

**DISEÑO DE VIVIENDA  
DE EMERGENCIA  
SUSTENTABLE PARA  
ZONAS AFECTADAS  
POR LOS SISMOS  
EN EL ISTMO DE  
TEHUANTEPEC,  
OAXACA**

---

*German Alberto Parma Valenzuela*

<https://orcid.org/0000-0002-6328-0711>

*Rafael Alavéz Ramírez*

<https://orcid.org/0000-0003-0246-0812>

*José Luis Caballero Montes*

<https://orcid.org/0000-0003-3634-2080>

All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-Non-Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).



**Resumen:** Este proyecto tiene como objetivo diseñar una vivienda de emergencia para el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, con criterios sustentables. Se realizó un análisis bioclimático y un proceso de diseño participativo para la conceptualización de la vivienda. Se llevó a cabo un estudio de materiales naturales de la región mediante un análisis energético con el Software Ener-habitat. Los resultados fueron la definición de estrategias de diseño para una vivienda de 14 m<sup>2</sup> con un sistema constructivo prefabricado híbrido de tierra, paja y madera. Se concluye que es necesario aportar soluciones de vivienda que atiendan situaciones de emergencia con modelos sostenibles.

**Palabras clave:** Diseño participativo, materiales naturales, sustentabilidad, sismos.

## INTRODUCCIÓN

A pesar de las múltiples experiencias de desastres naturales y climáticos en México que han dejado miles de damnificados y viviendas dañadas o con pérdidas totales, se siguen repitiendo patrones deficientes para dar solución a la problemática de vivienda ante la emergencia. El caso más reciente en nuestro país fue el de los sismos de septiembre de 2017, donde hubo aproximadamente 171,925 viviendas dañadas en diferentes estados. En particular, el más afectado fue Oaxaca con 65,044 viviendas dañadas, principalmente en la zona del Istmo de Tehuantepec (SEDATU, 2017). Ante esta situación ONG's, asociaciones civiles, gobierno entre otros, apoyaron con programas de construcción de vivienda nueva; sin embargo, la mayor parte de los proyectos de casas no cumplieron con condiciones mínimas de habitabilidad.

Una de estas condiciones está relacionada con el confort térmico, ya que las casas fueron construidas con materiales que no se adecuan a las condiciones climáticas de la región. Otros de los problemas fue el relacionado con

la dimensión físico-espacial; no se respetan alturas, modos de vivir y elementos que le dan identidad a la vivienda de la región.

Lo anterior, ha generado la poca apropiación de las viviendas por parte de las familias que obliga al desarrollo de proyectos para promover la sustentabilidad que se adapten al contexto del sitio, que integren las prácticas tradicionales con tecnologías de construcción alternativas, dando como resultado modelos de diseño participativo para crear comunidades sostenibles con soluciones arquitectónicas y bioclimáticas específicas (Moreno, 2011).

Para dar una solución a la problemática descrita se planteó un proyecto de vivienda de emergencia con crecimiento progresivo a partir de un módulo básico de 14m<sup>2</sup> que tienda a una vivienda permanente y satisfaga condiciones de habitabilidad (Figura 1). El proceso de diseño de la vivienda se conceptualizó bajo criterios de sustentabilidad, para ello, se emplearon dos metodologías principales, la de Fuentes (2002) para dar solución a la parte bioclimática, y la metodología de diseño participativo de soportes y unidades separables (Habraken, 1974) que involucró a personas de la ciudad de Ixtepec en el Istmo de Oaxaca para tomar en cuenta su problemática en cuanto al hábitat dañado y los gustos y preferencias para las viviendas nuevas que les fueran construidas con diferentes apoyos.

Un componente importante para el diseño de una vivienda sustentable lo representan los materiales y sistemas de construcción con una selección adecuada y sustentada en análisis térmicos para determinar su buen o mal desempeño, con ello se garantizaría el confort interior de las edificaciones.

Actualmente existen una gran cantidad de aislamientos que hacen uso de materiales naturales o desechos orgánicos (corcho, bolas de arcilla expandida, tableros de fibras de madera, copos de celulosa a partir de

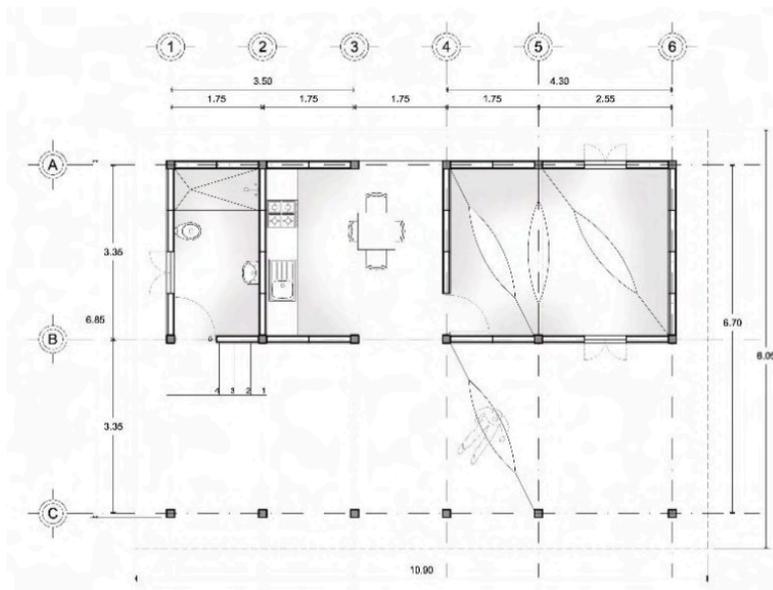


Figura 1. Planta arquitectónica de VE. Módulo semilla + módulo de servicios y corredor.

Fuente (elaboración propia).

papel periódico, cascaras de coco, etc.) por sus especiales características ambientales e higrotérmicas. Se conoce que los materiales y sistemas constructivos con tierra ofrecen confort térmico en las viviendas. Esta investigación tiene como objetivo diseñar una vivienda de emergencia para el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, con criterios sustentables mediante un análisis bioclimático y un proceso de diseño participativo para la conceptualización de la vivienda.

## MARCO CONCEPTUAL

Las referencias conceptuales, son todos aquellos conceptos relacionados entre sí, que orientan la comprensión del objeto de estudio. Para este trabajo, se tomaron en cuenta los conceptos:

1. Sustentabilidad
2. Vivienda sustentable
3. Diseño bioclimático
4. Diseño participativo
5. Vivienda de emergencia
6. Ecotecnologías.

## SUSTENTABILIDAD

Cuando se habla de sustentabilidad o sostenibilidad no es fácil desasociarlo con el desarrollo sostenible. La Comisión Brundtland (1987) define este tipo de desarrollo como aquel “que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades”. Edwards (2010) define la sustentabilidad como un proceso en donde se involucran las dimensiones sociales, económicas, ambientales y culturales.

Autores de bibliografía especializada en arquitectura (Fuentes, 2012; Bazant, 2012; Ruano, 2010) señalan que la sustentabilidad tiene una amplia competencia en la arquitectura y lo relacionan directamente con el medio ambiente, de allí la importancia de este en la proyección y el diseño de soluciones arquitectónicas que aprovechen al máximo los factores naturales de una forma racional, para reducir el deterioro ambiental causado por el desarrollo; con ello se preservaran los recursos naturales para las generaciones futuras.

## **VIVIENDA SUSTENTABLE**

El concepto de vivienda sustentable ha cambiado actualmente ya que ha dejado de ser considerada como un “estilo arquitectónico” para concebirse como una forma integral de concebir un proyecto desde su conceptualización, diseño, construcción, uso y posterior demolición cuando termine su ciclo de vida.

Paz et al (2015) argumenta que es necesario clarificar el concepto de sustentable y diferenciarlo entre lo que se conoce como vivienda ecológica, verde, bioclimática, etc., ya que no solamente se debe cumplir con criterios a favor de la huella ecológica (dimensión ambiental), sino que se deben considerar las otras dos dimensiones de la sustentabilidad; la social y la económica. A partir de esto, y de la clarificación del concepto se pasaría a la concientización y difusión de los beneficios de este modelo de vivienda.

La Comisión Nacional de la Vivienda (CONAVI) en México ha formulado criterios e indicadores para la vivienda sustentable, siendo algunos de uso general que repercuten en el uso eficiente de la energía, del agua y manejo adecuado de residuos. Lo que obliga a la necesidad de realizar análisis particulares de acuerdo con la región climática de las distintas zonas del país para que las soluciones sean más adecuadas al contexto ambiental, social y económico donde se proyecten las viviendas.

## **DISEÑO BIOCLIMÁTICO**

El correcto manejo del medio natural en el diseño bioclimático es de suma importancia ya que con él se pueden diseñar medios pasivos de control climático. Lo anterior, obliga a conocer los principios fundamentales y ventajas para un adecuado manejo de los recursos que se encuentra en el medio ambiente para satisfacer necesidades de vivienda con un enfoque de sustentabilidad.

El objetivo del diseño bioclimático es

volver al origen y restablecer la relación entre el ser humano y el clima, pues cada diseño debe concretizar un microcosmos estrecho con su medio ambiente donde el clima juega una función vital en las dimensiones fundamentales del hábitat (Ugarte, 2000 citado en Moreno, 2011).

Una de las metodologías de diseño bioclimático de mayor aplicación en México es la desarrollada por Fuentes (2004) la cual se emplea en este trabajo y consta de seis ejes principales: objetivo, análisis del sitio y el entorno, el usuario, definición de estrategias de diseño, anteproyecto y evaluación del anteproyecto. Con el análisis de la información de cada una de las fases el resultado final son las estrategias y conceptos de diseño bioclimático, se hace un anteproyecto de la vivienda y se evalúa.

## **DISEÑO PARTICIPATIVO**

En la actualidad es cada vez más importante para los técnicos (arquitectos, ingenieros, diseñadores) conocer las necesidades de las personas en un entorno participativo. De esta manera los diseños de los espacios se acercan más a las formas de habitar, cumplen con su función social y sus usuarios o habitantes los sienten suyos. La participación de la comunidad en el diseño preliminar de modelos de vivienda se basa en reuniones comunitarias de trabajo, planteadas en una primera etapa como conversaciones con propuestas, y en una segunda trabajadas con bosquejos y maquetas de estudio espaciales preliminares (Pulgar, 2011).

La metodología participativa comprende una acción en dos sentidos donde los arquitectos planificadores aprenden de los participantes y los participantes aprenden de los planificadores. Esta metodología está basada en una dialéctica entre el arquitecto y el usuario donde la propia comunidad aporta información y deja conocer cuáles

son sus necesidades; las personas reconocen sus problemas y sus condiciones de vida y a partir de ello se sensibilizan y se genera una participación más dinámica (Rivera, O'Neil, & Quiles, 2017).

## **VIVIENDA DE EMERGENCIA**

Un concepto importante de este trabajo lo es la vivienda de emergencia a partir de la cual surge la necesidad de poder proyectar casas para lugares que han sufrido el embate de eventos naturales como los sismos. Lo anterior, considerando una serie de factores no solamente físicos sino también que tienen que ver con aspectos ambientales y sociales, que permitan ofrecer soluciones de viviendas integrales que tiendan a ser permanentes y no solo ofrezcan alojamientos provisionales como lo que se ha conceptualizado de la vivienda de emergencia.

La vivienda de emergencia según Fontana et al. (2014) la definen como un módulo habitacional de una organización social transitoria, que permite a los damnificados atravesar el periodo de carencia de una vivienda permanente en adecuadas condiciones de seguridad física y emocional, con un grado aceptable de intimidad, y al abrigo de las inclemencias del clima, que facilita el acopio de sus bienes materiales personales, y que luego de finalizado su periodo de uso es capaz de desarmarse y de ser reutilizado. Gordillo (2004), señala que es una solución decisiva para la supervivencia, ya que alberga momentáneamente a personas frente a condiciones ambientales adversas susceptibles de ser afectadas en su seguridad y salud.

## **ECOTECNOLOGÍAS**

Autores definen el término ecotecnología como: “Dispositivos, métodos y procesos que propician una relación armónica con el ambiente y buscan brindar beneficios sociales

y económicos tangibles a sus usuarios, con referencia a un contexto socio ecológico específico” (Ortiz et al., 2014). Es decir, son dispositivos proyectados para satisfacer necesidades básicas o para mejorar el confort, adaptadas al contexto donde se aplican. Se toma esta definición por ser la que engloba mejor todos los términos relacionados y toma en cuenta los tres ejes de la sustentabilidad, social, económico y ambiental.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **METODOLOGÍA DEL PROYECTO**

Fase 1. Diseño Bioclimático de la vivienda

La primer metodología empleada para cumplir con el objetivo de la investigación se basó en el diseño bioclimático que propone Fuentes (2002) que consiste en elaborar una serie de análisis: del sitio, del usuario y climático para definir estrategias de diseño, que influyen en el tamaño, la forma y la proporción de los espacios, los elementos arquitectónicos, materiales e instalaciones. Lo anterior, para crear condiciones de habitabilidad para los usuarios, a la vez que se hace un uso eficiente de los recursos naturales y de la energía. Una vez que se identificaron las estrategias de diseño en base a los análisis mencionados se tomó una de las estrategias que juega un papel importante para crear condiciones de confort en las viviendas: los materiales y sistemas de construcción.

Para seleccionar adecuadamente los materiales de la vivienda se realizó una revisión bibliográfica para conocer las características constructivas y tipología arquitectónica del Istmo de Tehuantepec. Además, se realizaron visitas de campo en ciudad Ixtepec, uno de los sitios con mayor afectación de viviendas y otras comunidades cercanas a esta donde se hizo un levantamiento y de fichas técnicas de viviendas con tipología tradicional. Con la información recabada y analizada se pudo establecer las posibilidades constructivas para

el diseño de la vivienda, a partir de técnicas constructivas locales con el uso de tierra y otros materiales naturales. De lo anterior se seleccionaron cuatro sistemas de construcción (SC):

- S.C.1. Bajareque relleno con tierra
- S.C.2. Bajareque relleno con piedra
- S.C.3. Bajareque relleno con pasto
- S.C.4. Muro de ladrillo

Se realizó un estudio comparativo de los cuatro sistemas los cuales fueron sometidos a un análisis térmico para calcular la amortiguación de la onda y desfase térmico, ya que al combinar de manera adecuada los valores de ambos fenómenos se mantiene la temperatura al interior de la vivienda en el rango de zona de confort sin necesidad de un mayor aporte energético adicional, es decir, se tiene un ahorro energético en cuanto al uso de refrigeración o calefacción y menores emisiones de contaminantes.

Para el análisis térmico se empleó el software Ener-hábitat de simulación digital de los cuatro componentes (S.C.1, S.C.2, S.C.3, S.C.4) en estudio. Este software es una herramienta de simulación numérica para comparar el desempeño térmico de sistemas constructivos de techos y muros, el cual analiza datos de conductividad ( $W/m^{\circ}C$ ), calor específico ( $J/kg^{\circ}C$ ) y densidad ( $kg/m^3$ ). Se hizo una comparación de los cuatro sistemas con y sin aire acondicionado, tomando este criterio debido a que el parámetro principal es la energía térmica que entra a la edificación por unidad de área de acuerdo con el material con el que está construido. Lo que permite el análisis térmico es identificar cual es el mejor sistema constructivo de acuerdo con el que presente menor Factor de Decremento. Con aire acondicionado el parámetro principal de comparación es la carga térmica por unidad de área debida a la transferencia de calor por el tipo de sistema constructivo.

Con los datos obtenidos del análisis térmico se seleccionó el componente constructivo que tuvo el mejor comportamiento térmico para a partir de este diseñar un sistema constructivo para los muros y techo de la vivienda.

Fase 2. Diseño arquitectónico de la Vivienda de Emergencia (VE)

En esta fase se trabajó en el diseño de la VE a partir de un diagnóstico de campo y con talleres con personas de la comunidad de Ixtepec, Oaxaca donde se aplicaron metodologías participativas.

#### a) Diagnóstico

El propósito del diagnóstico de la comunidad fue conocer sus condicionantes económicos, políticos y socio culturales, por medio de entrevistas y observación participante. Se diseñaron instrumentos para la recolección de datos, para la caracterización de la vivienda tradicional y se hizo un análisis tipológico basado en la metodología de López (2012), en el que se consideran aspectos formales, funcionales y de adaptación al medio.

Se seleccionaron seis viviendas tradicionales en Ciudad Ixtepec, Oaxaca tomando como criterio o variable las modificaciones que han tenido a lo largo del tiempo; por tal motivo se realizaron levantamientos en dos viviendas que no habían sufrido modificación alguna; dos con algunas modificaciones tanto en el interior como en el exterior, y otras dos viviendas donde se han agregado espacios que han cambiado los modos de habitar tradicionales.

Para el caso de las viviendas de emergencia que fueron construidas de forma provisional para atender la emergencia suscitada en el 2017 en la región, se diseñó un cuestionario para aplicar entrevistas a familias que las habitan actualmente. El objetivo de este instrumento fue conocer la percepción que tiene la población sobre los sismos ocurridos,

que tan apropiados están de las viviendas que les fueron construidas, que opinaban sobre el confort de sus espacios, entre otros cuestionamientos. Lo que se buscaba era indagar sobre información que pudiera dar un panorama sobre si las viviendas de emergencia satisfacen condiciones de habitabilidad, así como si era posible que estos espacios se consoliden a lo largo del tiempo para llegar a ser una vivienda permanente.

Para complementar el estudio de las VE se hizo una adaptación a la cédula de identificación de vivienda diseñada en la Universidad de Guerrero por López (2012), la cual considera aspectos tanto físicos como psico-sociales (modos de habitar, elementos de identidad arquitectónica, simbolismos, etc.). El instrumento se complementó con levantamiento físico y fotográfico para conocer detalles arquitectónicos, elementos adosados, tamaño y ubicación de vanos, así como las condiciones interiores y exteriores de las viviendas identificadas. Este instrumento se aplicó a propietarios de las seis viviendas de emergencia mencionadas.

El diagnóstico en la comunidad se complementó con la aplicación de entrevistas, pláticas informales y observación participante en diferentes actividades que se llevan a cabo en la comunidad seleccionada, para conocer un poco más de los habitantes de la zona, y obtener información primaria sobre la problemática y necesidades de sus viviendas que fueron dañadas por los sismos.

#### b) Talleres de diseño participativo

En los talleres se emplearon metodologías de diseño participativo (opciones y métodos de soporte y unidades separables) de Habraken (1974), y el Método Livingston (2006), con lo que se logró definir el elemento de soporte de la vivienda y varias opciones de modelo de vivienda en maqueta y en modelos 3d.

Ambas metodologías apoyan la idea de que los habitantes deben tomar todas las decisiones en el proceso del diseño de su vivienda, y pueden modificarla y adaptarla a sus necesidades a lo largo del tiempo.

En la primera metodología los pasos para seguir, como lo describen Romero, et al. (2004) son: primero encontrar un soporte para la vivienda, es decir, los elementos que no se podrán modificar, ni si quiera por el usuario, y segundo, se clasifican los espacios que serán las unidades separables de acuerdo con su función, posición y dimensión, para plantear las posibles combinaciones de estos dentro del soporte. Lo anterior tiene la finalidad de no es llegar a una planta arquitectónica final, si no que el diseño se evalúa por su capacidad de ofrecer diferentes posibilidades de adaptación, crecimiento y modificación por parte de los usuarios. Al mismo tiempo se aplicó el método de Livingston, en el que, por medio de dinámicas adaptadas de la psicología, se obtiene información de las necesidades de cada familia trabajando directamente con ellas.

Con el diagnóstico y los talleres participativos se logró conceptualizar la vivienda de emergencia respetando las opiniones de las personas, sus gustos y preferencias que quisieran se reflejaran en el proyecto diseñado con ellos y para ellos. Lo anterior, complementado con el análisis bioclimático y la selección del sistema constructivo producto del análisis térmico efectuado se logró el diseño de la vivienda de emergencia propósito de esta investigación. Adicionalmente se integraron a la VE ecotecnias de tal forma que la solución fuera más sostenible y tuviera impactos ambientales, sociales y económicos.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### ANÁLISIS BIOCLIMÁTICO DE CIUDAD IXTEPEC, OAXACA

Para realizar el análisis de la zona de estudio se obtuvieron los datos de la estación climática más cercana, obtenidos de las Normales climatológicas del servicio Meteorológico Nacional de CONAGUA. La estación climática que se utilizó fue la número 20039, ubicada en Ciudad Ixtepec. El período de datos comprendido es del año 1981 al 2010, que muestra el comportamiento de la temperatura, precipitación y evaporación a lo largo de 30 años. Dichos datos fueron trasladados al software BAT (Bioclimatic Analysis Tool), desarrollado por Julio César Rincón Martínez y Víctor A. Fuentes Freixanet de la Universidad Autónoma Metropolitana, para realizar los cálculos de la caracterización climática del sitio y obtener estrategias de diseño de acuerdo con el clima de la zona de estudio.

La forma en que se determinó el rango de la zona de confort es con base en la temperatura neutra (Szokolay,1984) de acuerdo con el modelo de la ecuación de Auliciem:

$$T_n = 17.6 + 0.31 (t_m)$$
$$Z_c = T_n + 2.5$$

Donde:

$T_n$ =Temperatura neutra (°C)

$T_m$ = Temperatura media anual o mensual (°C)

$Z_c$ = Zona de confort (°C)

La temperatura neutra anual del sitio es de 26.2°C, indicando una zona de confort entre los 23.7°C y los 28.7°C, se visualizan rangos de temperatura elevada durante todo el año sobrepasando el umbral de confort térmico. La temperatura media anual es de 27.7 °C, el rango de temperatura media se encuentra dentro de la zona de confort, excepto en

los meses de abril, mayo y junio, en que la temperatura es más elevada.

El rango de temperatura promedio máxima se encuentra entre los 30°C y 36°C, por encima de la zona de confort durante todo el año, con una temperatura máxima en el mes más caluroso de 35.7°C, así mismo el rango de temperatura promedio mínima se encuentra dentro de la zona de confort solo en los meses de mayo a agosto, el resto del año esta por debajo, con temperaturas que van desde los 20°C a los 25°C, en el mes más frío del año se registra una temperatura mínima de 20.4°C.

En resumen para Ciudad Ixtepec, en la región del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca se presenta el 43.2% referente a gran parte del año con sobre calentamiento, así también un promedio de 43.1% del año con temperatura en zona de confort, teniendo en una menor proporción con 13.9% con bajo calentamiento, lo que explica la temperatura cálida en la zona (Figura 2. Temperaturas y humedad relativa en Ciudad Ixtepec, Oax. Fuente (elaboración propia)).

La Figura 2. Temperaturas y humedad relativa en Ciudad Ixtepec, Oax. Fuente (elaboración propia) muestra la humedad relativa media presentada en la zona de estudio se ubica entre el 30 y el 70 %, así el rango humedad relativa máxima se encuentra entre el 75 y 89% siendo entre los meses de mayo y octubre los más elevados, esto debido a la prevalencia de lluvias durante ese periodo, así mismo el porcentaje de humedad relativa mínima se encuentra dentro de la zona de confort entre el 30 y 45% excepto en el mes de febrero en un 28%.

### ANÁLISIS PARAMÉTRICO

Según la clasificación de Köppen García, la zona de estudio presenta un clima tipo cálido húmedo, con poca oscilación, no es de tipo ganges y no hay canícula, y el

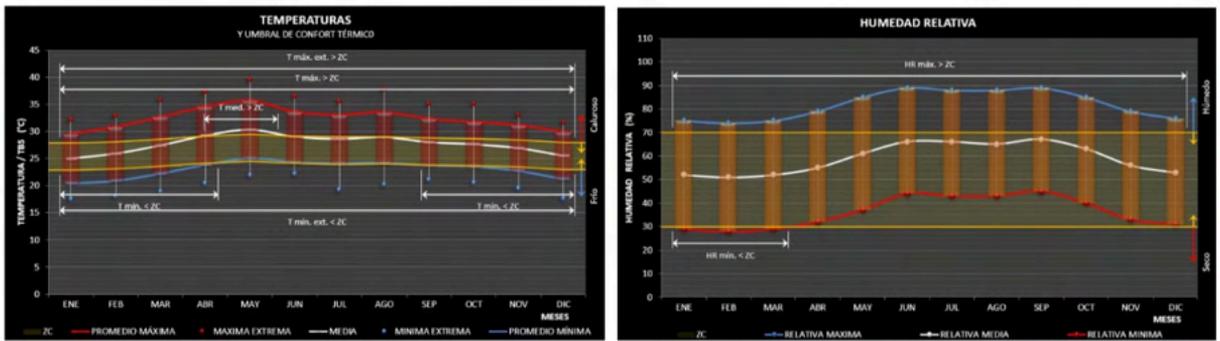


Figura 2. Temperaturas y humedad relativa en Ciudad Ixtepec, Oax. Fuente (elaboración propia).

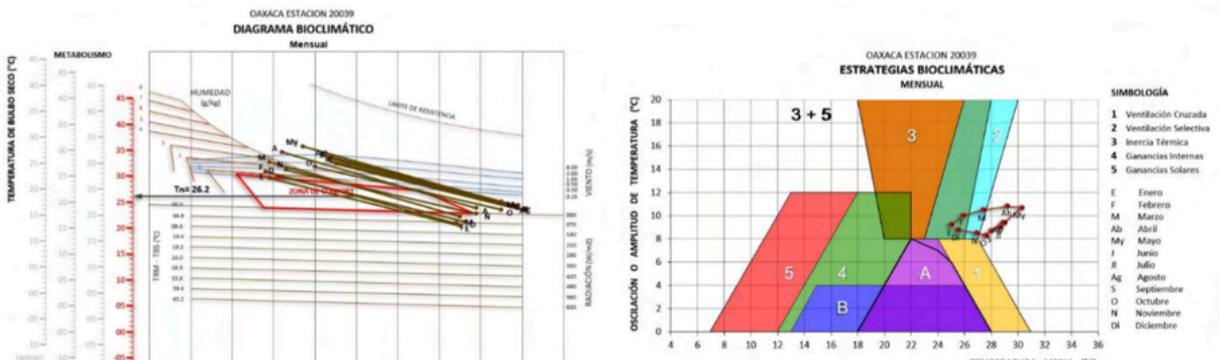


Figura 3. Diagrama bioclimático y estrategias bioclimáticas. Fuente (elaboración propia).

bioclima es cálido. En la Figura 3. Diagrama bioclimático y estrategias bioclimáticas. Fuente (elaboración propia) se observa el diagrama bioclimático obtenido a partir del análisis propuesto por Barush Givoni (1969), donde se muestran los requerimientos bioclimáticos para alcanzar el confort térmico. Para el análisis de Ciudad Ixtepec prevalece generar ventilación entre los meses de abril a octubre, e incrementar la radiación en algunas horas del día en lo que resta del año.

La Figura 3. Diagrama bioclimático y estrategias bioclimáticas. Fuente (elaboración propia) muestra además el resumen de estrategias bioclimáticas para el clima de la zona de estudio, propuestas a partir del modelo de análisis de John Martin Evans (2000). Los

triángulos de confort relacionan las variables de temperatura y oscilación térmica; ésta última es un parámetro importante ya que establece las variaciones de temperatura a lo largo del día, predominando para este clima la recomendación de ventilación y de inercia térmica durante la mayor parte del año para entrar en las condiciones de confort. También recomienda la estrategia de ganancia solar durante la temporada invernal.

A partir de las tablas de Mahoney (1971) se obtuvieron las estrategias de diseño bioclimático de acuerdo con los datos del clima del lugar. En este caso se sugieren principalmente muros masivos con retardo térmico arriba de 8 horas, y que además estén protegidos de la radiación solar de manera total y permanente, y cubiertas ligeras pero

bien aisladas. Se recomienda una ventilación constante con espacios abiertos y aberturas a la altura de los ocupantes.

En resumen, de acuerdo con los resultados obtenidos del análisis climático paramétrico se recomiendan las siguientes estrategias bioclimáticas para el diseño de la vivienda: ventilación natural cruzada, inercia térmica en muros y radiación solar durante los meses fríos. La ventilación y la radiación se pueden resolver mediante el diseño, pero la inercia térmica se logra con una adecuada selección de materiales. En este trabajo se toma como objeto de estudio principal la inercia térmica ya que es un factor importante que tiene una relación directa con el confort de las edificaciones.

### **CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MATERIALES Y SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN DE LA VIVIENDA**

Derivado del trabajo de campo en la comunidad seleccionada y de revisiones bibliográficas se encontró que uno de los sistemas históricamente empleado en la construcción de vivienda en la región del Istmo de Tehuantepec con diferentes variaciones es el bajareque. Este sistema constructivo consiste en un entramado de varas, maderas y/o ramas que dispuestas en forma vertical y horizontal forman una malla doble que crea un espacio interior que se rellena con una mezcla de pasto y tierra. Además de ser un sistema amigable con el ambiente por el uso de materiales naturales que se encuentran en el sitio, también se ha demostrado que el bajareque responde satisfactoriamente frente a los sismos por sus características físico-mecánicas y es fácil para la autoconstrucción, pues no necesita mano de obra especializada.

### **ANÁLISIS DE AMORTIGUAMIENTO DE ONDA TÉRMICA Y DESFASE TÉRMICO DE SISTEMA CONSTRUCTIVO**

Para comprobar que el sistema constructivo seleccionado (S.C.3) constituido por tierra y pasto tuviera un comportamiento adecuado desde el punto de vista térmico, se hizo un estudio comparativo con los otros tres sistemas identificados en la región (S.C.1, S.C.2, S.C.4).

Una de las recomendaciones más importantes formuladas con el software BAT, es la inercia térmica en muros con un retardo térmico arriba de 8 horas. Para ello se realizó el cálculo de desfase térmico empleando los datos de la Tabla 1. Propiedades termofísicas de los materiales. Fuente (elaboración propia).

El resultado del cálculo de desfase térmico para el muro de bajareque con pasto fue de 7 horas. En la Tabla 2. Cálculo de amortiguamiento de onda térmica y desfase térmico. Fuente (elaboración propia) se muestra un aumento en las horas de desfase con el uso de este material con respecto a los demás tipos de bajareque y una mejoría comparado con el sistema de ladrillo.

### **ANÁLISIS CON ENER-HABITAT**

En la Figura 4 la gráfica de la izquierda presenta el factor de decremento promediado durante un año para cada sistema constructivo. En la gráfica de la derecha se presenta el factor de decremento para cada sistema constructivo en el día típico de cada mes. El sistema que tiene mejor comportamiento es el de ladrillo y le sigue el muro de bahareque relleno con pasto.

En las siguientes tres graficas de la Figura 5 se presentan la energía requerida durante el año por unidad de área, para enfriamiento, para calentamiento y la energía total. El sistema que tiene mejor comportamiento durante todo el año es el de bajareque relleno con pasto.

	Lambda	Densidad	Calor específico
Material	W/mK	kg/m <sup>3</sup>	J/m <sup>2</sup> K
Ladrillo	0.7	1970	800
Pasto	0.037	45	2100
Tierra con paja	0.3	400	900
Piedra del lugar	1.861	2250	712

Tabla 1. Propiedades termofísicas de los materiales. Fuente (elaboración propia).

	Espesor	Amortiguación de onda térmica	Desfase térmico
Sistema constructivo	cm	%	Horas
S.C.1 Bajareque relleno con tierra	18	34.88	4.3
S.C.2 Bajareque relleno con piedras	18	47.19	4.7
S.C.3 Bajareque relleno con pasto	18	72.94	7
S.C. 4 Muro de ladrillo	19	62.78	6.5

Tabla 2. Cálculo de amortiguamiento de onda térmica y desfase térmico. Fuente (elaboración propia).

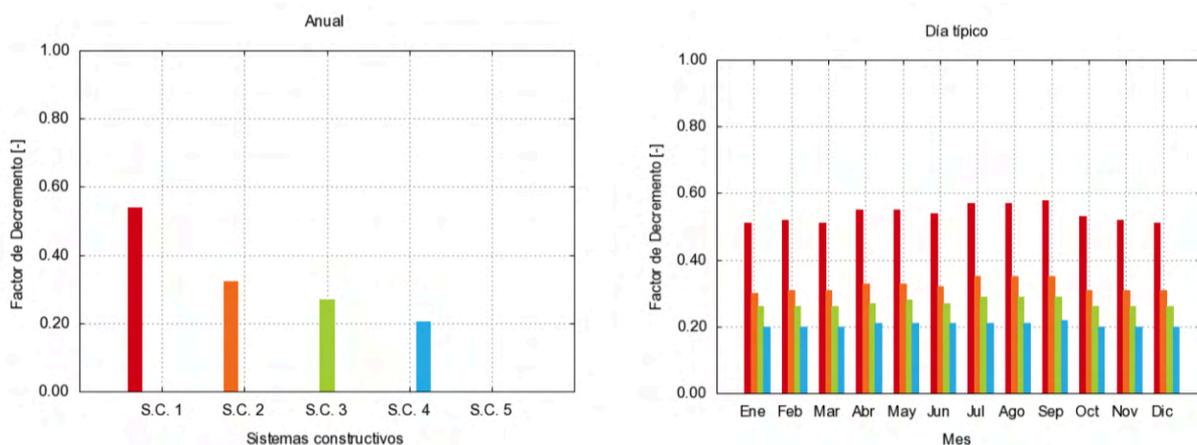


Figura 4. Factor de decremento anual y mensual. Fuente (elaboración propia).

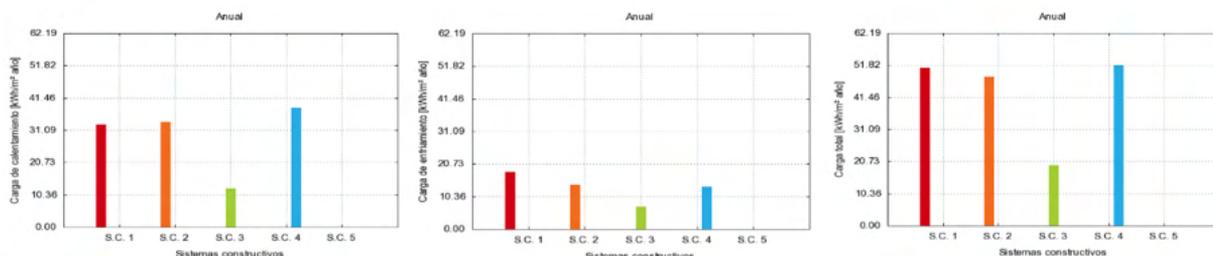


Figura 5. Carga de calentamiento, enfriamiento y total anual. Fuente (elaboración propia).

Se obtuvo que el muro de bajareque relleno de pasto (S.C.3) presenta mejores resultados que los otros sistemas analizados: tiene un mayor desfase térmico, con 7 horas; y un mejor desempeño energético, con un factor de decremento de 0.20.

## **DISEÑO PARTICIPATIVO DE LA VE PARA EL ISTMO DE TEHUANTEPEC**

De la información recabada se analizaron los elementos de la VE y se identificaron los siguientes para identificar el soporte:

- Estructura. Sistemas constructivos, materiales, morfología, cubierta.
- Terreno. dimensión, ubicación y orientación de las viviendas y espacios adyacentes.
- Habitaciones. dimensión, orientación, forma y relación con otros espacios.
- Adaptación al ambiente.

Con la información resultante de los diagnósticos y de los talleres participativos con la comunidad se obtuvo la estructura de soporte para la VE del Istmo de Tehuantepec, que consiste en una planta rectangular con el eje largo en orientación este-oeste, muros arriba de 4 m de altura con cubierta a dos aguas, con vanos orientados al norte y sur para ventilación e iluminación, y sin importar cual sea la combinación de las unidades separables siempre se contempla el corredor en la conformación de la vivienda (Figura 6. Estructura de soporte. Fuente (elaboración propia)).

Las unidades separables se trabajaron a partir de un módulo "semilla", como definen Gelabert y González (2013), este es el núcleo inicial básico pero que puede satisfacer los requerimientos de espacio habitable y donde las familias pueden realizar sus actividades esenciales, que pueden ser: dormir, lavarse, vestirse, cuidar a los desprotegidos, cocinar, y comer; este módulo no cuenta con baño ya que las actividades realizadas en el no son

consideradas esenciales.

El módulo semilla de la VE es lo más cercano a una planta cuadrada, ya que esta debe ser compacta para proporcionar estabilidad por la forma ante futuros sismos, una forma cuadrada es mejor que una rectangular. De esta manera se llegó a un área cubierta de 14 m<sup>2</sup> a ejes interiores, pero con 19 m<sup>2</sup> de área aprovechable debido a la integración de un tapanco que es posible ubicarlo al interior de la vivienda por la altura que tiene la cubierta. El módulo semilla es capaz de albergar hasta a 5 personas, cumpliendo con la recomendación del manual del proyecto Esfera (2011) de 3.5 m<sup>2</sup> de superficie cubierta mínima por persona para un alojamiento a corto plazo.

El sistema constructivo de paneles de bajareque seleccionado para la VE permite también hacer divisiones al interior de la vivienda con trabajos mínimos por parte de los ocupantes, para que haya privacidad entre sexos, entre diferentes grupos de edad o entre diferentes familias. El mismo módulo semilla tiene diferentes combinaciones de acuerdo con las costumbres de los ocupantes y la cantidad de miembros (Figura 7. Combinaciones del módulo semilla. Fuente (elaboración propia)).

En el proyecto de VE también hay un módulo de servicios que alberga la zona húmeda de la casa, la cocina-comedor y el baño. La cocina es más abierta para facilitar la ventilación y evitar que el humo pueda acumularse. Al baño se accede desde el exterior como tradicionalmente ha sido, pero este está adosado a la vivienda, sigue estando bajo la misma cubierta.

El proyecto de la VE considera un crecimiento progresivo de la vivienda de acuerdo con las necesidades y capacidades financieras de cada familia. Se parte de los módulos semilla que pueden interconectarse o no entre ellos, con el módulo de servicios y el módulo del corredor, según las preferencias de sus ocupantes; y se ofrecen las diferentes

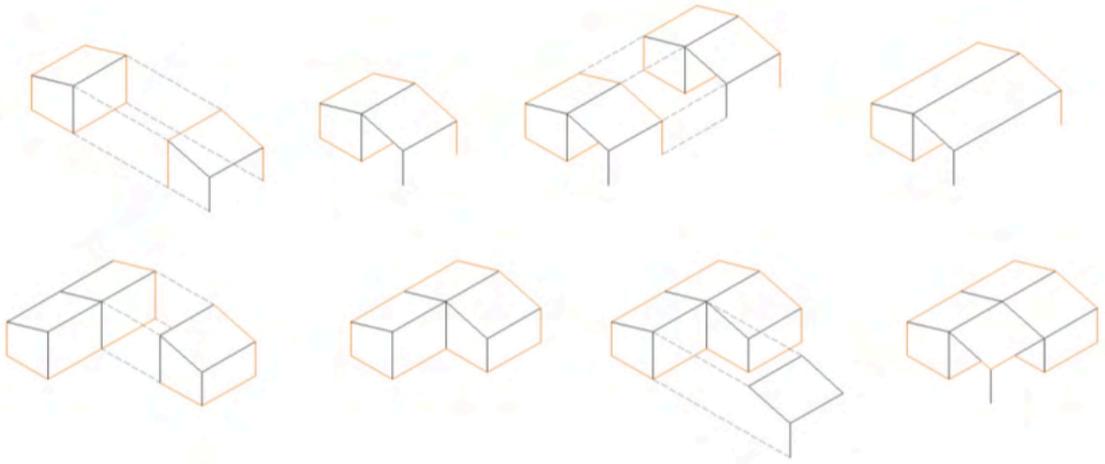
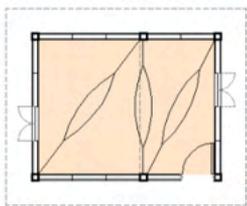
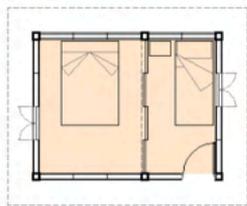


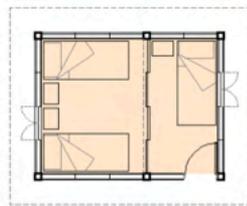
Figura 6. Estructura de soporte. Fuente (elaboración propia).



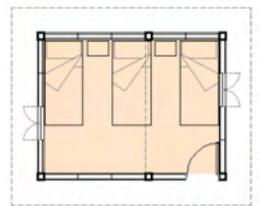
La estructura permite colgar hamacas



La estructura permite la opción de dividir espacios



Diferentes acomodados permite alojar hasta a 5 personas (3 abajo y 2 en el tapanco)



Diferentes acomodados permite alojar hasta a 5 personas (3 abajo y 2 en el tapanco)

Figura 7. Combinaciones del módulo semilla. Fuente (elaboración propia).

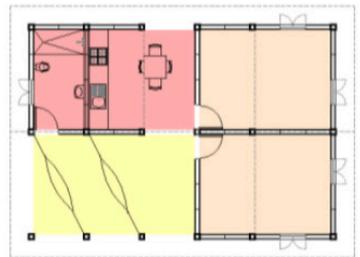
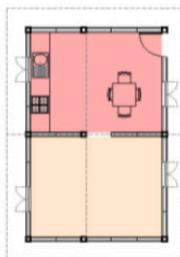
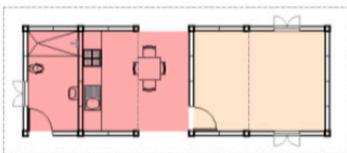
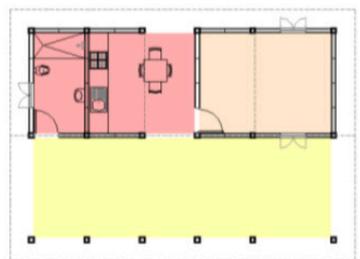
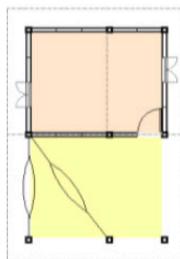
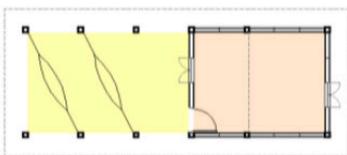


Figura 8. Opciones de crecimiento. Fuente (elaboración propia).

soluciones formales, espaciales y funcionales. En la Figura 8. Opciones de crecimiento. Fuente (elaboración propia) se muestran algunos ejemplos de combinaciones de las unidades separables.

En todas las opciones propuestas se toma en cuenta las estrategias bioclimáticas que resultaron del estudio particular realizado en la zona de estudio.

En la Figura 9. Análisis de radiación solar para el 21 de junio, fachada suroeste (izq.) y fachada noreste (der). Fuente (elaboración propia) se muestra el resultado del análisis solar de la VE que se realizó en el software Sketchup con la extensión Sunhours, para el día 21 de junio (solsticio de verano). Se observa que es poca la superficie de los muros expuesta a los rayos directos del sol a lo largo del día. La fachada sur está protegida por el corredor, la fachada norte, por su orientación recibe poca radiación solar, solo la fachada este por la mañana y la oeste por la tarde reciben los rayos del sol directo.

Por los resultados obtenidos del análisis solar se colocó el módulo de servicios en la orientación oeste, ya que cuando comienza a darle el sol al muro de esta fachada, es el momento del día en que las temperaturas son más altas; entonces el baño que es un espacio que se ocupa pocas veces y durante poco tiempo funciona como un colchón térmico para el resto de la vivienda. La habitación en esta opción está orientada al este, ya que es un espacio que se usa principalmente para dormir durante la noche, que es cuando va perdiendo temperatura, pero en el amanecer cuando es hora de levantarse, comienza a recibir los rayos del sol para calentarse de nuevo.

## **DISEÑO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO**

Se diseñó un sistema de bajareque con posibilidades de prefabricación para dar la

solución constructiva a la vivienda. El sistema consiste en marcos modulares de madera 0.80 m x 2.40 m con un entramado de carrizo a cada 10 cm, que posteriormente se rellena con una mezcla de tierra y pasto. Para desplantar la vivienda se considera el colado de una cadena de desplante de concreto armado de dimensiones mínimas evitando el uso desmedido de acero y cemento. Previo a su colado se dejan preparaciones con varillas para poder recibir los tableros prefabricados de madera (Figura 10. Paneles prefabricados de bajareque. Fuente (elaboración propia)).

Se realizó la propuesta del proceso constructivo de la VE, el cual puede ser llevado a cabo en taller, donde se fabriquen los paneles con marcos de madera y el entramado de carrizo, una vez que están listos se trasladan al sitio de la obra. En el terreno se construye la cimentación de concreto, se dejan unas varillas de rosca a lo largo del perímetro que son las que van a recibir los paneles de bajareque. Después se coloca la estructura de madera (vigas y columnas). A partir de esta parte del proceso se pueden instalar los paneles al mismo tiempo que se construye la estructura de la cubierta para proteger de los rayos del sol y de la lluvia los aplanados de tierra y pasto de los paneles. Al final se aplican los acabados con cal en muros y se instalan las puertas y ventanas. Los pasos del proceso constructivo se muestran en la Figura 11. Proceso constructivo de vivienda de emergencia para el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca. Fuente (elaboración propia).

## **DISEÑO FINAL DE LA VE PARA EL ISTMO DE TEHUANTEPEC, OAXACA.**

El diseño de la vivienda de emergencia final se muestra en la Figura 12. Propuesta de VE para el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca. Fuente (elaboración propia). Se proyecta con acabados de cal en muros que permita reflejar los rayos del sol. Se diseñaron aberturas tipo

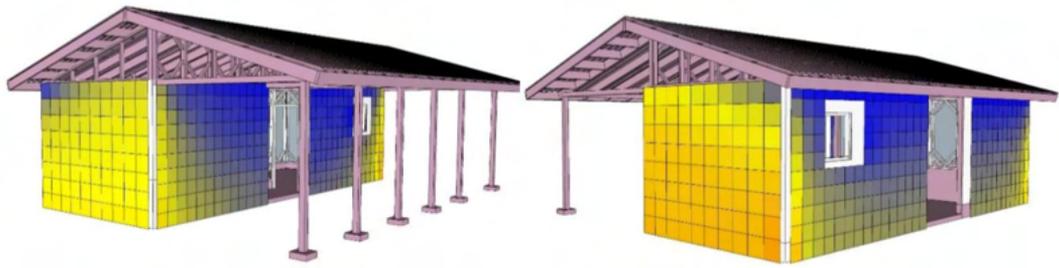


Figura 9. Análisis de radiación solar para el 21 de junio, fachada suroeste (izq.) y fachada noreste (der).

Fuente (elaboración propia)

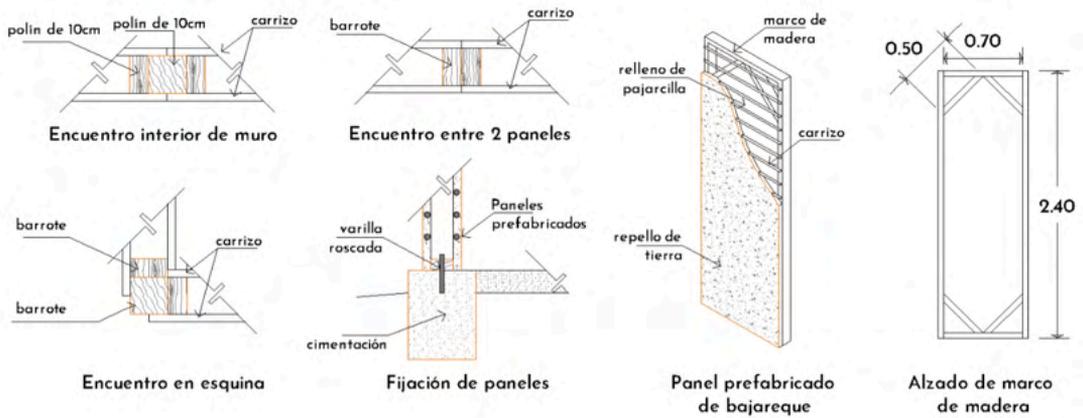


Figura 10. Paneles prefabricados de bajareque. Fuente (elaboración propia)

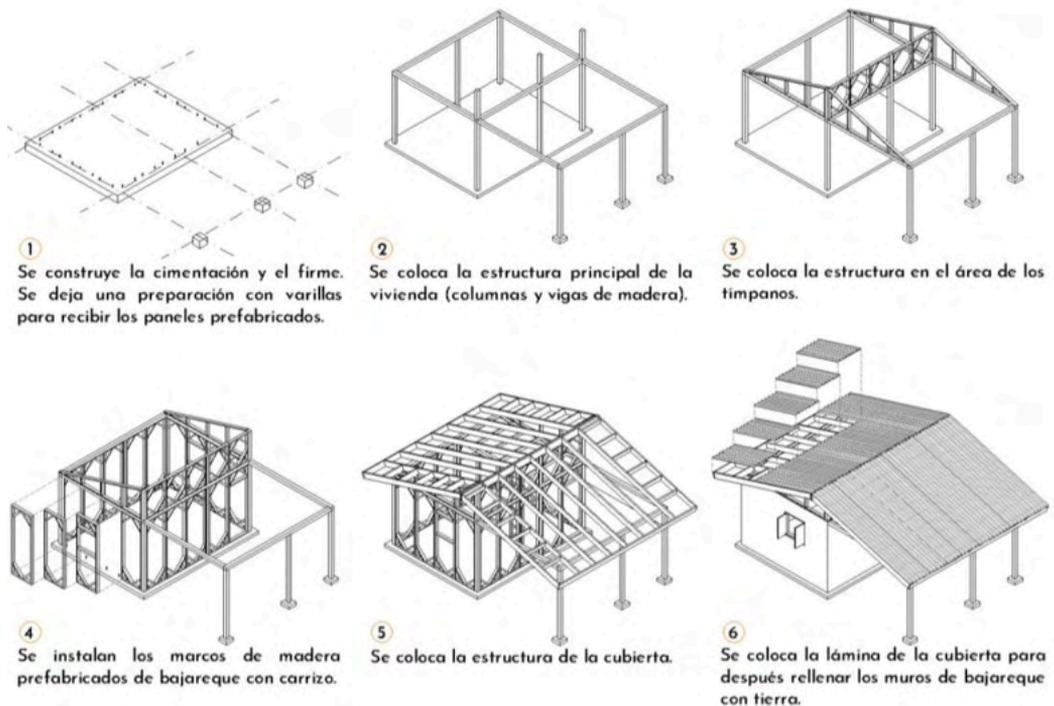


Figura 11. Proceso constructivo de vivienda de emergencia para el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca.

Fuente (elaboración propia).



Figura 12. Propuesta de VE para el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca.  
Fuente (elaboración propia).



Figura 13. Ecotecnologías propuestas en la VE para el Istmo de Tehuantepec.

celosía en la parte de arriba de los muros para aumentar el flujo de la ventilación. Los vanos de puertas y ventanas se proponen con orientación norte-sur para favorecer la ventilación cruzada, en tanto que la cubierta es de dos aguas con una altura en su parte más alta de 4 m.

## **IMPLEMENTACIÓN DE ECOTECNOLOGÍAS EN LA VE**

Las ecotecnologías que se proponen en el proyecto de VE para el Istmo de Tehuantepec son: sanitario ecológico seco, sistema de captación de agua de lluvia y biojardinera. Se seleccionaron estas ecotecnias porque, aunque la mayoría de la población tiene acceso a la red de agua potable y saneamiento, hay poca disponibilidad del recurso hídrico. Con el uso de estas tres tecnologías se puede aprovechar de una manera más eficiente el agua e impactar en menor medida al medio.

El sanitario ecológico seco es un sistema que no utiliza agua para su funcionamiento, los desechos sólidos se deshidratan separándolos de la orina, de esta manera no se hace un mal uso de agua limpia y los desechos no tienen contacto con la tierra antes de ser tratados.

El sistema de captación de agua de lluvia consiste precisamente en interceptar el agua que cae principalmente en las cubiertas de las construcciones por medio de canaletas, para conducir las a una cisterna para su almacenamiento y posterior uso doméstico. Es conveniente utilizar un separador de las primeras aguas de cada chubasco, que son las que limpian la cubierta. También se pueden utilizar filtros de grava y arena para evitar que llegue agua con impurezas a la cisterna.

La biojardinera se trata de un sistema de tratamiento natural que utiliza plantas en un humedal para filtrar las aguas grises provenientes del lavamanos, regadera, fregadero y coladeras, al pasar por el sistema,

este elimina los contaminantes antes de descargarla nuevamente a la naturaleza, ya sea por medio de infiltración o en un cuerpo de agua cercano, o reutilizarla, por ejemplo; para riego o limpieza de pisos y superficies. En la Figura 13. Ecotecnologías propuestas en la VE para el Istmo de Tehuantepec se ve la integración de las ecotecnias en el proyecto de VE sustentable.

## **CONCLUSIONES**

Es necesario aportar soluciones de vivienda sostenibles que atiendan situaciones de emergencia en zonas que han sido afectadas por eventos naturales como los sismos, con modelos que consideren condiciones climáticas del sitio, uso de materiales locales, sistemas de construcción flexibles y de bajo costo, así como que permitan la participación de las personas en la construcción y/o mejoramiento de sus viviendas dañadas. Ya que es posible mejorar las condiciones de habitabilidad de las soluciones de vivienda post desastre por medio de procesos participativos, en los que los habitantes toman la mayoría de las decisiones en el diseño y construcción de su vivienda.

Se concluye que es posible mejorar las condiciones de habitabilidad de los proyectos de vivienda en el Istmo de Tehuantepec por medio del sistema constructivo de bajareque relleno con pasto, que utiliza materiales y técnicas locales. Utilizando la inercia térmica en muros de bajareque y combinándola con otras estrategias bioclimáticas como la ventilación cruzada y radiación solar en invierno se puede garantizar un confort térmico al interior de las viviendas en clima cálido.

Se recomienda realizar más experimentación con materiales naturales y sistemas constructivos tradicionales que se han utilizado históricamente en la

construcción, pero poco se ha documentado sobre sus propiedades termofísicas para un mejor aprovechamiento en el diseño bioclimático.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la Beca otorgada para realizar estudios de la Maestría en Gestión de Proyectos para el Desarrollo Solidario (CIIDIR-IPN Oaxaca) y apoyar a la ciencia en México para que todos tengamos un

futuro mejor por medio de los avances tecnológicos. Al Instituto Politécnico Nacional por el apoyo para la realización de este trabajo el cual es derivado del proyecto de investigación: "Evaluación de la intervención de viviendas afectadas por los sismos en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca con enfoque de Reconstrucción Integral y Social del Hábitat". Clave SIP 20201485. Los coautores agradecen a la COFAA del IPN por la beca de exclusividad otorgada.

## REFERENCIAS

- Brundtland. (20 de marzo de 1987). *Our Common Future*. Oxford University Press. Recuperado el 15 de abril de 2020, de <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>
- Edwards, B. (2010). *Rough guide to sustainability*. Londres, Reino Unido: Riba publishing.
- El proyecto Esfera. (2011). *Carta humanitaria y normas mínimas para la respuesta humanitaria*. Belmont press: Practical Action Publishing.
- Fontana, J., Laurino, P., Vila, M., & Botti, L. (2014). *Viviendas de emergencia en Uruguay*. Recuperado el 2 de mayo de 2020, de Revista de arquitectura: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14890/1/RevArq16%2006%20JuaFon-VivEme%20%28%29.pdf>.
- Fuentes Freixanet, V. (2002). *Metodología de diseño bioclimático. El análisis climático*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Fuentes Freixanet, V. (2004). *Clima y arquitectura*. México: Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco.
- Gelabert Abreu, D., & Gonzalez Couret, D. (2013). *Progresividad y flexibilidad en la vivienda. Enfoques teóricos: arquitectura y urbanismo*, 17-31.
- Lopez, O. A. (2012). *La evolución de la vivienda vernácula*. México: Plaza y Valdés.
- Moreno Mata, A. (2011). *Arquitectura rural sustentable en la Huasteca Potosina. Potencial, implicaciones e impacto de la integración energética en el diseño bioclimático. Primer Seminario Regional sobre Tecnologías y Materiales para Viviendas Sustentables*. Recuperado el 25 de marzo de 2020, de <http://evirtual.uaslp.mx/Habitat/innobitat01/1687/Publicaciones/Memorias%20del%20Primer%20Seminario%20Regional%20sobre%20Tecnolog%C3%ADas%20y%20Materiales%20para%20Viviendas%20Sustentables/ARQUITECTURA%20RURAL%20SUSTENTABLE.pdf>
- Paz, C., Rivera, N., & Ledezma, M. (2015). *El impacto de la sostenibilidad en la vivienda en serie de Nuevo León. Contexto: Revista de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Nuevo León*, 43-57. Recuperado el 11 de abril de 2020, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6336496>
- Pulgar Pinaud, C. (2011). *Arquitectura y diseño participativo en Chile. Tres aproximaciones desde el derecho a la ciudad*. Recuperado el 28 de abril de 2020, de [https://www.academia.edu/40201910/Arquitectura\\_y\\_diseno\\_participativo\\_en\\_Chile\\_Tres\\_aproximaciones\\_desde\\_el\\_derecho\\_a\\_la\\_ciudad](https://www.academia.edu/40201910/Arquitectura_y_diseno_participativo_en_Chile_Tres_aproximaciones_desde_el_derecho_a_la_ciudad)
- Rivera, O., O'Neil, M., & Quiles, E. (2017). *Escuchando las voces. 1era Exposición de diseño comunitario y participativo en Puerto Rico*.

Rodríguez, J. (2017). **Diseño participativo para la vivienda rural de montaña.** (*Tesis de maestría*). Universidad Marta Abreu de las Villas. Facultad de Construcciones. Departamento de Arquitectura.

Romero, G., Mesías, R., Enet, M., Oliveras, R., García, L., Coipel, M., & Osorio, D. (2004). **La participación en el diseño urbano y arquitectónico en la producción social del hábitat.** México.

SEDATU (Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano). (15 de abril de 2017). **Censo de viviendas dañadas por los sismos del mes de septiembre de 2017.** Obtenido de <http://transparencia.sedatu.gob.mx/>