



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**

**DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES**

**DISEÑO DE PROTOTIPOS DE VIVIENDAS DE  
MADERA DE INTERÉS SOCIAL EN MÉXICO**

**TESIS**

Que como requisito parcial  
para obtener el grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES**

**Presenta:**

**GUADALUPE OLVERA LICONA**



DIRECCION GENERAL ACADEMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

**Bajo la supervisión de:**

**DRA. MA. AMPARO MÁXIMA BORJA DE LA ROSA**



Chapingo, Estado de México, diciembre de 2017.

DISEÑO DE PROTOTIPOS DE VIVIENDAS DE MADERA DE INTERÉS SOCIAL EN MÉXICO

Tesis realizada por **Guadalupe Olvera Licona** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES**

DIRECTORA: \_\_\_\_\_

DRA. MA. AMPARO MÁXIMA BORJA DE LA ROSA

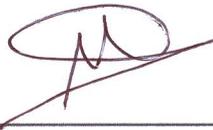


CO-DIRECTOR: \_\_\_\_\_

M.C. ROBERTO MACHUCA VELASCO

ASESOR: \_\_\_\_\_

DR. LUIS ACUÑA RELLO



ASESORA: \_\_\_\_\_

DRA. ADRIANA ÁVALOS VARGAS

## CONTENIDO

LISTA DE CUADROS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE APENDICES.....	viii
DEDICATORIA.....	ix
AGRADECIMIENTOS.....	x
DATOS BIOGRAFICOS.....	xi
RESUMEN GENERAL.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL .....	1
1.1. Planteamiento del problema .....	1
1.2. Justificación .....	1
1.3. Objetivo general.....	3
1.4. Objetivos específicos .....	3
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. La madera en la construcción.....	4
2.1.1. Sistemas constructivos para viviendas de madera.....	5
2.2. Aspectos de la construcción con madera .....	6
2.2.1. Estudio y selección del sitio.....	6
2.2.2. Trazo y nivelación del terreno .....	8
2.2.3. Cimentación .....	9
2.2.4. Muros .....	11
2.2.5. Techo .....	13
2.2.6. Elementos de unión.....	14
2.2.7. Aislamiento.....	15
CAPÍTULO 3. ESTADO DEL ARTE DE LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE MADERA DE INTERES SOCIAL EN MÉXICO .....	18

Resumen .....	18
Abstract .....	18
3.1. Introducción .....	19
3.2. Consideraciones generales .....	20
3.2.1. La madera como material para la construcción de viviendas .....	20
3.2.2. Escenario internacional de las viviendas de madera de interés social .....	23
3.3. Caso México .....	27
3.3.1. Las viviendas de interés social en México .....	27
3.3.2. Contexto nacional de las viviendas de madera de interés social .....	29
3.3.3. Viviendas adaptadas a las condiciones climáticas .....	32
3.3.4. Normalización sobre la industria de la construcción con madera en México .....	38
3.4. Conclusiones .....	40
3.5. Literatura citada .....	41
<b>CAPÍTULO 4. DISEÑO DE VIVIENDAS SOCIALES DE MADERA PARA TRES REGIONES CLIMÁTICAS DE MÉXICO .....</b>	<b>44</b>
Resumen .....	44
Abstract .....	45
4.1. Introducción .....	45
4.2. Metodología .....	47
4.3. Resultados .....	50
4.4. Discusión .....	63
4.5. Conclusiones .....	64
4.5 Literatura citada .....	65
<b>CAPITULO 5. PANELES DE CELULOSA RECICLADA, ACÍCULAS Y POLIESTIRENO EXPANDIDO, COMO AISLANTE TÉRMICO EN VIVIENDAS DE MADERA.....</b>	<b>67</b>
Resumen .....	67
Abstract .....	68

5.1. Introducción .....	68
5.2. Materiales y métodos.....	70
5.3. Resultados y discusión .....	75
5.4. Conclusiones .....	80
5.5 Literatura citada .....	80
CAPÍTULO 6. LITERATURA CITADA.....	82
APÉNDICES .....	87

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Retenciones mínimas recomendadas del preservador, de acuerdo al nivel de riesgo en servicio de la madera, kg/m <sup>3</sup> . <i>Fuente: NMX-C-322-ONNCCE (2014).</i> .....	49
Cuadro 2. Resistencia Térmica Total (Valor "R") de un elemento de la envolvente. <i>Fuente: NMX-C-460-ONNCCE (2009).</i> .....	50
Cuadro 3. Cargas muertas para la techumbre de las viviendas. ....	58
Cuadro 4. Valores de carga total (kg/m <sup>2</sup> ) para las techumbre de los prototipos. ....	59
Cuadro 5. Valores de carga distribuida para diseño por resistencia (kg/m <sup>2</sup> ). <i>Fuente COFAN (1999).</i> .....	59
Cuadro 6. Dimensiones de los paneles elaborados.....	76
Cuadro 7. Valores de conductividad térmica de materiales. ....	77
Cuadro 8. Comparación de valores de Resistencia Térmica Total. ....	78
Cuadro 9. Temperaturas en pruebas de resistencia a fuego. ....	79

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Trazo del terreno, <i>Fuente: CONAFOR (s/f)</i> . .....	8
Figura 2. Regionalización sísmica de la República Mexicana. <i>Fuente: CFE (2015)</i> . .....	11
Figura 3. Piezas que componen un entramado vertical. <i>Fuente: CORMA (2004)</i> . .....	12
Figura 4. Elementos de una cercha. <i>Fuente: CORMA (2004)</i> . .....	14
Figura 5. Conectores metálicos empleados en distintos elementos estructurales. <i>Fuente: CORMA (2004)</i> . .....	15
Figura 6. Ventana en pared aislada. <i>Fuente: Burrows (2013)</i> .....	17
Figura 7. Regionalización climática de México. <i>Fuente: CONAVI (2008)</i> . .....	32
Figura 8. Regiones climáticas en México. <i>Fuente: Sánchez (2012)</i> . .....	47
Figura 9. Dimensiones y distribución de ambientes para el prototipo de clima seco, elaborado en sketch Up v. 2017.....	51
Figura 10. Dimensiones y distribución de ambientes para el prototipo de clima templado, elaborado en sketch Up v. 2017.....	53
Figura 11. Dimensiones y distribución de ambientes para el prototipo de clima cálido, elaborado en sketch Up v. 2017. ....	54
Figura 12. Viga reticulada para fundación del Prototipo de clima cálido elaborado en Sketch Up v. 2017.....	57
Figura 13. A) Panel ciego, B) panel ventiluz, C) panel puerta, D) panel ventana. ....	60
Figura 14. Cerchas diseñadas A) con pendiente de 50%, B) pendiente de 42% y C) pendiente de 34%, elaboradas en Sketch Up v. 2017. ....	61
Figura 15. Moldes elaborados en madera, con perforaciones para facilitar el drenado de agua.....	70

Figura 16. Pulpa de celulosa reciclada colocada en los moldes.....	70
Figura 17. Elaboración de un panel con capa intermedia de acículas de pino.	71
Figura 18. Paneles colocados en la mufla para su secado a 30° C.....	71
Figura 19. División del panel en dos fragmentos para aplicación de la disolución .....	71
Figura 20. Aplicación de H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> por aspersion ..... 71	71
Figura 21. Exposición del panel a flama durante 1 minuto. ....	72
Figura 22. Toma de temperatura con termómetro infrarrojo. ....	72
Figura 23. Resistencia Térmica Total y Coeficiente de transmisión de calor de capas homogéneas. <i>Fuente: NMX-C-460-ONNCCE (2009)</i> .....	73
Figura 24. Resistencia Térmica Total y Coeficiente de transmisión de calor de capas homogéneas y no homogéneas. <i>Fuente: NMX-C-460-ONNCCE (2009)</i> . .....	74
Figura 25. A) Muestra de panel de celulosa-unicel, B) Muestra de panel de celulosa, C) Muestra de Panel de celulosa-acículas de pino.....	76
Figura 26. Elementos componentes de un muro (exteriores e interiores) en el sistema de entramado ligero. Elaborado en Sketch Up v. 2017. ....	77
Figura 27. Muestra de paneles a prueba de flama directa, arriba sin recubrimiento de ácido bórico y abajo con recubrimiento. ....	79

## LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1. Consideraciones generales para la clasificación visual de madera de pino de uso estructural.....	87
Apéndice 2. Tipos de cerchas (CORMA, 2004). .....	88
Apéndice 3. Prototipo de clima cálido, elaborado en Sketch Up v. 2017.....	88
Apéndice 4. Prototipo de clima templado, elaborado en Sketch Up v. 2017.....	89
Apéndice 5. Prototipo de clima seco, elaborado en Sketch Up v. 2017.....	89
Apéndice 6. Clasificación de las maderas según su uso y riesgo esperado en servicio. <i>Fuente: NMX-C-322-ONNCCE-2014</i> .....	90

## DEDICATORIA

*A mi papá: Ignacio*

*A mi mamá: Obdulia*

*A mis hermanos: Ángel, Christian y Erasmo*

*A mi nueva familia: Génesis, Cecilia, Vidal y Rafael*

*Gracias mamita por brindarme tu apoyo incondicional, todo tu esfuerzo se ve reflejado en mis logros, sé que mi papá estaría muy orgulloso por esto. Gracias hermanos por cuidarme y protegerme desde pequeña, siempre serán mis héroes. Ustedes son mi motivo para seguir adelante, mi fortaleza para continuar forjando mi futuro, mis logros son gracias a ustedes y para ustedes. Los amo.*

*A: Gabriel*

*Por ser el mejor amigo que he tenido, cómplice de grandes y excelentes viajes, tus enseñanzas han marcado mi vida, te agradezco los momentos que hemos compartido y los que están por venir, por no rendirte y caminar a mi lado para apoyarme y motivarme, gracias. Te amo nene.*

## AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma Chapingo** por formarme profesionalmente y brindarme la posibilidad de conocer lugares y personas maravillosas.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** por brindarme la beca para realizar mis estudios de Maestría y además otorgarme la Beca-Mixta para realizar estancia de investigación.

A la **Universidad de Valladolid**, por proporcionar la oportunidad de realizar Estancia de investigación en sus instalaciones.

*Ofrezco un agradecimiento especial:*

A la **Dra. Amparo Borja de la Rosa**, quien durante siete años me ha apoyado incondicionalmente en mi formación profesional, me ha brindado su confianza y amistad para desarrollarme exitosamente.

Al **Dr. Roberto Machuca Velasco** por su apoyo en mi formación académica y siempre motivarme a vivir nuevas experiencias y adquirir nuevos conocimientos.

Al **Dr. Luis Acuña Rello** por su amistad, confianza y apoyo en mi formación académica, agradezco infinitamente su paciencia y todas las atenciones que me ha brindado.

A la **Dra. Adriana Ávalos Vargas** por compartirme sus conocimientos y fortalecer mi formación académica, siempre con su amabilidad que la caracteriza.

*“Ustedes son un ejemplo a seguir y un motivo más para continuar desarrollándome académicamente”*

## DATOS BIOGRÁFICOS

### Datos personales

**Nombre:** Guadalupe Olvera Licona

**Fecha de nacimiento:** 29 de agosto de 1993

**Lugar de nacimiento:** Huayacocotla, Veracruz, México.

**CURP:** OELG930829MVZLCD04

**Profesión:** Ingeniero Forestal Industrial

**Cédula Profesional:** 10211124



### Desarrollo académico

Guadalupe Olvera Licona, estudió el bachillerato en el Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, en el periodo de 2008 a 2011, posteriormente ingreso a la carrera de Ingeniero Forestal industrial titulándose con Mención Honorífica en 2015. Durante el 2014 realizó una Estancia Académica en la Universidad de Lleida, España. Posteriormente realizó una estancia en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria en Entre Ríos, Argentina, en la temática de construcción de viviendas de madera de interés social. En 2015, recibió el Premio al Talento Forestal, otorgado por Reforestamos México A.C. y la Comisión Nacional Forestal. En enero de 2016 ingresa a la Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales. En 2017 realizó una Estancia de investigación en la Universidad de Valladolid, España.

Ha participado como ponente en eventos nacionales e internacionales del sector Forestal entre los que destacan: Tercer Congreso Latinoamericano IUFRO, San José, Costa Rica (2013), Congreso Latinoamericano de Estudiantes de Ciencias Forestales, Nuevo León, México (2013), Congreso Latinoamericano de Estudiantes de Ciencias Forestales, Cartago, Costa Rica (2014), Congreso Internacional de Recursos Forestales, México (2015), Congreso Nacional de Estudiantes de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Chapingo, México (2016), Conferencia Mundial de Ingeniería de la Madera en Viena, Austria (2016).

Desde al año 2013 ha fungido como presidente de la Asociación Nacional para el Desarrollo Rural A.C. y desde el mismo año ha sido colaboradora de la Asociación Mexicana para el Estudio y Conservación de Recursos Naturales, A.C.

## RESUMEN GENERAL

El presente trabajo muestra el diseño de tres prototipos de viviendas sociales de madera con sistema de entramado ligero, adaptados a clima seco, clima templado y clima cálido en México. Se realizó una revisión de literatura sobre el uso de la madera en la edificación de viviendas y aspectos prácticos en cada una de las etapas constructivas, así mismo se elaboró el estado del arte de la construcción de viviendas sociales con madera en México. Para el diseño de los prototipos se aplicaron las Normas Mexicanas del Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., las Normas Técnicas Complementarias de Diseño y Construcción del Distrito Federal, así como aspectos constructivos determinados en diversos Manuales de construcción con madera. El sistema de entramado ligero presenta facilidad de fabricación de sus elementos estructurales por lo que puede desarrollarse mediante autoconstrucción, generando beneficios, sobre todo financieros por el ahorro en mano de obra. De igual manera, en el presente trabajo se plantea el uso de celulosa reciclada ácida, como posible aislante térmico en viviendas construidas con este sistema constructivo, para lo cual se elaboraron tres tipos de paneles experimentales combinando la celulosa con poliestireno expandido y acículas de pino y recubriéndolos con ácido bórico (diluido a 20° C, 4.88 partes de ácido bórico por 100 partes de agua). Se determinó el valor de Resistencia Térmica Total (Valor "R") para un muro teniendo como aislamiento los distintos tipos de paneles, se obtuvieron los valores de 3.50 m<sup>2</sup> K/W para el panel de celulosa, 3.53 m<sup>2</sup> K/ W para panel de celulosa-poliestireno y 3.30 m<sup>2</sup> K/ W para el panel de celulosa-acículas. Se realizaron pruebas de resistencia al fuego a dichos paneles, aplicando flama directa (>570°C) con un soplete y gas butano durante un minuto, se determinó la temperatura en la contraparte de aplicación de la flama con un termómetro infrarrojo. En base a los valores de resistencia térmica, resultaría muy viable el uso de paneles de celulosa-poliestireno como aislamiento térmico, de igual forma, en cuanto a resistencia al fuego el panel de celulosa-poliestireno recubierto con ácido bórico, presentó la temperatura más baja (20.7°C).

**Palabras clave:** entramado ligero, clima, aislamiento, celulosa.

## GENERAL ABSTRACT

The present work shows the design of three prototypes of social housing made of wood with a light frame system, adapted to dry climate, temperate climate and warm climate in Mexico. A review of the literature on the use of wood in the construction of houses and practical aspects in each of the construction stages was carried out, as well as the state of the art of the construction of social housing with wood in Mexico. For the design of the prototypes, the Mexican Standards of the National Organization for Standardization and Certification of Construction and Construction, SC, the Complementary Technical Standards of Design and Construction of the Federal District, as well as constructive aspects determined in various construction manuals with wood were applied. The light frame system presents ease of fabrication of its structural elements so it can be developed by self-construction, generating benefits, especially financial savings in labor. In the same way, in the present work the use of recycled acidic cellulose is proposed, as a possible thermal insulator in houses built with this construction system, for which three types of experimental panels were elaborated combining the cellulose with expanded polystyrene and pine needles and covering them with boric acid (diluted at 20 ° C, 4.88 parts of boric acid per 100 parts of water). The Total Thermal Resistance value (value "R") for a wall was determined having the different types of panels as insulation, values of 3.50 m<sup>2</sup> K / W were obtained for the cellulose panel, 3.53 m<sup>2</sup> K/W for panel cellulose-polystyrene and 3.30 m<sup>2</sup> K/W for the cellulose-needles panel. Fire resistance tests were carried out on these panels, applying a direct flame (>570°C) with a torch and butane gas for one minute, the temperature was determined in the counterpart of the application of the flame with an infrared thermometer. Based on the values of thermal resistance, it would be very feasible to use cellulose-polystyrene panels as thermal insulation, in the same way, in terms of fire resistance, the cellulose-polystyrene panel coated with boric acid presented the lowest temperature (20.7°C).

**Key words:** light frame, climate, isolation, cellulose.

# **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL**

## **1.1. Planteamiento del problema**

Existe una creciente demanda de viviendas en México (sobre todo en el sector de la población más vulnerable económicamente) la cual debe ser atendida mediante proyectos que integren aspectos sociales, económicos y ecológicos. Los proyectos existentes sobre viviendas sustentables no ofrecen la posibilidad de adaptación a las diferentes regiones climáticas que existen en nuestro país, lo cual genera problemas en el ahorro de energías en una conveniente aceptación por la población.

## **1.2. Justificación**

Una vivienda de madera llega a ser más económica que una construcción tradicional. Devia (2002), menciona que existe una notable disminución de los costos directos de la vivienda, dicha disminución suele variar entre un 18 y 36%.

Ante la existente demanda de viviendas en México es necesario plantear proyectos que además de ser rentables económicamente para las familias sean también benéficos para el medio ambiente, ya que hoy en día es un grave problema el aumento de emisión de gases de efecto invernadero (GEI).

Las construcciones de madera son amigables con el ambiente ya que la cantidad de GEI (huella de carbono) emitida durante todo el ciclo de vida es muy inferior a la de las construcciones tradicionales de ladrillo y hormigón.

La actual construcción de viviendas de interés social no considera aspectos básicos como el clima, lo cual genera un mayor gasto de energía durante todo el tiempo de vida de la vivienda, lo que a su vez se traduce a un mayor gasto económico familiar, además considerando que estas viviendas no están adaptadas bioclimáticamente no generan confort térmico a los habitantes.

En la construcción de viviendas de madera, existen múltiples sistemas de construcción los cuales pueden adaptarse conforme a necesidades específicas. Un ejemplo es el sistema de entramado ligero, el cual por su facilidad de fabricación de elementos estructurales y la cantidad básica de herramientas requeridas, se puede desarrollar mediante autoconstrucción, lo que genera grandes beneficios sobre todo económicos pues hay un ahorro completo en la cuestión de mano de obra.

Nuestro país ocupa el primer lugar del mundo en el manejo comunitario de bosques certificados como sustentables, tanto en zonas templadas como tropicales. Existe una superficie certificada de 792,275 hectáreas (acreditada por el Consejo de Manejo Forestal, FSC en inglés) y una producción, certificada también, de 1.23 millones de metros cúbicos de madera. (CONABIO, 2017).

Por lo antes mencionado, es indispensable promover el empleo de madera y productos forestales certificados desde el sector público para contribuir a la conservación activa de los bosques y selvas mexicanos, por medio de proyectos alternativos donde sea empleada la madera como materia prima, como por ejemplo el sector de la construcción que es el que mayores cantidades de ésta utiliza.

### **1.3. Objetivo general**

Proponer prototipos de viviendas de madera de interés social, adaptados a tres regiones climáticas de México, integrando aspectos sociales, económicos y ecológicos, utilizando el sistema de entramado ligero, mediante la aplicación de Normas Oficiales Mexicanas y Manuales de construcción, para así contar con un proyecto sostenible para atender el déficit nacional de viviendas.

### **1.4. Objetivos específicos**

- Realizar un análisis sobre la construcción de viviendas sociales con madera en México, mediante la elaboración del estado de arte, con ello conocer las fortalezas y debilidades de futuros proyectos.
- Elaborar planos de distribución de ambientes de viviendas para tres regiones climáticas de México, mediante el uso del programa de diseño Sketch Up v.2017.
- Calcular y diseñar los elementos estructurales (bajo piso, paredes y armaduras) para cada vivienda en base a Normas Oficiales Mexicanas y Manuales de construcción de viviendas para obtener un prototipo por cada región climática.
- Proponer un tipo de aislamiento térmico para viviendas de madera con sistema de entramado ligero, el cual sea funcional y económico; calcular la Resistencia Térmica Total en base a lo establecido en la NMX-C-460-ONNCCE-2009.

## **CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. La madera en la construcción**

La madera ofrece grandes ventajas ambientales, favoreciendo procesos de soporte al ecosistema y brindando enormes garantías como materia prima de alto potencial físico, mecánico y estético para la construcción (Murillo, 2009).

La madera en la construcción se utiliza con una gran variedad de niveles de industrialización. La forma más rudimentaria es la madera en rollo; es decir los troncos descortezados sin mayor elaboración posterior. En México se emplea en andamiajes, cimbras y minas; sin embargo, una aplicación que puede ser de interés es en la construcción de viviendas (COFAN, 1999).

COFAN (1999) menciona que la construcción de estructuras de madera requiere que las secciones de las piezas cumplan con ciertas dimensiones normalizadas para reducir problemas constructivos. En México la madera aserrada se comercializa con una amplia variedad de dimensiones, que se establecen en unidades inglesas (pulgadas y pies) y son utilizadas para cuantificarla en su comercialización.

La norma que establece las características que debe cumplir la madera aserrada en cuanto a dimensiones, así como tolerancias aceptables es la NMX-C-224-ONNCCE (2001), "Dimensiones de la Madera Aserrada para su Uso en la Construcción". Respecto a la clasificación se encuentran la NMX-C-239-ONNCCE (1985), "Clasificación Visual para Madera de Pino de Uso Estructural" y la NMX-C-409-ONNCCE-1999, "Clasificación visual para maderas latifoliadas de uso estructural".

La NMX-C-239-ONNCCE (1985), establece tres tipos de reglas para clasificar la madera: generales, especiales e industriales.

La diferencia entre los tipos de reglas son las dimensiones permitidas de los defectos y su ubicación (Apéndice 1). Estas reglas se encuentran agrupadas en tres diferentes calidades estructurales: la Clase “A” con alta resistencia (industrial); la Clase “B” con mediana resistencia (especial), y la clase “G” de baja resistencia (general).

### **2.1.1. Sistemas constructivos para viviendas de madera**

CORMA (2004), menciona que la estructura de una vivienda consta de una fundación, entramados horizontales, entramados verticales y la estructura de la techumbre. Así mismo clasifica los sistemas estructurales con madera en: Estructuras de luces mayores y Estructuras de luces menores, las cuales se subdividen de la siguiente manera:

#### **Estructuras de luces menores**

*Estructuras macizas.* Se caracteriza por connotación de pesadez y rigidez por la forma en que se disponen los elementos que lo constituyen (rollizos o basa). Una gran ventaja de este sistema constructivo es la buena aislación térmica que ofrece, garantizada por la masa de la madera.

*Estructuras de placa.* Este sistema consiste en la fabricación de paneles conformados por bastidores de perfil de madera, provistos de revestimiento que darán rigidez y arriostramiento a la vivienda. La ventaja de este sistema es el fácil desarme de los elementos estructurales.

*Estructuras de entramados.* Son aquellos cuyos elementos estructurales se conforman por vigas, pilares o columnas, postes y pies derechos. Este sistema se clasifica según la manera de transmitir las cargas al suelo: de paneles soportantes y de poste-viga.

El sistema de poste y viga se utiliza para salvar luces mayores a las normales de una vivienda de dos pisos. Utiliza pilares o postes (empotrados en su base) que se encargan de recibir los esfuerzos de la estructura a través de las vigas maestras ancladas a estos, sobre las cuales descansan las viguetas que forman la plataforma del primer piso.

Finalmente el sistema de paneles soportantes, a su vez se clasifica en sistema continuo y plataforma, en el primero de ellos, los pilares que forman los tabiques estructurales perimetrales e interiores, con continuos, teniendo la altura de los dos pisos (comienzan en la fundación y terminan en la solera superior donde apoyan las estructuras de la techumbre).

Por su parte, el sistema de plataforma, es el sistema más utilizado en la construcción de viviendas con estructura de madera, su ventaja radica en que cada piso permite la construcción independiente de los tabiques soportantes y autoportantes. Paralelamente a la materialización de la plataforma que formará el piso, se pueden prefabricar los tabiques (que formarán muros y techumbre).

A continuación se describirán los aspectos constructivos para la construcción de viviendas con entramados ligeros (sistema de plataforma), puesto que el presente trabajo se plantea en base a dicho sistema.

## **2.2. Aspectos de la construcción con madera**

### **2.2.1. Estudio y selección del sitio**

COFAN (1999) recomienda tomar en cuenta dos tipos de terreno siempre y cuando se tenga posibilidad de seleccionar el sitio de construcción.

Tipo I: colinas en donde los terrenos tienen poca pendiente. Algunos están sujetos a severos deslizamientos. En todos los taludes, se debe tener el cuidado de evitar que el suelo tenga probables movimientos por gravedad o por erosión del agua. Algunas colinas pueden aprovecharse como terrenos para construcción

a través de consideraciones especiales, por ejemplo, utilizando cimentación con postes. El problema debe solucionarse haciendo un estudio de mecánica de suelos.

Tipo 2. Es un terreno que posee buen drenaje y pocos problemas, debido a su escasa inclinación. Se encuentra en las partes altas, alejado de las corrientes de los ríos. Este tipo de terreno es el más recomendable para la construcción.

Por su parte, en las Normas Técnicas complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones (2004), se plantean tres zonas para el reconocimiento del sitio de construcción, con las siguientes características generales:

Zona I. Lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta zona, es frecuente la presencia de oquedades en rocas, de cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena y de rellenos no controlados.

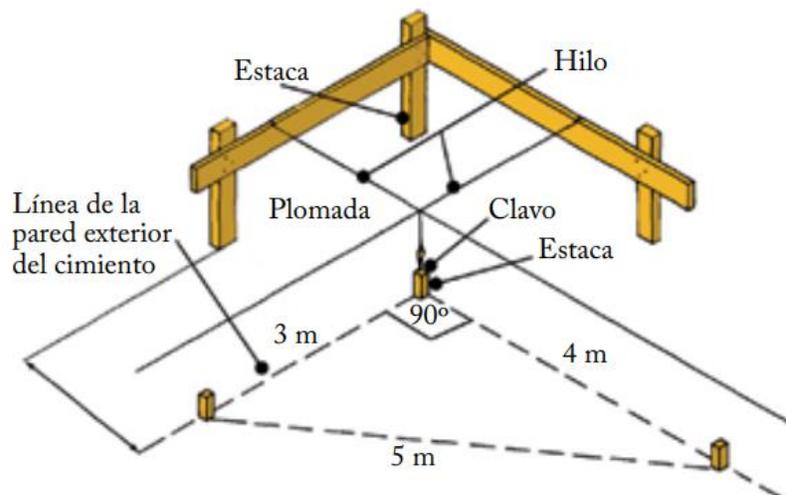
Zona II. Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad, o menos, y que está constituida predominantemente por estratos arenosos y limo arenoso intercalado con capas de arcilla lacustre; el espesor de estas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros.

Zona III. Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son generalmente medianamente compactas a muy compactas y de espesor variable de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m.

## 2.2.2. Trazo y nivelación del terreno

Para el trazo y nivelación del terreno, COFAN (1999), recomienda el siguiente procedimiento: a) Localizar las esquinas de la casa y los planos de la vivienda. b) Se colocarán reventones (hilos) en cada uno de los puentes hechos de madera. c) Se trazarán los ángulos rectos en cada esquina por medio del triángulo rectángulo. d) Se trazarán los ejes de la construcción con relación a las diferentes instalaciones.

Por su parte, CONAFOR (s/f) indica que se deben trazar los límites del terreno, los muros para ubicar la cimentación y la ubicación de la toma de agua, y la salida del drenaje (Figura 1).



**Figura 1.** Trazo del terreno, *Fuente: CONAFOR (s/f).*

### 2.2.3. Cimentación

En los sistemas constructivos de madera (especialmente en el entramado ligero) se deben dar dos condiciones de gran importancia: evitar que la humedad llegue a la madera, a través de un adecuado diseño constructivo y contrarrestar el posible efecto de succión del viento (Peraza, 1995).

La ventaja del uso de la madera en la construcción de edificios, es el bajo costo de la cimentación por el bajo peso de la estructura. Aspectos importantes a tomar en cuenta cuando se diseña la cimentación de estructuras de madera son: que estén adecuadamente ancladas a los cimientos y que estén lo suficientemente alejadas del suelo (15 o 20 cm o más) para evitar la humedad y ataque de organismos que dañen la madera (COFAN, 1999).

De acuerdo a CORMA (2004) las fundaciones se pueden clasificar según el tipo de terreno sobre el cual se materializará la estructura:

*Fundación superficial:* Es aquella apoyada en estratos superficiales del terreno, siempre que tengan espesor y capacidad suficiente de soporte para absorber los esfuerzos que le son transmitidos. Esta fundación generalmente se materializa mediante zapatas y/o cimientos.

*Fundación profunda:* Es aquella que, dada la mala calidad o insuficiente capacidad de soporte del terreno superficial, debe profundizarse, ya sea para alcanzar los estratos que sí tienen la capacidad de soporte requerida o que por el roce entre la superficie lateral de la fundación y el terreno se soporte la estructura.

Una de las características destacadas del sistema constructivo de las viviendas de madera es el bajo peso de su estructura, comparado con los sistemas constructivos tradicionales (albañilería armada o reforzada y de hormigón), por lo que los esfuerzos transmitidos al suelo son bastante menores. Esto facilita utilizar “fundaciones superficiales”, ya que los estratos superficiales son capaces de soportar las cargas de la estructura (CORMA, 2004).

De acuerdo a CORMA (2004) los tipos de fundaciones superficiales más utilizados en las viviendas con estructura de madera son la fundación continua y la fundación aislada.

Los elementos que conforman la fundación continua son los sobrecimientos: paralelepípedo de hormigón en masa o bloque de hormigón que puede requerir refuerzos de barras de acero según cálculo. Se ubica sobre el cimiento y tiene un ancho igual o menor a éste e igual o mayor al del muro.

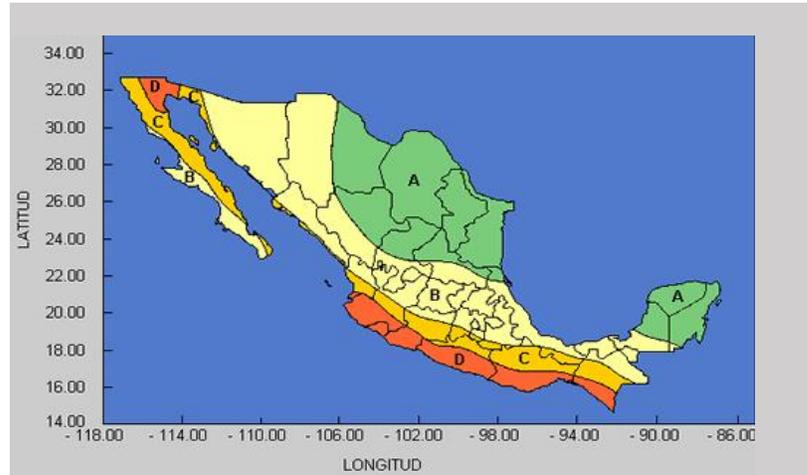
Por su parte la fundación aislada puede ser materializada mediante pilotes de hormigón armado o pilotes de madera. Normalmente se adopta esta solución en terrenos que tienen pendientes mayores al 10% en el sentido del eje mayor de la planta, por lo que es difícil realizar movimientos de tierra (difícil acceso de maquinaria, terrenos rocosos y duros) y en los que existe presencia de agua o gran humedad del terreno.

La fundación aislada de pilotes de hormigón consiste en cimientos aislados de hormigón en masa, a los que se les incorpora una armadura de acero en barras, cuya función es anclarlos a una viga de fundación de hormigón armado que desempeña la función de un sobrecimiento armado.

La fundación aislada con pilotes de madera es el sistema de fundación más adecuado para viviendas de madera de uno y dos pisos, dada su facilidad, rapidez de ejecución y economía.

*Diseño contra sismo:* Para contrarrestar daños físicos por movimientos sísmicos, debe considerarse un buen anclaje a la cimentación, el diseño de la unión entre la cimentación y la estructura debe considerar las diferencias de las capacidades de absorción de energía y de las rigideces de los diferentes materiales, el diseño de los anclajes de la estructura a la cimentación, deberá efectuarse en tal forma que se evite el deslizamiento lateral o vertical de la estructura (COFAN, 1999).

La República Mexicana se considera dividida en cuatro zonas (CFE, 2015); la zona A es la de menor intensidad sísmica mientras que la de mayor intensidad es la zona D (Figura 2).



**Figura 2.** Regionalización sísmica de la República Mexicana. Fuente: CFE (2015).

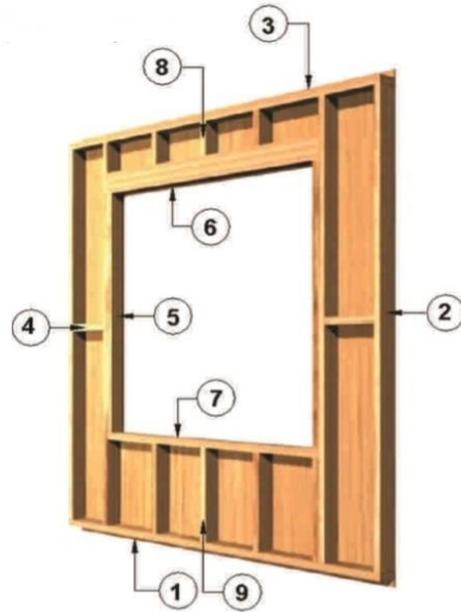
El empuje horizontal de un sismo es resistido por los paneles de la construcción de madera y la resistencia disminuye si se hacen aberturas (vanos de puertas y ventanas). Las recomendaciones de diseño de muros contra sismos se describirán en la siguiente sección.

#### **2.2.4. Muros**

Un entramado es aquella disposición constructiva que está basada en la utilización de piezas estructurales de tipo lineal, es decir, que se combinan de diversas posiciones para constituir elementos estructurales. El Tabique (panel) es un entramado vertical constituido por pies derechos modulados a distancias pequeñas unidos por sus extremos por piezas horizontales o inclinadas. El Panel es un entramado vertical prearmado en taller y montado posteriormente en obra (Hanono, 2005).

CORMA (2004) menciona que los paneles están conformados por un conjunto de piezas que cumplen funciones específicas. Las piezas principales que conforman los paneles se muestran en la figura 3.

1. Solera inferior
2. Pie derecho
3. Solera superior
4. Transversal cortafuego (cadeneta)
5. Jamba
6. Dintel
7. Alféizar
8. Puntal de dintel
9. Muchacho



**Figura 3.** Piezas que componen un entramado vertical. *Fuente: CORMA (2004).*

COFAN (1999), indica que los pies derechos son piezas cuyas principales funciones estructurales son:

- a)** Transmitir a la cimentación las cargas gravitacionales procedentes del techo y de los pisos intermedios, así como su propio peso.
- b)** Soportar los efectos de empujes y succiones del viento que le son transmitidos por la cubierta estructural de los muros.
- c)** Junto con las soleras y otras piezas horizontales, proporcionan un entramado al cual se clavan la cubierta estructural y los recubrimientos exteriores e interiores.

La separación entre pies derechos está regida por las demandas de carga. Si las cargas verticales son altas o la flexión lateral es grande, es necesario reforzar

un muro entramado (Parker y Ambrose, 2012). Dichos autores recomiendan hacerlo de diferentes formas como a continuación se enuncia: a) Disminuir la separación entre pies derechos b) Aumentar el espesor del pie derecho, de 2 a 3" nominales, c) Aumentar el ancho del pie derecho, d) Usar pies derechos dobles o triples como puntales en sitios de cargas concentradas.

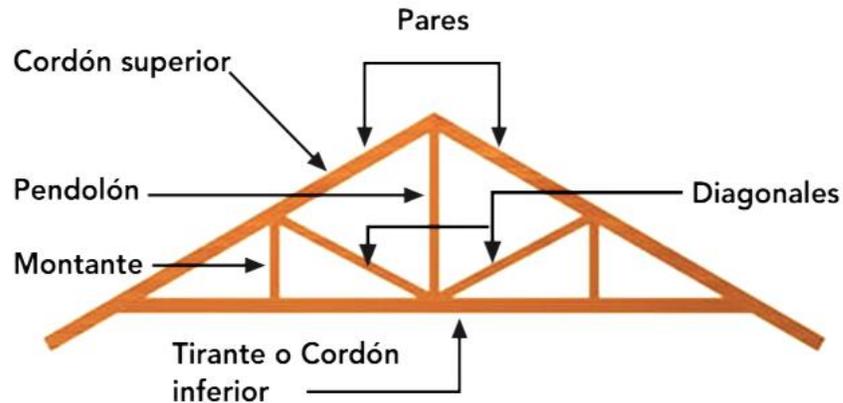
*Diseño por sismos:* de acuerdo a JUNAC (1980) la reducción de resistencia de los paneles puede ser más grave si las aberturas se hacen cerca de las esquinas. COFAN (1999) menciona algunas recomendaciones para contrarrestar los daños físicos ocasionados por movimientos sísmicos en los muros:

- Evitar ubicación de vanos cerca de las esquinas
- Evitar vanos grandes en muros de carga
- Diseñar muros que trabajen estructuralmente y sean resistentes a la deformación en el plano del tablero
- Prever el uso adecuado de arriostramientos en los elementos estructurales, se recomienda rigidizar los dos paneles que forman una misma esquina con riostras diagonales (generalmente piezas de 19 mm de espesor) con una inclinación de 30° a 60°, de ser posible, la riostra debe encajarse en los pies derechos y las soleras.

### **2.2.5. Techo**

Los techos a dos aguas son los más comúnmente usados en viviendas y otras edificaciones a base de entramados ligeros, que pueden construirse con los siguientes sistemas estructurales: a) largueros inclinados y tirantes, b) apoyados sobre una viga cumbrera robusta y c) armaduras (cerchas) ligeras. En la actualidad la mayoría de los techos de dos aguas para vivienda se construyen con cerchas ligeras (COFAN, 1999).

La cercha es de fácil y rápida confección, puede ser prefabricada o armada a pie de obra y su diseño le permite salvar grandes luces. El tamaño no está limitado por el largo de las piezas comerciales, puesto que existen sistemas de unión que permiten conformar elementos de dimensiones mayores CORMA (2004).



**Figura 4.** Elementos de una cercha. *Fuente: CORMA (2004).*

Existen distintos tipos de cerchas, pudiendo clasificarse por su forma, de acuerdo a CORMA (2004) (Apéndice 2).

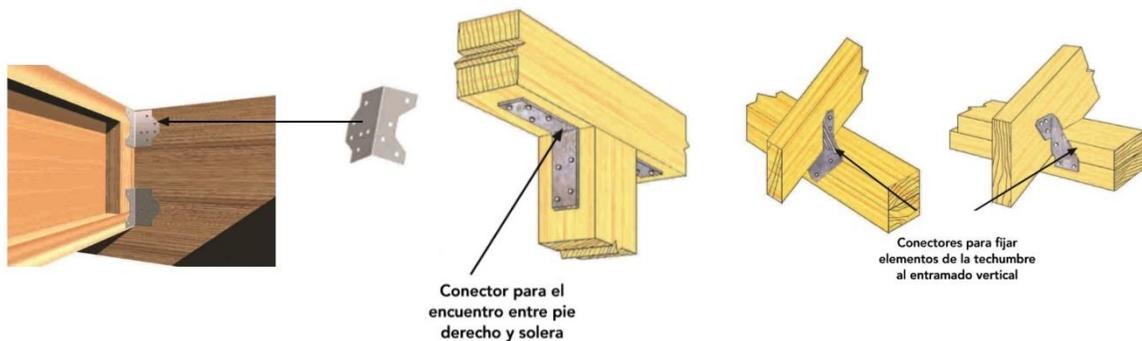
### 2.2.6. Elementos de unión

Los sujetadores comúnmente utilizados en las construcciones con madera son los clavos, tornillos, pernos, pijas, placas y conectores metálicos.

El clavo es el sujetador metálico más comúnmente utilizado en la construcción con madera existiendo una gran variedad de longitudes, diámetros materiales, estilos y acabados. Los tornillos para madera más comúnmente utilizados son los de cabeza plana, redonda u ovalada. Con los tornillos se obtienen uniones más rígidas que con los clavos pero su colocación requiere mayor mano de obra (COFAN, 1999).

Respecto a las placas dentadas se trata de placas de chapa galvanizada a las cuales, por estampación, se les ha extraído una serie de dientes perpendiculares en toda su superficie. Están diseñadas para unir piezas de madera del mismo espesor en un mismo plano. Su aplicación más común es la fabricación de cerchas en carpintería industrializada (Orradre, 2003).

Los conectores metálicos (Figura 5) normalmente son clasificados según la función que cumplen y por su resistencia estructural. Pueden ser empleados en el entramado del piso, en la elaboración de paneles o en la estructura de la techumbre (CORMA, 2004).



**Figura 5.** Conectores metálicos empleados en distintos elementos estructurales. *Fuente:* CORMA (2004).

### 2.2.7. Aislamiento

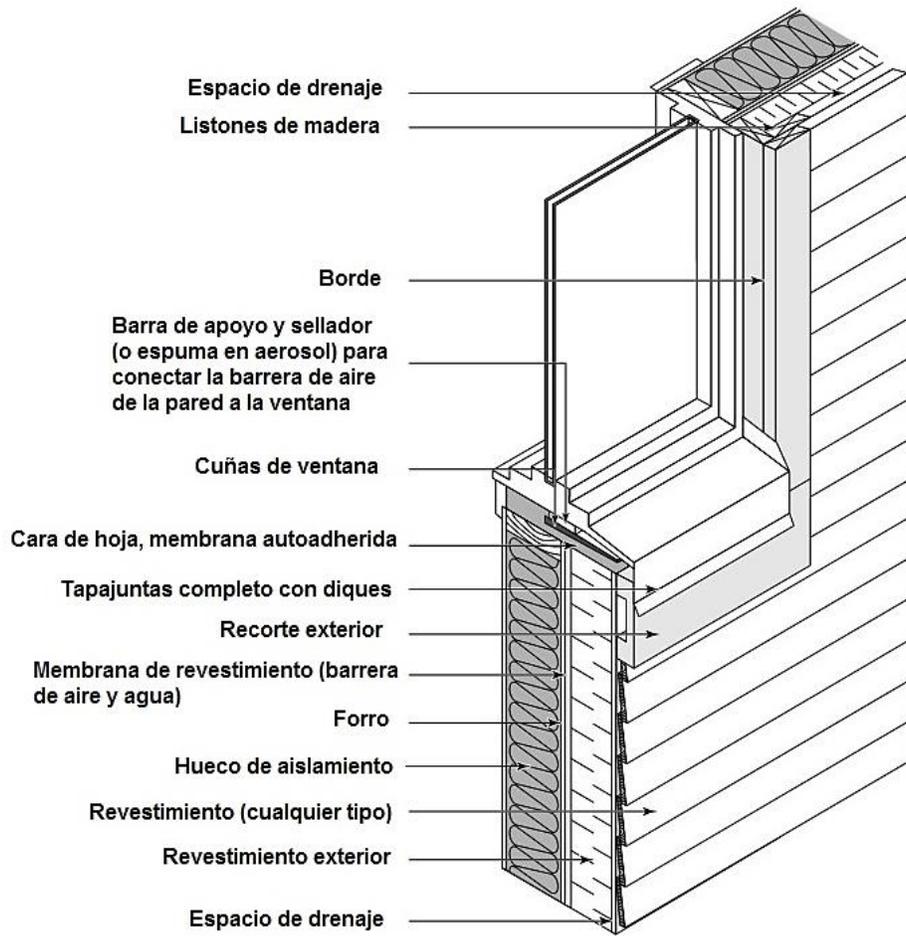
El consumo de energía para calefacción ha llegado a superar, en los países occidentales, cerca del 30% de la totalidad del gasto energético nacional, razón por la cual la construcción se ha preocupado tanto en estos últimos años de evitar derroches, recurriendo a un buen aislamiento para limitar este consumo (Peraza, 1995).

El mismo autor menciona, que la protección ha de ser capaz de disminuir las pérdidas o ganancias de calor durante todo el año disponiendo un buen aislamiento térmico en los cerramientos. La tecnología actual ha resuelto perfectamente todos los problemas que se pueden presentar en este sentido tanto en la construcción tradicional como en madera.

La efectividad de un conjunto de construcción, como una pared o techo, para resistir el flujo de calor se mide por su resistencia térmica. Aunque los materiales utilizados para la estructura, revestimiento y los acabados tienen cierta resistencia al flujo de calor, se requieren materiales de aislamiento para proporcionar niveles suficientes de resistencia térmica. Los materiales aislantes tienen valores nominales de resistencia térmica determinados por pruebas de laboratorio (Burrows, 2013).

El aislamiento, las barreras de vapor y los sistemas de barrera de aire se pueden instalar al mismo tiempo que los acabados exteriores, siempre que el conjunto aislado esté protegido contra daños por humedad, como el causado por la lluvia impulsada por el viento (Figura 6). Esta etapa requiere algunos días para completarse y requiere un ajuste cuidadoso y sellado alrededor de penetraciones mecánicas, accesorios y cajas eléctricas (Burrows, 2013).

Los valores de Resistencia Térmica para los elementos constructivos que constituyen la envolvente de la vivienda, tales como muros, techos y entrepisos ventilados, están dados en las especificaciones de la NMX-C-460-ONNCCE (2009) "Aislamiento térmico – Valor R para las envolventes de vivienda por zona térmica para la República Mexicana – Especificaciones y verificación".



**Figura 6.** Ventana en pared aislada. *Fuente: Burrows (2013).*

## **CAPÍTULO 3. ESTADO DEL ARTE DE LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE MADERA DE INTERES SOCIAL EN MÉXICO**

### **Resumen**

El presente trabajo tuvo como objetivo conocer el escenario en México sobre la construcción de casas de madera, con la finalidad de identificar debilidades y fortalezas, con ello diseñar posibles estrategias para un mayor fortalecimiento e inclusión dentro del sector social, haciendo hincapié en la diversidad de beneficios ambientales y económicos que tiene el uso de la madera en la construcción. Los sistemas constructivos utilizados en la vivienda de interés social hasta ahora son tradicionales, con poca tecnología e intensivos en mano de obra ya que la mayoría de las construcciones son a base de mampostería y losas de hormigón. La construcción de casas de madera es una temática que ha tomado poco relevancia, debido principalmente al desconocimiento de las propiedades de la madera como material para la construcción.

**Palabras clave:** beneficios ambientales; mampostería; sistemas constructivos

### **Abstract**

The objective of the present work was to know the scenario in Mexico about the construction of wooden houses, with the purpose of identifying weaknesses and strengths, with which to propose possible strategies for a greater strengthening and inclusion within the social sector, emphasizing the diversity of Environmental and economic benefits of using wood in construction. The constructive systems used in housing of social interest until now are traditional, with little technology and intensive in labor since the majority of the constructions are based on masonry and concrete slabs. The construction of wooden houses is a theme that has gained little relevance, mainly due to the lack of knowledge of the properties of wood as a material for construction.

**Keys words:** environmental benefits; masonry; construction systems.

### **3.1. Introducción**

La problemática de la vivienda en México, al igual que en la mayoría de los países, se puede considerar desde dos enfoques principales: la parte social y la económica. El enfoque social es un aspecto permanente, ya que su sentido no ha cambiado a través del tiempo, es el mismo que hace años y parece que será el mismo que en 20 o 30 años; existe una necesidad social no satisfecha que, de una u otra forma, se trata de corregir. Es por ello que la perspectiva de la vivienda social en México debe observarse directamente desde el punto de vista económico, pues la vivienda posee un cierto valor que, en definitiva, deberá ser cubierto por las familias o, en su caso, por el estado (Hernández 2006).

La madera es un producto renovable, se puede obtener de un bosque bajo un manejo sostenible o de plantaciones comerciales, a diferencia de otros productos que para conseguir su aprovechamiento dejan una huella medioambiental indeleble y difícil de revertir, como por ejemplo, los áridos, el hierro o el aluminio. Así, en el sector de la construcción, especialmente en obras de poca altura, atendiendo a todos los gastos, tanto directos, como ambientales y energéticos, resulta más económico utilizar la madera que otros productos tradicionales como el hormigón, ladrillo o el acero (Devia 2002).

En México la madera es un recurso del que se puede disponer con relativa facilidad, por lo cual es necesario crear una cultura de la construcción con madera, que ayudaría a ordenar un sistema de comercialización y a generar una mayor demanda de la misma, contribuyendo a realizar un manejo sostenible del bosque (Devia 2002).

La construcción con madera forma parte de la construcción energéticamente eficiente del futuro. La madera es sostenible, neutral en CO<sub>2</sub> y un aislante altamente eficaz, creando unas excelentes condiciones de vida. Una ventaja específica de la madera es su capacidad para reducir el uso de energía. Si consideramos la creciente importancia de los métodos de construcción

energéticamente eficientes, la construcción con madera tendrá un papel cada vez más importante en el futuro (Bayer, *et al.* 2011).

## **3.2. Consideraciones generales**

### **3.2.1. La madera como material para la construcción de viviendas**

La madera en la construcción ha sido un material utilizado desde tiempos muy antiguos, brindando a los usuarios múltiples ventajas. Devia (2002) menciona que la construcción con madera es una práctica común en muchos países, desde casas de campo, viviendas de construcción masiva en barrios residenciales y viviendas muy especiales de uso exclusivo. El uso milenario de la madera como material de construcción ha permitido desarrollar técnicas diversas y muy variadas, en algunos casos, ésta supera al hormigón y al hierro en resistencia/unidad de peso instalado, seguridad pasiva y confort.

Del mismo modo, Serrano y Sáenz (2012) indican que en países con mayor desarrollo, la madera es uno de los materiales más apreciados. En Norteamérica usualmente las construcciones residenciales utilizan entre un 50% y un 70% de madera de todos los materiales empleados.

Cuando se analizan las estadísticas relacionadas con pérdidas ocasionadas por incendios se observa que las personas están tan seguras en casas con entramados de madera en paredes y tabiques, como los que están en un edificio de estructuras livianas de acero, hormigón y hormigón armado (Serrano y Sáenz 2012).

Entre otras ventajas de la madera, desde el punto de vista de su uso como material de construcción, se sabe que es un recurso natural renovable, que necesita muy poca energía para su conversión en componentes estructurales, y además provee beneficios ecológicos deseables comparados con otros materiales alternativos. Estos atributos aseguran el futuro de la madera como un importante material estructural (Dávalos 1996).

Zepeda (2008), indica que el avance de la tecnología, la versatilidad de los materiales, especialmente de la gama de plásticos, hormigones y acero, ha influido en el cambio de los sistemas de construcción en pocas décadas. La madera es el material más noble, renovable, sano, sostenible, estético y confortable de la construcción. Prácticamente todas las culturas de la humanidad la han empleado en sus obras constructivas.

Celano y Jacobo (s.f.) indican que las técnicas constructivas industrializadas ofrecieron la perspectiva de una producción masiva de unidades habitacionales con eficiente utilización de recursos y control de calidad, sin embargo, la paralización de las plantas de prefabricación, la monotonía de algunos barrios construidos y los costos inaccesibles llevan a replantear el enfoque productivo.

Parte de los problemas fueron las frecuentes transferencias literales de la tecnología de los países desarrollados sin considerar los requerimientos y recursos específicos del continente sudamericano, siendo la causa principal la ausencia de una política que incluya como prioridad la industrialización, normalización y prefabricación aplicada a la construcción, así como el aprovechamiento integral de los recursos renovables, como la “madera” (Celano y Jacobo, s.f.).

La construcción verde enfoca el problema del hábitat en armonía con las tres dimensiones fundamentales de la sostenibilidad: 1) Dimensión ecológica, 2) Dimensión social y 3) Dimensión económica (Zepeda y Carranza 2001).

Wang, *et al.* (2014) mencionan que la construcción verde (GB) es un tema emergente de la investigación, sin embargo, existen pocos estudios relacionados directamente con el uso de la madera en la construcción verde. Los autores intentan aumentar la comprensión de la GB y el potencial que tiene la madera para mejorar este concepto desde el punto de vista de diversos expertos en el sector de la construcción en el Reino Unido. Analizando cualitativamente los datos de entrevistas, sugieren que existe un potencial para integrar la

construcción verde y las empresas de responsabilidad social en el sector de la construcción.

Así mismo, los autores antes mencionados indican que el gobierno del Reino Unido ha jugado un papel crucial en la promoción y desarrollo de la construcción verde, lo que mostró un incremento positivo en el uso de la madera en este sector, lo que apoya la idea sobre la importancia de relacionar la madera al concepto de GB por su comportamiento medioambiental.

También muestran que los expertos tienen un buen conocimiento de la madera como material en la construcción, sin embargo, los usuarios finales, que suelen carecer de información y conocimiento de los productos de madera, a menudo muestran fuertes prejuicios para su uso.

Finalmente se demuestra a los grandes promotores que la madera es una solución sostenible para la GB en el sector de la construcción del Reino Unido incluyendo la legislación, la conciencia ambiental, las actitudes y las tradiciones, el mercado y la competencia, la promoción, la comunicación y la tecnología (Wang, *et al.* 2014).

En el marco de la sostenibilidad del hábitat construido en Latinoamérica, Schiller, *et al.* (2003) estudian diversas consideraciones que inciden en la implementación de la evaluación del impacto ambiental de la edificación, especialmente lo relativo a la dimensión socio-económica, cuya implicación excede el uso de materiales 'verdes', energías renovables, eficiencia energética, deconstrucción, reciclaje, etc. Presentan la situación de Grupos Nacionales de Argentina, Brasil, Chile y México, miembros de redes internacionales como el Consejo Mundial de la Construcción Verde (WGBC) y el Desafío de la Edificación Verde (GBC).

Zepeda y Carranza (2001) presentan el estudio de caso del Programa de I&D hacia la Sostenibilidad de los Asentamientos Humanos del Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción (CIVCO) del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Con la aplicación de conceptos y tecnologías de la construcción

verde, el CIVCO pretende cambiar la práctica constructiva en los conjuntos habitacionales populares costarricenses con el fin de lograr su sostenibilidad ambiental y mejorar la calidad de vida de sus habitantes, a menor costo.

### **3.2.2. Escenario internacional de las viviendas de madera de interés social**

Devia (2002), menciona que en base a modelos existentes de viviendas de interés social se han realizado cálculos presupuestales con la finalidad de evaluar la viabilidad económica, reemplazando algunos elementos por madera, y se ha encontrado que hay una notable disminución de los costos directos de la vivienda, dicha disminución suele variar entre un 18 y 36%. Es aquí donde radica el potencial del uso de la madera en la construcción de viviendas de interés social.

Jacobo y Vedoya (2004), indican que el mercado comercial de la construcción exige calidad constructiva, además de buenos resultados económicos. Es necesario considerar técnicas constructivas con sentido ecológico y materiales que respondan a objetivos económicos y ecológicos, como es el caso de la madera, un material natural renovable brindado por el bosque. La construcción con madera ha evolucionado por medio de técnicas constructivas y nuevos productos que han mejorado paulatinamente a través de los años.

En muchos países desarrollados se utiliza la madera como material básico en la construcción, entre los que podemos encontrar: Estados Unidos de Norteamérica con un 90%-95%, Canadá con un 80%-90%, Escandinavia (Suecia, Noruega, Finlandia) con 75%-85%, Australia y Nueva Zelanda 60%-75% de uso de la madera en la construcción de viviendas (Jacobo y Vedoya 2004).

Respecto a la vivienda de interés social y la autoconstrucción, Robles (1991) menciona que la experiencia en América Latina parece indicar que no es posible satisfacer las necesidades de vivienda de la población de bajos recursos económicos por los métodos convencionales de construcción ni por sistemas a base de industrialización masiva. La mayor parte de las viviendas de los

habitantes de los asentamientos espontáneos y de las zonas rurales del Tercer mundo es construida por los propios usuarios.

Cualquier programa de acciones encaminadas a resolver los problemas de vivienda, deberá contemplar, como un aspecto principal, el apoyo a la construcción, promoviendo la participación activa de los usuarios. La autoconstrucción puede adoptar diversas modalidades que van desde la totalmente espontánea hasta la dirigida, que recibe algún tipo de apoyo. Esta puede consistir en financiamiento directo, asistencia técnica y/o el suministro de materiales y componentes prefabricados (Robles 1991).

Holguín y Navas (2012) plantean un proyecto para conocer el grado de aceptación de un sistema de construcción de casas prefabricadas, como una alternativa a la construcción tradicional (de bloque o ladrillo). Este sistema de construcción está propuesto o dirigido para los segmentos vulnerables, ya que por ser un sistema industrializado de construcción puede ofrecer un precio más económico debido a la alternativa del uso de materiales de los que están compuestas las unidades habitacionales.

Estos mismos autores también realizaron un estudio en las parroquias rurales del Cantón Latacunga en Ecuador a fin de conocer el perfil de los clientes potenciales y las preferencias en cuanto a materiales de construcción, y la capacidad económica del segmento al cual se pretende llegar, con el fin de dar soluciones para disminuir el déficit habitacional. Por último el proyecto contiene un estudio financiero de factibilidad necesario para la puesta en marcha, donde se plasman los modelos y planos propuestos. Este tuvo la mayor aceptación debido al costo, ya que se puede aplicar a viviendas más grandes o acabados de acuerdo a otras especificaciones (Holguín y Navas 2012).

Barrios, *et al.* (2006), realizaron un análisis de las principales ventajas de la madera como material de construcción en Venezuela, resaltando que la madera tiene alta sostenibilidad medioambiental, menor consumo energético en su proceso de transformación a productos acabados respecto a otros materiales

tradicionales en la construcción, y por sus buenas propiedades de aislación, una repercusión sustancial en ahorro de energía eléctrica una vez puesto en obra.

Esta investigación muestra de forma analítica las posibilidades del ahorro económico y energético del uso de la madera, con la finalidad de establecer un plan nacional de construcción de viviendas sociales en dicho país en el periodo de un decenio. Los autores mencionan que la madera, por poseer una baja conductividad térmica es más eficiente desde el punto de vista de aislamiento lo que implica un menor uso de electricidad para el acondicionamiento de un espacio (Barrios, *et al.* 2006).

Contreras, *et al.* (s.f.) describen la concepción de diseño de un sistema constructivo industrializado con madera y acero denominado Uverito, que es una Patente de Modelo de Utilidad ante el Servicio Autónomo de Propiedad Intelectual, Caracas, Venezuela. En el sistema se consideran los principales parámetros que deben existir en el diseño actual de una edificación de interés social; tales como la industrialización, estandarización, normalización, prefabricación, autoconstrucción, flexibilidad, apropiabilidad de la tecnología, participación comunitaria, bajo costo, así como adaptación al medio geográfico y cultural. La propuesta proyecta la realización de dos tipos de viviendas unifamiliares aisladas y pareadas, de una y dos plantas, empleando como material la madera proveniente de plantaciones, que a su vez generan trece prototipos morfológicamente diferentes.

En Venezuela se realizó un manual constructivo, que permite la promoción de la propuesta, a fin de que las comunidades organizadas puedan apropiarse de la tecnología y hacer uso generalizado de este sistema constructivo, estas viviendas son más económicas que las construidas con materiales tradicionales, con mayor superficie, arquitectónicamente mejores que las ofertadas en el mercado de la vivienda de interés social en Venezuela (Contreras, *et al.* s.f.).

Contreras, *et al.* (2009) mencionan que considerando el déficit habitacional existente en Venezuela y el potencial forestal que proyecta el uso del pino, se

tiene planeado construir 50 mil viviendas por año, para lo cual se desarrollaron más de 15 prototipos para diferentes estratos sociales de bajo costo, tanto urbanos, como rurales. Para evaluar estos prototipos arquitectónica y tecnológicamente se seleccionaron dos a partir de los principios de diseño y construcción con madera

Después de evaluados los diseños, se encontró que, desde el punto de vista arquitectónico superan los estándares de estética de la gran mayoría de diseños de viviendas de bajo costo que se han realizado en Venezuela. Como parte de la investigación, se realizó el rediseño exclusivamente de la distribución en planta, lográndose mejorar la función y caracterización de espacios, disminuyendo el número de paneles estructurales respecto a la proposición original (Contreras, *et al.* 2009).

Contreras, *et al.* (2010) muestran que la ciencia y tecnología de la madera y sus productos forestales ha generado en los últimos años productos y procesos industriales ecoeficientes, innovadores, económicos y vanguardistas, siendo estas las premisas en las que se sustentan las propuestas de viviendas sociales que se plantean, considerando la concepción de diseño de dos propuestas arquitectónicas de viviendas sociales a partir de sistemas constructivos mixtos de madera, productos forestales, acero y hormigón; además pretenden buscar, la economía en pleno equilibrio con la calidad del diseño arquitectónico y de confort.

Existe un sinnúmero de sistemas constructivos prefabricados en madera tanto a en Venezuela como a nivel internacional, que presentan características técnicas adecuadas para considerar su aplicación en el medio a través de su adecuación a las necesidades sociales, económicas-comerciales y técnico-constructivas de la Región NEA (Vahee y Vedoya, s.f.).

También Vahee y Vedoya (s.f.), mencionan que con la experiencia realizada con la ejecución de la Base de datos sobre Relevamiento de Sistemas Constructivos Prefabricados de madera, se ha verificado por una parte, la importancia de poseer información actualizada de diversos sistemas, y por otra parte se

comprueba que un gran número de sistemas constructivos implementados en la República Argentina no contemplan el aspecto social del usuario mucho menos el aprovechamiento ecológico de los recursos naturales.

### **3.3. Caso México**

#### **3.3.1. Las viviendas de interés social en México**

Sánchez (2012) presenta resultados de tres años de investigación sobre la vivienda social en México y los factores que han provocado su desarrollo y evolución, en el que primeramente hace una revisión sobre la historia de la construcción de la vivienda social en el territorio mexicano, exponiendo los distintos organismos públicos y privados que intervienen en los procesos de gestión, planeación y construcción de la vivienda en el país, analizando proyectos que se han llevado a cabo en los últimos 70 años, se diagnostica la problemática actual, así como la proyección a futuro.

El mismo autor menciona los factores que pueden influir en futuros desarrollos de la vivienda social en México. Así mismo describe varias propuestas arquitectónicas a nivel internacional que emplean novedosos mecanismos, haciendo reflexionar sobre la utilización de nuevas técnicas y el empleo de otros materiales (Sánchez 2012).

El desarrollo sostenible en la actualidad es un tema presente en la agenda de todos los países, por lo que en la vivienda social la sustentabilidad debe estar implícita en el diseño del proyecto, así como el ahorro de energía y la recuperación de los recursos naturales para la reutilización. Todo ello en beneficio del medio ambiente y sirviendo para reducir los gastos de las familias (Sánchez 2012).

Ruiz (2014) menciona que la industria de la vivienda de interés social está en proceso de reestructuración debido a nuevas políticas en el otorgamiento de créditos y subsidios concedidos por el gobierno federal. Por otra parte la Política Nacional de la vivienda promoverá más la construcción de desarrollos verticales

en las ciudades, y menos en los suburbios. El negocio de la vivienda de interés social está cambiando, y para abatir el rezago estimado en 9 millones de viviendas, se espera la realización anual de un millón de acciones de lotificación, construcción, ampliación y mejora de hogares, tanto en el campo como en la ciudad.

Al respecto, Barona y Sánchez (2005) presentan los principales resultados de una investigación sobre la caracterización de la vivienda urbana de interés básica, social y económica en Puebla, con referencia a los materiales y tecnologías constructivas. Sus objetivos estuvieron dirigidos a mejorar el conocimiento de dos factores con mayor incidencia en su comportamiento físico, y la posibilidad de evaluar la dependencia o interrelación con la vida útil del producto que se obtiene.

Los objetivos de caracterización fueron definidos a partir de los criterios de diferentes autores, sobre todo de una encuesta muestral. La definición de los prototipos o tipologías persigue el objetivo de profundizar en su caracterización y en futuros estudios sobre los procesos patológicos que, en el ocurren y con ello determinar con mayor precisión las causas de las manifestaciones patológicas.

Concluyen que el tipo de vivienda estudiada no se produce con enfoque sustentable. La conservación y en particular el mantenimiento preventivo y sistemático constituyen actividades prioritarias para todas las tipologías estudiadas. Finalmente, la caracterización de la vivienda de interés básica, social y económica del estado de Puebla, México poblana, desde el punto de vista de sus materiales de construcción, muestra un predominio de los materiales tradicionales (block, cemento y/o ladrillo).

Meli, *et al.* (1994) indican que los sistemas constructivos utilizados en la vivienda de interés social han sido muy tradicionales, poco tecnificados e intensivos en mano de obra. La gran mayoría de las construcciones están realizadas a base de mampostería y losas de cemento. Esto obedece, por una parte, a la preferencia de la población por estos materiales y, por otra, a la disponibilidad de

mano de obra barata. Desde hace varias décadas se han repetido los intentos por introducir soluciones industrializadas y más tecnificadas para la vivienda. Todas ellas han fracasado desde el principio, o han sido abandonadas en el tiempo, principalmente por su falta de competitividad económica.

Uno de los atributos esenciales que deben poseer las construcciones de vivienda es la seguridad estructural. Los reglamentos de construcciones establecen los requisitos que deben cumplirse y los procedimientos que deben seguirse para la comprobación de la seguridad estructural (Meli, *et al.* 1994).

Falcón (2013), diseña un sistema constructivo industrializado a base de módulos tridimensionales completos, conforme a las necesidades de vivienda de interés social en México. También se analiza los diferentes tipos de vivienda de interés social que se han venido construyendo en México en los últimos años y cuales son los programas arquitectónicos, sistemas constructivos, materiales y el grado de prefabricación que tienen las viviendas de interés social, en base a ello obtiene conclusiones para determinar las necesidades de un nuevo sistema.

Finalmente el autor antes mencionado expone tres ejemplos de modelos tridimensionales que se están realizando en el mundo e intenta tomar una serie de pautas que pueden ser adaptadas a la construcción de vivienda de interés social.

### **3.3.2. Contexto nacional de las viviendas de madera de interés social**

En general en México, a pesar de la gran riqueza en recursos forestales, el papel de la madera en la solución de los problemas de vivienda es insignificante, esto se atribuye a diversos factores entre los se destacan la escasa información sobre las propiedades de las maderas disponibles, el deficiente control de calidad de los materiales ofrecidos y la falta de reglamentos y normas apropiados.

Wershoffen (2012) menciona las especificaciones generales para la construcción de vivienda de interés social a base de componentes de madera e indica que durante mucho tiempo la carencia de normas en México fue un freno para el

otorgamiento de financiamiento a viviendas con elementos de madera. Sin embargo, por iniciativa del Consejo Nacional de la Madera en la Construcción A.C., se constituyó el Comité Consultivo Nacional de Normalización de la Vivienda de Interés Social con Elementos de Madera, en el cual participan todas las instituciones de vivienda, los productores, fabricantes de componentes de madera, constructores e Instituciones de Enseñanza e Investigación.

En el año de 1985, con el Fideicomiso Fondo Nacional de Habitaciones Populares (FONHAPO) se realizó el primer concurso de vivienda popular con elementos de madera y se construyeron cerca de 2.000 casas de madera en los estados de Durango, Chiapas, Guerrero y Michoacán. También se realizó un concurso de diseño sobre “Techo Inicial” y se hicieron 10 prototipos muestra de vivienda en Coyoacán, D.F. (Filio 2016).

En 1992, con recursos del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT) se construyeron 114 casas con estructura de madera en Topolobampo, Sinaloa. Desde entonces, se han construido innumerables casas con predominio de madera para la iniciativa privada (Filio 2016).

El INFONAVIT desarrolló en el año 2008 el programa denominado “Hipoteca Verde”, que consiste en un crédito con un monto adicional para que el derechohabiente pueda comprar una vivienda ecológica y, así, generar ahorros derivados de eco tecnologías, las cuales disminuyen los consumos de energía eléctrica, agua y gas; contribuyendo al uso eficiente y racional de los recursos naturales y al cuidado del medio ambiente (Elorza, 1984).

La Comisión Nacional Forestal (2010) plantea un prototipo de vivienda progresiva, en el *Manual de autoconstrucción de vivienda con madera*, el cual corresponde a uno de los proyectos ganadores del 1<sup>er</sup> Concurso de Vivienda con Madera, en dicho manual se describen las herramientas necesarias, aspectos constructivos y planos estructurales de la vivienda.

Chacon, *et al.* (2009) publicaron un Manual para el diseño de desarrollos habitacionales sustentables en el cual se establece un sistema de indicadores que determinan el nivel de sustentabilidad de los desarrollos habitacionales y se integra un método de evaluación.

Roux *et al.* (2010) elaboraron un manual con los conceptos que definen a una vivienda sustentable y que además establece los criterios de diseño y materialización de la vivienda de acuerdo a las características particulares de las principales regiones mexicanas.

Los aspectos técnicos comunes considerados son la disminución del uso del cemento y el acero, productores de CO<sub>2</sub>, uso de bioblock, termoarcillas, sudorita, adobes, bloques de tierra comprimida, uso de morteros de cal, uso de celenit, uso de pinturas naturales, sustitución de PVC cobre por polietileno en tuberías, uso de muebles sanitarios economizadores con dispositivos de doble carga, incorporación de sistemas de reciclaje de aguas grises y pluviales, uso de calentadores solares, uso de energías alternativas, uso de cables Afumex sin forro de PVC (Roux *et al.* 2010).

Un aspecto muy interesante es la implementación de un instrumento de evaluación en el cual se establecen cada uno de los procesos constructivos asignándoles un valor (una calificación) y con ello se determina si cumplen con los parámetros de sustentabilidad (Roux *et al.* 2010).

Méndez y Velasco (2013), en el documento: *Estrategia Nacional para la vivienda sustentable, componente ambiental de la sustentabilidad*, destacan los principales actores involucrados en la búsqueda de un sector de vivienda sustentable, así como las acciones y programas que se han desarrollado para lograr este objetivo, así mismo describen algunos de los principales esfuerzos para dotar a las viviendas mexicanas de elementos de sustentabilidad, específicamente en relación con la eficiencia en el consumo de agua y energía.

Así mismo se describe la conformación de *la Estrategia Nacional para la Vivienda Sustentable*, reconociendo como objetivo principal la calidad de vida de las familias. De forma específica dicha estrategia considera lo siguiente: impulsar el desarrollo de metodologías de evaluación y de análisis de comportamiento de las vivienda y de la situación del sector, impulsar el diseño bioclimático de las viviendas, considerando las características locales, crear nuevos sistemas constructivos más eficientes y de mayor calidad, mejorar los esquemas de financiamiento para que viviendas más confortables sean accesibles a familias de bajos recursos económicos, entre las principales.

### 3.3.3. Viviendas adaptadas a las condiciones climáticas

México es un país considerado megadiverso no solo por la cantidad de especies de flora y fauna presentes en el territorio, sino también por la gran variedad de climas que lo caracterizan, dicha diferencia climática es tan importante que se debe considerar al momento de diseñar o construir una vivienda.

La Comisión Nacional para la Vivienda (CONAVI 2008), en la publicación: criterios e indicadores para los desarrollos habitacionales sustentables en México, propone una regionalización climática, de acuerdo a los climas más representativos del país (Figura 5.).



**Figura 7.** Regionalización climática de México. *Fuente:* CONAVI (2008).

La regionalización climática es una condición esencial para determinar el tipo de materiales aislantes a utilizar en la construcción de la vivienda o en el caso, el tipo de fundación para la vivienda. Por ejemplo, en la región de trópico húmedo las altas precipitaciones provocan inundaciones, para ello es necesario adaptar el tipo de fundación de la vivienda utilizando pilotes como fundación y con ello evitar que el nivel del agua llegue a afectar la vivienda (CONAVI 2008).

Roux *et al.* (2010) menciona criterios de regionalización, distinguiendo: Región Árida y semiárida del norte, Región templada del altiplano; Ciudad de México, Región Húmeda Zona Golfo de Tamaulipas y Región Húmeda Zona Golfo Yucatán.

Sánchez (2012), indica que, en general, las zonas que se encuentran por encima del trópico de cáncer (norte y centro del país) tienen diferencias de temperatura notables entre verano e invierno, mientras que en el sur las diferencias de temperatura son generalmente pequeñas. Se pueden encontrar climas fríos de alta montaña en las cimas de las montañas más elevadas del país.

Sánchez (2012) analiza las estrategias bioclimáticas de la vivienda que se pueden utilizar en la actualidad para poder lograr un confort dentro de la vivienda de interés social, haciendo mención de adaptaciones en zonas climáticas del país, así como ejemplos con el mismo clima, pero localizados alrededor del mundo:

*clima cálido:* la vivienda con este clima se encuentra en el sur y sureste del país analizando la vivienda en el estado de Tabasco, caracterizada por estar adaptada a los materiales de la región, como es el caso de su techumbre construida con hojas de palma y de bejuco. En este se logra una cámara de aire que evita la transmisión de calor por conducción hacia el interior de la vivienda. Su principal adaptación es tener grandes inclinaciones en su cubierta para poder evacuar las aguas pluviales. En países con clima similar como Australia y Costa Rica los pisos se elevan por medio de estructuras de madera para obtener una mejor exposición a las brisas y protegerse de las inundaciones y de la humedad.

*Clima seco:* este clima se localiza principalmente al norte y noreste del país, donde destacan los estados de Sonora, Chihuahua, Baja California Norte y Baja California Sur. Dentro de las características distintivas de las viviendas ubicadas en estas zonas se encuentran las grandes alturas de las viviendas, lo cual permiten darle un espacio a las masas de aire caliente y mantenerlas fuera del alcance de las personas que la habitan, usualmente estas alturas oscilan entre los 3 y 4 metros.

El uso de adaptaciones en el clima seco es muy importante para poder lograr un confort térmico debido a las temperaturas extremas características de este tipo de clima, es por ello que la arquitectura y disposición de elementos toma suma relevancia. La arquitectura del paisaje también es muy importante debido a que el ambiente es árido, para lograr que este sea atractivo se pueden utilizar elementos naturales como la vegetación, las piedras y hasta el propio edificio.

*Clima templado:* el clima templado predomina en el centro del país, los materiales más utilizados son: adobe, madera de roble, y para la techumbre, teja de barro o tejamanil, los grandes espesores de estos materiales ayudan a tener un buen aislamiento térmico, la humedad en el suelo se soluciona con la cimentación, ya que esta se encuentra en desnivel del suelo. En la actualidad, un proyecto adaptado dentro de un clima templado tiene el reto de poder establecer un confort térmico mediante la regulación de la temperatura ante los cambios durante el día y una precipitación pluvial muy elevada.

Al respecto, Carrasco y Morillón (2004) presentan los resultados de una adecuación bioclimática de la vivienda de interés social del noroeste de México cuyo clima es cálido seco. La adecuación es con base al análisis térmico de los elementos bioclimáticos de la arquitectura vernácula del sitio y el objetivo primordial es encontrar bases para la mejora térmica de la vivienda de interés social. Tras un estudio in situ del clima y arquitectura vernácula, se realiza una simulación térmica de dos casos típicos durante un año: una vivienda vernácula y una de interés social.

Estos autores comprueban que la vivienda de interés social es térmicamente menos eficiente en la mayor parte del año que la vernácula, logrando reducir las condiciones de temperatura promedio de 33°C a 27°C con su adecuación para la época cálida (Mayo-Octubre). La adecuación bioclimática consiste en usar una estrategia de infiltración, uso de materiales con alta resistencia térmica, postigos, altura de losa y orientación óptima (Carrasco y Morillón 2004).

Hermawan, *et al.* (2015) mencionan que el propósito de su investigación fue analizar la diferencia entre El voto promedio real (AMV por sus siglas en inglés), y confort térmico de predicción de voto promedio (PMV, por sus siglas en inglés) en las paredes de madera, de las casas tradicionales en zonas costeras y la región montañosa que se utiliza para establecer la teoría de confort térmico adaptativo. La teoría de confort térmico de predicción de voto promedio (PMV), es incompatible para la zona tropical. El voto promedio real (AMV), es una manera de reconocer el confort térmico en función del comportamiento y la psicología (confort térmico adaptativo) del habitante.

La metodología seguida por Hermawan, *et al.* (2015) fue cuantitativa, considerando la variable de medición térmica (temperatura, temperatura global, la velocidad, la humedad relativa) utilizando herramientas de medición térmica. El número de muestras tomadas fueron 25 casas en la región costera y 25 en la región montañosa con criterios de más de un habitante en cada casa. Se realizó el análisis mediante el uso del programa PMV de ASHRAE (Sociedad Americana de Ingenieros, ingeniería de calefacción, refrigeración y aire acondicionado) y la prueba estadística que se realiza, es para obtener la diferencia de PMV y AMV.

De acuerdo a sus resultados, Hermawan *et al.* (2015) muestran que la diferencia media entre AMV y PMV en la región costera fue de 0,73, mientras que en las casas con estructura de madera en la región montañosa tiene la diferencia promedio de -0,81. Concluyendo que el sesgo en las casas con estructura de madera en la región de montaña son más grandes que las de la costera. El valor de AMV para las casas en la costa es de -0.28 y el valor de AMV para las casas

de montaña es de -1.12, lo que significa que los ocupantes de las casas costeras están más cómodos que los ocupantes de las casas de la montaña.

Hermawan, *et al.* (2015), en una investigación similar a la anterior, donde se tuvo como propósito analizar las diferencias entre las paredes de ladrillos y las paredes de madera de viviendas, en relación con el confort térmico de los ocupantes, mencionan que los resultados de las mediciones de las variables térmicas de la fórmula Fanger demostraron que 8 casas con paredes de madera tiene un resultado promedio de 1.01, mientras que ocho casas con paredes de ladrillo tienen un resultado promedio de 1.71. Los resultados de las mediciones de campo indican que los ocupantes de las casas con paredes de madera están más cómodos que los ocupantes de las casas con paredes de ladrillo.

Artasu (2007) indica que en el marco de la creciente valoración del patrimonio arquitectónico construido en madera, a nivel mundial, son casi inexistentes los estudios que analizan la arquitectura de viviendas y casas de madera de Belice, la antigua Honduras Británica y las de su área de influencia y el sur del estado mexicano de Quintana Roo. Por lo que propone un tipo de arquitectura con características bioclimáticas, decorativas y constructivas, que toma diferentes influencias (casa maya, colonial británico y especialmente el bungalow), estas se amalgaman en una simbiosis con sus características propias y específicas.

Relander *et al.*, (2011) analizan la importancia de las fugas en plantas estructurales construidas sobre todo en casas de madera. Esto se hace por medio de mediciones de laboratorio de barreras de vapor y barreras de viento montadas en una pared con vigas estructurales. Los resultados muestran que el rendimiento de la hermeticidad de la barrera de vapor puede ser casi tan bueno como el de la barrera de viento. Sin embargo, esto influye sobre la mano de obra. Con una barrera de viento debidamente instalada, la influencia de los pisos estructurales sobre la estanqueidad de una casa con estructura de madera puede hacerse insignificante.

Alías y Jacobo (2011) exponen una evaluación de los requerimientos energéticos para el acondicionamiento electromecánico interior de viviendas de interés social, considerando el comportamiento térmico de diez tipologías de viviendas de empresas tanto estatales como privadas, modelando y simulando informáticamente.

Analizaron la manera en que las modificaciones en el diseño de la envolvente generan importantes diferencias en el consumo energético final de la vivienda y determinaron cuáles son las estrategias de optimización de las variables consideradas en el diseño de viviendas ubicadas en una zona bioambiental cálida húmeda.

El objetivo de Alías y Jacobo (2011) fue evaluar el comportamiento termoenergético, el grado de bienestar de los usuarios y el ahorro de energía producido al materializar la envolvente mediante panelería de madera de bosques cultivados con manejo sustentable del nordeste Argentino, con respecto a viviendas de diseño y tecnología convencional de mampuestos en las localidades de Corrientes y Resistencia, además de la incidencia de variables tales como la orientación, la forma y el emplazamiento en la eficiencia energética y, por ende, en la eficiencia ambiental de la construcción.

Echavarría, *et al.* (2010) describen un proyecto en desarrollo de gestiones energéticas en vivienda social sustentable (VSS) de aproximadamente 45m<sup>2</sup> para analizar e interpretar los aportes energéticos, térmicos y eléctricos, que ocurren sobre un sistema solar térmico (SST) y un generador de módulos fotovoltaicos (PV) en vías de su sustentabilidad respectivamente. Se construye en madera, paneles termo acústicos y techo tipo plancha de zinc ondulado. Se ubica en Antofagasta, Chile y se le compara con otra de igual dimensiones pero que no presenta el carácter de sustentabilidad. Se aprovecha el recurso solar de la región.

Mitchell y Acosta (2009) evaluaron diez tipologías de viviendas sociales del Plan Federal de Viviendas (PFV) que se construyeron en Mendoza, Argentina. Dicho

estudio tuvo como institución adoptante al Instituto Provincial de la Vivienda. Las mismas fueron analizadas para cuatro escenarios representativos del clima de la provincia Mendoza, San Carlos, La Paz y Malargüe. Los resultados mostraron que las tipologías compactas son las que tienen una menor demanda de consumo de calor auxiliar, siguiendo las tipologías semiabiertas y por último las tipologías abiertas.

### **3.3.4. Normalización sobre la industria de la construcción con madera en México**

Para regular las actividades desempeñadas en el sector de la construcción con madera existen reglamentos y normas, como el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, las Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal , así como las normas del Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (ONNCCE), las cuales se acopian a continuación:

NMX-C-239-ONNCCE-1985. Clasificación visual para madera de pino de uso estructural.

NMX-C-411-ONNCCE-1999. Industria de la construcción – Vivienda de madera – Especificaciones de comportamiento para tableros a base de madera de uso estructural

NMX-C-410-ONNCCE-1999. Industria de la construcción – Vivienda de madera – Retención y penetración de sustancias preservadoras en madera – métodos de prueba

NMX-C-224-ONNCCE-2001. Industria de la construcción – Vivienda de madera y equipamiento urbano – Dimensiones de la madera aserrada para su uso en la construcción

NMX-C-434-ONNCCE-2006. Industria de la construcción – Pisos de Madera sólida – Clasificación y especificaciones

NMX-C-443-ONNCCE-2006. Industria de la construcción – Madera – Contenido de humedad de la madera – Métodos de ensayo

NMX-C-439-ONNCCE-2006. Industria de la construcción – Tableros contrachapados de madera de pino y otras coníferas – Propiedades físicas – métodos de ensayo

NMX-C-440-ONNCCE-2006. Industria de la construcción – Tableros de contrachapados de madera de pino y otras coníferas – Propiedades mecánicas – Métodos de ensayo

NMX-C-443-ONNCCE-2006. Industria de la construcción – Madera – Contenido de humedad de la madera – Métodos de ensayo.

NMX-C-446-ONNCCE-2006. Industria de la construcción – Vivienda de madera y equipamiento urbano – Métodos de ensayo para determinar las propiedades mecánicas de la madera de tamaño estructural.

NMX-C-460-ONNCCE-2009. Industria de la construcción – Aislamiento térmico – Valor “R” para las envolventes de vivienda por zona térmica para la República Mexicana – Especificaciones y verificación.

NMX-C-307/1-ONNCCE-2009. Industria de la construcción – Edificaciones – resistencia al fuego de elementos y componentes, especificaciones y métodos de ensayo.

NMX-C-461-ONNCCE-2010. Industria de la construcción – Tableros de partículas de madera – Denominación, clasificación y especificaciones.

NMX-C-462-ONNCCE-2010. Industria de la construcción – Tableros de partículas de madera – Propiedades físicas y mecánicas, tasa de emisión y contenido de formaldehído – Métodos de ensayo.

NMX-C-178-ONNCCE-2014. Industria de la construcción – Preservadores para madera – Clasificación y requisitos.

NMX-C-322-ONNCCE-2014. Industria de la construcción – Madera preservada a presión – Clasificación y requisitos.

NMX-C-419-ONNCCE-2014. Industria de la construcción – Preservación de maderas – Terminología.

NMX-C-438-ONNCCE-2014. Industria de la construcción – Tableros contrachapados de madera de pino y otras coníferas – Clasificación y especificaciones.

### **3.4. Conclusiones**

En México no se cuenta con una cultura de uso de la madera en la construcción de vivienda, debido, en gran parte, a que se desconocen sus propiedades, pero sobre todo debido a las creencias o mitos sobre este material que se han generado a nivel nacional.

Una solución para generar el uso racional de los bosques es crear un ciclo sustentable de aprovechamiento que incluya la obtención de productos forestales maderables, como por ejemplo en el sector de la construcción de viviendas, siendo este sector uno de los que utiliza más cantidades de madera como materia prima. Además, con esto se podría atender el déficit de vivienda en México.

La investigación económica sobre viviendas de interés social desarrollada en varios países indica que la madera es un material más rentable que otros materiales como el acero, el ladrillo y el hormigón.

Es claro que la construcción de viviendas de madera puede dirigirse al sector social en México, y con ello lograr que las familias tengan la oportunidad de adquirir más fácilmente un hogar.

### 3.5. Literatura citada

- Alías, H. M., & Jacobo, G. J. (2011). Eficiencia energética en viviendas sociales. Incidencia de la envolvente en el consumo eléctrico para mantener el Bienestar higrotérmico en los espacios interiores. *ARQUISUR*, 1(1), 76-89.
- Artasu, M. M. C. (2007). Casa, madera y simbiosis arquitectónica en Belice y el sureste de México. *Gazeta de antropología*, (23), 6.
- Barona, D. E. & Sánchez, R. F. (2005). Características de la vivienda de interés básica, social y económica urbana en Puebla-México. *e-Gnosis*, 3, 1-18.
- Barrios, E., Miranda, W. C., & de Contreras, M. O. (2006). Repercusiones energéticas y económicas del uso de la madera como elemento constructivo para viviendas de interés social en Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana*, 40, 1-28.
- Beyer, G., Defays, M., Fischer, M., Fletcher, J., Munck, E. D., Jaeger, F. D., & Riet, C. (2011). Frente al cambio climático: utiliza madera, 86 p. Bruselas: CEI Bois.
- Carrasco, C., & Morillón, D. (2004). Adecuación bioclimática de la vivienda de interés social del noroeste de México con base al análisis térmico de la arquitectura vernácula. *Avances de Energías Renovables y Medio Ambiente*, 8 (1), 5-97.
- Celano, J. A., & Jacobo, G. J. (s.f). Desarrollo de sistemas industriales de producción de sistemas constructivos prefabricados en madera para viviendas de interés social en la región NEA.
- Chacon, A.D., Cital, B. P., Vazquez, V.M., Balarezo, V.T. & Herrerias, V.A. (2009). Manual para el diseño de desarrollos habitacionales sustentables. Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza. Primera edición. México. 144 p.
- Comisión Forestal de América del Norte (COFAN). (1999). Manual de estructuras ligeras de madera. 2a. Edición. COMACO A.C. y UACH. México D.F. 476 p.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2010). Manual de autoconstrucción de vivienda con madera. México.
- Comisión Nacional para la Vivienda (CONAVI). (2008). Criterios e indicadores para los desarrollos habitacionales sustentables en México, México, D.F. 64 p.
- Contreras, M. W., de Contreras, M. O., & Contreras, Y. (2009). Evaluación y rediseño de dos proyectos de casas, realizados por la Gerencia Proyecto Vivienda Madera de CVG Proforca. Parte I. *Revista Forestal Venezolana*, 53(1), 85-101.
- Contreras, M. W., Owen de C. Barrios, P.E. Rondón, S.M. Cloquell, B. V. & Gatica, R.I. (2010). Conceptos propositivos de viviendas sociales en zonas de riesgo en Venezuela y Brasil, a partir de sistemas constructivos tradicionales, madera sólida y productos forestales. *Revista Forestal Venezolana*, 54(2), 237-249.

- Contreras, M.W., Owen, de C. M. Contreras, M.Y., Thomson E. & Contreras M. A. (s.f.). Sistema Constructivo industrializado uverito con madera y/o acero para viviendas de interés social. Venezuela.
- Dávalos, S. R. (1996). Diseño probabilístico de estructuras de madera en Norteamérica. *Madera y Bosques*, 2(1), 9-31.
- De Schiller, S., Gomes da Silva, V., Goijberg, N., & Treviño, C. (2003). Edificación sustentable: consideraciones para la calificación del hábitat construido en el contexto regional latinoamericano. *Avances de Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*, 7, 05-13.
- Devia C. A. (2002). La Madera Como Material Básico Para La Construcción De Viviendas De Interés Social. Colciencias-Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. 9 p.
- Echavarría, F., Jiménez, W., & González, C. (2010). Proyecto de eficiencia energética en vivienda social de Antofagasta, en vías de su autosustentación. *Iberoamerican Journal of Project Management*, 1(1).
- Elorza, W., M. E. (1984). Actividades que se realizan para promover el uso de la madera en la construcción. *Revista Ciencia Forestal (México)* 49(9): 37- 41.
- Falcón, D.A. (2013). Propuesta y diseño de un Sistema Modular para la construcción de viviendas de interés social en México. Universidad Politécnica de Ctalunya. España. 71.
- Filio, R. O. A. (2016). Proyecto de construcción de una casa de madera tipo. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. México. 352 p.
- Hermawan, Prianto, E., & Setyowati, E. (2015). Thermal Comfort of Wood-wall House in Coastal and Mountainous Region in Tropical Area. *Procedia Engineering*, 125, 725–731. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.114>
- Hernández, C. M.D. (2006). La vivienda en México: Perspectivas de la vivienda en México. Primera edición. México. 149-169 p.
- Holguín V., M. R., & Navas S. R. S. (2012). Estudio de factibilidad de casas prefabricadas de Interés Social, a fin de disminuir el déficit habitacional del Cantón Latacunga (Doctoral dissertation, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga. Maestría en Gestión de Empresas Mención Pequeñas y Medianas Empresas.).
- Jacobo, G. J., & Vedoya, D. E. (2004). Construcción de viviendas de madera como política de estado. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones científicas y Tecnológicas. Argentina.
- Meli, R., Alcocer, S. M., & Díaz-Infante, L. A. (1994). Características estructurales de la vivienda de interés social en México. *Cuaderno de Investigación*, (17), 25-52.
- Méndez, F.F. & Velasco, S.P. (2013). Estrategia Nacional para la Vivienda Sustentable: componente ambiental de la sustentabilidad. Fundación IDEA,

A.C. México. 134 p.

- Mitchell, J., & Acosta, P. (2009). Evaluación comparativa de tipologías de viviendas sociales en la provincia de Mendoza. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 13(5), 161-168.
- Relander, T. O., Bauwens, G., Roels, S., Thue, J. V., & Uvsløkk, S. (2011). The influence of structural floors on the airtightness of wood-frame houses. *Energy and Buildings*, 43(2), 639-652.
- Robles Fernández-Villegas, F., & Echenique-Manrique, R. (1991). Estructuras de madera. México, Editorial Limusa, Grupo Noriega editores, México.
- Roux Gutiérrez, R. S., Espuna Mujica, J. A., & García Izaguirre, V. M. (2010). Manual normativo para el desarrollo de vivienda sustentable de interés social en México (No. 307.14160972).
- Ruiz, A. (2014). Nuevas oportunidades en el sector de la vivienda. *KPMG*. México.11.
- Sánchez, J. (2012). La vivienda “social” en México. Pasado, presente y futuro. Ciudad del México: JSa., 1–125.
- Serrano-Montero, J. R., & Sáenz-Muñoz, M. (2012). Tecnología e innovación de estructuras de madera para el sector de la construcción: Vigas de perfil I de amarillón (*Terminalia amazonia* (JF Gmel.) Exell) de plantación. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 3(7), 26-45.
- Vanhee, M. T. & Vedoya, D. E. (s.f.). Diseño de prototipos de vivienda de interés social haciendo uso de maderas regionales del NEA. Argentina.
- Wang, L., Toppinen, A., & Juslin, H. (2014). Use of wood in green building: a study of expert perspectives from the UK. *Journal of cleaner production*, 65, 350-361.
- Wershoffen, M. E. (2012). Especificaciones generales para la construcción de vivienda de interés social a base de componentes de madera. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9 (48).
- Zepeda, R. F. (2008). Construcción sostenible y madera: realidades, mitos y oportunidades. *Tecnología en Marcha*, 21(4), 92-101.
- Zepeda, R. F. & Carranza, J. F. P. (2001). Construcción verde: un estudio de caso. Biblioteca Digital de la Asociación Latino-Iberoamericana de Gestión Tecnológica, 1(1).

## **CAPÍTULO 4. DISEÑO DE VIVIENDAS SOCIALES DE MADERA PARA TRES REGIONES CLIMÁTICAS DE MÉXICO**

### **Resumen**

Es de gran importancia atender la creciente demanda de vivienda en México, desde un enfoque ecológico, económico y social. Si bien la construcción de viviendas de madera no es muy común en México, ha comenzado a tomar gran importancia, pues la madera brinda ventajas en el ahorro de energía desde antes de su uso en la construcción, durante el uso propio de la vivienda e inclusive al término de su ciclo de vida. En el presente trabajo se muestran tres prototipos de viviendas de madera basados en el sistema de entramado ligero, adaptados a tres regiones climáticas de México (clima seco, clima templado y clima cálido). La metodología se basa técnicamente en Normas mexicanas de construcción y edificación y en Manuales de construcción con madera. Para los tres prototipos se plantea el uso de madera de pino clase estructural A. Los planos de distribución de ambientes, elementos estructurales y modelos en 3D de las viviendas se desarrollaron en Sketch Up v. 2017. El sistema constructivo planteado para las viviendas tiene la posibilidad de realizarse mediante autoconstrucción, por lo cual se tiene la posibilidad de disminuir el costo de mano de obra en su totalidad.

**Palabras clave:** aislamiento, autoconstrucción, entramado ligero, ecológico.

## **Abstract**

It is of great importance to take care of the growing demand of housing in Mexico considering an ecological, economic and social approach. Even though, wooden houses construction in Mexico is not very common, nowadays it has gain importance, since it offers advantages in energy saving before it is used in construction, during its use and also at the end of its life cycle. In this work three prototypes of wooden dwellings based on the light frame system are shown, adapted to three climatic regions of Mexico (dry climate, temperate climate and warm climate). The methodology is technically based on Mexican construction and building standards and on wood construction manuals. For the three prototypes, the use of pine wood structural class A is proposed. The planes of distribution of environments, structural elements and 3D models of the houses were developed in Sketch Up v. 2017. The constructive system proposed for housing has the possibility of being carried out through self-construction, and therefore it is possible to reduce completely the labor costs.

**Keywords:** isolation, self-construction, light frame, ecological.

## **4.1. Introducción**

La vivienda de interés social ha sido una necesidad esencial que debe satisfacerse en cualquier parte del mundo, si bien es cierto conforme pasan los años es más insostenible el ritmo de crecimiento de la población y a su vez la demanda de la vivienda resulta cada vez más complicada. Es indispensable mejorar el desempeño ambiental y energético de los edificios para lograr un desarrollo sustentable a través de la investigación y desarrollo de proyectos y buenas prácticas de diseño de edificios que se destaquen por el potencial de soluciones sustentables (Higuera y Rubio, 2011).

En México el uso de la madera para la construcción de estructuras permanentes se está incrementando cada vez más, y una aplicación importante es en la vivienda. Para el diseño estructural de las construcciones es necesaria información técnica debido a que el uso óptimo de los materiales se da en la medida en que la información es más confiable (Ordoñez, 1995).

El avance de la tecnología, la versatilidad de los materiales, especialmente de la gama de plásticos, hormigones y acero, ha influido en el cambio de los sistemas de construcción en pocas décadas. La madera es el material más noble, renovable, sano, sostenible, estético y confortable de la construcción. Prácticamente todas las culturas de la humanidad la han empleado en sus obras constructivas (Zepeda, 2008).

Wershoffen (2012) menciona que durante mucho tiempo la carencia de normas mexicanas destinadas a reglamentar el uso de la madera, fue un freno para otorgar financiamiento a viviendas con elementos de este material. Sin embargo, por iniciativa del Consejo Nacional de la Madera en la Construcción A.C., se constituyó el Comité Consultivo Nacional de Normalización de la Vivienda de Interés Social con Elementos de Madera, en el cual participaron todas las instituciones relacionadas con el uso de madera destinada a la vivienda, así como, productores, fabricantes de componentes de madera, constructores e instituciones de educación superior y de investigación.

México presenta una gran variedad de climas que lo caracterizan, dicha diferencia climática es tan importante que se debe considerar al momento de diseñar o construir una vivienda. De hecho, la regionalización climática es una condición esencial para determinar el tipo de materiales aislantes a utilizar en la construcción de la vivienda o en el caso, así como el tipo de fundación para la vivienda (CONAVI 2008).

Desde tiempos remotos el ser humano ha reconocido que la adaptación es esencial en la arquitectura para alcanzar confort térmico. La arquitectura vernácula se define como la construcción realizada de manera informal que logra una adaptación a las condiciones climáticas del lugar además de conservar los sistemas constructivos tradicionales. Hoy en día las estrategias bioclimáticas de la vivienda vernácula se pueden utilizar para lograr un confort dentro de una vivienda económica o de interés social (Sánchez, 2012).

En el presente trabajo se proponen tres prototipos de viviendas de madera de interés social. Dichos prototipos se adecuaron a tres regiones climáticas en las que se divide nuestro país, esto de acuerdo a la clasificación descrita por Sánchez (2012). El sistema estructural que se plantea es el de entramado ligero. Además del cálculo y diseño de los elementos que constituyen las viviendas, se plantean los acabados internos, externos y materiales de aislamiento térmico.

#### 4.2. Metodología

Los prototipos de viviendas de madera se plantean bajo el sistema constructivo de entramado ligero (sistema de plataforma). La metodología se basa técnicamente en recomendaciones del Manual de Construcción de Estructuras Ligeras de la Comisión Forestal de América del Norte, en las Normas Técnicas Complementarias de Diseño y Construcción del Distrito Federal y en las Normas Mexicanas del Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.

Para diferenciar las regiones climáticas de México, se consideró la clasificación descrita por Sánchez (2012) (Figura 1).



**Figura 8.** Regiones climáticas en México. Fuente: Sánchez (2012).

Plano en planta. Para realizar la distribución de los ambientes de las viviendas se consideraron aspectos como orientación general de la vivienda, localización estratégica de espacios de uso más frecuente, así como posición y dimensión de las aberturas (puertas y ventanas). Los planos de distribución se elaboraron en el programa Sketch Up 2017 (así como modelos en 3D, Apéndice 3,4 y 5). La determinación de las dimensiones y la cantidad de ambientes de las viviendas se realizó en base a censos y conteos de población y vivienda en México (INEGI, 2010).

*Selección del terreno, trazo, nivelación y cimentación.* La selección del sitio para la construcción de la vivienda y limpieza, así como el trazo y nivelación del terreno, se plantea de acuerdo a lo determinado por COFAN (1999). El diseño de la cimentación para cada prototipo se realizó en base a las recomendaciones de CORMA (2004).

*Diseño de muros.* En el sistema de entramado ligero se puede lograr el máximo equilibrio entre el aislamiento térmico, de vapor y de respiración de los muros, lo que conlleva a mejorar las condiciones de confort dentro de la vivienda. El nivel de mecanización que requieren las piezas que conforman la estructura es muy bajo, por lo que este sistema resulta económicamente muy viable.

Para la elaboración de los elementos estructurales (muros y techo) de la vivienda se planteó usar madera aserrada de pino debido a que es una especie de gran abundancia y de fácil acceso en la mayoría de los estados de México. La clase de madera se planteó en base a la norma NMX-C-239-ONNCCE (1985) “Calificación y clasificación visual para madera de pino en usos estructurales”, la cual establece dos clases de madera estructural, A y B. Respecto a preservación de la madera se plantea utilizar madera impregnada con sales CCA (Riesgo 2 y 3), de acuerdo a las especificaciones de las normas NMX-C-178-ONNCCE (2014) y NMX-C-410-ONNCCE-(1999) (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Retenciones mínimas recomendadas del preservador, de acuerdo al nivel de riesgo en servicio de la madera, kg/m<sup>3</sup>. *Fuente: NMX-C-322-ONNCCE (2014).*

Tipo	Preservador	Nivel de Riesgo*				
		R1	R2	R3	R4	R5
Hidrosolubles	Arsenato de cobre cromado (CCA)	4.00	6.40	9.60	12.8	40.0

\* Descripción de niveles de riesgo (Apéndice 6)

Los muros de las viviendas estarán conformados por paneles, los cuales son un entramado de piezas dispuestas en forma vertical denominadas pies derechos. Cada elemento que conforma el panel tiene dos funciones; ya sea como transmisor de cargas o como soporte de revestimiento interior y exterior.

Los paneles que conformaran los muros de la vivienda se diseñaron teniendo como base lo indicado por COFAN (1999), realizando adecuaciones climáticas en cuanto a dimensiones de vanos (aberturas de puertas y ventanas) y considerando valores mínimos de las dimensiones de acuerdo a lo indicado en el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (2004). También se consideró lo establecido en la NMX-C-460-ONNCCE (2009) "Aislamiento Térmico-Valor R para las envolventes de vivienda por zona térmica para la república mexicana" respecto al porcentaje de huecos que permiten el paso de luz solar (menor a 20% del área total del muro envolvente).

*Diseño de techo.* El tipo de techo seleccionado para las tres viviendas fue el techo a dos aguas, usando armaduras (cerchas) tipo Howe, se plantearon pendientes distintas considerando sobre todo los valores de precipitación registrados en cada clima. El diseño de las cerchas se realizó en base a los valores de carga distribuida para diseño por resistencia indicados por COFAN (1999); para ello se realizó el cálculo de cargas totales para cada una de las cubiertas.

*Aislamiento de la vivienda.* Las construcciones de viviendas con estructuras de madera son fáciles de aislar, ya que cuentan con espacios en su estructura

(entramados verticales, horizontales e inclinados) que pueden ser rellenos con aislantes.

La norma NMX-C-460-ONNCCE (2009). Indica los valores de resistencia Térmica Total (Cuadro 2) de acuerdo a la zona térmica donde se localice la vivienda el cual puede ser mínimo; para lograr habitabilidad; o para ahorro de energía.

**Cuadro 2.** Resistencia Térmica Total (Valor "R") de un elemento de la envolvente. *Fuente: NMX-C-460-ONNCCE (2009).*

Zona Térmica	Techos (m <sup>2</sup> K/W)			Muros (m <sup>2</sup> K/W)		
	Mínima	Habitabilidad	Ahorro de energía	Mínima	Habitabilidad	Ahorro de energía
1	1.40	2.10	2.65	1.0	1.10	1.40
2	1.40	2.10	2.65	1.0	1.10	1.40
3	1.40	2.30	2.80	1.0	1.23	1.80
4	1.40	2.65	3.20	1.0	1.80	2.10

En la actualidad existen una gran cantidad de materiales utilizados en la aislación de viviendas que cumplen satisfactoriamente los requerimientos antes mencionados para cualquiera de las zonas térmicas: desde la colocación de lana de vidrio, lana de roca, poliestireno expandido, espuma de polietileno y espuma de poliuretano, hasta cierto punto su limitante es su adquisición debido a su costo.

Analizando la conductividad térmica y Valor "R" de los materiales aislantes, existentes en el mercado, se plantea un proceso para aislamiento de muros y techos para las tres viviendas, considerando para techos un valor mínimo 1.40 (m<sup>2</sup> K/W), como valor máximo 3.20 (m<sup>2</sup> K/W) y para muros mínimo de 1.0 (m<sup>2</sup> K/W) y máximo de 2.10 (m<sup>2</sup> K/W) de acuerdo al cuadro anterior.

### 4.3. Resultados

**Climas secos en México.** Los climas secos se caracterizan por su aridez, por sus elevadas temperaturas de verano y por una importante oscilación térmica anual. El clima seco comprende el 28.3% del territorio mexicano; se caracteriza

por la circulación de los vientos, lo cual provoca escasa nubosidad y precipitaciones de 300 a 600 mm anuales, con temperaturas en promedio de 22° a 26° C en algunas regiones, y en otras de 18° a 22° C. El clima muy seco registra temperaturas en promedio de 18° a 22° C, con casos extremos de más de 26°C; presentando precipitaciones anuales de 100 a 300 mm en promedio, se encuentra en el 20.8% de México. (Sánchez, 2012).

El prototipo de vivienda para el clima seco (PCS) tiene una superficie total de 59.5 m<sup>2</sup> (9.76 m x 6.10 m). Los ambientes de la vivienda se diseñaron para satisfacer las necesidades de habitabilidad de cuatro personas: tres habitaciones, una sala-comedor, cocina, un baño y cuarto de lavado. Las dimensiones de las aberturas fueron: ventanas de 1.0 m x 1.5 m, puerta principal de 1.0 m x 2.10 m, puertas internas de 0.80 m x 2.10 m x y ventiluz de 0.6 m x 0.6 m. El porcentaje de aberturas para la entrada de luz fue de 11.8 %, adecuado a lo estipulado en la Norma NMX-C-460-ONNCCE (2009) (Figura 2).



**Figura 9.** Dimensiones y distribución de ambientes para el prototipo de clima seco, elaborado en sketch Up v. 2017.

Por diversos factores, no siempre es posible elegir la orientación ideal que debería tener una vivienda, a pesar de ello, siempre se debe contemplar la optimización del recurso solar. En climas con alta radiación solar del hemisferio norte, es indispensable minimizar ganancias de radiación sobre todo en las fachadas sur y oeste que son las más afectadas. En el PCS se colocaron estratégicamente las aberturas para que el viento circule a través de los espacios interiores (ventilación cruzada), al orientar la vivienda será importante considerar la dirección de los vientos dominantes para que entren por la fachada principal.

Es importante destacar que otro elemento importante, independiente de la posición respecto al sol, es un adecuado aislamiento térmico que permitirá mantener una temperatura adecuada y confortable en el interior de la vivienda.

***Climas templados en México.*** Se caracterizan por tener menos oscilaciones térmicas y por tener alturas sobre el nivel del mar de gran importancia, dentro de regiones con este clima se encuentran zonas con climas fríos de alta montaña. El clima templado húmedo registra temperaturas entre 18° y 22° C, precipitaciones en promedio de 2000 a 4000 mm anuales; comprende el 2.7% del territorio mexicano, mientras que el clima templado subhúmedo corresponde al 20.5%, en este clima se observan 10° y 18° y de 18° a 22°C, registra precipitaciones de 600 a 1000 mm durante el año (Sánchez, 2012).

El prototipo de vivienda para el clima templado (PCT) tiene una superficie total de 59.5 m<sup>2</sup> (9.76m x 6.10m), al igual que el PCS se adaptó a las necesidades de cuatro personas, cuenta con tres habitaciones, una sala-comedor, cocina, baño y cuarto de lavado. Las dimensiones de las aberturas fueron para el caso de las ventanas de 0.6m x 1.5m, puerta principal de 1.0m x 2.10m, puertas internas de 0.80cm x 2.10m y ventiluz de 0.6m x 0.6m. El porcentaje de aberturas para la entrada de luz fue de 10.6 %, apropiado a lo estipulado en la Norma NMX-C-460-ONNCCE (2009) (Figura 3).



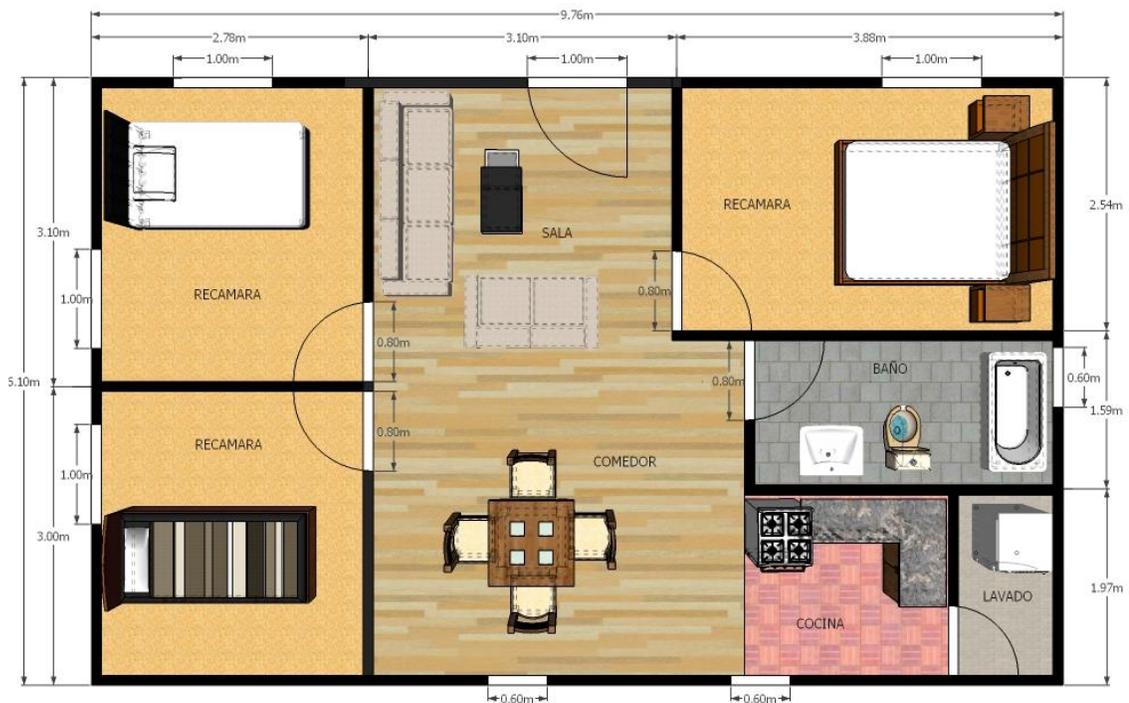
**Figura 10.** Dimensiones y distribución de ambientes para el prototipo de clima templado, elaborado en sketch Up v. 2017.

En climas fríos se deberá evitar la orientación Norte-Sur y orientar la vivienda hacia el Oeste-Este, Se recomienda protección vegetal, mediante el uso de especies arbóreas de hoja caduca con la finalidad de que en verano proporcione protección de los rayos solares a la vivienda y en invierno no obstruya su paso.

**Climas cálidos en México.** El clima cálido húmedo ocupa un 4.7% de México, se caracterizan por presentar una temperatura media anual entre 22°C y 26°C, precipitaciones de 2000 a 4000 mm anuales. El clima cálido subhúmedo se encuentra en el 23% del territorio mexicano, registrando precipitaciones de 1000 a 2000 mm anuales, temperaturas de 22° a 26°C existiendo regiones que superan los 26°C (Sánchez, 2012).

El prototipo de vivienda para el clima cálido (PCC) tiene una superficie total de 59.5 m<sup>2</sup> (9.76 m x 6.10 m). Los ambientes de la vivienda se diseñaron para

cumplir requerimientos de habitabilidad de cuatro individuos: tres habitaciones, una sala-comedor, cocina, baño y cuarto de lavado. Las dimensiones de las aberturas fueron 1.0m x 1.5m y 0.6m x 1.5m para ventanas, puerta principal de 1.0m x 2.10m, puertas internas 0.80m x 2.10m. y 0.75m x 2.10m, ventiluz de 0.6m x 0.6m. El porcentaje de aberturas para la entrada de luz fue de 12.18%, apropiado a lo estipulado en la Norma NMX-C-460-ONNCCE (2009). (Figura 4).



**Figura 11.** Dimensiones y distribución de ambientes para el prototipo de clima cálido, elaborado en sketch Up v. 2017.

Al igual que en el PCS, se colocaron estratégicamente las aberturas para que el viento circule a través de los espacios interiores (ventilación cruzada), debido a que en estos climas se presenta una humedad relativa elevada que el viento puede favorecer, será importante considerar la dirección de los vientos dominantes hacia los cuales quedarán orientados las aberturas de la fachada principal e izquierda.

*Selección del terreno, trazo, nivelación.* Las condiciones del subsuelo se podrán determinar por comparación, investigándose el tipo y las condiciones de cimentación de las construcciones colindantes en materia de estabilidad, hundimientos, emersiones, agrietamientos del suelo y desplomes, y tomarse en cuenta en el diseño y construcción de la cimentación en proyecto.

Para iniciar trabajos de limpieza del terreno es necesario quitar o proteger árboles, eliminar arbustos, malezas y raíces que obstruyan en la construcción de la vivienda, remover rocas y retirar cimentaciones antiguas.

Para el trazo y nivelación, localizar las esquinas de la vivienda, colocando reventones (hilos) en cada uno de los puentes, dichos hilos servirán de referencia para el trazo de los ejes de cimentación. Posteriormente trazar ángulos rectos en cada esquina usando el sistema del triángulo rectángulo.

*Cimentación.* La cimentación para el prototipo de clima seco se planteó como una plataforma de hormigón para ello, una vez nivelado y compactado el terreno, colocar una capa de grava de 15 cm, posteriormente instalar polietileno de 200 micrones (como aislante de humedad), previamente puede colocarse una capa delgada de arena para evitar que la grava dañe el polietileno. Finalmente emplazar una losa de concreto de 15 cm de espesor con una malla interna de hierro (varilla de 1/4"). La tubería sanitaria e hidráulica debe estar ya instalada antes de colocar la losa de concreto.

Para unir los paneles (muros) a la cimentación se propuso realizar por medio de anclas de acero galvanizado (9.5mm de diámetro x 30cm) que también serán instaladas antes de colocar la plataforma u otra opción es poner tornillos de expansión los cuales pueden ser colocados después de instalar la losa de concreto.

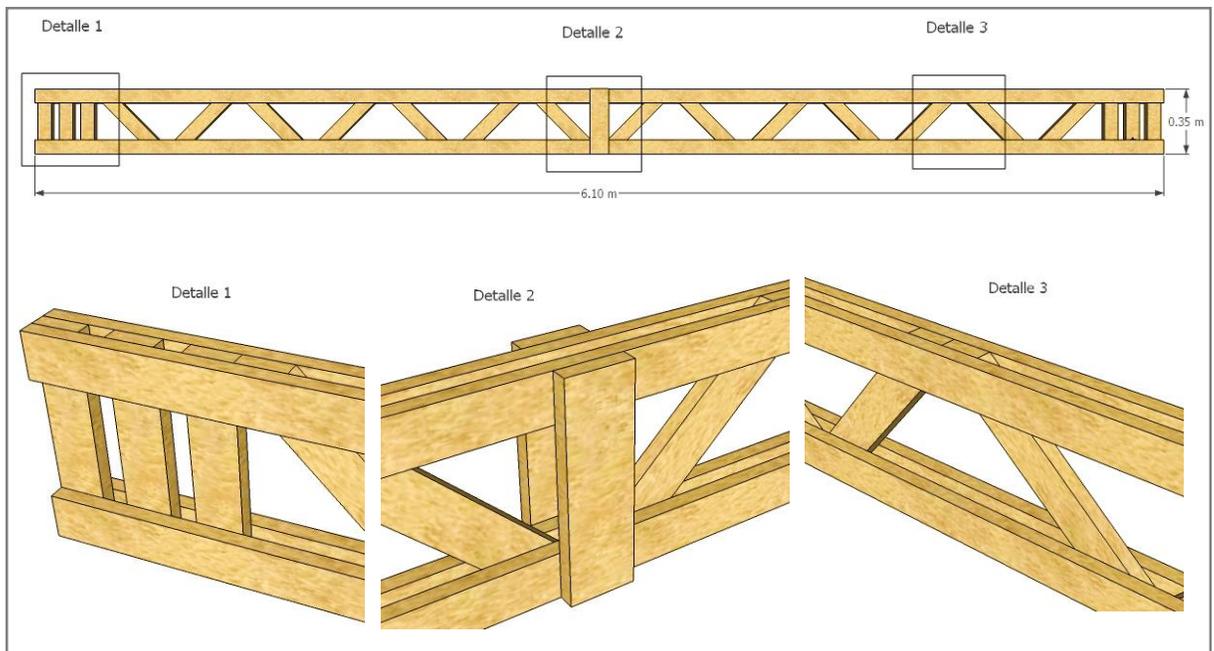
La cimentación del PCT se planteó como plataforma de hormigón elevada sobre un muro perimetral, para ello se realizará una zapata corrida y un muro de fundación de ladrillo (a una altura acorde para que la plataforma quede a 40cm

del suelo), dicho perímetro se rellenará con arena hasta el nivel de la platea, se acoplará la instalación sanitaria, para que ésta quede inserta en la plataforma, la superficie rellenada se cubrirá con polietileno de 200 micrones para aislar de la humedad y finalmente se colocará la plancha de hormigón (de 9 o 10 cm de espesor) con malla interna de acero de 4 a 5 mm de diámetro.

En el clima cálido una estrategia de la vivienda es elevar los pisos por medio de estructuras de madera para evitar inundaciones y humedad (Sánchez, 2012). Para el PCC se propuso el uso de pilotes de madera, impregnados con sales CCA, Riego 4 (NMX-C-322-ONNCCE ,2014), de 1.30m de altura y 18cm de diámetro, colocándolos a una distancia de 61 cm a lo largo de los 9.76m de longitud de la vivienda y formando tres hileras desde el ancho (a los 0 m, a los 3.05m y a los 6.10m). La profundidad de las sepas para colocar los pilotes será de 80 cm de profundidad, se nivelaran de forma que queden a una altura de 40 cm sobre el nivel del suelo.

Para el bajo piso de este prototipo se proyectó elaborar vigas reticuladas de madera de 0.35 m de alto y 6.10 m de largo, diagonales a 45° (Figura 5). Las dimensiones de las tablas para el armado de las vigas serán de 1'' x 3'', uniendo con clavos de 3''.

Las vigas se ubicaran sobre los pilotes (previamente se colocará un trozo de membrana hidrófuga como aislante de humedad entre pilotes y vigas), posteriormente se colocará polietileno de 200 micrones para proteger de la humedad, finalmente se colocaran tableros contrachapados (Fenol Formaldehido) de 18 mm de espesor, para su fijación se usaran clavos de 3''.



**Figura 12.** Viga reticulada para fundación del Prototipo de clima cálido elaborado en Sketch Up v. 2017.

*Diseño de muros.* Para la elaboración de paneles de los tres prototipos, se ideó el uso de piezas de madera de 2'' x 4'' x 8'', la separación entre pies derechos fue de 40.67cm, submúltiplo de 1.22m (modulo básico, correspondiente al ancho usual de los tableros de madera contrachapada). La altura total de los paneles fue de 2.45 m, así mismo el ancho de 2.44m, para su formación se usarán clavos de 3''.

Para los tres prototipos se proyectó la elaboración de paneles ventana, puerta, ventiluz y ciego, de acuerdo a la modulación en los planos de distribución. En el caso de paneles con vanos, se colocará un dintel para soportar las cargas procedentes del techo, éste estará formado por una pieza maciza con grosor igual al ancho de los pies derechos. Para facilitar la fijación y además la nivelación de puertas y ventanas, se dejará un vano de 3 cm (ancho y alto) que posteriormente podrá ser rellenado con espuma de poliuretano (Figura 6).

Los encuentros entre paneles varían según la modulación, para ello se deberá colocar una pieza suplementaria de la misma escuadría del panel (2'' x 3'' o 2'' x

4''), que aumenta la superficie de clavadura. Para la rigidización de muros se propuso el uso de tableros contrachapados (de resina Fenol Formaldehido), con un espesor de 12 mm.

*Diseño de techo.* Las dimensiones de la madera para la elaboración de cerchas en los tres prototipos será de 1'' x 3'' x 8', para la fijación se planteó utilizar clavos espiralados de 3''; en los tres prototipos se consideró colocar las cerchas a una distancia de 1.22 m. Para la rigidización del techo se contempló el uso de tableros contrachapados con resina Fenol Formaldehido de 12 mm de espesor colocados de forma entramada y sujetándolos con clavos de 2 ½ ''.

Se diseñaron las cerchas para la formación de la techumbre, el PCC con una pendiente del 50% (inclinación para un excelente desalojo de agua pluvial), la altura de las cerchas fue de 2.15 m, teniendo una distancia del alero de 1.22 m. La carga muerta calculada para la techumbre fue de 38.06 Kg/m<sup>2</sup>. Las cerchas del PCT se diseñaron con una pendiente del 42%, con una altura de 1.80 m, y alero de 1.22, la carga muerta para la techumbre de este prototipo fue de 36.86 Kg/m<sup>2</sup>. Finalmente para el PCS las cerchas se diseñaron con una pendiente de 33%, una altura de 1.45 m, y alero de 1.22, la carga muerta de la techumbre fue de 36.09 Kg/m<sup>2</sup> (Cuadro 3 y Figura 7)

**Cuadro 3.** Cargas muertas para la techumbre de las viviendas.

Materiales y elementos	Carga muerta calculada (kg/ m <sup>2</sup> )		
	PCS	PCT	PCC
Madera aserrada* (usada en cerchas y en sujetadores de cielo raso y cubierta) a un CH = 18%	8.44	8.46	8.72
Tableros contrachapados de 12 mm	8.40	8.85	9.42
Placa de yeso (cielo raso de 12 mm)	4.73	4.73	4.73
Lana de vidrio (50 mm)	0.83	0.83	0.83
Membrana hidrófuga (10 mm de espesor)	0.56	0.58	0.60
Polietileno de 200 micrones	0.12	0.12	0.12
Lamina de acero galvanizado (1,25 mm)	10.49	10.77	11.12
Clavos de 3'' y 2 ½'', tornillos, ángulos L.	<2.52	<2.52	<2.52
<b>Carga muerta Total (kg/ m<sup>2</sup>)</b>	<b>36.09</b>	<b>36.86</b>	<b>38.06</b>
<b>Carga Total (kg/ m<sup>2</sup>)</b>	<b>106.5</b>	<b>107.6</b>	<b>109.3</b>

\* Peso de la madera en base a una densidad de 450 kg/ m<sup>3</sup>, densidad promedio de pino descrita por Filio *et. al.* (2017).

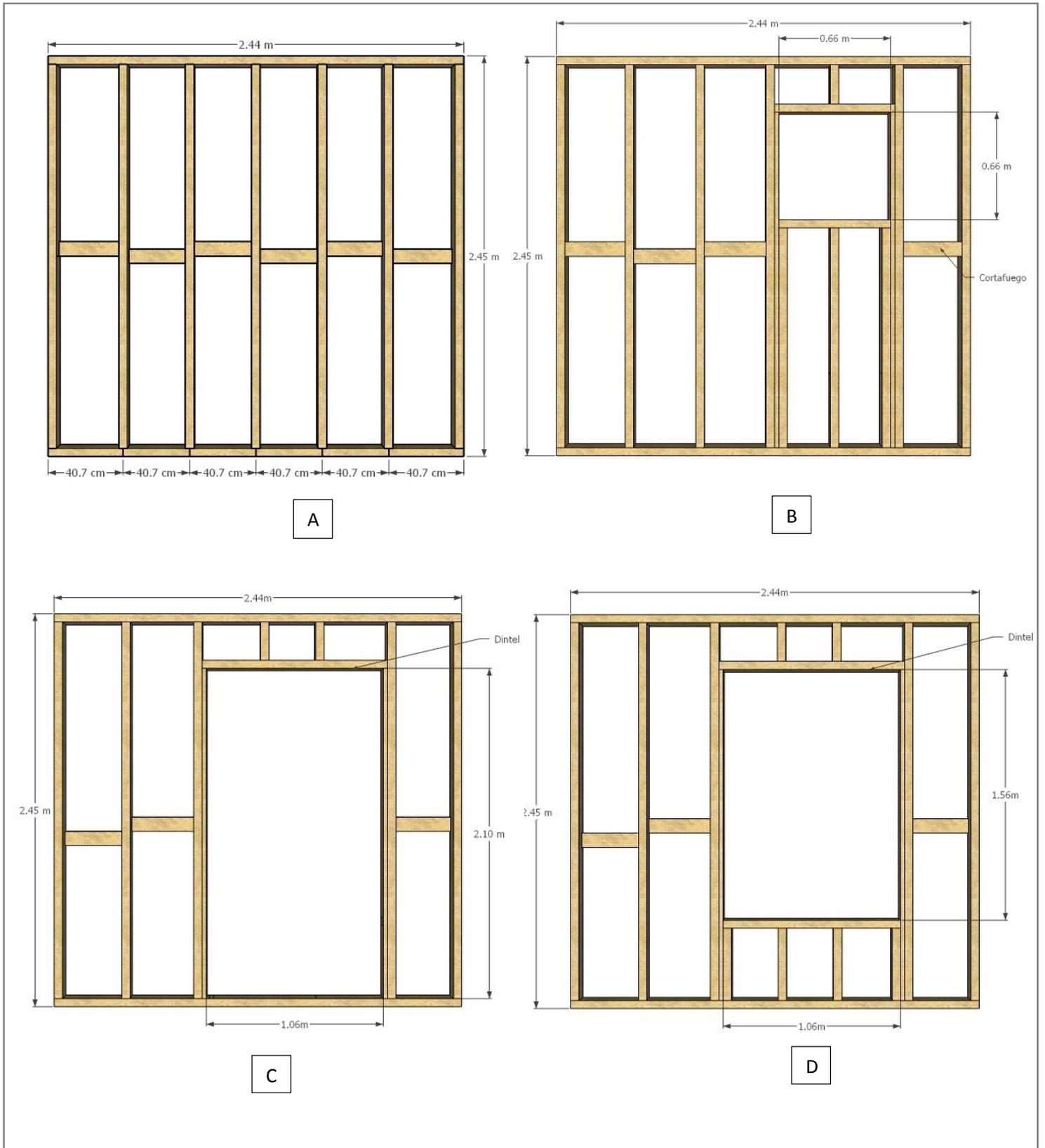
Suponiendo una carga viva máxima de 40 kg/m<sup>2</sup> (COFAN, 1999), una carga muerta de 36.09 kg/m<sup>2</sup> para el PCS, 36.86 kg/m<sup>2</sup> para el PCT y 38.06 kg/m<sup>2</sup> para el PCC, se obtuvo la carga total, sumando dichas cargas para cada techumbre y multiplicando por el factor de carga  $F_c = 1.4$  (COFAN, 1999). Los resultados obtenidos para las techumbres (Cuadro 4) concuerdan con el valor de carga total indicada por COFAN (1999), para una cubierta ligera inclinada con pendiente mayor al 5% (Cuadro 5).

**Cuadro 4.** Valores de carga total (kg/m<sup>2</sup>) para las techumbre de los prototipos.

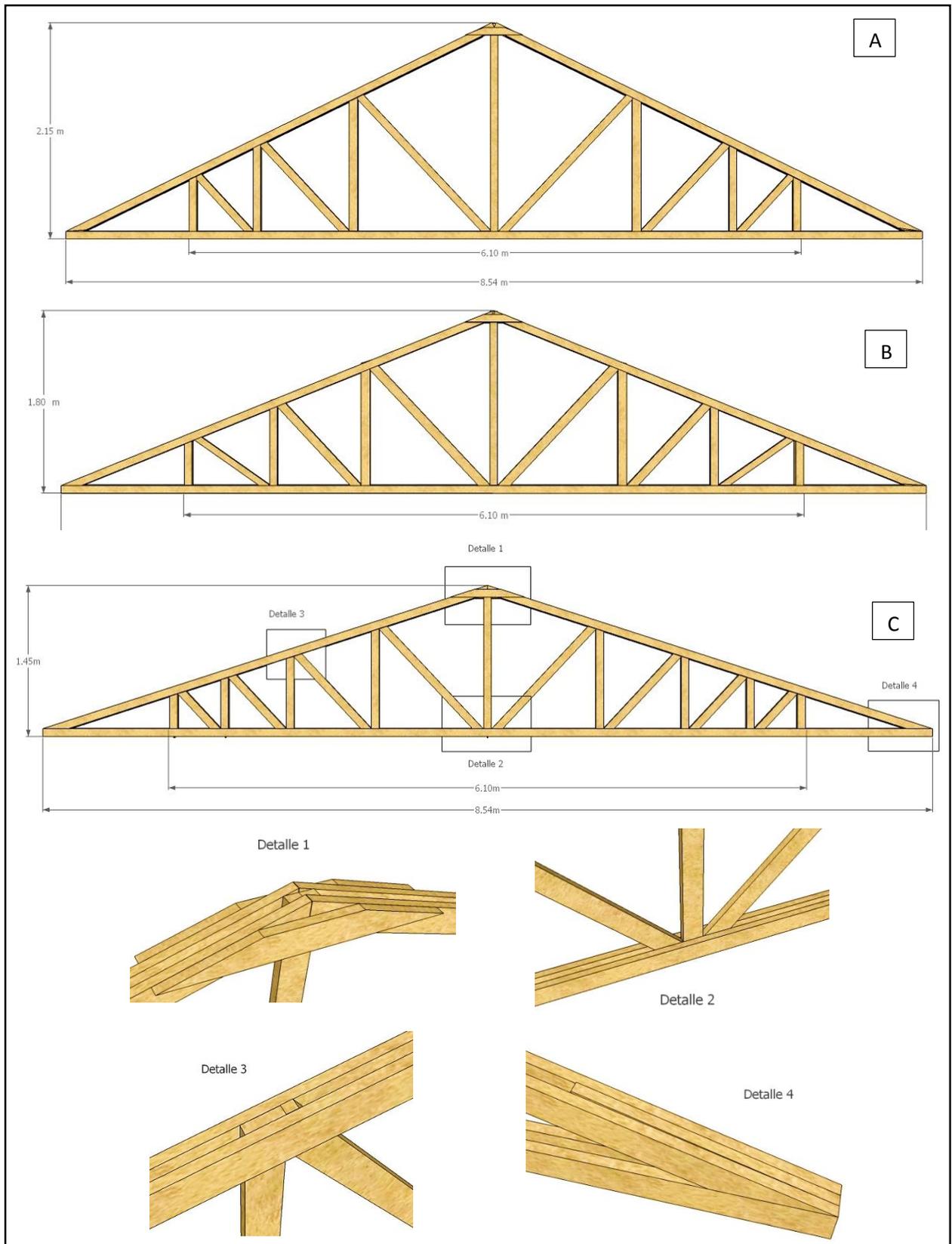
<b>Prototipo</b>	<b>Carga total (kg/m<sup>2</sup>)</b>
PCS	106.5
PCT	107.6
PCC	109.28

**Cuadro 5.** Valores de carga distribuida para diseño por resistencia (kg/m<sup>2</sup>). Fuente COFAN (1999).

<b>Sistema</b>	<b>Carga viva máxima <math>W_m</math></b>	<b>Carga muerta <math>W_p</math></b>	<b>Carga total (<math>W_m + W_p</math>)</b>
Cubiertas ligeras planas (pendiente < 5%)	100	40	196
Cubiertas ligeras inclinadas (pendiente >5%)	40	40	112
Cubiertas pesadas planas (pendiente < 5%)	100	110	294
Cubiertas pesadas inclinadas (pendiente >5%)	40	110	210



**Figura 13.** A) Panel ciego, B) panel ventiluz, C) panel puerta, D) panel ventana.



**Figura 14.** Cerchas diseñadas A) con pendiente de 50%, B) pendiente de 42% y C) pendiente de 34%, elaboradas en Sketch Up v. 2017.

*Aislamiento de las viviendas.* Aislamiento en muros: después de colocar los tableros contrachapados la superficie de la vivienda podrá ser revestida con una membrana hidrófuga. Esta membrana aislará de la humedad, permitiendo el paso de vapor de agua al interior y evitando que cualquier cantidad de agua llegue a la madera. Sobre la membrana se colocaran piezas de madera de ½'' pulgada de espesor por 2 pulgadas de ancho, las cuales servirán en primera instancia para sujetar la membrana, y en segunda instancia como anclajes para el revestimiento exterior, además de generar una cámara de aire que proporciona aislamiento térmico.

Aislamiento en el techo: una vez colocados los tableros en el techo, se colocan piezas de madera de 1'' x 2'' cada 1.22 m con la finalidad de generar un "valle" que facilite la circulación del aire. Posteriormente se coloca el aislante hidrófugo, en este caso una membrana termo-hidrófuga (membrana de espuma de polietileno aluminizada), enseguida se colocarán piezas de madera de 1" x 2", sobre las piezas previamente instaladas en los tableros contrachapados, con la finalidad de sostener la membrana. Por último se colocan piezas de madera (perpendiculares a las anteriores) de 2'' x 2'' o 2'' x 3'' que servirán para el anclaje de la cubierta (teja o lamina).

Aislaciones internas: se rellenan las paredes con lana de vidrio (5 mm de espesor) colocando enseguida polietileno de 200 micrones como barrera contra la humedad, sobre este se colocaran de forma horizontal piezas de madera de 1'' x 3'' a 40 cm de distancia. Estas piezas tienen la función de fijar los acabados internos ((placas de yeso, madera, plafón etc.) y permitir la formación de una cámara de aire por donde transitarán los cables y tuberías de agua, luz y gas. Posteriormente se realizará algo similar en el cielo raso, colocando primero el polietileno y posteriormente la lana de vidrio, también se colocaran piezas de madera de 1'' x 3'' para la fijación de acabados internos.

*Instalaciones sanitarias, hidráulicas y eléctricas.* Se dejará espacio en los muros donde se instalarán las tuberías y los cables de luz, agua, gas; estos cables se colocarán entre la cámara de aire que dejan los sujetadores y el polietileno. La perforación en los pies derecho para la instalación eléctrica deberá ser en los muros no portantes. Se recomienda utilizar placas metálicas para la protección del cable eléctrico en caso de ser necesaria la perforación para los revestimientos internos.

Es importante destacar que estas actividades son rápidas y de un bajo costo pues no existe necesidad de perforar, sellar y colocar cajas con tornillos y clavos para las instalaciones, como sucede en las casas tradicionales (hormigón o ladrillo). Otro aspecto relevante es que al realizar la instalación eléctrica se recomienda seguir normas de seguridad para evitar accidentes, sobre todo incendios. Se aconseja el uso de conductos especiales para impedir el contacto directo con la madera.

*Acabados externos.* Los acabados podrán ser de tablillas de madera (siding), mortero monocapa proyectado sobre los tableros o siding de fibrocemento. Mantener pintado todo el exterior de la vivienda es importante no solo por la cuestión estética, si no también, para prolongar el buen estado de la superficie. Se deberá aplicar pintura especial para exteriores como las pinturas plásticas acrílicas o recubrimientos acrílicos. En climas cálidos, las fachadas se recomienda pintarlas de colores claros, por otro lado, en climas templados y fríos, se recomienda pintar con colores oscuros.

#### **4.4. Discusión**

El tamaño mínimo de una vivienda social en México de acuerdo a la CONAVI (2008) es de 55 m<sup>2</sup>, tomando este criterio, las dimensiones determinadas para cada prototipo planteados en el presente trabajo pueden considerarse adecuadas.

Cuando una vivienda no está adaptada climáticamente conlleva a la necesidad de acondicionar el interior de manera mecánica, lo que implica un gasto de energía, sobre todo eléctrica, esto a su vez genera efectos negativos en la economía familiar. Las viviendas sociales representan una opción muy recurrente por las familias mexicanas, por lo que es de suma importancia el diseño desde un punto de vista climático. Gracias a un buen aislamiento térmico es posible generar un ambiente de confort, además de ahorrar energía en cuanto a climatización.

A pesar de que se presentan tres diferentes prototipos de vivienda, hay mucha flexibilidad en cuanto a adaptación de las diferentes distribuciones de los ambientes (plano en planta), siempre y cuando se considere la orientación general de la vivienda, vientos dominantes y también el estilo y ritmo de vida de los habitantes de la vivienda (determinar en qué espacios la familia pasa la mayor parte del tiempo).

El presente trabajo es una propuesta que engloba aspectos de sostenibilidad en la vivienda, desde el uso de la madera como recurso abundante en México, brindando ventajas en el ahorro de energía desde antes de su uso en la construcción, durante el uso propio de la vivienda e inclusive al término de su ciclo de vida.

Por el sistema constructivo propuesto para la construcción de las viviendas, se tiene la posibilidad de realizar mediante autoconstrucción lo que genera grandes beneficios económicos, abriendo la posibilidad de ocupación de mano de obra local y contribuir a la economía de un lugar específico.

#### **4.5. Conclusiones**

México es un país rico en recursos forestales, a pesar de ello, el conocimiento de las propiedades y características del uso de la madera estructural es muy escaso, lo que conlleva a una cultura ambigua del uso de la madera en la construcción de viviendas.

Así mismo el territorio mexicano cuenta con una gran cantidad de características y variedades de topografía, dichas circunstancias influyen en la existencia de condiciones climáticas muy específicas y variables a lo largo del país, esto ha generado una deficiencia en cuanto a normatividad en el sector de la construcción con madera.

El aislamiento en una vivienda es uno de los principales factores para mantener confort térmico en el interior, además de generar un ahorro de energía; es por ello que se debe poner mayor atención en ello cuando se construye una vivienda.

La madera tiene un gran potencial en México dentro del sector de la construcción debido a que es un material ecológicamente apto cuando se obtiene de aprovechamientos sustentables. Actualmente en México existen diversos proyectos sobre vivienda sustentable, pero en su mayoría no mencionan la madera como un material principal. Por otra parte una ventaja del sistema constructivo de entramado ligero, debido a su facilidad de armado, es la posibilidad de la autoconstrucción, lo que ofrece la posibilidad de disminuir los costos de mano de obra.

#### **4.5 Literatura citada**

Comisión Forestal de América del Norte (COFAN). (1999). *Manual de estructuras ligeras de madera*. 2a. México D.F. COMACO A.C. y UACH.

Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI). (2008). *Criterios e indicadores para los desarrollos habitacionales sustentables en México*. México, D.F.

Corporación Chilena de la Madera (CORMA). (2004). *La construcción de viviendas en madera*. Santiago, Chile.

Filio, R. O. A.; Borja, de la R., A.; Fuentes, S. M., & Corona, A. A. (2017). Wood frame house construction project in Mexico. *Revista de la Construcción*. 16 (2), 307-322.

Higuera Z. A., & Rubio T. M. Á. (2011). La vivienda de interés social: sostenibilidad, reglamentos internacionales y su relación en México. *Quivera*, 13 (2).

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Población, hogares y Vivienda. Indicadores de demografía y población. Consultado en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=17484>
- NMX-C-178-ONNCCE. (2014). Industria de la construcción – Preservadores para madera – Clasificación y requisitos, publicado en el diario oficial de la federación el día 07 de noviembre de 2014. México, D. F.
- NMX-C-239-ONNCCE (1985) “Calificación y clasificación visual para madera de pino en usos estructurales”. México, D.F.
- NMX-C-410-ONNCCE. (1999). Industria de la construcción – Vivienda de madera – Retención y penetración de sustancias preservadoras en madera – métodos de prueba. México, D.F.
- NMX-C-460-ONNCCE-2009. Industria de la construcción – Aislamiento térmico – Valor “R” para las envolventes de vivienda por zona térmica para la República Mexicana – Especificaciones y verificación. México, D.F.
- Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. (2004). México, D.F.
- Ordoñez, C. R. (1995). Muros de cortante en estructuras de madera. *Madera y Bosques*, 1(2), 37-50.
- Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. (2004). México, D.F.
- Sánchez, J. (2012). *La vivienda “social” en México. Pasado, presente y futuro*. Ciudad del México, México.
- Wershoffen, M. E. (2012). Especificaciones generales para la construcción de vivienda de interés social a base de componentes de madera. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9 (48).
- Zepeda, R. F. (2008). Construcción sostenible y madera: realidades, mitos y oportunidades. *Revista Tecnología en Marcha*, 21(4), 92-101.

## **CAPITULO 5. PANELES DE CELULOSA RECICLADA, ACÍCULAS Y POLIESTIRENO EXPANDIDO, COMO AISLANTE TÉRMICO EN VIVIENDAS DE MADERA**

### **Resumen**

Las prácticas de reciclaje y reaprovechamiento a partir de la recuperación de materiales y componentes de desecho de los numerosos procesos productivos son eficientes ecológica y económicamente, siendo una de ellas el uso de papel reciclado como aislamiento. En el presente trabajo se muestra la elaboración de paneles experimentales a base de celulosa reciclada, acículas de pino y poliestireno expandido, dichos paneles se proponen para ser utilizados en viviendas de madera construidas con el sistema de entramado ligero. A dichos paneles se aplicó una capa de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) previamente diluido con la finalidad de brindar resistencia contra el fuego e insectos. Se calculó la Resistencia Térmica Total (Valor "R") de un muro con este tipo de aislamiento, mediante el método simplificado, establecido en la NMX-C-460-ONNCCE-2009. Se obtuvieron valores "R" de 3.50, 3.53 y 3.30  $m^2 K/ W$ . Los tres tipos de panel para aislamiento, son una opción rentable económicamente debido a que la materia prima es de fácil acceso y el proceso de elaboración no implica el uso de equipo sofisticado.

**Palabras clave:** *reciclaje, celulosa, acículas de pino, resistencia térmica.*

## **Abstract**

The recycling and reuse practices from the recovery of materials and waste components of the numerous productive processes are ecologically and economically efficient, one of them is the use of recycled paper as insulation. In the present work the elaboration of experimental panels based on recycled cellulose, pine needles and expanded polystyrene is shown, these panels are proposed to be used in wooden houses built with the light framework system. To provide resistance against fire and insects, a layer of diluted boric acid ( $H_3BO_3$ ) is applied to each panel. The Total Thermal Resistance ("R" value) of a wall for each kind of insulator were calculated by means of the Simplified method, established in NMX-C-460-ONNCCE-2009. "R" values of 3.50, 3.53 and 3.30  $m^2 K / W$  were obtained. The three types of panel for insulation are an economically viable option because the raw material is easily accessible and the manufacturing process does not involve the use of sophisticated equipment.

**Key words:** *recycling, cellulose, pine needles, thermal resistance*

## **5.1. Introducción**

El aislamiento térmico es la capacidad que tienen los materiales para reducir el paso de calor a través del mismo. El calor se transmite del lado más caliente al lado menos caliente; esta transmisión de calor la determina el elemento constructivo (COFAN, 1999).

Los aislamientos son de crucial importancia en la construcción de edificaciones sustentables, un aislamiento nos resguarda de los agentes externos como el calor, el frío o ruidos, además favorece de manera muy importante a la disminución en el gasto de energía en nuestros hogares y puestos de trabajo, así como también una reducción de los gases de efecto invernadero (Saldaña, *et al.*, 2016).

El uso de las aislaciones térmicas alternativas utilizando materiales de descarte o de origen natural ha sido ampliamente estudiado. La búsqueda de opciones constructivas y materiales alternativos que posibiliten el reciclado energético por parte del usuario, con un costo económico bajo, es importante en el proceso socio-económico mejorando la calidad de vida mínima de los sectores de bajos recursos (Viegas, *et al.* 2016).

Las prácticas de reciclaje y reutilización, a partir de la recuperación de materiales y componentes de desecho de los diversos procesos productivos son eficientes desde el punto de vista ecológico y económico, ya que la recuperación de materiales puede ser el punto de partida para generar un mercado alternativo de productos, que por haber sido utilizados anteriormente resulten más económicos (Saldaña, *et al.*, 2016).

Existen diversas investigaciones respecto del empleo de celulosa como aislante en la edificación, destacando su bajo impacto ambiental del ciclo de vida de las edificaciones y sus numerosas ventajas ecológicas y económicas cuando se emplea este material.

El uso de residuos del papel como aislamiento es una alternativa posible, debido a que se observan desarrollos que muestran que el relleno de celulosa tiene un gran desfase térmico (8 a 12 h) y un buen aislamiento con una conductividad térmica en el rango de 0.037 W/mK a 0.041 W/mK (Viegas, *et al.* 2016). Por su parte, Venhaus, *et al.* (2015) indican que los materiales fabricados a partir de fibras de celulosa de papel reciclado, registran en general (de acuerdo a los fabricantes y cuando son aplicados por la técnica del “proyectado”), un coeficiente de conductividad térmica teórica de 0.035 W/mK y una densidad teórica promedio entre 30 y 60 kg/m<sup>3</sup>.

En el presente trabajo se presenta la elaboración de paneles experimentales a base de celulosa reciclada, acículas de pino y poliestireno expandido, dichos paneles se proponen para ser utilizados en viviendas de madera construidas con el sistema de entramado ligero, éste sistema tiene la ventaja de ser fácil de aislar debido a que tiene espacios en su estructura (entramados verticales y

horizontales) que pueden ser rellenos con aislantes. A los paneles se les aplicó una capa de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) con la finalidad de brindar resistencia contra insectos y el fuego, para esto último se pusieron a prueba. Se calculó la Resistencia Térmica Total de un muro con este aislamiento, mediante el método simplificado establecido en la NMX-C-460-ONNCCE (2009).

## 5.2. Materiales y métodos

Para la elaboración de los paneles, se elaboraron moldes de madera de 15 cm x 18 cm y 5cm de espesor, con paredes perforadas y colocando una malla para facilitar el drenaje de agua (Figura 15). El papel reciclado se cortó en tiras y se molió en una licuadora industrial, obteniendo una pulpa que posteriormente se colocó en los moldes y se eliminó el exceso de agua. (Figura 16).



**Figura 15.** Moldes elaborados en madera, con perforaciones para facilitar el drenado de agua.



**Figura 16.** Pulpa de celulosa reciclada colocada en los moldes.

Se elaboraron tres muestras de paneles utilizando únicamente la pulpa de celulosa, tres muestras colocando una capa intermedia de acículas de pino (aproximadamente 0.8 cm) y tres muestras colocando una capa intermedia de poliestireno expandido (microesferas de unicel, aprox. 0.8 cm) (Figura 17). Una vez eliminado el exceso de agua en las muestras, se sacaron de los moldes y se colocaron en una mufla para su secado a una temperatura de 30° C (Figura 18).



**Figura 17.** Elaboración de un panel con capa intermedia de acículas de pino.



**Figura 18.** Paneles colocados en la mufla para su secado a 30° C.

Para la aplicación del ácido bórico sobre la superficie de los paneles, se utilizó ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) en polvo, el cual se diluyó en agua a una temperatura de 20° C a 4.88 partes de ácido bórico por 100 partes de agua, para lo cual se agregaron 48.8 g de  $H_3BO_3$  a 1000 ml de agua.

Para la aplicación de la disolución sobre la superficie por medio de aspersion, se dividió cada muestra de panel en dos partes, aplicando 50 ml de la disolución solo a uno de los fragmentos. (Figuras 19 y 20). Una vez aplicada la disolución se dejaron secar los paneles en una mufla a una temperatura de 25°C.

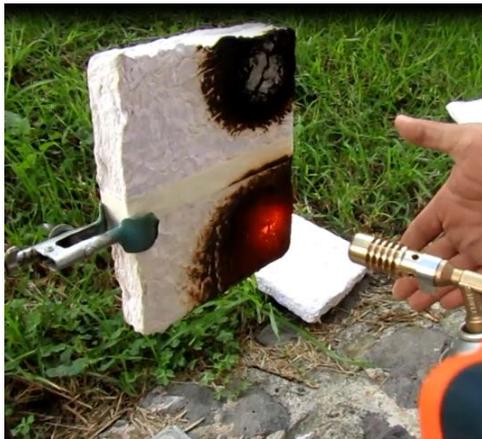


**Figura 20.** Aplicación de  $H_3BO_3$  por aspersion



**Figura 19.** División del panel en dos fragmentos para aplicación de la disolución

Cuando los paneles estuvieron secos, se realizaron pruebas de resistencia al fuego, para lo cual se utilizó gas butano con un mechero, efectuando exposición directa a la flama durante un minuto tanto en la parte con el recubrimiento de  $H_3BO_3$  como en la parte sin recubrimiento (Figura 21) Se determinó la temperatura, con un termómetro infrarrojo de la superficie (parte y contraparte de donde se aplicó la flama), durante la exposición de la llama y un par de segundos después de la exposición (Figura 22).



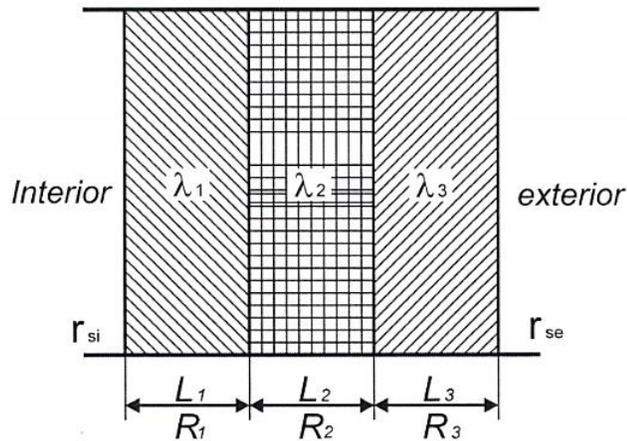
**Figura 21.** Exposición del panel a flama durante 1 minuto.



**Figura 22.** Toma de temperatura con termómetro infrarrojo.

La determinación teórica de la Resistencia Térmica Total (Valor R) del muro con los paneles como posibles aislantes, se realizó conforme a la NMX-C-460-ONNCCE (2009) la cual indica el Valor “R” de los elementos constructivos que constituyen una vivienda (techos, muros y entrepisos ventilados), dichos valores de acuerdo a la zona térmica de ubicación de la vivienda, la norma indica el cálculo del Valor “R” mediante el método simplificado, el cual se describe a continuación:

*Resistencia Térmica Total y Coeficiente de transmisión de calor de capas homogéneas.* La resistencia total de un muro o techo con capas homogéneas es la suma de las resistencias térmicas parciales de cada capa (Figura 23).



**Figura 23.** Resistencia Térmica Total y Coeficiente de transmisión de calor de capas homogéneas. Fuente: NMX-C-460-ONNCCE (2009)

$$R_T = r_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + r_{se} = \frac{1}{hi} + \frac{L_1}{\lambda_1} + \frac{L_2}{\lambda_2} + \frac{L_3}{\lambda_3} + \frac{1}{he} \quad [1]$$

Donde:

$L$  es el espesor de la capa del material en el componente, en m

$\lambda$  es la conductividad térmica de diseño del material obtenida de valores tabulados, reporte de fabricante o en sayos de laboratorio, en W/(mK).

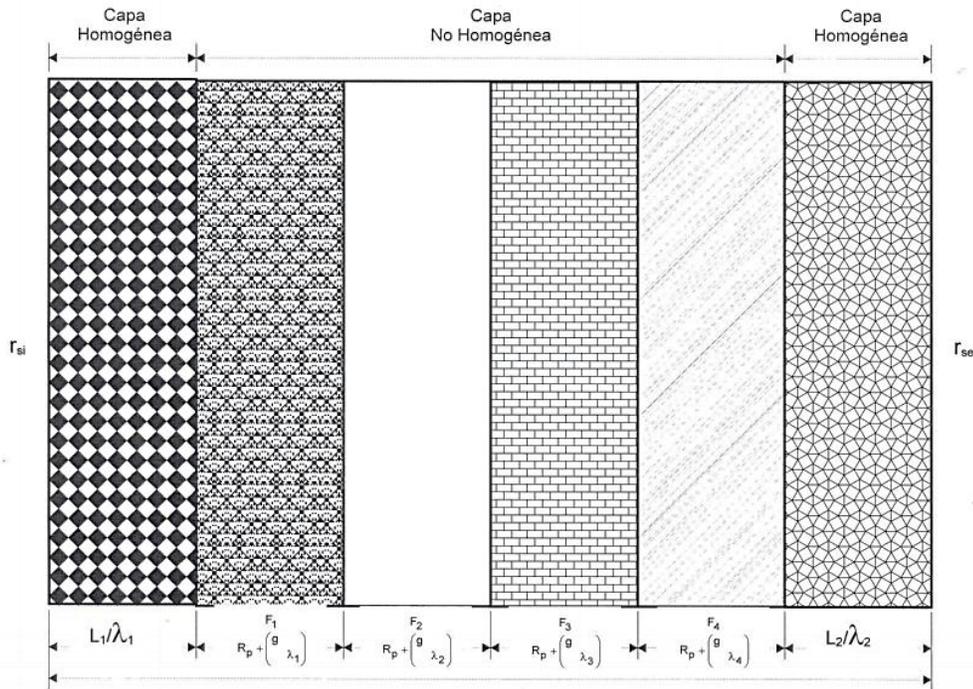
$hi$  es la conductancia superficial interior, en W/m<sup>2</sup> K, su valor es: 8.1 para superficies verticales, 6.6 para superficies horizontales con flujo de calor hacia abajo (del techo al aire interior o del aire interior al piso)

$he$  es la conductancia superficial exterior, en W/m<sup>2</sup> K, su valor es igual a 13

$n$  es el número de capas que forman la porción de la envolvente.

$R_T$  es la resistencia térmica total de una porción de la envolvente del edificio, de superficie a superficie, m<sup>2</sup> K/W.

Resistencia Térmica Total y Coeficiente de transmisión de calor de capas homogéneas y no homogéneas. La resistencia térmica total  $R_T$  de un elemento constituido por capas térmicamente homogéneas y heterogéneas paralelas a la superficie, es representada como se muestra en la Figura 24.



**Figura 24.** Resistencia Térmica Total y Coeficiente de transmisión de calor de capas homogéneas y no homogéneas. Fuente: NMX-C-460-ONNCCE (2009).

La resistencia total es la formada por la suma de las fracciones ocupadas por las capas homogéneas y las no homogéneas:

$$R_T = M = \frac{1}{\frac{F_1}{R_p + \left(\frac{g}{\lambda_1}\right)} + \frac{F_2}{R_p + \left(\frac{g}{\lambda_2}\right)} + \dots + \frac{F_m}{R_p + \left(\frac{g}{\lambda_m}\right)}} \quad [2]$$

Donde:

$g$  es el grueso de la capa no homogénea.

$\lambda$  es la conductividad térmica de diseño del material obtenida de valores tabulados, reporte de fabricante o en sayos de laboratorio, en W/(m K).

$m$  es el número de materiales que forman la capa no homogénea de la porción de la envolvente.

$R_T$  es la resistencia térmica total de una porción de la envolvente del edificio, de superficie a superficie, m<sup>2</sup> KW.

$R_p$  es la resistencia térmica total de la porción homogénea de la envolvente del edificio

$F$  es la fracción del área total de la porción de la envolvente, ocupada por cada material en la capa no homogénea.

### 5.3. Resultados y discusión

Actualmente existe una gama de materiales naturales usados como aislamiento (como la fibra de coco, cascara de arroz, fibras de agaves) pero presentan la desventaja de estar limitados a ciertas áreas y en pocas cantidades.

La celulosa, compuesta esencialmente de periódicos reciclados y triturados, es probablemente el aislamiento natural que más se utiliza en la actualidad. Es manejado bajo la forma de aislamiento soplado o colchoneta semirígida (Mercier, *et. al.*, 2011).

Para objetivos del presente trabajo, se elaboraron un total de nueve paneles (Figura 25), los cuales por pérdida de agua tuvieron la dimensión final que se muestra en el Cuadro 6.

**Cuadro 6.** Dimensiones de los paneles elaborados.

Muestra	Material	Peso (g)	Ancho x Largo	
			(cm)	Espesor (cm)
1C	Celulosa reciclada	196.9	14.8 x 17.5	2.63
2C	Celulosa reciclada	125.1	14.0 x 17.5	2.90
3C	Celulosa reciclada	173.8	14.5 x 17.3	2.41
1U	Celulosa-Unicel	170.0	14.2 x 17.5	2.72
2U	Celulosa-Unicel	129.1	14,3 x 17.7	2.72
3U	Celulosa-Unicel	144.7	14.9 x 18.1	2.99
1H	Celulosa-acículas	138.8	14.5 x 18.0	2.35
2H	Celulosa-acículas	160.0	15.0 x 17.0	2.44
3H	Celulosa-acículas	134.5	14.5 x 17.5	2.42

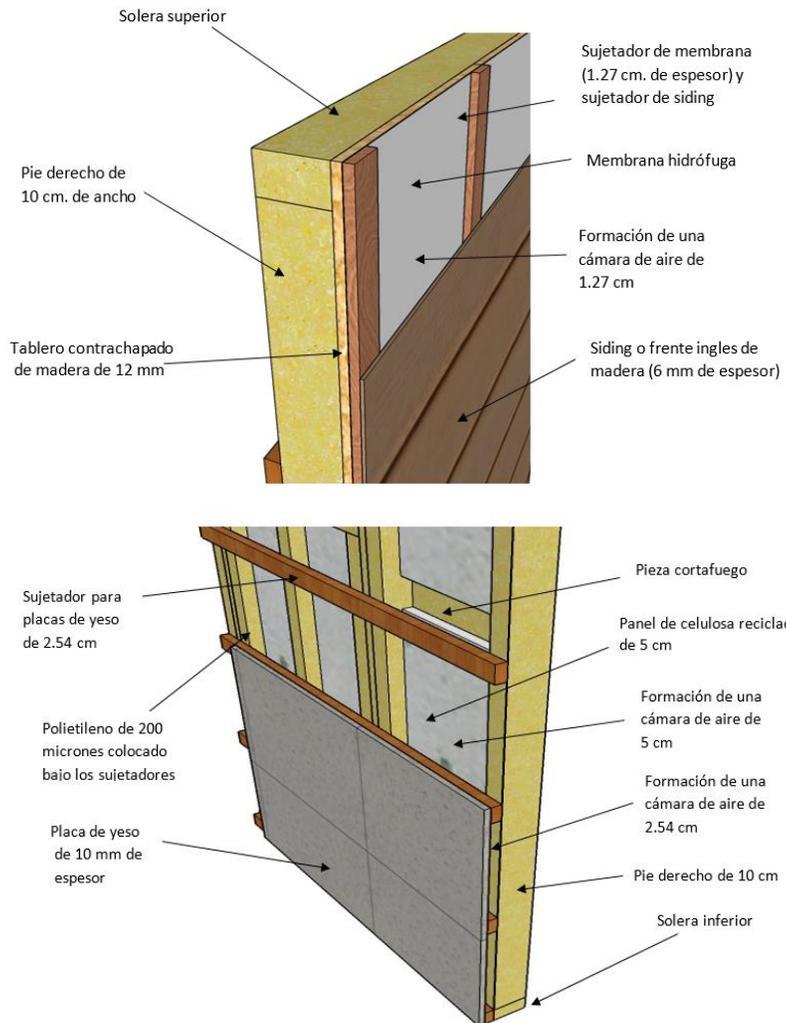


**Figura 25.** A) Muestra de panel de celulosa-unicel, B) Muestra de panel de celulosa, C) Muestra de Panel de celulosa-acículas de pino.

En cuanto a la Resistencia Térmica total, ésta se calculó para un muro con las características mostradas en la Figura 26. Considerando los valores de conductividad térmica de materiales (Cuadro 7) indicados por la NMX-C-460-ONNCCE (2009), Díaz, *et al.* (2013), y Viegas, *et al.* (2016).

**Cuadro 7.** Valores de conductividad térmica de materiales.

Material o componente	Conductividad térmica ( $\lambda$ )W/mK
Tablero contrachapado	0,17
Hojas secas	0,23
Placa de yeso	0,44
Celulosa reciclada	0,039
Polietileno de alta densidad	0,45
Aire en reposo	0.025
Poliestireno expandido	0,03
Madera	0,13



**Figura 26.** Elementos componentes de un muro (exteriores e interiores) en el sistema de entramado ligero. Elaborado en Sketch Up v. 2017.

Se determinó el espesor total del muro en base a cada uno de sus componentes, así mismo se obtuvieron los promedios de resistencia térmica calculada para el muro con aislamiento de celulosa, muro con celulosa-unicel y muro con celulosa-acículas. En el Cuadro 8 se realiza una comparación del Valor “R” obtenido en el presente trabajo, con valores obtenidos por Cortés (2008) para otros materiales comúnmente usados en muros en México.

**Cuadro 8.** Comparación de valores de Resistencia Térmica Total.

<b>Sistema constructivo</b>	<b>Espesor (cm)</b>	<b>Resistencia Térmica Valor “R” (m<sup>2</sup> K/ W)</b>
<i>Muro de madera con celulosa como aislante</i>	16.6	3.505
<i>Muro de madera con celulosa -unicel</i>	16.6	3.532
<i>Muro de madera con celulosa-acículas</i>	16.6	3.300
Tabique rojo recocido	18.5	0.405
Tabique Extruido	12.0	1.344
Concreto prefabricado	13.0	0.297
Block de concreto hueco	16.5	1.498
Block de concreto ligero tabicón	16.0	0.858
QualyPanel	8.1	1.635

Los valores de resistencia térmica requeridos en muros, especificados en la NMX-C-460-ONNCCE (2009) “Aislamiento Térmico-Valor R para las envolventes de vivienda por zona térmica para la república mexicana”, considerando todas las zonas térmicas de México, van desde un mínimo de 1.0 m<sup>2</sup> K/ W hasta un 2.10 m<sup>2</sup> K/ W para lograr ahorro de energía.

De acuerdo al valor “R” teórico obtenido en el presente trabajo, utilizar los paneles de celulosa como aislamiento térmico en el sistema de entramado ligero es una opción rentable económicamente por la facilidad de obtención de la materia prima (papel reciclado) y debido a que su proceso de elaboración no conlleva el uso de equipo e instrumentos especializados.

Se puede observar en el cuadro anterior que los sistemas constructivos más comunes utilizados en México no cumplen con las especificaciones de la norma mexicana para lograr un ahorro de energía y que los habitantes obtengan confort

en el interior de la vivienda, por lo que el aislamiento propuesto presenta grandes ventajas comparativamente.

### Prueba de resistencia al fuego

En el Cuadro 9 se presenta la media de temperatura determinada para cada tipo de material. La temperatura determinada en el área de aplicación de la flama superó los 570°C, que es la máxima temperatura de medición del termómetro infrarrojo.

**Cuadro 9.** Temperaturas en pruebas de resistencia a fuego.

Material	Espesor (cm)	Tiempo de exposición (min)	Temperatura en área de aplicación de flama (°C)	Temperatura en contraparte de aplicación de flama (°C)
Celulosa	2,64	1	> 570	41.81
Celulosa + ácido bórico	2,64	1	> 570	21.73
Celulosa-unicel	2,81	1	> 570	42.75
Celulosa-unicel + ácido bórico	2,81	1	> 570	20.68
Celulosa-acículas	2,40	1	> 570	43.63
Celulosa-acículas + ácido bórico	2,40	1	> 570	23.70



**Figura 27.** Muestra de paneles a prueba de flama directa, arriba sin recubrimiento de ácido bórico y abajo con recubrimiento.

Durante el proceso de aplicación de flama directa, se observó que los paneles no propagaron llama en absoluto, ni humos tóxicos, tanto en la parte recubierta con ácido bórico como la parte sin recubrimiento.

#### **5.4. Conclusiones**

El uso de materiales reciclables como fines de aislamiento como es el caso de la celulosa obtenida de papel reciclado, es muy viable no solo ecológicamente, si no también económicamente, debido a que el costo de elaboración de los productos como los paneles, implica un proceso muy rudimentario en el que no se requieren dispositivos sofisticados para su elaboración.

Existe una variabilidad de las dimensiones de los paneles elaborados debido a la pérdida de agua, a pesar de haber utilizado un único molde. Es recomendable determinar las cantidades de pulpa necesarias para obtener un cierto volumen en el panel una vez seco y no únicamente considerar el volumen del molde, pues por el estado en el que se encuentran las fibras, tienden a distribuirse de forma aleatoria.

Se plantea la necesidad de elaborar paneles, acordes a las dimensiones reales de los espacios entre pies derechos de los muros de las viviendas. Así mismo es indispensable realizar pruebas tanto de aislamiento acústico como determinación real de conductividad térmica con equipos especializados, con la finalidad de tener un valor infalible.

#### **5.5 Literatura citada**

Comisión Forestal de América del Norte (COFAN). (1999). *Manual de Construcción de estructuras ligeras de madera.*

Cortés, P. O. (2008). *Análisis térmico de los sistemas constructivos comunes utilizados en techos y muros en vivienda versus la normatividad oficial en*

*el tema, en los diversos bioclimas de México.* Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

Díaz, M. j., Robles M. F., Macías H.M., Osorio M. A. (2013). Determinación de la conductividad térmica de materiales para biosecado mediante el método de placa caliente. *V Simposium Iberoamericano de Ingeniería de Residuos sólidos.* Mendoza, Argentina.

Melisa Viegas, Graciela, Walsh, Carolina, & Barros, María Victoria. (2016). Evaluación cuali-cuantitativa de aislaciones térmicas alternativas para viviendas: El caso de la agricultura familiar. *Revista INVI.* 31(86), 89-117. doi.org/10.4067/S0718-83582016000100004.

Mercier, D., Dutil, Y., Rousse, D., Pronovost, F., Boudreau, D., Hudon, N., & Castonguay, M. (2011). Los aislamientos térmicos naturales: construcción ecológica y eficiencia energética. *CIER.* Cuba.

Saldaña, A. J.; Rosales, J. y Muñoz, A. (2016). Reutilización de papel reciclado en la producción de material de construcción aislante térmico y acústico. *Revista de Investigación y Desarrollo.* 2 (6), 68-74.

NMX-C-460-ONNCCE-2009. Industria de la construcción – Aislamiento térmico – Valor “R” para las envolventes de vivienda por zona térmica para la República Mexicana – Especificaciones y verificación. México, D.F.

Venhaus Held, Alías H., Jacobo G., y Martina, P. (2015). Determinación de la conductividad térmica de la celulosa de papel reciclado. Propuestas para su uso como aislante térmico de edificios en el nordeste argentino. Posibles procesos productivos. Acta de la XXXVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 3, pp. 05.13-05.24.

## CAPÍTULO 6. LITERATURA CITADA

- Alías, H. M., & Jacobo, G. J. (2011). Eficiencia energética en viviendas sociales. Incidencia de la envolvente en el consumo eléctrico para mantener el Bienestar higrotérmico en los espacios interiores. *ARQUISUR*, 1(1), 76-89.
- Artasu, M. M. C. (2007). Casa, madera y simbiosis arquitectónica en Belice y el sureste de México. *Gazeta de antropología*, (23), 6.
- Barona, D. E. & Sánchez, R. F. (2005). Características de la vivienda de interés básica, social y económica urbana en Puebla-México. *e-Gnosis*, 3, 1-18.
- Barrios, E., Miranda, W. C., & de Contreras, M. O. (2006). Repercusiones energéticas y económicas del uso de la madera como elemento constructivo para viviendas de interés social en Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana*, 40, 1-28.
- Beyer, G., Defays, M., Fischer, M., Fletcher, J., Munck, E. D., Jaeger, F. D., & Riet, C. (2011). Frente al cambio climático: utiliza madera, 86 p. Bruselas: CEI Bois.
- Burrows, J. (2013). Canadian wood-frame house construction. Central Mortgage and Housing Corporation.
- Carrasco, C., & Morillón, D. (2004). Adecuación bioclimática de la vivienda de interés social del noroeste de México con base al análisis térmico de la arquitectura vernácula. *Avances de Energías Renovables y Medio Ambiente*, 8 (1), 5-97.
- Celano, J. A., & Jacobo, G. J. (s.f). Desarrollo de sistemas industriales de producción de sistemas constructivos prefabricados en madera para viviendas de interés social en la región NEA.
- Chacon, A.D., Cital, B. P., Vazquez, V.M., Balarezo, V.T. & Herrerias, V.A. (2009). Manual para el diseño de desarrollos habitacionales sustentables. Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza. Primera edición. México.
- Comisión Forestal de América del Norte (COFAN). (1999). *Manual de estructuras ligeras de madera*. México, D.F. COMACO A.C. y UACH.
- Comisión Nacional Forestal. (s/f). *Manual de autoconstrucción con madera*. México.
- Comisión Nacional para la Vivienda (CONAVI). (2008). *Criterios e indicadores para los desarrollos habitacionales sustentables en México*, México, D.F.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2017). La diversidad biológica forestal en México. Consultado en: [http://www.conabio.gob.mx/institucion/cooperacion\\_internacional/doctos/dbf\\_mexico.html](http://www.conabio.gob.mx/institucion/cooperacion_internacional/doctos/dbf_mexico.html)

- Comisión Federal de Electricidad (CFE). (2015). *Manual de Diseño de obras civiles: Diseño por sismos*. México.
- Corporación Chilena de la Madera (CORMA). (2004). *La construcción de viviendas en madera*. Santiago, Chile.
- Contreras, M. W., de Contreras, M. O., & Contreras, Y. (2009). Evaluación y rediseño de dos proyectos de casas, realizados por la Gerencia Proyecto Vivienda Madera de CVG Proforca. Parte I. *Revista Forestal Venezolana*, 53(1), 85-101.
- Contreras, M. W., Owen de C. Barrios, P.E. Rondón, S.M. Cloquell, B. V. & Gatica, R.I. (2010). Conceptos propositivos de viviendas sociales en zonas de riesgo en Venezuela y Brasil, a partir de sistemas constructivos tradicionales, madera sólida y productos forestales. *Revista Forestal Venezolana*, 54(2), 237-249.
- Contreras, M.W., Owen, de C. M. Contreras, M.Y., Thomson E. & Contreras M. A. (s.f.). Sistema Constructivo industrializado uverito con madera y/o acero para viviendas de interés social. Venezuela.
- Corporación Chilena de la Madera (CORMA). (2004). *La construcción de viviendas en madera*. Santiago, Chile.
- Dávalos, S. R. (1996). Diseño probabilístico de estructuras de madera en Norteamérica. *Madera y Bosques*, 2(1), 9-31.
- De Schiller, S., Gomes da Silva, V., Goijberg, N., & Treviño, C. (2003). Edificación sustentable: consideraciones para la calificación del hábitat construido en el contexto regional latinoamericano. *Avances de Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA)*. 7, 05-13.
- Devia C. A. (2002). *La Madera Como Material Básico Para La Construcción De Viviendas De Interés Social*. Colciencias-Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Echavarría, F., Jiménez, W., & González, C. (2010). Proyecto de eficiencia energética en vivienda social de Antofagasta, en vías de su autosustentación. *Iberoamerican Journal of Project Management*, 1(1).
- Elorza, W., M. E. (1984). Actividades que se realizan para promover el uso de la madera en la construcción. *Revista Ciencia Forestal*. 49(9), 37- 41.
- Falcón, D.A. (2013). Propuesta y diseño de un Sistema Modular para la construcción de viviendas de interés social en México. Universidad Politécnica de Ctalunya. España. 71.
- Filio, R. O. A. (2016). *Proyecto de construcción de una casa de madera tipo*. Tesis

- de Maestría en Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Filio, R. O.; Borja, de la R., A.; Fuentes, S. M., & Corona, A. A. (2017). Wood frame house construction project in Mexico. *Revista de la Construcción*. 16(2), 307-322.
- Hanono, B. M. (2005). *Construcción en madera*. Río negro, Argentina: Editorial CIMA.
- Hermawan, Prianto, E., & Setyowati, E. (2015). Thermal Comfort of Wood-wall House in Coastal and Mountainous Region in Tropical Area. *Procedia Engineering*, 125, 725–731. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.114>
- Hernández, C. M.D. (2006). *La vivienda en México: Perspectivas de la vivienda en México*. Primera edición. México, D.F.
- Higuera Z. A., & Rubio T. M. Á. (2011). La vivienda de interés social: sostenibilidad, reglamentos internacionales y su relación en México. *Quivera*, 13(2).
- Holguín V., M. R., & Navas S. R. S. (2012). Estudio de factibilidad de casas prefabricadas de Interés Social, a fin de disminuir el déficit habitacional del Cantón Latacunga. Tesis de Maestría. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga. Ecuador.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Población, hogares y Vivienda. Indicadores de demografía y población Consultado en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=17484>
- Jacobo, G. J., & Vedoya, D. E. (2004). Construcción de viviendas de madera como política de estado. Recuperado de: <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/com2004/7-Tecnologia>.
- Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC). (1980). *Cartilla de construcción con madera*. Lima, Perú.
- Meli, R., Alcocer, S. M., & Díaz-Infante, L. A. (1994). Características estructurales de la vivienda de interés social en México. *Cuaderno de Investigación*, (17), 25-52.
- Méndez, F.F. & Velasco, S.P. (2013). *Estrategia Nacional para la Vivienda Sustentable: componente ambiental de la sustentabilidad*. México, D.F.: Fundación IDEA, A.C.
- Mitchell, J., & Acosta, P. (2009). Evaluación comparativa de tipologías de viviendas sociales en la provincia de Mendoza. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 13(5), 161-168.
- Murillo, S. (2009). Construir con Madera: alternativa para Resolver Necesidades

- Habitacionales. *Revista el mueble y la madera*, 39.
- NMX-C-178-ONNCCE. (2014). Industria de la construcción – Preservadores para madera – Clasificación y requisitos, publicado en el diario oficial de la federación el día 07 de noviembre de 2014. México, D. F.
- NMX-C-239-ONNCCE-1985. Clasificación visual para madera de pino de uso estructural. México, D.F.
- NMX-C-224-ONNCCE-2001. Industria de la construcción – Vivienda de madera y equipamiento urbano – Dimensiones de la madera aserrada para su uso en la construcción, publicado en el diario oficial de la federación el día 29 de enero de 2002. México.
- NMX-C-409-ONNCCE-(1999) . Industria de la construcción – Elementos de madera- Clasificación visual para maderas latifoliadas de uso estructural”. México, D.F.
- NMX-C-410-ONNCCE. (1999). Industria de la construcción – Vivienda de madera – Retención y penetración de sustancias preservadoras en madera – métodos de prueba. México, D.F.
- Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. (2004). México, D.F.
- NMX-C-460-ONNCCE. (2009). Industria de la construcción – Aislamiento térmico – Valor “R” para las envolventes de vivienda por zona térmica para la República Mexicana – Especificaciones y verificación. México, D.F.
- Ordoñez, C. R. (1995). Muros de cortante en estructuras de madera. *Madera y Bosques*, 1(2), 37-50.
- Orradre, G. (2003). Uniones en estructuras de madera laminada. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/191823779/Uniones-en-Estructuras-de-Madera-Laminada>.
- Parker H. y Ambrose J. (2012). *Diseño simplificado de estructuras de madera*. Traducción de la 2da Edición: Raúl Arrijoa Juárez. México D.F. Editorial Limusa Wiley.
- Peraza, J. E. (1995). *Casas de madera: Sistemas constructivos a base de madera aplicados a viviendas unifamiliares*. Madrid, España. AITIM.
- Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. (2004). México, D.F.
- Relander, T. O., Bauwens, G., Roels, S., Thue, J. V., & Uvsløkk, S. (2011). The influence of structural floors on the airtightness of wood-frame houses. *Energy and Buildings*, 43(2), 639-652.
- Robles Fernández-Villegas, F., & Echenique-Manrique, R. (1991). *Estructuras de*

*madera*. México, D.F. Editorial Limusa.

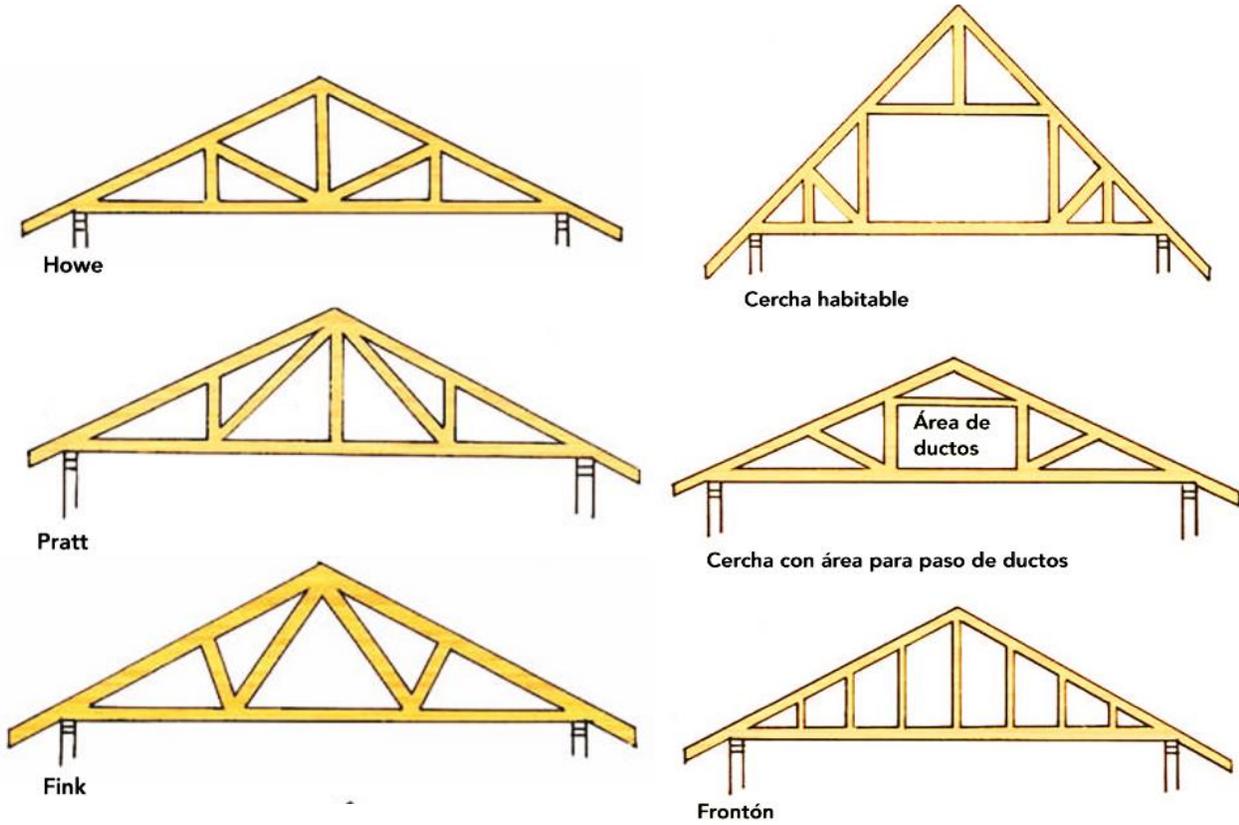
- Roux Gutiérrez, R. S., Espuna Mujica, J. A., & García Izaguirre, V. M. (2010). *Manual normativo para el desarrollo de vivienda sustentable de interés social en México*. México.
- Ruiz. A. (2014). Nuevas oportunidades en el sector de la vivienda. *KPMG*. México.11.
- Sánchez, J. (2012). *La vivienda "social" en México. Pasado, presente y futuro*. Ciudad del México, México.
- Serrano-Montero, J. R., & Sáenz-Muñoz, M. (2012). Tecnología e innovación de estructuras de madera para el sector de la construcción: Vigas de perfil I de amarillón (*Terminalia amazonia* (JF Gmel.) Exell) de plantación. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 3(7), 26-45.
- Vanhee. M. T. & Vedoya.D. E. (s.f.). Diseño de prototipos de vivienda de interés social haciendo uso de maderas regionales del NEA. Argentina.
- Wang, L., Toppinen, A., & Juslin, H. (2014). Use of wood in green building: a study of expert perspectives from the UK. *Journal of cleaner production*, 65, 350-361.
- Wershoffen, M. E. (2012). Especificaciones generales para la construcción de vivienda de interés social a base de componentes de madera. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9 (48).
- Zepeda, R. F. (2008). Construcción sostenible y madera: realidades, mitos y oportunidades. *Revista Tecnología en Marcha*, 21(4), 92-101.
- Zepeda, R. F. & Carranza, J. F. P. (2001). Construcción verde: un estudio de caso. Biblioteca Digital de la Asociación Latino-Iberoamericana de Gestión Tecnológica, 1(1).

## APÉNDICES

**Apéndice 1.** Consideraciones generales para la clasificación visual de madera de pino de uso estructural.

CONCEPTO	CLASE "A"	CLASE "B"
Pendiente máxima del hilo	1:10	1:8
Gema máxima permisible	$\frac{1}{4}$ del grueso o del ancho	$\frac{1}{3}$ del grueso o del ancho
Ataque de insectos	Máximo: 10 agujeros en un cuadro de 6 x 10 cm. no debe haber infestación activa.	
Bolsas de resina	Se consideran como si fuesen nudos. Cuando la resina ocupa todo el grueso se limita como las grietas o rajaduras.	
Grietas, rajaduras y acebolladuras	Longitud X es menor al ancho d de la pieza. Para la regla industrial la longitud debe ser menor a $\frac{1}{2}$ del ancho.	
Distorsión localizada del hilo	En la zona adyacente al canto $\frac{1}{8}$ del ancho (d) como máximo. En la zona central $\frac{1}{4}$ del ancho (d) como máximo	
Pudrición	No se admite de ninguna forma	
Combinación de defectos	Cuando más de la mitad de la pieza tenga mancha azul, tenga ataque de insectos y sea sensiblemente más ligera, se clasifica como "G"	
Agujeros de larvas	Se admite un tamaño máximo de 12 mm y no más de 2 en un cuadro de 6x 6 cm	
<b><i>Defectos por secado máximos permisibles</i></b>		
Acanaladura	Menos de 1 mm por cada 50 mm de ancho de la pieza	
Arqueadura (x) en una longitud de 2 m	Menor de 20 mm para madera de 38 mm de grueso. Menor de 10 mm para madera de 88 mm de grueso o más.	
Encorvadura (y) en una longitud de 2 m	Menor de 10 mm para madera de 88 mm de ancho. Menor de 5 mm para madera de 290 mm de ancho o más.	
Torcedura (z) en una longitud de 2 m	Menor de 1.5 mm por cada 12 mm de ancho de la pieza.	

**Apéndice 2.** Tipos de cerchas (CORMA, 2004).



**Apéndice 3.** Prototipo de clima cálido, elaborado en Sketch Up v. 2017.



**Apéndice 4.** Prototipo de clima templado, elaborado en Sketch Up v. 2017.



**Apéndice 5.** Prototipo de clima seco, elaborado en Sketch Up v. 2017.



**Apéndice 6.** Clasificación de las maderas según su uso y riesgo esperado en servicio. *Fuente: NMX-C-322-ONNCCE-2014*

<b>Niveles de riesgo</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Condición de uso</b>	<b>Ejemplos</b>
R1	Madera en interiores, ambiente seco y ventilado	Continuamente protegida del intemperismo o de cualquier fuente de humedad	Muebles de interiores, puertas interiores, escaleras, pasamanos
R2	Madera en interiores, mal ventilada, sujeta a posibles fuentes de humedad, o en exteriores pero bajo cubierta	Expuesta a variaciones de humedad, pero no expuesta a la lluvia, de uso no estructural	Pisos, pies derechos, muebles de cocina, sótanos, marcos de puertas y ventanas, lambrín
R3	Madera en exteriores, de uso estructural, expuesta a la humedad	Expuesta a variaciones climáticas y a la lluvia de manera cíclica	Postes, postes de transmisión, crucetas, pisos de terrazas, madera estructural, vigas, armaduras, columnas de portales, tarimas, plataformas de vehículos, techos.
R4	Madera en exteriores, en contacto con la tierra o con agua dulce	Madera expuesta a variaciones climáticas y al agua continuamente	Cimientos, pilotes para minas, torres de enfriamiento, techos.
R5	Madera en contacto con agua salada o salobre	Madera expuesta al agua salada	Muelles marítimos, pilotes marinos, represas, embarcaciones, plataformas marinas.