la idea de encontrar similitudes y los modelos no se diferencien significativamente uno del otro.

Tabla 12

Detalles para diseño esquemático del trópico húmedo

Región	Detalles en general
Trópico húmedo	<ul style="list-style-type: none"> • Para el diseño esquemático las ventanas y puertas tendrán proporciones entre 40 y 80% del área del muro, de la fachada norte y sur, estando las mismas a una altura humana y en lado expuesto del viento. • Para la planta, según la CNE se deberá de contar con 3,5 m² por persona aproximadamente y como para presente investigación tomaremos el criterio de los cuerpos de emergencia, un valor considerable será de 5 personas por módulo a lo que su área será de 18 m² (estratégicamente). • Según reglamento de construcciones la altura del módulo deberá de ser de 2,60 m, ya que es una estructura que no contará con cielorraso y con puerta de ingreso mínimo de 2,10m x 0,90m. • Según el código de viento anexo C, los aleros no deberán ser mayores que 1m y la pendiente del techo deberá ser menor o igual que 20%.

- Para el cálculo final de las aberturas de entrada y salida, para mantener el caudal necesario dentro del módulo, tenemos que
Caudal de aire necesario = volumen del espacio x tasa de renovación de aire. La tasa de renovación según estándares internacionales es de aproximadamente 8 c/h

$$Q = (3\text{m})(6\text{m})(2,6\text{m})(8) = 374,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q = A \cdot v$$

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$A = \frac{374,4\text{m}^3/\text{h}}{1900 \text{ m} / \text{h}}$$

$$A = 0,2\text{m}^2$$

Cabe destacar que este valor está determinado en función de las dimensiones, ya que, si se quiere calcular en función de los habitantes, se debe de multiplicar la tasa por 5 que sería de 40 l/s dando por resultado secciones más pequeñas, a lo que para la presente investigación se tomó el volumen del módulo como referencia para determinar las secciones transversales.

Estas son dimensiones mínimas.

Nota: Datos calculados a partir de las normativas de construcción existentes para el país.

Tabla 13*Detalles para diseño esquemático del trópico seco*

Región	Detalles en general
Trópico seco	<ul style="list-style-type: none"> • Para el diseño esquemático las ventanas y puertas tendrán proporciones entre 25 y 40% del área del muro, de la fachada norte y sur, estando las mismas a una altura humana y en lado expuesto del viento. • Para la planta, según la CNE se deberá de contar con 3,5 m² por persona aproximadamente y como para presente investigación tomaremos el criterio de los cuerpos de emergencia, un valor considerable será de 5 personas por módulo a lo que su área será de 18 m² (estratégicamente). • Según reglamento de construcciones la altura del módulo deberá de ser de 2,60 m ya que es una estructura que no contará con cielorraso y con puerta de ingreso mínimo de 2,10m x 0,90m. • Según el código de viento anexo C los aleros no deberán ser mayores que 1m y la pendiente del techo deberá ser menor o igual que 20%. • Para el cálculo final de las aberturas de entrada y salida, para mantener el caudal necesario dentro del módulo, tenemos que Caudal de aire necesario = volumen del espacio x tasa de

	<p>renovación de aire. La tasa de renovación según estándares internacionales es de aproximadamente 8 c/h</p> $Q = (3m)(6m)(2,6m)(8) = 374,4 \text{ m}^3/h$ $Q = A \cdot v$ $A = \frac{Q}{v}$ $A = \frac{374,4 \text{ m}^3/h}{8000 \text{ m} / h}$ $A = 0,05 \text{ m}^2$ <p>Estas son dimensiones mínimas.</p>
--	---

Nota: Datos calculados a partir de las normativas de construcción existentes para el país.

Tabla 14

Detalles para diseño esquemático del valle central

Región	Detalles en general
Valle central	<ul style="list-style-type: none"> • Para el diseño esquemático las ventanas y puertas tendrán proporciones entre 40 y 80% del área del muro, de la fachada norte y sur, estando las mismas a una altura humana y en lado expuesto del viento. • Para la planta, según la CNE se deberá de contar con 3,5 m² por persona aproximadamente y como para presente investigación tomaremos el criterio de los cuerpos de emergencia, un valor considerable será de 5 personas por módulo a lo que su área será de 18 m² (estratégicamente).

	<ul style="list-style-type: none"> • Según reglamento de construcciones la altura del módulo deberá de ser de 2,60 m ya que es una estructura que no contará con cielorraso y con puerta de ingreso mínimo de 2,10m x 0,90m. • Según el código de viento anexo C los aleros no deberán ser mayores que 1m y la pendiente del techo deberá ser menor o igual que 20%. • Para el cálculo final de las aberturas de entrada y salida, para mantener el caudal necesario dentro del módulo, tenemos que Caudal de aire necesario = volumen del espacio x tasa de renovación de aire. La tasa de renovación según estándares internacionales es de aproximadamente 8 c/h $Q = (3m)(6m)(2,6m)(8) = 374,4 \text{ m}^3/h$ $Q = A \cdot v$ $A = \frac{Q}{v}$ $A = \frac{374,4 \text{ m}^3/h}{10500 \text{ m} / h}$ $A = 0,04 \text{ m}^2$ <p>Estas son dimensiones mínimas.</p>
--	---

Nota: Datos calculados a partir de las normativas de construcción existentes para el país.

Con los resultados de las tablas 12, 13 y 14 se llegó a la conclusión que, para la estrategia, el diseño del trópico húmedo tendrá la entrada de aire para ventilación en la fachada oeste con una dimensión de 0,30 m x 1,5 m, a una altura de 20 cm desde el nivel de piso, se

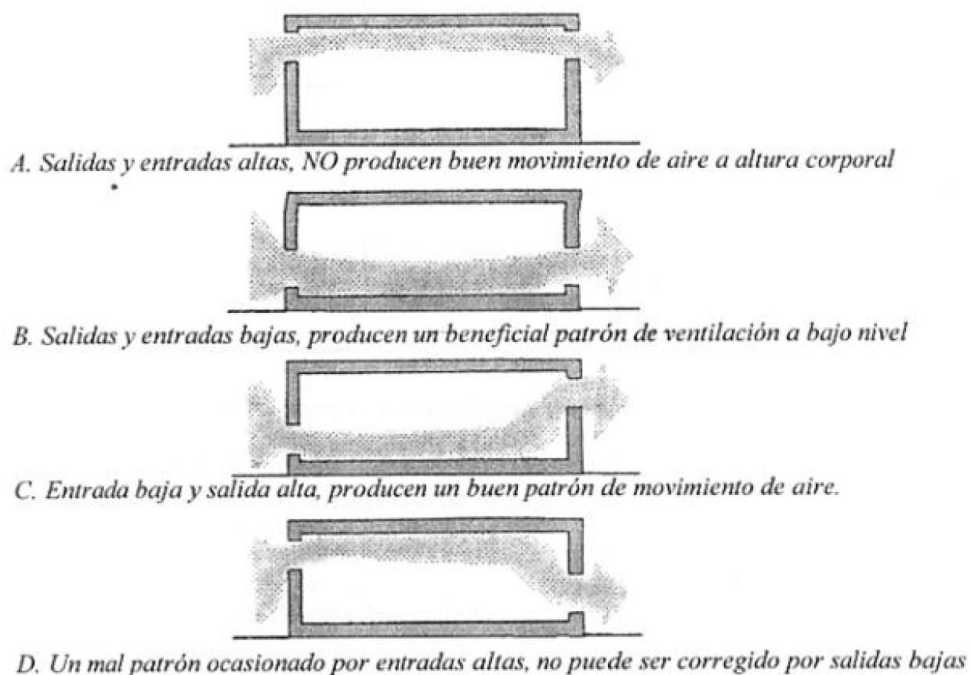
colocarán dos en total, mientras que para la extracción del aire se instalarán 4 salidas con dimensiones 40 cm x 40 cm en la fachada este y a nivel de 1,70 m sobre el piso.

Para el trópico seco y Valle Central se utilizarán las mismas dimensiones de los ductos de entrada y salida, ya que las secciones de área transversal arrojaron datos muy similares. Las entradas de aire para ventilación estarán en la fachada este con una dimensión, y por estrategia de estética, de 30 cm x 1,5 m cada una y a una altura de 20 cm desde el nivel de piso, mientras que para la extracción del aire se instalarán dos salidas con dimensiones 50 cm x 40 cm en la fachada oeste y a nivel de 1,70 m.

La siguiente figura prueba la estrategia de ubicación de las entradas y salidas de aire, donde entradas bajas y salidas altas producen buen patrón del movimiento del aire.

Figura 14

Patrones de ventilación cruzada

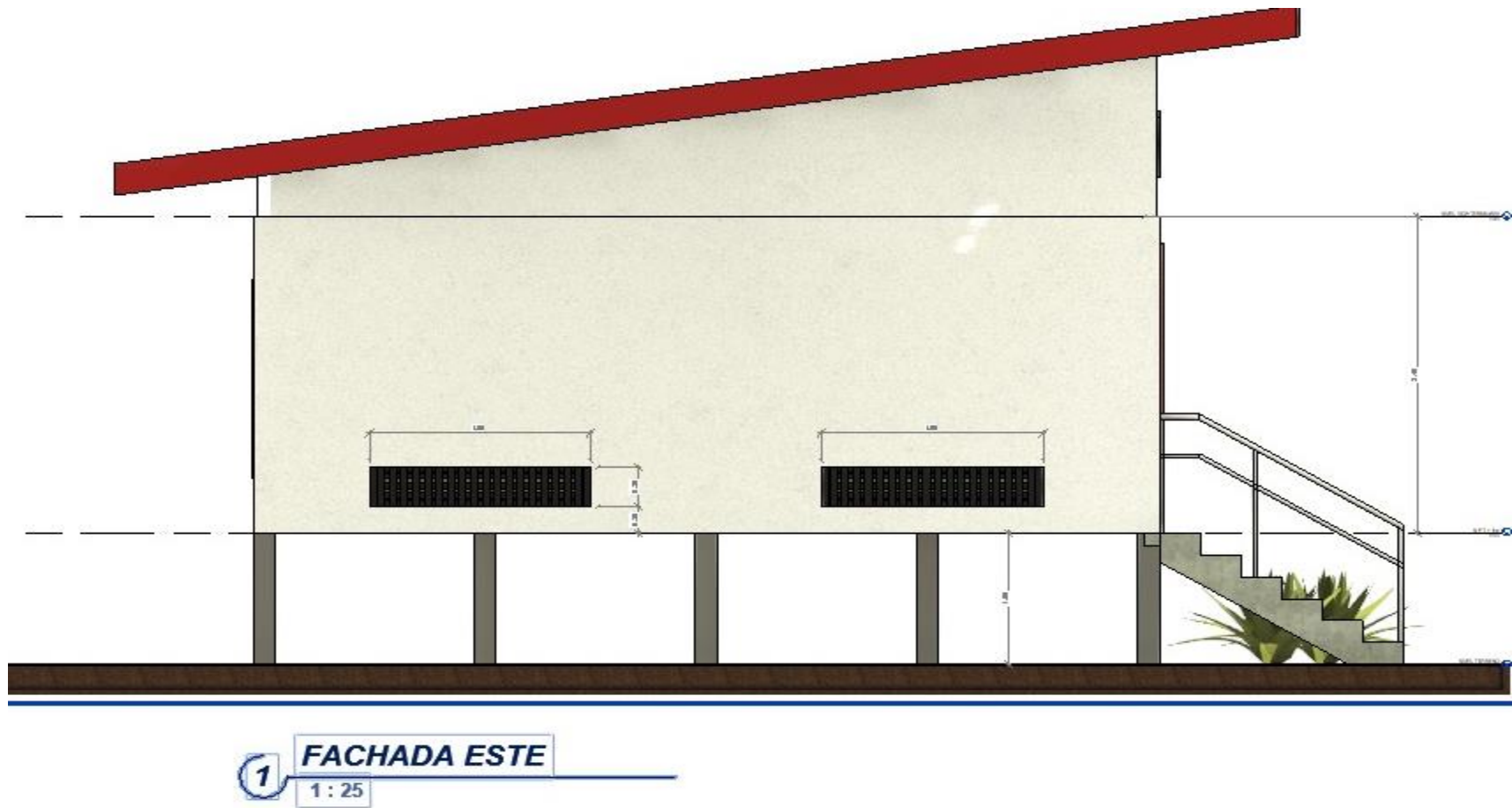


Nota: Patrones tomados de Victor Olgyay

Lo que a continuación se presenta es una referencia del diseño esquemático del módulo para el trópico húmedo, donde se pueden apreciar sus fachadas, elevaciones, planta y detalles finales de la estructura con las especificaciones anteriores.

Figura 15

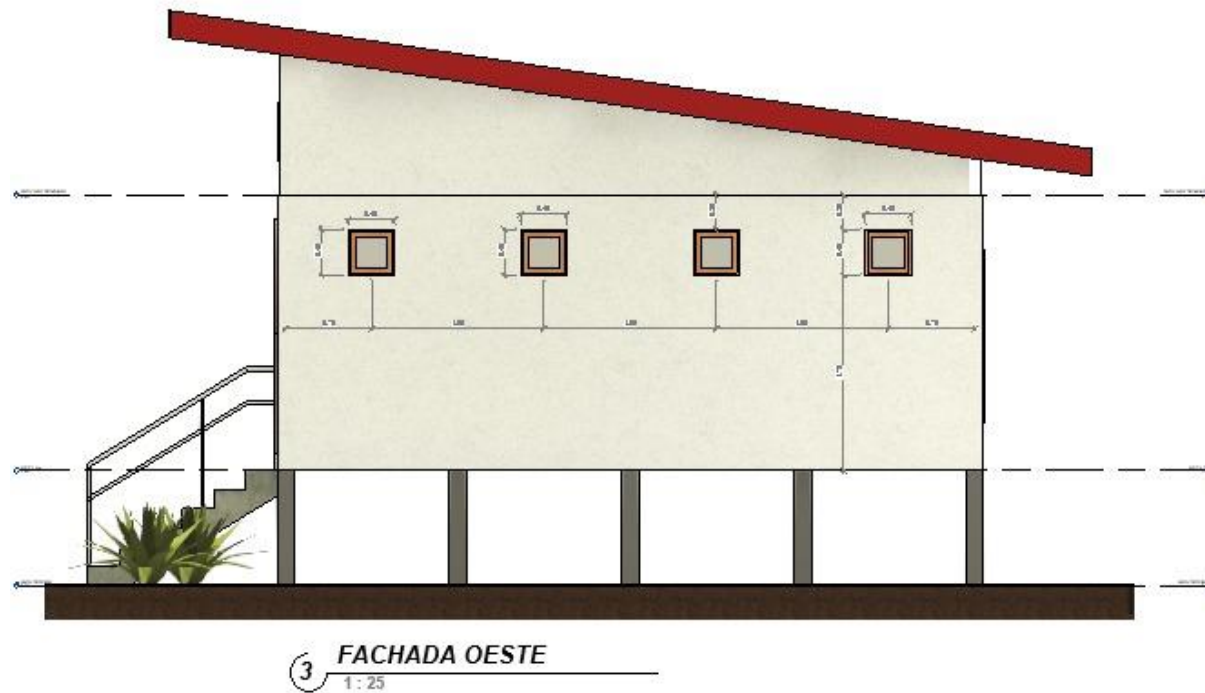
Diseño esquemático de fachada este del módulo de vivienda



Nota: Creación propia mediante la herramienta Revit.

Figura 16

Diseño esquemático de fachada oeste del módulo de vivienda



Nota: Creación propia mediante la herramienta Revit.

Figura 17

Diseño esquemático de fachada norte del módulo de vivienda.



Nota: Creación propia mediante la herramienta Revit.

Figura 18

Diseño esquemático de fachada sur del módulo de vivienda



Nota: Creación propia mediante la herramienta Revit.

Tabla 15

Cuadro comparativo en relación a las características que tendría en el diseño esquemático cada fachada

Región	Fachada norte	Fachada sur	Fachada este	Fachada oeste
Trópico húmedo	<ul style="list-style-type: none"> • Ventana superior de 0,50m x 2m. • Puerta de 2,1m x 1m. • Ventana de 1m x 1m 	<ul style="list-style-type: none"> • Ventana de 1,5m x 2,5m 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuatro ventilas de 0,4m x 0,4m a una altura de 1,7m. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dos ventilas con dimensión de 1.5m x 0,3m a una altura de 0,20m.
Trópico seco	<ul style="list-style-type: none"> • Ventana superior de 0,50m x 2m. • Puerta de 2,1m x 1m. Ventana de 1m x 1m. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ventana de 1m x 2m 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuatro ventilas de 0,4m x 0,5m a una altura de 1,7 m. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dos ventilas con dimensión de 1.5m x 0,3m a una altura de 0,20m.
Valle central	<ul style="list-style-type: none"> • Ventana superior de 0,50m x 2m. • Puerta de 2,1m x 1m. • Ventana de 1m x 1m 	<ul style="list-style-type: none"> • Ventana de 1,5m x 2,5m 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuatro ventilas de 0,4m x 0,5m a una altura de 1,7 m. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dos ventilas con dimensión de 1.5m x 0,3m a una altura de 0,20m.

Nota: Tabla creada a partir de datos bioclimáticos.

Realizar un análisis dinámico de las estructuras modulares mediante el programa SAP2000, permitirá determinar los esfuerzos internos, como referencia para el diseño de los elementos de unión entre las piezas estructurales.

El objetivo tenía como meta que, al terminar dicho análisis dinámico, se evaluara la estabilidad de la estructura en diferentes condiciones como el caso de sismo y por peso propio, además que serviría para determinar los esfuerzos internos que se usarían para el correcto diseño de piezas de ensamble.

Primeramente, para trabajar dicho objetivo se consultó a profesionales y entidades pioneras en el trabajo con estructuras en relación a la selección de materiales y las respuestas fueron las siguientes:

Tabla 16

Opinión de expertos en relación a la selección de materiales

Profesional	¿Qué materiales estructurales recomienda para los módulos? ¿Por qué?	¿Cómo evaluaría la resistencia, durabilidad y sostenibilidad de estos materiales?
Ingeniero civil	Depende. Son muchas variables. Por durabilidad, concreto, por sostenibilidad y velocidad de construcción, madera o acero.	Como se indica en la respuesta anterior: Mejor durabilidad. El concreto, resistencia: depende del diseño; sostenibilidad, madera.

Ingeniero civil 2	Mampostería de concreto, baldosas de concreto prefabricadas. Por facilidad constructiva y propiedades de aislamiento de calor del material.	Muy buena
CFIA	Cualquier estructura de acero es muy recomendada, mientras se le dé el tratamiento idóneo. Todos tienen sus ventajas y desventajas. En terremoto es madera y en un incendio en una estructura de mampostería	Yo me enfoco mucho en evaluar el costo ante estas variables, pero en general hay fichas técnicas para eso.
Lamname	Yo recomendaría el aluminio y acero con un diseño arquitectónico de ventanas y puertas para permitir mayor ventilación. Con recubrimiento TPO (membrana de plástico).	Tomar ideas de estructuras de elementos que ya cumplen y existen en el mercado con las características que yo quiero tener en el módulo.

Arquitecto experto en biclomatización	Acero por su durabilidad	Me voy si o si a los laboratorios de materiales, trabajos similares ya realizados y fichas técnicas.

Nota: creación propia en relación a cuestionario de preguntas aplicado

Como se puede observar, resalta que, en relación con la elección del material, el 80% hace mención al acero como elemento principal, por su facilidad de trabajar y adaptabilidad a los sistemas. Llama la atención que en relación a la durabilidad y sostenibilidad todos los profesionales depositan su confianza en fichas técnicas específicas de cada fabricante, lo que deja entre ver el gran posicionamiento que tienen muchas empresas dedicadas al desarrollo de materiales, dentro del país.

En relación con el desarrollo modular se les consultó sobre los principios claves para diseñar módulos que sean fáciles de ensamblar y desmontar y el cien por ciento coincidió en que lo primero que se debe prever es la simetría, segundo la estandarización y que los elementos sean formados por piezas que se repitan por muchas veces.

Dentro del cuestionario resaltó un apartado dedicado a la cimentación y estructura en sí. Cabe mencionar que en relación a la cimentación se coincide que tanto dados de concreto, lozas flotantes, prefabricadas, son factibles, pero que se debe pensar en el transporte, ya que si no se hacen en sitio el peso puede jugar un papel determinante para instalarlas. También se da la idea que se puedan utilizar pilotes para el asunto de inundación.

En relación con la estructura los consultados no dudaron mucho en responder que para que una estructura de marco resista cargas de sismo y viendo basta con remitirse a la normativa capítulo 17 del código sísmico de Costa Rica, y el Ingeniero del CFIA fue más allá e indicó que hay que remitirse al código de viento Anexo C en específico.

Cuando se les consultó sobre los mecanismos ideales para unir los módulos, el cien por ciento coincidió en utilizar uniones apernadas en lugar de soldadura, esto para contribuir al correcto desmontaje y armado en sitio, además de no utilizar mano de obra especializada.

En relación con los servicios e instalaciones, se les planteó a los profesionales dos preguntas, la primera sobre ¿qué sistemas de fontanería y de calefacción recomendarían para los módulos? y ¿cómo integrar sistemas fotovoltaicos y de reutilización del agua? Las respuestas a la primera interrogante estuvieron muy divididas, ya que las respuestas fueron como irse al código eléctrico, que se debe contratar a un electromecánico, que en este tipo de construcción no aplica la calefacción, pero resaltan dos respuestas y que se relacionan a que para calefacción en una casa no hay como la ventilación continua y utilizar técnicas adecuadas de bioclimatización. Las repuestas a la segunda pregunta un setenta y cinco por ciento de los profesionales coincide que para utilizar esos sistemas se debe en el mejor de los casos consultar con los especialistas y distribuidores dentro del país, ya que existen empresas que hasta lo instalan en cualquier sitio que se requiera y dan mantenimiento.

Dentro del cuestionario se trabajó un apartado destinado a la comparativa de materiales, con el fin de ir definiendo el que será utilizado dentro del análisis con el programa especializado. Se consultó sobre si se podría dar una comparación entre madera, hormigón y acero en términos de conductividad, resistencia y durabilidad y también de inmediato se les preguntó cuál de ellos era el más adecuado para viviendas modulares. Las respuestas a continuación:

Tabla 17*Opinión de expertos en relación a la comparativa de materiales*

Profesional	¿Puedes proporcionar una comparación entre madera, hormigón y acero en términos de conductividad eléctrica, resistencia y durabilidad?	¿Cuál de estos materiales considera más adecuado para viviendas modulares?
Ingeniero civil 1	Conductividad eléctrica: sólo el acero Resistencia: los tres, si se considera sus características en el diseño Durabilidad: Concreto	Por sostenibilidad: Madera Por durabilidad: Concreto Por facilidad de montaje: Madera y acero
Ingeniero civil 2	Durabilidad: Concreto, acero con protección a la corrosión y madera tratada Conductividad. acero	Concreto
CFIA	La madera no es conductiva pero no resiste fuego, el acero	Depende del fin, la zona, los costos y también gustos

	<p>es conductivo resiste demasiado las cargas y dura por muchos años si se le da el trato adecuado y el hormigón es el pionero en durabilidad, no conduce la electricidad y resiste demasiado a compresión.</p>	
Lamname	<p>Madera: Es muy versátil y se adapta a cualquier diseño.</p> <p>Hormigón: Muy resistente a la compresión, pero en emergencia no lo recomiendo por los plazos y materias primas.</p> <p>Acero: El galvanizado tiene todas las ventajas para ser utilizado en el sistema que quieres modular</p>	Acero

Arquitecto experto en biclomatización	La madera es más versátil que los demás y no se necesita mano de obra calificada digamos en su utilización como poner paneles. El hormigón para emergencia está raro utilizarlo y el acero serviría, pero trabajar en fabrica previamente los módulos. En cuanto a la conductividad, resistencia y durabilidad es mejor consultar las fichas técnicas ya que en el acero por ejemplo los calibres son muchos.	Madera es la más factible, pero la madera debe de analizarse si tiene componentes especiales.
--	---	---

Nota: creación propia en relación a cuestionario de preguntas aplicado

Las respuestas anteriormente mostradas evidencian división de criterios en cuanto a recomendar un material, ya que todo dependerá de muchas variables, desde el factor costo, hasta la durabilidad. La madera y acero sobre salen por versátiles, pero por durabilidad el concreto. Esto es importante para la hora del diseño, ya que tanto concreto, madera como acero tienen propiedades muy diferentes y que, a la hora de trabajar en un programa computacional, este

evidenciará que para soportar las cargas de sismo y viento, las dimensiones de cada elemento deberán ser o más robustas o esbeltas, según la naturaleza del material utilizado para el fin.

La serie de preguntas culminó con una sección donde los expertos contaron sobre experiencias vividas en el diseño, construcción y análisis de proyectos similares. La idea era tomar dichas experiencias y replicar lo que tuvo éxito, y lo que no, pues aprender de ello y no implementarlo en el diseño de estas casas modulares adaptados para el trópico seco, húmedo y valle central.

Dentro de las cinco respuestas resaltan tres experiencias que ayudaron al presente trabajo de investigación a orientar todo el diseño y análisis. Se tiene que uno de los entrevistados mostró experiencia en un proyecto titulado “Los núcleos Húmedos” que eran cajones prefabricados con servicio sanitario y duchas que se le daba a la gente, pero que presentó el problema que alrededor de este, la gente llegó a desarrollar un tugurio, esto se hizo porque el gobierno no tenía dinero, a lo que la lección aprendida es primero ver la viabilidad de costos para no tener que hacer trabajos que se presten para esta proliferación.

Otra lección aprendida es no trabajar en terrenos con pendientes extremas.

Otra experiencia destacada es en Corcovado con suelos extremadamente saturados donde se utilizaron fundaciones prefabricadas y en Chirripó donde se hizo un socalo en mampostería y prefabricados. Y por último se destaca la experiencia de un entrevistado en BIENAL, donde aprendió a diseñar con material que tengamos a la mano y sea factible conseguirlo.

Según se pudo constatar en el análisis anterior de las entrevistas a profesionales expertos en el área de construcción, el material ideal para construir los módulos, en relación a su

estructura de soporte principal, es el acero estructural galvanizado, también recomiendan que al ser modular se utilicen prioritariamente conexiones de pernos.

Según recomendaciones de bomberos, la estructura debe ser lo suficientemente resistente para que no colapse sobre los ocupantes o cuerpos de emergencia en un evento de catástrofe, más para cerramientos no tienen disposiciones. A lo que se tomó la decisión de utilizar tanto para cerramiento como cubierta, los paneles tipo sándwich, ya que primeramente cumplen con lo estipulado en el código sísmico de Costa Rica de tener núcleo de poliuretano expandido para este tipo de paneles, también por sus propiedades de aislamiento para frío y calor, así como por su fácil instalación y manejo de cortes en sitio como fábrica. Este tipo de panel está constituido por dos láminas de zinc galvanizado y entre ellas una capa de poliuretano de alta densidad.

Este material tipo sándwich permite hacer aperturas sin necesidad de estructura de acero previa, lo que reduce significativamente su costo. Estos paneles tienen coeficientes de transmisión térmica, para cubiertas de $0,37 \text{ W/M}^2\text{K}$ y para cerramiento de $0,58 \text{ W/M}^2\text{K}$. Estos valores lo que reflejan es la capacidad de transmitir calor entre los espacios del elemento constructivo. Si el coeficiente de transmisión térmica es bajo, significa que el material o la estructura tiene una buena capacidad de retención de calor. En otras palabras, no permite que el calor escape fácilmente hacia el exterior o se transfiera al interior. Por otro lado, si el coeficiente de transmisión térmica es alto, el material o la estructura permitirá una mayor transferencia de calor. Esto puede ser útil en climas cálidos, donde deseamos liberar el exceso de calor hacia el exterior para mantener el interior más fresco.

Para el piso se utilizará estructura (marco) con cubierta de plancha antideslizante para la durabilidad de los módulos, esta plancha será perforada con agujeros de tres centímetros de diámetro en varias zonas para que, al ser cubiertas con hule poroso, permitan el paso de

ventilación por el piso, y así ayude a que la casa modular se mantenga fresca. Esto fue una recomendación del profesional en bioclimatización.

La casa estaría armada sobre quince pilotes, a lo que sería sumamente importante realizar el análisis en Sap2000 para determinar los cortantes, momentos y cargas axiales que lleven al diseño de las platinas, los pernos que servirán en los anclajes y también para diseñar las zapatas prefabricadas ideales que no permitan un volcamiento del módulo

Por otro lado, el diseño que a continuación se brindará, servirá para determinar el calibre ideal del tubo a utilizar, que brinde economía al módulo, pero que a su vez cumpla con toda la seguridad estructural que requiere una casa para ser habitada.

Primeramente, definiremos los tipos de carga y sus valores de carga según especificaciones de fabricantes:

Tabla 18

Cargas a las que estará sometida la estructura

Tipo de carga	Nombre	Valor
Cargas permanentes	Plancha antideslizante para pisos	11,78 kgf/m ²
	Cubierta de hule para piso	2 kgf/m ²
	Cerramiento (panel Sandwich 40 mm)	11,3 kgf/m ²
	Cubierta de techo (panel Sandwich 50 mm)	13,1 kgf/m ²
	Temporal de oficinas (interpretaremos que el piso al	250 kgf/m ²

Cargas temporales	estar sobre pilotes, funcionará como un entrepiso)	
	Temporal de techos	40 kgf/m ²
Carga de viento	<p>Para esta carga se tomó como referencia la figura 3-1: Zonificación eólica de Costa Rica del manual de viento, la cual es una zona II con ráfagas de 100 km/ h en un periodo de retorno de 50 años.</p> <p>La presión de viento según este manual viene dada por:</p> $q(z) = C_e(z) * C_r * C_t * C_d$ <p>Donde $q(z) = 0,005 * V_b^2 \frac{kg}{m^2} = 0,005 * 100^2 \frac{kg}{m^2} = 50 kg/m^2$</p> <p>Coefficiente $C_e(z)$ en categoría D 0,928 \geq 0,892 tomamos a 0,928</p> <p>Coefficiente $C_r = [0,36 + 0,10 \ln (12 * 300)]^2 = 1,39$ el 300 es porque la intensidad de la ráfaga es media, a lo que corresponde un periodo de retorno de 300 años.</p> <p>$C_t = 1$</p> <p>$C_d = 90$</p> <p>Así la carga a trabajar será de:</p> $q(z) = 50 \frac{kg}{m^2} * 0,928 * 1,39 * 1 * 0,90 = 58,05 kg/m^2$	

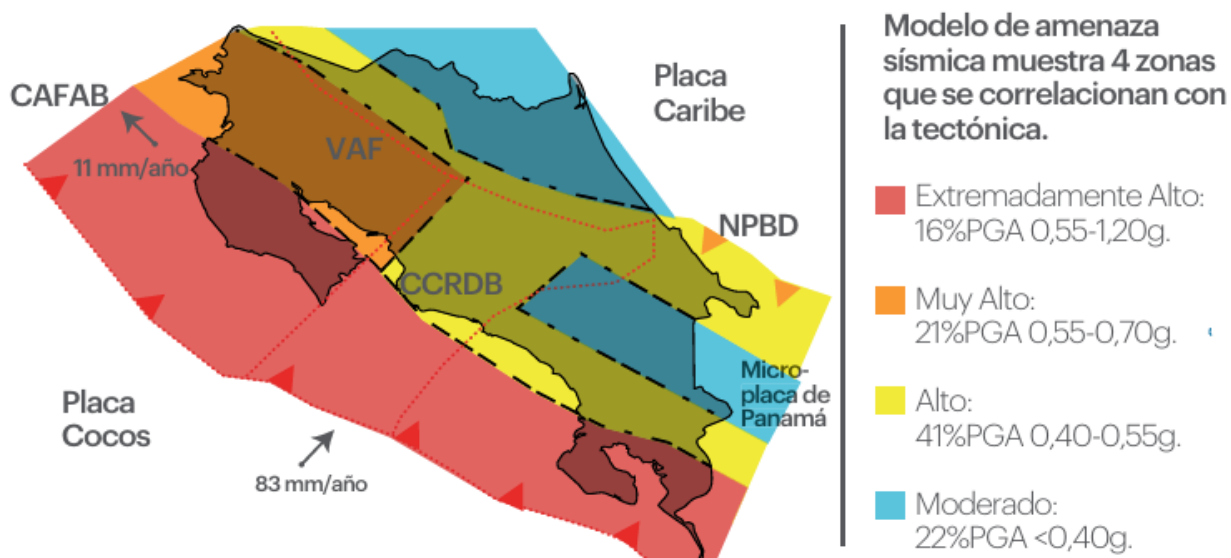
Nota: las cargas son tomadas por especificaciones del fabricante, lineamientos de viento y del código sísmico de Costa Rica.

Condiciones adicionales para alimentar el programa de SAP2000 serán en relación a la ductilidad, esta será de uno para que sea un comportamiento completamente dúctil y una ocupación del grupo D que según tabla 4.1 del código sísmico de Costa Rica corresponde a edificaciones de ocupación normal.

En lo que respecta a la alimentación del programa SAP2000 en relación al tipo de suelo y zona se consideró la siguiente figura para tomar la más crítica

Figura 19

Zonificación tectónica y de amenaza sísmica de Costa Rica



Nota: Figura tomada del Semanario Universidad del 7 de junio del 2023.

Con base en el mapa anterior se tiene que el país se divide en cuatro zonas de amenaza sísmica, que a lo que se aprecia las penínsulas en Costa Rica (Osa, Nicoya y Burica) son las que tienen las mayores probabilidades de intensidad sísmica con una amenaza extremadamente alta.

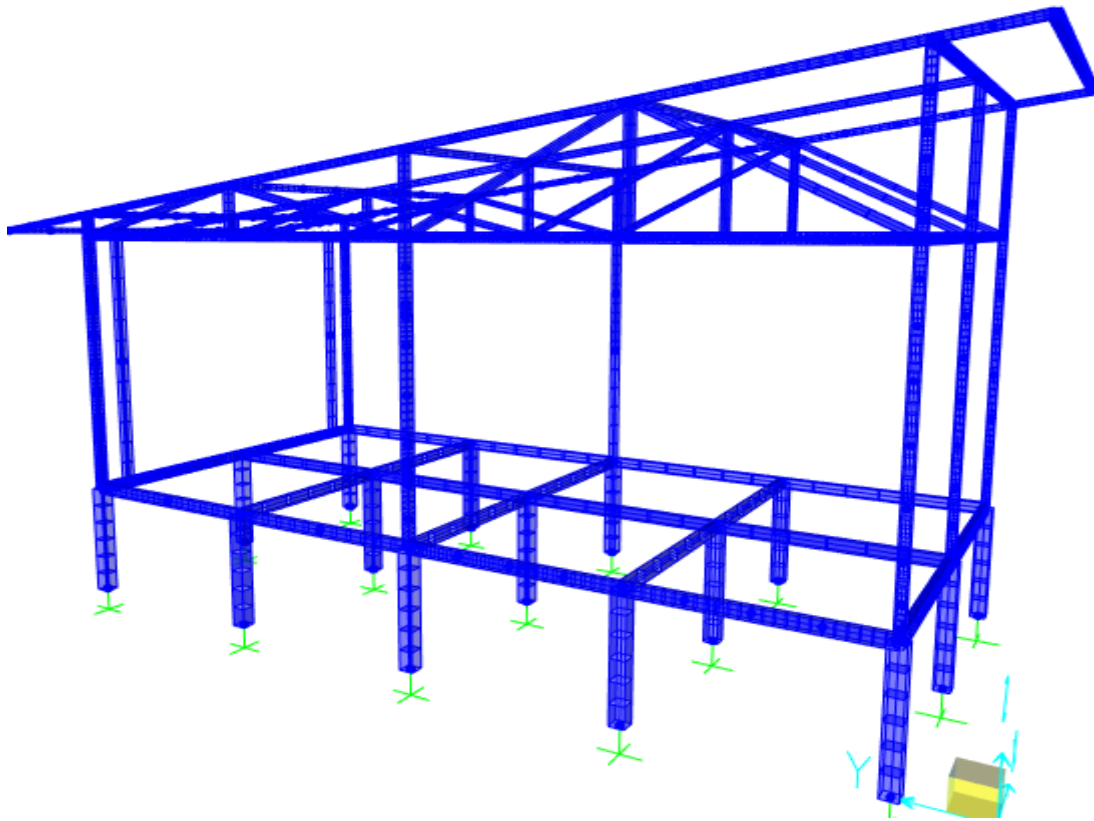
Con estas referencias tomaremos la tabla 2.1 del Código Sísmico de Costa Rica y daremos con una la zona que tienen en común estas penínsulas, siendo la IV (Z₄) la que predomina. En lo que respecta al suelo tomaremos el que se tiene en mayor proporción del país, el Suelo (S₃), suelos que según el Código Sísmico de Costas Rica se caracterizan por un suelo

con 6 a 12 metros de arcilla de consistencia suave a medianamente rígida o con más de seis metros de suelos no cohesivos de poca o media intensidad.

La estructura que se analizará tendrá la siguiente forma:

Figura 20

Perspectiva que tendrá la parte estructural de cada módulo



Nota: Imagen extraída de SAP2000.


Una vez realizado el análisis estructural del módulo se llegó a determinar que los perfiles a utilizar serán los siguientes:


- Pilotes: 100mm x 100mm calibre 3,17mm
- Módulos de piso: 48mm x 96mm calibre 3,17mm.


- Soportes del cerramiento: 48 mm x 72 mm calibre 1,83mm
- Cerchas: 50mm x 50mm calibre 1,83mm
- Cerchas: 50mm x 150mm calibre 1,83mm


Figura 21

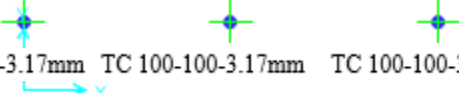
Perfiles utilizados en pilotes


TC 100-100-3.17mm TC 100-100-3.17mm TC 100-100-3.17mm


TC 100-100-3.17mm TC 100-100-3.17mm TC 100-100-3.17mm


TC 100-100-3.17mm TC 100-100-3.17mm TC 100-100-3.17mm

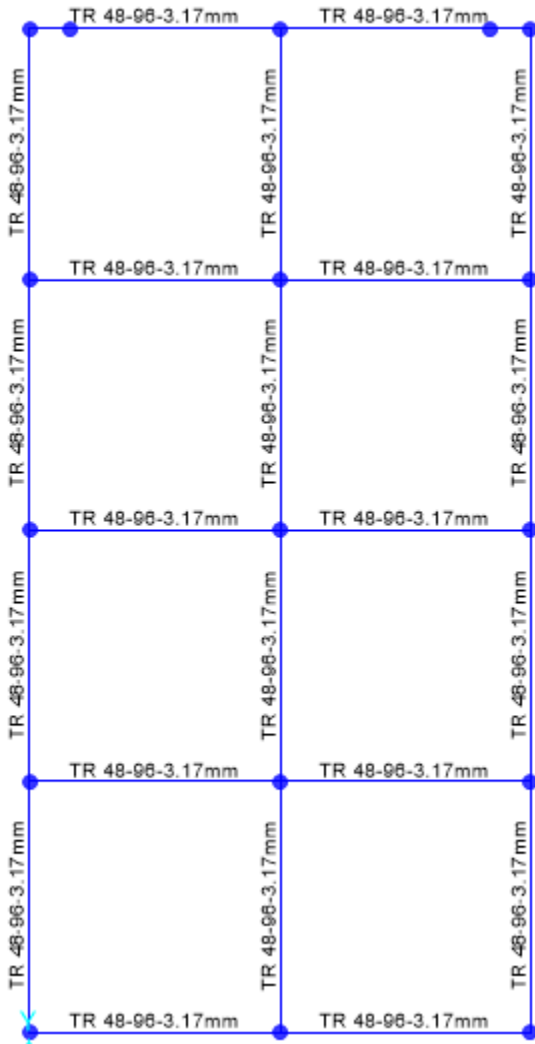

TC 100-100-3.17mm TC 100-100-3.17mm TC 100-100-3.17mm


TC 100-100-3.17mm TC 100-100-3.17mm TC 100-100-3.17mm

Nota: Imagen extraída de SAP2000.

Figura 22

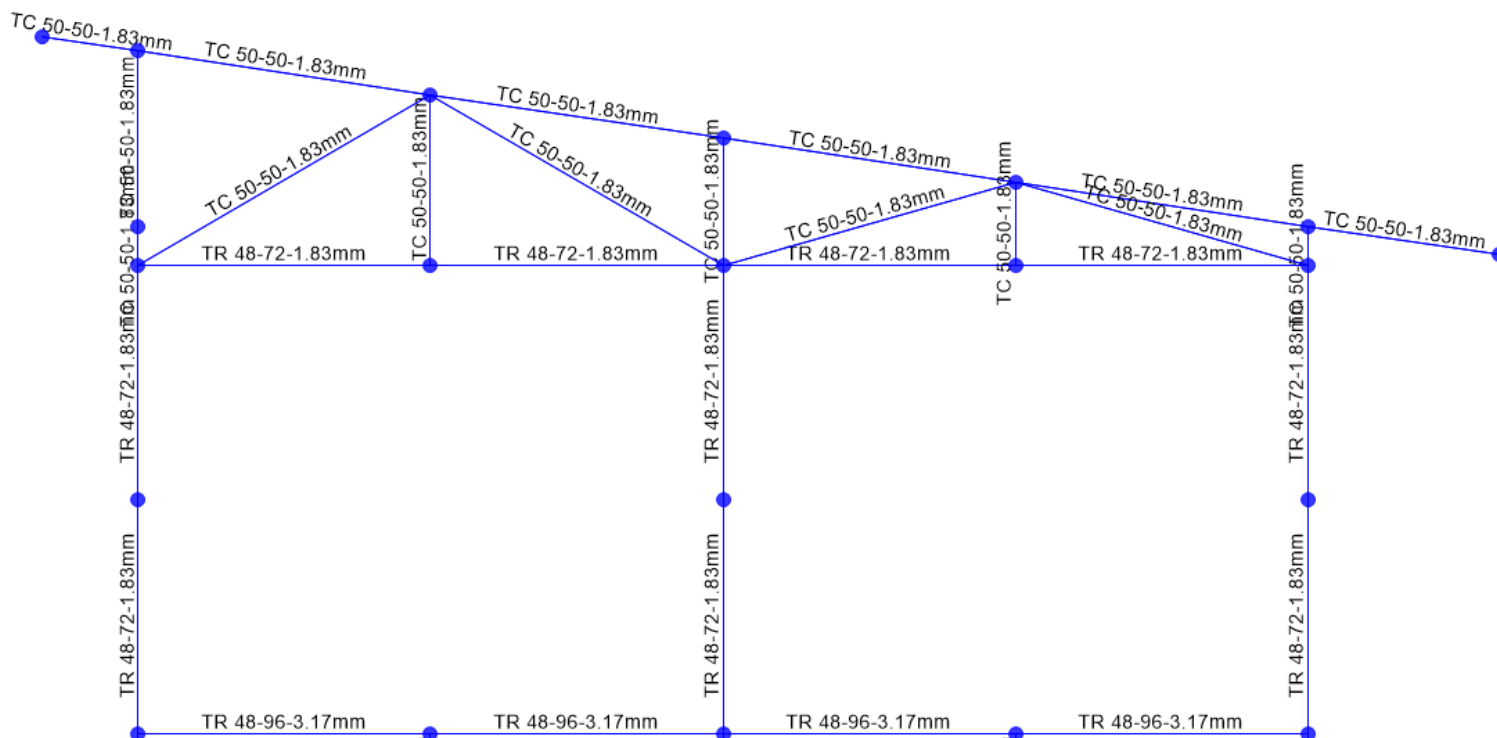
Perfiles utilizados en módulos de piso



Nota: Imagen extraída de SAP2000.

Figura 23

Corte para mostrar perfiles utilizados en todas las cerchas y cerramiento



Nota: Imagen extraída de SAP2000.

A continuación, se muestra la descripción estructural de cada elemento que compondrá el módulo.

Zapatas

Para el diseño de las zapatas, se eligió que fuesen cuadradas y aisladas. Al correr el programa se tomaron los valores mayores registrados en los puntos de apoyo, esto después de finalizar la corrida de las diez combinaciones posibles.

Las combinaciones trabajadas en este modelo fueron las establecidas en el código sísmico capítulo 6, combinaciones 6-1, 6-2, 6-3 y 6-4.

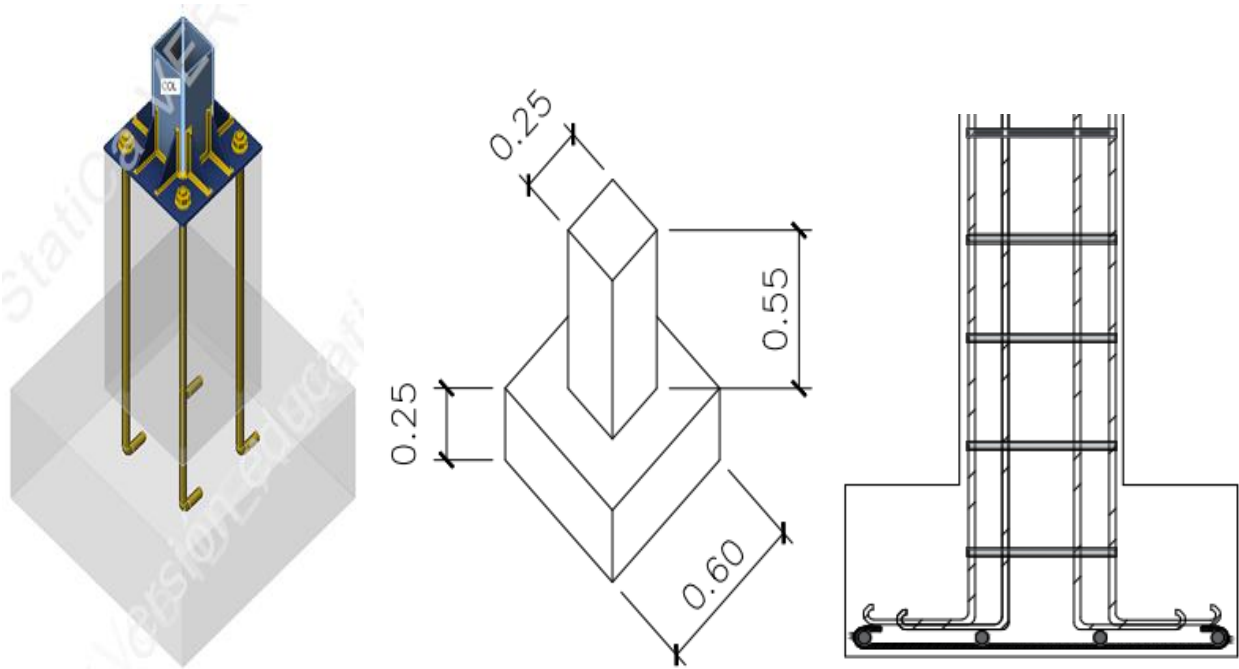
Y así el momento de sismo máximo registrado fue de 0,0016 toneladas, momento debido a la carga permanente 0,00055 toneladas, momento debido a la carga temporal 0,0523 toneladas, momento debido a la carga de empuje 0,0797 toneladas, la fuerza axial máxima debido a la carga permanente fue de 1,102 toneladas, carga axial debido a la carga temporal 1,76 toneladas, carga axial debido a la carga de sismo 0,04 toneladas y por último la carga axila debido a la fuerza de empuje 0,00042 toneladas.

En cuanto a las propiedades básicas se tiene que los datos que se utilizaron fueron una densidad del concreto $2,4 \text{ ton/ m}^3$, densidad del suelo de $1,75 \text{ ton/ m}^3$, un factor de seguridad de 3 lo que significa que la estructura estará diseñada para soportar tres veces la carga de diseño sin llegar al punto de falla, $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, $f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$ y $q_{adm} = 10 \text{ ton/m}^2$.

Se utilizará un f_1 de 0,50 ya que según código sísmico es una edificación de baja probabilidad de ocupación plena de carga temporal a la hora del sismo y un factor de reducción de 1. Con estos valores se llegó a determinar que la siguiente zapata cumple con las condiciones para soportar dichas condiciones.

Figura 24

Dimensiones de la zapata prefabricada que se utilizará y unión de pilotes cuadrados a pedestal de zapata



Nota: Las dimensiones fueron verificadas por hojas de cálculo, la platina es de 4mm y los anclajes de 5/8 de pulgada.

Cabe mencionar que la misma geometría será utilizada para todos los pilotes del módulo, además que las platinas que van en cada zapata tienen dimensiones de 25 cm x 25cm en donde van soldados cada pilote con sus cuatro alas de reforzamiento, dicha soldadura en 6013/1-8.

Por otro lado, se tiene que, para determinar los elementos de unión, se utilizó el programa IDEAstática donde después de analizar la estructura se tienen los siguientes valores máximos para las zonas de unión:

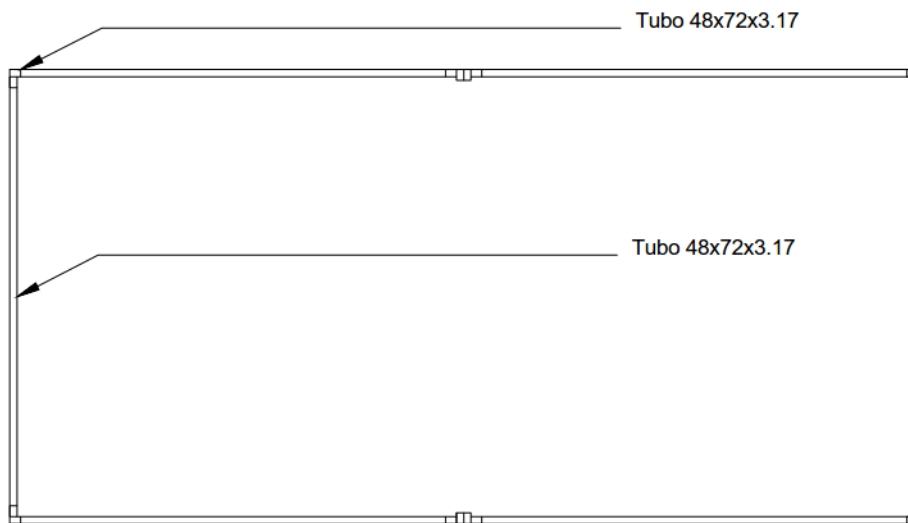
- Momento en x máximo registrado 0,00922 toneladas.

- Momento en y máximo registrado 0,05 toneladas.
- Cortante máximo en x registrado 0,205 toneladas.
- Cortante máximo en y registrado 0,02 toneladas.

Descripción de cada elemento unión

Figura 25

Vista en planta del acomodo de los perlin de cada módulo lateral

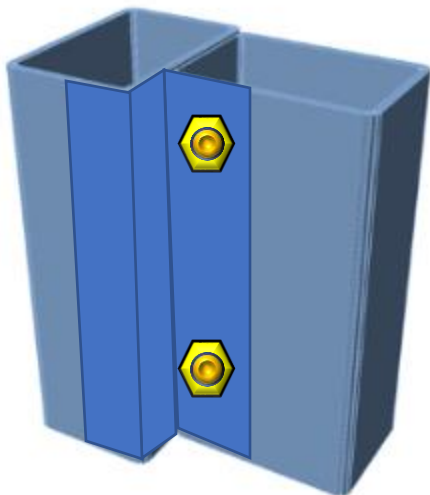


Nota: El acomodo de los laterales de los módulos de cerramiento están colocados para soportar los movimientos laterales a los que estará sometida la casa de emergencia.

Cabe resaltar que los módulos de cerramiento estarán acoplados con angulares y pernos previamente analizados estructuralmente para soportar todos los esfuerzos arrojados por el programa sap2000 en su análisis dinámico.

Figura 26

Tipo de unión esquinera a utilizar para entrelazar los módulos laterales

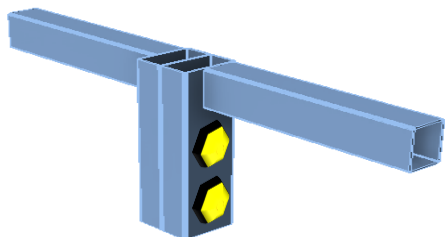


Nota: Una sección del elemento unión estará unida a un módulo mediante soldadura 6013 en 3-32 y la otra se amarra con pernos de 5/8 de pulgada grado 5, cada 30 cm.

Cabe resaltar que la platina de unión está diseñada en la fabricación y contará con un espesor de 3 mm.

Figura 27

Tipo de unión central a utilizar para entrelazar los módulos laterales

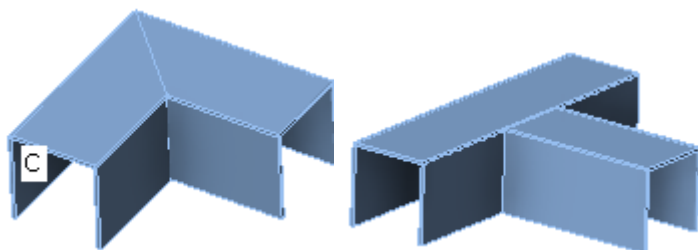


Nota: Esta unión de módulos será únicamente apernada de perlin a perlin con elemento de 5/8 de pulgada de 6 pulgadas de largos en grado 5, cada 30 cm.

Una vez que se instalan los módulos laterales y son apernados, se colocan escuadras esquineras y centrales para que los elementos queden más rígidos, estos elementos deben ser colocados para que trabajen a fricción.

Figura 28

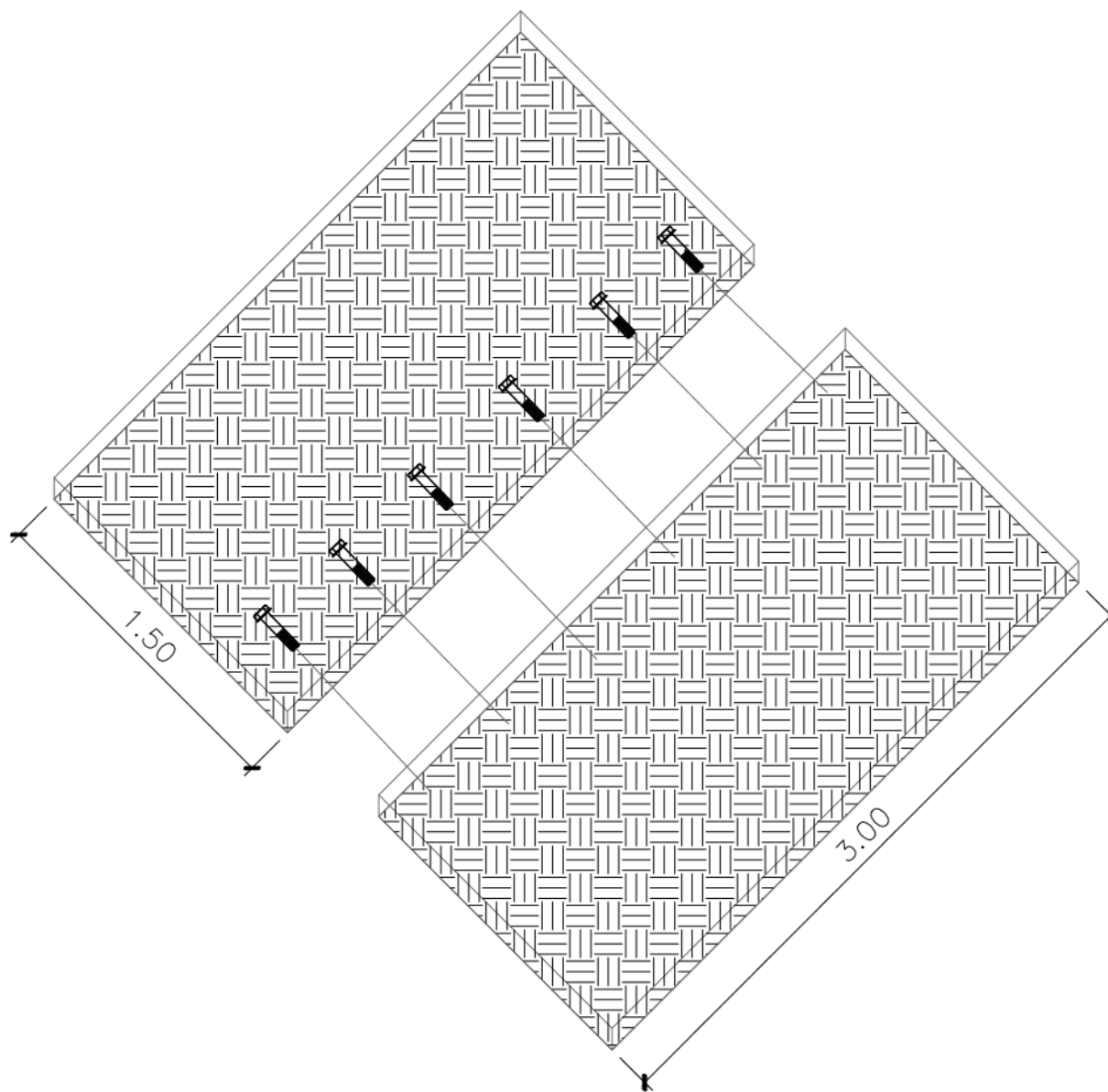
Escuadras esquineras y centrales tipo U para amarre de módulos



Nota: Estas escuadras son fabricadas en la manufactura y son elementos diseñados para trabajar a fricción y en espesor de 3mm.

Figura 29

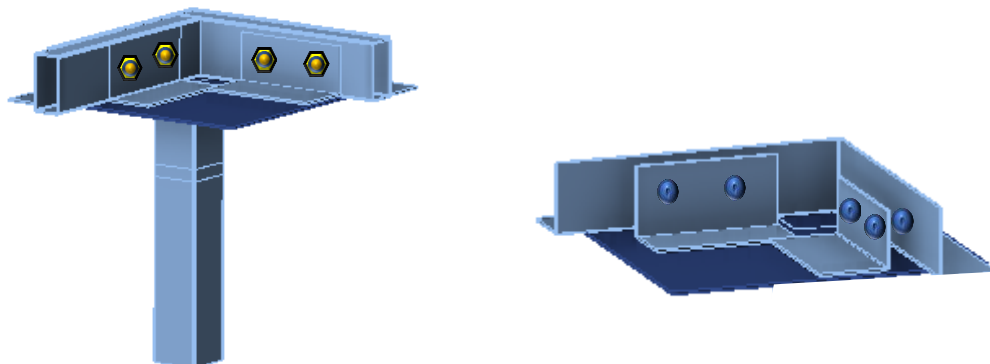
Unión entre planchas de piso



Nota: Las uniones de dichas planchas de piso se hacen por la parte inferior de perlin a perlin con pernos de 5/8 de pulgada y de 6 pulgadas de largo grado 5, cada 30 cm.

Figura 30

Unión entre módulos de piso y pilotes cuadrados

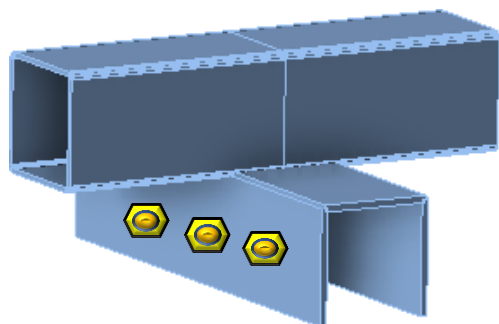


Nota: Pieza creada con platina y angulares de 4mm unidos con soldadura 6013/1-8.

Esta pieza de unión consta de una placa de 4mm con angulares que dejan un espacio de 48 mm para que los perlin rectangulares, que sirven de soporte para el piso en cada plancha, encajen a la perfección y luego estos se sujeten con pernos de 5/8 de pulgada y de 4 pulgadas de largo grado 5. En la parte inferior de la pieza se tiene que el pilote está soldado a la platina.

Figura 31

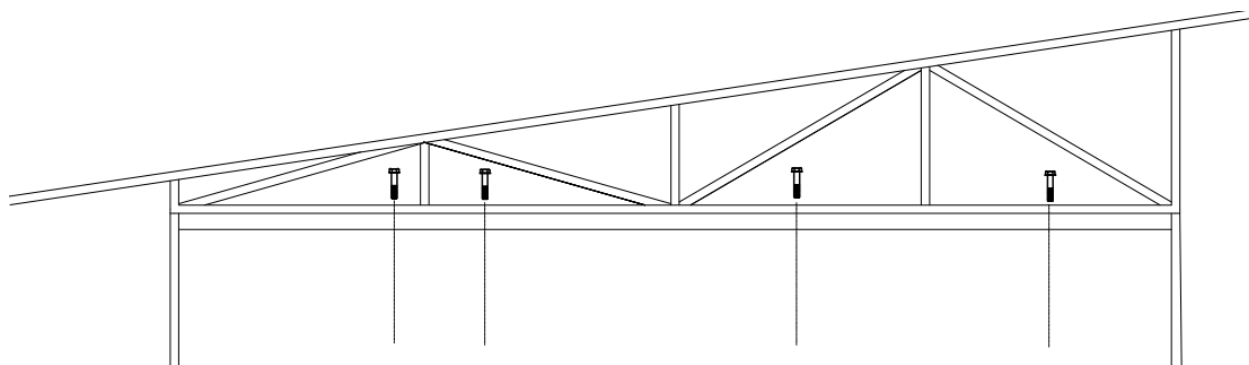
Unión de cubierta a cerchas



Nota: El tubo superior representa la estructura de cubierta y el inferior un perfil en U especial que amarra la cercha y se sujeta con 3 pernos de 1/2 pulgada y de 4 pulgadas de largo grado 5 cada 30 cm. La cubierta traerá estos perfiles en U ya soldados y listos para apernar.

Figura 32

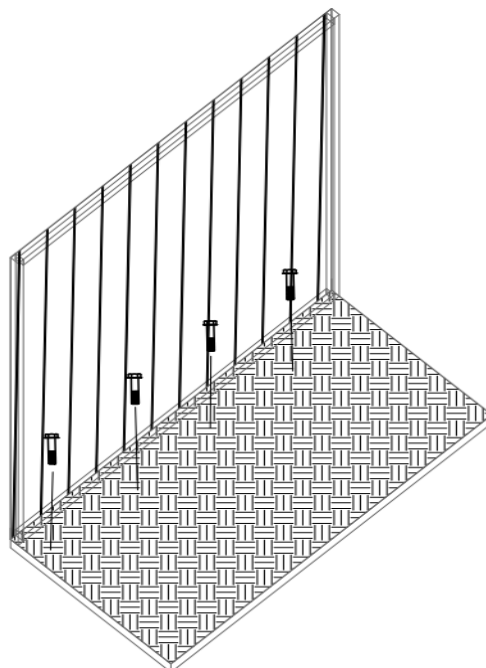
Unión de cerchas a marcos de cerramiento



Nota: Este sistema de ajustar las cerchas se utilizará con las tres en total y se utilizarán pernos de 5/8 de pulgada y un largo de siete pulgadas grado 5, colocados cada 40 cm.

Figura 33

Unión de los módulos de cerramiento a estructura de piso



Nota: Dicha unión se realizará de perlin a perlin con pernos de 5/8 de pulgada por ocho pulgadas de largo grado 5, cada 20 cm.

Para concluir con los resultados de este objetivo específico, cabe resaltar que antes de apernar las secciones, cada junta contara con una lámina de hule de 3mm de espesor para evitar filtraciones de agua y para evitar la fricción entre piezas.

Posterior a esta parte del diseño se procedió a desarrollar la viabilidad de los tres prototipos en función de costos, durabilidad e impacto ambiental, para la facilidad de implementación en contextos de emergencia, esto se realizó tomando como referencia las entrevistas realizadas a los cuerpos de emergencia y profesionales en construcción las cuales diseñaron la ruta a seguir y poder responder así al objetivo específico mencionado. Para responder a este objetivo se realizaron cuatro preguntas a los cuerpos de emergencia y tres a los profesionales en construcción, las respuestas a continuación:

Tabla 19

Opinión de expertos en relación al impacto ambiental de producir este tipo de estructuras

Profesional	¿Qué consideraciones debemos de tener en cuenta para la producción en serie y la reducción de mano de obra?	¿Cómo evaluar el impacto ambiental de los materiales y procesos de construcción?	¿Qué aspectos debemos considerar desde la extracción de materias primas hasta el desmontaje de las viviendas?
Ingeniero civil1	Coordinación modular, requisitos de transporte, nivel de industrialización posible.	Hay metodología para esto. Pero sugeriría determinando la huella de carbono desde la	Todo. Huella de carbono, energía consumida, costo en el ciclo de vida. Efectos en la salud

		extracción de materiales hasta completar todo el ciclo de vida.	
Ingeniero civil 2	Prefabricación de elementos en planta.	No respondió	La eficiencia en el uso de los materiales, y que sean aptos.
CFIA	Primero debemos de tener en cuenta la competencia que hay que ya están posicionadas, hay que hacer un producto que sea prácticamente único. y debemos de tener muchísimo capital.	Para eso hay que acudir por ejemplo al SETENA	Para eso tenemos los planes reguladores que ya fueron aprobados por personal capacitado.
Lamname	Sustentabilidad y para la mano de obra si se quiere reducir, estos módulos deben de ser ensamblados con sistemas de pernos y livianos para no necesitar tanto personal en el sitio.	Los procesos deben ser rapidez, pero eficaces para no caer en errores graves de diseño que comprometan la vida de personas.	Normativas y planes reguladores

Arquitecto experto en biclomatización	La facilidad en que se monta la estructura en sitio y para la producción en serie debo considerar la disponibilidad del material en el momento que lo necesite y este no dependa de pedidos de larga duración.	Utilizar materias primas amigables con el medio ambiente y ojalá reutilizables.	La facilidad para obtenerlas y en el desmontaje, lo cual se logra con facilidad si se hacen uniones de pernos
---------------------------------------	--	---	---

Nota: creación propia en relación a cuestionario de preguntas aplicado

En relación con la primera interrogante, sin lugar a duda establecen que, para la producción en serie de proyectos para casas de emergencias, la modulación resulta un factor determinante, así como realizar el proceso de pre ensamble en la fábrica. También se establece que en cuando a la factibilidad, resulta conveniente utilizar métodos que permitan un modelo de instalación rápido y eficaz como por ejemplo utilizar pernos.

El analizar lo que hace la competencia también resalta en las respuestas, ya que en ocasiones se considera que el producto es único, pero se tienen muchas empresas en el mercado que lo hacen y a precios muy bajos, esto coincide con lo que comentó la Universidad de Cartagena en la perspectiva teórica donde se establece que el estudio de factibilidad, tiene por objetivo verificar si en un proyecto existen soluciones que cumplan los objetivos definidos en el planteamiento inicial y así con ellos poder determinar que son viables tanto física, legal, social, económica como financieramente.

En cuanto a las materias primas a utilizar, se hace mucho énfasis en cuidar al medio ambiente y utilizar materiales amigables con el mismo para reducir así la contaminación, respuestas que van muy de la mano con lo que establecen González y Vidaud en la perspectiva teórica, donde definen la factibilidad medioambiental como aquella condición que evalúa el resultado de cualquier actividad o proyecto que frena o minimiza el impacto de un evento peligroso que imposibilita el uso, deteriora o destruye bienes y servicios ambientales que son utilizados para mejorar la calidad de vida del ser humano. Nótese que siempre la calidad de vida de las personas está presente en estos procesos.

En relación con los aspectos que se deben considerar desde la extracción de materias primas, entre las opiniones sobre sale la necesidad de recurrir a los planes reguladores de cada zona, lo que en ocasiones se convierte en un problema para la implementación de soluciones de vivienda al tener muchas trabas para el desarrollo, aun y así sea para ayudar a las personas que más lo necesitan. A lo que resulta conveniente consultar a nivel municipal el proceder para instalar estos sistemas modulares, para evitar tener problemas en el proceso denominado reconstrucción de los daños.

Para lograr responder al presente objetivo específico, resultó relevante conocer la opinión de los principales cuerpos de emergencias que intervienen situaciones de catástrofe, esto para tener un panorama más claro de lo que concierne a la instalación de refugios de emergencia. Se les realizaron cuatro preguntas y sus respuestas continuación.

Tabla 20

Opinión de cuerpos de emergencia en relación a aspectos relacionados a la factibilidad de implementación de los módulos

Cuerpo de emergencias	Comisión Nacional de Emergencias	Bomberos de Costa Rica
¿Cómo se manejan las situaciones en las que la demanda de casas de emergencia supera el suministro disponible?	Se habilitan albergues	Se habilitan más albergues
¿Cómo se incorporan las innovaciones y mejoras en el diseño y la implementación de las casas de emergencia?	Ya eso si es algo del cual no tengo inherencia.	Para casas en general se están actualizando constantemente los manuales y normas.
¿Cómo se manejan las situaciones en las que las casas de emergencia deben ser reubicadas debido a cambios en las condiciones del desastre?	No he manejado esos casos.	No hemos sabido de esos casos
¿Cómo se abordan las necesidades culturales y sociales de los ocupantes en el diseño y la ubicación de las casas de emergencia?	Es algo muy complicado porque solo nos interesa contener la emergencia, eso que comentas queda en segundo plano.	Para los albergues lastimosamente deben de saber afrontarlas en lo que dure la emergencia.

Nota: creación propia en relación a cuestionario de preguntas aplicado a cuerpos de emergencia.

En dichas respuestas se puede notar como los cuerpos de emergencia centran su atención en el uso de albergues y contener la emergencia, ante el cómo se sentirán las personas al ser colocadas en lugares donde no siempre se coincide social como culturalmente. La idea es solo sobrellevar el momento más no dar estabilidad de un hogar a los usuarios.

Aunque las respuestas en general dejan ver que el realizar un proyecto bien diseñado con todos los aspectos de factibilidad y viabilidad, realmente impactaría en las autoridades de emergencia, esto porque se evidenció que existen muchos vacíos aún en el campo, tales como innovaciones y mejoras en el diseño de los refugios de emergencia, temas de reubicación de hogares consecuencia de las emergencias, así como los aspectos emocionales de los damnificados.

Para poder enlazar las ideas y determinar la factibilidad de los módulos, resultó relevante estimar los costos de producción de cada uno de los módulos para con esto utilizar una matriz especial que brinde los resultados en relación a la temática de estudio que es la factibilidad y viabilidad de los espacios constructivos.

Tabla 21

Presupuesto por unidad para el trópico húmedo

Aspecto	Valor unitario	unidad	Cantidad	Total
Pilotes de 100mmx100mmx3,17mm	¢8 840,00	ml	15	¢132 600,00
Tubo 48mmx72mmx1,83mm	¢2 600,00	ml	51	¢132 600,00
Tubo 48mmx96mmx3,17mm	¢5 550,00	ml	42	¢233 100,00

Tubo 50mm x50mmx1,83mm	¢2 100,00	ml	64	¢134 400,00
Panel Sándwich para cubierta	¢11 524,00	ml	31	¢357 244,00
Panel Sándwich para cerramiento	¢10520,00	ml	41	¢427 220,00
Planchas de acero antideslizante	¢45 000,00	und	6	¢270 000,00
Hule para piso y juntas	¢9 200,00	m2	22	¢202 400,00
Ventanería Policarbonato 4 mm	¢26 123,00	m2	5,39	¢140 800,00
Planchas para platinas y elementos de unión 4mm y 3 mm	¢52 000,00	und	2	¢104 000,00
Zapatas	¢20 457,00	und	15	¢306 850,00
Pernos		gl		¢180 000,00
Cedazo mosquito	¢1 000,00	m2	2	¢2 000,00
Escalera metálica		gl	1	¢45 000,00
Soldadura		gl		¢80 000,00
Batería con alimentación fotovoltaica	¢150 000,00	gl	1	¢150 000,00
Tubería de agua potable una única vía	¢10 000,00	gl	10000	¢10 000,00
Puerta de pino	¢38000,00	und	1	¢38000,00
Pintura anticorrosiva	¢10500,00	und	2	¢21000,00
Total				¢2 939 214,00

Nota: Dichos valores fueron cotizados a precios por unidad y sin ser mayorista a excepción de los paneles sándwich.

Para el refugio de la zona del trópico seco la diferencia es de 70400 colones ya que estructuralmente es exactamente lo mismo, únicamente variando las dimensiones de las

ventanas, mientras que los costos para valle central son exactamente iguales a los del trópico húmedo.

Si bien a nivel de costos, es un valor medianamente elevado para ser una solución temporal, se debe tener en cuenta múltiples factores que lo hacen un producto rentable sobre otros. Por ejemplo, si se utilizaran otros productos para cerramiento y cubiertas, la bioclimatización pasaría a un segundo plano, y estos módulos requerirían de acabados muy costosos, tanto para impermeabilizar como para estética, también aumentando su peso considerablemente y no cumpliendo con el objetivo de no utilizar maquinaria especializada.

Por otro lado, la ventaja de los materiales utilizados es que tienen garantía extendida de hasta 25 años, lo que hace de un módulo duradero y con un mantenimiento básico, que permite no solo dar refugio a familias por un tiempo, sino que puede servir para atender múltiples situaciones de emergencia y por muchos años.

En el mercado existen múltiples soluciones de vivienda, pero muchas de esas nos prevén un periodo de inundación, por ejemplo, de un metro de altura, ni el poder trasladar la vivienda a zonas sumamente alejadas, además que las soluciones en su mayoría requieren maquinaria especializada para crear el material, como concretos y para colocar la estructura en sitio, caso contrario de esta propuesta donde es cien por ciento desarmable y ligera para no necesitar maquinaria.

Para valorar la viabilidad de los tres prototipos en función de costos, durabilidad e impacto ambiental, para la facilidad de implementación en contextos de emergencia se utilizó una matriz llamada “*matriz de decisiones*” la cual es una herramienta para evaluar y seleccionar

la mejor opción entre una variedad de opciones, esto cuando tiene que elegir entre varias opciones y se debe considerar una variedad de factores antes de llegar a la decisión final.

Para construir la matriz primero se darán los siguientes parámetros de medición:

Costos (C):

- 1 (Bajo): Requiere una inversión económica mínima.
- 2 (Regular): Accesible, pero podría haber oportunidades de ahorro.
- 3 (Aceptable): Costos razonables y manejables.
- 4 (Bueno): Eficiente en términos de costos.
- 5 (Excelente): Muy económico y rentable.

Durabilidad (D):

- 1 (Bajo): Poca resistencia o vida útil limitada.
- 2 (Regular): Aceptable, pero podría mejorar la durabilidad.
- 3 (Aceptable): Suficientemente resistente para su propósito.
- 4 (Bueno): Durabilidad sólida y confiable.
- 5 (Excelente): Altamente duradero y robusto.

Impacto ambiental (I):

- 1 (Bajo): Mayor impacto negativo en el medio ambiente.
- 2 (Regular): Aceptable, pero podría ser más sostenible.
- 3 (Aceptable): Considera el equilibrio entre impacto y sostenibilidad.

4 (Bueno): Relativamente amigable con el entorno.

5 (Excelente): Mínimo impacto ambiental.

Facilidad de implementación (F):

1 (Bajo): Desafíos significativos en la implementación.

2 (Regular): Factible, pero podría requerir ajustes.

3 (Aceptable): Implementación manejable y sin complicaciones.

4 (Bueno): Fácil de implementar.

5 (Excelente): Muy sencillo y eficiente.

Ahora se muestran las alternativas

Alternativas (prototipos):

- Trópico Húmedo (TH)
- Trópico Seco (TS)
- Valle Central (VC)

Ahora se procede a construir la matriz y asignar los respectivos valores

Tabla 22*Matriz de decisiones*

Criterio	TH	TS	VC
Costos (C)	3	3	3
Durabilidad (D)	5	5	5
Impacto ambiental (I)	3	3	3
Facilidad de implementación (F)	4	4	4
Promedio de puntuación	<i>3,75</i>	<i>3,75</i>	<i>3,75</i>

Nota: Construcción propia.

En lo que refiere a la interpretación de los datos se dispusieron los siguientes criterios:

Menos de 3,0: La alternativa tiene áreas de mejora significativas y podría no ser la mejor opción.

3,1 – 3,5: La alternativa es aceptable y cumple con los criterios básicos.

3,6 - 4: La alternativa es buena y tiene un desempeño sólido.

Más de 4: La alternativa es excelente y destaca en los criterios evaluados.

Al tener un promedio final de 3,75, se puede decir que la solución de vivienda temporal es buena y tendría un desempeño sólido en su implementación.

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Las altas temperaturas y la humedad constante son características del trópico húmedo. Las viviendas en esta zona deben priorizar la resistencia a la humedad y una ventilación adecuada. Las altas temperaturas persisten en el trópico seco, pero

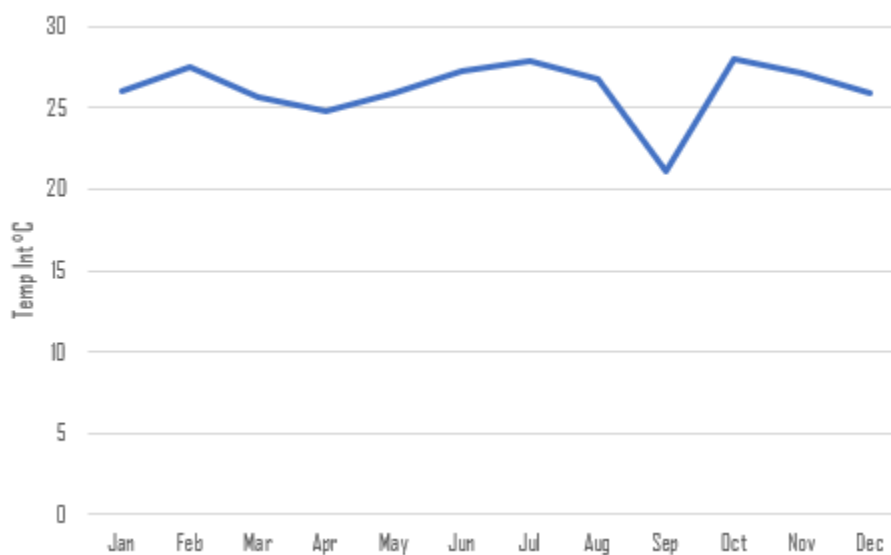
hay menos humedad. Se debe prestar atención a la disponibilidad de agua y a la protección contra el calor extremo.

El clima en el valle central es moderado, pero cambia según la estación. La adaptabilidad a los cambios climáticos y la calefacción en invierno son cruciales.

- En relación con la temperatura, la tabla 4 mostró los límites para la temperatura neutra de cada región estudiada, dando que para el trópico húmedo el rango es de 24,5°C a 27,7°C para el trópico seco es de 24,7°C a 27,9°C y para el valle central es de 22,9°C a 25,2°C. Posterior y con la información climatológica, se realizó un análisis de la temperatura interior que alcanzarán los módulos cuando esté en funcionamiento, con la herramienta SIMEDIFV2_0 y los resultados fueron los siguientes:

Figura 34

Temperatura interior que alcanzará el módulo en el trópico húmedo



Nota: Modelo desarrollado con SIMEDIFV2_0

Figura 35

Temperatura interior que se alcanzará el módulo en el trópico seco



Nota: Modelo desarrollado con SIMEDIFV2_0

Figura 36

Temperatura interior que se alcanzará el módulo en el valle central



Nota: Modelo desarrollado con SIMEDIFV2_0

Como se puede observar el material seleccionado tanto para cerramiento como cubierta, cumple a cabalidad para mantener temperaturas confortables dentro de cada módulo y ayudando a los habitantes a sobrellevar su situación de una manera más digna.

- Según un estudio del Departamento de Física de la Universidad Nacional del Sur de Argentina, se probaron varias chapas de láminas de zinc con colores negro, roja, blanca y galvanizada utilizando luz infrarroja, la temperatura inicial de cada uno fue de 23, 24°C en promedio y la del ambiente de 21°C, dando por resultado que la temperatura máxima alcanzada en °C fueron de 52.74°C, 50.73°C, 49.89°C y 43,7 °C respectivamente. Lo anterior ayudó al presente trabajo de investigación a concluir que el cerramiento de panel Sándwich deberá ser en color blanco y el de la cubierta en color rojo, esto para lograr disminuir en una porción la transferencia de calor hacia el interior de los módulos.
- En lo que respecta a la electricidad de los módulos, se previó que en una situación de emergencia restaurar el fluido eléctrico lleve bastante tiempo en reestablecerse, a lo que cada módulo estará equipado con una batería recargable solar de 500 watts que trabaja con un sistema fotovoltaico de panel de 30 watts. Esta batería estará equipada con una conexión de 110 voltios y dos puertos USB. El panel solar viene con capacidad para cargar la batería y para abastecer 2 bombillos. La duración de la batería es de 6 horas.
- En lo que respecta al agua potable el módulo lateral del lado este contará con una tubería de media pulgada ya lista con prevista para que los personeros encargados de la instalación solo unan la conexión de la zona publica con la del módulo.

- En lo que respecta a los servicios sanitarios y baños, como se espera que la instalación de módulos se realice para varias familias y en un terreno específico, se utilizará un sistema de baños secos, donde en un módulo con dimensiones y estructura iguales al de los refugios se instalarán tres de estos y tres duchas para que los usuarios realicen las tareas de aseo personal.
- La cantidad de módulos por los que se compone la estructura es de diecinueve, divididos de la siguiente manera: fachada norte dos módulos, fachada oeste y este conformada por dos módulos cada una, fachada sur formado por dos módulos, piso de la casa de emergencia formada por cuatro secciones congruentes, tres cerchas y la cubierta formada por cuatro secciones igualmente congruentes. Ver detalle de cotas apéndice G. Con esta cantidad de módulos se estima el peso total de la estructura de 1881 kilogramos. La división de módulos se debe a que no es posible exceder los 2,50 metros de ancho en una carga, según normativa de transporte vigente de Costa Rica.
- En relación con la ventanearía se llega a la conclusión que esta deberá ser de un material que no se quebrante con facilidad, debido a que las ventanas deberán ser desmontadas y montadas en cada ocasión que se requiera utilizar los módulos. Con esto se llega a determinar que las mismas estarán hechas por policarbonato sólido de 5 mm, con un marco en perfil de acero inoxidable en una pulgada por dos pulgadas en calibre 1,20 mm. El tipo de policarbonato a utilizar será el que presenta doble capa de protección UV especial para exteriores, lo que permite que no se tueste ni se cristalice con facilidad.

- Si bien no se puede evitar el impacto ambiental que los materiales utilizados han causado al ambiente, se tiene presente que el solo hecho de reutilizar el módulo de emergencia constantemente para dar refugio a familias víctimas de desastres, ya minimiza el que se produzcan casa de un solo uso, que a la postre, aunque son más económicas, causan más daño al ambiente con su constante explotación.
- En resumen, aunque la construcción de módulos de emergencia puede ser costosa, los beneficios a largo plazo superan ampliamente este inconveniente. El confort y la seguridad que proporcionan a las familias afectadas por desastres son invaluable. Además, la reutilización de estos módulos, adaptándolos para diferentes situaciones, contribuye a la sostenibilidad y ahorra recursos en futuras emergencias. En última instancia, invertir en la construcción de módulos de emergencia es una inversión en la resiliencia y el bienestar de las comunidades vulnerables.

Recomendaciones

- A las entidades encargadas de administrar las emergencias y ONG's se les recomienda que el diseño de viviendas de emergencia debe ser contextualizado y adaptado al clima local. Para crear soluciones efectivas y resilientes, los arquitectos, ingenieros y especialistas en sostenibilidad deben trabajar siempre juntos y no de manera individual.
- En cuanto al diseño estructural de viviendas de emergencia durante la investigación, se recomienda que a los encargados de poner en marcha el proyecto se utilicen los paneles sándwich y estos no se sustituyan por otro elemento ya que,

con sus núcleos aislantes y revestimientos resistentes, estos son una opción efectiva.

Por otro lado, que no se maneje todo el módulo como una estructura monolítica, sino que las estructuras sean desmontables, ya que, en situaciones de emergencia, es esencial tener movilidad y poder instalarse rápidamente.

- Se recomienda que al llegar al sitio donde se ubicará el módulo de emergencia, este tenga su entrada principal situada hacia el norte, además que para instalar las zapatas prefabricadas se realice una excavación (para cada una de ellas) con dimensiones de 65 cm x 65 cm con una profundidad de 80 cm, compactando la tierra sobre y alrededor de ella, posterior a su colocación, esto de manera uniforme cada 20 cm de tierra que coloquen.
- A las personas encargadas de la instalación en sitio se les recomienda respetar el siguiente orden para evitar sobre esfuerzos en quienes sirvan de colaboradoras, y para evitar el uso de maquinaria especializada. El orden será: instalación de zapatas prefabricadas, anclaje de pilotes metálicos, fijación de las cuatro planchas de, fijación de los paneles laterales, colocar las cerchas metálicas y terminar con la cubierta.
- A las organizaciones estatales encargadas de dar refugio a las personas damnificadas a causa de desastres nacionales se les recomienda que la construcción de módulos de emergencia, a pesar de su costo, debe ser considerada como una inversión estratégica en la resiliencia comunitaria. Si bien el factor económico es relevante, no se debe subestimar el valor del confort y la seguridad que proporcionan estos refugios a las familias que han perdido todo. Además, la

reutilización de estos módulos en futuras emergencias no solo optimiza los recursos, sino también fortalece la capacidad de respuesta y adaptación de las comunidades vulnerables. En última instancia, la inversión en módulos de emergencia trasciende lo financiero y se traduce en un apoyo tangible a quienes más lo necesitan.

- Se recomienda a las municipalidades generar una normativa diferenciada para la atención temprana de emergencia en el periodo de reconstrucción de los daños, en cuando el tiempo de respuesta para permisos y demás aspectos tramitológicos sean inmediatos y no se les incluya dentro de tramites ordinarios de todo aspecto tanto constructivo como reconstructivo.

Índice de referencias bibliográficas

Acuña, O y Romero, S. (2014). Estudio y ejemplificación de sistemas constructivos [Tesis de grado, Universidad Técnica superior de arquitectura, Barcelona]. Archivo digital.

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/343196/TFG-210GESTARQ-ARQUITECTURA%20DE%20EMERGENCIA-ESTUDIO%20Y%20EJEMPLIFICACION%20DE%20SISTEMAS%20CONSTRUCTIVOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Aguilar, S. (2021). Diseño y desarrollo de vivienda de emergencia para catástrofes naturales en Bogotá-Colombia [Tesis de grado, Universidad La Gran Colombia]. Archivo digital.

https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/3129/Dise%C3%B1o_desarrollo_vivienda_emergencia.pdf?sequence=1

Aifan, C. (17 de abril de 2024). *Diferencia entre viabilidad y factibilidad*.

https://issuu.com/clauidinaaifanpineda/docs/estudio_de_viabilidad_de_un_proyecto/s/13077803

Barrantes, R. (2012). *Investigación: un camino al conocimiento*. Costa Rica: EUNED

Biocool. (2018). *Bioclimatización por técnicas evaporativas*. https://biocool.info/wp-content/uploads/2018/03/Guia_Bioclimatica_Biocool.pdf

Bomberos de Costa Rica, (2023). *Reglamento nacional de protección contra incendios*. [Archivo pdf]. <https://www.bomberos.go.cr/wp-content/uploads/2023/03/RNPCI-2023.pdf>

Carmioli, V y Escoto, A. (2007). *Refugio Temporal de bambú para casos de Emergencia Nacional* (Informe final). Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Carrasco, C. (2011). *Metodología para el análisis estático y dinámico de estructuras metálicas aplicando el método de los elementos finitos*. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Archivo digital.
https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/1009/CARRASCO_ANGULO_CRISTIAN_ESTRUCTURAS_METALICAS_ELEMENTOS_FINITOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cartagena, M. (2021). *Vivienda de emergencia, trascendencia temporal y material* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana]. Archivo digital.
file:///C:/Users/User/Downloads/VIVIENDA_DE%20EMERGENCIA,%20TRASCENDENCIA%20TEMPORAL%20Y%20MATERIAL.pdf

Castro, P. (2009). Casa+Roja. *Urgencia y materia*, 77, 36-43.

https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-69962011000100006

CSI. (13 de abril de 2024). *Sap 2000*. CSi Spain.

<https://www.csiespana.com/software/2/sap2000#>

CFIA. (2011). *Código Sísmico de Costa Rica*. Editorial Tecnológica de Costa Rica.

<https://www.codigosismico.or.cr/descargas/CSCR2010.pdf>

CFIA. (2023). *Lineamientos técnicos para el cálculo y la aplicación de las fuerzas de viento en el diseño y construcción de edificaciones en Costa Rica*. Imprenta Nacional.

<https://cfia.or.cr/legal/archivos/lineamientos-de-viento-final.pdf>

CFIA. (2020). *Guía para la sostenibilidad en la arquitectura y construcción*. Costa Rica: Editorial Colegio de Arquitectos.

Comisión Nacional de Emergencias. (s. f). *Comisión nacional de prevención de riesgos y atención de emergencias*. Imprenta Universal.

https://www.cne.go.cr/reduccion_riesgo/informacion_educativa/recomendaciones_consejos/documentos/Folleto_Deslizamientos.pdf

Comisión Nacional de Emergencias. (2019). *Guía para el manejo de albergues temporales en edificaciones preestablecidas*. Imprenta Universal.

https://www.cne.go.cr/preparativos_respuestas/documentos/GUIA%20ALBERGUES%20FINAL%202019-11-2019.pdf

Delgado, A, De Justo, E, Lozano, J y Bascón, M. (2016). *Esfuerzos y solicitudes*.

<https://personal.us.es/ejem/wp-content/uploads/2016/02/T04-Esfuerzos-internos.pdf>

Díaz, V. (2021). Prototipo de vivienda para emergencia, con la posibilidad de adaptarse a cualquier lugar [Tesis de grado, Universidad Piloto de Colombia]. Archivo digital.
<http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/11245#:~:text=Por%20esto%2C%20se%20plantean%20dise%C3%B1os%20de%20vivienda%20flexibles,el%20fin%20de%20mejorar%20su%20calidad%20de%20vida.>

El maestro en casa. (s.f). *Regiones socioeconómicas de Costa Rica*.

<https://costarica.elmaestroencasa.com/practicas/estudios-soc-60-segs/central.html>

Foschiatti, A (s.f). *Vulnerabilidad global y pobreza*. Universidad Nacional del Nordeste:

Departamento de Geografía,

<https://hum.unne.edu.ar/revistas/geoweb/Geo2/contenid/vulner1.htm>

García, J. (2013). Aplicación de estrategias pasivas en el diseño arquitectónico [Tesis de grado, Universidad Nacional de ingeniería]. Archivo digital.

<https://ribuni.uni.edu.ni/524/1/38837.pdf>

Garza, J. (03 de octubre del 2016). Costa Rica es el quinto más expuesto a desastres naturales. *La república*.

Gonzales, J. (1990). Análisis del proceso de diseño de estructuras porticadas [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo digital.

https://oa.upm.es/2282/2/JUAN_GONZALEZ_CARCELES.pdf

Gonzalez, L y Vidaud, I. (2009). Factores para evaluar la viabilidad de proyectos de conservación de edificaciones, esenciales, no productivas, en zonas sísmicas. *Ingeniería*, 13(1), 25-39. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46713055003.pdf>

Hernández, R, Fernández, C. y Baptista, P. (2010). Metodología de la Investigación. México: Mc. Graw Hill

Hurtado, J. (2000). Metodología de la Investigación Holística. Venezuela: SYPAL-IUTC.

INVU. (2022). *Reglamento de construcciones*. Imprenta Nacional.
<https://www.invu.go.cr/documents/20181/32857/Reglamento+de+Construcciones>

Kopac, A. (2020). Arquitectura modular de emergencia “Aspectos sostenibles y bioclimáticos en el diseño de sistemas constructivos” [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo digital.

<https://oa.upm.es/63283/#:~:text=%E2%80%9CArquitectura%20Modular%20de%20Emergencia%2C%20aspectos%20sostenibles%20y%20bioclim%C3%A1ticos,buscando%20soluciones%20de%20cara%20a%20una%20mejora%20notable.>

Ley 8488 de 2006. Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo. 11 de enero del 2006.
D.O. No. 08.

Marín, A. (2005). Diseño arquitectónico bioclimático para las instalaciones de un centro agroecológico en la finca experimental Fraijanes [Tesis de grado, Universidad de Costa Rica]. Archivo digital. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/27733>

Martínez, G. (7 de junio de 2023). Estudio de la UCR sobre amenaza sísmica busca estimar la intensidad de futuros terremotos en Costa Rica. *Seminario Universidad*.
<https://suscripciones.semanariouniversidad.com/wp-content/uploads/2023/06/PDF2467.pdf>

Meléndez, J. (2023). Vivienda modular de emergencia, adaptación-integración-comunidad Colombia [Tesis de grado, Universidad Nacional de la Plata]. Archivo digital.

<http://bdzalba.fau.unlp.edu.ar/greenstone/cgi-bin/library.cgi?a=d&c=enseanza&d=pfc1020>

MIVAH. (2018). *Guía de campo: evaluación rápida de viviendas ante una emergencia*.

<https://www.mivah.go.cr/Documentos/emergencias/Guia-evaluacion-rapida-de-viviendas.pdf>

Mesquita, I. (2017). *Módulo habitacional creciente, el diseño de un módulo habitacional creciente para un contexto vulnerable* [Tesis de grado, Universidad de Costa Rica].

Archivo digital. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/6530>

Munar, A. (2022). *Modelo de vivienda de emergencia como respuesta a ciclones tropicales estudio de caso San Andrés* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana]. Archivo

digital. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/62463>

Ramírez, J. (2011). *Cómo diseñar una investigación académica*. Costa Rica: Monte de María editores.

Red Sismológica Nacional. (10 de marzo de 2015). *¿Qué es un sismo?*. RSN.

<https://rsn.ucr.ac.cr/documentos/educativos/sismologia/3669-que-es-un-sismo>

Richmond, K. (2019, setiembre). *Costa Rica es un país altamente vulnerable ante desastres*.

<https://www.ucr.ac.cr/noticias/2019/09/13/costa-rica-esta-en-una-de-las-zonas-mas-vulnerables-del-mundo.html>

Rivera, K. (2018). *Estudio comparativo entre el análisis sísmico estático y dinámico para nuestra estructura regular mayor de 30 m de altura en la ciudad de Huancayo*. [Tesis de grado, Universidad Continental]. Archivo digital.

https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/4835/1/INV_FIN_105_TE_Rivera_Santana_2018.pdf

Rodríguez, F. (2018). Optimización en técnicas de construcción modular [Tesis de grado, Universidad Técnica Federico Santa María]. Archivo digital.

<https://repositorio.usm.cl/server/api/core/bitstreams/582bed75-de80-4f2a-8ed5-0e0ab65c7b87/content>

Rojas, O y Martínez, C. (2011). Riesgos naturales: evolución y modelos conceptuales. *Revista universitaria de geografía*, 20, 83-116.

<https://www.redalyc.org/pdf/3832/383239103004.pdf>

Sánchez, J. (2014). Construcción modular ligera energéticamente eficiente [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo digital.

https://oa.upm.es/40342/1/JUAN_CARLOS_SANCHEZ_GONZALEZ.pdf

Solano, F. (2018). Diseño de un Módulo Espacial Temporal y Multifuncional, de Soporte para la Comunidad Migrante Indígena Ngobe-Buglé, durante la Recolección de Café en el Cantón de Tarrazú, Zona de los Santos [Tesis de grado, Universidad de Costa Rica].

Archivo digital. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/xmlui/handle/123456789/6211>

Solano y Villalobos. (s. f). *Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica*. [Archivo pdf].

<https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Regionalizaci%C3%B3n%20clim%C3%A1tica%20de%20Costa%20Rica>

Torres, R. (2018). Hábitat temporal de emergencia [Tesis de grado, Universidad de Costa Rica].

Archivo digital. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/handle/10669/78197>

Universidad Politécnica de Cartagena. (s.f). Estudio de viabilidad [Archivo pdf].

https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/11564/mod_resource/content/1/Tema%202.%20Estudio%20de%20viabilidad.pdf

Universidad Nacional del Sur. (s.f). ¿La elección del color del techo es sólo una cuestión estética? [Archivo pdf].

http://www.fisica.uns.edu.ar/albert/archivos/21/255/2517028968_resumen_chapas_colores.pdf

Uribe, J. (2002). *Análisis de estructuras*. ECOE ediciones.

<https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/1796/AnalisisdeEstructurasJairoUribe.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

Apéndices

Apéndice A. Cuestionario dirigido al personal encargado de atender emergencias a nivel nacional

Universidad Central

Facultad de ingeniería y arquitectura



Licenciatura en Ingeniería Civil

Cuestionario dirigido al personal encargado de atender emergencias a nivel nacional

Estimados profesionales:

Lo que a continuación se les presenta, es un cuestionario con una serie de preguntas, que tienen por objeto diseñar y analizar tres prototipos de viviendas modulares de interés social, adaptadas bioclimáticamente para el trópico húmedo, trópico seco y valle central, para la atención de emergencias ante desastres naturales, en la etapa de recuperación de daños. Por lo cual se le solicita respetuosamente responder a cada una de las preguntas que se le presenten.

Se le informa que las respuestas dadas en este cuestionario gozarán de total confidencialidad, por lo cual siéntase confiado al contestar cada una de ellas con la sinceridad del caso.

Datos generales:

- a. Puesto que desempeña dentro de la institución: _____
- b. Profesión u oficio: _____
- c. Años al servicio de la institución:

() Entre 1 y 5 años

Entre 6 años y 10 años

Entre 11 años y 15 años

Entre 16 años y 20 años

Más de 21 años

Datos específicos:

En los ítems del 1 al 26 responda de manera amplia lo que se le solicita.

1. ¿Para cuáles de los siguientes desastres naturales le ha tocado coordinar asesoría en materia de vivienda y damnificados?

Inundaciones

Terremotos

Deslizamientos

otro: _____

2. Cuando acuden a la emergencia y existen damnificados ¿Cuál es el promedio de miembros por familia que se reportan?

3. ¿Cuál es el primer paso en el proceso de instalación de una casa de emergencia después de un desastre?

4. ¿Qué consideraciones de seguridad deben tenerse en cuenta al seleccionar la ubicación para una casa de emergencia?

5. ¿Existe alguna normativa para la instalación de estos refugios de emergencia, en el momento que suceda el evento? Si la existe ¿puede ampliar al respecto?

6. ¿Cómo se asegura que las casas de emergencia sean resistentes a las condiciones climáticas adversas?
7. ¿Qué materiales se utilizan comúnmente en la construcción de casas de emergencia y por qué?
8. ¿Cómo se maneja la distribución de las casas de emergencia para garantizar que lleguen a quienes más las necesitan?
9. ¿Qué medidas se toman para garantizar la privacidad y la dignidad de los ocupantes de las casas de emergencia?
10. ¿Cómo se abordan las necesidades especiales, como la accesibilidad para las personas con discapacidades, en el diseño de las casas de emergencia?
11. ¿Cuál es el protocolo para el mantenimiento y la reparación de las casas de emergencia?
12. ¿Cómo se maneja la transición de las casas de emergencia a la vivienda permanente?
13. ¿Qué capacitación se proporciona a los miembros de la Comisión Nacional de Emergencias en relación con las casas de emergencia?
14. ¿Cómo se manejan las preocupaciones de salud e higiene en las casas de emergencia?
15. ¿Qué papel juegan las comunidades locales en el proceso de instalación de las casas de emergencia?
16. ¿Cómo se maneja la logística de transporte e instalación de las casas de emergencia?
17. ¿Qué papel juegan los socios y donantes en el programa de casas de emergencia?
18. ¿Cómo se evalúa la efectividad y la eficiencia de las casas de emergencia después de su instalación?
19. ¿Qué características bioclimáticas considera importantes para las viviendas modulares de interés social que se utilizan en la atención de emergencias?

20. ¿Tiene alguna experiencia con el uso de viviendas bioclimáticas en la respuesta a desastres naturales? Si es así, ¿qué lecciones aprendieron?
21. ¿Qué recomendaciones tiene para la incorporación de principios bioclimáticos en el diseño de viviendas modulares de interés social para la atención de emergencias?
22. ¿Cómo se manejan las situaciones en las que la demanda de casas de emergencia supera el suministro disponible?
23. ¿Cómo se incorporan las innovaciones y mejoras en el diseño y la implementación de las casas de emergencia?
24. ¿Cómo se manejan las situaciones en las que las casas de emergencia deben ser reubicadas debido a cambios en las condiciones del desastre?
25. ¿Cómo se abordan las necesidades culturales y sociales de los ocupantes en el diseño y la ubicación de las casas de emergencia?

Apéndice B. Cuestionario dirigido a personal profesional en diseño estructural de las principales entidades del país

Universidad Central

Facultad de ingeniería y arquitectura

Licenciatura en Ingeniería Civil



Cuestionario dirigido a personal profesional en diseño estructural de las principales entidades del país.

Estimados profesionales:

Lo que a continuación se les presenta, es un cuestionario con una serie de preguntas, que tienen por objeto diseñar y analizar tres prototipos de viviendas modulares de interés social, adaptadas bioclimáticamente para el trópico húmedo, trópico seco y valle central, para la atención de emergencias ante desastres naturales, en la etapa de recuperación de daños, por lo cual se le solicita respetuosamente responder a cada una de las preguntas que se le presenten.

Se le informa que las respuestas dadas en este cuestionario gozarán de total confidencialidad, por lo cual siéntase confiado al contestar cada una de ellas con la sinceridad del caso.

Datos generales:

a. Profesión u oficio: _____

b. Años al servicio de la institución:

() Entre 1 y 5 años

() Entre 6 años y 10 años

() Entre 11 años y 15 años

() Entre 16 años y 20 años

() Más de 21 años

Datos específicos:

En los ítems del 1 al 18 responda de manera amplia lo que se le solicita.

Introducción y Contexto:

1. ¿Cuál es su experiencia previa en el diseño y análisis de viviendas modulares?
2. ¿Ha trabajado en proyectos relacionados con viviendas de interés social o adaptadas bioclimáticamente?

Consideraciones Climáticas:

3. ¿Qué factores climáticos debemos tener en cuenta al diseñar viviendas modulares para el trópico húmedo, trópico seco y valle central?
4. ¿Cómo afecta la humedad, la temperatura y la radiación solar al diseño estructural?

Selección de Materiales:

5. ¿Qué materiales estructurales recomienda para los módulos? ¿Por qué?
6. ¿Cómo evaluaría la resistencia, durabilidad y sostenibilidad de estos materiales?

Diseño Modular:

7. ¿Cuáles son los principios clave para diseñar módulos que sean fáciles de ensamblar y desmontar?

8. ¿Qué consideraciones debemos de tener en cuenta para la producción en serie y la reducción de mano de obra?

Cimentación y Estructura:

9. ¿Qué tipo de cimentación es más adecuado para viviendas modulares?
10. Bajo su criterio profesional ¿Cómo diseñar la estructura de marco para resistir cargas sísmicas y de viento?
11. Para las uniones de los módulos ¿Cuál mecanismo considera y es el más efectivo y versátil?

Servicios e Instalaciones:

12. ¿Qué sistemas eléctricos, de fontanería y de calefacción recomienda para estos módulos?
13. ¿Cómo integrar sistemas fotovoltaicos y de reutilización de agua?

Análisis del Ciclo de Vida:

14. ¿Cómo evaluar el impacto ambiental de los materiales y procesos de construcción?
15. ¿Qué aspectos debemos considerar desde la extracción de materias primas hasta el desmontaje de las viviendas?

Comparativa de Materiales:

16. ¿Puedes proporcionar una comparación entre madera, hormigón y acero en términos de conductividad eléctrica, resistencia y durabilidad?
17. ¿Cuál de estos materiales consideras más adecuado para viviendas modulares?

Aplicación Práctica:

18. ¿Has trabajado en proyectos similares? ¿Puedes compartir ejemplos o lecciones aprendidas?

Apéndice C. Matriz de análisis de condiciones climáticas y ambientales.

Datos Generales:

Fuente de Información: _____

Fecha de Revisión: _____

Equipo/Analista: _____

Dimensión Geográfica: Trópico húmedo, trópico seco o valle central.

Criterio de Análisis: Relevancia, actualidad, calidad.

Atributos Específicos:

Para cada zona, considerar los siguientes atributos:

Atributos a considerar	Trópico húmedo	Trópico seco	Valle central
Temperatura máxima registrada en los últimos periodos por la estación más representativa.			
Temperatura mínima registrada en los últimos periodos por la estación más representativa.			
Humedad relativa.			
Precipitación anual.			

Estacionalidad de lluvias.			
Riesgos naturales (huracanes, sequías, inundaciones, etc.).			

Apéndice D. Matriz para agrupar la documentación utilizada en el diseño general.

Datos Generales:

	Diseño	
Documento o norma	Estructural y arquitectónico	Bioclimático

Apéndice E. Datos climatológicos de tres estaciones meteorológicas representativas de los trópicos y valle central

Tabla E-1

Estación representativa del trópico húmedo

ESTACIÓN																
Cuenca	100	Estacion	641	Nombre	COOPEAGROPAL, LAUREL				Latitud	: 8° 28 " N		Longitud	: 82° 51 " O		Altitud	: 16 m.s.n.m.
Año_Inicio	Año_Final	Elementos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	Promedio
2008	2022	Lluvia	81.7	74.1	114.4	250.1	332.9	336.4	403.1	382.5	384.4	479.2	489.8	201.9	3530.5	-
2008	2022	Días con lluvia	14.0	11.0	15.0	21.0	26.0	23.0	27.0	25.0	27.0	28.0	28.0	20.0	265.0	-
2008	2022	Temp. Máxima	33.4	34.4	34.8	33.7	32.6	32.2	32.1	32.2	32.2	31.2	31.2	32.3	-	32.7
2008	2022	Temp. Mínima	21.6	21.5	22.0	22.4	22.4	22.8	22.9	22.8	22.8	22.7	22.5	22.1	-	22.4
2008	2022	Temp. Media	27.5	27.9	28.4	28.0	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	26.9	26.9	27.2	-	27.5
2008	2022	Humedad	85.5	83.0	82.7	86.4	89.0	90.0	90.0	90.2	90.3	91.5	90.4	88.8	-	88.2
2008	2022	Velocidad	1.8	1.8	1.9	1.8	2.0	2.0	1.9	2.0	2.1	2.0	1.9	1.8	-	1.9
2008	2022	Dirección Pred.	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	-	-
2008	2022	Radiación	17.1	18.1	17.6	16.7	15.2	13.6	14.5	14.3	15.2	13.8	13.7	14.3	-	15.3
UNIDADES																
--Viento: * Velocidad: Km/h: Kilómetros por hora. * Dirección Predominante: 1 Norte, 2 Noreste, 3 Este, 4 Sureste, 5 Sur, 6 Suroeste, 7 Oeste, 8 Noroeste, 9 Variable.																
--Lluvia: *Lluvia en milímetros: 1mm = 1 litro de agua por m². *Promedio días con lluvia>=0.1mm.																
--Radiación solar global: *Megaluios (MJ/m²) --Temperatura: *Grados Celsius(°C) --Humedad relativa: *Porcentaje (%)																

Nota: Datos suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional.

Tabla E-3

Estación representativa del Valle Central

INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL DEPARTAMENTO DE INFORMACION PROMEDIOS MENSUALES DE DATOS CLIMATICOS (estaciones automáticas)																
ESTACION : 84 141 IMN, ARANJUEZ			Latitud: 09 ° 56 'N Longitud: 84 ° 04 'O Altitud. 1181													
m.s.n.m																
Elementos			Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.	Total
LLUVIA	1999	2019	12,5	9,1	10,7	45,3	250,0	249,1	173,2	207,4	317,8	301,7	132,0	28,8	144,8	1737,7
TEM.MAX.	1999	2019	22,9	23,5	24,4	25,6	26,2	26,2	25,3	25,8	26,3	25,5	24,2	23,3	24,9	
TEM.MIN.	1999	2019	16,4	16,3	16,7	17,6	18,1	18,1	17,9	17,9	17,6	17,5	17,2	16,8	17,3	
TEM.MED.	1999	2019	19,6	19,9	20,6	21,6	22,2	22,1	21,6	21,8	21,9	21,5	20,7	20,0	21,1	
HUMEDAD	1999	2019	73,3	71,5	71,0	71,8	77,2	78,2	76,6	77,1	79,1	80,5	77,8	74,7	75,7	
VIENTO VEL.	1999	2019	14,0	14,1	13,7	11,9	8,7	8,0	9,3	8,4	7,0	7,0	9,8	12,2	10,3	
RADIACION	1999	2019	13,3	15,9	17,8	17,1	13,6	11,9	11,7	12,6	12,5	11,4	9,9	11,2	13,2	
PRESION	1998	2020	882,7	882,7	882,5	882,3	882,3	882,4	882,6	882,5	882,4	882,1	882,0	882,5	882,4	
VIENTO DIR. PREDOMINANTE			2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2		Total
Promedio días con lluvia >= 0.1 mm.			4	3	3	8	20	21	20	22	23	25	17	7	175	
<p>Lluvia en milímetros: 1mm = 1 litro de agua por m². Radiación Solar global en Megajulios (MJ/m²) Temperatura en Grados Celsius (°C). Evaporación en mm. Viento en km/h. Humedad Relativa en Porcentaje (%). VIENTO DIR PREDOM : 1 Norte, 2 Noreste , 3 Este, 4 Sureste, 5 Sur, 6 Suroeste, 7 Oeste, 8 Noreste, 9 Variable Brillo Solar en horas y décimas de horas. Presión hPa.</p>																

Nota: Datos suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional.

Apéndice F. Diseño terminado de la vivienda de emergencia modular en diferentes situaciones climatológicas.

Figura F-1

Casa de emergencia en un clima húmedo



Nota: Imagen de creación propia.

Figura F-2

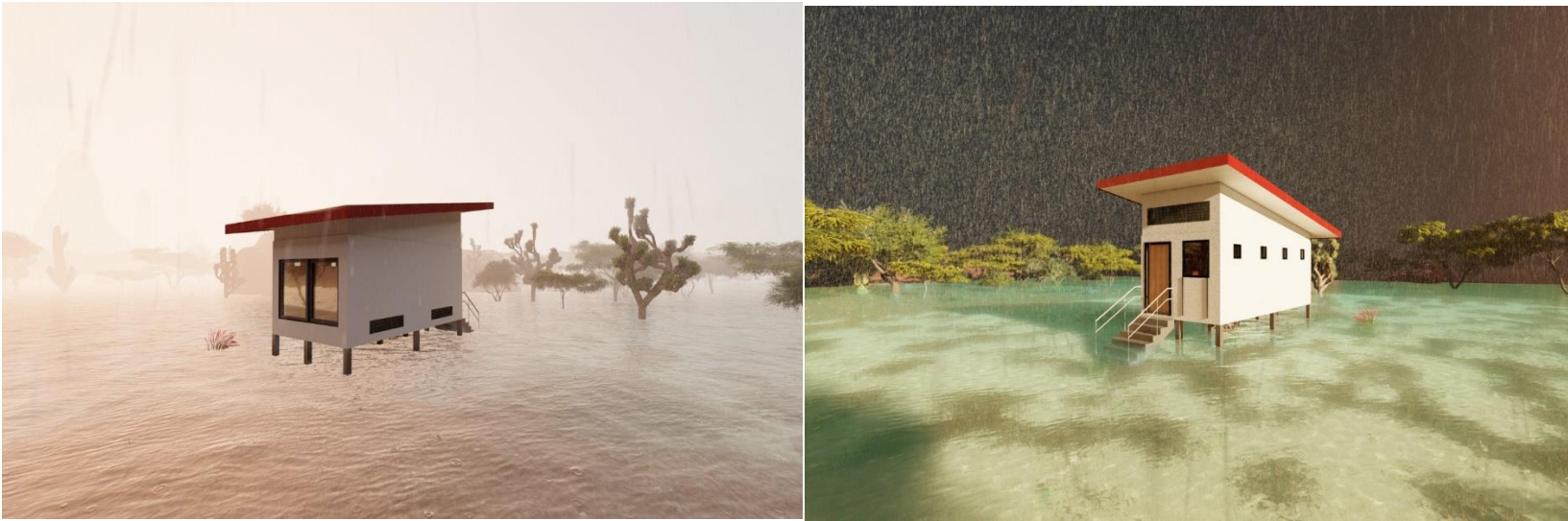
Casa de emergencia en un clima seco



Nota: Imagen de creación propia.

Figura F-3

Casa de emergencia en una situación de inundación



Nota: Imágenes de creación propia.

Figura F-4

Casa de emergencia en una situación de lluvia torrencial



Nota: Imagen de creación propia.