



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura.

Maestría en arquitectura. Tecnología.

**Alternativa de vivienda de madera para las regiones forestales de Durango.**

Sistema de módulos arquitectónicos prefabricados de madera.

Tesis que para optar por el grado de Maestro en Arquitectura presenta:

**Arq. Manuel Hernández Suárez.**

**Director de Tesis:**

M.D.I. Ángel Mauricio Grosó Sandoval. Posgrado en Diseño Industrial.

**Comité Tutor:**

Dra. Gemma Luz Verduzco Chirino. Facultad de Arquitectura.

Mtro. Ing. Víctor Rubén Ordoñez Candelaria. INECOL.

Dra. Perla Lozada Santa Ana. Facultad de Arquitectura.

Dra. Jeanine Da Costa Bischoff. Facultad de Arquitectura.

México, D.F., Febrero 2016.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Universidad Nacional Autónoma de México.  
Programa de Maestría y Doctorado en arquitectura.  
Campo de conocimiento de tecnología.



## **Alternativa de vivienda de madera para las regiones forestales de Durango.**

Sistema de módulos Arquitectónicos prefabricados de madera.

Presenta: **Arq. Manuel Hernández Suárez.**

Febrero /2016



## **Agradecimientos:**

Al Mtro. **Ángel Mauricio Groso Sandoval**, por ser el primero en creer y apoyar mi investigación.

A la Doctora **Gemma Luz Verduzco Chirino**, por su invaluable tiempo y paciencia.

Al Mtro. **Víctor Rubén Ordoñez Candelaria**, por su invaluable apoyo a pesar de las circunstancias de lejanía.

A los demás miembros del sínodo; y a los Maestros y Doctores que tuve como profesores y me apoyaron durante la maestría.

A **mis padres** por su apoyo incondicional.

A la **UNAM** por darme la oportunidad de formar parte de ella; y al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** por el apoyo otorgado durante la realización de esta investigación.



## Índice.

<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 1. Antecedentes.....</b>	<b>3</b>
1.1 Generalidades y problemática en la región. ....	3
1.2 El deficiente uso de los recursos forestales en la industria de la construcción. ....	7
1.3 El modelo básico de vivienda. ....	10
1.4 Deficiencias de los sistemas constructivos locales.....	16
<b>Capítulo 2. Materiales en la región.....</b>	<b>20</b>
2.1 Los recursos forestales en México y en Durango.....	20
2.2 La madera en otros países.....	24
2.3 ¿Por qué la madera Mexicana es cara?.....	27
2.4 Sustentabilidad en el proceso de construcción con madera. ....	29
<b>Capítulo 3. La madera como material de construcción. ....</b>	<b>39</b>
3.1 Evolución de los sistemas constructivos con madera. ....	40
3.2 Generalidades de la madera. ....	42
3.3 Propiedades de la madera.....	52
3.4 Normatividad del uso de la madera en la construcción.....	54
<b>Capítulo 4. Tendencias constructivas con madera. ....</b>	<b>58</b>
4.1 Clasificación de los sistemas de construcción con madera por su estructura. ....	58
4.2 Descripción de tendencias actuales de prefabricación con madera.....	64
<b>Capítulo 5. Propuesta de Sistema Constructivo.....</b>	<b>82</b>
5.1 Propuesta Técnica. ....	82
5.1.1. Descripción. ....	82
5.1.2. Solución Arquitectónica.....	85
5.1.3 Sistema estructural.....	97
5.1.4 Sistema de aislamiento Térmico.....	99
5.2 Revisión de propiedades de los módulos diseñados.....	106
5.2.1 Revisión de la estructura. ....	107
5.2.2 Selección del material aislante y revisión del desempeño integral en sistemas de muro y cubierta. ....	138
5.2.3 Factibilidad económica. ....	144

5.2.4 Grado de aceptación de la vivienda de madera.....	150
<b>6. Conclusiones.....</b>	<b>153</b>
<b>Glosario de terminos. ....</b>	<b>157</b>
<b>Referencias. ....</b>	<b>159</b>

## Índice de Ilustraciones.

Ilustración 1. Ubicación del Estado de Durango dentro del territorio Nacional. Fuente: <a href="http://cuentame.inegi.org.mx/mapas/dur.aspx">http://cuentame.inegi.org.mx/mapas/dur.aspx</a> .....	3
Ilustración 2. Sierra Madre Occidental a través del estado de Durango. Fuente: <a href="http://cuentame.inegi.org.mx/mapas/pdf/nacional/relieve/nalrel_byn.pdf">http://cuentame.inegi.org.mx/mapas/pdf/nacional/relieve/nalrel_byn.pdf</a> .....	4
Ilustración 3. Tipología básica de vivienda en las zonas serranas del Estado de Durango. ....	10
Ilustración 4. Interior de vivienda de principios del s. XIX con patio central en la ciudad de Durango, Durango. Fuente: Autoría propia, 2013. ....	12
Ilustración 5. Viviendas de Madera en el municipio forestal El Salto, Pueblo Nuevo, Durango. Fuente: <a href="http://www.mexicodesconocido.com.mx/pueblos-de-madera.-el-salto-durango.html">http://www.mexicodesconocido.com.mx/pueblos-de-madera.-el-salto-durango.html</a> , 2014. ....	14
Ilustración 6. Vivienda de interés social de planta rectangular y jardín frontal. Fuente: Autoría propia, 2014.....	15
Ilustración 7. Vivienda de interés social de planta rectangular y jardín frontal y posterior. Fuente: Autoría propia, 2014. ....	15
Ilustración 8. Vivienda de nivel medio con planta en U y patio central. Fuente: Autoría propia, 2014. ....	16
Ilustración 9. Vivienda de nivel medio con jardín central y frontal. Fuente: Autoría propia, 2011.....	16
Ilustración 10. Viviendas deficientes bajo sistema mixto de tabique-concreto y madera. Fuente: <a href="http://www.vpike.com">www.vpike.com</a> , 2014.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Ilustración 11. Vivienda de troncos con cubierta de lámina galvanizada en el Municipio de Guanacevi. Fuente: <a href="http://www.google.com.mx">www.google.com.mx</a> , 2014. ....	17
Ilustración 12. Carencia de tipología arquitectónica en las regiones forestales de Durango. Fuente: <a href="http://www.vpike.com">www.vpike.com</a> , 2014.....	18
Ilustración 13. Mapa de la Producción Forestal Maderable por Producto, Volumen y Valor 2012. Fuente: (SEMARNAT, 2012).....	23
Ilustración 14. Proceso de transformación de la Madera. Fuente: Autoría propia, 2015. ....	24
Ilustración 15. Proceso de transformación de la Madera en México. Fuente: Autoría propia, 2015....	25

**Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango**

Ilustración 16. Almacenamiento de madera brasileña en Fabrica Segusino. Chipilo, Puebla. Fuente: Autoría propia, 2014. ....	28
Ilustración 17. Templo Horyu, Nara Japón. Fuente: (Rowell, 2005) .....	39
Ilustración 18. Componentes de un tronco. Fuente: (Centro de Transferencia Tecnologica de la Madera, 2008).....	42
Ilustración 19. Anillos de crecimiento en una troza. Fuente: (Centro de Transferencia Tecnologica de la Madera, 2008).....	43
Ilustración 20. A) Forma Básica de una Conífera; B) Forma básica de una Latifoliada. Fuente: (Centro de Transferencia Tecnologica de la Madera, 2008). ....	44
Ilustración 21. Tipos de cortes en un tronco. Fuente: (Centro de Transferencia Tecnologica de la Madera, 2008).....	44
Ilustración 22. Representación de un pie-tablón. Fuente: Autoría propia, 2015. ....	47
Ilustración 23. Tableros de fibras Orientadas. Fuente: (Centro de Transferencia Tecnologica de la Madera, 2008).....	50
Ilustración 24. Contrachapados en diferentes espesores. Fuente: (Centro de Transferencia Tecnologica de la Madera, 2008). ....	50
Ilustración 25. Corte "finger-joint" y encolado de las tablas por sus caras. Fuente: (Centro de Transferencia Tecnologica de la Madera, 2008). ....	51
Ilustración 26. Sistema Lafte. Fuente: (Peraza, Arriaga, Arriaga, González, Peraza, & Rodríguez, 1995) .....	58
Ilustración 27. Forma básica de una Vivienda de troncos Horizontales. Fuente: (Peraza, Arriaga, Arriaga, González, Peraza, & Rodríguez, 1995).....	59
Ilustración 28. Sistema de Poste y Viga. Fuente: (INFOR. División industrias., 1991). ....	60
Ilustración 29. Sistema Balloon Frame. Fuente: (INFOR. División industrias., 1991).....	61
Ilustración 30. Sistema de plataforma. Fuente: (INFOR. División industrias., 1991). ....	63
Ilustración 31. Diferentes módulos Aero House. Fuente: (AeroHouse, 2012).....	64
Ilustración 32. Diferentes aplicaciones del Módulo The Qube. Fuente: (Space, 2013). ....	65
Ilustración 33. Proceso de despliegue: Sistema Habitaflex. Fuente: (Habitaflex, 2013). ....	65
Ilustración 34. Prefabricación y transporte al sitio: Sistema Domy Modulowe Kopahaus. Fuente: (kopahaus, 2013).....	66
Ilustración 35. Vista exterior del módulo. Fuente: ( Blue Sky Mod, 2013) .....	66
Ilustración 36. Vivienda Sunset Breezeshouse terminada. Fuente: (mkarchitecture, 2013). ....	67
Ilustración 37. Transportación de Glide House. Fuente: (Kaufmann, 2014).....	68

Ilustración 38. Glide House. Vista exterior e interior. Fuente: (Kaufmann, 2014).....	68
Ilustración 39. Agrupamiento Horizontal de módulos Mokka .....	69
Ilustración 40. Prefabricación y ensamblaje. Fuente: (kopahaus, 2013) .....	70
Ilustración 41. Casa prefabricada. Fuente: (Casas Alberta, 2013). .....	70
Ilustración 42. Proyectos anteriores. Fuente: (Studio 804, 2013). .....	71
Ilustración 43. Proyecto 2014. Fuente: (Studio 804, 2013). .....	71
Ilustración 44. Modelos y vistas interiores de casa Modular de verano Lun-Huset. ....	72
Ilustración 45. Edificio de varios niveles " Stadthaus, Murray Grove". Fuente: <a href="http://www.klhuk.com/portfolio/residential/stadthaus">http://www.klhuk.com/portfolio/residential/stadthaus</a> .....	73
Ilustración 46. Joyería "Alex Monroe", Londres:.....	74
Ilustración 47. Edificio de 5 niveles en proceso de construcción. Fuente: <a href="http://www.klhuk.com/portfolio/education/lauriston-primary-school">http://www.klhuk.com/portfolio/education/lauriston-primary-school</a> . ....	74
Ilustración 48. Aspectos considerados en la solución arquitectónica. ....	85
Ilustración 49. Envigado de cubierta en Modulo multifunción A. Fuente: Autoría propia, 2015.....	97
Ilustración 50. Paneles estándar módulo multifunción A. Fuente: Autoría propia, 2015. ....	98
Ilustración 51. Panel de carga con forro de duela. Fuente: Autoría propia, 2015.....	99
Ilustración 52. Vivienda de madera de 64.00 m <sup>2</sup> . Fuente: Autoría propia, 2015.....	145
Ilustración 53. Tapanco en módulo multifunción A. Fuente: Autoría propia, 2014 .....	145
Ilustración 54. Configuración Nº 5 P. Baja. Fuente: Autoría propia, 2014.....	145
Ilustración 55. Vivienda bajo sistema de concreto-tabique. Área = 46.35 m <sup>2</sup> . Fuente: Autoría propia, 2010.....	146

## Índice de Tablas.

Tabla 1. Clasificación de los Municipios del Estado de Durango, de acuerdo a la existencia de recursos Forestales Maderables. Fuente: (Perez Verdín, 2006).....	8
Tabla 2. Clasificación de la producción maderable. Fuente: Dirección de gestión forestal y de suelos, (SEMARNAT, 2012).....	20
Tabla 3. Estados con la mayor participación en la Producción Forestal Maderable 2012 (m <sup>3</sup> r). Fuente: Dirección General de Gestión Forestal y de suelos (SEMARNAT, 2012).....	21
Tabla 4. Producción Forestal Maderable por Producto (m <sup>3</sup> r). Fuente: Dirección General de Gestión Forestal y de suelos (SEMARNAT, 2012). ....	22

Tabla 5. Producción Forestal Maderable por género y/o grupo (m3r). Fuente: Dirección General de Gestión Forestal y de suelos (SEMARNAT, 2012).....	22
Tabla 6. Comparativa de las tendencias de prefabricación y construcción con madera en países forestales.....	75
Tabla 7. Coeficientes de conductividad térmica. Fuente: (Paya, 1992) .....	101
Tabla 8. Humedad Máxima del Aire (grado higrométrico: 100%). Fuente: (Paya, 1992) .....	103
Tabla 9. Aplicaciones del Corcho Aglomerado. Fuente: (Paya, 1992) .....	104
Tabla 10. Factores de separación para las crucetas de contraventeo. Fuente: (Parker, 1989) .....	110
Tabla 11. Resumen de la Revisión del flujo de Calor de diferentes tipos de muro. ....	143

## **Resumen.**

La ignorancia de sus propiedades, aunado al desconocimiento de sistemas formales de construcción y de los principios básicos de diseño, han provocado un rechazo cultural a la madera como material de construcción en México.

En varios estados de la república, y particularizando en el estado de Durango, se tiene la capacidad para un aprovechamiento de los recursos forestales en la industria de la construcción a una mayor escala de lo que se ha venido haciendo hasta hoy.

En los últimos años Durango ha encabezado las listas de producción forestal maderable. Irónicamente, el sector de la vivienda en las zonas serranas del estado es el más rezagado por la falta y poca accesibilidad a materiales de construcción y servicios.

La presente investigación se enfocó en el desarrollo y documentación del conocimiento técnico básico de un sistema constructivo de vivienda de madera, con el propósito de promover el aprovechamiento de este recurso material.

Con dicho sistema, a nivel de proyecto se han podido abatir costos con respecto a los sistemas constructivos tradicionales de concreto-tabique en la región. Además, se comprobó mediante cálculos numéricos el adecuado comportamiento estructural y térmico del modelo, inclusive con mayores niveles de desempeño que una vivienda de concreto -tabique bajo ciertas condiciones de servicio.

Para desarrollar la propuesta técnica se revisaron los principales sistemas de construcción con madera, así como las tendencias de diseño y prefabricación en países forestales. Conjuntamente se consideraron aspectos como: el modelo de vivienda actual en la región; usos y costumbres; y estadísticas sociales y económicas.

## **Introducción.**

Uno de los principios básicos de la arquitectura es aprovechar los materiales y recursos con que cuenta una región con la finalidad de no encarecer un proyecto con los costos que genera la importación de materiales de otras zonas.

México cuenta con regiones con potencial para la explotación maderera, sin embargo en nuestro país los recursos forestales han sido subvalorados por la población y el sector forestal ha sido desatendido en el diseño de políticas y estrategias de aprovechamiento, originando una pérdida de capital natural y de oportunidades productivas del uso de este recurso dentro de la industria de la construcción.

A través del estado de Durango cruza la sierra Madre Occidental, una de las cordilleras más extensas del país, hecho que propicia las condiciones climáticas y geográficas idóneas para el desarrollo y aprovechamiento de ciertas coníferas, y por lo cual Durango anualmente encabeza la lista nacional de producción forestal maderable (Anuario estadístico de la producción forestal, 2012).

Existen estudios e investigaciones que demuestran que la industria forestal ha contribuido al desarrollo de infraestructura en algunos municipios de este estado. Sin embargo, también se expone que en otros su población vive en condiciones de alta marginación. Además de que en ambos casos el sector de la vivienda presenta un grave rezago derivado de las condiciones geográficas y de accesibilidad de servicios.

La implementación de un sistema de construcción con madera es una opción viable para combatir en una primera instancia el rezago de vivienda mediante el aprovechamiento de los recursos naturales que se tienen a la mano.

Entre sus cualidades la madera presenta un buen grado de durabilidad, el cual se aumenta con las medidas de preservación y procedimientos de construcción adecuados. A pesar de esto, en ciertas regiones del país este material es rechazado por la población, mientras que otros países se benefician con el abatimiento de costos y con las ventajas que propicia el hecho de construir con este recurso renovable. Tal es el caso de los países Escandinavos, así como Japón, Canadá, Estados Unidos y Chile, por mencionar algunos, donde desde hace años se analizan y desarrollan tecnologías de prefabricación las cuales explotan al máximo las ventajas y propiedades de la madera.

En México el rechazo de este material se debe principalmente a la percepción de las edificaciones con madera como construcciones temporales y endebles. Esto con justa razón para muchos de los casos, ya que en la actualidad en el país y específicamente en la región de estudio, las construcciones a base de madera no duran mucho, debido a que no se toman en cuenta las medidas necesarias para la preservación del material, ya sea por medio del diseño o por la aplicación de tratamientos; además de

## Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

---

no utilizarse las secciones adecuadas para un óptimo desempeño estructural, derivando en la falla prematura de los principales elementos de carga.

Es evidente que la falta y el desconocimiento de sistemas constructivos formales con madera o de correctas adecuaciones de los mismos, así como la ignorancia colectiva de las propiedades y ventajas de este material, son los principales factores que limitan el uso de la madera en México y propician su rechazo en algunas regiones del país.

El propósito general de este trabajo es el de optimizar el aprovechamiento de la producción maderable en la zonas forestales de Durango para abatir costos en las edificaciones, principalmente en el sector de vivienda, uno de los rubros más rezagados en los municipios serranos.

El objetivo principal de la investigación se enfoca en el desarrollo y documentación del conocimiento técnico básico de un sistema constructivo que garantice el abatimiento de costos, la durabilidad y el correcto funcionamiento de una vivienda prefabricada con madera para la región de estudio.

Los objetivos particulares de este proyecto se centran en:

- Obtener una adecuada solución arquitectónica de vivienda, partiendo del análisis del modelo actual en la región, de las necesidades de la población y de la tecnología y tendencias constructivas con madera en otros países forestales.
- Definir los elementos necesarios para garantizar un adecuado comportamiento estructural del modelo de vivienda proyectado.
- Proponer un adecuado aislamiento térmico en función de los requerimientos climáticos y del usuario e incorporarlos en el modelo de vivienda.
- Documentar las recomendaciones mínimas de diseño, preservación y mantenimiento de la madera para garantizar una óptima durabilidad de la vivienda.
- Abatir costos y tiempos de construcción de la vivienda bajo el sistema proyectado.

Con esto se espera que la población pueda construir viviendas más asequibles económicamente bajo un sistema que aproveche los recursos naturales de la zona, generar edificaciones confortables, resistentes y de carácter permanente a la vez que se propicia una aceptación gradual de la madera como material de construcción.



## Capítulo 1. Antecedentes.

### 1.1 Generalidades y problemática en la región.

#### 1.1.1 Ubicación geográfica y clima.

Aunque el presente estudio se limita a los municipios forestales del estado de Durango y a las localidades cercanas y de fácil acceso a la sierra, éste puede ser aprovechado en otros estados con buena producción maderable de coníferas, tal es el caso de Chihuahua, Michoacán, Veracruz y Oaxaca.



**Ilustración 1. Ubicación del Estado de Durango dentro del territorio Nacional.** Fuente: <http://cuentame.inegi.org.mx/mapas/dur.aspx>

Ubicado al noroeste del país el estado de Durango cuenta con una extensión territorial de 123, 317 km<sup>2</sup>, posicionándose en el cuarto lugar a nivel nacional. Durango colinda al Oriente con los estados de Coahuila y Zacatecas, al Sur con el estado de Nayarit, al Poniente con el

estado de Sinaloa y al Norte con el estado de Chihuahua como se muestra en la Ilustración 1. Cabe mencionar que con este último estado es con quien Durango comparte la mayoría de sus características geográficas y climáticas, principalmente en las zonas serranas.



Ilustración 2. Sierra Madre Occidental a través del estado de Durango. Fuente: [http://cuentame.inegi.org.mx/mapas/pdf/nacional/relieve/nalrel\\_byn.pdf](http://cuentame.inegi.org.mx/mapas/pdf/nacional/relieve/nalrel_byn.pdf)

Gracias a la extensión territorial del estado de Durango la diversidad geomorfológica<sup>1</sup> y climática es muy variada. A través del estado cruza la Sierra Madre Occidental y se extiende sobre una considerable superficie de éste, como se muestra en la Ilustración 2, ahí las condiciones geográficas son idóneas para la existencia de bosques de pino y encino, los cuales ocupan el 31% del territorio estatal.

En Durango se pueden encontrar altitudes por encima de los 2,500 metros sobre el nivel del mar (msnm) en sus zonas y municipios serranos y 1,500 msnm en las regiones de los valles.

A lo largo de su territorio se pueden encontrar climas secos en los desiertos y cálido-templado con lluvia la mayor parte del año en los valles,

mientras que en los sistemas montañosos el clima es mucho más frío, con lluvias todo el año y con heladas y nevadas en invierno, esto debido a las bajas temperaturas y los vientos húmedos procedentes del pacífico. Los intervalos de temperatura media anual oscilan entre los 8° y 26° C, mientras que la precipitación va desde los 300 mm hasta los 1500 mm anuales.

La zona de la Sierra y el centro del estado incluyendo la capital cuentan con un clima frío la mayor parte del año, sin embargo en la estación de primavera se llegan a registrar temperaturas de hasta 35° C. Cabe mencionar que en el estado de Durango se localizan las dos zonas más frías del país. Enclavada en la Sierra Madre Occidental, en el municipio de Guanacevi se localiza el poblado de la Rosilla donde anualmente en invierno se registran temperaturas record que oscilan los -26° C. En

<sup>1</sup> **Geomorfológica:** hace referencia a las formas de la superficie terrestre.

el municipio de Durango se encuentra la comunidad de Santa Bárbara donde se registran temperaturas en invierno que oscilan los  $-20^{\circ}$  C.

La investigación se enfoca a los municipios serranos donde las principales actividades económicas derivan del sector forestal y a las poblaciones cercanas a estas, con la premisa de que en estas poblaciones existen mayores posibilidades de aceptación y éxito de un sistema constructivo con madera.

### 1.1.2 Población, Economía y Vivienda.

Durango ocupa el lugar 24 a nivel nacional por su número de habitantes. Según datos del Censo de Población y Vivienda realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en 2010, el estado de Durango contaba hasta ese año con un total de 1, 632,934 habitantes, de dicha cantidad, 803,890 eran hombres y 829,044 eran mujeres. La tasa de crecimiento anual para la entidad durante el período 2005-2010 fue del 1,6%.

Las localidades más pobladas en orden decreciente son: Victoria de Durango (capital), Gómez Palacio, Lerdo, Santiago Papasquiari, El Salto, Guadalupe Victoria, Canatlan, Nuevo Ideal y Villa Unión.

De la década de los 80's al año 2000 el aumento de la población fue a razón de 0.10 millones de habitantes por año, sin embargo del año 2000 al año 2010 la población creció a razón de 0.20 millones de habitantes por año.

El nivel de educación de la población del estado de Durango es igual al promedio registrado Nacionalmente (tercer año de secundaria). En Durango 4 de cada 100 personas mayores de 15 años no saben leer ni escribir, 61.6 tienen la primaria concluida, 18.2 finalizaron la educación media superior y 14.6 finalizaron la educación superior.

En el estado de Durango las actividades económicas primarias son: la agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza. Dichas actividades tienen una aportación al PIB estatal del 10.96%. Las actividades secundarias son: la minería, construcción y electricidad, agua y gas e industrias manufactureras con una aportación al PIB DE 34.80% y las actividades terciarias con una aportación al PIB del 54.24% son: el comercio, restaurantes y hoteles, transportes e información en medios masivos, servicios financieros e inmobiliarios y servicios educativos y médicos.

Según datos del INEGI (2014) en el estado de Durango el 81% de las viviendas son propias y se cuenta con un promedio de 4 habitantes por casa. Del 100% de las viviendas particulares de Durango el 92.4% cuenta con agua potable dentro del terreno, 88.5% tienen drenaje y el 96.1% tienen luz eléctrica.

Del total de las viviendas particulares en el estado un porcentaje de 66.7 se consideran construidas a base de materiales durables<sup>2</sup> en

<sup>2</sup> El INEGI considera como **materiales durables** en muros: el tabique, el Block, la piedra y el concreto; como techos durables: los construidos a base de

muros y un 68% cuentan con materiales durables en techos. Con base a las cifras reportadas en el último censo, el 32% de las viviendas en el estado de Durango estas construidas con materiales endebles incluyendo la madera dentro de estos. Cabe remarcar que en dichas estadísticas no se especifica que porcentaje de las viviendas con madera pueden estar construidas bajo un sistema formal, sino que se clasifican como no duraderas.

---

concreto o a base de ladrillo terrado con vigería, excluyendo en ambos casos los muros o cubiertas de madera.

## 1.2 El deficiente uso de los recursos forestales en la industria de la construcción.

El estado de Durango cuenta recursos forestales distribuidos sobre grandes extensiones de su territorio. La sierra madre occidental divide su territorio en dos regiones muy marcadas: La región de las montañas, donde se localizan los bosques templados, integrados por varias especies de pino principalmente, y pequeñas porciones de selva subhúmeda; y La región de los valles, que incluye la zona del semidesierto y los matorrales.

Con un poco más de 5 millones de hectáreas Durango cuenta con una de las reservas boscosas más grandes del país, lo que le permite posicionarse anualmente en el primer lugar en cuanto a producción forestal maderable se refiere.

En México existen más de 52 especies de pino, y solo en el estado de Durango coexisten 20, de las cuales las principales son: *pinus durangensis*, *pinus teocote*, *pinus leiopylla*, *pinus cooperi* y *pinus engelmanni*. Estas especies son las de mayor importancia por el área basal<sup>3</sup> que ocupan y la dominancia<sup>4</sup> en la región.

<sup>3</sup> **Área basal:** se refiere al área en metros cuadrados del corte transversal de un árbol a la altura del pecho, es decir, a 1,30 m.

<sup>4</sup> **Dominancia:** se refiere al índice más alto de coincidencia de una misma especie en un área determinada.

El rápido crecimiento y la considerable altura que alcanzan las especies de coníferas del norte de México, les da una ventaja sobre las especies de pino de los bosques del centro y sur. Las características mencionadas permiten obtener de las trozas<sup>5</sup> piezas aserradas de mayor longitud. Mientras que en el centro y sur de México lo común es encontrar madera aserrada hasta los 2.44 m (8.00 ft) de largo, en Durango se comercializa madera con longitudes de los 2.44 m hasta los 6.70 m (22 ft).

Aunque la madera aserrada<sup>6</sup> es la de mayor flujo en la región, también existen empresas dedicadas a la producción de maderas reconstituidas<sup>7</sup> y tableros contrachapados<sup>8</sup>. Además de ser el primer productor de madera aserrada, Durango es el primer productor de chapa y triplay. Conviene mencionar que según el Anuario Estadístico de Producción Forestal, en 2012 la producción de triplay a nivel nacional aumento en un 70% respecto al año anterior (SEMARNAT, 2012), gran parte de este aumento fue gracias a la producción correspondiente a Durango.

<sup>5</sup> **Troza:** se refiere un tronco o parte del mismo desramado y dimensionado a una medida estándar.

<sup>6</sup> **Madera aserrada:** se refiere a aquella que ha sido dimensionada y cepillada en un aserradero.

<sup>7</sup> **Madera reconstituida:** hace referencia a los tableros o escuadrías elaborados a partir de derivados de la madera como lo son las fibras, las partículas y las hojuelas, entre otras.

<sup>8</sup> Los **tableros contrachapados** son aquellos elaborados a partir de delgadas chapas obtenidas de los troncos las cuales en número impares son pegadas de manera que las fibras de cada chapa queden encontradas o perpendicular entre sí.

### Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

Pérez Verdín (2006), en su estudio identifica 13 de los 39 municipios de Durango como productores forestales (tabla 1), basándose en la superficie cubierta por bosques (con más del 40% del total de su área) y en él los cuales al menos el 10% de los empleos son derivados de éste sector. Comprueba también que los recursos maderables han contribuido al desarrollo de infraestructura en estos municipios. No obstante, factores como la dispersión de la población y la poca accesibilidad para el suministro de servicios como la luz eléctrica, agua potable y líneas de saneamiento han derivado en un rezago de vivienda. (págs. 10,11).

**Tabla 1. Clasificación de los Municipios del Estado de Durango, de acuerdo a la existencia de recursos Forestales Maderables.** Fuente: (Perez Verdín, 2006).

Municipios con Recursos Forestales Maderables.		Municipios sin recursos Forestales Maderables.			
1	Canelas	15	Canatlán	29	Poanas
2	Durango <sup>9</sup>	16	Coneto	30	Rodeo
3	Guanaceví	17	Cuencame	31	San Juan de Guadalupe
4	Mezquital	18	El Oro	32	San Juan del Río
5	Nuevo Ideal	19	Gómez Palacio	33	San Luis del Cordero
6	Ocampo	20	Guadalupe Victoria	34	San Pedro del Gallo
7	Otaéz	21	Hidalgo	35	Santa Clara
8	Pueblo Nuevo	22	Inde	36	Simón Bolívar
9	San Bernardo	23	Lerdo	37	Súchil
10	San Dimas	24	Mapimí	38	Tlahualilo
11	Santiago Papasquiaro	25	Nazas	39	Vicente Guerrero
12	Tamazula	26	Nombre de Dios		
13	Tepehuanes	27	Panuco de Coronado		
14	Topia	28	Peñón Blanco		

<sup>9</sup> Aunque en su estudio Pérez Verdín (2006) excluye al municipio de Durango de la lista de productores forestales debido a la heterogeneidad de sus actividades económicas y tamaño, para la presente investigación es conveniente mencionarlo en la lista de productores por su cercanía a las zonas serranas y ya que en éste se localiza una gran parte de las industrias dedicadas a la transformación de la madera.

**Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango**

Por otro lado las diferencias notorias de la concentración de ganancias obtenidas de la actividad forestal entre los municipios y la existencia de niveles elevados de marginación en algunas zonas serranas, han provocado que los municipios más vulnerables se limiten a la tala y el aserrío de su madera, sin darle otro valor agregado. Convertidos en fuertes dependientes de sus recursos estas comunidades corren el riesgo de caer en prácticas inadecuadas de extracción de la madera y de perder sus recursos totalmente.

A pesar del flujo de madera presente en la región, la mayor parte de la población prefiere construir bajo el sistema de concreto-tabique, desaprovechando el uso de elementos estructurales como postes, vigas y gualdras de madera maciza de hasta 6.70 m de longitud, elementos de madera laminada que pueden cubrir fácilmente claros de más de 10.00 m y los contrachapados estructurales comúnmente usados sin problema en países como Estados Unidos para forro exterior e interior de las edificaciones.

Cabe mencionar que la madera si fue usada en Durango en tiempos pasados, principalmente en la construcción de cubiertas bajo el sistema de enladrillado sobre vigería de madera, en la construcción de entresijos, en dinteles en puertas y ventanas y en la ebanistería. Sin embargo, con la introducción de materiales como del concreto, el tabique rojo recocido y el

acero, se desplazó el uso de la madera aún en zonas serranas donde el concreto no es lo más recomendable por la constante presencia de lluvias y nevadas.

El uso de madera en la construcción ha permitido el abatimiento de costos hasta en un 30% en países que no son forestales como España. Sin duda en países forestales como Chile y Canadá por mencionar algunos, el abatimiento de costos es mayor.

En la actualidad Chile cuenta con un área aprovechable de 8 millones de hectáreas de bosques de plantación aproximadamente. Para la década de los 90's del siglo pasado este país contaba con una área de bosques nativos de apenas 1.57 millones de hectáreas, la cual se ha visto aumentada por las adecuadas políticas forestales que el país ha seguido. Comparando los niveles de aprovechamiento de la madera en la industria de la construcción con México la diferencia es abrumadora, considerando que solamente los estados de Durango y Chihuahua cuentan con 10 millones de hectáreas conjuntamente.

El desaprovechamiento de la madera y su rechazo como material de construcción en México se ha convertido en una cuestión cultural derivada de la ignorancia colectiva de las propiedades y ventajas de este material. Inclusive actualmente el INEGI cataloga como materiales resistentes en vivienda al tabique, al block y al concreto, excluyendo la madera.

### 1.3 El modelo básico de vivienda.

#### 1.3.1 Vivienda vernácula en la región.

La arquitectura vernácula nace de un conocimiento empírico derivado de la observación y comprensión del medio ambiente. Este tipo de arquitectura aprovecha los materiales y recursos naturales de la región así como las características climáticas de la misma, su conocimiento se transmite de generación en generación, y se puede observar mayormente en las zonas rurales o en comunidades donde los sistemas constructivos industrializados y el acceso a nuevos materiales es menos frecuente.

La vivienda vernácula está concebida a partir de las costumbres, cultura y necesidades específicas de la familia que la habita.

Con la finalidad de exponer las características de la arquitectura vernácula de las regiones forestales de Durango, así como la de las localidades con fácil acceso a la sierra, se hace una clasificación tomando como factor principal el clima presente en cada una de ellas.

#### **Zona Serrana (clima templado frío).**

Anteriormente en las zonas serranas del Estado de Durango, donde el clima es templado-frío con nevadas en invierno, las viviendas se construían a base de troncos sin aserrar, dispuestos en sentido horizontal uno sobre otro para generar muros de carga, usando barro o tiras de madera delgada para tapar las hendiduras entre ellos.

Los troncos que conformaban los muros se ensamblan en sus esquinas, generando salientes en las aristas del volumen principal, el cual generalmente era un prisma rectangular. Los muros se desplantaban sobre cimentaciones de piedra que sobresalían del terreno natural con la intención de proteger la madera de la humedad.

Cuando los muros no se construían a base de troncos, se utilizaba piedra o adobe generando muros con espesores de 30 a 50 cm. El considerable espesor de estos materiales ayudaba a mantener un buen aislamiento térmico.



Ilustración 3. Tipología básica de vivienda en las zonas serranas del Estado de Durango.

La cubierta se desplantaba directamente sobre los muros, y estaba formada a base de una estructura de troncos, con los cuales se generaban cubiertas a dos y cuatro aguas. Estas cubiertas eran forradas por el interior con duelas o tablas de madera y por el exterior con tejamanil<sup>10</sup> colocadas de manera tinglada<sup>11</sup> para evitar las filtraciones.

<sup>10</sup> **Tejamanil:** Teja de madera de elaboración artesanal.

<sup>11</sup> El término **tinglado** hace referencia a la disposición de tejas o tablas de revestimiento,



Las cubiertas se elaboraban con pendientes muy pronunciadas, con la finalidad de propiciar un fácil escurrimiento del agua pluvial a la vez que se genera un tapanco<sup>12</sup>, el cual se podía utilizar para guardar granos o como dormitorio.

El piso de la vivienda se construía a base de piedra. Era muy común el uso de chimeneas, para cocinar, como medio de calefacción y como elemento estructural.

La distribución arquitectónica más común, consistía en agrupar los dormitorios en un volumen y el comedor y la cocina en otro. El volumen de dormitorios podía estar constituido por más de una pieza, sin embargo por la ausencia de espacios de vestibulación, se debía invadir la privacidad de un dormitorio para llegar al otro. En el mejor de los casos, cada dormitorio tenía acceso independiente desde el exterior.

Por cuestiones de higiene y privacidad la letrina<sup>13</sup> se colocaba separada de estos volúmenes, pero se procuraba un fácil acceso a la misma. En algunas regiones este local se construía anexado al volumen de dormitorios o de cocina-comedor, pero con acceso por el exterior. El aseo personal se llevaba a cabo dentro de los dormitorios.

---

cuando en vez de juntarse por sus cantos, se montan parcialmente una sobre la otra.

<sup>12</sup> El termino **tapanco** hace referencia al espacio generado entre la cubierta frecuentemente a dos aguas y un envigado de entepiso. El espacio es utilizado como almacén de granos, herramientas o como alcoba.

<sup>13</sup> El termino **Letrina** hace referencia al espacio o local destinado para defecar.

Para lograr un control y supervisión del cultivo, el tejaban<sup>14</sup> y los demás locales, se procuraba desplantar el volumen de los dormitorios donde se tuviera una visibilidad favorable sobre éstos.

### **Zona de los Valles (clima templado cálido).**

Tanto en la zona de los valles como en el semidesierto los materiales empleados y las características de diseño fueron muy parecidas, a pesar de que en el primer caso el clima es menos extremo.

Durante el tiempo de la Colonia la minería fue la principal actividad económica y la causa de la fundación de varias haciendas y poblados que posteriormente darían lugar a los municipios del Estado. Durante este periodo algunas familias acaudaladas tenían acceso a materiales como la cantera labrada, mármol y maderas preciosas, entre otros. Además de la posibilidad de contar con los servicios de arquitectos, quienes construían bajo las últimas tendencias de la arquitectura Europea.

Muchas viviendas en la región de los valles se hicieron imitando la composición arquitectónica de las grandes haciendas y casas de las familias adineradas, inclusive en las viviendas más modestas y en las viviendas rurales se guardó cierta similitud con ellas, no obstante, con la debida adaptación a materiales más económicos y propios de la región.

---

<sup>14</sup> El termino **Tejaban** hace referencia a una cubierta sencilla con estructura de madera sin muros perimetrales que confinen el espacio. Es usado en las zonas rurales como almacenamiento o protección para el ganado.

## Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

La vivienda se construía en torno a un patio central, el cual albergaba arboles plantas y fuentes, los cuales generaban un microclima que refrescaba y humedecía el aire antes de entrar a los locales de la vivienda.



Ilustración 4. Interior de vivienda de principios del s. XIX con patio central en la ciudad de Durango, Durango.  
Fuente: Autoría propia, 2013.

Estas viviendas contaban con vanos muy grandes, necesarias para generar circulaciones de viento y poder extraer el aire caliente del interior. Además de la necesidad de manejar alturas considerables que iban de los 3.00 a 5.00 metros para mantener las masas de aire caliente en la parte superior.

El material más común para los muros era la piedra y el adobe con espesores de 0.60 m hasta 1.00 m de ancho, necesario para lograr un adecuado aislamiento térmico. Los muros de adobe se desplantan sobre cimentaciones de piedra braza o piedra bola de río, aglutinadas con un mortero de cal-arena.

Aunque en la zona de los valles y en los lugares cercanos a la sierra se tenía acceso a la madera de pino y encino, su uso en la construcción de vivienda se limitó a la

construcción de cubiertas, puertas y ventanas y como dinteles en vanos.

Las cubiertas se elaboraban a base de una vigería de madera de pino, con un sistema de enladrillado terrado y un falso plafón de manta tensada. Las familias con menos posibilidades económicas usaban una estructura de troncos de pino descortezado, sobre la cual se desplantaba una cama de carrizo<sup>15</sup>, posteriormente se colocaba una cama de costales de fibra vegetal como el ixtle o el henequén y finalmente se tenía un terrado con material poco permeable.

Los muros de adobe se protegían de la erosión de la lluvia y el viento con aplanados de cal después de haber rajueleado<sup>16</sup> las juntas verticales entre los adobes. Los pisos interiores eran de tabletilla recocida, de piedra laminada o de cantera labrada.

En lo que respecta a la distribución espacial, opuesto al zaguán<sup>17</sup> cruzando el patio central se proyectaba la cocina, a un lado de esta el comedor, en la parte posterior se ubicaba el corral y la huerta. El baño se proyectaba en la habitación más cercana al corral.

<sup>15</sup> **Carrizo**: tallo seco de planta de maíz.

<sup>16</sup> El termino **Rajueleado** hace referencia a la acción de incrustar delgadas piedras en las juntas verticales de los adobes, con la intención de generar una superficie más favorable para la adherencia de un aplanado de cal.

<sup>17</sup> El termino **Zaguán** hace referencia al espacio cubierto que comunica el acceso desde la calle al patio central de la casa. Es el vestíbulo de acceso comúnmente usado en la arquitectura domestica Española y Árabe, traído a México durante la Colonia.

### 1.3.2 El modelo de vivienda actual en la región.

A partir de los años 20's del siglo pasado, con el inicio de la industria maderera en las regiones forestales de Durango y con la introducción de maquinaria y equipo los cuales permitieron el aserrío de las trozas, se sustituyó paulatinamente el uso de troncos enteros por vigas, tablas, tablones, postes y polines de secciones más esbeltas.

La función de las tablas y duelas en este nuevo tipo de vivienda es meramente de recubrimiento. Los tipos básicos de disposición de las piezas de recubrimiento en un volumen se hace en el sentido vertical u horizontal de las tablas. Para evitar la filtración del agua de lluvia, en el primer caso se empata una segunda tabla o una cubrejunta de menor sección sobre las juntas del primer plano de tablas unidas por sus cantos. En el segundo caso lo más común era la disposición de manera tinglada de las piezas, es decir se instalaban las tablas partiendo de abajo hacia arriba, generando una pequeña inclinación y montando aproximadamente 2 cm la tabla siguiente encima de la primera para propiciar un buen escurrimiento del agua pluvial.

La estructura de la cubierta paso también de ser construida a base de troncos robustos, a una estructura de viguetas o vigas comúnmente con una sección nominal de 5.00 cm x 20.00 o 25.00 cm según la necesidad de los claros a cubrir. Años más tarde se sustituyó el uso del

tejamanil por el uso de lámina galvanizada y lámina de cartón asfaltada.

Así como se dio una transformación en el tipo de estructura de la cubierta, se hizo necesaria una estructura portante que sustituyera el trabajo de carga que realizaban los muros de troncos macizos. Dicha estructura se construye a base de polines con sección nominal<sup>18</sup> de 10.00 x 10.00 cm o con postes con diámetros nominales de 10.00 a 12.00 cm. bajo un principio estructural de poste y viga.

El auge de las construcciones de madera aserrada se dio solo durante 20 años o menos. Con el crecimiento de los pueblos forestales de 1920 a 1940 se multiplicó la cantidad de este tipo de viviendas, derivado de la necesidad de casas principalmente para las familias de los trabajadores de las empresas forestales. No obstante, por el temor a los incendios que en varias ocasiones generaron perdidas graves a estos pueblos, en 1940 aproximadamente se reemplazó el uso de la madera por el tabique rojo recocado.

Al igual que las zonas serranas, en la región de los valles con la popularización y el acceso a materiales como el tabique recocado el cemento y acero, la población comenzó a percibir las viviendas de madera como construcciones temporales, se perdió el interés por las técnicas vernáculas y ahora las familias trataban de sustituir poco a poco sus casas de madera y adobe por casas de tabique y concreto.

<sup>18</sup> El termino **sección nominal** hace referencia a la sección sin labrar de una pieza de madera.



Ilustración 5. Viviendas de Madera en el municipio forestal El Salto, Pueblo Nuevo, Durango. Fuente: <http://www.mexicodesconocido.com.mx/pueblos-de-madera.-el-salto-durango.html>, 2014.

En la actualidad el partido arquitectónico<sup>19</sup> de la vivienda media baja y de interés social, se conforma de los locales de: dormitorios, baño, cocina y sala-comedor principalmente, además del uso de al menos un espacio de vestibulación los cuales permiten cierta privacidad entre las zonas que conforman la vivienda. La zona de recepción contempla el local de sala-comedor, se puede dar el caso de contar con estos locales por separado. La zona de servicios está integrada por la cocina, el baño y el patio de servicio, y finalmente la zona íntima está integrada por los dormitorios.

El acceso al interior de la vivienda se da por la zona de recepción, principalmente por la sala o estancia, el uso de vestíbulos de acceso depende de la disposición de los locales y del tamaño de la casa. El uso de un solo espacio

que integra la sala y el comedor se popularizó con la llegada de las casas de nivel medio e interés social construidas por empresas desarrolladoras de vivienda en serie, las cuales en la búsqueda de del ahorro de espacio y abatimiento de costos proponen esta solución espacial.

La cocina con dimensiones básicas, frecuentemente esta contigua al espacio de sala-comedor, y desde esta se tiene salida a un cuarto de lavado, o un patio de servicio. De la sala-comedor se llega a un vestíbulo de distribución el cual da acceso a las recamaras y el baño.

Con base a la planta arquitectónica la vivienda se puede clasificar en tres tipos:

- a) Vivienda con solución de planta rectangular.
- b) Vivienda con solución de planta en L.

<sup>19</sup> El término **partido arquitectónico** hace referencia a la solución de distribución integrada por los diferentes locales de la vivienda.

**Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango**

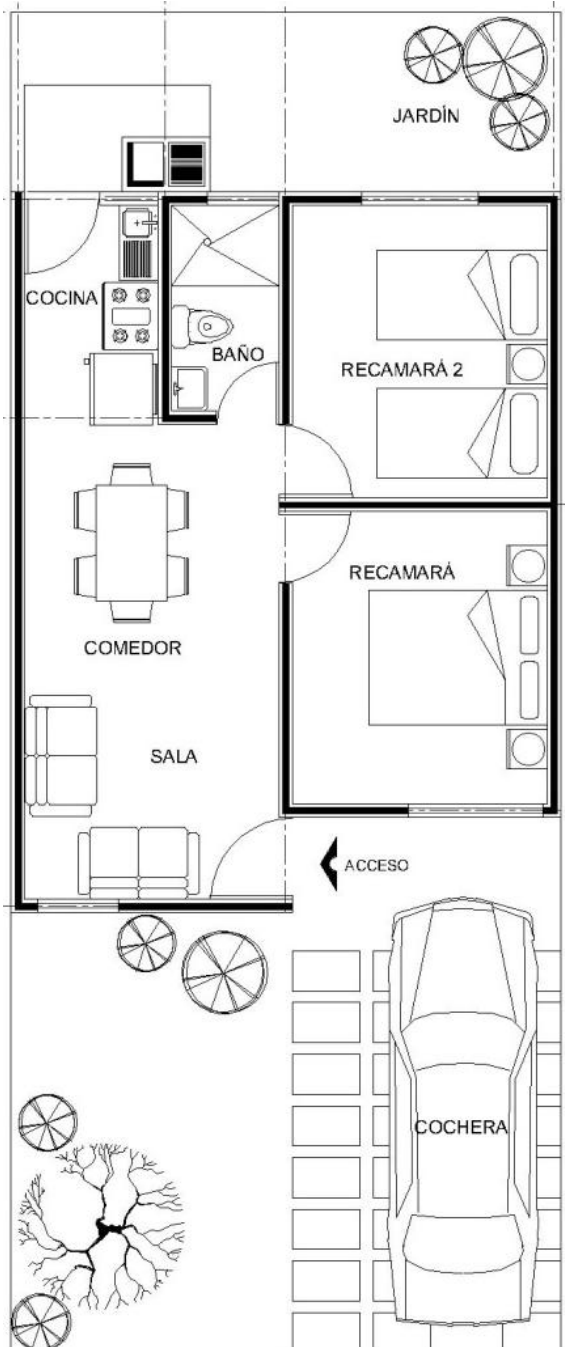
c) Vivienda con solución de planta en U.

b) Vivienda con patio o jardín central.

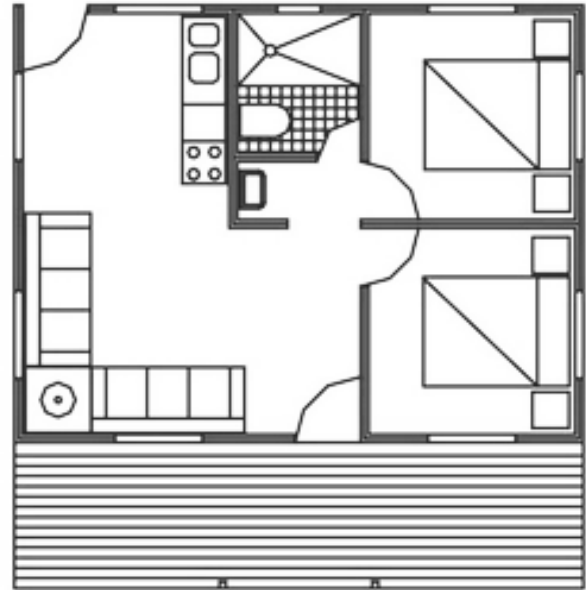
Con base a la ubicación de áreas ajardinadas se pueden clasificar las viviendas en dos tipos:

A continuación se muestran algunas soluciones arquitectónicas comunes de casa habitación de nivel medio e interés social.

a) Vivienda con jardín frontal y posterior.



**Ilustración 7. Vivienda de interés social de planta rectangular y jardín frontal y posterior.** Fuente: Autoría propia, 2014.



**Ilustración 6. Vivienda de interés social de planta rectangular y jardín frontal.** Fuente: Autoría propia, 2014.

Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

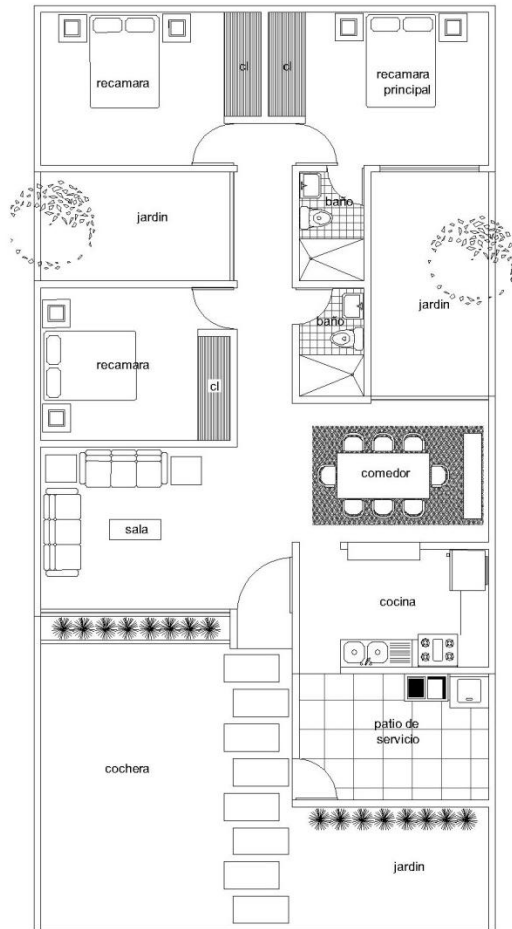


Ilustración 9. Vivienda de nivel medio con jardín central y frontal. Fuente: Autoría propia, 2011.

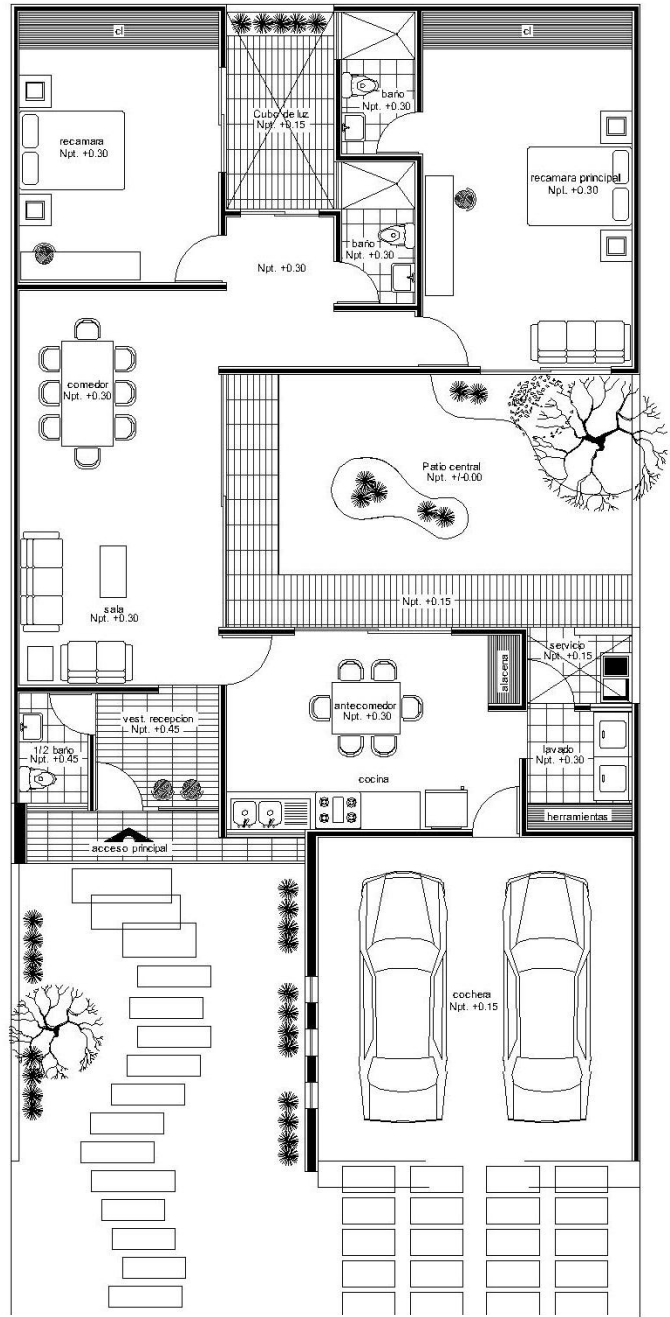


Ilustración 8. Vivienda de nivel medio con planta en U y patio central. Fuente: Autoría propia, 2014.

1.4 Deficiencias de los sistemas constructivos locales.

Antes de la introducción de la maquinaria que permitió el aserrado de las trozas, la alternativa al uso de troncos macizos, era el uso de muros de adobe o piedra. Con el flujo y fácil acceso a la madera



## Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

aserrada el uso de estos materiales se discontinuó. La madera aserrada aparentemente permitió la disminución de tiempos de construcción, el abatimiento de costos en ciertas etapas de la obra y las posibilidades de autoconstrucción.

Cuando esto sucedió desafortunadamente no se tomaron en cuenta aspectos de diseño, como la necesidad de un nuevo sistema de aislamiento térmico en muros y cubiertas, el uso de las secciones de madera adecuadas que permitieran un correcto funcionamiento estructural y las medidas mínimas de preservación de la madera, derivando en la construcción de casas endebles y poco confortables.

Con el acceso al tabique recocido y al block de concreto, la población más humilde pudo lograr un poco de estabilidad en sus viviendas, entonces el uso de un sistema mixto se extendió rápidamente entre la población más necesitada de las ciudades y pueblos forestales. Este sistema mixto consiste en la construcción de muros portantes de tabique y cubiertas a base de viguetas o postes de madera y lámina galvanizada o de cartón



Ilustración 10. Vivienda de troncos con cubierta de lámina galvanizada en el Municipio de Guanaceví. Fuente: [www.google.com.mx](http://www.google.com.mx), 2014.

asfaltado.

Sin duda, las deficiencias más notables de las edificaciones de madera actuales, así como de los sistemas mixtos se pueden observar en:

- La falta de aislamiento térmico en cubiertas de lámina galvanizada.
- La falta de aislamiento térmico en muros de madera.
- Una insuficiente elevación de las



Ilustración 11. Viviendas deficientes bajo sistema mixto de tabique-concreto y madera. Fuente: [www.vpike.com](http://www.vpike.com), 2014.

**Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango**

edificaciones sobre el nivel del terreno natural para impedir el contacto con la humedad del terreno.

- La falta de tratamiento de la madera contra agentes xilófagos y contra el intemperismo
- El uso de secciones inadecuadas de elementos estructurales que le confieran un

adecuado comportamiento estructural a la vivienda bajo la incidencia de nevadas o vientos.

- La falta de un mantenimiento preventivo periódico en las viviendas.



**Ilustración 12.** Carencia de tipología arquitectónica en las regiones forestales de Durango. Fuente: [www.vpike.com](http://www.vpike.com), 2014

Además de las deficiencias generales de las viviendas en las regiones forestales del estado de Durango, la coexistencia de casas de madera, casas de concreto tabique y casas de sistema mixto afectan estéticamente estas ciudades y propician una carencia de tipología e identidad arquitectónica como se muestra en la Ilustración 12.



## 1.5 Conclusión Capítulo 1.

Durango ocupa el lugar número 24 a nivel nacional por su número de habitantes. En el estado aún no se tienen problemas serios de sobrepoblación, sin embargo, como en otros lugares del país el aumento de población y la demanda de vivienda no tardan en convertirse en un serio problema, ya que a comparación con el periodo comprendido de la década de los 80's a los 90's del siglo pasado, del año 2000 al 2010, la población ha aumentado a razón del doble de esas décadas anteriores.

A pesar de que Durango cuenta con la primera reserva forestal del país, la actividad forestal no ha dejado de ser tan solo una actividad primaria desde la década de los 20's del siglo pasado con una aportación al PIB estatal mucho menor que las actividades secundarias y terciarias.

Una zona serrana con potencial para la explotación forestal no debería presentar problemas de marginación, falta de servicios e infraestructura. Las políticas adecuadas y un correcto aprovechamiento y gestión de sus recursos podrían contribuir al fortalecimiento de estas regiones, como en el caso de Chile, un país que estuvo a punto de perder sus recursos naturales y ahora es una potencia forestal.

No obstante, uno de los mayores problemas en esta investigación es lidiar con ese rechazo cultural hacia la madera como material de construcción en México, cuando inclusive organismos e instituciones gubernamentales le consideran poco durable y no resistente sin antes haber realizado una adecuada investigación de las propiedades del mismo.

Con la finalidad de contribuir a la disminución del rezago de vivienda en la zona y por otro lado a aumentar el uso y el valor agregado que se le da a la madera en las mismas regiones donde esta se produce, es necesario el documentar y divulgar las técnicas adecuadas para su utilización, tomando en cuenta lo que se venía haciendo años atrás antes de la introducción de materiales como el concreto, el acero y los plásticos, además de considerar las necesidades específicas de la población, así como los aspectos culturales y geográficos.

## Capítulo 2. Materiales en la región.

### 2.1 Los recursos forestales en México y en Durango.

El volumen de la producción forestal en México se subdivide en dos grandes categorías: maderable y no maderable; la producción maderable está constituida por materiales leñosos. La producción no maderable está compuesta por: semillas, resinas, fibras, gomas, ceras, rizomas, hojas, pencas, tallos, tierra de monte, etc.

La producción maderable se expone por género y/o grupo y por tipo de producto. La primera clasificación se desglosa con base a las características biológicas de cada especie, mientras en la clasificación por tipo de producto se hace el desglose con base al fin que estos tienen.

**Tabla 2. Clasificación de la producción maderable.** Fuente: Dirección de gestión forestal y de suelos, (SEMARNAT, 2012)

Clasificación por género y/o grupo	Clasificación por Producto
Pino	Escuadría
Oyamel	Celulosa
Otras coníferas	Chapa y Triplay
Encino	Postes, Pilotes, Morillos
Otras latifoliadas	Leña
Preciosas	Carbón
Comunes tropicales	Durmientes

Durante el período 2003-2012 la producción forestal maderable en el país ha ido disminuyendo prácticamente de forma constante, iniciando con 7.0 millones de metros cúbicos rollo ( $m^3r$ ) en 2003 y finalizando este periodo con 5.9 millones de  $m^3r$  en 2012.

Desde inicios de esta década la disminución ha sido continua, con excepción de los años 2006, 2007 y 2012, donde la producción alcanzó un

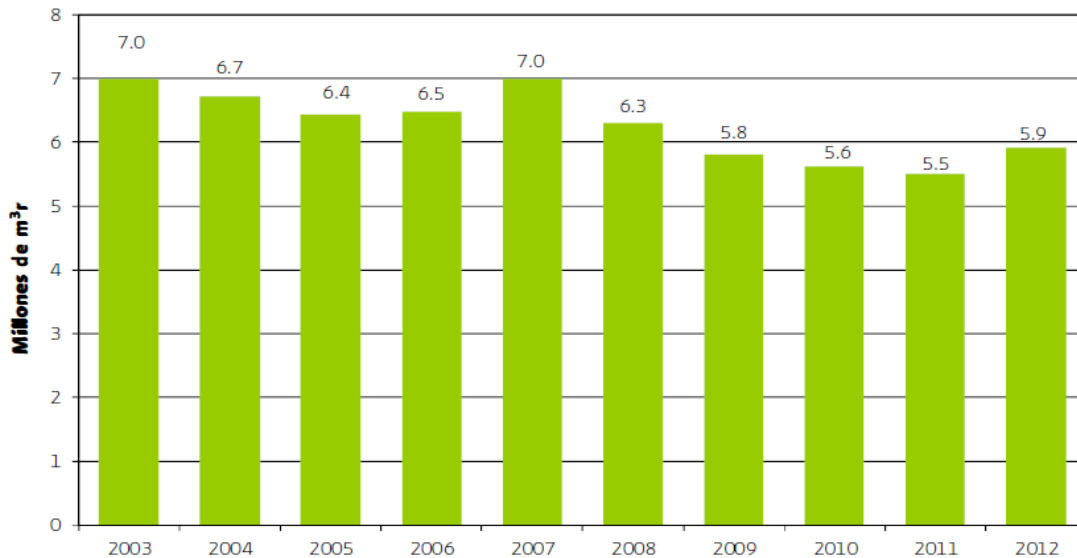
aumento, reportando 6.5, 7.0 y 5.9 millones de  $m^3r$  respectivamente. En 2012 la producción forestal maderable alcanzó los 5.9 millones de  $m^3r$ , lo que representa un incremento de 7.4 % en relación al año anterior (Gráfica. 1).

Los principales estados productores en 2012 fueron: Durango, Chihuahua, Michoacán, Oaxaca y Veracruz que contribuyeron

### Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

conjuntamente con el 71.37% de la producción total, equivalente a 4.2 millones de m<sup>3</sup>r. Los dos estados con mayor producción fueron Durango y Chihuahua, con una participación conjunta del 50.7% de la producción forestal maderable total.

**Gráfica. 1. Producción Forestal Maderable 2003-2012.** Fuente: Dirección General de Gestión Forestal y de suelos (SEMARNAT, 2012).



Los principales productos que se obtuvieron en 2012 fueron: la madera para aserrío (escuadría y durmientes) con el 70 % de la producción, los celulósicos con el 8.4% y el restante 17.6% se destinó a combustibles, postes<sup>20</sup>, pilotes<sup>21</sup>, chapa y triplay.

**Tabla 3. Estados con la mayor participación en la Producción Forestal Maderable 2012 (m3r).** Fuente: Dirección General de Gestión Forestal y de suelos (SEMARNAT, 2012).

Estado	Producción Maderable			Variación %	Destino de la Producción				
	2011	2012	Participación		Aserrio	Celulosa	Chapa y triplay	Postes	Combustibles
Durango	1,512,610	1,948,723	33.0%	29%	1,334,500	297,892	246,933	6,125	63,273
Chihuahua	1,006,824	1,047,219	17.7%	4%	830,151	103,553	79,990	19,855	13,670
Michoacán	478,535	479,450	8.1%	0%	435,994	40,729	0	211	2,516
Oaxaca	325,591	432,760	7.3%	33%	371,036	17,410	0	2,421	41,894
Veracruz	268,965	309,767	5.2%	15%	274,062	0	0	0	35,705
Otros	1,908,561	1,692,374	28.6%	-11%	1,129,484	35,792	4,304	31,645	491,148
Total	5,501,085	5,910,293	100%	7%	4,375,227	495,376	331,227	60,256	648,206

<sup>20</sup> Los **postes** son elementos estructurales de madera sometido esencialmente a cargas de compresión.

<sup>21</sup> Los **pilotes** son elementos estructurales sometidos a cargas verticales usados para la cimentación de edificaciones.

### Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

La producción de aserrío se encuentra en primer lugar como se puede apreciar en la Tabla 3. Para lo referente al segundo lugar se encuentran representados por la producción de combustibles.

En la producción maderable de 2012 destaca el aumento en los volúmenes de chapa y triplay y aserrío (Tabla 4). Por otro lado, la producción de madera que disminuyó fue postes, pilotes y morillos y combustibles en forma de carbón.

**Tabla 4. Producción Forestal Maderable por Producto (m<sup>3</sup>r).** Fuente: Dirección General de Gestión Forestal y de suelos (SEMARNAT, 2012).

Producto	2011	2012	Variación %
Aserrío	3,936,395	4,375,227	11.1
Celulosa	416,717	495,376	18.9
Chapa y triplay	186,909	331,227	77.2
Postes	330,594	60,256	-81.8
Combustibles			
Leña	203,994	248,404	21.8
Carbón	426,477	399,802	-6.3
Total	5,501,085	5,910,293	7.4

Como se muestra en la Tabla 5, los principales géneros aprovechados durante 2012 fueron: el pino con 4.7 millones de m<sup>3</sup>r (79.9%) y el encino con 0.5 millones de m<sup>3</sup>r (8.8%), los restantes 0.7 millones de m<sup>3</sup>r (11.3%) corresponden a otros géneros. De la producción forestal nacional maderable por género/grupo, las coníferas (pino, oyamel y otras coníferas) contribuyeron con el 82.9%, las latifoliadas (encino y otras latifoliadas) con un 12.8% y las tropicales (preciosas y comunes tropicales) con el 4.4%.

**Tabla 5. Producción Forestal Maderable por género y/o grupo (m<sup>3</sup>r).** Fuente: Dirección General de Gestión Forestal y de suelos (SEMARNAT, 2012).

Género y/o grupo	2011	2012	Participación
Pino	4,195,503	4,722,986	79.9
Oyamel	168,947	155,990	2.6
Otras coníferas	24,391	19,613	0.3
Encino	523,335	522,247	8.8
Otras latifoliadas	271,949	231,775	3.9
Preciosas	16,969	13,394	0.2
Comunes tropicales	299,992	244,288	4.1
Total	5,501,085	5,910,293	100.0

### Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

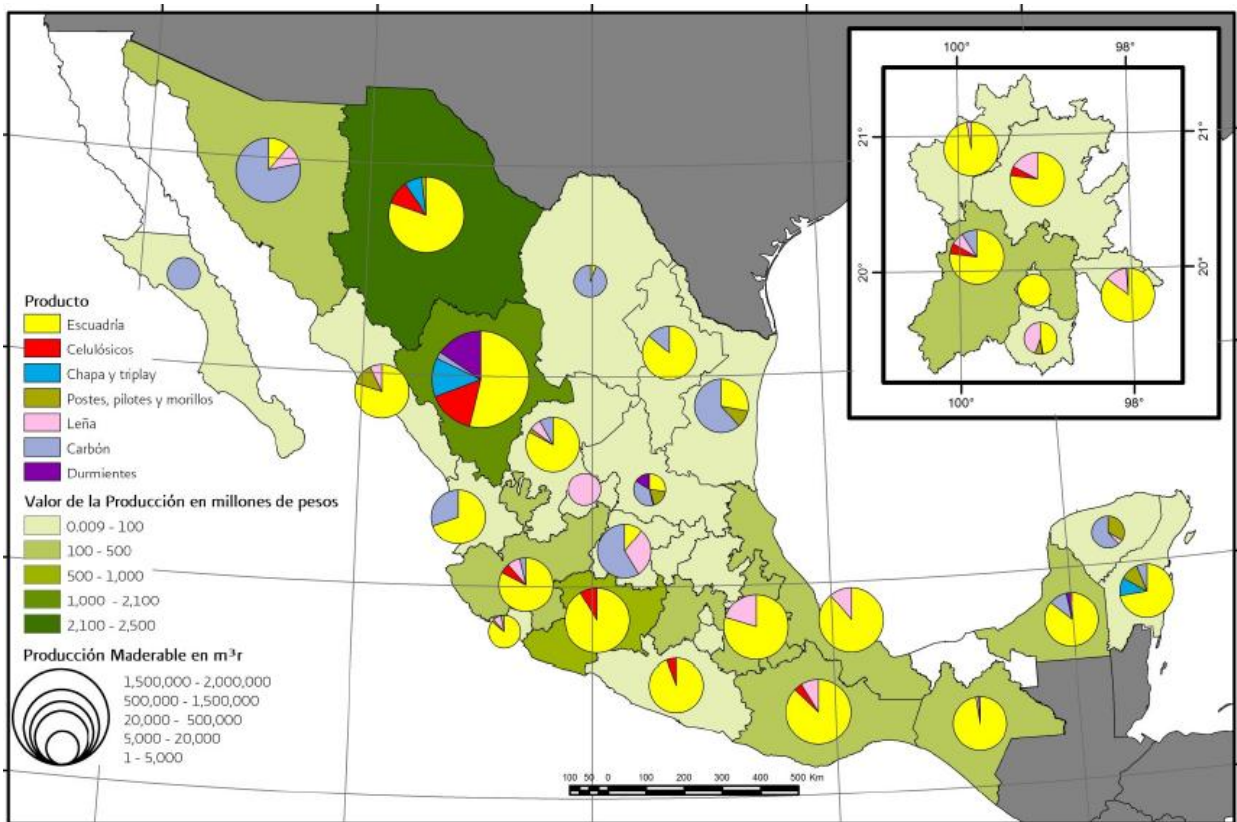
En la producción de madera de coníferas destacan los estados de Durango, Chihuahua y Michoacán, los cuales representan el 65.3%. Para las latifoliadas, los estados de mayor producción son: Sonora, Durango y Veracruz los cuales aportan el 60.6%. En cuanto al grupo de las tropicales los principales estados son:

Tamaulipas, Veracruz y Quintana Roo, con el 75.7% de la producción.

La mayor extracción de productos maderables se obtiene de las zonas con bosques templados y fríos como se muestra en la Ilustración 13. Es de estas zonas donde se reportan los valores de la producción más altos a nivel nacional.

#### Ilustración 13. Mapa de la Producción Forestal Maderable por Producto, Volumen y Valor 2012.

Fuente: (SEMARNAT, 2012).



La producción forestal maderable ha sufrido varias fluctuaciones durante los últimos 15 años. Para inicios del periodo la tendencia mostro un incremento, ya que a inicios de 1998 se reportaron 8.3 millones de m<sup>3</sup>r, alcanzando en el año 2000, 9.4 millones de m<sup>3</sup>r, el máximo volumen reportado en el periodo. Posteriormente en 2001 se presenta una disminución con 8.1 millones de m<sup>3</sup>r y a partir de esta fecha comienza un decremento en la producción, manteniéndose constantemente en el registro de la producción forestal maderable.

## 2.2 La madera en otros países.



Ilustración 14. Proceso de transformación de la Madera. Fuente: Autoría propia, 2015.

En los países desarrollados, el proceso de obtención de la madera como materia prima para el sector de la construcción o de la industria del mueble, engloba al menos seis o siete etapas: La Tala, el Aserrío, el Estufado, la elaboración de productos reconstituidos, impregnación y preservado, el Pre habilitado de componentes para construcción y el transporte (Ilustración 14). De estas siete etapas las tres primeras son básicas para la obtención de una madera adecuada para la construcción de edificaciones o cualquier otro objeto.

**Tala.** Se refiere a la acción de cortar y podar el árbol por medios mecánicos. En la actualidad, en países en desarrollo como México, la tala aún se realizaba por medios manuales con equipo menor. En países desarrollados durante la tala no solo se aprovecha el fuste del árbol, sino también las ramas de menor tamaño, esto con la ayuda de equipos mecanizados que reducen los tiempos y facilitan las tareas.

**Aserrío.** Es la etapa en la que la troza entra en un ambiente controlado, para ser descortezada y convertida en tablas, tablones y postes de diferentes medidas después de haber analizado la mejor forma de optimizar el tronco o de revisar el dimensionamiento requerido.

**Secado.** Se puede afirmar que es la etapa más importante del proceso. Una madera bien secada, presenta mejores características de ductilidad y maquinado, así como una mejora radical de sus propiedades mecánicas en comparación de una madera verde, se reduce su peso y se evitan riesgos de contracción y dilatación si se encuentra seca a su punto de equilibrio<sup>22</sup>, además de ser menos susceptible al ataque de organismos que se alimentan de la madera.

Aunque el secado de la madera se puede hacer de manera natural o artificial, el primer método se ha discontinuado en países desarrollados debido a la disminución de la calidad de la madera obtenida y a los prolongados periodos que se requieren para su secado, el uso de estos método se restringe a pequeñas instalaciones artesanales.

<sup>22</sup> El **Punto de equilibrio** es el nivel de secado de la madera en el cual ya no absorbe ni desprende humedad. El rango oscila entre el 8 y 14% y varía dependiendo de la zona.



## Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

Mediante el secado artificial con la ayuda de estufas industriales que hacen circular vapor a través de una cámara donde se coloca la madera, se pueden obtener volúmenes considerables de madera seca en tiempos mínimos, con calidades por encima de las que se pueden obtener con el primer proceso. Además de la posibilidad de controlar a conveniencia el contenido de humedad de la madera.

**Elaboración de productos compuestos.** Esta etapa incorporada a principios del s. XX, aunque no es de las básicas para llegar a la obtención de la madera como materia prima, dio un giro radical al uso de la madera y la dependencia a la madera maciza. En esta etapa se procede a la elaboración de productos con dimensiones y propiedades estandarizadas. Mediante el aprovechamiento de las astillas, fibras, partículas, virutas y chapas se elaboran tableros, y mediante el uso de madera maciza encolada, se elaboran vigas y columnas laminadas.

Si bien se pueden obtener la astilla, las fibras, o la chapa en la etapa de aserrío, estas materias deben pasar por la etapa de secado antes de llegar a la etapa de elaboración de productos reconstituídos, generando la posibilidad de hacer una bifurcación en la secuencia lineal del proceso, en la etapa de aserrío.

**Preservado.** En esta etapa la madera maciza ya dimensionada y estufada, así como los productos compuestos son sometidos a tratamiento para protegerles de la humedad y de los agentes xilófagos.

El tratamiento depende del uso final que se le dará a la madera. Ésta puede ser impregnada para diferentes grados de contacto con la humedad, pudiéndose usar inclusive sumergida en agua dulce o salada una vez tratada. La impregnación se puede hacer por inmersión en contenedores con los productos químicos necesarios, en una autoclave<sup>23</sup> al vacío o simplemente con la ayuda de una brocha. Para repeler agentes xilófagos actualmente se pueden encontrar una amplia gama de productos en el mercado.



Ilustración 15. Proceso de transformación de la Madera en México. Fuente: Autoría propia, 2015.

<sup>23</sup> **Autoclave:** Cámara cilíndrica de cierre hermético con paredes metálicas muy resistentes; usada para dar tratamiento a la madera y otros materiales sometiéndolos a presiones elevadas.

**Prehabilitado de componentes para construcción.** En esta etapa ya enfocada a la construcción se lleva a cabo dentro de una fábrica o taller la elaboración de elementos estructurales y envolventes como: cerchas<sup>24</sup>, paneles divisorios y paneles estructurales.

**Transporte.** Aunque esta actividad puede estar presente entre etapas anteriores, debe de ser mínima, ya que la concentración de los procesos en una misma zona, busca la eliminación de recorridos innecesarios, propiciando que el único transporte a considerar como otra etapa, sea para colocar la madera en el lugar de comercialización al público o en su defecto, en el emplazamiento final donde se

Una vez descrito de manera somera lo que compete a cada una de las etapas del proceso de transformación de la madera, se pueden identificar claramente las diferencias de los procesos que se siguen en México. Sin duda, en el país existen empresas con tecnología de punta las cuales emplean la maquinaria y los sistemas de automatización y monitoreo de los procesos como en los países desarrollados. No obstante, son pocos los casos, y la realidad es que el panorama general muestra una serie de deficiencias y desventajas en comparación con otros países.

En México las etapas de la obtención de la madera están casi limitadas a la tala y el aserrío, son pocas las comunidades e industrias forestales que realizan el secado de su madera con el uso de estufas (Ilustración 15). Por lo general solo las industrias dedicadas a la fabricación de productos compuestos de madera, las cuales demandan una mayor calidad del material quienes llevan a cabo este proceso. El secado al aire libre lo cual es una práctica descontinuada en otros países es el método más usado en las regiones forestales de Durango.

Un factor importante que pone en desventaja a las industrias forestales de la región de estudio, es la dispersión de las industrias y de la maquinaria necesaria para la transformación de la madera. El hecho de no contar con la maquinaria y equipo necesario en las plantas de transformación de una manera centralizada, derivan en la necesidad de tener que hacer recorridos considerables e innecesarios para el traslado de la madera entre cada etapa del proceso.

Por otro lado, la importancia que se le da a la investigación para el desarrollo constante de tecnologías de la madera en otras naciones, supera de manera radical lo que se hace en el país. A diferencia de México, en otros países la investigación actual de la madera se centra en líneas como:

**La automatización del aserrío.** Mediante el uso de las computadoras, el aserrío computarizado permite obtener el máximo aprovechamiento de una troza.

---

<sup>24</sup> El termino **cercha** hace referencia al entramado formado por piezas lineales de madera unidas entre ellas en un mismo plano y sometidas a esfuerzos de compresión y tracción.



**El secado.** Sin duda, el avance más significativo y objeto de muchas investigaciones, es el control del secado por computadora. No obstante, el desarrollo de estufas sostenibles y asequibles en los últimos 20 años, ha puesto en manos de un mayor número de industriales las bondades y ventajas de un secado controlado.

**La clasificación de la madera para su uso estructural.** Con la ayuda de sensores, cámaras y equipos de prueba a flexión se ha logrado garantizar las propiedades mecánicas de la madera usada estructuralmente.

**La elaboración de productos compuestos.** Principalmente dos tipos: los de madera convertida en virutas, astillas, chapas y fibras para después ser reconstituidas con la ayuda de adhesivos y presión; Y los productos a base de madera sólida reconstituida como las vigas y columnas laminadas.

**Los productos para acabados de la madera.** Investigaciones con mayor actividad en países como: Estados Unidos, Francia, Alemania y los países Escandinavos. Se centra en el desarrollo de productos que protejan a la madera de los agentes que la deterioran y provocan sus dilataciones y contracciones, principalmente los rayos v y la humedad.

**Los productos para repeler agentes xilófagos.** Estas actividades se enfocan en el desarrollo de productos para la protección de la madera contra los organismos que se alimentan de ella.

### 2.3 ¿Por qué la madera Mexicana es cara?

Cuando una persona ajena a la industria de la construcción o a la industria del mueble por cualquiera que sea la razón se ve en la necesidad de comprar madera, jamás imaginaría que estando en un país donde ésta se produce, o peor aún, en un estado forestal, toparse con la realidad de que la madera Chilena o Norteamericana es más económica y en ocasiones de mejor calidad que la madera Mexicana.

Es difícil creerlo, sin embargo, factores como la poca capacidad de transformación en las industrias o ejidos forestales, los inadecuados y obsoletos sistemas de secado, el transporte

innecesario entre las diferentes etapas, y el estatus ejidal de propiedad de las regiones forestales han propiciado que la madera mexicana sea poco competitiva en el mercado contra la de otros países.

En países desarrollados los sistemas de construcción con madera han adoptado nuevamente un papel protagónico en la arquitectura. Con la reducción de tiempos de ejecución, la disminución de volúmenes de cimentación, los montajes en seco, y la asequibilidad de la madera como material de construcción, arquitectos como Luis de Garrido<sup>25</sup> en España han logrado reducir

<sup>25</sup> **Luis de Garrido** es el máximo exponente de la arquitectura sustentable en España. Los aspectos más importantes para sus diseños son: satisfacer al

## Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

sustancialmente el costo final de una edificación de madera en comparación con una de concreto-tabique.



transporte de la madera verde, además de elevar su precio final propicia la baja calidad del producto. Cuando una madera se seca de



**Ilustración 16. Almacenamiento de madera brasileña en Fabrica Segusino. Chipilo, Puebla.** Fuente: Autoría propia, 2014.

Para que esto pueda pasar en México, se tiene que lograr una correcta adecuación de los sistemas constructivos con madera, pero aún más importante, primero se debe lograr reducir el precio de la madera en el mercado nacional. Y esto no pasará hasta que se replantee el proceso de su obtención.

Cuando una región forestal comercializa su madera, sin haberla estufado, el transporte innecesario de madera verde (más pesada que la madera seca) eleva su precio final en el mercado. Además que la emisión de dióxido carbono por la quema de combustibles fósiles no favorecen mucho la sustentabilidad del proceso.

La omisión del secado de la madera en estufas, o los prolongados periodos de tiempo de

manera natural aunque no esté expuesta directamente al sol, tiende a torcerse, rajarse o se vuelve más vulnerable al ataque de agentes bióticos como la mancha azul<sup>26</sup>.

En la industria de la construcción el aspecto de la madera atacada por dichos hongos no es muy relevante. Ya que no afecta sus propiedades mecánicas se puede pasar por alto la existencia de estos hongos. Pero en la industria del mueble se busca más calidad en la materia prima.

Empresas nacionales dedicadas a la producción de muebles, en la búsqueda de mejores calidades recurren al uso de maderas importadas (Ilustración 16). Ejemplo de ello es la empresa "Muebles Segusino" que usa madera brasileña o norteamericana,

cliente; lograr el máximo grado ecológico posible; crear diseños singulares; bajos costos de construcción y llevar a cabo el proyecto con el máximo nivel de industrialización y prefabricación.

<sup>26</sup> **Mancha Azul:** Se refiere al hongo *Ceratocystis pilifera*, el cual produce este tinte característico en la madera cuando ha sido atacada.

limitándose en el uso de la madera mexicana a un 10 o 15 % del total de sus insumos.

Uno de las principales causas que restringe a las comunidades forestales a la tala y el aserrío, es sin duda la falta de la maquinaria y tecnología, y aunque el gobierno federal ha llevado a cabo programas para dotar de estufas y maquinaria para el secado y aserrío a comunidades forestales, la falta de una adecuada capacitación a esas poblaciones para el uso de esa tecnología ha provocado un subutilización de dicha maquinaria. (Erdoiza, 2013).

Escárpita Herrera A. (2002) menciona, que cuando la población rural, que por razones étnicas, siempre había vivido en los bosques, fue favorecida con la disposición oficial de pasar a ser propietaria de dichos recursos dejando de ser solamente trabajadores de las industrias a las que originalmente abastecían, se produjo una revuelta nacional que trastocó toda la actividad forestal. La formación de ejidos forestales por doquier obligaba a que cada ejido debía contar con autoridades que se hicieran cargo de su administración, tarea para la cual no estaban preparados, iniciándose un

cambio brutal tanto en la administración como en el manejo y la comercialización de los bosques que les habían sido conferidos.

Menciona, que muchos ejidos se convirtieron en simples vendedores de materias primas a las industrias que ya estaban trabajando y algunos otros intentaron probar fortuna como industriales directos y participar en el mercado de productos aserrados, que era lo máximo a lo que podía aspirar, ya que carecían de recursos financieros para aspirar a industrias de mayor valor agregado. (págs. 6,7)

El problema que provocó el sistema ejidal es que dejó desprovistas a muchas comunidades y con pocas posibilidades de acceder a tecnología necesaria para la transformación de la madera, aun en la actualidad existen comunidades forestales que no pueden transformar sus recursos, así como empresas con la tecnología suficiente, pero las cuales carecen de bosques propios para abastecerse.

La ley permite la asociación entre las empresas forestales y los propietarios de los bosques, sin embargo hasta hoy son pocos los casos en los que se da esta participación conjunta.

## 2.4 Sustentabilidad en el proceso de construcción con madera.

El concepto de sustentabilidad se refiere a la capacidad que haya desarrollado el sistema humano para satisfacer las necesidades de las generaciones actuales, sin comprometer los recursos y oportunidades para el crecimiento y desarrollo de las generaciones futuras.

Se entiende la sustentabilidad como un proceso, no como un estado, el cual hace referencia a una forma de desarrollo en la que se busca el bienestar humano, sin dañar el equilibrio del ambiente y sus recursos naturales.

### 2.4.1 Responsabilidad ante el cambio climático al seleccionar materiales de construcción.

*“En la actualidad cada vez resulta más necesario tener en cuenta las consecuencias ecológicas de nuestras acciones. En el mundo de la arquitectura esto se traduce en la utilización responsable y sin derroches de los materiales naturales que se hallan a nuestra disposición”* (Cristoph Affentranger, 2000).

Durante miles de años la madera ha sido uno de los materiales de construcción más populares, junto con el barro y la piedra. No obstante, desde los años 70's del siglo XX los arquitectos habían olvidado el empleo de la madera a favor de la construcción con concreto, acero y materiales sintéticos.

Después de la segunda guerra mundial, varios países de Europa tuvieron la necesidad de reconstruir sus ciudades de una manera rápida, y esto solo lo podrían lograr con el uso de materiales de última tecnología. Para ese entonces la industria del concreto y el acero presentaba mayores ventajas y velocidad de trabajo que el sistema tradicional y hasta cierto punto artesanal de las antiguas construcciones a base de muros de mampostería de piedra con entresijos y cubiertas de madera. Esto provocó que se dejara de lado el interés por usar la madera como un material de construcción, pasando a un segundo plano y usándose desde entonces como material de ornamentación interior, a excepción de los países donde los sistemas de construcción con madera se tenían bien arraigados desde cientos de años atrás.

Todo esto aunado al rápido desarrollo de infraestructura en países como Estados Unidos,

terminaron por posicionar al concreto y al acero en la mira de todos los arquitectos y profesionales de la construcción.

Hoy en día el sector de la construcción es responsable de una gran parte de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Estas han sido estimadas entre un 30-40% y se refiere por un lado a las emisiones de funcionamiento (calefacción, iluminación, etc.), y por otro, a las emisiones relacionadas con la producción, mantenimiento y demolición. Se estima que en Europa occidental, la producción y el transporte de materiales de construcción genera entre el 7 y el 9% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero, donde los principales materiales son de acero, cemento y plásticos (Bjorn, 2009).

Preocupados por la responsabilidad que tiene la industria de la construcción en el tema del cambio climático, desde hace años algunos países volvieron la mirada a la madera y se preocuparon por apostar al desarrollo de la tecnología para la industrialización de este material.

## 2.4.2 Aspectos sustentables de la madera.

Se puede decir que la madera es el material más natural dentro del sector de la construcción. La madera es un material versátil, diverso y con propiedades estéticas naturales. Materiales como el tabique, el concreto, el acero y el aluminio usan mayores cantidades de energía para su transformación y obtención, lo cual contribuye considerablemente a las emisiones de Dióxido de Carbono.

Además del aspecto renovable, reciclable y biodegradable, la propiedad más amigable de la madera para el medio ambiente es la fijación del carbono. Los árboles absorben grandes cantidades de carbono a partir del dióxido de carbono atmosférico. El carbono presente en la madera seca es aproximadamente la mitad de su peso, un solo árbol puede contener una tonelada o más de carbono (Hoadley, 2000).

Las edificaciones de madera y otros materiales de origen vegetal, almacenan carbono durante el tiempo de su vida útil, por lo tanto se contribuye a la reducción de la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico durante un largo período.

El consumo de energía estimada en productos y edificaciones de madera durante todo su ciclo de vida (manufactura, uso, mantenimiento y recuperación) es menor que en cualquier otro material, inclusive la energía usada puede ser recuperada de la utilización de los residuos durante su transformación inicial y de su potencial de reciclado al final de su vida útil (Lehmann, 2013).

Según Bjorn Berge (2009), en su libro "*The ecology of building materials*", es posible construir edificios que sean inocuos para el clima a lo largo de toda su ciclo de vida. Esto requiere que se tenga en cuenta tanto los aspectos de los materiales, así como el uso de energía para el funcionamiento de la edificación. Para esto enlista y marca como imperativo el seguimiento de los siguientes principios:

**Primer principio:** elegir materiales y sistemas de construcción de bajo impacto. Todos los materiales elegidos deben tener una demanda de energía fósil mínima en la producción y el transporte. Los productos con las emisiones químicas de los gases de efecto invernadero deben ser omitidos. El uso de la madera en lugar de hormigón o ladrillos, por ejemplo, reduce las emisiones de la producción del material.

**Segundo principio:** reducir toda la energía operacional, en particular la basada en combustibles fósiles. Energía operacional incluye: calefacción, electricidad y agua caliente. Es importante recordar que la elección de la mejor estrategia a menudo dependerá mucho de factores climáticos locales.

**Tercer principio:** maximizar el almacenamiento del carbono. Se debe procurar lo más posible el uso de materiales de construcción de origen vegetal, principalmente madera, de manera que aseguren una larga vida útil, así como la reutilización. Incluso en Finlandia, donde la construcción en madera ya es dominante, se ha estimado que el uso de la madera en la construcción se podría aumentar en un 70% (pág. 35).

#### 2.4.4 Madera como medida para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

El Doctor Steffen Lehmann forma parte del Centro de Investigación sd+b (Sustainable Design and Behaviour) en la Universidad de Sud Australia. Una de sus recientes investigaciones tiene como objetivo el convencer a las autoridades Australianas y revisar la mejor forma de implementar en el país un novedoso sistema de prefabricación modular con madera creado en Europa en 1996 para abatir el rezago de vivienda y contribuir a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Steffen Lehmann (2013) presenta en su investigación al sistema constructivo de paneles de carga de madera laminada contrachapada CLT por sus siglas en inglés (*Cross Laminated Timber*) y al uso de principios de un diseño desmontable como buenas opciones para la reducción de los gases de efecto invernadero y la eliminación de residuos en la construcción.

Un metro cubico de madera puede almacenar hasta una tonelada de CO<sub>2</sub> convirtiéndose así en el único material que puede impactar positivamente en el medio ambiente. Con el sistema de construcción con CLT se pueden llegar a construir edificaciones de 4 a 10 niveles como las construidas recientemente en Europa. Bajo ésta premisa Steffen Lennan menciona que ya que la madera puede almacenar carbono en grandes cantidades durante un largo periodo de tiempo, el sistema de paneles de carga de madera maciza puede convertir éstas construcciones en sumideros de carbono y darle un giro al negativo impacto ambiental

que históricamente se ha generado en el sector de la construcción en Australia.

Los paneles CLT son fabricados en dimensiones de 16 m X 3.20 m y con espesores de 5 a 25 cm, inclusive se pueden llegar a fabricar de 50 cm de espesor. La tecnología CNC<sup>27</sup> puede incrementar la precisión en los cortes y optimizar el aprovechamiento de éstos paneles. Los ingenieros han calculado una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 50-55% comparado con los métodos tradicionales de construcción (Lehmann, 2013). Además de reducir más del 50% del tiempo de construcción, impactando significativamente en el costo final.

Los sistemas tradicionales de construcción de vivienda en Australia, no son sustentables por las cantidades de energía, materiales, agua utilizada, basura generada, tierra consumida y la emisión de gases de efecto invernadero que resulta por estos altos consumos y las

<sup>27</sup> **CNC:** Control numérico por computadora.

## Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

ineficiencias de los procesos. Reducir el consumo de materiales en el sector de la construcción es esencial y aún más importante que el reciclado de los mismos (Lehmann, 2013).

Más de tres cuartos de la población de Australia vive en sus 18 principales ciudades. El plan “30 year plan of Greater Adelaide” estima un incremento de 560,000 personas para el año 2040 en Australia, por lo cual se requerirá de un 70% más de viviendas para dar abasto a ésta población.

Con base a estas estadísticas el gobierno de Australia ha puesto más interés en el plan que se deberá de llevar a cabo para dotar a la población de viviendas sustentables, enfocándose principalmente en la asequibilidad económica, la accesibilidad de servicios y en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> durante su construcción y ocupación, ya que en Australia la vivienda y las edificaciones comerciales son responsables del 23% de las emisiones de gases de efecto invernadero.

La presencia de plantaciones forestales de pino *Radiata* cercanas a ciudades en Sud Australia y Victoria, han dado lugar a investigaciones que tiene el objetivo de revisar la viabilidad para sustentar el proyecto de la introducción del sistema de construcción con CLT. El uso de madera local permitiría controlar la cadena completa de suministro y desarrollo, así como minimizar los impactos ambientales alrededor de todo el ciclo de vida de las edificaciones.

El gobierno Australiano ha identificado al concreto, el acero y el aluminio, entre otros materiales como materiales de **alto carbono**<sup>28</sup>. Con respecto a esto, en los próximos años la Ley Federal Australiana de **Bajo carbono**<sup>29</sup> motivara a las industrias a desarrollar productos y alternativas de sistemas más eficientes y más amigables con el medio ambiente.

Analizando las barreras al momento de implementar el sistema de CLT en Australia, Lehmann identifico las principales causas que pudieran frenar el desarrollo del proyecto, las cuales son : la falta de información sobre el desempeño constructivo de los paneles en las normas y reglamentos de construcción del país y las restricciones actuales de la normatividad Australiana que afectan en general al diseño con madera: La altura de las edificaciones y la catalogación de estas como las de mayor riesgo de incendio.

Por otro lado y a favor de Lehmann, Ostman & Kallsner (2011), en su reciente revisión a la Normatividad de construcción con Madera en Europa para edificaciones de varios niveles

<sup>28</sup> El termino Material de **Alto Carbono** hace referencia a los materiales que demandan grandes cantidades de energía durante su extracción, transformación o creación, además de emitir considerables cantidades de gases de efecto invernadero durante los procesos de manufactura y una vez que el material a cumplido con su ciclo de vida.

<sup>29</sup> El termino Materiales de **Bajo Carbono** hace referencia a los materiales que demandan poca energía de manufactura, que no emiten gases de efecto invernadero durante el proceso y que además pueden ser reciclados o reutilizados una vez que la edificación ha cumplido con su periodo de vida útil.

## Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

identificaron y analizaron cinco requisitos de construcción : 1) seguridad ante el fuego, 2) acústica y vibración, 3) estabilidad, 4) diseño sísmico y 5) durabilidad. Ellos encontraron que las principales limitaciones en la regulación Europea que están afectando actualmente el aumento de las edificaciones de madera de varios niveles son el diseño ante fuego y el diseño acústico. No obstante, Ostman & Kallsner (2011) remarcan que los cuestionamientos evaluados por BRE (2012), ya estaban siendo resultados en Europa en 2011.

Lehmann confía en que las experiencias de los arquitectos investigadores en Europa que han construido edificaciones de varios niveles con el sistema CLT, podrá beneficiar a Australia con un intercambio de tecnología y conocimiento. En su estudio, Lehmann cita tres recientes casos de éxito en Europa:

1. Edificio de apartamentos Svartlamoen en Trondheim, Noruega. Construido por los arquitectos Brendelan y Kristoffersen en 2005. Esta edificación se conforma por dos torres de cinco niveles cada una, con área total construida de más de 1000 m<sup>2</sup>. El uso del sistema prefabricado de construcción con madera permitió erigir en tan solo nueve meses el proyecto, reduciendo a la mitad el tiempo necesario de construcción en Noruega.

La precisión en la elaboración de los elementos estructurales permitió que cuatro trabajadores erigieran en diez días la estructura principal.

2. Desarrollo Residencial Am Muehlweg en Vienna, Austria. Construido entre 2005 y 2006 por los arquitectos Hubert Riess y Hermann y Johannes Kaufmann. El proyecto consta de cien apartamentos del sector público construidos en tres espacios interconectados. Se trató de enfatizar los aspectos ecológico y económico del uso de la madera y de los sistemas mixtos de construcción.

El proyecto de 3 niveles se construyó bajo el sistema de CLT encima de una losa de cimentación de concreto en un periodo de 15 meses.

3. Edificio de apartamentos Holzhausen en Steinhausen, Suiza. Construido en 2006 por los arquitectos Scheitlin-Syfrig. El nuevo sistema de protección contra el fuego, permite construir edificaciones de más de seis niveles con una capacidad de resistencia al fuego de 60 minutos. Esta es la primera edificación de madera de seis niveles en Suiza. Cada nivel alberga dos apartamentos; uno de 150 m<sup>2</sup> y otro de 166 m<sup>2</sup>.

El objetivo de la investigación de Lehmann es introducir en Australia el sistema constructivo con paneles CLT como una manera de construir con un sistema ligero de prefabricación bajo en carbono, el cual tiene ventajas para urbanizar y construir edificaciones residenciales de 4 hasta 10 niveles. No obstante, para Lehmann introducir el novedoso y sustentable sistema en el mercado de la vivienda y construcción tiene sus



retos, principalmente en el aspecto cultural y normativo del país.

*Social and cultural acceptance plays a vital role during the implementation of any technology innovations. A detailed post-occupancy evaluation will be conducted for all cases, to develop an indicator matrix that allows recommending future standards for CLT buildings and their social acceptance (Lehmann, 2013).*

#### 2.4.5 Gestión forestal y sustentabilidad.

Recientemente están surgiendo cada vez más investigaciones enfocadas en el manejo sustentable de los bosques, el ciclo de vida de diversos productos de madera y en la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> mediante el uso de madera en la construcción.

Desde siempre los bosques han sido un factor estratégico y vital para el crecimiento de algunos países. Fueron muy importantes en los primeros momentos de la industrialización de Europa, en la minería y como proveedores de combustible para las principales ciudades de este continente, fenómeno que aún se puede observar en el mundo actual.

A pesar de la importancia de los árboles y de los bosques en sí, a medida que los pueblos comenzaron a crecer y se requiere más espacio para la creación de granjas, tierras de cultivo y vías de comunicación, erróneamente se vio a los bosques como un obstáculo que frenaba ese crecimiento.

Después de que las bestias de carga fueron sustituidas por fuerza mecánica en la agricultura, el bosque fue uno de los más beneficiados, ya que gracias a la industrialización de la agricultura, se pudo sacar un mayor provecho de las tierras dedicadas al cultivo, produciéndose en superficies más pequeñas cantidades de cosecha que en tiempos pasados hubiesen demandado grandes extensiones de terreno. Con esto, los bosques han podido recuperar paulatinamente algo de la superficie que se les había quitado.

En la actualidad varios países en los que la industria forestal es de las principales actividades económicas, en lugar de ver disminuidas sus áreas boscosas, estos han recuperado considerables superficies gracias a la implementación de planes de reforestación y de tala cíclica derivadas de la atención que se le dio al bosque después de analizar su gran potencial.

El primer aspecto que los países forestales han aprendido es que un bosque es algo más que un grupo de árboles plantados juntos. La proliferación de los monocultivos<sup>30</sup>, a menudo de especies no locales, es la causa de la mayoría de los problemas de gestión de los bosques, los cuales conllevan

<sup>30</sup> Se entiende como **monocultivo** a las plantaciones forestales de una misma especie.

**Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango**

---

grandes inversiones, tanto en tecnología como en personal. Actualmente los gestores de los bosques intentan plantar bosques mixtos y evitar la deforestación total de grandes áreas, ya que supone un excesivo esfuerzo para el terreno, así como para la vida animal y vegetal del bosque.

Una adecuada gestión de los bosques promueve además el aprovechamiento de la madera que estos producen cuando los arboles llegan a cierta edad. De acuerdo con Lippke, en lugar de dejar que los arboles crezcan por cientos de años en los bosques es preferible hacer podas y aclareos<sup>31</sup> periódicos. Se recomienda un rápido crecimiento de los árboles y un aprovechamiento de la madera antes de que éstos se vuelvan menos activos utilizándolos así en la sustitución de materiales como el concreto o el acero o como biomasa para reducir el uso de combustibles fósiles (Lippke & Washington, 2011).

El principal sistema mundial de certificación de bosques, cada vez más aceptado, es el FSC<sup>32</sup>, que con sus cuatro sistemas de certificación se basa en una valoración sobre el terreno de la administración de los espacios forestales.

El objetivo de la certificación es fomentar la gestión de bosques sustentables y aprender de experiencias previas. En Suecia, desde 1996 se ha ido progresando en el desarrollo de modelos de certificación en la industria maderera bajo los pronósticos de la FSC. Se lleva a cabo un desarrollo similar en Finlandia, Noruega, Camerún y Brasil (Kircher, 1999).

---

<sup>31</sup> El termino **aclareo** hace referencia a la técnica silvícola mediante la cual se lleva a cabo una poda selectiva para hacer espacio y permitir que los arboles mejor desarrollados y más sanos se logren y se extraiga una mejor madera.

<sup>32</sup> Forest Stewardship Council (FSC), por sus siglas en Ingles.

## Conclusión capítulo 2.

A pesar de que en los últimos años la producción forestal maderable ha ido disminuyendo en México, esto no significa que se deba a una disminución de la masa forestal en el país. Si bien es cierto que, una cosecha o tala desmedida puede afectar una región forestal, también el hecho de no cosechar la madera de un bosque cuando sus árboles han alcanzado cierta maduración y dejar de atenderlo se considera como una mala gestión de sus recursos.

Personas dedicadas a la industria de la madera como el C.P. Alfonso Fernández de Castro<sup>33</sup> mencionan que en México uno de los factores que más afectan al despegue de la industria forestal, es el poco apoyo por parte del gobierno a este sector, y no la deforestación.

*“La masa forestal en México no ha disminuido tan radicalmente como se menciona en los medios. En México, además de ya estarse siguiendo ciertos protocolos para una adecuada gestión de los recursos forestales, los bosques por si mismos se están regenerando continuamente de manera natural, inclusive después de un fuerte incendio”.*

Las estadísticas de producción forestal maderable del INEGI, demuestran que se puede tener una producción superior a la de años anteriores, tal es el caso de los años del 2007 y 2012.

No se tuvieron buenas producciones forestales hasta antes del año 2003 porque existiera un mayor capital natural en el país, sino porque de alguna manera se estaba atendiendo mejor al sector.

Cuando una industria o negocio es rentable, sus dueños buscan cuidar, mejorar y reinvertir en ese negocio, con esta analogía nos debemos dar cuenta que una explotación de los recursos forestales contribuiría a la reforestación y cuidado de las zonas serranas y no al contrario.

En México hoy en día los principales productores forestales en orden decreciente son: Durango, Chihuahua, Michoacán, Oaxaca y Veracruz. Particularizando, en el estado de Durango además de que la producción de aserrío se encuentra en el primer lugar a nivel nacional, hubo recientemente un aumento en la producción de chapa y triplay.

Al observar el potencial de oportunidades con el uso de la madera en las zonas serranas de Durango, surgen cuestionamientos como: ¿Por qué si se tiene este recurso a disposición, no se utiliza para subsanar de alguna manera esas carencias en infraestructura y vivienda?; ¿Por qué es tan bajo el grado de transformación e industrialización de la madera en el estado?; o ¿Por qué si cuenta con el

<sup>33</sup> El C.P. **Alfonso Fernández de Castro** es el Director General de la Empresa “Forestal Alfa S.A. de C.V.” una de las más representativas del sector forestal en el norte de México. Dicha empresa se dedica a la producción de madera aserrada y estufada, así como a la fabricación de tableros reconstituidos, tableros contrachapados, molduras de madera para la construcción y mobiliario.

**Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango**

---

recurso forestal dentro de México, la madera nacional es poco competitiva económicamente en comparación con la madera Chilena o la Norteamericana?

Considerando las condiciones geográficas y climáticas existentes además de la facilidad de acceso a este material, la madera y sus derivados se perfilan como los mejores materiales para construcción en la región de estudio, al menos para el rubro de la vivienda. No obstante, la falta de un conocimiento técnico y la ignorancia de las propiedades de la madera han derivado en una serie de negativas y cuestionamientos frecuentes como:

- Las edificaciones de madera no son duraderas.
- Las edificaciones de madera son más susceptibles a incendiarse.
- Las edificaciones de madera son más caras.
- Las edificaciones de madera no son confortables.
- Las características higrométricas de la madera la convierten en un material inadecuado para la construcción.
- Debido a la tala, las edificaciones de madera no son amigables con el medio ambiente.

Para poder lograr que la madera sea reconsiderada como un potencial material de construcción y una fuente generadora y diversificadora de industrias en Durango, lo primero que se debe de hacer es romper con los paradigmas y aclarar las negativas de la sociedad en torno al uso de este material, volteando a ver como se usa en otros países y lo que han podido lograr; tratar de mejorar los procesos de su obtención y de transformación; y buscar la mejor manera de utilizarla en construcción localmente con la finalidad de crear obras eficientes y en las cuales se pueda realmente abatir costos.

### Capítulo 3. La madera como material de construcción.

A pesar de que hoy en día otros materiales han adquirido mayor importancia, una de las materias más usada para producir productos sólidos, fibras y la elaboración de productos químicos sigue siendo la madera, con enormes posibilidades de transformación.

Will Price (2006), asegura que la construcción en madera sirvió como prototipo para muchas de las principales tradiciones arquitectónicas con mampostería de todo el mundo.

Los ejemplos más antiguos de la arquitectura hindú que han sobrevivido hasta nuestra época, fueron tallados en paredes de roca en la India. Las formas de estos templos derivaban directamente de la construcción con madera y bambú (...) Las tallas de los dinteles y las jambas de las puertas indicaban la existencia de un trabajo original de carpintería en madera que se completaba con los dinteles que sobresalían. (Price, 2006)

Vitruvio describió el nacimiento de la arquitectura clásica en Grecia, como la réplica en piedra, de las técnicas de poste y viga características de los edificios de madera.

En la actualidad nos resulta difícil de creer lo difundida que fue en un tiempo la arquitectura en madera. A principios del S. XIX ciudades como Estrasburgo, Ruan y Nueva York contaban con tantos edificios de madera como de mampostería; y Moscú, Tokio, Bangkok y Pekín tenían muchos más. En esta época, la madera seguía siendo el material más popular para la edificación en la mayor parte de Europa, Norteamérica y el sudeste asiático.

Los bosques siempre han sido una parte importante del paisaje de muchos países jugando un significativo rol social y económico.



**Ilustración 17. Templo Horyu, Nara Japón.** Fuente: (Rowell, 2005)

Cuando se usan las técnicas adecuadas de construcción y de preservado de la madera, las edificaciones pueden llegar a durar cientos de años, ejemplo de ello, es el templo japonés de Horyu en Nara (Ilustración 17). Construido en el s. VII, y con más de 1300 años de antigüedad, es conocido como una de las estructuras de madera más viejas del mundo (Rowell, 2005).

Hoy en día la madera se utiliza para la elaboración de herramientas, papel,

construcción de casas y edificios, puentes, barandillas, durmientes de ferrocarril, postes de

luz o telefonía, muebles, contenedores y miles de otros productos.

### 3.1 Evolución de los sistemas constructivos con madera.

En Europa y en el norte de Asia existe una tradición centenaria de construcción con troncos. Las limitaciones técnicas de este sistema son muy evidentes, ya que las dimensiones exteriores de las edificaciones se ven limitadas por la longitud de los troncos, además de demandar grandes cantidades de éstos, resultando practico solo en las zonas de bosque templado y polares del globo, como en el caso de los países escandinavos, Siberia, los Balcanes y los Alpes.

En zonas con poca disponibilidad de madera, la técnica de usar la madera, era en el “armazón o estructura”: este sistema se caracterizaba por la utilización de postes y vigas de tamaño similar, generalmente troncos descortezados. Esta técnica dio lugar posteriormente al sistema de “poste y viga”. El cual se diferencia del sistema de armazón por la utilización de postes y vigas de tamaños variables, dependiendo de la necesidad de los claros a cubrir.

El desarrollo de los aserraderos y la evolución de las técnicas de aserrado, dio lugar a los sistemas de “entramado ligero”, probablemente el sistema de construcción con madera más usado en el mundo. Este sistema fue popularizado por los Estados Unidos en el siglo XIX, aunque su origen es probablemente Escandinavo.

El sistema de entramado ligero se diferencia del sistema de poste y viga, en que en este último, se desplantan los postes, y después se monta la vigas para ir formando los marcos estructurales, para más tarde forrar con tablonos o con mampostería de piedra o tabique los espacios intermedios, mientras que

en el de entramado ligero, los entramados de muros cerchas se pueden armar en el suelo como unidades completas e independientes, para posteriormente izarse y hacer las uniones necesarias a la estructura principal. Este sistema muestra el uso de elementos como pies derechos<sup>34</sup>, arriostramientos<sup>35</sup> y contrafuegos de medidas uniformes, los bastidores o entramados son forrados con contrachapados<sup>36</sup>, aglomerados<sup>37</sup> o paneles de yeso y cemento.

Probablemente uno de los mayores logros que se han producido en la construcción con madera durante el s. xx fue sido la invención de

<sup>34</sup> **Pie derecho:** término usado en la construcción con madera, Se refiere al elemento estructural vertical dentro de un entramado de madera o una estructura, usado para resistir cargas verticales.

<sup>35</sup> **Arriostramiento:** elemento estructural diagonal, usado en los entramados de madera para soportar empujes o cargas horizontales.

<sup>36</sup> **Contrachapado:** Tablero elaborado con finas chapas de madera pegadas con las fibras encontradas perpendicularmente una sobre otra, con la ayuda de resinas, presión y calor.

<sup>37</sup> **Aglomerado:** Tablero elaborado a base de virutas de madera, aserrín y resinas.

las vigas laminadas<sup>38</sup>, las cuales representan un enorme avance en la construcción ya que se pueden cubrir grandes claros sin limitarse a la longitud de los troncos con que se dispone para la elaboración de elementos estructurales. (Villasuso, 1993)

Recientemente, se han desarrollado diferentes tendencias junto a las técnicas de construcción convencionales. En todos los casos impera el deseo de regularizar madera como material y limar sus características variables (tales como la dilatación y la contracción, así como su estructura desigual). Esta tendencia a la que se podría llamar homogenización, no es algo nuevo.

En el antiguo Egipto ya hubo intentos de modificar las características de la madera cortándola en láminas muy finas que se encolaban<sup>39</sup> juntándolas transversalmente o sobre un material de soporte rígido (Kircher, 1999). Durante siglos, este sistema se ha utilizado en la ebanistería.<sup>40</sup> En la actualidad, el abanico de posibilidades de tableros contrachapados se ha ampliado considerablemente, lo que ha dado lugar a nuevos tipos de aglomerados de virutas y partículas.

<sup>38</sup> **Viga Laminada:** Se refiere al elemento estructural horizontal formadas por piezas de maderas juntas y encoladas por sus caras dispuestas de diversas maneras.

<sup>39</sup> El termino **Encolar** hace referencia a la acción de pegar algún objeto con cola.

<sup>40</sup> La **ebanistería** se refiere a la técnica de carpintería de trabajar con maderas finas para la fabricación principalmente de muebles de alta calidad. En la ebanistería se utilizan maderas como el ébano, la caoba, el roble y el nogal.

Los sistemas de construcción con madera que emplean tableros contrachapados, poseen la ventaja de que no solo la estructura es portante, sino también los tableros que proporcionan principalmente rigidez lateral a las edificaciones.

En la actualidad existe en Europa, Norteamérica y algunos países sudamericanos como Chile y Argentina un gran interés por el uso de la madera en la construcción de edificios de varios niveles: se han construido edificio experimentales en Finlandia, Suecia, sur de Alemania y Suiza. Movidos por el interés de promover la construcción con madera, en países principalmente de Europa, se han suprimido parcialmente o se han reinterpretado algunas restricciones importantes con respecto a la construcción con madera, principalmente referidas a la protección contra incendios. (Kircher, 1999).

Con estos cambios la industria de la construcción con madera prevé un gran crecimiento en los próximos años, sobre todo el centro y el norte de Europa.

En el aspecto técnico, los retos actuales se dirigen a la reducción del consumo energético, tanto en la construcción como en el funcionamiento del edificio, particularmente en las regiones templadas y frías del planeta. Edificios autosuficientes y de nulo consumo de energía son tan solo algunas de las principales innovaciones que se abren camino hacia los primeros puestos del diseño. Sus ventajas ecológicas y su relevante capacidad de acondicionamiento del aire, junto con sus

excelentes propiedades aislantes, hacen que los edificios de madera cobren un importante papel en estas tendencias.

## 3.2 Generalidades de la madera.

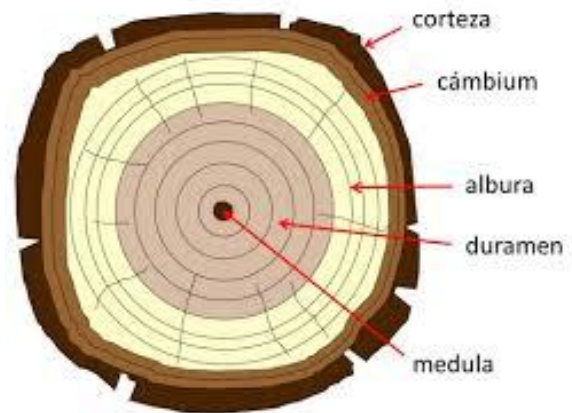
### 3.2.1 ¿De dónde proviene la madera?

La madera viene de los árboles, esto es lo más importante que debemos recordar para entender la naturaleza de la madera. Las cualidades y defectos de la madera, dependen del tamaño y tipo de árbol del cual se obtuvo (...) Poseer el conocimiento del como la madera crece en la naturaleza es indispensable para poder trabajar con éxito con este material (Hoadley, 2000, pág. 7).

En un árbol, el tronco es la principal fuente de madera, sin embargo se pueden usar otras partes como la raíz para la producción de madera, chapa y otros productos los cuales se considera poseen una inusual belleza. Dentro de la industria forestal, se le denomina fuste a la parte visible después de la raíz, que parte del suelo y llega hasta la copa. El tronco tiene extremidades a las que se les denomina ramas, las cuales a su vez se dividen en ramas más pequeñas que sostienen las hojas o follaje, todas estas ramificaciones en conjunto conforman la copa.

La madera se forma por la agrupación de células vegetales, las cuales forman fibras unidas dispuestas de manera radial generalmente en el sentido vertical del tronco. Haciendo un corte transversal a un tronco, podemos identificar cinco componentes básicos (Ilustración 18). Partiendo del exterior al interior encontramos primero la corteza, la cual es un material impermeable, estriado o agrietado en el sentido longitudinal del tronco; después encontramos el cambium, una pequeña capa

de espesor microscópico de células vivas con protoplasma en sus cavidades celulares, es la única parte viva del árbol la cual genera el crecimiento del tronco; Después y ya considerada como madera encontramos la albura, caracterizada al igual que el duramen por la presencia de los anillos de crecimiento



**Ilustración 18. Componentes de un tronco.** Fuente: (Centro de Transferencia Tecnológica de la Madera, 2008)

dispuestos concéntricamente en torno a la medula central. El duramen se localiza en el centro del tronco y es una madera más dura que la albura.



### 3.2.2 Conceptos básicos al hablar de madera.

#### Albura y Duramen

A pesar de provenir del mismo árbol, la albura es una madera más suave que el duramen debido a la función que esta desempeña para el árbol y a las características de sus células. La función de la albura es la de servir como conducto para la transportación de savia<sup>41</sup> a través del árbol, desde la raíz hasta el follaje.

En ramas así como en arboles jóvenes, es más la demanda de savia en las hojas, por lo que toda la madera está involucrada en esta actividad, esta madera es por tanto denominada albura.

El duramen es la parte central del tronco y en algunos tipos de madera se caracteriza por tener un color más oscuro que la albura, esta se encarga de darle rigidez estructural al árbol y en él, la actividad de transportar savia es mínima o nula. Además de presentar una mayor resistencia mecánica, el duramen presenta una resistencia natural al ataque de ciertos hongos e insectos gracias al contenido de extractos tóxicos que hacen poco apetecible la madera a estos organismos biodegradantes.

#### Anillos de crecimiento o anillos anuales.

Durante el verano o épocas de calor, las fibras de la madera son de mayor tamaño debido a la actividad del árbol y se denomina madera temprana, mientras que durante el invierno la actividad del árbol y el tránsito de la savia disminuye provocando o dando lugar a fibras de

menor diámetro y más compactas a la cual se le denomina madera tardía, las cuales hacen visible el cambio anual de temporadas, de ahí el nombre de anillos de crecimiento o anillos anuales (Ilustración 19).

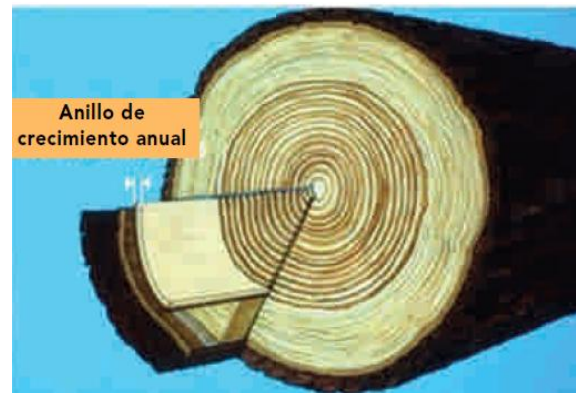


Ilustración 19. Anillos de crecimiento en una troza.  
Fuente: (Centro de Transferencia Tecnológica de la Madera, 2008)

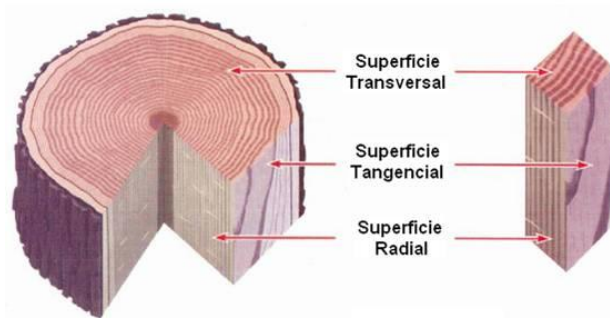
Hay mayor posibilidad de ubicar los anillos de crecimiento en maderas provenientes de climas donde las estaciones anuales están bien marcadas. En las coníferas se puede observar claramente la edad de un árbol, ya que en los bosques templados está bien definido el cambio de una estación fría a una estación cálida a diferencia de las maderas provenientes de selvas, donde durante el año la variación de clima es menor.

#### Tipos de cortes en un tronco.

Debido a la disposición de las capas de crecimiento en el árbol, así como la orientación vertical u horizontal de las células individuales, es conveniente considerar la estructura de la madera en términos de tres dimensiones (Ilustración 21).

<sup>41</sup> La savia es el fluido o líquido transportado por los tejidos de conducción de las plantas (xilema o floema).

Un plano es perpendicular al eje del tallo y se denomina: corte transversal o plano en sección transversal, típicamente observado al final de una troza. Debido a que la sección transversal del árbol es análoga a un círculo, una plano que pasa a través de la médula de la madera (como el radio de la círculo) se llama: corte radial. Un plano paralelo a la médula, pero que no pasa a través de él, forma una tangente a la estructura del anillo de crecimiento circular y se denomina: corte tangencial.



**Ilustración 21. Tipos de cortes en un tronco.** Fuente: (Centro de Transferencia Tecnológica de la Madera, 2008)

### Coníferas y Latifoliadas.

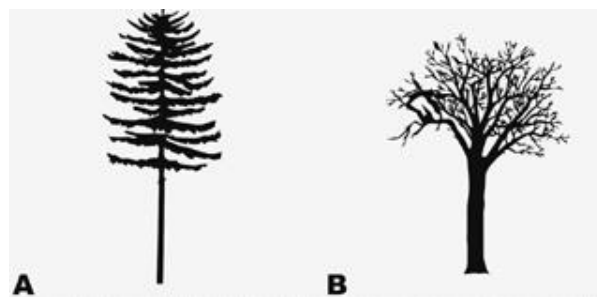
La madera es producto de un proceso metabólico en un organismo vivo (árbol), que crece en la naturaleza en condiciones climáticas, geográficas y de suelos muy diversos. Esta diversidad afecta el crecimiento y las características de la madera en relación con su estructura celular.

Al analizar una probeta en microscopio se observa la madera igual a cualquier ser vivo, conformada por células generalmente alargadas y dispuestas en la dirección del eje del árbol, pudiendo cumplir esencialmente dos funciones: sostén del propio árbol y conducción de savia. Por esto, a nivel de estructura celular

se pueden clasificar las especies arbóreas en dos grandes grupos: Coníferas y Latifoliadas.

La madera de coníferas está constituida esencialmente por células de características homogéneas, del grupo traqueidas, las cuales realizan la doble función de sostén del árbol y conducción de la savia.

Las especies pertenecientes a este grupo presentan un tronco recto, cónico hasta su ápice<sup>42</sup> y revestido de ramas como se muestra en la Ilustración 20. Los bosques de coníferas se dan mayormente en zonas frías y templadas del hemisferio norte, y en menor proporción en zonas similares del hemisferio sur, o en regiones ubicadas a una altura mayor a 1500 m sobre el nivel del mar donde las condiciones geográficas y la existencia de la suficiente humedad, permiten el crecimiento de bosques de estas especies.



**Ilustración 20. A) Forma Básica de una Conífera; B) Forma básica de una Latifoliada.** Fuente: (Centro de Transferencia Tecnológica de la Madera, 2008).

Por su estructura celular la madera de las coníferas o gimnospermas<sup>43</sup>, se considera como Madera suave. Sus hojas son muy

<sup>42</sup> **Ápice:** Se refiere al extremo superior de un árbol.

<sup>43</sup> **Gimnosperma:** Son todas las plantas que producen sus semillas expuestas.

resistentes, verdes todo el año y tienen forma de aguja. Las hojas y el tallo segregan resinas, por lo que se les conoce como arboles resinosos

La madera de latifoliadas pertenece al grupo de angiospermas<sup>44</sup>. Están constituidos esencialmente por vasos en lugar de traqueidas, los cuales realizan la función de conducción de la savia por fibras que son el sostén del árbol.

Las especies latifoliadas presentan en general, una copa bien definida y ramificada, y un tronco que varía en dimensiones y forma como se muestra en la Ilustración 20. Por lo general es más difícil observar en una especie latifoliada la presencia de anillos de crecimiento, a comparación con las coníferas. Debido a la variedad de Las hojas laminadas presentes en las especies latifoliadas, se les denomina también árboles de hoja ancha o frondosa. Pueden ser perennes<sup>45</sup> o caducas<sup>46</sup>.

### 3.2.3 Industrialización de la madera.

#### Secado de la madera.

El secado de la madera es de suma importancia para que esta pueda potenciar al máximo sus propiedades como material de construcción. La madera verde además de presentar una disminución radical en sus

propiedades mecánicas, por sus altos contenidos de humedad no puede ser usada como un material de acabado arquitectónico. Tal vez el aspecto más grave es la exposición de ésta a organismos que se alimentan y degradan la madera. La utilización de madera seca aporta una serie de beneficios, entre los que se destaca:

- Mejora sus propiedades mecánicas: la madera seca es más resistente que la madera verde.
- Mejora su estabilidad dimensional.
- Aumenta la resistencia al ataque de agentes destructores (hongos).
- Aumenta la retención de clavos y tornillos.
- Disminuye considerablemente su peso propio, abarata el transporte y facilita la manipulación de herramientas.
- Mejora el comportamiento de los adhesivos, pinturas y barnices.
- Mejora su ductilidad, facilidad para cortar y pulir.
- Mejora la absorción de preservantes líquidos aplicados con presión.
- Aumenta la resistencia de las uniones de maderas encoladas.

El secado de la madera se puede realizar de dos maneras:

#### A) Secado al aire libre.

Se efectúa simplemente apilando la madera bajo cubiertas protectoras contra el sol directo, permitiendo la circulación de aire en forma libre. Según las condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente, el secado de la

<sup>44</sup> **Angiosperma:** Son todas las plantas que producen flor y fruto.

<sup>45</sup> **Perenne:** Se refiere a las plantas que no mantiene su follaje durante todo el año.

<sup>46</sup> **Caduca:** Hace referencia a las plantas o árboles que pierden su follaje durante alguna estación del año.

madera. Tiene la desventaja de ser un proceso lento y poco efectivo.

#### B) Secado convencional en horno.

Consiste en secar la madera en cámaras especiales (hornos), en los cuales se manejan condiciones controladas de humedad y temperatura (80 a 90 °C). Este proceso tiene la ventaja de ser rápido, además de poder obtener la exactitud del contenido de humedad deseado.

### Clasificación de la madera.

La madera se clasifica desde su aserrado con la intención de que el usuario final pueda comprar la que más se ajuste a sus propósitos. En la mayoría de los países forestales la madera se clasifica en categorías de uso y cada una de estas tiene un amplio rango de grados.

Generalmente el grado de una pieza de madera se basa en el número, carácter y ubicación de elementos que puedan disminuir su resistencia mecánica, durabilidad o valor de uso. Entre las características visuales más comunes encontramos los nudos, el tono, las capsulas de resina, el pandeo y las manchas, algunas de las cuales se deben a la naturaleza del árbol. Algunos grados de madera, están exentos de estas características.

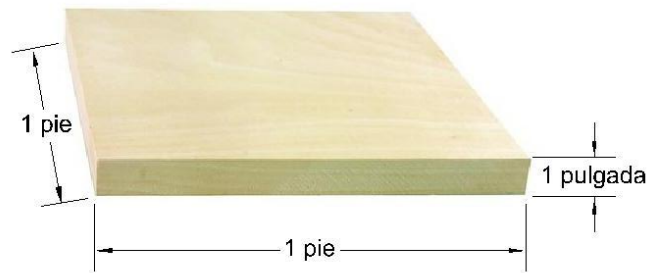
En México generalmente la madera de coníferas y latifoliadas se clasifica en madera de “primera y mejor”, madera de “tercera”, madera de “cuarta”, madera de “quinta” e inclusive madera de “sexta”. Esta clasificación depende del número de imperfecciones que la madera contenga, siendo la madera de tercera la más usada en la industria del mueble y la madera de quinta y sexta la más usada en la construcción, principalmente como cimbra y molde para concreto.

La madera de conífera de categoría estructural hasta el momento en México solo se clasifica en “madera estructural tipo A” y “madera estructural tipo B”.

### Cuantificación de la madera.

Después de que el árbol es talado, el fuste o tronco se comercializa en metro cúbico rollo ( $m^3r$ ). Esta unidad es la que los aserraderos utilizan para pagar a los ejidatarios la madera extraída, obviamente aun en estado verde (con un contenido de humedad mayor al 30%). El  $m^3r$  equivale a cubicar la troza, multiplicando el área promedio de la misma por su largo.

Una vez aserrada la madera, esta es vendida bajo la unidad de **pie-tablón**, **pie-tabla** o **pie maderero**. Un pie/tablón equivale a una pieza de madera de un pie de ancho por un pie de largo por una pulgada de espesor, como se muestra en la Ilustración 22. Para cubicar cualquier tamaño de pieza en esta unidad lo que se hace es multiplicar el área de la sección de la pieza en pulgadas por el largo de la misma en pies, posteriormente el producto se divide entre 12 para unificar unidades, ya que un pie contiene 12 pulgadas.



1 pie x 1 pie x 1 pulgada = 1 pie tablón.

Ilustración 22. Representación de un pie-tablón. Fuente: Autoría propia, 2015.

### Preservado de la madera.

La principal ventaja que ofrece el preservar la madera mediante alguno tipo de tratamiento es un aprovechamiento de un recurso renovable al cual se le incorpora una durabilidad adquirida, confiriéndosele una vida útil igual o mayor a la de una madera durable por naturaleza. Hoy en día el preservado de la madera es una tendencia clara en un mercado que exige productos de un bajo costo, un mínimo mantenimiento y un prolongado servicio.

Existen tres grupos básicos de preservantes:

- A) Los oleosos. La más conocida y usada es la creosota.
- B) Oleo solubles. dentro de esta clasificación se encuentra el pentaclorofenol, el naftaleno de cobre, etc.
- C) Hidrosolubles. los más usados en la actualidad son el Óxido de cobre-cromo-arsénico (C.C.A), el Sulfato de Cobre y los compuestos de boro.

Tanto la impregnación con creosota como la impregnación con CCA poseen cualidades preventivas contra los agentes biológicos, el segundo aventaja ampliamente a la creosota en aspectos de contaminación ambiental, aplicación de tratamientos posteriores (encolado, pintados, etc.), manipulado, contacto con suelos, plantas, animales, personas, etc. La madera tratada con CCA no mancha, no tiene olor y no exuda.

A continuación se presenta una tabla con las retenciones de CCA sugeridas según uso de la madera.

Tipo de servicio	Presentación de la madera	Retención
Madera en contacto con el agua de mar	Postes, pilotes, madera para torres de enfriamiento.	40-45 kg/m <sup>3</sup>
Madera a la intemperie en contacto con el suelo, enterrada y semipermanente o permanente contacto con agua	Postes redondos y otras maderas.	6.4-10.8 kg/m <sup>3</sup>

**Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango**

<b>dulce.</b>		
<b>Madera no enterrada pero expuesta a condiciones climáticas y lavado.</b>	Postes redondos y otras maderas.	6.4-7.2 kg/m <sup>3</sup>
<b>Madera para interiores, sin exposición a agentes climáticos, lavados o suelos.</b>	Postes redondos, marcos, techos y otras maderas.	4-4.5 kg/m <sup>3</sup>

Para poder impregnar la madera el tronco debe estar descortezado, siendo el contenido de humedad de la madera el factor más importante a considerar. Los preservantes hidrosolubles (CCA) pueden aplicarse con un porcentaje cercano o igual al del punto de saturación de la fibra (30%), ya que la savia también es soluble a la solución preservante permitiendo la impregnación en su recorrido.

No obstante, para impregnar una madera con creosota, ésta requiere de un máximo del 25% de humedad inicial.

La madera se puede preservar por inmersión, pintado, pulverizado o por medio de una autoclave. La autoclave es un depósito utilizado para la aplicación de impregnantes por distintos métodos por sistemas de presión y/o vacío. Los más comunes son:

**Método Boucherie:** consiste en aplicar presión con una tubería al extremo más grueso de los postes mediante distintos sistemas de unión. Se realiza en madera verde dentro de las 24 horas de corte, ya que el preservante se introduce forzado por donde circula la savia.

**Método de Bethell:** se introduce la madera en la autoclave y se pone en marcha una bomba de vacío que extrae el aire de la cámara y del interior de las células de la madera, posteriormente se abre la válvula que llena con CCA la autoclave hasta que esta se llena totalmente, después se cierra la válvula de llenado y la de vacío y se activa el circuito de presión. Una vez que se cumplen los tiempos a los que se debe someter la madera a la impregnación por presión se cierran las válvulas y se retira el excedente de preservante. Finalmente el excedente de preservante se repite el proceso de vacío para extraer los excedentes de solución de CCA.

**Método Lowry:** es similar al anterior, sin embargo en éste no se realiza un vacío inicial.

### **Usos comunes por tipo de madera.**

El principal uso de las maderas Latifoliadas es para la fabricación de Muebles, ebanistería, para duelas, revestimientos de madera, pisos de madera maciza y chapas de pisos de ingeniería. En países como Chile se clasifica y comercializa principalmente en tres categorías: la madera de construcción, las piezas dimensionadas, y los productos comerciales terminados, la madera de

## Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

latifoliadas, en especial la clasificada para construcción, se puede usar para la elaboración de vigas laminadas muy resistentes.

Las longitudes estándar de madera de latifoliadas son 4, 5, 6, (...), 16 pies. Esta madera es generalmente dimensionada de anchos aleatorios. Las clases de madera dura no especifican anchos estándar; Sin embargo, las calificaciones especifican anchos mínimos para cada grado.

Actualmente la madera más usada en la construcción a nivel mundial y de una manera industrializada es la de coníferas. No obstante, en lugares donde abunda la madera de latifoliadas es ésta la más usada, tal es el caso de algunos pueblos de la península de Yucatán donde existen viviendas elaboradas con madera de Caoba. La madera de coníferas presenta mayores ventajas para ser usada en la industria de la construcción, ya que de los troncos de coníferas se pueden obtener piezas más largas y rectas por las características naturales del árbol a comparación con las latifoliadas.

A pesar de que la madera de coníferas es menos densa que las maderas tropicales o latifoliadas, característica que influye directamente en su resistencia mecánica, hoy en día las regulaciones en cuanto a normativa para el diseño estructural con madera de coníferas están muy avanzadas y son muy específicas en la mayoría de los países forestales. Además, en el campo de la tecnología de la madera, el desarrollo de elementos estructurales a base de maderas laminadas de coníferas ha permitido la elaboración de elementos tan resistentes como los que se fabrican con concreto y/o acero.

La madera de coníferas presenta también un mayor facilidad de corte y maquinado incluso con equipo menor a comparación de las maderas de latifoliadas. Si bien es cierto, algunas maderas latifoliadas presentan una característica natural de durabilidad, hoy en día gracias a los avances químicos es posible tratar la madera de conífera para preservarla y protegerla tanto de agentes xilófagos como del intemperismo y garantizar así su estabilidad en servicio hasta por 150 años.

### Comercialización de la madera

En términos generales, las maderas comerciales son todas aquellas que podemos encontrar en los canales normales de comercio. La madera se puede conseguir en una amplia gama de formas, especies y tipos, en diversos establecimientos, ya sea al mayoreo o al menudeo.

En México como en la mayoría de los países forestales, la madera aserrada se comercializa en una unidad de volumen basada en unidades de longitud del sistema anglosajón, principalmente en pulgadas al hablar de la sección de las cabezas y en pies al hablar de la longitud de las piezas.

En el país, las longitudes comerciales de las piezas de madera se dan de dos en dos pies. La madera aserrada se vende en largos de 4,6, (...) 8 pies. Cabe remarcar que en los estados de Durango y Chihuahua se comercializan piezas hasta de 90 pies de largo. Los espesores se dan comúnmente en



múltiplos de un cuarto de pulgada, es decir,  $\frac{1}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{4}$ ", 1, etc. No obstante, a diferencia del centro y sur de México, en el Noroeste se comercializa madera de  $\frac{7}{8}$ ", siendo el octavo excedente el llamado refuerzo de la madera.

Las maderas comerciales pueden clasificarse en cuatro grandes grupos:

**A) Madera Aserrada y cepillada.** Se comercializa en piezas cuya dimensión nominal se conoce como escuadría de la pieza y comúnmente se expresa en pulgadas en las transacciones comerciales.

**B) Molduras de madera.** Se obtienen a partir de madera aserrada seca a la cual, por medio de máquinas, herramientas y equipos especiales, se confiere una determinada forma para cumplir en servicio con objetivos específicos de terminación, acabado, protección y decoración.

**C) Maderas reconstituidas.** Se entiende por maderas reconstituidas todo panel elaborado con derivados de la madera. El grupo más importante lo forman los tableros a base de madera que pueden ser de madera maciza, chapas, cintas, partículas, fibras, cortezas o a partir de otras materias primas lignocelulósicas<sup>47</sup> en forma de tallos, partículas o fibras. Estas materias dan origen a: Tableros contrachapados (Ilustración 24), Tableros de fibras (Ilustración 23), Tableros de partículas, Tableros enlistonados.



Ilustración 24. Contrachapados en diferentes espesores. Fuente: (Centro de Transferencia Tecnológica de la Madera, 2008).

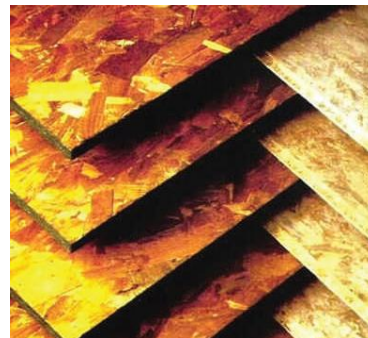


Ilustración 23. Tableros de fibras Orientadas. Fuente: (Centro de Transferencia Tecnológica de la Madera, 2008).

**D) Madera laminada.** La madera laminada es un producto industrial que se ha utilizado en el mundo desde hace muchos años, pero en las últimas décadas su uso se ha incrementado notoriamente. Este producto tiene una alta aplicación en la vida cotidiana de las sociedades desarrolladas, desde la construcción de edificaciones hasta reemplazar productos que provienen de recursos naturales, por lo que ha adquirido un alto valor industrial y social.

<sup>47</sup> **Lignocelulósica:** se refiere a la materia que contiene celulosa, hemicelulosa y lignina.



**Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango**

La madera laminada se forma uniendo piezas entre sí por medio de unión finger-joint<sup>48</sup> en sus cabezas (Ilustración 25), posteriormente son colocadas una pieza sobre otra en sentido longitudinal para encolar sus caras. El resultado de este proceso, es la fabricación de grandes vigas, tanto rectas como curvas, que permiten cubrir grandes claros.

Las vigas laminadas de madera, son Elementos estructurales fabricados bajo condiciones técnicamente controladas. La unión con adhesivos es de calidad estructural y resistente a la humedad.



**Ilustración 25. Corte "finger-joint" y encolado de las tablas por sus caras.** Fuente: (Centro de Transferencia Tecnológica de la Madera, 2008).

<sup>48</sup> **Finger-Joint:** En carpintería es el corte que se hace con forma de peine en dos piezas de madera que posteriormente se pegan.

### 3.3 Propiedades de la madera.

Gracias a sus útiles propiedades y ventajas, la madera ha sido considerada como un importante material en varios sectores. Es reciclable, renovable y biodegradable. Muchas especies son resistentes al impacto, es flexible y estable a pesar de ser un material higroscópico<sup>49</sup>. A continuación se enlistan y explican algunas de las propiedades de la madera, por las cuales se debe reconsiderar su uso como material de construcción.

#### **Aislante Térmico.**

El calor en la madera depende de la conductividad térmica y de su calor específico. La conductividad es la capacidad que tiene algún material para transmitir calor. La conductividad térmica se mide mediante un coeficiente de conductividad y está íntimamente relacionada con la densidad de la madera. Las cavidades celulares de la madera seca (bajo el PSF<sup>50</sup>) están llenas de aire, el cual es un mal conductor térmico. Por ello, las maderas de baja densidad conducen menos calor que las de alta densidad. (Rowell, 2005)

El calor específico es definido como la cantidad de calor necesario para aumentar un grado Celsius (C°) la temperatura de un gramo de madera. El calor específico en la madera es 4 veces mayor que en el cobre y 50% mayor que en el aire.

La combinación de estos dos aspectos hace de la madera un material que absorbe calor muy lentamente. La alta resistencia que ofrece la madera seca al paso del calor, la convierte en un buen aislante térmico y en un material resistente a la acción del fuego.

La madera, al igual que otros materiales, se dilata o contrae al aumentar o disminuir la temperatura, pero su efecto es bastante menor, sin ser despreciable, en valores que representan 1/3 del acero y 1/6 del aluminio, aproximadamente.

#### **Acústica.**

La madera, como material de construcción, cumple un rol acústico importante en habitaciones y aislación de edificios, ya que tiene la capacidad de amortiguar las vibraciones sonoras. Su estructura celular porosa transforma la energía sonora en calórica, debido al roce y resistencia viscosa del medio, evitando de esta forma transmitir vibraciones a grandes distancias.

#### **Aislante eléctrico.**

La madera anhidra<sup>51</sup> es un excelente aislante eléctrico, propiedad que decae a medida que aumenta el contenido de humedad.

En estado anhidro y a temperatura ambiental, la resistencia eléctrica es de aproximadamente  $10^{16}$  ohm-metro, decreciendo a  $10^4$  ohm-metro, cuando la madera está en estado verde. Esta gran diferencia se produce cuando el contenido

<sup>49</sup> **Higroscópico:** Se refiere a la capacidad de absorción de humedad del ambiente.

<sup>50</sup> **PSF:** siglas de Punto de Saturación de la Fibra.

<sup>51</sup> **Anhidra:** Sin agua.

de humedad varía entre 0% y 30%, principio para el diseño del instrumento eléctrico que miden la humedad “xilohigrometro”.

Cuando la madera contiene cantidades anormales de sales solubles en agua o sustancias electrolíticas tales como perseverantes o retardantes al fuego, o cuando está expuesta por periodos prolongados al agua de mar, la conductividad eléctrica puede aumentar considerablemente. El aislamiento eléctrico en la madera es muy bueno, cuando esta se encuentra por debajo del 8% de contenido de humedad. (Centro de Transferencia Tecnológica de la Madera, 2008)

### Densidad

La densidad de la madera es muy variable, por ejemplo entre los constructores de modelos de aeroplanos es muy popular la madera balsa que puede pesar desde 95 kg/m<sup>3</sup>, mientras que algunas maderas tropicales llegan a pesar hasta 1,130 kg/m<sup>3</sup>. (Rowell, 2005, pág. 13).

Como se sabe, la densidad de un cuerpo es el cociente entre la masa y su volumen. En la madera, por ser higroscópica, la masa y el volumen varían con el contenido de humedad. Esta es una de las características físicas más importantes, ya que está directamente relacionada con las propiedades mecánicas y durabilidad de la madera.

La norma chilena NCh 176/2 Of 1986 Mod. 1988 Madera-Parte 2: Determinación de la densidad, establece las siguientes densidades de la madera, determinadas a partir del contenido de humedad de la pieza:

- Densidad Anhidra: Relaciona la masa y el volumen de la madera anhidra (completamente seca).
- Densidad Normal: Aquella que relaciona la masa y el volumen de la madera con un contenido de humedad del 12%.
- Densidad Básica: Relaciona la masa anhidra de la madera y su volumen con humedad igual o superior al 30%.
- Densidad Nominal: Es la que relaciona la masa anhidra de la madera y su volumen con un contenido de humedad del 12%.
- Densidad de Referencia: Aquella que relaciona la masa y el volumen de la madera ambos con igual contenido de humedad.

La densidad es el indicador más importante de la resistencia de la madera y por lo tanto puede predecir las características tales como la dureza, la facilidad de maquinado, y la resistencia al ser clavada. Las maderas densas generalmente se contraen y se hinchan más y suelen presentar mayores problemas en el secado. También son los mejores combustibles. (Hoadley, 2000, pág. 14)

Al analizar las características de densidad, se puede observar que la madera es mucho más ligera que otros materiales de construcción como lo son el concreto, la piedra y el acero; y aun combinándose con estos sistemas de construcción, su ligereza puede derivar en beneficios sustanciales.

### Versatilidad

Una de las mejores propiedades de la madera dentro de la construcción, es la versatilidad que

presenta para la elaboración de formas diversas, tanto en elementos de ornamentación, como estructurales, incluso como molde para el colado de elementos de concreto.

Su fácil manejo y dimensionamiento para la elaboración de elementos variados en taller o campo, con herramientas manuales o mecánicas, la vuelven un material predilecto para las edificaciones que demandan rapidez.

#### **Reciclable y reutilizable.**

Cuando una edificación de madera ha llegado al final de su vida útil, esta se puede dismantelar, y si la madera fue sometida a las medidas necesarias de preservación, se puede llegar a reciclar una buena cantidad de elementos y emplearse en otra construcción. Inclusive la madera que ya no cumple con las características estéticas o estructurales debido a su deterioro, puede usarse como combustible.

#### **Biodegradable.**

Por su origen vegetal, la madera es uno de los pocos materiales de construcción que es biodegradable, esto significa que se puede reintegrar a un ciclo natural gracias a la ayuda de los efectos climáticos y a la acción de organismos como bacterias, hongos e insectos que se alimentan de la madera una vez que esta queda desprotegida.

#### **Renovable.**

La madera se considera como un material renovable, ya que a diferencia del Clinker o el acero, esta no depende del tamaño de una veta en una mina, si no a las condiciones climáticas de una región, a la existencia de los nutrientes y humedad suficiente en un suelo y a la acción responsable de una tala certificada.

### **3.4 Normatividad del uso de la madera en la construcción.**

En México los organismos encargados de regular la construcción con madera son el ONNCCE (Organismo Nacional de la Normalización de la Construcción y Edificación) y CONVISMA (Comité Consultivo Nacional de Normas para la Vivienda de Interés Social con Elementos de Madera). A continuación se enlistan las normas que se deben cumplir dentro del territorio nacional para cualquier tipo de edificación con madera:

#### **Normas de Diseño.**

Norma Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el D. F. "Diseño y Construcción de Estructuras de Madera". Octubre 2004. NORMAS SOBRE MADERA Y PRODUCTOS MADERABLES.

## Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

- Norma Mexicana NMX-C-224-ONNCCE-2001. “Industria de la Construcción Vivienda y Equipamiento Urbano. Dimensiones de la Madera Aserrada para Uso en la Construcción”.
- Norma Mexicana NMX-C-239-1985. “Calificación y Clasificación de Madera de Pino para Uso Estructural”.
- Norma Mexicana NMX-C-438-ONNCCE-2006. “Industria de la Construcción – Tableros Contrachapados de Madera de Pino y otras Coníferas – Clasificación y Especificaciones”.
- Norma Mexicana NMX-C-439-ONNCCE-2006. “Industria de la Construcción – Tableros Contrachapados de Madera de Pino y otras Coníferas – Propiedades Físicas – Métodos de Ensayo”.
- Norma Mexicana NMX-C-440-ONNCCE-2006. “Industria de la Construcción – Tableros Contrachapados de Madera de Pino y otras Coníferas – Propiedades Mecánicas – Métodos de Ensayo”.
- Norma Mexicana NMX-C-409-ONNCCE-1999. “Industria de la Construcción – Elementos de Madera – Clasificación Visual para Maderas Latifoliadas de Usos Estructural”.
- Norma Mexicana NMX-C-411-ONNCCE-1999. “Industria de la Construcción – Vivienda de Madera – Especificaciones de Comportamiento para Tableros a Base de Madera de Uso Estructural”.
- Norma Mexicana NMX-C-443-ONNCCE-2006. “Industria de la Construcción – Madera – Contenido de Humedad de la Madera – Métodos de Ensayo”.
- Norma Mexicana NMX-C-446-ONNCCE-2006. “Industria de la Construcción – Viviendas de Madera y equipamiento Urbano – Métodos de Ensayo para Determinar las Propiedades Mecánicas de la Madera de Tamaño Estructural”.

### **Normas para tratamiento de la madera**

Norma Mexicana NMX-C-419-ONNCCE-2001. “Industria de la Construcción – Preservación de Maderas – Terminología”.

- Norma Mexicana NMX-C-222-1983. “Industria de la Construcción – Vivienda de Madera Prevención de Ataque por Termitas – Especificaciones”.

**Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango**

- 
- Norma Mexicana NMC-C-322-ONNCCE-2001 “Industria de la Construcción – Madera Preservada a Presión – Clasificación y Requisitos”. • Norma Mexicana NMX-C-178-ONNCCE-2001. “Industria de la Construcción – Preservadores para Madera. Clasificación y Requisitos”.
  - Norma Mexicana NMX-C-410-ONNCCE-1999. “Industria de la Construcción – Vivienda de Madera – Retención y Penetración de Sustancias Preservadoras de Madera – Métodos de Prueba”. NORMAS SOBRE FUEGO.
  - Norma Mexicana NMX-C-294-1980. “Determinación de las Características del Quemado Superficial de los Materiales de Construcción”.
  - Norma Mexicana NMX-C-307-1981. “Industria de la Construcción – Edificaciones Componentes Resistencia al Fuego Determinación”.
  - Norma Mexicana NMX-C-145-1982. “Industria de la Construcción Vivienda de Madera Agrupamiento y Distancias Mínimas en relación a Protección contra el Fuego – Especificaciones”.

---

## Conclusión Capítulo 3.

Para algunas personas es difícil creer el auge que tuvo la arquitectura de madera en alguna época. Sin embargo, la arquitectura moderna apunta nuevamente hacia la utilización de este material, derivado de una reciente búsqueda por parte de los arquitectos y demás profesionales de la construcción del uso racional y adecuado de materiales inocuos con el medio ambiente, prefiriéndose los de origen vegetal.

Existe un material idóneo para cada tipo de producto que se busca elaborar, así como un material adecuado para cada tipo de condición geográfica y climática donde se emplaza un proyecto.

Cuando se usa la madera de una madera adecuada se puede lograr tenerla en servicio por mucho tiempo. Las técnicas de preservación por medios químicos hoy en día pueden garantizar una durabilidad de la madera hasta de 150 años. No obstante, como expone Hoadley (2000) debemos conocer como la madera crece en la naturaleza para saber cómo usarla de forma adecuada.

Al igual que con el concreto y el acero, existen varios sistemas de construcción con madera. La elección de dichos sistemas dependerá de factores como: la abundancia del material en la zona, el grado de transformación que se puede dar, la accesibilidad al material ya procesado y lo calificado de la mano de obra local, principalmente.

Una edificación con madera puede ser tan compleja y moderna como las hechas con otros materiales. Al igual que con cualquier otro material, el aumento en la demanda de madera como material de construcción derivaría en una mayor especialización de las técnicas y procedimientos constructivos locales.

A pesar de lo que se cree por una gran parte la población mexicana, la madera posee propiedades y características que la posicionan como un excelente material de construcción, inclusive mejor que el concreto y el acero bajo ciertas condiciones de servicio. Como prueba de ello existen hoy en día varios textos e investigaciones enfocadas a apoyar y demostrar este hecho.

Por otro lado, la normativa mexicana de construcción con madera es lo suficientemente clara para confiar en una edificación construida bajo estos parámetros. No obstante, aún pueden mejorar a favor del uso del material. Sin embargo, los principales detractores del uso de la madera como material de construcción somos nosotros mismos.

## Capítulo 4. Tendencias constructivas con madera.

Dentro de los países más representativos en utilización de sistemas de construcción con madera, podemos mencionar en Europa a: Finlandia, Noruega y Suecia, en Asia; a Japón, en América; a Canadá, Estados Unidos y Chile.

La utilización de sistemas de construcción con madera en estos países ha sido muy común desde siglos atrás, y varían en cada uno de ellos. Con el paso del tiempo cada país o región ha modificado y adaptado los sistemas a sus condiciones geográficas y climáticas, ya sea modificando los procedimientos y materiales o simplemente cumpliendo con cierta tipología de diseño que se distingue de otras regiones.

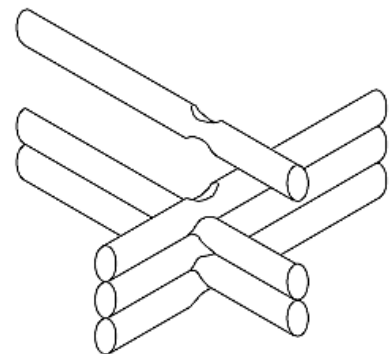
Las diferencias en la tipología de diseño han provocado que en el resto del mundo a los sistemas de construcción con madera con frecuencia se les dé el nombre o se les asocie con el país o la región donde se emplea ese diseño, aun cuando éstos se rigen bajo procedimientos constructivos muy parecidos. Ejemplificando estas clasificaciones, podemos mencionar: el “Sistema nórdico”, el “Sistema europeo”, el “Sistema Americano”, etc.

### 4.1 Clasificación de los sistemas de construcción con madera por su estructura.

Una forma técnica y sencilla de clasificar las edificaciones con madera es con base a su estructura. Actualmente podemos identificar tres grupos básicos, y aunque varios autores pueden sugerir más clasificaciones, estas caen dentro de los mismos principios. No obstante, debemos recordar que también existen los sistemas mixtos, un ejemplo son las edificaciones de muros de mampostería o tabique con cubierta de madera, otro pueden ser las edificaciones con estructura portante de acero y forro de madera.

Como sistemas constructivos más usuales con madera, se pueden citar:

**Construcciones macizas con troncos horizontales.** Los sistemas a base de troncos horizontales predominaron en lugares donde abunda la madera como en gran parte del norte de Europa. En ellos tuvo origen la técnica “lafte” desarrollada en los países escandinavos y otras regiones, que se caracterizaba por la forma



**Ilustración 26. Sistema Lafte.** Fuente: (Peraza, Arriaga, Arriaga, González, Peraza, & Rodríguez, 1995)



## Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

de unir los troncos en las esquinas por medio de ranuras como se muestra en la Ilustración 26.

El sistema constructivo era sencillo, la estructura del techo solía hacerse con elementos más ligeros. El sistema fue introducido a los Estados Unidos por los colonizadores Escandinavos que se establecieron en las orillas del Delaware en el s. XVII. Una de las razones de su éxito fue que no requerían clavos. En la actualidad aún se sigue usando este sistema para la construcción de bungalós<sup>52</sup> o cabañas turísticas en zonas boscosas (Echenique & Robles, 1986).

Las viviendas a base de troncos horizontales puede asimilarse a la construcción de muros de mampostería ya que estructuralmente funcionan igual.

Desde el punto de vista estructural, en este sistema la madera es utilizada deficientemente ya que esta trabaja en dirección perpendicular a la fibra y sus propiedades mecánicas en esa dirección son entre 20 y 30 veces menores que en el sentido longitudinal, por lo que solo se aprovecha el 5% de su capacidad de resistencia.

Por otro lado los muros sufren asentamientos notables por efecto del secado de los troncos. La forma

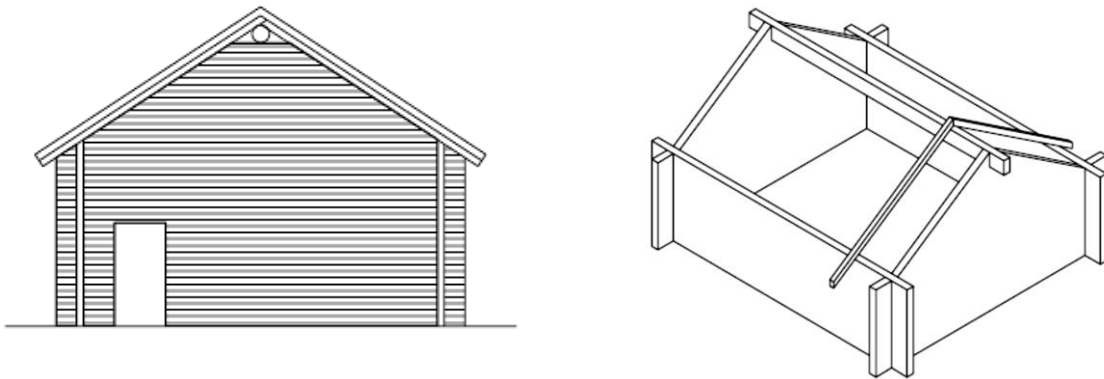


Ilustración 27. Forma básica de una Vivienda de troncos Horizontales. Fuente: (Peraza, Arriaga, Arriaga, González, Peraza, & Rodríguez, 1995)

redonda y ligeramente cónica de los troncos y su propia naturaleza hacía compleja la unión. La estabilidad estructural se confía al enlace en las esquinas y al arriostramiento adicional que le confieren los muros intermedios al sistema.

**Sistema de poste y viga.** El sistema fue comúnmente usado en regiones con recursos forestales limitados. Los postes solían hincarse directamente en el suelo. Los espacios entre los postes se rellenaban con ramaje entrelazado y lodo (bahareque) y, en tiempos posteriores, con diversos tipos de mampostería (Braced frame)<sup>53</sup>. En este último generalmente se usaban arriostramientos diagonales

<sup>52</sup> **Bungaló:** Se refiere a una casa unifamiliar de una planta, construida con madera.

<sup>53</sup> **Braced Frame:** Marco arriostrado.

## Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

para absorber los empujes de viento o sismo, este sistema lo podemos ver en la arquitectura tradicional Europea.

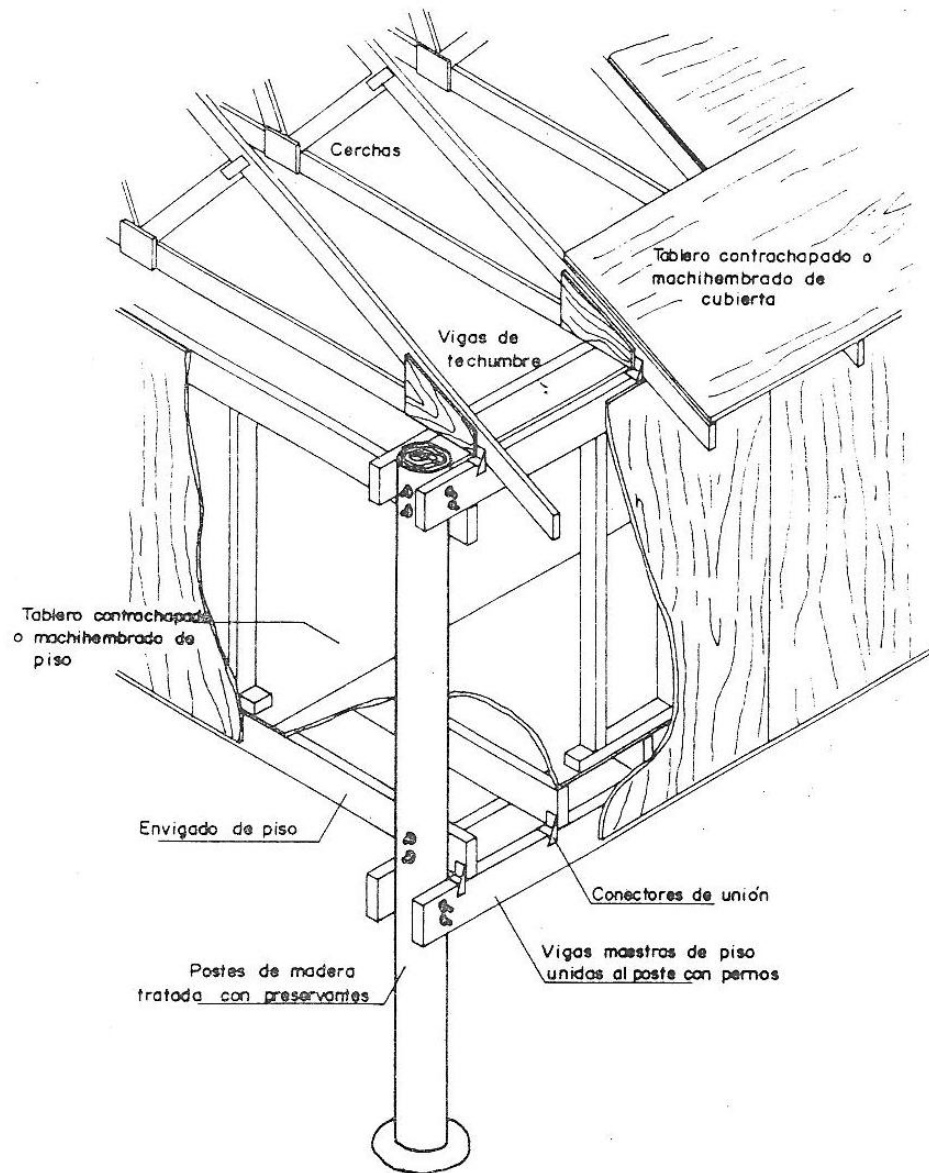
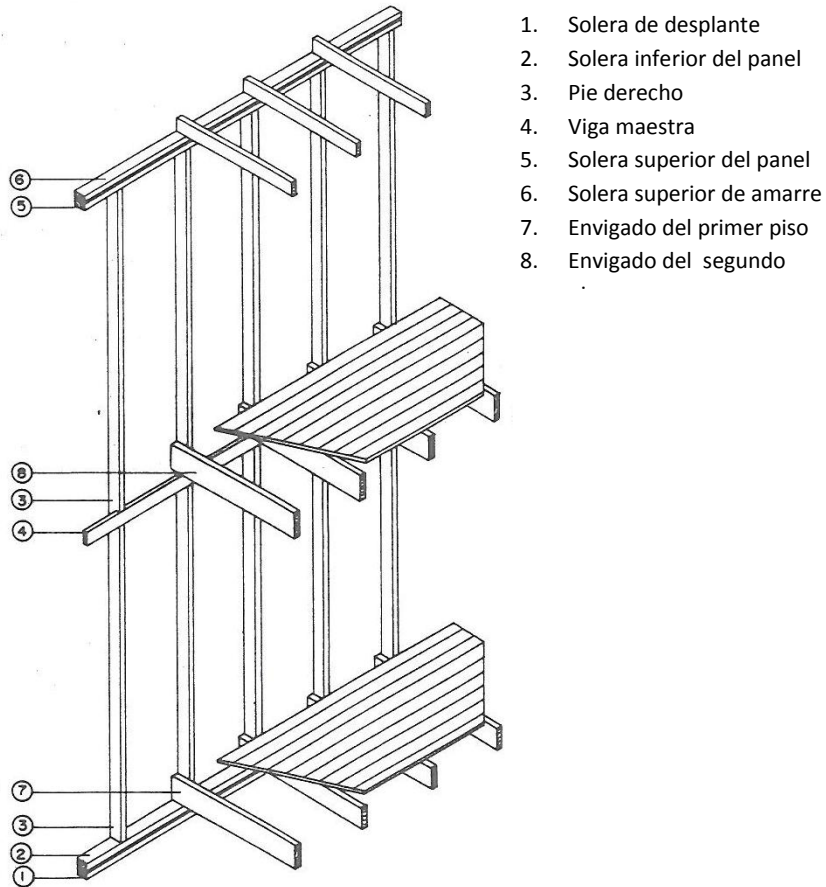


Ilustración 28. Sistema de Poste y Viga. Fuente: (INFOR. División industrias., 1991).

**Sistemas de entramado ligero.** A partir del empleo de sierras mecánicas, inicialmente movidas a vapor, y de la fabricación del clavo en forma seriada, se difunde una construcción con pies derechos más juntos que el modelo anterior, empleando maderas de poca sección y longitud, también con arriostamientos en diagonal para recibir los empujes laterales. Los entramados o bastidores, se forran con machihembrados, maderas solapadas, contrachapados de madera, placas de yeso, placas de

## Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

cemento, aglomerados de astilla, etc. este método es el más usado en Norteamérica, sin embargo su origen es Escandinavo.



**Ilustración 29. Sistema Balloon Frame.** Fuente: (INFOR. División industrias., 1991).

Del sistema de entramado ligero se derivan dos variantes básicas:

- a) El sistema Balloon Frame, y
- b) El sistema de plataforma

### **Ballon Frame.**

Los principios generales del sistema Ballon Frame son:

- Utiliza diafragmas (paneles) de muro, con una altura de dos pisos.
- Los pies derechos son continuos desde el piso hasta la cubierta del segundo piso
- El envigado del piso y del entepiso va unido a los pies derechos.

## Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

Los elementos principales del sistema (Ilustración 29) se describen a continuación:

**Solera de desplante.** Elemento de madera anclado a la cadena de desplante o el firme de concreto, sobre el cual se desplanta el panel de muro.

**Solera inferior del panel.** Elemento que recibe los pies derechos y que clavado a la solera de desplante.

**Pie derecho.** Elementos estructurales verticales del entramado que se extienden a través de dos niveles y se clavan a las soleras.

**Vigas maestras.** Son las vigas que unen a los pies derechos, son elementos continuos perpendiculares a los pies derechos, que reciben o soportan el envigado del piso. Van clavados a los pies derechos.

**Solera superior del panel.** Elemento superior del muro, al que se clavan los pies derechos y que lleva sobre si la solera superior de amarre.

**Solera superior de amarre.** Elemento continuo que corre sobre los paneles de muro, proporcionando el amarre entre ellos y que soporta la estructura de techumbre. Se clava a la solera superior de amarre.

**Envigado de planta baja.** Elementos estructurales de piso colocados sobre la solera inferior del panel y clavados a los pies derechos.

**Envigado de primer nivel.** Elementos estructurales que descansan sobre la viga maestra que une los pies derechos y que van clavados a ellos.

### Sistema de plataforma.

En el Sistema de Plataforma los diafragmas (paneles) de muro tienen una altura iguala a la de un solo nivel y son levantados desde plataformas construidas sobre el envigado del primer y segundo piso.

Los elementos principales del sistema (Ilustración 30) se describen a continuación:

**Solera de desplante.** Elemento de madera anclado a la cadena de desplante o el firme de concreto, sobre el cual se desplanta el panel de muro.

**Cabezal.** Elemento que forma el borde de plataforma tapando las cabezas de las vigas de piso.

**Piso.** Se clava al envigado de piso y al cabezal, posteriormente se desplanta sobre este los paneles de muro.

## Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

**Solera inferior del panel.** Elemento inferior del panel que recibe los pies derechos y que va clavado a la plataforma.

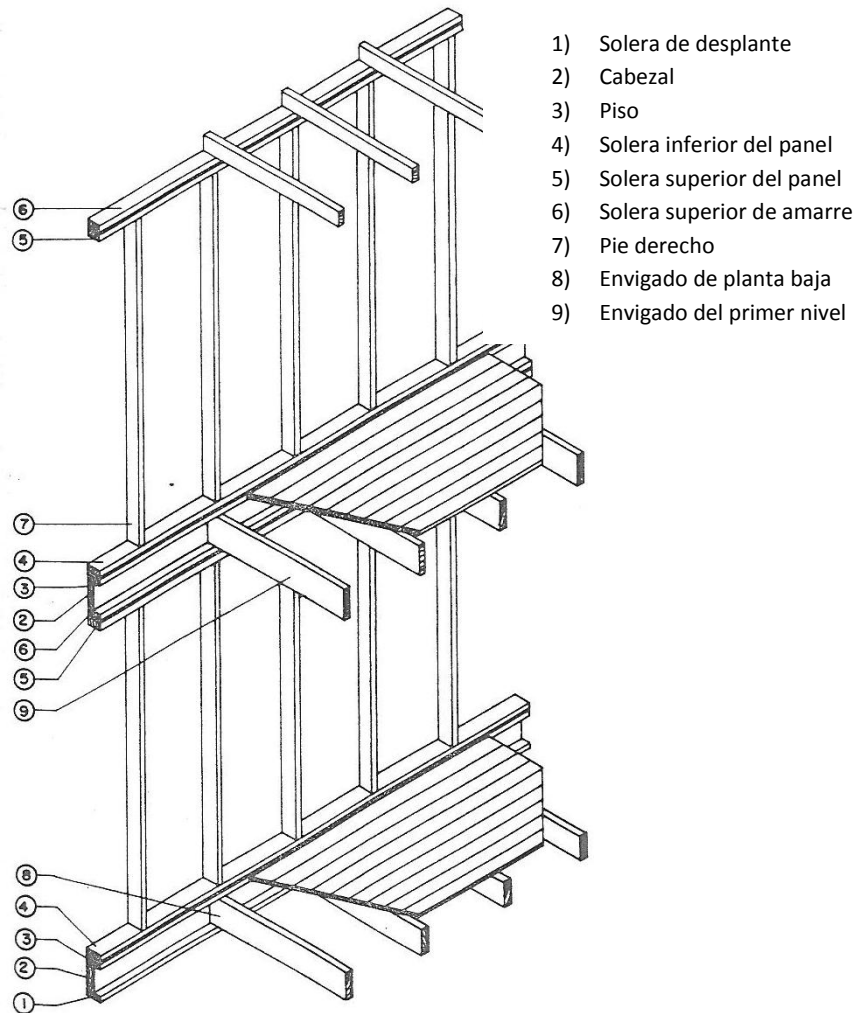


Ilustración 30. Sistema de plataforma. Fuente: (INFOR. División industrias., 1991).

**Solera superior del panel.** Elemento superior del muro al que se clavan los pies derechos y que lleva sobre sí la solera superior de amarre.

**Solera superior de amarre.** Elemento horizontal continuo, ubicado sobre los paneles, proporcionando el amarre entre ellos y que recibe la estructura de techumbre o el envigado del segundo piso.

**Pies derechos.** Elementos estructurales verticales del panel de muro. Tienen una longitud igual a la altura de entrepiso y se clavan a las soleras.

**Envigado de planta baja.** Elementos estructurales de piso colocados sobre la solera de desplante y clavados a esta y al cabezal.

**Envigado del primer nivel.** Elementos estructurales colocados sobre la solera de amarre y clavados a ella y al cabeza.

## 4.2 Descripción de tendencias actuales de prefabricación con madera.

En la actualidad en países donde la construcción con madera es muy común existen firmas de Arquitectura y empresas constructoras que lanzan al mercado propuestas novedosas de prefabricación. Estas propuestas por lo general son variaciones del sistema de entramado ligero, en ocasiones combinado con sistemas de acero y concreto. Si se tomara como otra clasificación cada modelo o prototipo que las empresas desarrollan la lista de clasificaciones sería muy extensa.

Para un mejor entendimiento se consideran los prototipos y modelos de cada empresa como tendencias actuales en la prefabricación con madera.

### 4.2.1 Sistemas de construcción y ensamble en fábrica.

#### **Sistema Aero House.**

Sistema de construcción diseñado por el arquitecto japonés Tadashi Murai que consiste en la prefabricación de módulos de madera en forma de prismas rectangulares, los cuales contienen las instalaciones necesarias para funcionar como una casa habitación o como parte de esta. Tienen la versatilidad de expansión mediante la adición de más módulos (Ilustración 31).



Ilustración 31. Diferentes módulos Aero House. Fuente: (AeroHouse, 2012).

El nombre se debe a que estos módulos se desplantan encima de una estructura metálica muy sencilla elevando la edificación aproximadamente 0.50 m. sobre el nivel del terreno natural o más si el cliente lo desea, generando un espacio techado debajo de la edificación que se puede emplear como cochera (AeroHouse, 2012).

#### **Sistema modular The Qube.**

Módulo multifuncional construido a base de madera, con posibilidad de expansión (Ilustración 32). Contiene una cocineta y un baño completo. Actualmente se emplea en el Reino Unido para generar espacios como: aulas, oficinas, comercios, instalaciones médicas (clínicas) o para la ampliación de



## Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

casas habitación, ya que se puede adherir fácilmente a una construcción ya existente. Sus dimensiones se limitan a un ancho de 3 a 4 m., un largo de 3 a 6 m. Y una altura de 2.4m, 2.7 o 3.00 m. Es elaborado por la empresa Británica “The cube” y exportado principalmente a países bajos y a Estados Unidos. (Space, 2013).



Ilustración 32. Diferentes aplicaciones del Módulo The Cube. Fuente: (Space, 2013).

### Habitaflex.

Desarrollado por la empresa canadiense “Maison Laprise”; este Sistema consiste en la construcción de casas plegables de madera. Los módulos poseen la capacidad de plegarse en su propio contenedor para ser transportados (Ilustración 33). El contenedor plegado tiene las dimensiones de 2.60m x 6.00m. Expandiéndose en 6.50m x 13.00m., generando un espacio habitable de 72 m<sup>2</sup> y con posibilidad de ser ampliado mediante la interconexión con otro modulo. Cuenta con todas las instalaciones necesarias de una casa habitación y se instalada en unas cuantas horas. La empresa lo exporta a Europa, América del sur y África. (Habitaflex, 2013)



Ilustración 33. Proceso de despliegue: Sistema Habitaflex. Fuente: (Habitaflex, 2013).

### Domy Modulowe Kopahaus.



Ilustración 34. Prefabricación y transporte al sitio: Sistema Domy Modulowe Kopahaus. Fuente: (kopahaus, 2013)

Este sistema consiste en la prefabricación de viviendas con los espacios básicos: sala, comedor, estancia, baño y dos recamaras. Todo dentro de dos o tres módulos de madera

Transportables e instalables en sitio en tan solo dos días, la vivienda modular cuenta con las instalaciones hidráulicas, eléctricas y de gas necesarias, además tiene la versatilidad de interconectarse con más módulos para ampliar la construcción. (kopahaus, 2013).

### Casa de campo prefabricada Blue Sky Mod.



Ilustración 35. Vista exterior del módulo.  
Fuente: ( Blue Sky Mod, 2013)

La casa de campo construida por la empresa Canadiense Blue Sky Mod, ofrece un diseño ecológico y fácil de armar. Además en una gran variedad de alternativas y posibilidades de interconexión entre sus módulos.

Su autor, el arquitecto Noruego Todd Saunders, trata de reunir en una misma solución arquitectónica los conceptos de alto-diseño y bajo impacto ambiental. BlueSky es una casa prefabricada que se puede construir en sólo diez días y que utiliza materiales ambientalmente amigables.

Bajo el sistema de módulos, la vivienda admite su crecimiento posterior e incluye paredes adheribles de fácil transporte y ensamble, aun en ubicaciones remotas. Su composición estructural se desarrolla en dos módulos. El más grande consiste en la cabaña principal, con un área para dormir y otra que funciona como estancia. Separado por un paso al aire libre de 2,43m. de ancho, se encuentra un



## Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

módulo auxiliar, compuesto por el wc, la ducha y el sauna.

El tamaño de la cabina principal es de 3,66m. x 7,32m. (27 m<sup>2</sup>). El tamaño de la cabina auxiliar es de 2,43m. x 4,87m. (12 m<sup>2</sup>), separada por un espacio intermedio sin cubierta de la misma medida. Todo el partido se desarrolla en una plataforma de madera que mide 4.87m x 12.19m.

### Sunset Breezeshouse.

Esta vivienda fue diseñada por la arquitecta Californiana Michelle Kaufmann y es producida en serie en su propia empresa "Mkarchitecture". Proyectada con trazos sencillos y francos, la vivienda de un estilo contemporáneo trata de mostrar una continuidad de los espacios interiores hacia el exterior con el uso de grandes ventanales. Con una planta libre, presenta una gran versatilidad para la definición de espacio.



Ilustración 36. Vivienda Sunset Breezeshouse terminada.  
Fuente: (mkarchitecture, 2013).

Cada uno de los espacios importantes tiene vista al jardín o se integra a él. Además es ecológicamente amigable por un uso estricto en el consumo energético, por la utilización de materiales renovables y por su diseño concebido a partir de principios sustentables. Esto es fácilmente observable en:

El modelo de vivienda está construido con materiales locales, no tóxicos y reciclables. Los paneles exteriores son paneles de alta densidad compuesto por un alma de fibras de celulosa impregnadas en resinas fenólicas y una superficie de madera natural protegida con un revestimiento de resinas acrílicas. Los paneles interiores son de aglomerado de madera y paja.

- Un uso racional de materiales con muy poco desecho durante el proceso de construcción.
- Efectivo uso de la iluminación natural aminorando el consumo de la iluminación artificial, que en su mayoría es fluorescente.
- El sistema de acondicionamiento térmico por calentamiento de agua.
- Las ventanas doble vidrio previenen la pérdida y la ganancia de calor no deseada.
- Uso de materiales renovables y reciclables
- Los muebles del baño cuentan con sistemas de control en la emisión de agua.
- Las paredes de la casa están terminadas con pinturas no tóxicas.
- Ventilación cruzada en los espacios principales.
- Existe también la posibilidad de colocar paneles solares en el techo que cubre el espacio central.

## Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

La vivienda llega por camión, 90% completa, ocho meses después de la orden. El proceso completo de construcción toma de 8 a 14

meses. El tiempo total varía dependiendo de la complejidad del diseño y el emplazamiento final de la vivienda (mkarchitecture, 2013).

### Glide House.

Glide house es una vivienda prefabricada, modular y móvil, construida casi totalmente en taller y trasladada en grandes piezas, diseñada y construida también por la arquitecta Michel Kaufmann. El diseño se basa en la idea general de una casa pequeña, moderna y sustentable, influenciada por la arquitectura rural de Iowa y por la obra de Charles Eames y de Joseph Eichler (un exitoso promotor inmobiliario de los 50 y 60 que introdujo ideas racionalistas en la producción comercial de viviendas).



Ilustración 37. Transportación de Glide House. Fuente: (Kaufmann, 2014).

Los modelos posibles de dos o tres dormitorios se desarrollan en superficies de entre 125 y 145 m<sup>2</sup>.

El diseño de la casa admite variantes propuestas por el cliente, siempre respetando las medidas máximas del módulo básico,

alterando la disposición de divisiones interiores y agrupando módulos en diversas formas. Todas las variantes parten de una caja básica o volumen prismático, manteniendo así el beneficio de la producción a escala, pero según cómo estas se agrupen el partido puede ser en L, en U o simplemente en una pastilla.

El módulo básico, de 4,5 x 16 metros, es transportado hasta el emplazamiento terminado del 85 a 90%. Desde la compra, toma de tres a cuatro meses construir el modelo en fábrica. En sitio toma menos de un día descargar y ensamblar las partes. Luego de dos semanas más se completa la instalación de los sistemas eléctricos, de agua y drenaje (mkarchitecture, 2013).



Ilustración 38. Glide House. Vista exterior e interior. Fuente: (Kaufmann, 2014).

### Unidad de vivienda Prefabricada Mokka.

Diseñada por el arquitecto italiano Baldo Alessandro la casa Mokka, fue ganadora del Primer premio en el concurso Livingbox organizado por el portal italiano de arquitectura y construcción Edilportale.

La propuesta intenta responder a la exigencia de una casa móvil y apta para ser habitada durante periodos prolongados en condiciones climáticas hostiles por una familia de 3 o 4 personas. La parte fija debía posibilitar la preparación de alimentos y la higiene. Debía ser económica y capaz de resolver todos los requerimientos en un módulo único. El nombre MOKKA alude a la máquina de café MOKA, que se caracteriza por su simplicidad, fiabilidad, robustez y principalmente por su utilidad.



Ilustración 39. Agrupamiento Horizontal de módulos Mokka

Una vez colocado en el terreno puede estar funcionando completamente en pocos minutos. Las medidas máximas corresponden a las de un contenedor estándar: 12.19 x 2.43 m en planta y 2,89 m de altura. Aptas para transporte normal en carreteras, trenes, barcos y aviones.

Una vez abiertos los laterales, el espacio central es un rectángulo de 8 x 3.90m., con 7 m<sup>2</sup> de ventanearía. El baño y cocina ocupan la parte fija solamente. Es posible el agrupamiento de módulos con gran densidad habitacional conservando un alto grado de privacidad.



#### 4.2.2 Sistemas de construcción en fábrica y ensamble en sitio.

##### Estructura kopahaus

Sistema de prefabricación desarrollado por la empresa polaca “Kopahaus”, que consiste en construir en talleres todos los muros tanto exteriores como interiores, así como las cubiertas que conformaran



Ilustración 40. Prefabricación y ensamblaje. Fuente: (kopahaus, 2013)

una edificación, cortando por medios computarizados los vanos de puertas, ventanas y contornos de éstas, como si se tratara de cortar muros para una maqueta. Las placas o paneles en los cuales se forjan los muros, están elaborados a base de un emparedado de placas de OSB con lana mineralizada en el interior. Posteriormente todo se ensambla en sitio en un tiempo muy reducido. (kopahaus, 2013)

##### Panel kit

Sistema de prefabricación con madera desarrollado por la empresa Chilena “Casas Alberta”. Consiste en la construcción de elementos estructurales, envolventes y cubiertas en taller para su posterior ensamblaje en sitio sobre una plataforma de cimentación de concreto previamente elaborada. La característica más representativa del sistema son sus muros penalizados listos para ensamblar. Todos



Ilustración 41. Casa prefabricada. Fuente: (Casas Alberta, 2013).

## Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

los componentes de la casa son enviados hasta el emplazamiento final en un contenedor marítimo, con los planos de ensamblaje necesarios y el listado e identificación de todas las piezas. El proyecto puede ser tipo, o el cliente puede solicitar un proyecto con necesidades específicas a la empresa (Casas Alberta, 2013).

### Studio 804



Ilustración 42. Proyectos anteriores. Fuente: (Studio 804, 2013).

Studio 804 es un equipo de veinte estudiantes dirigido por Dan Rochilla, enfocado en el diseño y la construcción de una vivienda que constituye el trabajo de fin de carrera en la Escuela de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Kansas.

Sin fines de lucro, studio804 diseña y construye

elaborar un presupuesto con base a los fondos heredados hasta el montaje de los módulos prefabricados en el terreno.

Studio 804 no recibe fondos de la Universidad. Cada año un nuevo grupo de estudiantes comienza con el saldo de fondos que deja el grupo antecesor.



Ilustración 43. Proyecto 2014. Fuente: (Studio 804, 2013).

cada año un proyecto arquitectónico diferente, que desde 1996 ha evolucionado hacia la producción de viviendas prefabricadas de primera línea, en un proceso que se apoya en la autonomía financiera. Los alumnos lo hacen todo, desde las cuentas necesarias para

Los estudiantes trabajan con asociaciones vecinales y organizaciones de desarrollo comunitario para buscar soluciones de diseño innovadoras a la par de contribuir al tejido urbano de las comunidades locales. El período de construcción del Studio 804 se reduce a una



## Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

sesión de cinco meses que verá cubrir cada uno de los aspectos de la práctica de diseño/construcción (Studio 804, 2013).

### Lun Huset. Casa modular de verano.

Estas casas de verano, son creadas por el estudio Danés de arquitectura Lykke + Nielsen. Son distribuidas en los países Escandinavos y se entregan seis meses después de que se solicitan. El sistema utiliza 3 módulos base, los cuales se interconectan. Un módulo es de dormitorios, otro de baño y cocina, y otro de sala de estar.



Ilustración 44. Modelos y vistas interiores de casa Modular de verano Lun-Huset.

El área construida varía de los 25 a 50 m<sup>2</sup>, según la cantidad de módulos utilizados, sin embargo puede crecer aún más dependiendo de las necesidades y posibilidades del cliente.

La estructura está elaborada a base de madera de pino y el forro es de madera de alerce tratada en su exterior. Este tipo de casas modulares son diseñadas para climas extremos, por lo que su sistema de muros incluye aislantes térmicos de alta eficiencia.

La edificación se desplanta sobre postes de madera o concreto de poca longitud hincados en el terreno.

## KLH UK

La empresa KLH UK es la encargada en Reino Unido de producir y construir paneles de madera maciza contra laminada también conocidos como CLT por sus siglas en inglés (Cross Laminated Timber). Estos paneles se producen en espesores que van de los 5 a los 25 cm, incluso se pueden llegar a construir con un espesor de 50 cm. Las dimensiones de los paneles pueden llegar a ser hasta de 16 m de largo por 3.5 m de ancho, y el uso de técnicas de corte numérico CNC le confiere una alta precisión a los componentes (KLH UK, 2015).

La empresa no se limita a la elaboración de estos paneles, sino que se dedica a la construcción de edificaciones de diferentes rubros bajo este novedoso sistema desarrollado alrededor de 1996.



Ilustración 45. Edificio de varios niveles " Stadthaus, Murray Grove". Fuente: <http://www.klhuk.com/portfolio/residential/stadthaus>

Debido a su proceso y a las técnicas de elaboración estos paneles son usados como muros portantes por la gran rigidez y capacidad de carga que presentan. En la actualidad se han hecho edificios de hasta 10 niveles bajo sistemas mixtos de CLT y concreto. No obstante, cuando se trabaja exclusivamente bajo el sistema CLT, las edificaciones se limitan a 4 niveles. El sistema constructivo CLT hoy en día se considera como uno de los sistemas más sustentables de construcción con madera debido al ahorro de tiempos de construcción, a los montajes en seco y a los principios de desmontaje y reúso de sus componentes.



Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango



Ilustración 47. Edificio de 5 niveles en proceso de construcción.  
Fuente: <http://www.klhuk.com/portfolio/education/lauriston-primary-school>.



Ilustración 46. Joyería "Alex Monroe", Londres:  
Fuente: <http://www.klhuk.com/portfolio/retail/alex-monroe-jewellery-boutique>



## Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

Tabla 6. Comparativa de las tendencias de prefabricación y construcción con madera en países forestales.

SISTEMA / CREADOR / PAÍS DE ORIGEN	CIMENTACIÓN / ESTRUCTURA / CUBIERTA / FORRO	TIEMPO DE CONSTRUCCIÓN EN TALLER / TIEMPO DE ENSAMBLE EN SITIO	SUPERFICIE TOTAL / COSTO	CARACTERÍSTICAS RELEVANTES	VENTAJAS SEGÚN EL FABRICANTE	
Estructura kopahaus	losa de cimentación	1.5 -2 meses		<b>Rubro</b>	El sistema de corte computarizado ofrece un alto grado de exactitud y calidad de los componentes. Además de optimizar el aprovechamiento de los recursos materiales. Mínima demanda energética para calefacción. La fácil identificación de los muros cortados, demandan poca mano de obra especializada para el ensamblaje.	
				X		Residencial
X	Comercial					
	Institucional					
<b>Distribución interior</b>						
	preestablecida					
K.B. Kopahaus S.A.	entramados ligeros de madera			X		personalizable
						planta libre
		X	<b>crecimiento progresivo</b>			
Polonia	viguería de madera	2 semanas		<b>construcción</b>		
				X	en fabrica	
				en sitio		
<b>Emplazamiento</b>						
				Adaptable a topografía de terreno		
				Reubicable		
			X	sismo resistente		
casa modular kopahaus	losa de cimentación	1 meses		<b>Rubro</b>	Mínima demanda energética para calefacción.	
				X		Residencial
X	Comercial					
	Institucional					
<b>Distribución interior</b>						
K.B. Kopahaus S.A.	entramados ligeros de madera			X		preestablecida
						personalizable
				planta libre		
		X	<b>crecimiento progresivo</b>			
Polonia	viguería de madera	1 semanas		<b>construcción</b>		
				X	en fabrica	
				en sitio		

Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

	Paneles de OSB; Duela de madera tratada			<b>Emplazamiento</b>		
					Adaptable a topografía de terreno	
					Reubicable	
				X	sismo resistente	
<b>Aero house</b>	Postes metálicos apoyados sobre zapatas ligeras o dados de concreto	2 meses (el modelo más complejo)		<b>Rubro</b>		<p>Los módulos se venden listos para su uso. Existen hasta hoy cinco modelos diferentes. Bajo costo de cimentación inclusive sobre otros sistemas de madera. El usuario puede instalar por si solo los módulos en el emplazamiento final. Mínima demanda energética para calefacción.</p>
			X	Residencial		
			X	Comercial		
			X	Institucional		
			<b>Distribución interior</b>			
				preestablecida		
				personalizable		
			X	planta libre		
			X	<b>crecimiento progresivo</b>		
			<b>construcción</b>			
<b>Tadashi Murai</b>	entramados ligeros de madera			X	en fabrica	
					en sitio	
<b>Japón</b>	viguería de madera	2 días		<b>Emplazamiento</b>		
			X	Adaptable a topografía de terreno		
			X	Reubicable		
			X	sismo resistente		
<b>Panel Kit</b>	Losa de cimentación	3 meses proyecto personalizado. 1 mes proyecto estándar		<b>Rubro</b>		<p>Asesoramiento técnico a empresas locales contratadas por el cliente para el ensamblaje de la casa. Distribución en varios países de américa. El sistema funciona en climas extremos tanto fríos como calientes. los componentes desarmados generan contenedores con cargas consolidadas que optimizan el transporte. Son diseñadas para lograr una mínima demanda energética de funcionamiento.</p>
			X	Residencial		
				Comercial		
				Institucional		
			<b>Distribución interior</b>			
			X	preestablecida		
			X	personalizable		
				planta libre		
			X	<b>crecimiento progresivo</b>		
			<b>construcción</b>			
<b>Casas Alberta</b>	entramados ligeros de madera; entramados ligeros de acero			X	en fabrica	
<b>Chile</b>	viguería de madera;	1 mes				

Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

	perfiles de acero				<b>en sitio</b>	
	Paneles de OSB; paneles de fibrocemento; duela de madera tratada			X	<b>Emplazamiento</b>	
					<b>Adaptable a topografía de terreno</b>	
					<b>Reubicable</b>	
				X	<b>sismo resistente</b>	
<b>Habita Flex</b>	Postes metálicos apoyados sobre Terracería nivelada	15 días	71 M2	X	<b>Rubro</b>	Debido a su bajo peso, puede ser remolcada por un camión de mediano tamaño. Cuenta con las instalaciones hidro-sanitarias y eléctricas suficientes para operar y ser habitada con alto grado de comodidad. No requiere de personal especializado para su instalación en sitio. El modulo no requiere de un proceso de ensamblaje en sitio, sino de desplegado. El fabricante actualmente lo distribuye en América del norte, Sudamérica, Europa y África. Se pliega en su propio contenedor.
				X	Residencial	
				X	Comercial	
					Institucional	
					<b>Distribución interior</b>	
<b>Maison Laprise</b>	entramados ligeros de acero; PVC			X	preestablecida	
					personalizable	
				X	planta libre	
				X	<b>crecimiento progresivo</b>	
					<b>construcción</b>	
<b>Canadá</b>	perfiles de acero	4 horas	\$600,000.00	X	en fabrica	
					en sitio	
	madera; PVC				<b>Emplazamiento</b>	
					Adaptable a topografía de terreno	
				X	Reubicable	
				X	sismo resistente	
<b>Blue Sky Mod</b>	Bloques de madera sobre terracería nivelada; postes de madera hincados en el terreno	10 días	39 M2	X	<b>Rubro</b>	Usa biotecnias como un baño seco y calentador de agua solar. Mínima demanda energética para calefacción. El sistema funciona en climas extremosos.
					Residencial	
					Comercial	
					Institucional	
					<b>Distribución interior</b>	
<b>Todd Saunders</b>	entramados ligeros de madera				preestablecida	
					personalizable	
				X	planta libre	

Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

				X	<b>crecimiento progresivo</b>	
<b>Canadá</b>	viguería de madera	3 horas	\$127,000.00	<b>construcción</b>		
				X	en fabrica	
				en sitio		
				<b>Emplazamiento</b>		
	duela de madera tratada			X	Adaptable a topografía de terreno	
				X	Reubicable	
				X	sismo resistente	
<b>The Qube</b>						
<b>The Qube</b>	losa de cimentación	1 mes	24 M2	<b>Rubro</b>		Mínima demanda energética de funcionamiento. Mínimo de mano de obra especializada para su instalación en sitio. Ensamblados en seco.
				X	Residencial	
	Comercial					
	Institucional					
<b>Distribución interior</b>						
	preestablecida					
	personalizable					
	X	planta libre				
	X	crecimiento progresivo				
				<b>construcción</b>		
<b>Reino Unido</b>	viguería de madera	5 Horas		X	en fabrica	
					en sitio	
	<b>Emplazamiento</b>					
	Paneles de OSB; Duela de madera tratada ; Placas de yeso				Adaptable a topografía de terreno	
					Reubicable	
				X	sismo resistente	
<b>Glide House</b>						
<b>Glide House</b>	losa de cimentación	4 meses	125-145 M2	<b>Rubro</b>		Mínima demanda energética de funcionamiento.
				X	Residencial	
	Comercial					
	Institucional					
<b>Distribución interior</b>						
	preestablecida					
	X	personalizable				
	X	planta libre				
<b>Michelle Kaufmann</b>	entramados ligeros de madera y/o acero					

Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

<b>Estados Unidos</b>	viguería de madera; perfiles de acero	2 semanas		X	<b>crecimiento progresivo</b>						
				<b>construcción</b>							
				X	en fabrica						
				en sitio							
	<b>Emplazamiento</b>										
				Adaptable a topografía de terreno							
	Duela de madera tratada ; Placas de fibrocemento; lamina de acero galvanizado	2 semanas		X	Reubicable						
				X	sismo resistente						
				<b>Emplazamiento</b>							
<b>Rubro</b>											
<b>Casa Modular Lun Huset</b>	Postes de madera o concreto de poca longitud hincados en el terreno			6 meses	50 M2		X	Residencial	Se utiliza madera de especies locales para su construcción. Mínima demanda energética de funcionamiento.		
								Comercial			
			Institucional								
		<b>Distribución interior</b>									
<b>Lykke + Nielsen</b>	entramados ligeros de madera de pino	6 meses	50 M2				preestablecida	Se utiliza madera de especies locales para su construcción. Mínima demanda energética de funcionamiento.			
						X	personalizable				
				X	planta libre						
				X	<b>crecimiento progresivo</b>						
<b>Noruega</b>	viguería de madera de pino			2 semanas		<b>construcción</b>				Se utiliza madera de especies locales para su construcción. Mínima demanda energética de funcionamiento.	
						X	en fabrica				
			en sitio								
	<b>Emplazamiento</b>										
		Duela de madera de alerce tratada	2 semanas				X		Adaptable a topografía de terreno		Se utiliza madera de especies locales para su construcción. Mínima demanda energética de funcionamiento.
									Reubicable		
X				sismo resistente							
<b>Rubro</b>											
<b>KLH UK</b>	losa de cimentación	1 meses			X		Residencial	Permite desarrollos de 4 niveles y de hasta 10 en sistema mixto. Requiere de un mínimo de mano de obra especializada para su ensamble en sitio. Los espesores de muros van desde 10 hasta 50 cm de			
					X		Comercial				
			X		Institucional						
			<b>Distribución interior</b>								

Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

<b>KLH UK</b>	paneles de madera maciza contra laminada				preestablecida	espesor. El corte de los paneles por medios computarizados permite una optimización de recursos materiales.
				X	personalizable	
					planta libre	
				X	<b>crecimiento progresivo</b>	
<b>Reino Unido</b>	paneles de madera maciza contra laminada	2 semanas		<b>construcción</b>		
				X	en fabrica	
					en sitio	
	<b>Emplazamiento</b>					
				Adaptable a topografía de terreno		
				Reubicable		
	X	sismo resistente				

---

## Conclusión capítulo 4.

Hace cinco décadas la abundancia de madera en la región de estudio habría permitido el desarrollo de proyectos de vivienda bajo el sistema de construcciones de troncos macizos. No obstante, hoy en día la búsqueda de sustentabilidad en proyectos de construcción implica un uso racional y la optimización de recursos naturales, así como el uso de la tecnología con que se cuenta.

Bajo un panorama general en cuanto al grado de industrialización y capacidad de transformación de la madera en las zonas forestales del estado, incluyendo el municipio de Durango, aun son muy bajos en comparación con países forestales, no obstante, se puede aprovechar el buen flujo y fácil acceso a la madera aserrada y a los contrachapados.

Por otro lado, la falta de una mano de obra especializada en la zonas forestales remite al uso de algún sistema que sea fácil de construir y de aprender. Además, que las condiciones de lluvias constantes, nevadas y bajas temperaturas afectan e impiden la continuidad de las construcciones la mayor parte del año.

Después de revisar las tendencias de construcción con madera en países forestales se puede notar que los sistemas prefabricados y en particular los sistemas de construcción en fábrica y ensamble en sitio, son los que ofrecen mayores ventajas en emplazamientos donde las condiciones geográficas y climáticas o de accesibilidad demandan trabajos en periodos de tiempo muy justos.

Al analizar todos estos aspectos, se concluye que, el sistema constructivo con madera más idóneo para la región de estudio en este momento son los entramados ligeros, en particular el sistema de plataforma. Dicho sistema demanda menores cantidades de madera; mientras que la construcción bajo un ambiente controlado optimizaría además de los recursos materiales los recursos humanos. El sistema de plataforma es de los más sencillos, lo cual reduce la curva de aprendizaje en la mano de obra local.

En la actualidad las familias en países desarrollados están dejando de lado las viviendas grandes, prefiriéndose las casas pequeñas y modulares, las cuales son más económicas tanto para su construcción, como para su mantenimiento y operación. El seguir esta tendencia permitiría un crecimiento progresivo de las viviendas de la región de estudio con base en las posibilidades económicas y necesidades de crecimiento de cada familia.



## Capítulo 5. Propuesta de Sistema Constructivo.

### 5.1 Propuesta Técnica.

#### 5.1.1. Descripción.

En México es casi nulo el uso de sistemas modulares de construcción con madera y los pocos que se han dado se han limitado a cierto nicho de mercado debido a la falta de industrialización de procesos y a una producción de manera casi artesanal.

El sistema planteado trata de aprovechar los recursos naturales y tecnológicos con que cuenta la región de estudio y generar una variante constructiva que pueda competir funcional, económica y formalmente con el sistema constructivo de concreto y tabique.

Se propone el desarrollo de módulos habitables dentro de un ambiente controlado como lo es un taller o una fábrica, la cual deberá preferentemente estar emplazada lo más cercano posible a una región forestal, donde se pueda conseguir la materia prima de manera rápida y sin la necesidad de recorrer largas distancias, contribuyendo así a la sustentabilidad del proyecto.

La construcción de los módulos dentro de una fábrica permitirá un mayor ahorro de recursos materiales, la diversificación y especialización de tareas, la optimización de tiempos de manufactura y la fácil supervisión de una secuencia lineal de producción.

El sistema, deberá obedecer siempre a una tipología de diseño condicionado por el dimensionamiento estandarizado y la forma de los módulos producidos en taller, siendo ésta una de sus características más notables. Por la naturaleza del principio estructural el sistema se limita a desarrollos horizontales.

Se plantea que la vivienda pueda funcionar a partir de un módulo. No obstante, el uso de más de un módulo permitirá conseguir diferentes configuraciones arquitectónicas mediante su interconexión, aumentando las opciones de solución y función dependiendo de la necesidad del cliente. Además que el sistema permitirá el crecimiento a futuro, si en un principio no se cuenta con las posibilidades económicas.

El modulo básico cuenta con el espacio interior suficiente, un área de aseo y un área de preparación de alimentos para poder funcionar como apartamento para una pareja o una familia joven. A excepción del confinamiento del área de aseo, la cual es opcional dependiendo del uso, éste tendrá una planta libre para permitir que el usuario pueda decidir el acomodo del mobiliario.

El emplazamiento final de las edificaciones bajo este sistema, podrá beneficiar sustancialmente, ya que el manejo de ventanales amplios procurara la integración del espacio interior con

su entorno, produciendo así la sensación de espacios más amplios.

Otra ventaja es el menor peso generado y transmitido al suelo por las edificaciones, ya que es relativamente bajo comparado con el que genera una edificación de concreto-tabique, derivando en la necesidad de sistemas de cimentación más sencillos y menos costosos.

Cabe mencionar, que a pesar de las características señaladas, la vivienda construida bajo este sistema, no se debe considerar y jamás se asemejará a una vivienda emergente, ya que ésta cuenta con un sistema y proceso de ejecución más complejo, garantizando la estabilidad estructural, así como su durabilidad. Además en ésta se han cuidado sus características formales y estéticas para que el usuario pueda percibir la vivienda como una edificación de carácter permanente.

### **5.1.1.1 Procedimiento Constructivo**

#### **Diseño.**

Una vez asentado el programa de necesidades y el presupuesto disponible, se procederá a la elaboración y/o adaptación del proyecto ejecutivo y de toda la información gráfica necesaria para la construcción y montaje de la edificación. Será preciso contar con toda la información y datos técnicos antes de comenzar a trabajar en sitio, para evitar que el personal de campo pierda tiempo solucionando problemas de gabinete y se enfoque solo al montaje y las interconexiones de los módulos.

#### **Fabricación de los módulos en Taller.**

Si se cuenta en ese momento con los módulos necesarios para llevar a cabo la edificación, solo hará falta hacer las adaptaciones que el proyecto demande. De no ser así, se deberá proceder a la construcción de los módulos requeridos.

#### **Embalaje.**

El embalaje de los componentes y materiales necesarios para realizar el montaje de una vivienda será en contenedores modulares. Ductos, tubería de cobre o PVC, etc., serán cortados bajo medidas específicas de proyecto para facilitar su transporte.

#### **Transporte.**

Una vez que se cuenta con los módulos necesarios para la edificación y con los componentes de ensamblaje, se procede a su transporte.

La logística, la correcta organización de materiales y el cuidado en las maniobras de carga y descarga de las piezas de ensamble, serán aspectos de suma importancia para evitar daños y retraso en la ejecución de la obra.

#### **Montaje.**

El montaje de los módulos se realizara sobre plataformas de concreto o sobre cimentaciones de mampostería con piedra de la región, todo dependerá de las características del suelo y su topografía.

### **5.1.1.2 Consideraciones técnicas.**

El material de más uso para la construcción de dichos módulos, como se ha mencionado, será la madera de pino. Sin embargo, dependiendo

## Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

de la topografía del terreno y de las necesidades de cimentación, se podrá combinar con concreto y/o piedra.

La mayoría de la madera utilizada para la elaboración de los módulos, será de las especies: *pinus durangensis*, *pinus cooperi*, *pinus engelmanni* y *pinus teocote*, las cuales son las de mayor importancia por el área basal<sup>54</sup> que ocupan y la dominancia<sup>55</sup> en la región de estudio.

Los módulos se fabricaran bajo el principio de entramados ligeros. En su mayoría la estructura primaria de los módulos será de madera clase estructural "B" (Norma oficial mexicana – C – 239 -1985). Tanto el dimensionamiento de los bastidores, como en sí las medidas de los módulos terminados, deberán obedecer a medidas de múltiplos y submúltiplos de tableros de 4'x 8' que equivale a 1.22 m x 2.44 m.

Se usaran clavos como conectores en estructura y para la instalación de los forros, además de conexiones de lámina galvanizada en entrepisos y cubiertas.

Se utilizara un material adicional como aislante térmico en sistemas de muro y cubierta, el cual propicie rangos de confort térmico similares o mejores a los de un sistema de concreto-tabique.

Cuando se realice una cimentación por plataforma, esta deberá cumplir con un refuerzo mínimo de malla electro soldada de 6"x 6" de un calibre 10 y un F'c mínimo de 150 kg/cm<sup>2</sup>.

Las instalaciones de gas se elaborarán con tubo de cobre tipo "L" de 1/2" y 3/4" según demanda del cálculo.

Las instalaciones Hidráulicas se harán a base de tubo de polipropileno de 1/2", 3/4", 1" y 1 1/4", según el proyecto hidráulico. Las instalaciones sanitarias se elaboraran a base de PVC sanitario de 2",3",4" de diámetro.

Todas las instalaciones se harán embebidas en los bastidores.

<sup>54</sup> **Área basal:** se refiere al área en metros cuadrados del corte transversal de un árbol a la altura del pecho, es decir, a 1,30 m.

<sup>55</sup> **Dominancia:** se refiere al índice más alto de coincidencia de una misma especie en un área determinada.

### 5.1.2. Solución Arquitectónica.

Partiendo del análisis de los sistemas constructivos, de las tendencias de prefabricación con madera en otros países y tomando en cuenta el modelo de vivienda actual en la región de estudio, se ha generado la solución arquitectónica de tres módulos. Dichos módulos permiten diferentes configuraciones arquitectónicas dependiendo de las piezas empleadas, generando así al menos diez tamaños y tipos de vivienda las cuales se muestran más adelante.

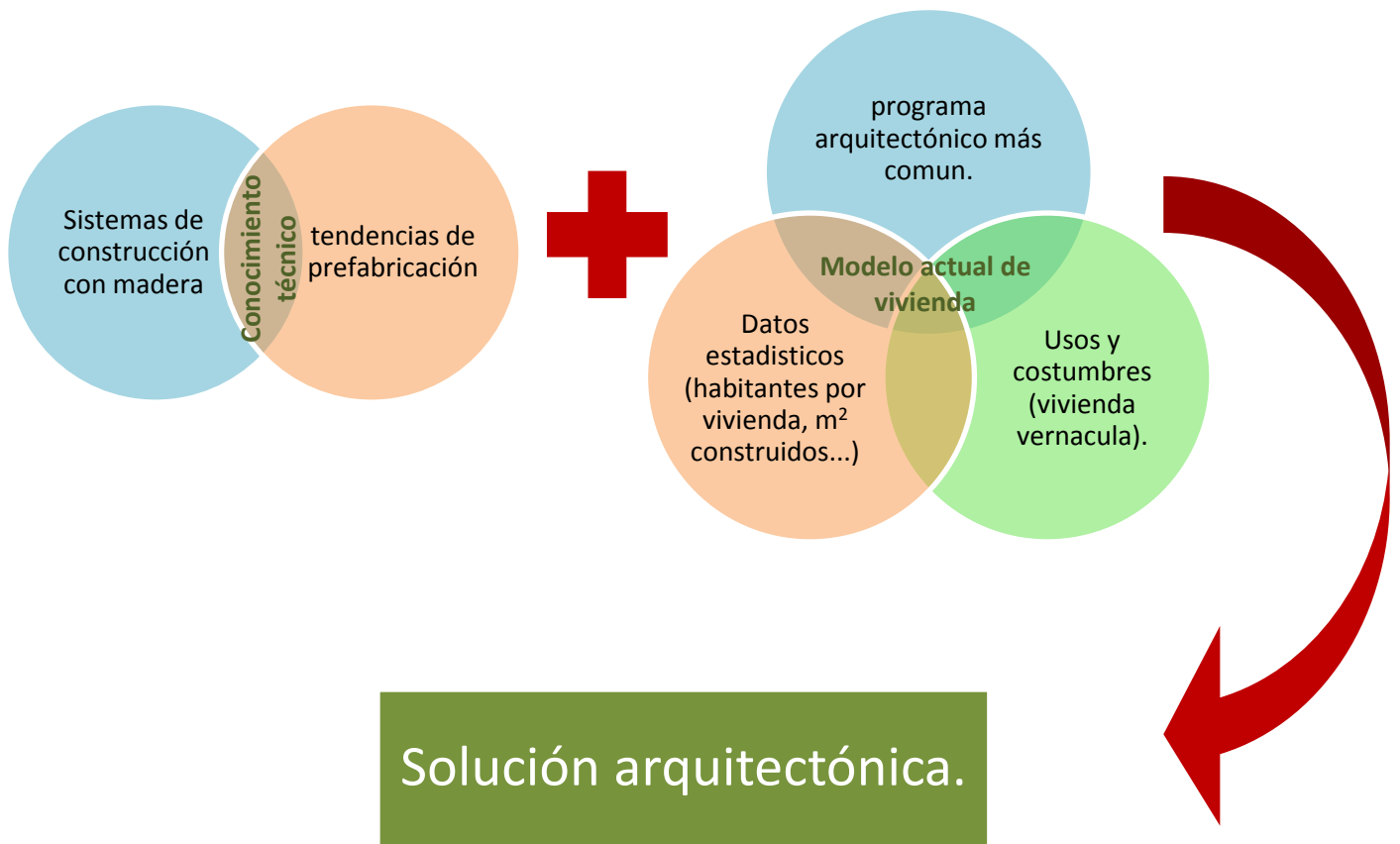
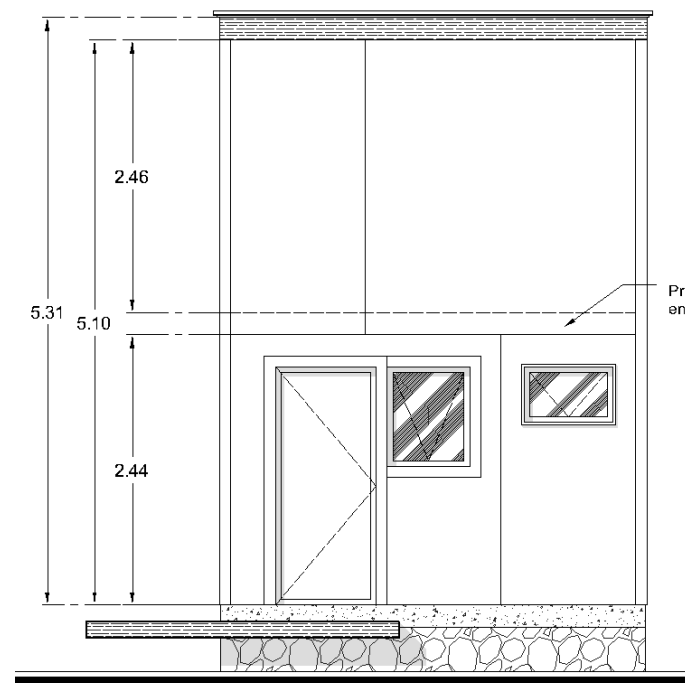
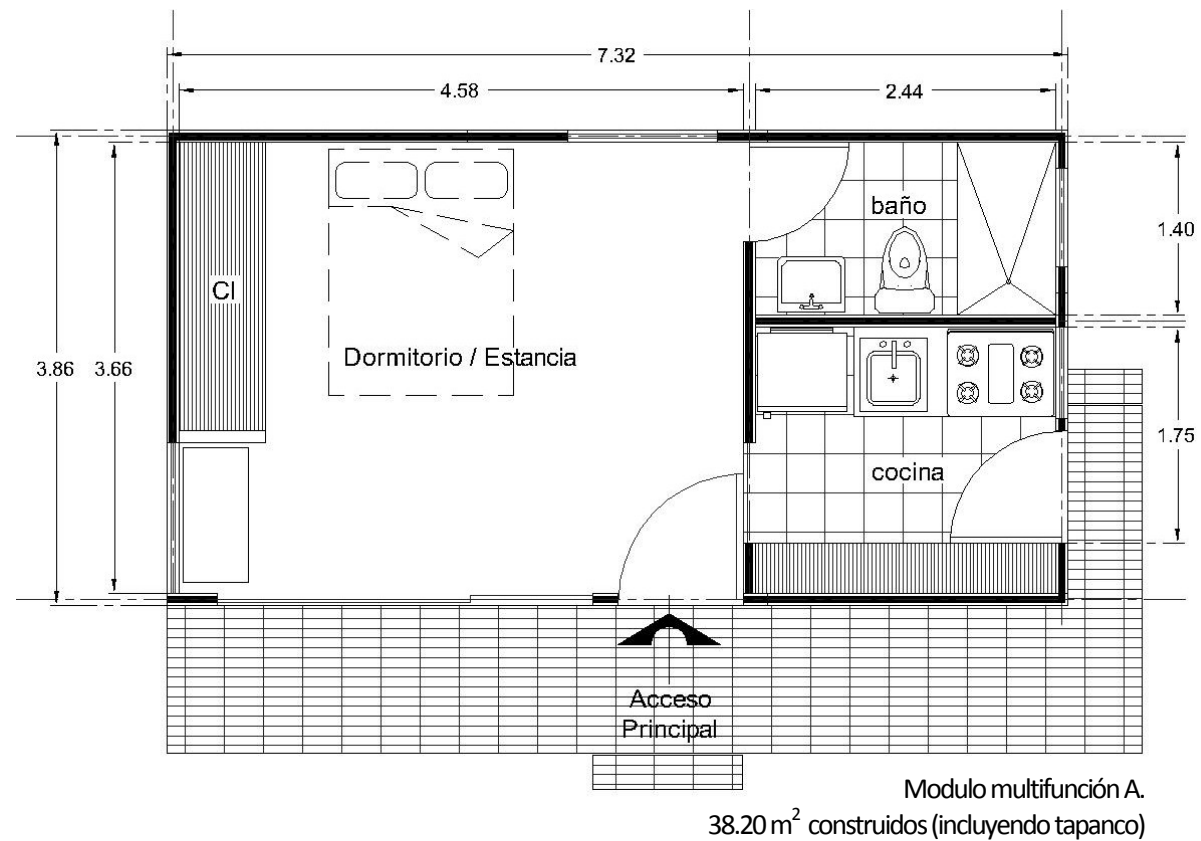
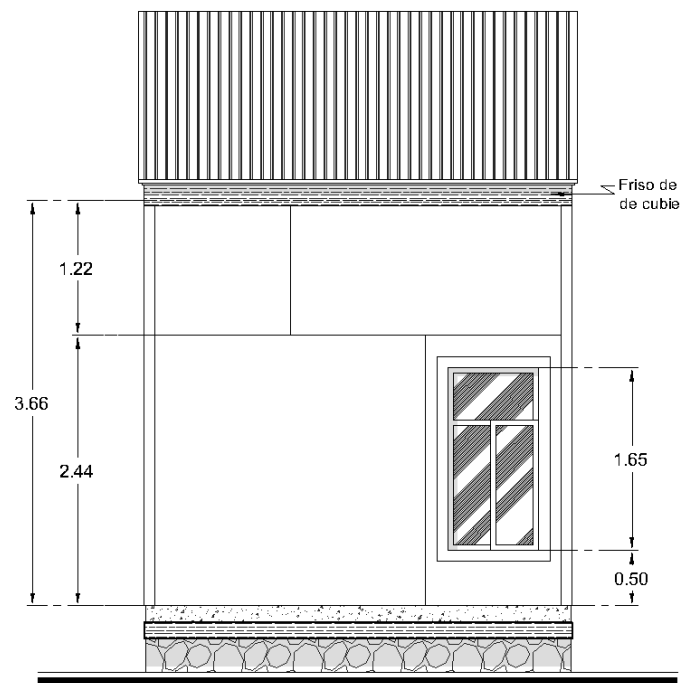


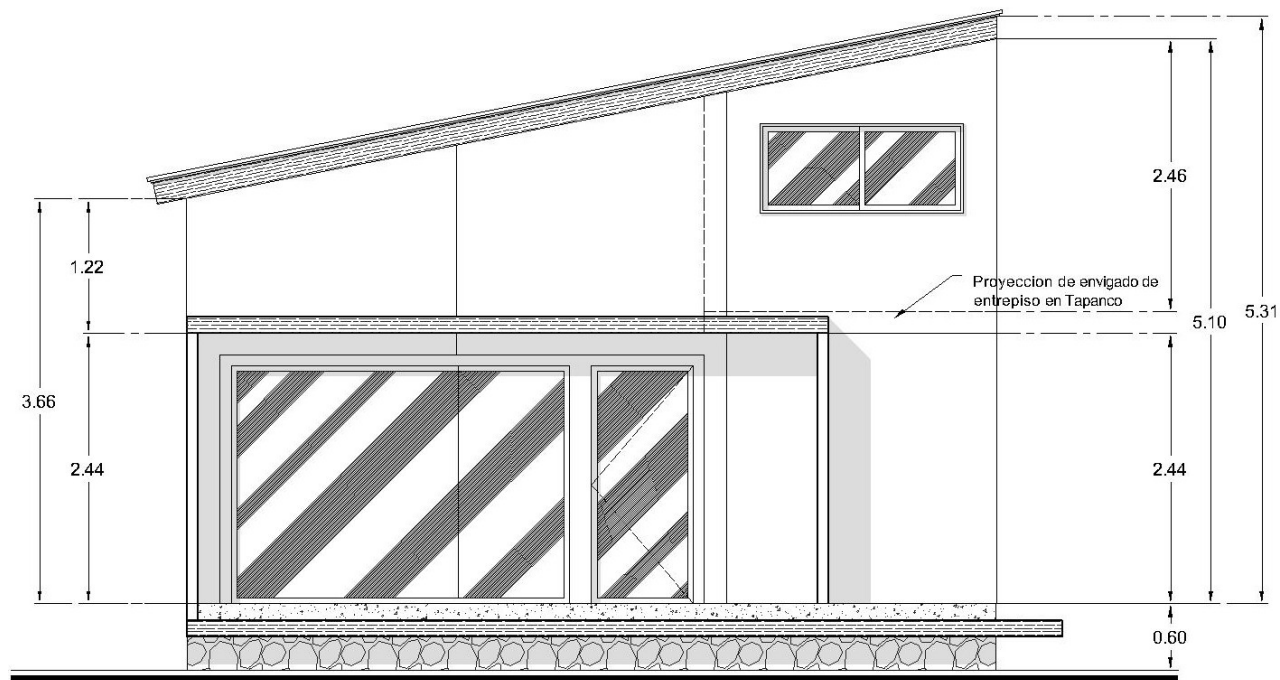
Ilustración 48. Aspectos considerados en la solución arquitectónica.



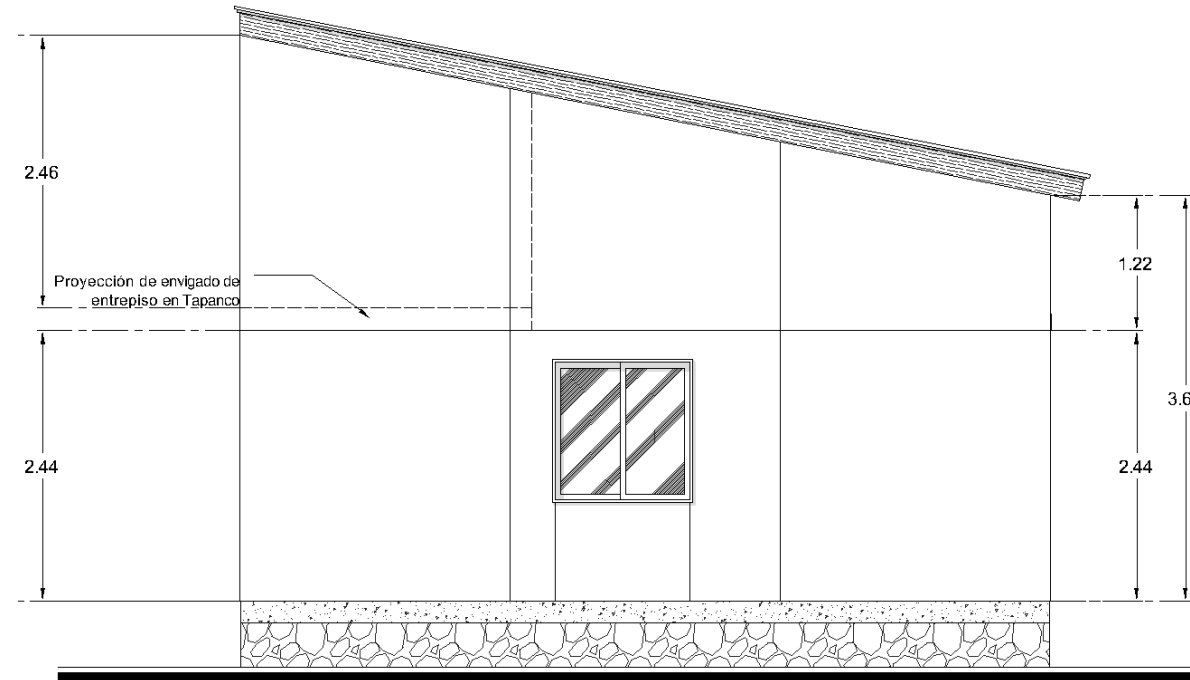
Alzado Lateral Derecho



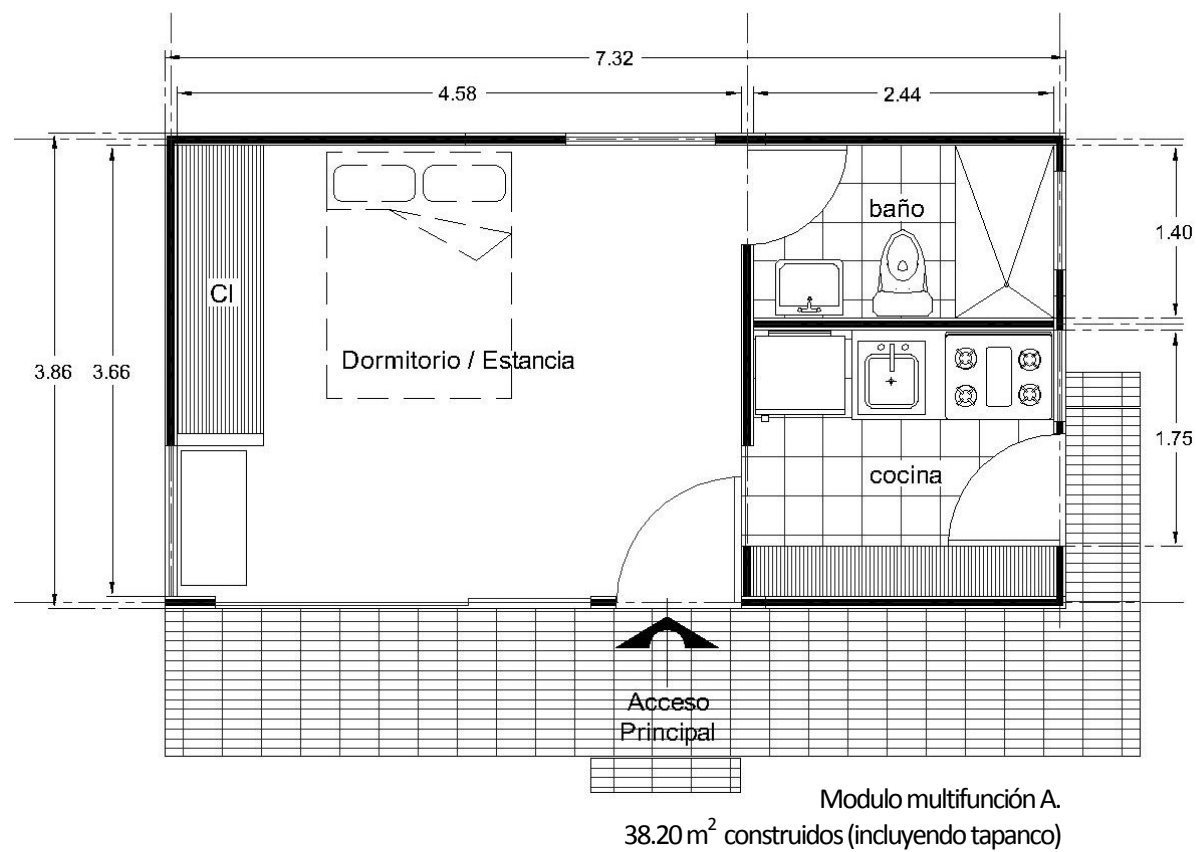
Alzado Lateral Izquierdo



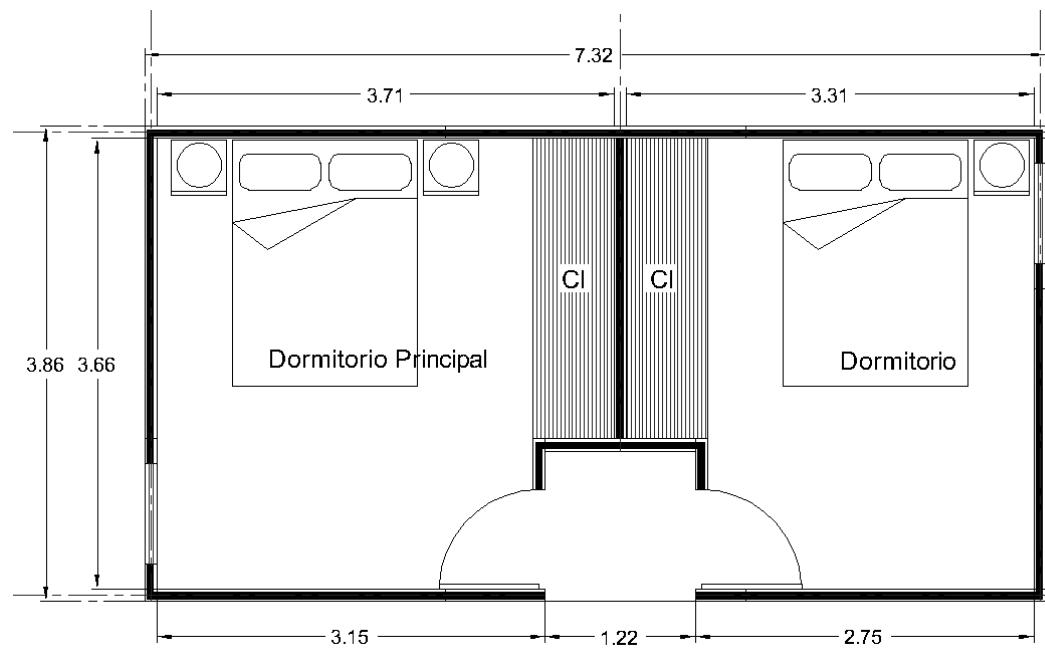
Alzado Frontal



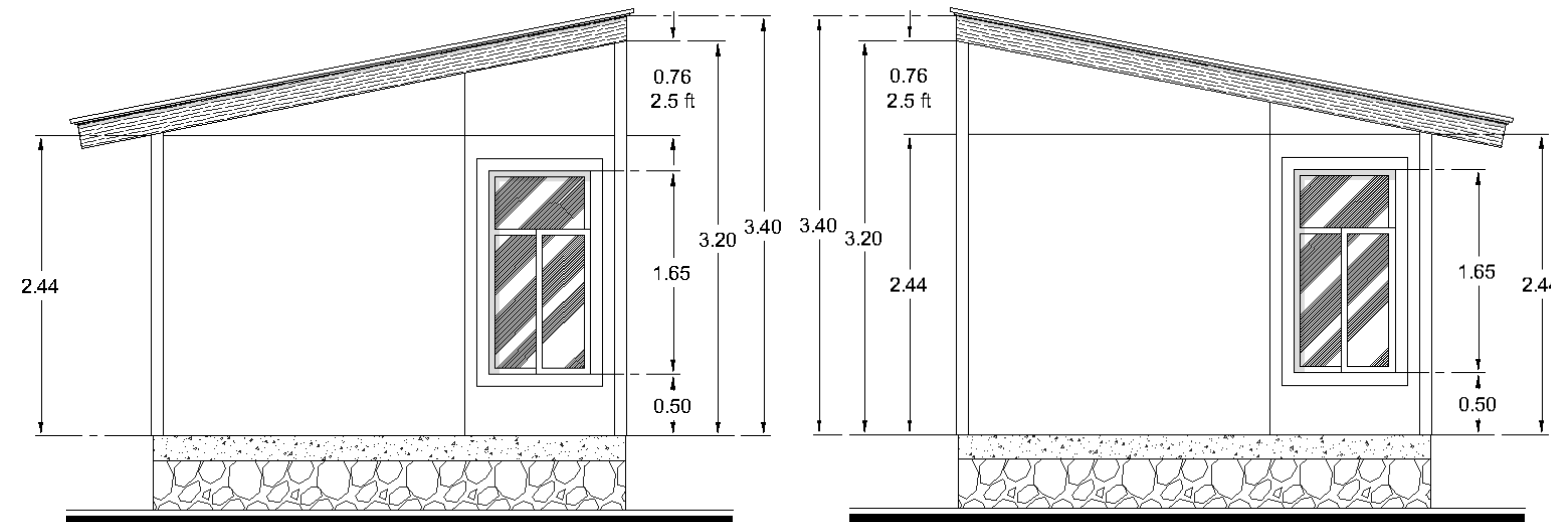
Alzado Posterior





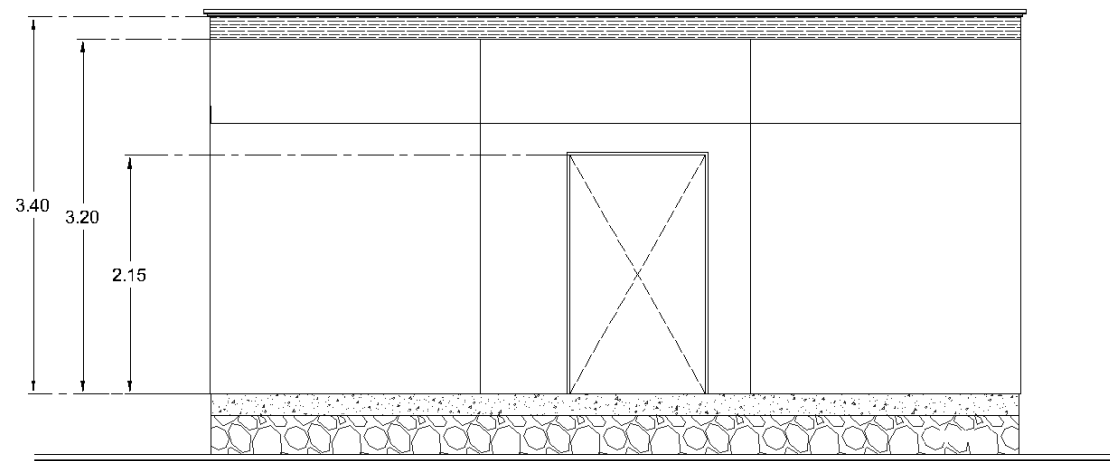


Modulo Dormitorios B.  
28.00 m<sup>2</sup> construidos.

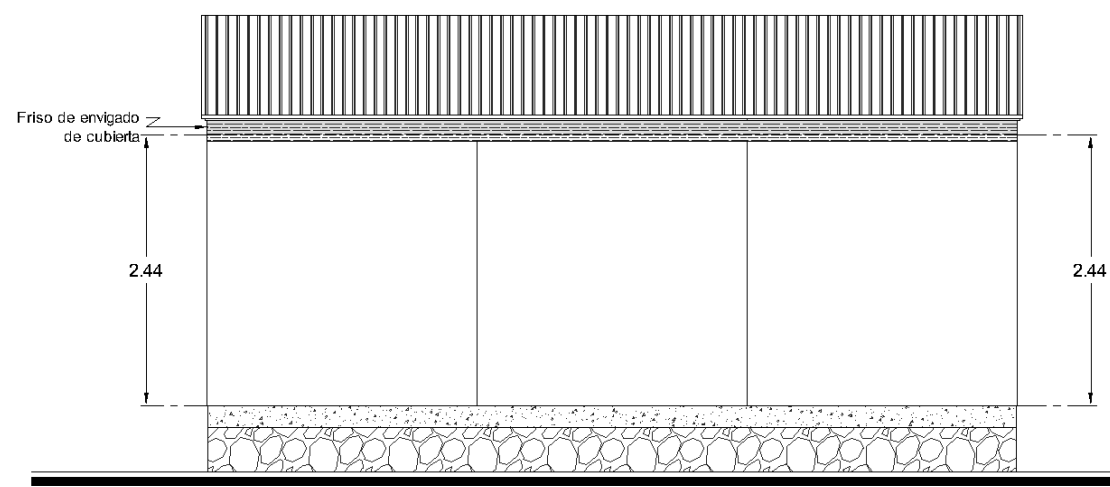


Alzado Lateral Izquierdo

Alzado Lateral Derecho

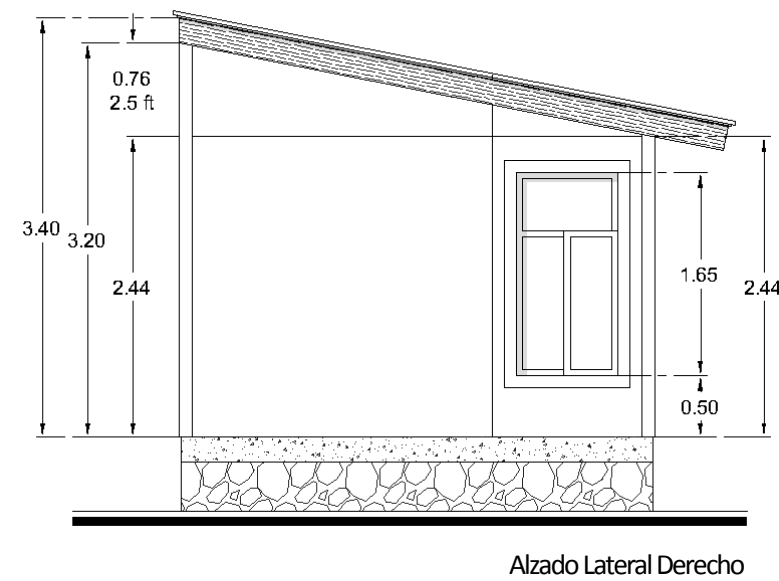
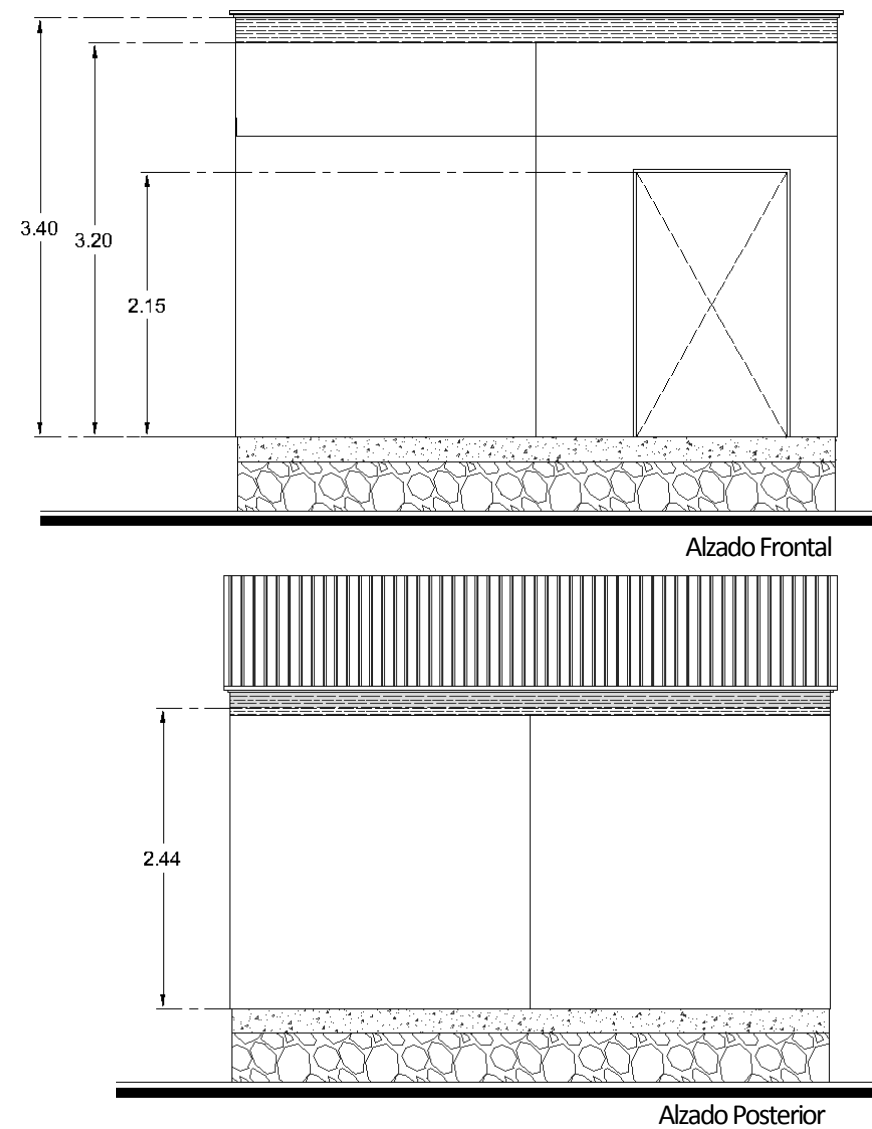
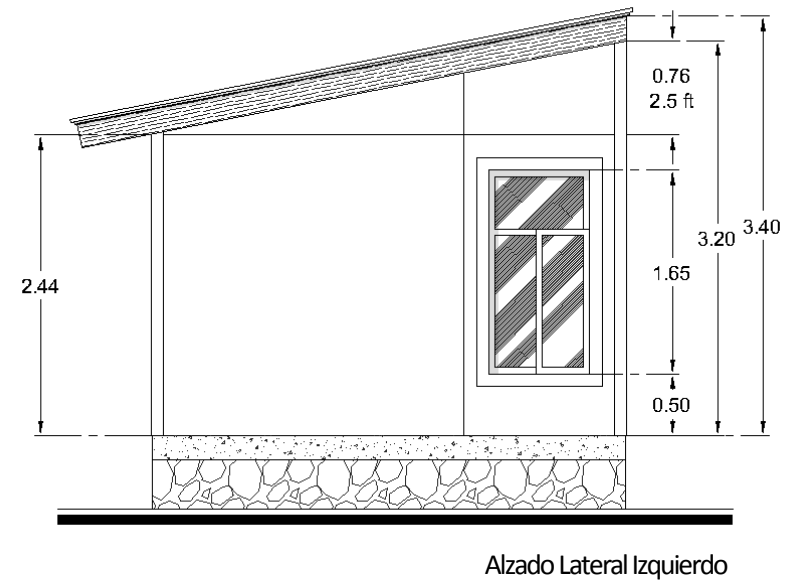
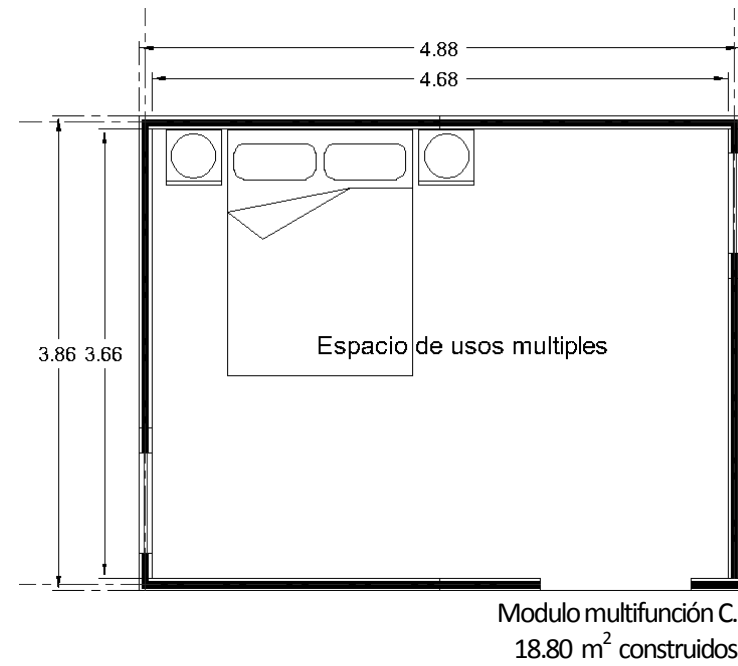


Alzado Frontal

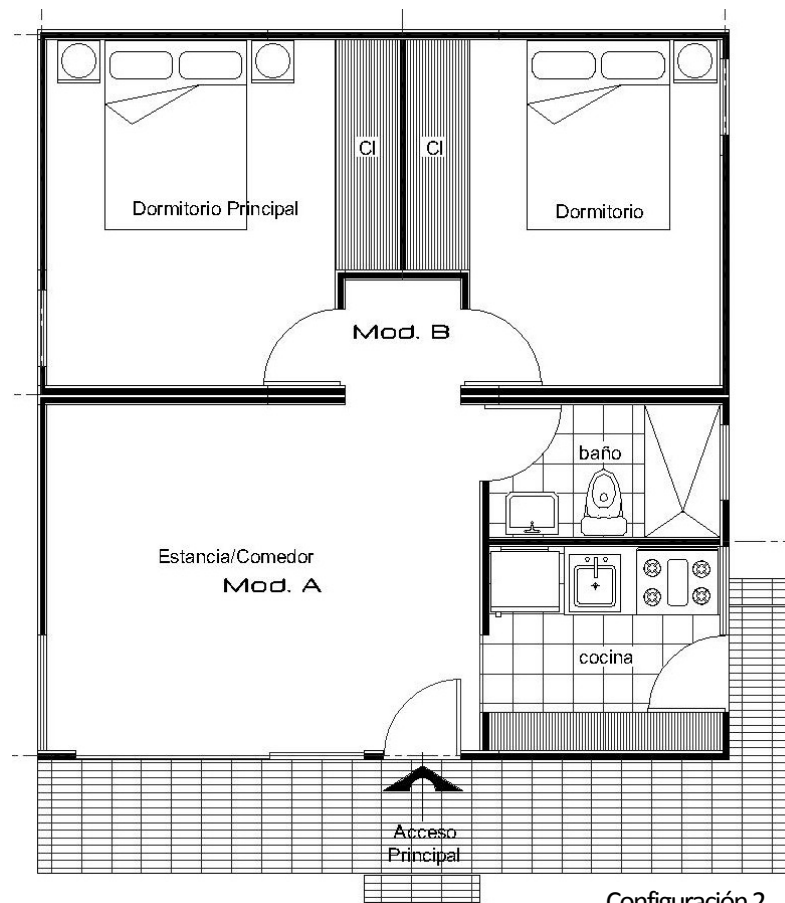


Alzado Posterior

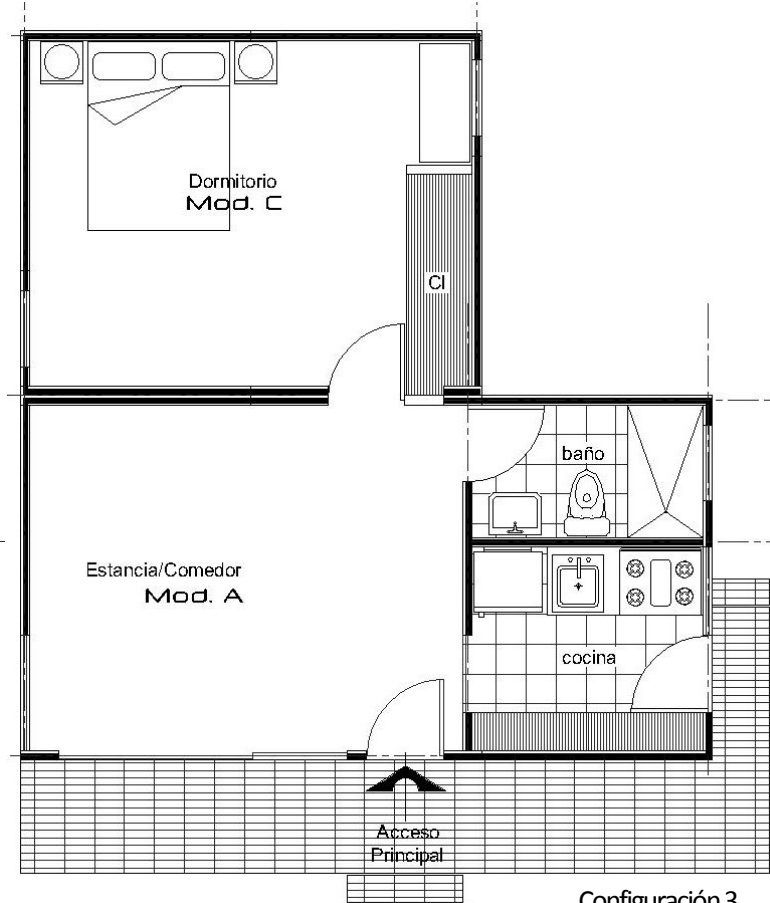








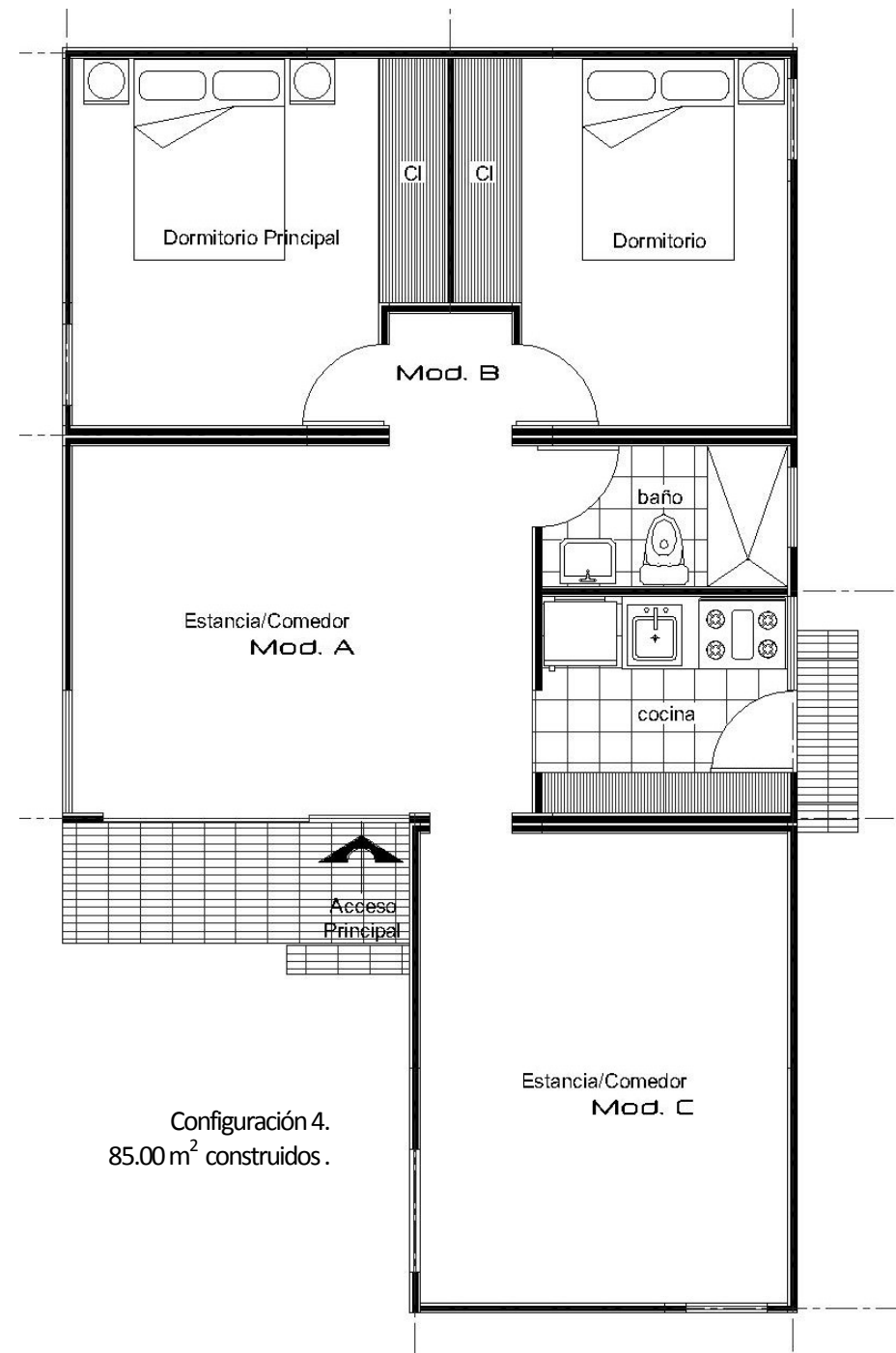
Configuración 2.  
66.20 m<sup>2</sup> construidos.



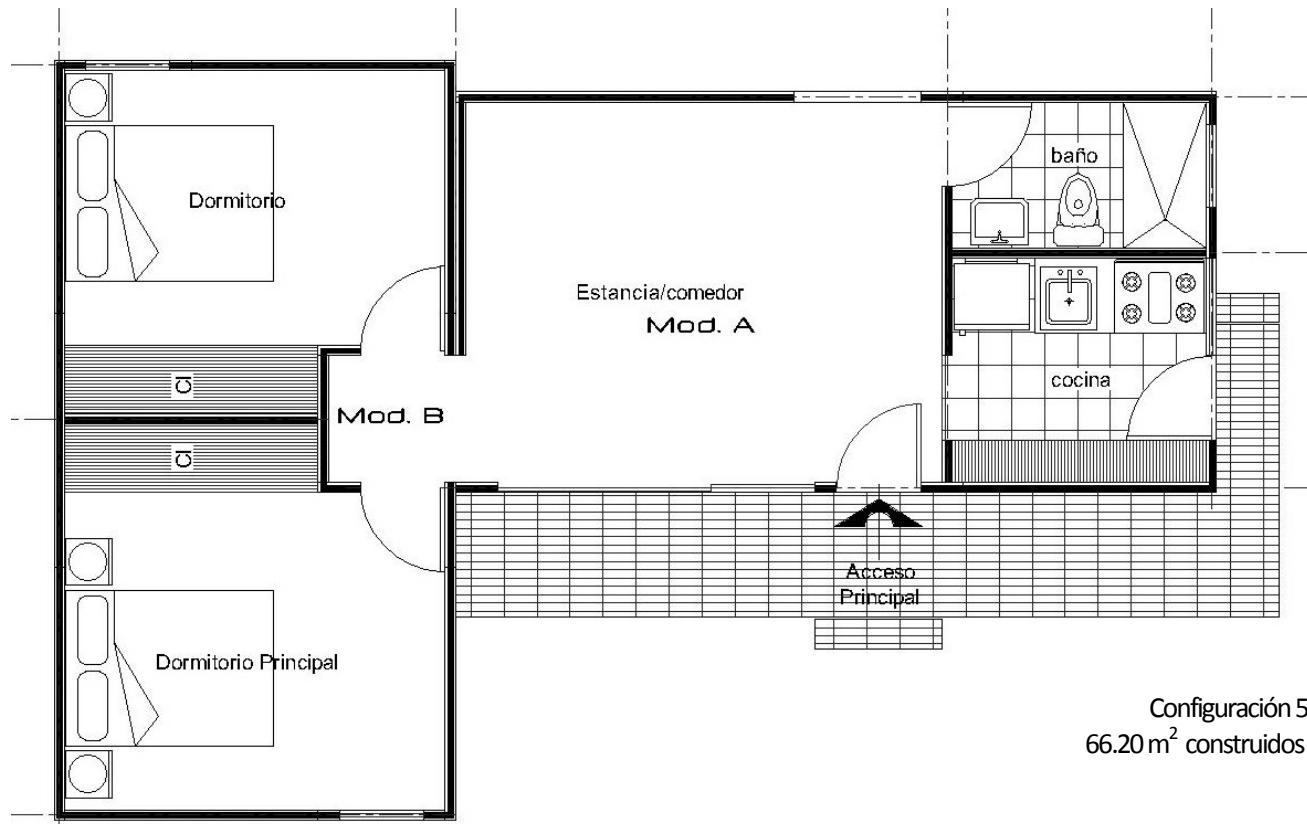
Configuración 3.  
57.00 m<sup>2</sup> construidos.



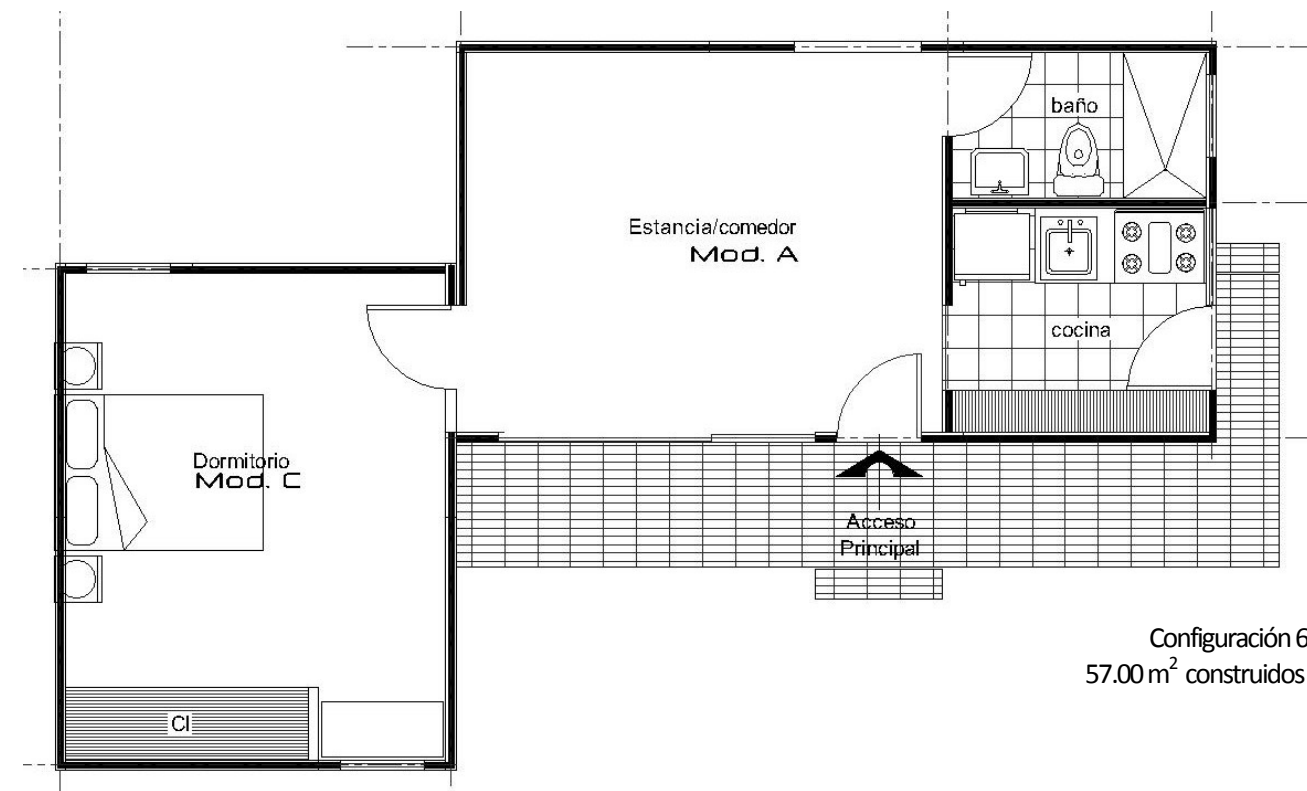




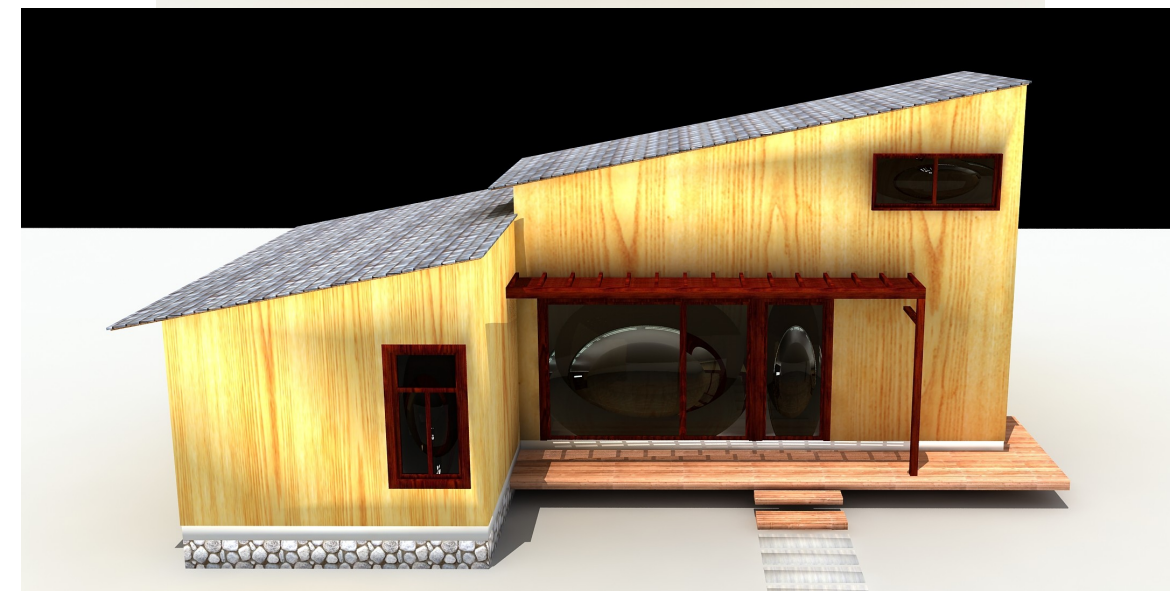
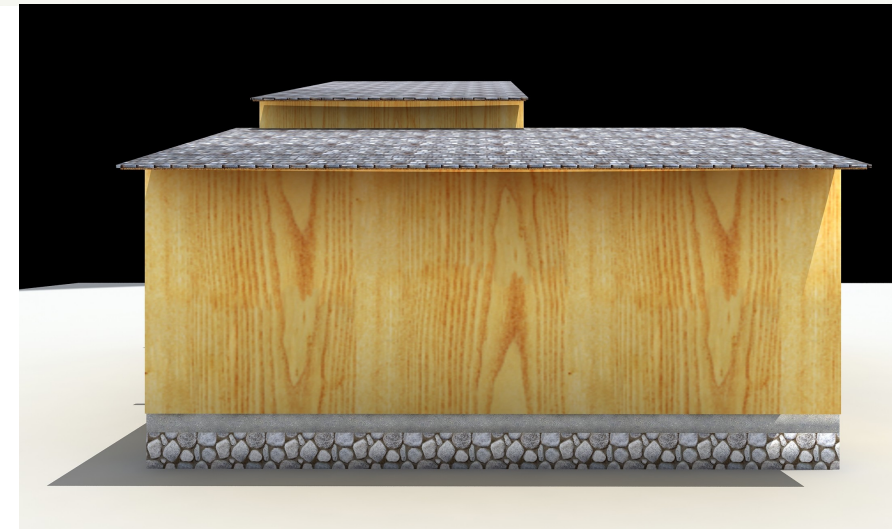




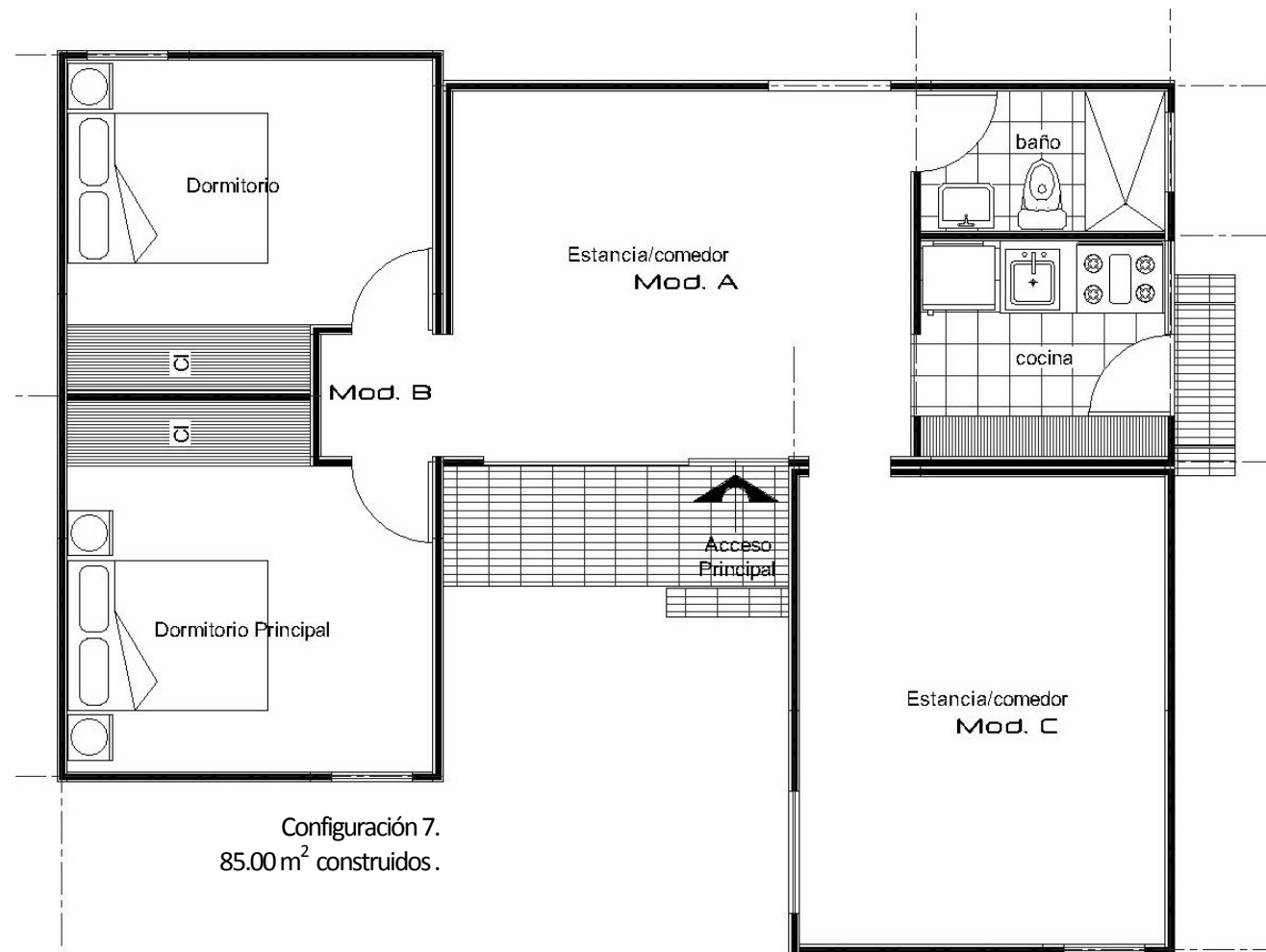
Configuración 5.  
66.20 m<sup>2</sup> construidos.



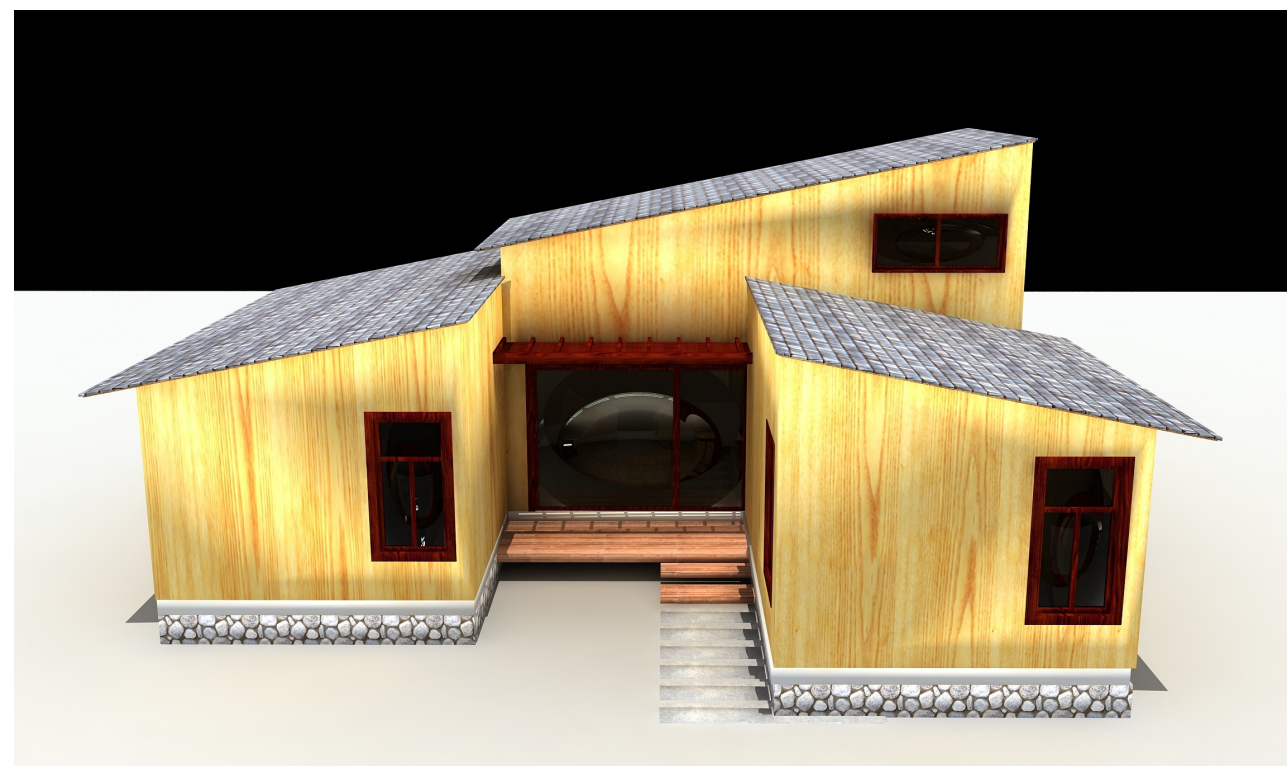
Configuración 6.  
57.00 m<sup>2</sup> construidos.



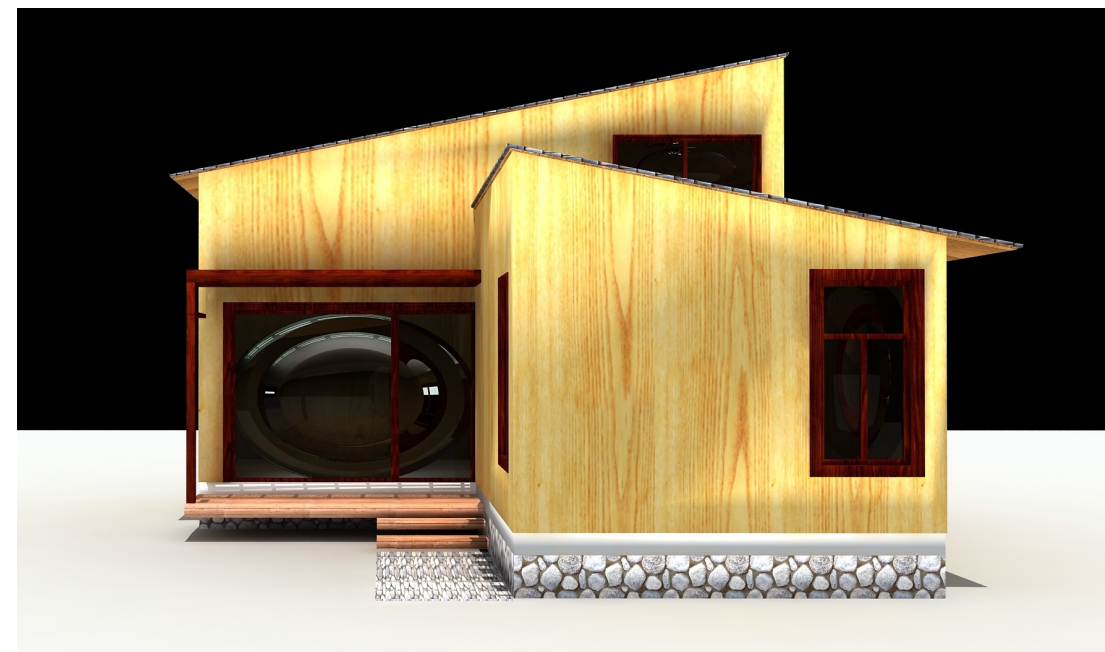
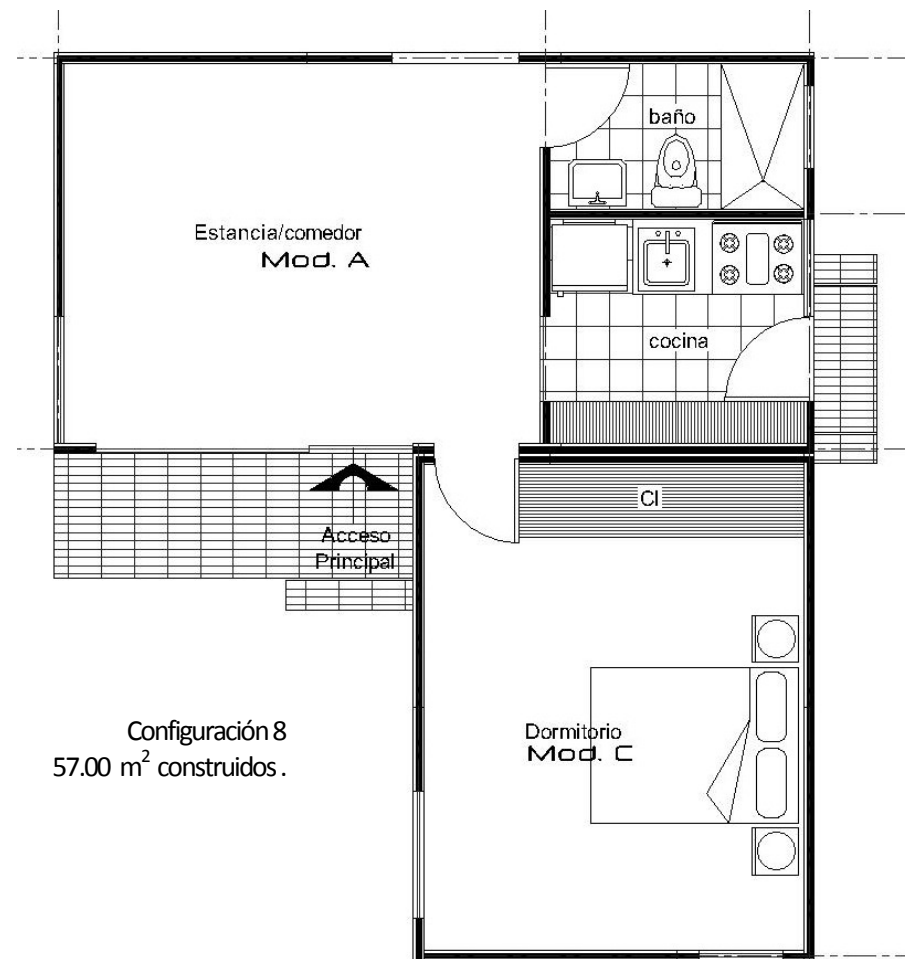




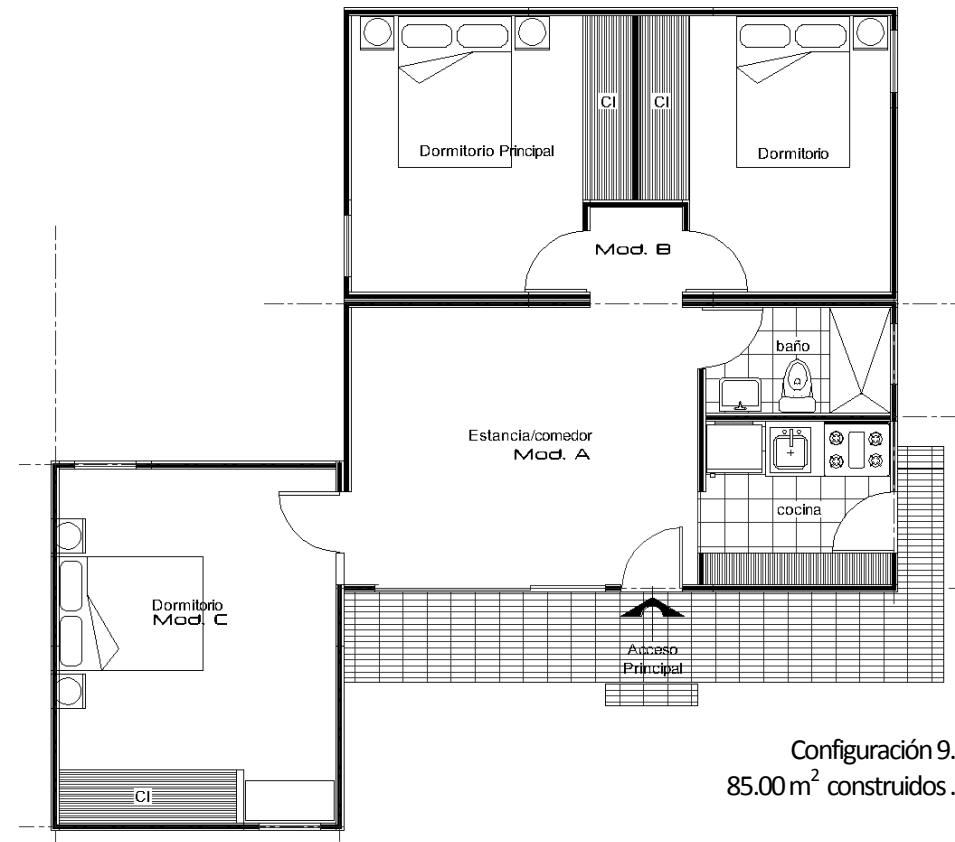
Configuración 7.  
85.00 m<sup>2</sup> construidos.



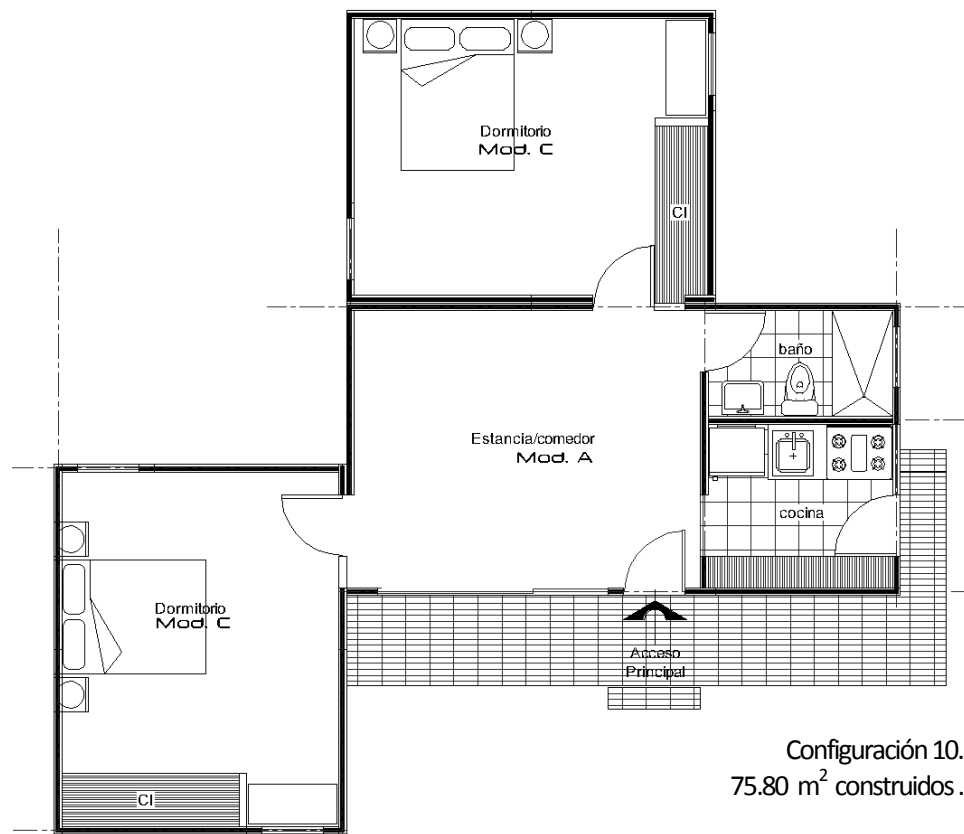




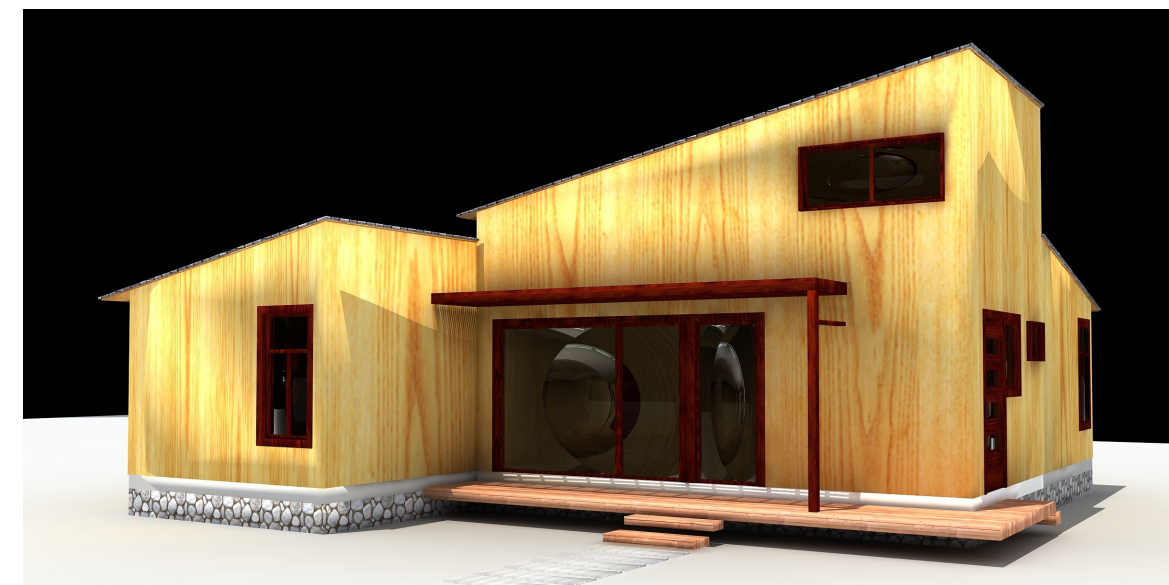




Configuración 9.  
85.00 m<sup>2</sup> construidos.



Configuración 10.  
75.80 m<sup>2</sup> construidos.







Vivienda con forro de contrachapado de madera de pino



Vivienda con forro de duela de madera de pino



Vivienda con forro de contrachapado de madera de pino



Vivienda con forro de duela de madera de pino



### 5.1.3 Sistema estructural.

El principio estructural de los módulos se basa en el funcionamiento del sistema *de entramado ligero de plataforma*, en el cual la cubierta de la edificación se desplanta sobre un sistema de muros a base de paneles de carga. Estos paneles son forrados con tableros contrachapados (Triplay), tableros de partículas orientadas (OSB), o duela, entre otros. Los

base de viguetas<sup>56</sup> de madera de pino de la región, con secciones nominales de 5.08 cm (2") X 20.32 cm (8") y con un largo de 3.86 cm como se muestra la Ilustración 49.

Las viguetas se desplantan sobre los muros panelizados de carga a cada 61.00 cm (2') en el sentido corto del módulo. Encima de las

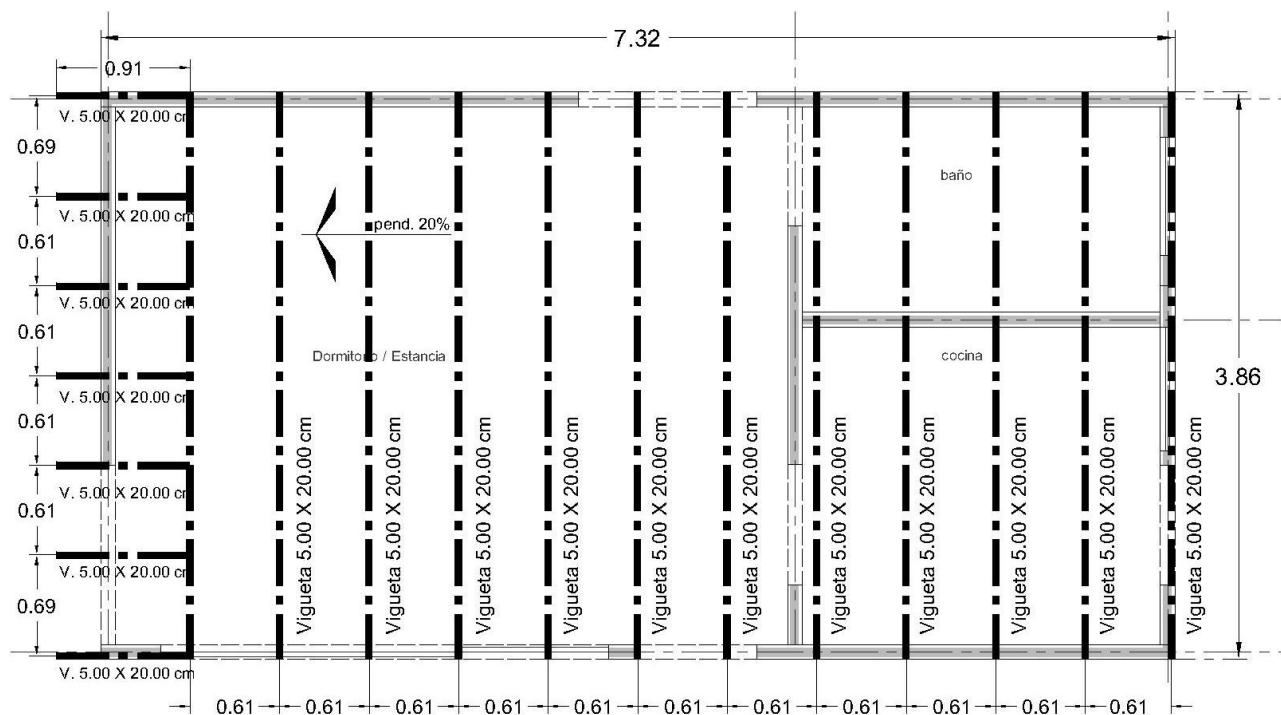


Ilustración 49. Envigado de cubierta en Módulo multifunción A. Fuente: Autoría propia, 2015.

entramados transmiten las cargas que inciden sobre la cubierta, así como el peso propio de todo el sistema hasta la cimentación.

En los tres módulos proyectados se maneja una cubierta con un 20% de inclinación, suficiente para propiciar un adecuado escurrimiento del agua pluvial. Esta cubierta está constituida a

viguetas se desplanta una cubierta a base de un sándwich de contrachapados en sus extremos y un aislante térmico como la fibra de madera o placas de poliestireno expandido.

<sup>56</sup> Según las Normas Técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de madera (1987), las **viguetas** son elementos de madera sometidos a flexión y que están sometidos a distancias cortas (menos de 1.22 m) entre sí, unidos por una cubierta de duelas, o madera contrachapada.

## Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

Dicha cubierta se preparara para recibir un sistema de impermeabilización con teja asfáltica. No obstante, el diseño estructural debe permitir la opción de uso de teja cerámica, tejamanil o lámina galvanizada.

Los paneles se construyen a base de bastidores de madera de pino con barrotes clase estructural "B" de 5.08 cm (2") x 10.16 cm (4") de sección nominal, dispuestos verticalmente a cada 60 cm (16") como se

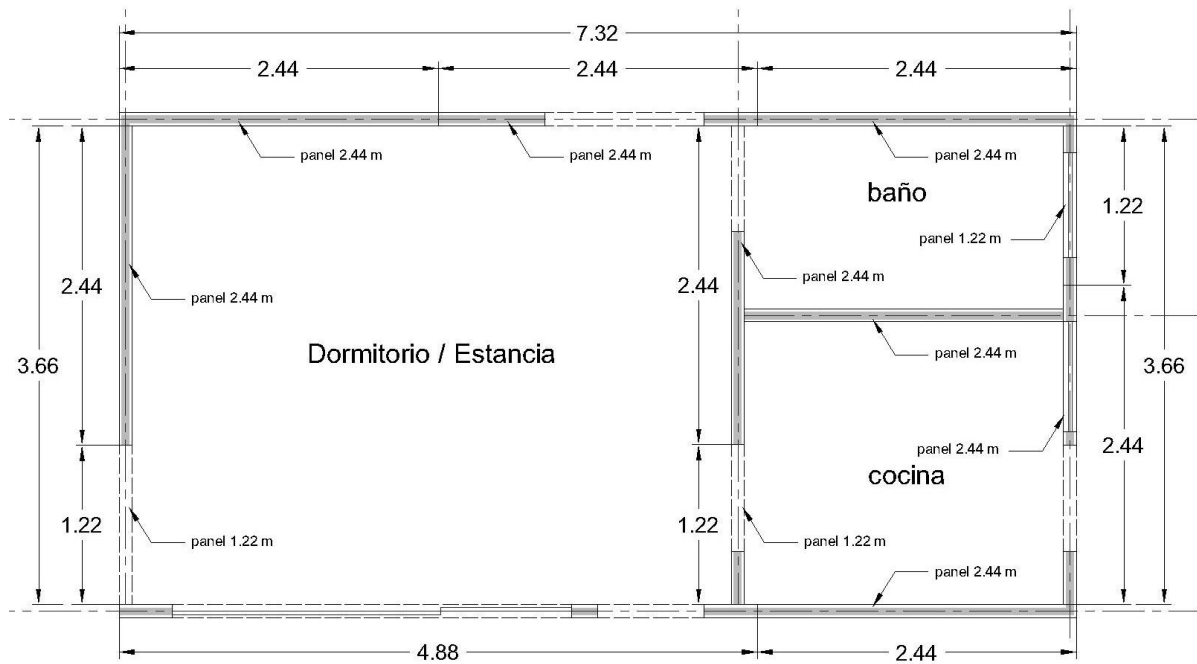


Ilustración 50. Paneles estándar módulo multifunción A. Fuente: Autoría propia, 2015.

Los muros de carga están contruidos a base de paneles de diferentes tamaños. Los paneles de forma cuadrada y rectangular son los que confinan el espacio interior del módulo y generan una altura constante del piso a la solera de amarre, la cual los une entre sí, ayuda a rigidizar los muros y los hace trabajar como un sistema integral. Encima de la solera de amarre, se colocan los "paneles tímpano", necesarios para generar la inclinación de la cubierta.

muestra en la Ilustración 51, contemplándose los tableros contrachapados de 12 mm o más como la opción más económica y viable por su flujo en el mercado local.

El piso de la vivienda se elaborara a base de un firme de concreto pulido, colado encima de una plataforma de tierra compactada en capas de 20 cm.

## Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

Aunque el sistema constructivo no requiere de grandes volúmenes de cimentación, con la finalidad de elevar la edificación del terreno natural y protegerla de la humedad, se propone elaborar una contención perimetral con piedra braza o con piedra bola de la región, ligada en su parte superior con una cadena de desplante de concreto armado, sobre la cual se desplantarán los paneles de carga.

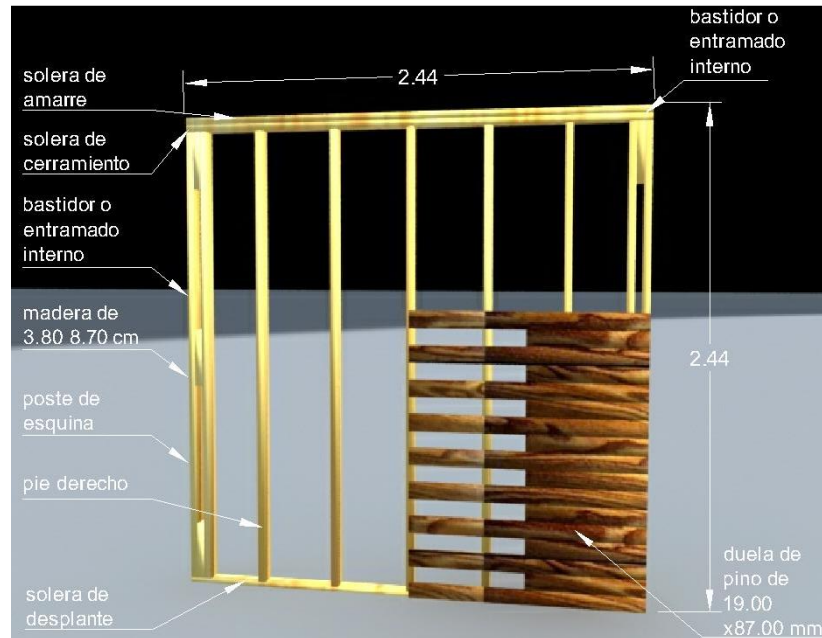


Ilustración 51. Panel de carga con forro de duela. Fuente: Autoría propia, 2015.

### 5.1.4 Sistema de aislamiento Térmico.

La implementación de nuevos sistemas constructivos, los cuales buscan aprovechar de una manera óptima las propiedades de resistencia mecánica de los materiales, es uno de los motivos de que se hayan reducido notablemente en las edificaciones los espesores de muros y cubiertas. Derivado de este hecho, la permeabilidad al calor y al frío, resultando una considerable pérdida energética por el uso de sistemas de calefacción en invierno y de sistemas de aire acondicionado en verano.

Para compensar los efectos de la mayor permeabilidad térmica en paredes y cubiertas, y para satisfacer la necesidad de confort del usuario, se debe calcular cuidadosamente en cualquier tipo de proyecto, cuanto será el valor calorífico que se perderá en invierno, que

entrará en verano y proponer así los aislantes térmicos necesarios.

### Influencia del aislamiento sobre las condiciones de habitabilidad y trabajo.

En invierno, un local que no esté bien aislado no será confortable porque, aunque se gaste una enorme cantidad de combustible o energía eléctrica para compensar las pérdidas de calor, las paredes de dicho local están siempre frías. La radiación fría puede dar resultados perjudiciales ya que las pérdidas de rendimiento en el trabajo a causa del malestar producido oscilan entre el 25% y 30 % del rendimiento inicial de una persona (Paya, 1992).

Durante la estación calurosa, un local sin aislamiento resulta muy caliente, derivado de la ausencia de inercia térmica junto con la fuerza

de transmisión calorífica que se produce a través de paredes y cubiertas. La elevación de la temperatura interior de los locales puede sobrepasar fácilmente la del ambiente exterior a la sombra.

El confort significa, en las viviendas, bienestar, alegría de vivir y habitar y salud, y en los talleres y oficinas, salud y mejor rendimiento del trabajo.

### **Ventajas derivadas del uso de materiales de aislamiento.**

Al complementar con un buen material aislante la permeabilidad térmica, se reducen al mínimo las pérdidas de calor dando lugar a un ahorro energético, ya que la acción retardadora del flujo calorífico hacia el exterior que el aislante lleva a cabo permite una reducción en el funcionamiento de la instalación de calefacción.

El aislamiento ofrece por consiguiente una mayor economía en el consumo energético y logra abatir costos con el uso de instalaciones especiales de calefacción.

Un buen aislante térmico contribuye al mantenimiento de las temperaturas templadas en invierno y frescas en verano dentro de una edificación, suprimiéndose así, las desagradables sensaciones de malestar causadas por el frío y el calor que reducen la producción de los usuarios.

Éste permite también mantener las superficies interiores de paredes y techos a temperaturas muy próximas al ambiente de los locales, por tanto, superiores al valor mínimo límite del punto de rocío.

### **Conceptos básicos de aislación térmica.**

#### **Coefficiente de conductividad térmica.**

La principal cualidad que debe reunir todo material aislante térmico es que realmente aisle, que tenga un coeficiente de conductividad térmica tan bajo como sea posible. No es suficiente que un material aislante tenga un coeficiente de conductividad térmica bajo, sino que es necesario que lo conserve a través del tiempo y durante su colocación definitiva. Existen materiales que son aislantes térmicos pero que con el paso del tiempo van absorbiendo humedad, y disminuyendo su capacidad de aislación.

El coeficiente de conductividad  $\lambda$  cualquier material es la cantidad de calorías que pasa durante una hora por 1 m<sup>2</sup> de un muro de 1 metro de espesor constituido por dicho material, cuando la diferencia de temperatura entre ambas caras del muro es de 1° C. Así pues, el coeficiente de conductibilidad térmica determina el poder de transmisión del calor, a través de un cuerpo.

**Tabla 7. Coeficientes de conductividad térmica.** Fuente: (Paya, 1992)

Material	Coefficiente $\lambda$
Placas de Poliestireno	0.024 a 0.03
Fibra de vidrio	0.028
Corcho aglomerado puro	0.028 a 0.032
Paneles de fibra de cáñamo	0.032
Paneles de celulosa reciclada	0.033
Paneles de fibra de coco	0.038
Paneles de fibra de lino	0.040
Corcho aglomerado con brea	0.042
Placas de lana mineral	0.045
Vermiculita exfoliada	0.05
Paneles de fibra de madera blanda	0.05
Concreto celular de densidad de 300 kg/m <sup>3</sup>	0.05
Fibro-concreto granulado	0.065
Concreto celular de 350 kg/m <sup>3</sup>	0.068
Concreto celular de 400 kg/m <sup>3</sup>	0.070
Paneles de viruta de madera	0.080
Concreto celular de 500 kg/m <sup>3</sup>	0.090
Fibro-concreto moldeado	0.098
Concreto celular de 700 kg/m <sup>3</sup>	0.120
Madera de pino	0.140 a 0.300
Madera de Encino	0.180 a 0.350
Concreto celular de 1000 kg/m <sup>3</sup>	0.182
Cámara de aire	0.280
Paneles de yeso	0.300
Ladrillo hueco	0.350
Yeso en revestimiento interior	0.480
Arena	0.500
Vidrio	0.500 a 1
Concreto de escorias	0.600
Placas de fibrocemento	0.700
Ladrillo macizo	0.750
Aplanado de mortero en exteriores	0.750
Asfalto	0.800
Losetas y azulejos comunes	0.900
Concreto común sin vibrar	0.920
Concreto común vibrado	1.200
Concreto armado	1.300
Pared de mampostería	1.300 a 2.100
Piedras areniscas y calizas	1.500
Pizarra	1.800
Mármol	1.800 a 3.000
Piedras naturales compactas	2.500
Granito	2.700 a 3.500
Plomo	30.000
Hierro	45.000
Zinc	95.000
Aluminio	175.000



La pérdida de calorías es proporcional al coeficiente  $\lambda$ , y por ello los materiales aislantes deben tener este coeficiente tan pequeño como sea posible.

En la Tabla 7 se indica el coeficiente de conductibilidad térmica de los materiales más comunes empleados en la construcción.

#### **Coeficiente de transmisión calórica.**

Entre un ambiente que está, a una temperatura determinada  $t_1^\circ$ , y otro que está a una temperatura interior  $t_2^\circ$ , separados ambos por una pared materia (muro, entramado, cubierta, etc.), de superficie  $S$  m<sup>2</sup>, se produce cada hora un flujo de calor  $Q_{cal}$  expresado por la siguiente formula:  **$Q = K S (t_1 - t_2)$**

El coeficiente  $K$  es el “coeficiente de transmisión de calor” de la pared considerada.

#### **Supresión de condensaciones.**

Durante las horas en que la calefacción de una edificación no funciona, ésta sigue de igual manera perdiendo calorías; pierde las que se han acumulado durante el día y que habrá de renovar el día siguiente.

Al existir en invierno una considerable diferencia entre la temperatura de la cara interna de la cubierta o pared y la temperatura ambiente del local, el vapor de agua contenido en el aire al contacto con la capa de aire fría, dando lugar a la formación de humedades que, transformadas en gotas, producen el efecto de lluvia en el interior de los locales, con los consiguientes riesgos.

Las condensaciones producen la destrucción de los aplanados, e incluso pueden ser perjudiciales para la estructura, por producir la oxidación del hierro y la lenta putrefacción de la madera.

#### **Humedad relativa.**

El aire es capaz de contener cierta cantidad máxima de vapor de agua, cantidad que aumenta con la temperatura. Es así que a  $20^\circ$  C un metro cubico de aire puede contener 17.2 grs. De vapor de agua y en  $30^\circ$  C puede contener 30 grs.

Generalmente, el aire contiene una cantidad de agua inferior al máximo. Si por ejemplo, a  $20^\circ$  C el aire no contiene más de 12.9 grs. De vapor de agua, su humedad relativa es:

$$12.9/17.20 \times 100 = 75\%$$

#### **Punto de Rocío.**

El punto de rocío es la temperatura a la cual llega a saturarse de vapor de agua, de manera que la más pequeña baja de temperatura provoca condensaciones.

Suponiendo un aire a  $24^\circ$  con 75% de humedad relativa. Como el aire a  $24^\circ$  puede contener, como máximo, 21.6 grs. De vapor de agua, esto significa que contiene realmente:

$$21.6 \times 75 / 100 = 16.2 \text{ grs. de vapor de agua.}$$

En la Tabla 8 se indica que el punto de rocío que corresponde a 16.2 grs de vapor de agua es de  $19^\circ$  C. si la temperatura baja a menos de  $19^\circ$  C habrá condensación. Por consiguiente para no tener el efecto de condensación en las

**Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango**

paredes y plafones del local deberán estar a más de 19° C.

**Tabla 8. Humedad Máxima del Aire** (grado higrométrico: 100%). Fuente: (Paya, 1992)

Temperatura en C°	Peso del vapor de agua	Temperatura en C°	Peso del vapor de agua
+ 0	4.9 grs/m <sup>3</sup>	+18	15.3 grs/m <sup>3</sup>
+1	5.2 grs/m <sup>3</sup>	+19	16.2 grs/m <sup>3</sup>
+2	5.6 grs/m <sup>3</sup>	+20	17.2 grs/m <sup>3</sup>
+4	6.4 grs/m <sup>3</sup>	+22	19.3 grs/m <sup>3</sup>
+6	7.3 grs/m <sup>3</sup>	+24	21.6 grs/m <sup>3</sup>
+8	8.3 grs/m <sup>3</sup>	+26	24.2 grs/m <sup>3</sup>
+10	9.4 grs/m <sup>3</sup>	+30	30.1 grs/m <sup>3</sup>
+12	10.6 grs/m <sup>3</sup>	+36	41.4 grs/m <sup>3</sup>
+14	12 grs/m <sup>3</sup>	+40	50.8 grs/m <sup>3</sup>
+16	13.6 grs/m <sup>3</sup>	+44	61.9 grs/m <sup>3</sup>

### **Materiales aislantes.**

A continuación se describe el origen y las características de algunos materiales de origen vegetal y otros sintéticos que pueden ser considerados en el proyecto.

#### **El corcho y sus derivados.**

El corcho proviene de la corteza del árbol denominado alcornoque, el cual está constituido principalmente por células tubulares microscópicas de tejido orgánico, llenas de aire, sin comunicación alguna entre sí y aglomeradas con sustancias resinosas. Dichas células se hacen elásticas por la impregnación de suberina y engrosando por yuxtaposición se forma el corcho grueso, material elástico, impermeable y eminentemente aislante.

El corcho debido a sus propiedades de alternancia, a su ligereza y a su moderado costo, ha permitido su empleo en construcción, principalmente en forma de corcho aglomerado.

Entre las diferentes propiedades de los aglomerados de corcho, cabe destacar las siguientes:

- a) Densidad de 150 a 260 kg. /m<sup>3</sup>
- b) Resistencia a la compresión de 12 a 18 kg/cm<sup>2</sup>
- c) Resistencia a la flexión de 4-8 kg/cm<sup>2</sup>
- d) Coeficiente de conductividad térmica de 0.032

El corcho es imputrescible y elástico, puede aserrarse fácilmente, clavarse y aplanar con

**Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango**

mortero o yeso, cemento y asfalto. Su combustión es muy lenta, lo que lo vuelve un material idóneo para proteger a las estructuras metálicas de la acción ígnea.

A continuación en la tabla Tabla 9 se muestran los espesores recomendados de corcho para diferentes aplicaciones en la construcción.

**Tabla 9. Aplicaciones del Corcho Aglomerado.** Fuente: (Paya, 1992)

Aplicaciones	Espesores	Peso en kg por m <sup>2</sup>
Aislamiento en paredes	25 a 33 mm.	3.25 - 4.30
Aislamiento en terrazas	33, 37 y 50 mm.	4.30, 4,85 y 6.50
Aislamiento en plafones	33, 37 y 50 mm.	4.30, 4,85 y 6.50
Cámaras frigoríficas	75 y 150 mm.	9.75 y 19.50

El corcho se distribuye en granulado de corcho que se aglutina con su propia resina en láminas, bloques, tableros o en forma granular. Se puede instalar en paredes, suelos y cubiertas. El corcho tiene un excelente ciclo de vida, es respetuoso con el medio ambiente, tiene una larga durabilidad, no lo atacan los insectos, tiene una gran resistencia ante los agentes químicos, es reciclable y reutilizable, y en caso de convertirse en residuo es completamente biodegradable.

#### **Fibra de madera y derivados.**

Los tableros de fibra de madera están compuestos por trozos de madera procedente de desperdicios del proceso de aserrío, mediante un proceso de desfibrado los trozos de madera se trituran hasta que se unifica la fibra. Ya que los aislantes de fibra de madera provienen de madera de residuo, esto hace que los productos elaborados a base de estas fibras sean respetuosos con el medio ambiente por lo tanto la energía incorporada al material es baja. El coeficiente de conductividad térmica del material es 0.05, lo cual lo hace un buen material de aislamiento.

El material se presenta en formato de paneles de diferentes grosores desde 18 hasta 240 mm. Estos paneles son de fácil instalación y se pueden adaptar a cualquier tamaño por medio de cualquier instrumento para cortar madera. Los paneles se pueden instalar por su diseño tipo machihembrado, fijándolas con unos tirafondos y grapones de dorso colocados más o menos entre 60 a 90 cm de separación. Como la instalación es en seco los paneles se pueden remover a la hora de demoler la construcción, lo que permite que los paneles se puedan reutilizar o reciclar.

#### **Paneles de fibra de madera y cemento.**

Este material se presenta en forma de placas de 4 cm de espesor, constituidas esencialmente por un enlace de fibras de madera químicamente impregnadas y adheridas con cemento bajo presión

controlada. Como resultado del proceso de fabricación se forman numerosos huecos, a manera de celdas que retienen el aire, y en consecuencia adquieren notables cualidades de aislamiento tanto térmico como acústico.

Por otra parte la mezcla íntima del cemento con la fibras de madera, confiere a este material propiedades anti fuego. Su peso es de  $25 \text{ kg/m}^2$ . Los paneles de fibra de madera y cemento tienen aplicación dentro de la construcción para la construcción de cubiertas y cerramiento, así como revestimiento de paredes divisorias, entramados de madera, forrado de suelos y plafones.

### **Fibra de cáñamo.**

La fibra de cáñamo proviene de la planta del mismo nombre. Esta planta tiene la cualidad de ser de rápido crecimiento, ya que en 120 días puede alcanzar una altura promedio de hasta 4 m. No requiere de productos químicos como herbicidas o fertilizantes ya que la maleza no crece a sus alrededores.

La composición del material es una matriz hecha a base de las fibras del tallo de la planta. Se distribuye en paneles flexibles, lo cual permite la instalación en paredes, pisos y cubiertas, permitiendo la instalación en edificaciones nuevas o en la remodelación de construcciones viejas.

### **Fibra de lino.**

El lino es una planta de fácil cultivo y de bajo impacto. Al igual que los aislantes térmicos de fibra de cáñamo, la materia prima de este producto proviene de una planta lo cual contribuye positivamente en el ciclo de vida del material y del edificio en el que se aplica.

Este material es un excelente aislante térmico, tiene buena capacidad de regulación hidrométrica, sin disminuir las cualidades aislantes. No es irritante, es reciclable, con buena resistencia mecánica, y estable durante su vida útil. El formato de producción es en paneles, rollos o proyectado, con una composición de 85% de fibra de lino y 15% de fibras termo fusibles de poliéster. Su sistema de instalación es por medio de grapas que fijan el panel a una subestructura de madera.

### **Fibra de Coco.**

Esta fibra proviene de la cáscara externa de los cocos con un proceso de transformación mínimo y sin aditivos. La fibra de coco es un producto natural, inodoro y posee buenas propiedades térmicas y acústicas. Es una de las pocas fibras naturales que es altamente resistente a la putrefacción, por lo tanto tiene una gran durabilidad.

A pesar de que provienen de un árbol y le da uso a un residuo de su fruto, dependiendo de dónde esté ubicado el proyecto de construcción puede tener gran impacto ecológico, ya que esta fruta proviene de climas tropicales y esto puede impactar el transporte de la materia prima a la planta de producción del material y luego al lugar de construcción.

**Algodón.**

La fibra de algodón provienen de una planta que se cultiva en regiones cálidas, esta planta es de fácil cultivo y de bajo impacto. La fibra generada se caracteriza por poseer una gran resistencia, facilidad en el trenzado y en el teñido, por lo cual es muy usado en la industria textil y como aislante en el sector de la construcción.

El formato de producción es en mantas, placas o granel, con distintas densidades, grosores y capacidades aislantes. Los productos aislantes de algodón se fabrican con 75% algodón virgen y con 25% fibra de algodón de textil reciclado.

**Celulosa.**

Este material aislante se obtiene a partir del reciclaje del papel periódico. Dándole a la celulosa empleada para fabricar el papel del periódico una segunda vida útil. El periódico reciclado se muele hasta hacer un especie de pasta a la que se le añaden sales de bórax (anti hongos, insecticida e ignífugo). Este material se puede adherir en forma de placas dentro de un entramado de madera o se proyecta húmedo.

Es un buen aislante tanto térmico como acústico, como características principales cabe destacar sus cualidades higroscópicas, su resistencia al fuego y la posibilidad de reciclaje o reutilización.

## 5.2 Revisión de propiedades de los módulos diseñados.

En esta parte del documento se presenta el diseño de investigación mediante el cual se revisó el sistema proyectado para medir y comparar las variables dependientes de resistencia estructural, resistencia al flujo de calor, costo del sistema y grado de aceptación de la vivienda de madera contra las características de una vivienda construida bajo el sistema de concreto tabique.

En una primer etapa se analizó de manera numérica el funcionamiento integral del sistema estructural propuesto. Se revisaron los principales elementos horizontales y verticales que intervienen para la canalización de las cargas que inciden sobre la estructura desde la cubierta hasta llegar a la cimentación, todo de acuerdo a lo indicado por la Norma técnica complementaria de diseño y construcción de estructuras de madera del reglamento de construcción del D.F.

Una vez que se tiene el diseño que satisface las necesidades estructurales del proyecto, en una segunda etapa se revisan diferentes materiales para comparar el flujo de calor que estos presentan trabajando de manera integral con los materiales del sistema de muro y de cubierta.

Posteriormente ya con un sistema constructivo bien definido en el aspecto arquitectónico, estructural y de aislación térmica, se procede a elaboración de comparativas económicas para ver en qué medida es posible abatir costos con respecto al sistema tradicional de concreto-tabique.

Finalmente en una cuarta etapa se llevan a cabo la aplicación de encuestas bajo la escala de likert en un muestra de la población con la finalidad de observar el grado de aceptación de la vivienda de madera en la región de estudio.

### 5.2.1 Revisión de la estructura.

Los aspectos más importantes por considerar en el cálculo y revisión estructural de un sistema constructivo con madera son las cargas que inciden sobre la estructura, los esfuerzos de compresión, tensión y corte que éstas producen sobre los principales elementos estructurales, así como las deformaciones permisibles sobre los mismos.

Los principales elementos de carga que conforman la cubierta son las viguetas. En el caso de los muros de carga, estos están conformados por paneles que a su vez están constituidos por contrachapados y bastidores de barrotos ubicados a separaciones constantes.

Con base en lo señalado anteriormente se llevó a cabo la revisión por flexión, flecha permisible, cortante horizontal y aplastamiento del área de apoyo en viguetas. Los elementos de carga vertical (para este caso barrotos) se revisan por esbeltez y por esfuerzos permisibles de compresión.

El procedimiento para el cálculo numérico comprende al menos cinco pasos básicos:

- 1) Análisis de las cargas totales que inciden sobre la cubierta
- 2) Análisis de las cargas distribuidas correspondientes a una vigueta.
- 3) Revisión del tipo de viguetas propuestas.
  - a) Revisión a flexión.
  - b) Deflexión máxima.
  - c) Cortante.
  - d) Aplastamiento.
- 4) Revisión de los elementos verticales
  - a) Presión de diseño del viento.
  - b) Calculo del peso último.
  - c) Calculo del peso resistente.
  - d) Momento flexionante debido a la presión del viento.
  - e) Calculo de momento resistente.
- 5) Revisión de la cimentación propuesta.

### Viguetas.

#### Esfuerzos de flexión.

El diseño de una viga para resistir esfuerzos de flexión, se lleva a cabo mediante el uso de la fórmula de la esquadria de la flexión.

$$M_R = F_R f_{tu} S \Phi$$

Dónde:

$f_{tu}$  = Es el valor modificado de esfuerzos en flexión.

$S$  = Modulo de sección.

$\Phi$  = Factor de estabilidad lateral.

$F_R$  = Factor de resistencia.

Aunque existen tablas donde se proporcionan los módulos de elasticidad para diferentes secciones de madera, en ocasiones es conveniente el uso de la fórmula:

$$S = bh^2/6$$

Despejada de:

$$S = I/C = (bh^3/12)/h/2 \quad S = (2bh^3)/12h = bh^2/6$$

Las dimensiones de una viga de madera se dan mediante su tamaño máximo nominal. Sin embargo esto no proporciona las dimensiones verdaderas de la sección, ya que las cuatro caras de una viga de madera se cepillan en el aserradero. El tamaño nominal, llamado también dimensión sin labrar, es el tamaño cepillado que se compra en las madererías.

Como el módulo de sección ( $S = bh^2/6$ ) varía con el cuadrado del peralte y directamente con el ancho, por consiguiente las secciones de mayor peralte son las más económicas.

### **Esfuerzo cortante.**

En toda viga existe una tendencia a fallar por cortante vertical, la magnitud del cortante vertical máximo "V", en vigas libremente apoyadas, es igual a la de mayor reacción, y en vigas con carga simétrica, igual a la mitad de la carga total. Se supone que los esfuerzos cortantes están distribuidos uniformemente sobre sección transversal de la pieza y que el

esfuerzo cortante vertical en vigas de sección rectangular es igual a:

$$V/bh$$

No obstante es más probable que la viga falle debido a la tendencia de sus fibras a deslizar en una dirección horizontal conociéndose esto como cortante horizontal. Los esfuerzos por este concepto no están distribuidos por igual en toda la sección transversal sino que su valor máximo es igual a 3/2 veces del esfuerzo cortante vertical promedio.

La sección crítica para cortante de vigas se toma a una distancia del apoyo igual al peralte de la viga.

La resistencia a cortante de diseño  $V_R$ , en las secciones críticas de vigas se obtiene por medio de la expresión:

$$V_R = \frac{F_R f_{vu} bd}{1.5}$$

Dónde:

$f_{vu}$  = Factor modificado de esfuerzo cortante paralelo a la fibra.

$F_R$  = Factor de resistencia.

La resistencia de la madera al cortante horizontal es relativamente baja, por lo que las vigas de claro corto con cargas altas deben revisarse siempre por este concepto. Las vigas de claro corto deben tener una sección suficiente para resistir los esfuerzos de flexión como para resistir también los esfuerzos de cortante horizontal.



**Deflexión.**

Una viga que soporta un piso puede tener un tamaño suficiente para resistir la carga con seguridad, pero su deflexión puede ser tan grande que ocasione agrietamientos en el aplanado del techo correspondiente o bien puede librar en forma notoria. Por esto existe la necesidad de que la viga sea diseñada no solo por resistencia, sino también por rigidez.

Según la NTC para el Diseño y Construcción de estructuras de madera (Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal, 1987), las deflexiones calculadas tomando en cuenta los efectos a largo plazo no deberán exceder de los siguientes límites:

- a) Para claros menores de 3.5 m, una flecha vertical igual al claro entre 240 o el claro entre 480 cuando se afecten elementos no estructurales.

- b) Para claros mayores a 3.5 m, una flecha vertical igual al claro entre 240 + 5 mm o el claro entre 480 + 3 mm cuando se afecten elementos no estructurales.

**Aplastamiento. Resistencia a la compresión perpendicular a la fibra.**

La resistencia de diseño,  $N_R$ , de miembros sujetos a compresión perpendicular a la fibra se obtiene por medio de la expresión:

$$N_R = F_R f_{nu} A_a$$

Dónde:

$F_{nu}$  : Valor modificado del esfuerzo de compresión perpendicular a la fibra.

$A_a$  : área de superficie de apoyo; y

$F_R$ : factor de resistencia.

**Columnas y barrotes en entramados de madera.**

Tanto las columnas que consisten en una sola pieza, como aquellas que se componen de varias pegadas entre sí, se diseñan como unidades es decir como columnas macizas. La NTC de diseño y construcción de estructuras de madera indica que:

“toda columna deberá dimensionarse como miembro sujeto a flexo compresión independientemente de que el análisis no haya indicado la presencia de momento”. (Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal, 1987).

Los dos factores más importantes por considerar en el cálculo de una columna son la relación de esbeltez y los esfuerzos permisibles de compresión paralelo a la fibra.

La resistencia a compresión de diseño,  $P_R$ , que deberá usarse en las fórmulas de interacción se obtiene por medio de la fórmula:

$$P_R = F_R f_{cu} A$$

Dónde:

$F_{fu}$  = valor modificado de esfuerzo de compresión paralelo a la fibra.

$A$  = Área de sección;  $y$

$FR$  = Factor de resistencia.

En el caso de columnas compuestas de dos o más elementos, la esbeltez se considerara de manera independiente para cada elemento a no ser que se prevea un dispositivo que una los extremos de los elementos rígidamente y espaciadores adecuados.

La relación de esbeltez de una columna solida es la relación de la longitud sin apoyo de la columna a la dimensión de su lado menor. La fórmula  $l/h$  proporciona la relación de esbeltez para columnas de madera y no debe ser mayor a 50.

En dicha fórmula  $l$  = Longitud de la columna sin considerar los apoyos y  $h$  = dimensión del lado menor. Cabe resaltar que cuando se calcula la resistencia de los barrotes de un entramado ligero,  $h$  será igual a la dimensión del lado mayor de la sección, ya que se supone que los barrotes tienen un amplio contra venteo lateral paralelo a la pared sobre la dimensión menor de la escuadría.

Los muros de entramado ligero suelen ser muy resistentes a la acción de cargas verticales, sin embargo siempre es conveniente calcular las cargas que estos pueden soportar, así como la separación adecuada de los barrotes y de los contra venteos.

Cada elemento vertical dentro de un entramado, se puede calcular como una columna independiente. Haciendo la sumatoria de las cargas que cada sección resiste, se puede obtener la carga permisible sobre unidades lineales.

Cuando un entramado depende únicamente del contra venteo para el apoyo lateral, la separación máxima vertical, en pulgadas, entre hileras de crucetas de contra venteo, se puede obtener de manera rápida multiplicando la longitud del barrote, en pulgadas por el factor adecuado a la separación indicado en la Tabla 10.

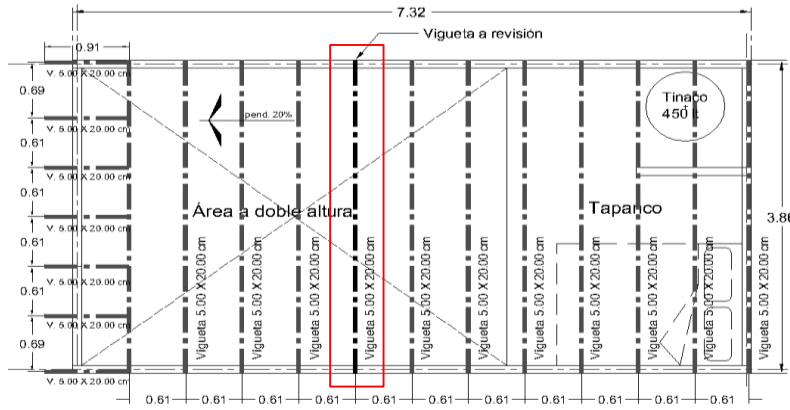
**Tabla 10. Factores de separación para las crucetas de contraventeo. Fuente: (Parker, 1989)**

Escuadría nominal en pulgadas	2x3	2x4	3x4	4x4	2x6	3x6	2x8
Factor de separación de las crucetas	0.70	0.45	0.72	1.00	0.29	0.47	0.22

### 5.2.1.1 Calculo Numérico según Norma Técnica Complementaria de Diseño y Construcción de Estructuras de Madera.

5.2.1.1 Cálculo estructural según NTC de diseño y construcción de estructuras de madera.

1. Cálculo de las cargas que inciden en la cubierta. (viguetas en cubierta)



Modulo multifunción A. Estructura en Cubierta 28 m<sup>2</sup>

Carga viva unitaria máxima  $w_m = 40 \text{ kg/m}^2$  (tabla 6.1 NTC)

Carga muerta  $w_{cm} = 120 \text{ kg/m}^2$

$w = 160 \text{ kg/m}^2$

$P_1 = 100 \text{ kg}$  (1.7, inciso (b): NTC Diseño y Const. de Estructuras de Madera)

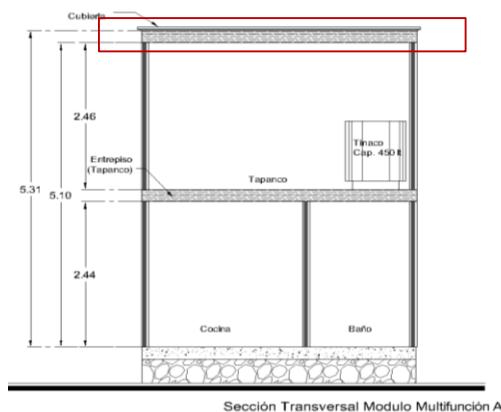
2. Dimensionamiento por resistencia de las viguetas

2.1 Condición A de cargas

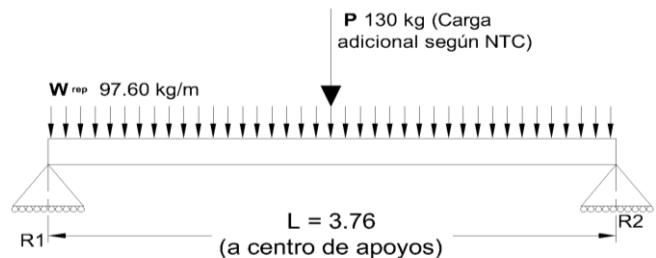
Viguetas con separación entre si de:  $0,61 \text{ m}$

$w_{rA} =$  separación entre viguetas x 1 m largo x w

$w_{rep} = 0,61 \times 160 = 97,6 \text{ kg/m}$



Sección Transversal Modulo Multifunción A



Viguetas a revisión en cubierta  
 Diagrama de cuerpo libre

L c.c. =  $3,76 \text{ m}$

$$M_{UA} = 1.4 M_{act} \qquad M_{act} = w_{rep} L^2 / 8$$

$$M_{act} = \frac{97,6}{8} \times 14,1376$$

$$M_{act} = 172,48 \text{ kg.m} \qquad M_{UA} = 241,47 \text{ kg.m}$$

**2.2 Condición B de cargas**

$$M_{UB} = 1.4 M_{act} \qquad M_{act} = w_{rB} L^2 / 8 + P_1 L / 4 \qquad w_{rB} = w_{cm} \times \text{sep.} \times 1 \text{ m de largo}$$

$$w_{rB} = 120 \times 0,61 \qquad w_{rB} = 73,2 \text{ kg/m}$$

$$w_{rB} L^2 / 8 = \frac{73,2}{8} \times 14,1376 \qquad w_{rB} L^2 / 8 = 129,36 \text{ kg.m}$$

$$P_1 L / 4 = \frac{100}{4} \times 3,76 \qquad P_1 L / 4 = 94 \text{ kg.m}$$

$$M_{act} = 223,36 \text{ kg.m} \qquad M_{UB} = 312,70 \text{ kg.m}$$

*Rige la condición de cargas "B"*

**2.3 Proposición de sección con el momento  $M_U$  mayor**

$$S = M_U / F_R f_{fu} \qquad f_{fu} = 115 \text{ kg/cm}^2$$

$$S = 339,89 \text{ cm}^3 = 20,75 \text{ plg}^3$$

Se propone una viga de madera tipo B con sección de 2" x 10" y tamaño labrado de 1 5/8" X 9 1/2" con  $S = 24,44 \text{ plg}^3$

$$24,44 \text{ plg}^3 = 400,33 \text{ cm}^3$$

**2.4 Momento resistente**

$$M_R = F_R f_{fu} S \Phi \qquad f_{fu} = f'_{fu} (K_h K_d K_C K_p K_{cl})$$

$f_{fu} =$	115	kg/cm <sup>2</sup>
$S =$	400,33	cm <sup>3</sup>
$\Phi =$	1	
$F_R =$	0,8	

$f'_{fu} =$	100	kg/cm <sup>2</sup>
$K_h =$	1	
$K_d =$	1	
$K_C =$	1,15	
$K_p =$	1	
$K_{cl} =$	1	

$$M_R = 368,30 \text{ kg m} \qquad > \qquad M_U = 312,70 \text{ kg m}$$

*ok pasa por flexión.*

### 3. Revisión por deflexión.

#### 3.1 Condición A de Cargas

$$\Delta_{\max A} = 5w_f L^4 / 384 EI$$

$$w_f = 0.61 \times 1.75 (w_{cm}) + 0.61 \times w_m$$

$$w_f = 0,61 \times 210 + 24,4$$

$$w_f = 152,5 \text{ kg/m} = 1,525 \text{ kg/cm}$$

$$E = E_{0.50} (K_h K_p K_{cl}) \quad E_{0.50} = 80000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 80000 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = bd^3 / 12 \quad b = 4,12 \quad d = 24,13$$

$$I = 4823,78 \text{ cm}^3$$

$$\Delta_{\max A} = \frac{5 \times 1,525 \times 19987173376,00}{384 \times 80000 \times 4823,78}$$

$$\Delta_{\max A} = \frac{152402196992,00}{148186672813,16} \quad \Delta_{\max A} = 1,028 \text{ cm}$$

#### 3.2 Condición B de Cargas

$$\Delta_{\max B} = 5w_{fB} L^4 / 384 EI + P_1 L^3 / 48 EI$$

$$\Delta_1 = 5w_{fB} L^4 / 384 EI$$

$$w_{fB} = 0.61 \times 1.75 (w_{cm})$$

$$w_{fB} = 0,61 \times 210 \quad w_{fB} = 128,1 \text{ kg/m}$$

$$w_f = 128,1 \text{ kg/m} = 1,281 \text{ kg/cm}$$

$$E = E_{0.50} (K_h K_p K_{cl}) \quad E_{0.50} = 80000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 80000 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = bd^3 / 12 \quad b = 4,12 \quad d = 24,13$$

$$I = 4823,78 \text{ cm}^3$$

$$\Delta_1 = \frac{5 \times 1,281 \times 19987173376,00}{384 \times 80000 \times 4823,78}$$

$$\Delta_1 = \frac{128017845473,28}{148186672813,16} \qquad \Delta_1 = 0,86 \text{ cm}$$

$$\Delta_2 = P_1 L^3 / 48 EI$$

$$P_1 L^3 / 48 EI = \frac{100,00 \times 53157376}{18523334102} \qquad \Delta_2 = 0,29 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\max B} = \Delta_1 + \Delta_2 \qquad \Delta_{\max B} = 1,15 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\max B} = 1,15 \text{ cm} \qquad > \qquad \Delta_{\max A} = 1,028 \text{ cm}$$

**Rige la condición de carga "B"**

$$\Delta_{\text{perm}} = L / 240 + 0,5 \text{ cm} \qquad \Delta_{\text{perm}} = 2,07 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\text{perm}} = 2,07 \qquad > \qquad \Delta_{\max B} = 1,15$$

**Ok pasa por deflexión máxima**

**4 .Revisión por cortante**

**4.1 Condición A de cargas**

$$V_{\max A} = 1.4 w_{\text{rep}} L / 2$$

$$V_{\max A} = \frac{513,77}{2} = 256,88 \text{ Kg}$$

**4.2 Condición B de cargas**

$$V_{\max B} = 1.4 w_{\text{rep B}} L / 2 + 1.4 P_1 / 2 \qquad w_{\text{rep B}} = W_{\text{cm}} \times \text{sep. De viguetas} \times 1 \text{ m.}$$

$$w_{\text{rep B}} = 120 \times 0,61 \times 1$$

$$w_{\text{rep B}} = 73,2 \text{ kg}$$

$$1.4 w_{\text{rep B}} L / 2 = \frac{1,4 \times 73,2 \times 3,76}{2}$$

$$1.4 w_{\text{rep B}} L / 2 = 192,66 \text{ Kg}$$

$$1.4 P_1 / 2 = \frac{1,4 \times 100}{2} \qquad 1.4 P_1 / 2 = 70,00 \text{ Kg}$$

$$V_{\max B} = 262,66 \text{ Kg}$$

$$V_{\max A} = 256,88 \text{ Kg} \qquad < \qquad V_{\max B} = 262,66 \text{ Kg}$$

**Rige la condición de cargas "B"**



### 4.3 Calculo del cortante Resistente

$$V_R = \frac{F_R f_{vu} bd}{1,5}$$

$$F_R = 0,7$$

$$f'_{vu} = 12 \text{ kg/cm}^2$$

$$K_h = 1$$

$$K_d = 1$$

$$K_c = 1,15$$

$$K_v = 2$$

$$f_{vu} = 27,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_R = 1280,47 \text{ kg} > V_{\max B} = 262,66 \text{ kg}$$

**Ok pasa por cortante**

### 5. Revisión por Aplastamiento.

$$N_u = 262,66 \text{ kg}$$

$$N_R = F_R f_{nu} A_a$$

$$f_{nu} = f'_{nu} K_h K_d K_c K_a$$

$$f'_{nu} = 40,00 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_R = 0,90 \text{ (tabla 2.4)}$$

$$K_h = 1$$

$$K_d = 1$$

$$K_c = 1,15$$

$$K_a = 1,00$$

$$A_a = 1,00 \text{ x } 10,00 \text{ x } 4,12$$

$$A_a = 41,20 \text{ cm}$$

$$N_R = 0,90 \text{ x } 46 \text{ x } 41,20$$

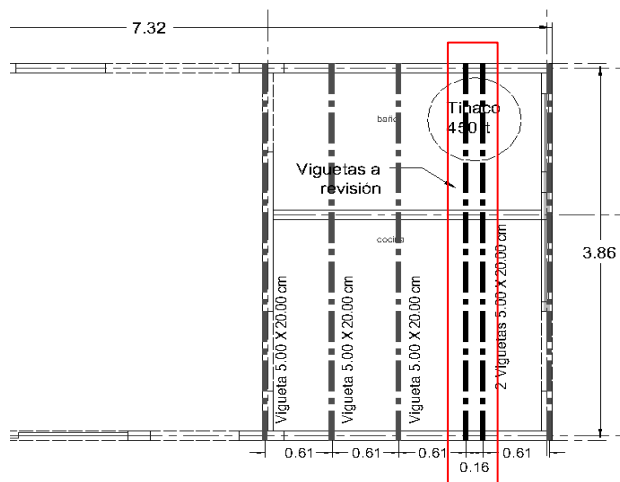
$$N_R = 1705,68 \text{ kg} > N_u = 262,66 \text{ kg}$$

**Ok el área de apoyo es suficiente**

**6. Calculo de las cargas que inciden en entrepiso (vigüeta crítica de entrepiso)**

Carga viva unitaria máxima  $w_m = 170 \text{ kg/m}^2$  (tabla 6.1 NTC)  
 Carga muerta  $w_{cm} = 40 \text{ kg/m}^2$   
 $w = 210 \text{ kg/m}^2$

$P_1 = 130 \text{ kg}$  (carga puntual adicional NTC)  
 $P_2 = 450 \text{ kg}$  (carga puntual por tinaco)  
 $P_3 = 233,49 \text{ kg}$  (bajada de carga de cubierta)  
 $P_4 = 233,49 \text{ kg}$  (bajada de carga de cubierta)



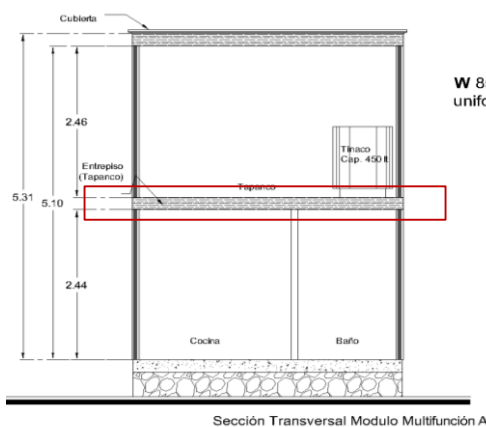
Modulo multifunción A. Estructura en Tapanco 10.20 m2

**7. Dimensionamiento por resistencia de las viguetas**

Viguetas con separación entre sí de: **0,406 m**

$w_{rep} =$  separación entre viguetas x 1 m largo x w

$w_{rep} = 0,406 \times 210 = 85,26 \text{ kg/m}$



Sección Transversal Modulo Multifunción A

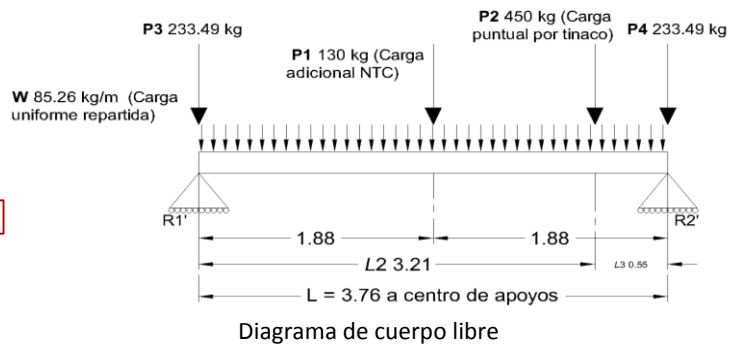


Diagrama de cuerpo libre

$L \text{ c.c.} = 3,76 \text{ m}$

**7.1 Condición de carga "A"**

7.1.1 Calculo de Reacciones por ley de equilibrio

$$3.76 R1 = P4 (0) + P2(0.55) + P3 (3.76) + w_{rep} L (1.88)$$

$$3.76 R1 = 0 + 247.50 + 877.92 + 602.68 \quad R1' = \frac{1728,1}{3,76} \quad R1 = 459,60$$

$$3.76 R2 = P3(0) + P2(3.21) + P4(3.76) + w_{rep} L (1.88)$$

$$3.76 R2 = 0 + 1444.50 + 877.92 + 602.68 \quad R2 = \frac{2925,1}{3,76} \quad R2 = 777,95$$

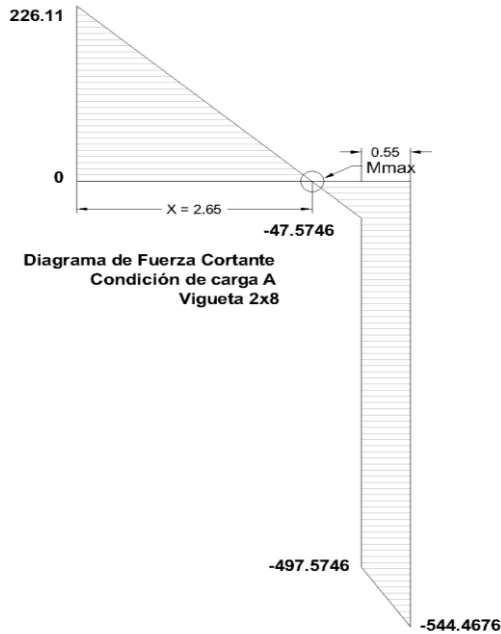
7.1.2 Comprobación

$$P2+P3+P4+w_{rep} L = R1+ R2$$

$$233.49 + 450 + 233.49 + 320.5776 = 459.60+777.95$$

$$1237.55 \text{ kg} = 1237.55 \text{ kg}$$

7.1.3 Calculo del momento ultimo condición de cargas A



$$M_{actA (x-2.65)} = + (R1)(2.65) - (P3)(2.65) - (w_{rep} L)(1.325)$$

$$M_{actA (x-2.65)} = + 1217.94 - 618.7485 - 299.3691$$

$$M_{actA (x-2.65)} = 299,8224 \text{ kg.m}$$

$$M_{act} = \boxed{299,82} \text{ kg.m}$$

$$M_{UA} = \boxed{419,75} \text{ kg.m}$$

## 7.2 Condición de Cargas "B"

### 7.2.1 Calculo de Reacciones por ley de equilibrio

$$3.76 R1 = P4 (0) + P2 (0.55) + P1(1.88) + P3 (3.76) + w_{fb} L (1.88)$$

$$3.76 R1 = 0 + 247.50 + 244.40 + 877.92 + 172.196 \quad R1 = \frac{1542,016}{3,76} \quad R1 = 410,11$$

$$3.76 R2 = P3(0) + P1(1.88) + P2(3.21) + P4(3.76) + w_{fb} L (1.88)$$

$$3.76 R2 = 0 + 244.4 + 1444.5 + 877.9224 + 172.196 \quad R2 = \frac{2739,0184}{3,76} \quad R2 = 728,46$$

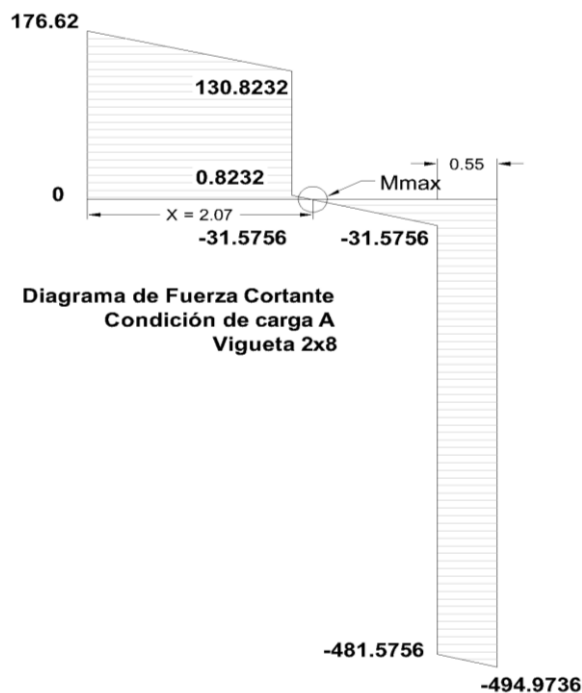
### 7.2.2 Comprobación

$$P1 + P2 + P3 + P4 + w_{fb} L = R1 + R2$$

$$130 + 450 + 233.49 + 233.49 + 91.5936 = 364.3138 + 682.6655$$

$$1138.57 \text{ Kg} = 1138.57 \text{ Kg}$$

### 7.2.3 Calculo del Momento Ultimo condición de Cargas "B"



$$M_{act B (x-2.07)} = + (R1)(2.07) - (P1)(0.19) - (P3)(2.07) - w_{fb} L (1.035)$$

$$M_{act (x-2.07)} = + 848.9277 - 24.7 - 483.3243 - 52.19$$

$$M_{act (x-2.07)} = \boxed{288,7134} \text{ kg.m}$$

$$M_{act} = \boxed{288,71} \text{ kg m}$$

$$M_{UB} = \boxed{404,20} \text{ kg m}$$

**Rige condición de cargas "A"**

### 7.3 Proposición de sección con el momento $M_{UA}$

$$S = M_u / F_R f_{fu} \quad f_{fu} = 178,25 \text{ kg/cm}^2$$

$$S = 294,36 \text{ cm}^3 = 17,97 \text{ plg}^3$$

Se propone una viga de madera clase "A" con sección de **3" x 8"** y tamaño labrado de 2 5/8" X 7 1/2" con  $S = 24,61 \text{ plg}^3$

$$24,61 \text{ plg}^3 = 403,11 \text{ cm}^3$$

### 7.3 Momento resistente

$$M_R = F_R f_{fu} S \Phi \quad f_{fu} = f'_{fu} (K_h K_d K_C K_p K_{cl})$$

$f_{fu} =$	178,25	kg/cm <sup>2</sup>
$S =$	403,11	cm <sup>3</sup>
$\Phi =$	1	
$F_R =$	0,8	

$f'_{fu} =$	155	kg/cm <sup>2</sup>
$K_h =$	1	
$K_d =$	1	
$K_C =$	1,15	
$K_p =$	1	
$K_{cl} =$	1	

$$M_R = 574,84 \text{ kg m} > M_U = 419,75 \text{ kg m}$$

**Ok pasa por flexión.**

### 8. Revisión por deflexión.

$$\Delta_{max} = 5w_f L^4 / 384 EI + Pb / 12 EI (3/4L^2 - b^2)$$

$$w_f = \text{sep.} \times 1.75 (w_{cm}) + \text{sep.} \times w_m$$

$$w_f = 0,406 \times 70 + 69,02$$

$$w_f = 97,44 \text{ kg/m} = 0,97 \text{ kg/cm}$$

$$E = E_{0.50} (K_h K_p K_{cl}) \quad E_{0.50} = 100000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 100000 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = bd^3 / 12 \quad b = 6,67 \quad d = 19,05$$

$$I = 3841,20 \text{ cm}^3$$

$$5w_f L^4 / 384 EI = \frac{5 \times 0,9744 \times 19987173376,00}{384 \times 100000 \times 3841,20}$$

$$i w_f L^4 / 384 EI = \frac{97377508687,87}{147502011447,00}$$

$$5 w_f L^4 / 384 EI = 0,66 \text{ cm}$$

$$P_2 b / 12 EI (3/4 L^2 - b^2) =$$

		450,00	X	55			
12	X		100000	X	3841,20		X
3,00	X		141376	-	3025		=
	4						0,55

$$5 w_f L^4 / 384 EI = 0,66 \text{ cm}$$

$$P_2 b / 12 EI (3/4 L^2 - b^2) = 0,55 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\max} = 1,21 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\text{perm}} = L / 240 + 0,5 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\text{perm}} = 2,07 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\text{perm}} = 2,07 < \Delta_{\max} = 1,21$$

**Ok por deflexión máxima**

**9 . Revisión por cortante.**

$$V_{\max} = 986,93 \text{ Kg}$$

$$V_R = \frac{F_R f_{vu} b d}{1,5}$$

K <sub>h</sub> =	1
K <sub>d</sub> =	1
K <sub>c</sub> =	1,5
K <sub>r</sub> =	1
K <sub>v</sub> =	2

F <sub>R</sub> =	0,7		
f' <sub>vu</sub> =	12,00	kg/cm <sup>2</sup>	
f <sub>vu</sub> = f' <sub>vu</sub> ( K <sub>h</sub> K <sub>d</sub> K <sub>c</sub> K <sub>r</sub> K <sub>v</sub> ) =	36,00	kg/cm <sup>2</sup>	
b =	6,67	cm	
d =	19,05	cm	

$$V_R = 2133,87 \text{ kg} > V_{\max} = 986,93 \text{ kg}$$

**Ok pasa por cortante**

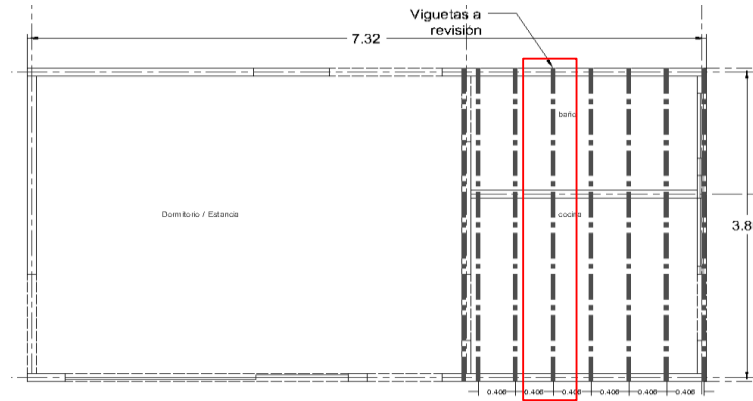


**10. Revisión por Aplastamiento.**

$N_u = 986,93$				$K_h = 1$	
$N_R = F_R f_{nu} A_a$				$K_d = 1$	
$f_{nu} = f_{nu}' K_h K_d K_c K_a$				$K_c = 1,15$	
$f_{nu}' = 40,00$	kg/cm <sup>2</sup>			$K_a = 1,00$	
$F_R = 0,90$		(tabla 2.4)			
$A_a = 1,00$	x	10,00	x	6,67	
$A_a = 66,70$		cm <sup>2</sup>			
$N_R = 0,90$	x	46	x	66,70	
$N_R = 2761,38$	kg	>		$N_u = 986,93$	kg

**Ok el área de apoyo es suficiente**

**11. Calculo de las cargas que inciden en el entrepiso (Viguetas No criticas de entrepiso).**



Modulo multifunción A. Estructura en Tapanco 10.20 m2

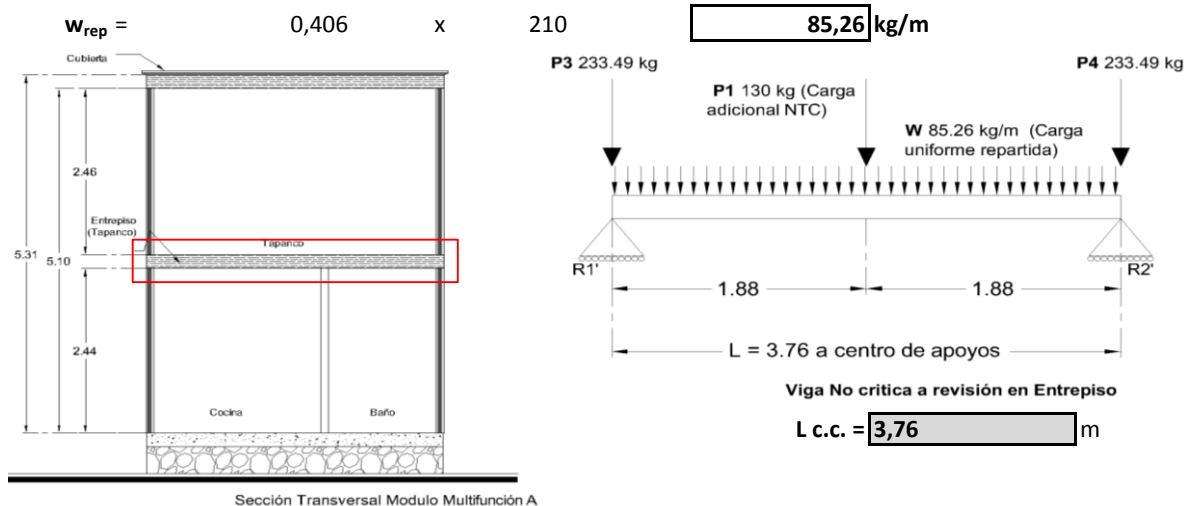
Carga viva unitaria máxima  $w_m = 170 \text{ kg/m}^2$  (tabla 6.1 NTC)  
 Carga muerta  $w_{cm} = 40 \text{ kg/m}^2$   
 $w = 210 \text{ kg/m}^2$   
 $P_1 = 130 \text{ kg}$  (1.7, inciso (b): NTC Diseño y Const. de Estructuras de Madera)

**12. Dimensionamiento por resistencia de las viguetas**

**12.1 Condición A de cargas**

Viguetas con separación entre si de: **0,406 m**

$w_{rA} = \text{separación entre viguetas} \times 1 \text{ m largo} \times w$



$M_{UA} = 1.4 M_{act}$        $M_{act} = w_{rep} L^2 / 8$

$M_{act} = \frac{85,26 \times 14,1376}{8}$

$$M_{act} = \boxed{150,67} \text{ kg.m}$$

$$M_{UA} = \boxed{210,94} \text{ kg.m}$$

### 12.2 Condición B de cargas

$$M_{UB} = 1.4 M_{act} \quad M_{act} = w_{rB} L^2/8 + P_1 L/4 \quad w_{rB} = w_{cm} \times \text{sep.} \times 1\text{m de largo}$$

$$w_{rB} = 40 \times 0,406 \quad w_{rB} = 16,24 \text{ kg/m}$$

$$w_{rB} L^2/8 = \frac{16,24 \times 14,1376}{8} \quad w_{rB} L^2/8 = 28,70 \text{ kg.m}$$

$$P_1 L/4 = \frac{130 \times 3,76}{4} \quad P_1 L/4 = 122,2 \text{ kg.m}$$

$$M_{act} = 150,90 \text{ kg.m}$$

$$M_{UB} = \boxed{211,26} \text{ kg.m}$$

**Rige la condición de cargas "B"**

### 12.3 Proposición de sección con el momento $M_U$ mayor

$$S = M_U / F_R f_{fu} \quad f_{fu} = \boxed{115} \text{ kg/cm}^2$$

$$S = \boxed{229,63} \text{ cm}^3 = \boxed{14,02} \text{ plg}^3$$

Se propone una viga con sección de 2" x 8" y tamaño labrado de 1 5/8" X 7 1/2" con  $S = \boxed{15,23} \text{ plg}^3$

$$15,23 \text{ plg}^3 = 249,47 \text{ cm}^3$$

### 12.4 Momento resistente

$$M_R = F_R f_{fu} S \Phi$$

$$f_{fu} = f'_{fu} (K_h K_d K_C K_p K_{cl})$$

$$\begin{array}{l} f_{fu} = \boxed{115} \text{ kg/cm}^2 \\ S = \boxed{249,47} \text{ cm}^3 \\ \Phi = \boxed{1} \\ F_R = \boxed{0,8} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} f'_{fu} = \boxed{100} \text{ kg/cm}^2 \\ K_h = \boxed{1} \\ K_d = \boxed{1} \\ K_C = \boxed{1,15} \\ K_p = \boxed{1} \\ K_{cl} = \boxed{1} \end{array}$$

$$M_R = \boxed{229,51} \text{ kg m}$$

>

$$M_U = \boxed{211,26} \text{ kg m}$$

**ok pasa por flexión.**

13. Revisión por deflexión.

13.1 Condición A de Cargas

$$\Delta_{\max A} = 5w_f L^4 / 384 EI$$

$$w_f = \text{sep.} \times 1.75 (w_{cm}) + \text{sep} \times w_m$$

$$w_f = 0,406 \times 70 + 69,02$$

$$w_f = 97,44 \text{ kg/m} = 0,9744 \text{ kg/cm}$$

$$E = E_{0.50} (K_h K_p K_{cl}) \quad E_{0.50} = 80000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 80000 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = bd^3 / 12 \quad b = 4,12 \quad d = 19,05$$

$$I = 2373,56 \text{ cm}^3$$

$$\Delta_{\max A} = \frac{5 \times 0,9744 \times 19987173376,00}{384 \times 80000 \times 2373,56}$$

$$\Delta_{\max A} = \frac{97377508687,87}{72915879974,40} \quad \Delta_{\max A} = 1,335 \text{ cm}$$

13.2 Condición B de Cargas

$$\Delta_{\max B} = 5w_{fB} L^4 / 384 EI + P_1 L^3 / 48 EI$$

$$\Delta_1 = 5w_{fB} L^4 / 384 EI$$

$$w_{fB} = \text{sep} \times 1.75 (w_{cm})$$

$$w_{fB} = 0,406 \times 70 \quad w_{fB} = 28,42 \text{ kg/m}$$

$$w_f = 28,42 \text{ kg/m} = 0,2842 \text{ kg/cm}$$

$$E = E_{0.50} (K_h K_p K_{cl}) \quad E_{0.50} = 80000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 80000 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = bd^3 / 12 \quad b = 4,12 \quad d = 19,05$$

$$I = 2373,56 \text{ cm}^3$$

$$\Delta_1 = \frac{5 \times 0,2842 \times 19987173376,00}{384 \times 80000 \times 2373,56}$$

$$\Delta_1 = \frac{28401773367,30}{72915879974,40} \qquad \Delta_1 = 0,39 \text{ cm}$$

$$\Delta_2 = P_1 L^3 / 48 EI$$

$$P_1 L^3 / 48 EI = \frac{130,00 \times 53157376}{9114484997} \qquad \Delta_2 = 0,76 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\max B} = \Delta_1 + \Delta_2 \qquad \Delta_{\max B} = 1,15 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\max A} = 1,34 \text{ cm} \qquad > \qquad \Delta_{\max B} = 1,15 \text{ cm}$$

**Rige la condición de carga "A"**

$$\Delta_{\text{perm}} = L / 240 + 0.5 \text{ cm} \qquad \Delta_{\text{perm}} = 2,07 \text{ cm}$$

$$\Delta_{\text{perm}} = 2,07 \qquad > \qquad \Delta_{\max A} = 1,34$$

**Ok pasa por deflexión máxima**

**14 .Revisión por cortante**

**14.1 Condición A de cargas**

$$V_{\max A} = 1.4 w_{\text{rep}} L / 2$$

$$V_{\max A} = \frac{448,81}{2} = 224,40 \text{ Kg}$$

**14.2 Condición B de cargas**

$$V_{\max B} = 1.4 w_{\text{rep B}} L / 2 + 1.4 P_1 / 2 \qquad w_{\text{rep B}} = W_{\text{cm}} \times \text{sep. De viguetas} \times 1 \text{ m.}$$

$$w_{\text{rep B}} = 40 \times 0,406 \times 1$$

$$w_{\text{rep B}} = 16,24 \text{ kg}$$

$$1.4 w_{\text{rep B}} L / 2 = \frac{1,4 \times 16,24 \times 3,76}{2}$$

$$1.4 w_{\text{rep B}} L / 2 = 42,74 \text{ Kg}$$

$$1.4 P_1 / 2 = \frac{1,4 \times 130}{2} \qquad 1.4 P_1 / 2 = 91,00 \text{ Kg}$$

$$V_{\max B} = 133,74 \text{ Kg}$$

$$V_{\max A} = 224,40 \text{ Kg} \qquad > \qquad V_{\max B} = 133,74 \text{ Kg}$$

**Rige la condición de cargas "A"**

**14.3 Calculo del cortante Resistente**

$$V_R = \frac{F_R f_{vu} bd}{1,5}$$

$F_R =$	0,7	
$f'_{vu} =$	12,00	kg/cm <sup>2</sup>
$f_{vu} = f'_{vu} (K_h K_d K_c K_r k_v) =$	36,00	kg/cm <sup>2</sup>
$b =$	4,12	cm
$d =$	19,05	cm

$K_h =$	1
$K_d =$	1
$K_c =$	1,5
$K_r =$	1
$K_v =$	2

$V_R = 1318,56 \text{ kg} > V_{max} = 224,40 \text{ kg}$

**Ok pasa por cortante**

**15. Revisión por Aplastamiento.**

$N_u =$	224,40	kg
$N_R = F_R f_{nu} A_a$		
$f_{nu} = f'_{nu} K_h K_d K_c K_a$		
$f'_{nu} =$	40,00	kg/cm <sup>2</sup>
$F_R =$	0,90	(tabla 2.4)

$K_h =$	1
$K_d =$	1
$K_c =$	1,15
$K_a =$	1,00

$A_a =$	1,00	x	10,00	x	4,12
$A_a =$	41,20 cm				

$N_R =$	0,90	x	46	x	41,20
---------	------	---	----	---	-------

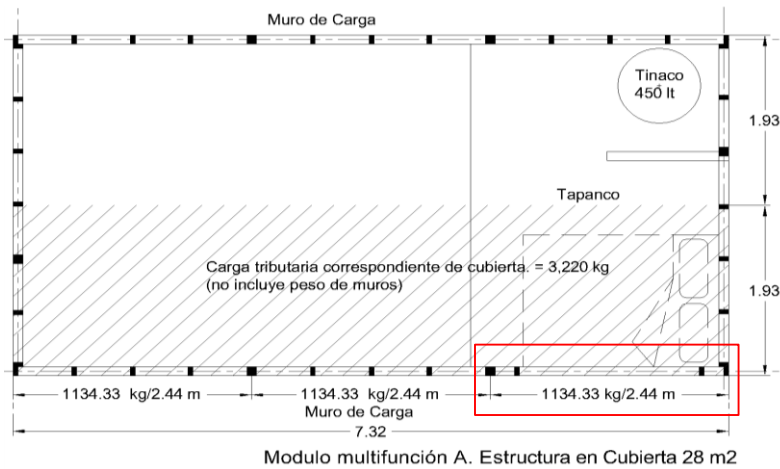
  

$N_R =$	1705,68	kg	$>$	$N_u =$	224,40	kg
---------	---------	----	-----	---------	--------	----

**Ok el área de apoyo es suficiente**



16. Revisión de pies-derechos en muros primer nivel



Carga muerta  $w_{cm}$  = 120 kg/m<sup>2</sup>  
 peso de muros = 25 kg/m<sup>2</sup>

Carga viva inst. en piso de casa habitación  $w_a$  = 90 kg/m<sup>2</sup>  
 Carga viva inst. en cubierta de casa habitación  $w_a$  = 20 kg/m<sup>2</sup>

Área de cubierta = 28 m<sup>2</sup>  
 Factor de Carga = 1,1 (Art. 194 titulo VI)

Numero de paneles de 2.44 m en muro = 3  
 Numero de barrotos en panel revisado = 2

16.1 Presión de diseño del viento

$p = C_k C_z K P_o$

$P_o = 0.0048 Vd^2$

Vd = 80 km/h  
 P<sub>o</sub> = 30 kg/m<sup>2</sup>  
 K = 1  
 C<sub>z</sub> = 1  
 C<sub>p</sub> = 0,8

(3.1 NTCV)  
 (zona serrana)  
 (Pared de barlovento)

$p = 24$  kg/m<sup>2</sup>

16.2 Revisión por resistencia

16.2.1 Calculo de P<sub>u</sub>

$P_u = F_c w_{cm} w_{cv}$

$$\begin{aligned}
 w_{\text{cubierta}} &= 120 \times 28 = 3360 \text{ Kg} \\
 w_{\text{cm muros}} &= 1680 \text{ Kg} + 25 \times 7,32 \\
 w_{\text{cm muros}} &= 1863 \text{ Kg} \quad w_{\text{cm}} / \text{panel} = 621 \text{ Kg} \\
 w_{\text{cm}} / \text{barrote} &= (w_{\text{cm}} / \text{panel}) / N \text{ barrotes} \quad w_{\text{cm}} / \text{barrote} = 310,5 \text{ Kg/ barrote} \\
 w_{\text{cv cubierta}} &= 110 \times 28 = 3080 \text{ kg/m}^2 \\
 w_{\text{cv muros}} &= 1540 \text{ Kg} \quad w_{\text{cv}} / \text{panel} = 513,33 \text{ Kg/ barrote} \\
 w_{\text{cv}} / \text{barrote} &= (w_{\text{cv}} / \text{panel}) / N \text{ barrotes} \quad w_{\text{cv}} / \text{barrote} = 256,67 \text{ Kg/ barrote} \\
 P_u &= 1,10 \times 310,50 + 256,67 \\
 P_u &= 623,88 \text{ Kg/ barrote}
 \end{aligned}$$

### 16.2.2 Calculo de resistencia a compresión $P_R$

$$P_R = F_R f_{cu} A$$

$$F_R = 0,7$$

$$\text{Esfuerzo especificado de compresión paralela a la fibra } f_{cu}' = 95,00 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_{cu} = f_{cu}' K_h K_d K_c K_p K_{cl}$$

$$\begin{aligned}
 K_h &= 1 \\
 K_d &= 1,33 \\
 K_c &= 1,15 \\
 K_p &= 1,15 \\
 K_{cl} &= 1
 \end{aligned}$$

$$\text{Esfuerzo permisible de compresión paralela a la fibra } f_{cu} = 167,10 \text{ Kg/cm}^2$$

$$A = b \cdot d \quad b \text{ (en cm)} = 4,12 \quad d \text{ (en cm)} = 9,2 \quad A \text{ (en cm}^2\text{)} = 37,90$$

$$P_R = 4433,57 \text{ Kg}$$

>

$$P_u = 623,88 \text{ kg}$$

### 16.3 Calculo de momento por encorvadura $M_c$ y excentricidad de la carga.

Momentos en los extremos

$$M_e = M1 + P_u \times e_b \text{ (curva simple)}$$

$$e_b = L_u / 300$$

$$L_u = 236 \text{ cm}$$

$$e_b = \frac{236,00}{300,00}$$

$$e_b = 0,79 \text{ cm}$$

Efectos de esbeltez

$$I = \frac{b \cdot d^3}{12,00}$$

$$I = \frac{4,12 \times 778,688}{12}$$

$$I = 267,35 \text{ cm}^4$$

$$r = \sqrt{I/4} \quad r = 2,66$$

$$K = \frac{1}{236} \text{ cm}$$

$$r = 2,66$$

$$\frac{KL_u}{r} = \frac{1 \times 236}{2,66}$$

$$\frac{KL_u}{r} = 88,86$$

$$P_u \times e_b = 623,88 \times 0,79 = 492,87 \text{ kg.cm}$$

$$M_1 = (0,05) d \times P_u = 0,05 \times 9,2 \times 623,88$$

$$M_1 = 286,99 \text{ Kg.cm}$$

$$M_e = 779,85 \text{ Kg. Cm}$$

16.4 Momento flexionante debido a la presión del viento.

$$M_v = F_c \times WL^2/8 =$$

$$1,1 \times \frac{24}{8} \times \frac{0,61}{100} \times 55696$$

$$M_v = 1121,16 \text{ Kg. cm}$$

$$M_c = (M_v + M_e) \delta \quad \delta = \frac{C_m}{1 - P_u / P_{cr}}$$

$$C_m = 1,00$$

$$P_{cr} = F_R \frac{\pi^2 E_{0,05} I}{(KL_u)^2} (K_h K_c K_p K_{cl})$$

$$F_R = 0,70$$

$$E_{0,05} = 50000,00 \text{ Kg/cm}^2$$

$$I = 267,35 \text{ cm}^4$$

$$L_u = 2,36 \text{ m}$$

$$K = 1,00$$

$$K_h = 1,00$$

$$K_c = 1,15$$

$$K_p = 1,10$$

$$K_{cl} = 1,00$$

$$(K_h K_c K_p K_{cl}) = 1,27$$

$$P_{cr} = 0,70 \frac{9,86965056 \times 50000,00 \times 267,35}{1,00 \times 55696} \times 1,27$$

$$P_{cr} = 2105,50 \text{ Kg} \quad P_u / P_{cr} = \frac{623,88}{2105,50} \quad P_u / P_{cr} = 0,30$$

$$\delta = 1,42 \quad M_u = 2699,44 \text{ Kg. cm}$$

16.5 Calculo de  $M_R$

$$M_R = F_R F_{fu} S \Phi$$

$F_R =$	0,80
$f_{fu} =$	191,19
$f'_{fu} =$	100,00
$K_h =$	1,00
$K_d =$	1,33
$K_c =$	1,15
$K_p =$	1,25
$K_{cl} =$	1,00
$\Phi =$	1,00
$b =$	4,12
$d =$	9,20
$s =$	58,12

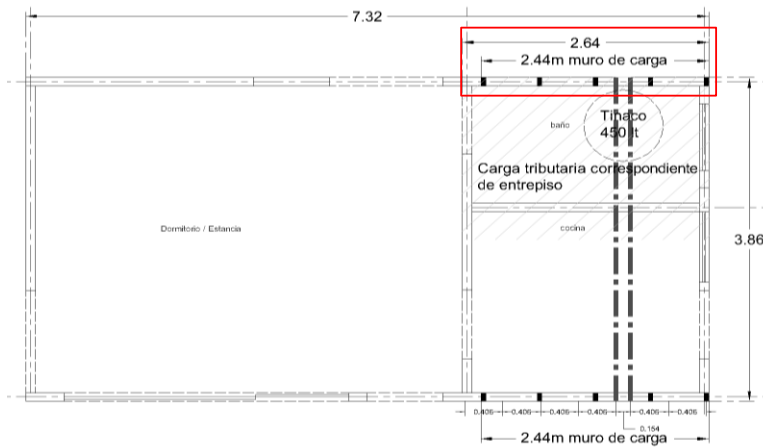
$M_R = 8889,37 \text{ Kg. Cm}$

$$P_u / P_R + M_u / M_R = \frac{623,88}{4433,57} + \frac{2699,44}{8889,37}$$

0,14 + 0,30 = 0,44 < 1,00

**Ok La sección de 4.12 x 9.2 es adecuada**

**17. Revisión de pies-derechos en muros planta baja**



Modulo multifunción A. Estructura en Tapanco 10.20 m2

Carga muerta $w_{cm}$ =	200	kg/m <sup>2</sup>
peso de muros =	25	Kg/m <sup>2</sup>
Carga puntual por tinaco $P_2$ =	450	kg

Carga viva inst. en piso de casa habitación $w_a$ =	90	Kg/m <sup>2</sup>
Carga viva inst. en cubierta de casa habitación $w_a$ =	20	Kg/m <sup>2</sup>

Área de cubierta =	28	m <sup>2</sup>
Factor de Carga =	1,1	(Art. 194 titulo VI)

Numero de paneles de 2.44 m en muro =	3
Numero de barros en panel revisado =	5

**17.1 Presión de diseño del viento**

$$p = C_k C_z K P_o$$

$$P_o = 0.0048 Vd^2$$

Vd =	80	km/h	
P <sub>o</sub> =	30	Kg/ m <sup>2</sup>	(3.1 NTCV)
K =	1		(zona serrana)
C <sub>z</sub> =	1		(Pared de barlovento)
C <sub>p</sub> =	0,8		

$$p = 24 \text{ Kg/ m}^2$$

**17.2 Revisión por resistencia**

**17.2.1 Calculo de P<sub>u</sub>**

$$P_u = F_c w_{cm} w_{cv}$$

$$\begin{aligned}
 w_{\text{cubierta}} &= 200 \times 28 = 5600 \text{ Kg} \\
 w_{\text{cm muros}} &= 2800 \text{ Kg} + 25 \times 14,64 \\
 w_{\text{cm muros}} &= 3166 \text{ Kg} \qquad w_{\text{cm / panel}} = w_{\text{cm muros}} + L_2/L * P_2 \\
 w_{\text{cm / panel}} &= 1439,50 \text{ Kg} \\
 w_{\text{cm / barrote}} &= (w_{\text{cm / panel}}) / N \text{ barrotes} \qquad w_{\text{cm / barrote}} = 287,90 \text{ Kg/ barrote} \\
 w_{\text{cv cubierta}} &= 110 \times 28 = 3080 \text{ kg/m}^2 \\
 w_{\text{cv muros}} &= 1540 \text{ Kg} \qquad w_{\text{cv / panel}} = 513,33 \text{ Kg/ barrote} \\
 w_{\text{cv / barrote}} &= (w_{\text{cv / panel}}) / N \text{ barrotes} \qquad w_{\text{cv / barrote}} = 102,67 \text{ Kg/ barrote} \\
 P_u &= 1,1 \times 287,90 + 102,67 \\
 P_u &= 429,62 \text{ Kg/ barrote}
 \end{aligned}$$

### 17.2.2 Calculo de Resistencia a compresión, $P_R$ .

$$P_R = F_R f_{cu} A$$

$$F_R = 0,7$$

Esfuerzo especificado de compresión paralela a la fibra  $f_{cu}' = 95,00 \text{ Kg/cm}^2$

$$f_{cu} = f_{cu}' K_h K_d K_c K_p K_{cl}$$

$$\begin{aligned}
 K_h &= 1 \\
 K_d &= 1,33 \\
 K_c &= 1,15 \\
 K_p &= 1,15 \\
 K_{cl} &= 1
 \end{aligned}$$

Esfuerzo permisible de compresión paralela a la fibra  $f_{cu} = 167,10 \text{ Kg/cm}^2$

$$A = b * d \qquad b \text{ (en cm)} = 4,12 \qquad d \text{ (en cm)} = 9,20 \qquad A \text{ (en cm}^2\text{)} = 37,90$$

$$P_R = 4433,57 \text{ Kg} \qquad > \qquad P_u = 429,62 \text{ kg}$$

### 17.3 Calculo de momentos por encorvadura, $M_c$ y excentricidad de la carga.

Momentos en los extremos

$$M_e = M1 + P_u X e_b \text{ (curva simple)}$$

$$\begin{aligned}
 e_b = L_u / 300 \qquad L_u &= 236 \text{ cm} \qquad e_b = \frac{236}{300} \\
 e_b &= 0,79 \text{ cm}
 \end{aligned}$$



Efectos de esbeltez

$$I = \frac{b \cdot d^3}{12,00}$$

$$I = \frac{4,12 \times 778,69}{12,00}$$

$$I = 267,35 \text{ cm}^4$$

$$r = \sqrt{I/4} \quad r = 2,66$$

$$K = \frac{1}{236} \text{ cm}$$

$$r = \frac{2,66}{2,66}$$

$$\frac{KL_u}{r} = \frac{1 \times 236}{2,66}$$

$$\frac{KL_u}{r} = 88,86$$

$$P_u \times e_b = 429,62 \times 0,79 = 339,40 \text{ kg.cm}$$

$$M_1 = (0,05) d \times P_u = 0,05 \times 9,2 \times 429,62$$

$$M_1 = 197,63 \text{ Kg.cm} \quad M_e = 537,03 \text{ Kg. Cm}$$

#### 17.4 Momento flexionante debido a la presión del viento.

$$M_v = F_c \times WL^2/8 =$$

$$1,1 \times \frac{24}{8} \times \frac{0,61}{100} \times 55696$$

$$M_v = 1121,16 \text{ Kg. cm}$$

$$M_c = (M_v + M_e) \delta \quad \delta = \frac{C_m}{1 - P_u / P_{cr}}$$

$$C_m = 1,00$$

$$P_{cr} = F_R \frac{\pi^2 E_{0,05} I}{(KL_u)^2} (K_h K_c K_p K_{cl})$$

$$F_R = 0,70$$

$$E_{0,05} = 50000,00 \text{ Kg/cm}^2$$

$$I = 267,35 \text{ cm}^4$$

$$L_u = 2,36 \text{ m}$$

$$K = 1,00$$

$$K_h = 1,00$$

$$K_c = 1,15$$

$$K_p = 1,10$$

$$K_{cl} = 1,00$$

$$(K_h K_c K_p K_{cl}) = 1,27$$

$$P_{cr} = 0,70 \times \frac{9,87 \times 50000,00 \times 267,35}{1,00 \times 55696,00} \times 1,27$$

$$P_{cr} = 2105,50 \text{ Kg} \quad P_u / P_{cr} = \frac{429,62}{2105,50} \quad P_u / P_{cr} = 0,20$$

$$\delta = 1,25 \quad M_u = 2072,74 \text{ Kg. cm}$$

17.5 Calculo de  $M_R$

$$M_R = F_R F_{fu} S \Phi$$

$F_R =$	0,80
$f_{fu} =$	191,19
$f'_{fu} =$	100,00
$K_h =$	1,00
$K_d =$	1,33
$K_c =$	1,15
$K_p =$	1,25
$K_{cl} =$	1,00
$\Phi =$	1,00
$b =$	4,12
$d =$	9,2
$s =$	58,12

$M_R = 8889,37 \text{ Kg. Cm}$

$$P_u / P_R + M_u / M_R = \frac{429,62}{4433,57} + \frac{2072,74}{8889,37}$$

0,10 + 0,23 = 0,33 < 1,00

**Ok La sección de 4.12 x 9.2 es adecuada**

**18. Calculo de la cimentacion de mamposteria**

**DATOS:**

RESISTENCIA DEL TERRENO =	RT=	8,00	tn/m2
PESO POR ML=	p=	1300,00	kg/ml
PESO PROPIO CIMENTACION=	0.20*P=	260,00	kg/ml
PESO DE DISEÑO=	P=	1560,00	kg/ml
ANALISIS POR ML=	L=	100,00	cm
CORONA=	C=	30,00	cm
RESIST. A CORTANTE	fv=	3,00	cm

$$A = \frac{P}{RT} =$$

**ANCHO "b"**

$$b = \frac{A}{L} =$$

A= 0,1950 m2                      1950 cm2

b= 19,50                      **40 cm**

$$v = \frac{b - c}{2} =$$

**VUELO "v"**

v= 5                      **5 cm**

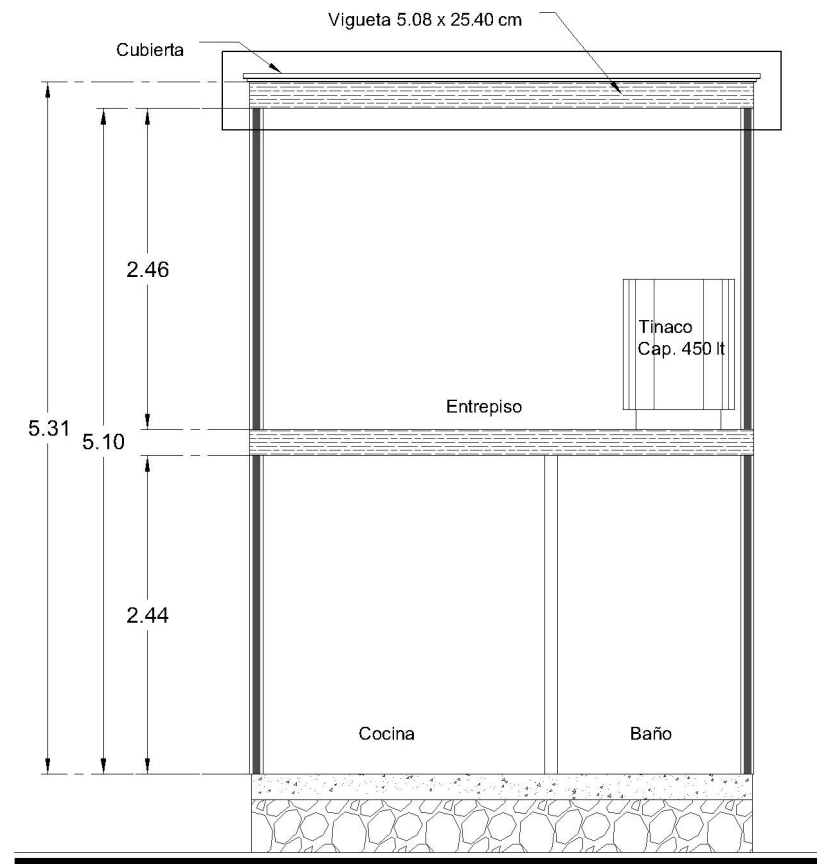
**PERALTE "h"**

h=1.74\*v=                      h= 8,7                      **40 cm**

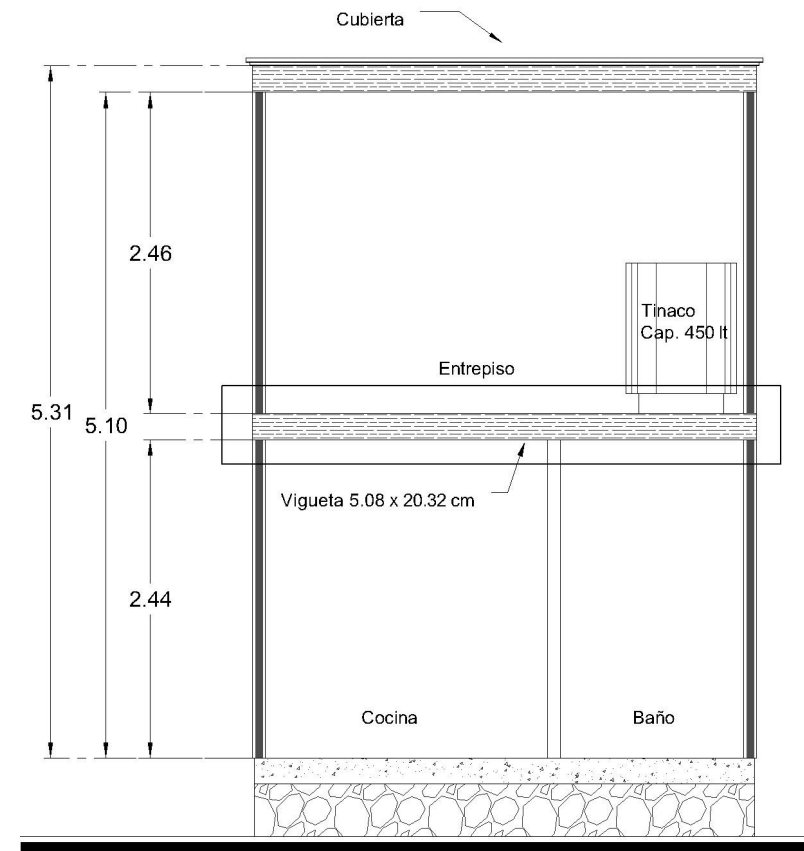
**CORTANTE RESISTENTE**

Vadm=2*h*L*f	Vadm=	24000
	Vadm	> P
	24000	> 1560

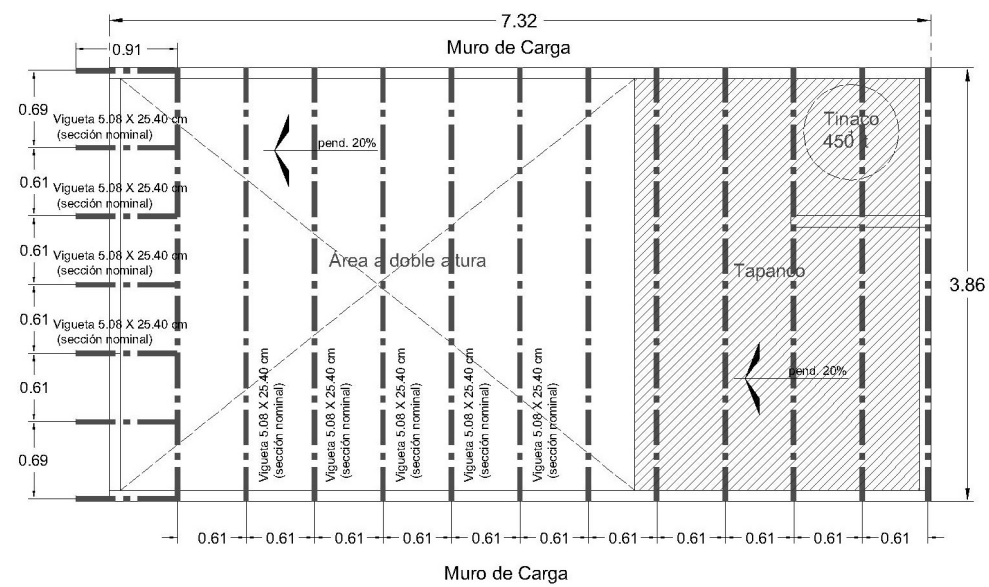
**Ok se acepta la sección.**



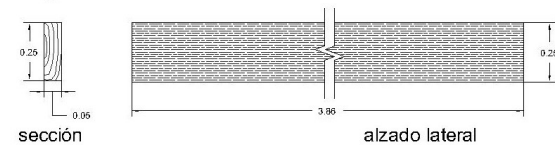
Sección Transversal Modulo Multifunción A



Sección Transversal Modulo Multifunción A

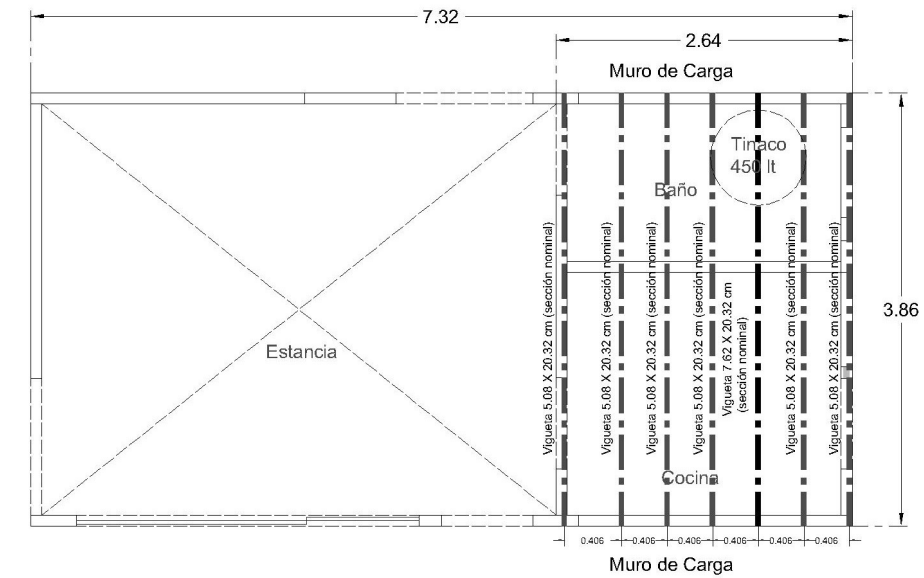


Vigueta 5.08 x 25.40 cm

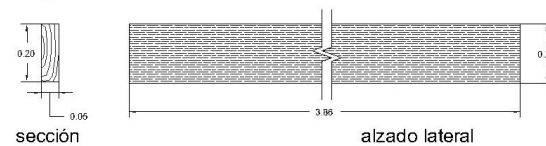


Estructura en Cubierta.

**Estructura en cubierta:** Viguera de madera estufada de pino, clase estructural tipo B; sección 5.08 cm x 25.40 cm (2" x 10" sección nominal), desplantada @ 61 cm.

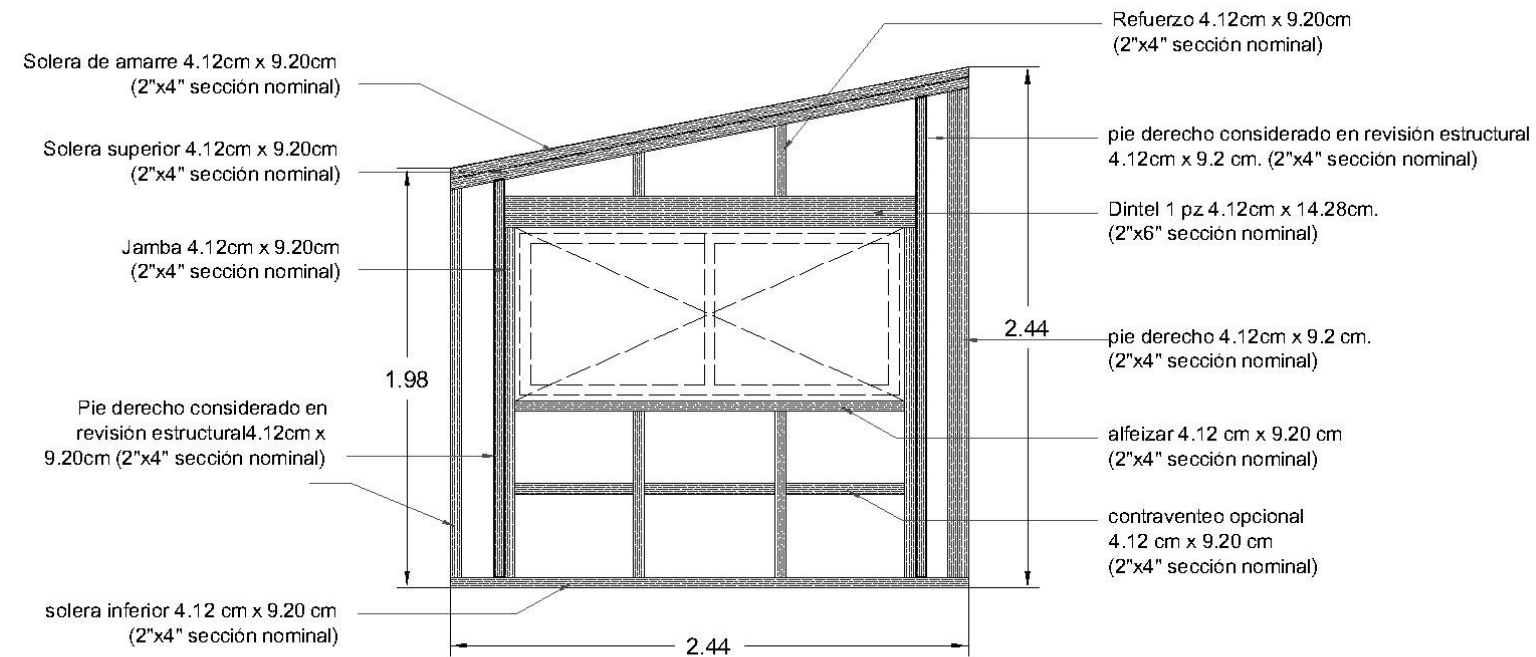


Vigueta 5.08 x 20.32 cm

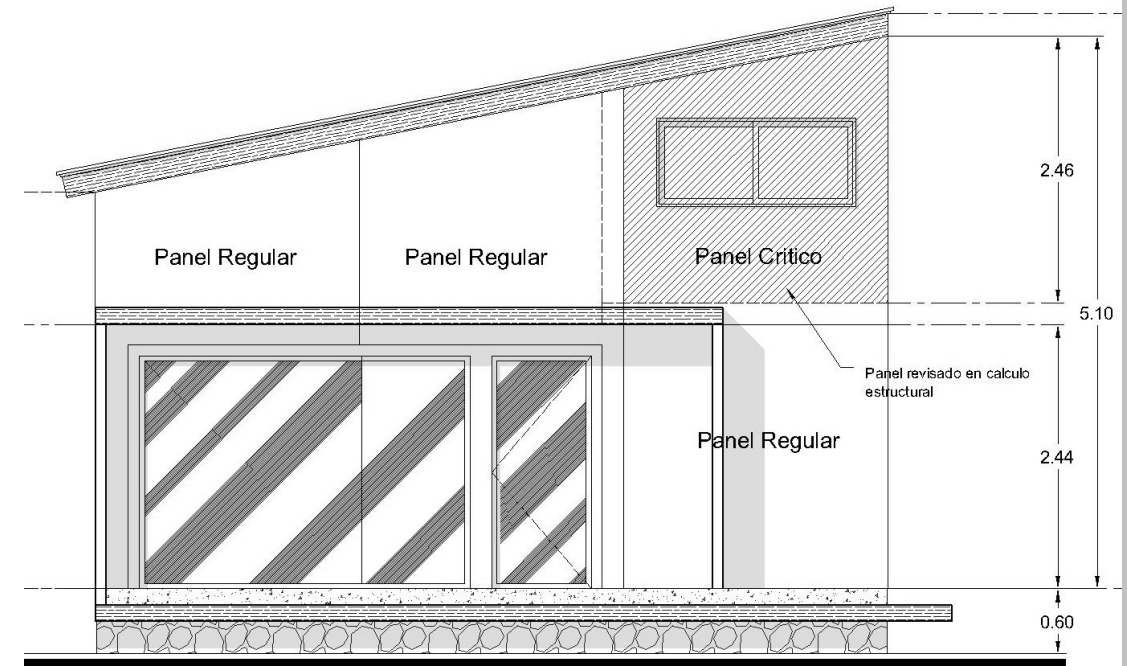


Estructura en entrepiso.

**Estructura en entrepiso:** Viguera de madera estufada de pino, clase estructural tipo B; sección 5.08 cm x 20.32 cm (2" x 8" sección nominal) desplantada @ 41 cm. Viga crítica de 7.62 cm x 20.32 cm (3" x 8" sección nominal) debajo de tinaco.

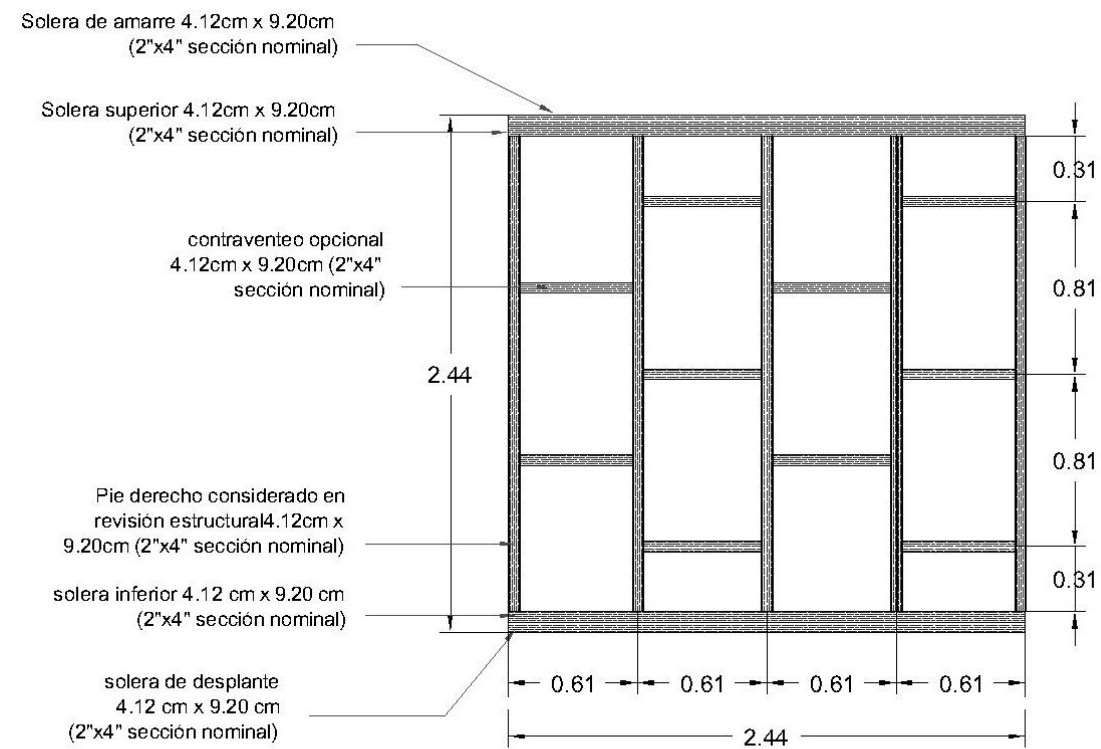


Panel critico de 1er nivel

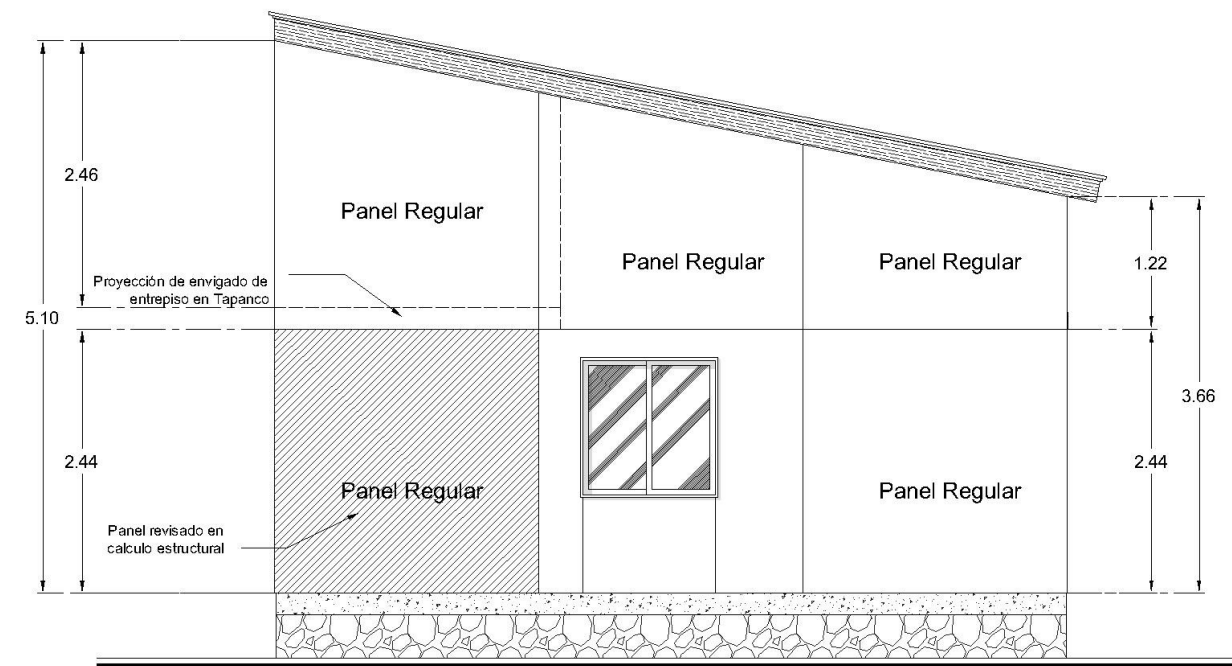


Fachada principal Modulo Multifunción A

Ubicación de panel critico



Panel regular Planta Baja



Fachada posterior Modulo Multifunción A

Ubicación de paneles regulares .

## 5.2.2 Selección del material aislante y revisión del desempeño integral en sistemas de muro y cubierta.

De la tabla 7; en la cual se presentan los coeficientes de conductividad térmica de diferentes materiales usados en la construcción, se han seleccionado los de más fácil acceso y mayormente usados en la región de estudio o localidades cercanas a esta, así como algunos otros de referencia del sistema tradicional de concreto-tabique.

De esta sub-lista de materiales aislantes, los de origen vegetal presentan ventajas ecológicas sobre las placas de poliestireno y la fibra de vidrio, ya que los primeros son biodegradables y reutilizables. No obstante la energía incorporada debido al transporte necesario de materiales no existentes en la zona, como las fibras de coco, de lino o la fibra de cáñamo los vuelven poco sustentables.

En el aspecto de accesibilidad a los materiales, en la actualidad, es fácil conseguir fibra de vidrio, y placas de poliestireno en la región de estudio o en las ciudades cercanas a estas. Sin embargo, debido al elevado costo que implica el aislamiento con fibra de vidrio, esta es poco usada en las zonas serranas. Por otro lado, las placas de poliestireno son de fácil acceso, se pueden conseguir en diferentes espesores, son de costo moderado a comparación con la fibra

de vidrio, y su transporte es económico debido a la densidad de este material.

En el aspecto de durabilidad, el tratamiento de que se lleva a cabo en el proceso de elaboración de los paneles de fibra de madera, le confiere cualidades anti ignifugas e imputrescibles, al igual que en el caso de los paneles de corcho y los paneles de celulosa reciclada.

En resumen, analizando diferentes factores como la accesibilidad a los materiales, la economía de estos, la facilidad de instalación, la responsabilidad ante el cambio climático, la durabilidad y principalmente los coeficientes de conductividad térmica, se puede decir que los materiales con más ventajas son:

- a) Los paneles de fibra de Madera
- b) Los paneles de fibra de corcho y
- c) las placas de poliestireno.

A continuación se muestra un análisis numérico del flujo de calor en muros de entramado de madera utilizando los aislantes mencionados, así como el flujo de calor presente en un muro de tabique rojo recocido con aplanados de mortero y otro de concreto armado.

### 5.2.2.1 Análisis del flujo de calor.

La fórmula utilizada para el cálculo del coeficiente de calor K es:

$$1/K = 1 / \alpha_1 + e_1 / \lambda_1 + e_2 / \lambda_2 + \dots + e_n / \lambda_n + 1 / \alpha_2$$



En la cual:

$\alpha_1$ : Coeficiente del cambio de calor a la superficie más caliente, expresado en  $\text{Cal} / \text{m}^2 / \text{h} / ^\circ\text{C}$

$\alpha_2$ : Coeficiente de cambio de calor a la superficie más fría, expresado en  $\text{Cal} / \text{m}^2 / \text{h} / ^\circ\text{C}$

$e_1, e_2, \dots, e_n$ : Son los espesores, expresados en metros, de los materiales que componen la pared.

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ : Son los coeficientes de conductividad térmica de los mismos.

### Muros de entramado de madera

- 1) forjado a base de barrotes de madera de pino de 2 x 4" (sección real = 4.12 cm x 9.20 cm) y contrachapados de madera de 12 mm de espesor en ambas caras. Panel de fibra de madera con un espesor de 9 cm en las cámaras resultantes entre los barrotes y las crucetas de contraventeo.

$\lambda$  contrachapado de madera de pino = 0.140

$\lambda$  panel de fibra de madera de pino = 0.050

Sustituyendo en la fórmula:

$$1/K = 1/7 + 0.012 \text{ m} / 0.140 + 0.09 \text{ m} / 0.050 + 0.012 \text{ m} / 0.140 + 1/25 = \mathbf{2.15}$$

$$K = 1/ 2.15 = \mathbf{K = 0.465}$$

Sustituyendo en la fórmula del flujo de calor y usando una temperatura interior de la vivienda de 20 ° C y una temperatura exterior de 3 ° C, el flujo de Calor es:

$$Q = (0.465 ) (1 \text{ m}^2 \text{ de muro } ) (20^\circ \text{ C} - 3^\circ\text{C}) = \mathbf{7.90 \text{ Calorías.}}$$

- 2) forjado a base de barrotes de madera de pino de 2 x 4" (sección real = 4.12 cm x 9.20 cm) y contrachapados de madera de 12 mm de espesor en ambas caras. Panel de fibra de madera con un espesor de 2.5 cm en las cámaras resultantes entre los barrotes y las crucetas de contraventeo y una cámara de aire de 6.5 cm de espesor.

$\lambda$  contrachapado de madera de pino = 0.140

$\lambda$  panel de fibra de madera de pino = 0.050

$\lambda$  en cámara de aire = 0.280

Sustituyendo en la fórmula:

$$1/K = 1/7 + 0.012 \text{ m} / 0.140 + 0.025 \text{ m} / 0.050 + 0.065 / 0.280 + 0.012 \text{ m} / 0.140 + 1/25 = \mathbf{1.09}$$

**Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango**

$$K = 1 / 1.09 = \mathbf{K = 0.92}$$

Sustituyendo en la fórmula del flujo de calor y usando una temperatura interior de la vivienda de 20 ° C y una temperatura exterior de 3 ° C, el flujo de Calor es:

$$Q = (0.92) (1 \text{ m}^2 \text{ de muro}) (20^\circ \text{ C} - 3^\circ \text{ C}) = \mathbf{15.64 \text{ Calorías.}}$$

- 3) forjado a base de barrotes de madera de pino de 2 x 4" (sección real = 4.12 cm x 9.20 cm) y contrachapados de madera de 12 mm de espesor en ambas caras. Panel de aglomerado de corcho con un espesor de 2.5 cm en las cámaras resultantes entre los barrotes y las crucetas de contraventeo y una cámara de aire de 6.5 cm de espesor.

$\lambda$  contrachapado de madera de pino = 0.140

$\lambda$  panel de aglomerado de corcho = 0.042

$\lambda$  en cámara de aire = 0.280

Sustituyendo en la fórmula:

$$1/K = 1/7 + 0.012 \text{ m} / 0.140 + 0.025 \text{ m} / 0.042 + 0.065 / 0.280 + 0.012 \text{ m} / 0.140 + 1/25 = \mathbf{1.18}$$

$$K = 1 / 1.18 = \mathbf{K = 0.84}$$

Sustituyendo en la fórmula del flujo de calor y usando una temperatura interior de la vivienda de 20 ° C y una temperatura exterior de 3 ° C, el flujo de Calor es:

$$Q = (0.84) (1 \text{ m}^2 \text{ de muro}) (20^\circ \text{ C} - 3^\circ \text{ C}) = \mathbf{14.28 \text{ Calorías.}}$$

- 4) forjado a base de barrotes de madera de pino de 2 x 4" (sección real = 4.12 cm x 9.20 cm) y contrachapados de madera de 12 mm de espesor en ambas caras. Placas de poliestireno de 2.5 cm en las cámaras resultantes entre los barrotes y las crucetas de contraventeo y una cámara de aire de 6.5 cm de espesor.

$\lambda$  contrachapado de madera de pino = 0.140

$\lambda$  placas de poliestireno = 0.024

$\lambda$  en cámara de aire = 0.280

Sustituyendo en la fórmula:

$$1/K = 1/7 + 0.012 \text{ m} / 0.140 + 0.025 \text{ m} / 0.024 + 0.065 / 0.280 + 0.012 \text{ m} / 0.140 + 1/25 = \mathbf{1.63}$$

**Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango**

$$K = 1 / 1.18 = \mathbf{K = 0.61}$$

Sustituyendo en la fórmula del flujo de calor y usando una temperatura interior de la vivienda de 20 ° C y una temperatura exterior de 3 ° C, el flujo de Calor es:

$$Q = (0.61) (1 \text{ m}^2 \text{ de muro}) (20^\circ \text{ C} - 3^\circ \text{ C}) = \mathbf{10.37 \text{ Calorías.}}$$

- 5) forjado a base de barrotes de madera de pino de 2 x 4" (sección real = 4.12 cm x 9.20 cm) y contrachapados de madera de 12 mm de espesor en ambas caras. Sin material aislante en las cámaras resultantes entre los barrotes y las crucetas de contraventeo

$\lambda$  contrachapado de madera de pino = 0.140

$\lambda$  en cámara de aire = 0.280

Sustituyendo en la fórmula:

$$1/K = 1/7 + 0.012 \text{ m} / 0.140 + 0.09\text{m} / 0.280 + 0.012 \text{ m} / 0.140 + 1/25 = \mathbf{0.68}$$

$$K = 1 / 0.68 = \mathbf{K = 1.47}$$

Sustituyendo en la fórmula del flujo de calor y usando una temperatura interior de la vivienda de 20 ° C y una temperatura exterior de 3 ° C, el flujo de Calor es:

$$Q = (1.47) (1 \text{ m}^2 \text{ de muro}) (20^\circ \text{ C} - 3^\circ \text{ C}) = \mathbf{25 \text{ Calorías.}}$$

**Muros de referencia sistema concreto-tabique**

- 6) Muro de tabique rojo recocido de 12 cm de espesor asentado al hilo con aplanados de mortero cemento-arena en ambas caras de 1.5 cm de espesor.

$\lambda$  tabique = 0.750

$\lambda$  aplanado de mortero = 0.750

Sustituyendo en la fórmula:

$$1/K = 1/7 + 0.015 \text{ m} / 0.750 + 0.12\text{m} / 0.750 + 0.015 \text{ m} / 0.750 + 1/25 = \mathbf{0.38}$$

$$K = 1 / 0.38 = \mathbf{K = 2.61}$$

Sustituyendo en la fórmula del flujo de calor y usando una temperatura interior de la vivienda de 20 ° C y una temperatura exterior de 3 ° C, el flujo de Calor es:

$$Q = (2.61) (1 \text{ m}^2 \text{ de muro}) (20^\circ \text{ C} - 3^\circ \text{ C}) = \mathbf{44.37 \text{ Calorías.}}$$

**Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango**

---

7) Muro de concreto armado de 10 cm de espesor sin aplanados.

$\lambda$  concreto armado = 1.300

Sustituyendo en la fórmula:

$$1/K = 1/7 + 0.1 \text{ m} / 1.300 + 1/25 = \mathbf{0.26}$$

$$K = 1 / 0.26 = \mathbf{K = 3.85}$$

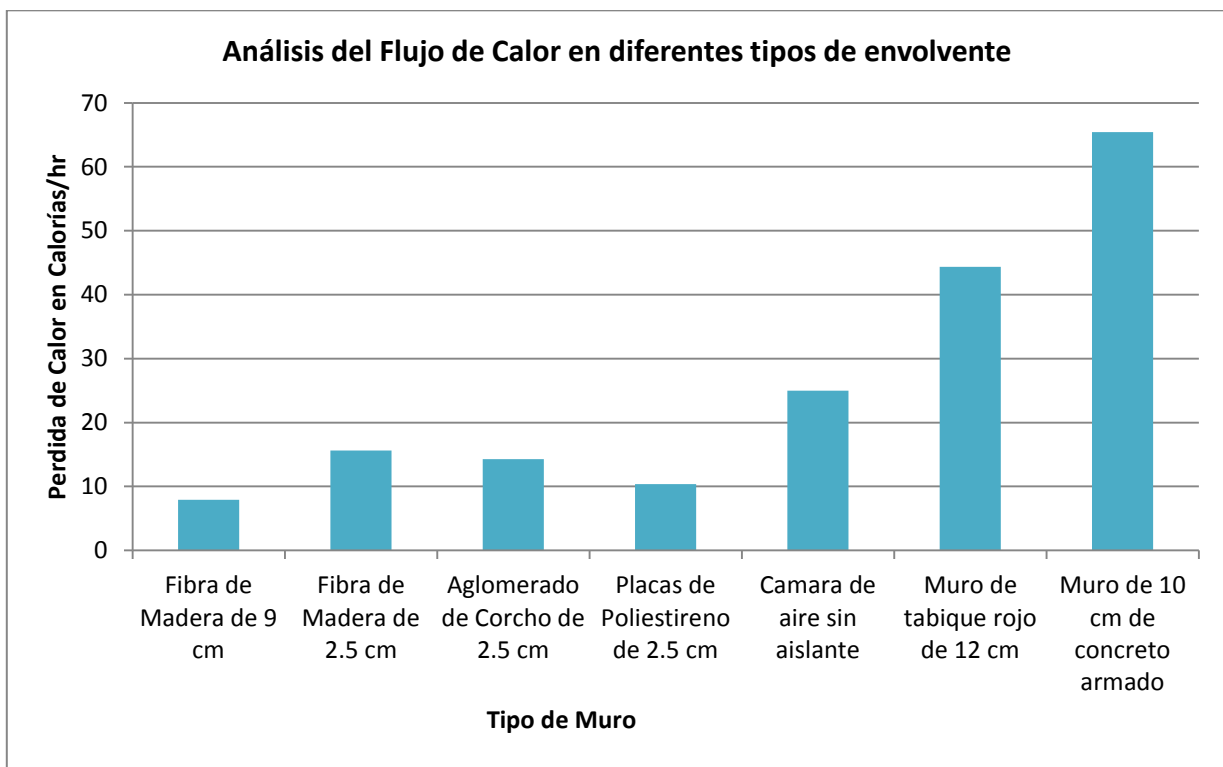
Sustituyendo en la fórmula del flujo de calor y usando una temperatura interior de la vivienda de 20 ° C y una temperatura exterior de 3 ° C, el flujo de Calor es:

$$Q = (3.85) (1 \text{ m}^2 \text{ de muro}) (20^\circ \text{ C} - 3^\circ \text{ C}) = \mathbf{65.45 \text{ Calorías.}}$$

**Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango**

**Tabla 11. Resumen de la Revisión del flujo de Calor de diferentes tipos de muro.**

<b>Numero</b>	<b>Tipo de muro</b>	<b>Coefficiente Q. flujo de calor en Cal / h</b>
<b>1</b>	Muro de entramado de madera aislado con paneles de fibra de madera con un espesor de 9 cm en las cámaras resultantes entre los barrotes y las crucetas de contraventeo.	7.90
<b>2</b>	Muro de entramado de madera aislado con paneles de fibra de madera con un espesor de 2.5 cm en las cámaras resultantes entre los barrotes y las crucetas de contraventeo y una cámara de aire de 6.5 cm de espesor.	15.64
<b>3</b>	Muro de entramado de madera aislado con paneles de aglomerado de corcho con un espesor de 2.5 cm en las cámaras resultantes entre los barrotes y las crucetas de contraventeo y una cámara de aire de 6.5 cm de espesor.	14.28
<b>4</b>	Muro de entramado de madera aislado con placas de poliestireno de 2.5 cm en las cámaras resultantes entre los barrotes y las crucetas de contraventeo y una cámara de aire de 6.5 cm de espesor.	10.37
<b>5</b>	Muro de entramado de madera. Sin material aislante en las cámaras resultantes entre los barrotes y las crucetas de contraventeo	25
<b>6</b>	Muro de tabique rojo recocido de 12 cm de espesor con aplanados de mortero de 1.5 cm de espesor.	44.37
<b>7</b>	Muro de concreto armado de 10 cm de espesor.	65.45



### 5.2.3 Factibilidad económica.

En esta parte del diseño de investigación se comprueba la viabilidad económica del sistema proyectado, revisando específicamente en qué medida se pueden abatir costos en comparación con un sistema de construcción tradicional (concreto-tabique). La medición de la variable dependiente “costo” se ha llevado a cabo en una de las últimas etapas de la investigación, procurando que el proyecto se encuentre completo, que se ha revisado y comprobado la resistencia estructural del sistema, que se han elegido los materiales de recubrimiento y aislamiento térmico y que se han hecho los cambios necesarios para lograr el funcionamiento del mismo.

Se ha realizado el presupuesto de construcción de una de las diez soluciones arquitectónicas de vivienda de madera posibles. El presupuesto está integrado por todos los conceptos de obra necesarios, los cuales se agruparan por partidas de acuerdo a las etapas de construcción y la relación entre ellos.

Una vez que se tiene el importe final de construcción de la vivienda de madera, se procedió con la comparación contra un presupuesto de construcción bajo un sistema de concreto-tabique, tomando como referencia los m<sup>2</sup> de construcción y el tipo de vivienda.

A continuación en la Ilustración 54 e Ilustración 55 se muestran los modelos de vivienda presupuestados para ambos casos.

Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

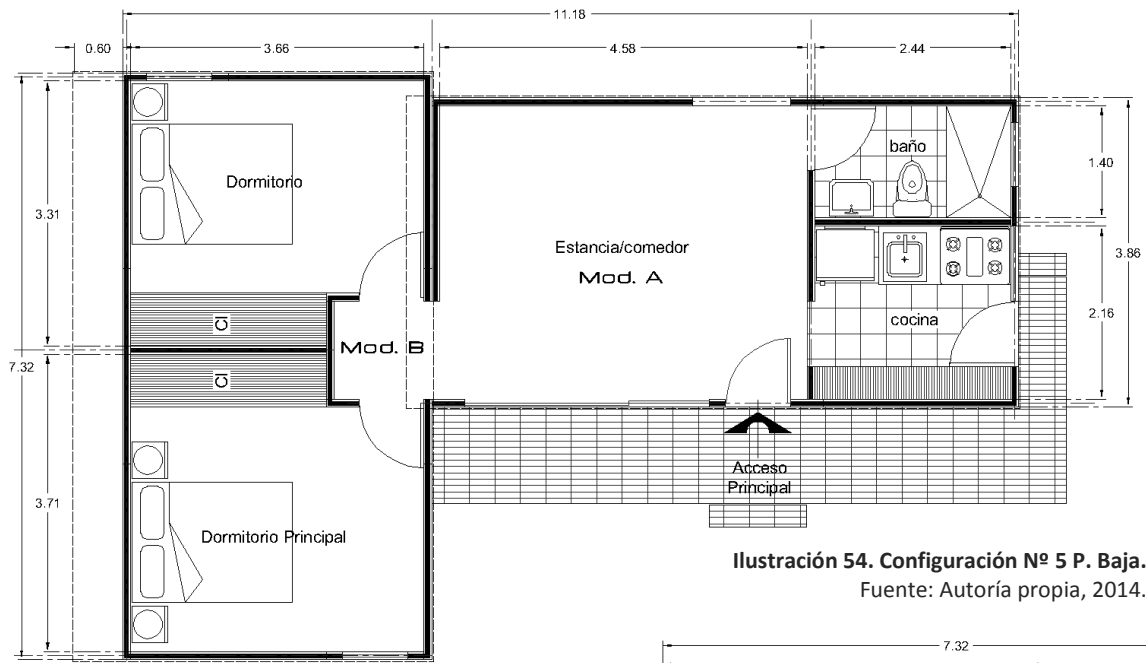


Ilustración 54. Configuración N° 5 P. Baja.  
Fuente: Autoría propia, 2014.

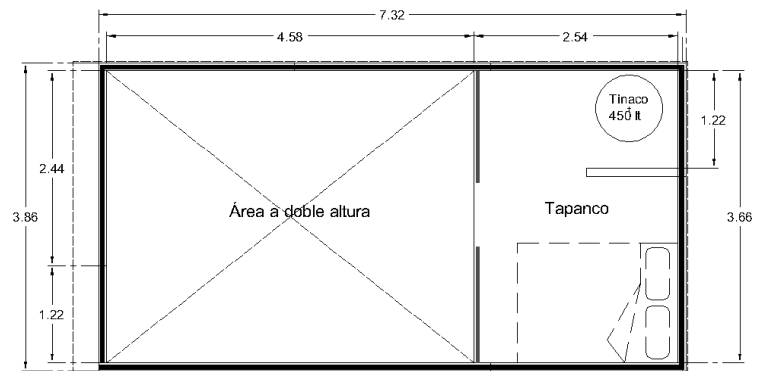


Ilustración 53. Tapanco en módulo multifunción A.  
Fuente: Autoría propia, 2014



Ilustración 52. Vivienda de madera de 64.00 m<sup>2</sup>. Fuente: Autoría propia, 2015.



Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

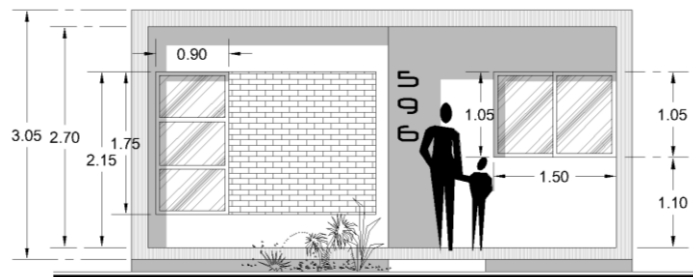
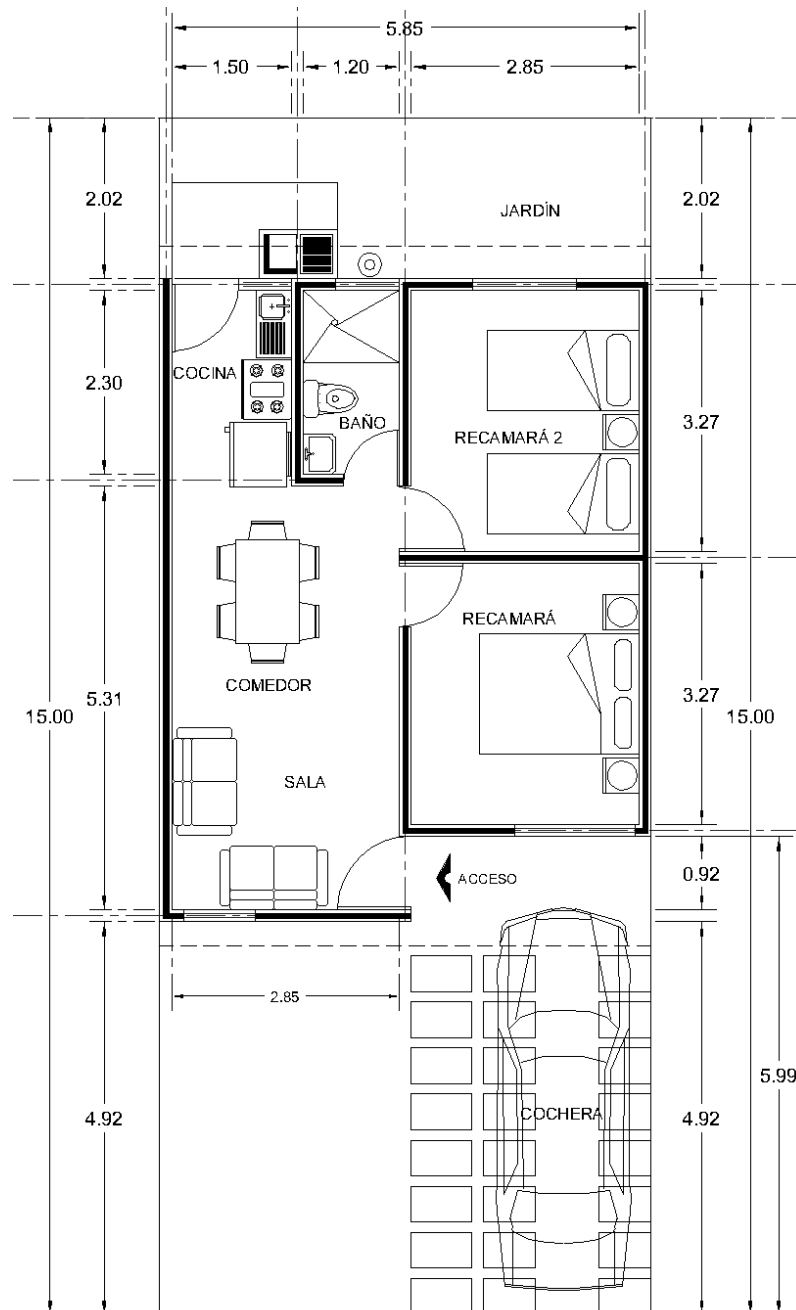


Ilustración 55. Vivienda bajo sistema de concreto-tabique. Área = 46.35 m<sup>2</sup>. Fuente: Autoría propia, 2010.

**5.2.3.1 Resumen de presupuesto vivienda de madera de 64.00 m<sup>2</sup> construidos.**

<b>Resumen de presupuesto</b>	
<b>Partida</b>	<b>Importe</b>
<b>1</b> Preliminares	\$860.00
<b>2</b> cimentación	\$19,549.39
<b>3</b> Albañilería	\$12,603.16
<b>4</b> Muros de entramado ligero de madera	\$31,749.63
<b>5</b> Cubierta ligera de madera y sistema de impermeabilización	\$78,251.25
<b>6</b> Acabados	\$12,852.47
<b>7</b> Instalación Eléctrica	\$18,287.74
<b>8</b> Instalación hidrosanitaria	\$39,073.99
<b>9</b> Marquetería y Vidrios	\$10,940.00
<b>10</b> Carpintería	\$33,207.70
	subtotal de \$257,375.34 presupuesto
	IVA 0
	<b>Total de \$257,375.34 presupuesto</b>

Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango

**5.2.3.1 Resumen de presupuesto vivienda de concreto tabique 46.35 m<sup>2</sup> construidos.**

Resumen de Presupuesto		
Partida	Importe	
1	Cimentación	\$34,228.15
2	Albañilería	\$67,548.89
3	Losas	\$54,227.52
4	Acabados	\$35,271.40
5	Instalación Eléctrica	\$18,287.74
6	Instalación Hidrosanitaria	\$37,961.55
7	Herrería, Aluminio y Vidrios	\$18,211.74
	subtotal de presupuesto	\$265,736.99
	IVA	\$0.00
	<b>Total de presupuesto</b>	<b>\$265,736.99</b>

**5.2.3.2 Comparativas Económicas.**

Comparativa económica costo general				
tipo de vivienda	m <sup>2</sup> construidos habitables	precio	\$/m <sup>2</sup>	% del costo sist. Tradicional
casa madera	64.00	\$257,375.34	\$4,021.49	70.14%
casa concreto-tabique	46.35	\$265,736.99	\$5,733.27	100%

**Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango**

Comparativa económica de <b>cimentación</b>				
tipo de vivienda	m <sup>2</sup> construidos habitables	costo de cimentación	\$/m <sup>2</sup>	% del costo sist. Tradicional
<b>casa madera</b>	64.00	\$19,549.39	\$305.46	41.36%
<b>casa concreto-tabique</b>	46.35	\$34,228.15	\$738.47	100%

Comparativa económica de <b>muros</b>				
tipo de vivienda	m <sup>2</sup> construidos habitables	costo de muros	\$/m <sup>2</sup>	% del costo sist. Tradicional
<b>casa madera</b>	64.00	\$41,533.37	\$648.96	40.69%
<b>casa concreto-tabique</b>	46.35	\$73,931.51	\$1,595.07	100%

Comparativa económica de <b>cubiertas</b>				
tipo de vivienda	m <sup>2</sup> cubierta	costo de cubiertas	\$/m <sup>2</sup>	% del costo sist. Tradicional
<b>casa madera</b>	64.00	\$67,695.89	\$1,057.75	86.77%
<b>casa concreto-tabique</b>	51.40	\$62,655.58	\$1,218.98	100%

### 5.2.4 Grado de aceptación de la vivienda de madera.

Con el objetivo de revisar el grado de aceptación que tienen los sistemas formales de construcción con madera en la región, así como conocer los sistemas mayormente usados, se llevaron a cabo encuestas en una muestra de la población de ciudad de El Salto, en el municipio forestal de Pueblo Nuevo en Durango. Se eligió este municipio ya que según datos de CONAFOR, es el principal productor de madera a nivel estatal y nacional.

#### **Escala de Likert.**

La Escala de Likert es un instrumento de medición frecuentemente usado para medir actitudes. En el campo de la psicología se describe a una actitud como la suma de inclinaciones y sentimientos, prejuicios o distorsiones, nociones preconcebidas, ideas, temores, amenazas y convicciones de un individuo acerca de cualquier asunto específico.

La escala de Likert mide actitudes o predisposiciones individuales en contextos sociales particulares. También se le conoce como escala sumada debido a que la puntuación de cada unidad de análisis se obtiene mediante la sumatoria de las respuestas obtenidas en cada ítem<sup>57</sup>.

La escala de Likert se constituye por una serie de preguntas las cuales reflejan una actitud positiva o negativa hacia un estímulo o referente. Cada ítem cuenta con al menos 5 posibilidades de respuesta, las cuales van desde “totalmente de acuerdo” hasta “totalmente en desacuerdo”, pasando por una respuesta intermedia la cual proporciona una respuesta indiferente.

Las preguntas pueden tener una predisposición favorable o desfavorable hacia el referente analizado, por lo cual, los puntajes de sus respuestas pueden cambiar de positivo a negativo.

La encuesta realizada consto de 13 ítems, las cuales valoraron aspectos como percepción de la seguridad estructural de la vivienda, el nivel de confort térmico dentro de las mismas y la durabilidad de éstas. Las respuestas iban de lo excelente hasta lo muy malo.

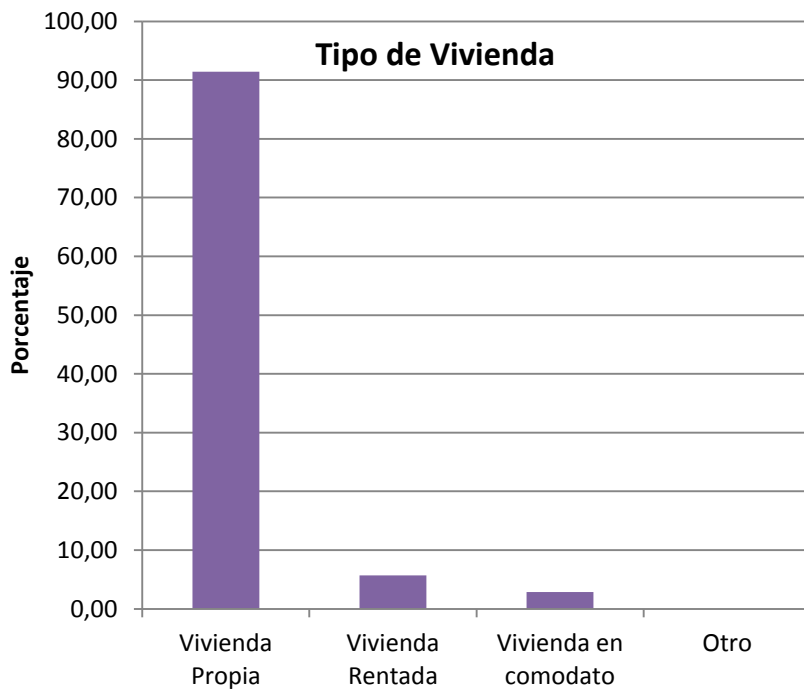
Al analizar de manera aislada algunos de los ítems se pudieron obtener datos cuantitativos acerca de los sistemas constructivos más frecuentes en la región, mientras que revisando los resultados al relacionar al menos cuatro ítems se pudo obtener una actitud de la población hacia las viviendas de madera.

Los resultados más representativos revisando de manera aislada los ítems fueron:

Del 100% de la muestra analizada el 91.43% de las personas entrevistadas cuentan con vivienda propia, el 5.71% viven en una vivienda rentada y el 2.86% viven en una vivienda prestada.

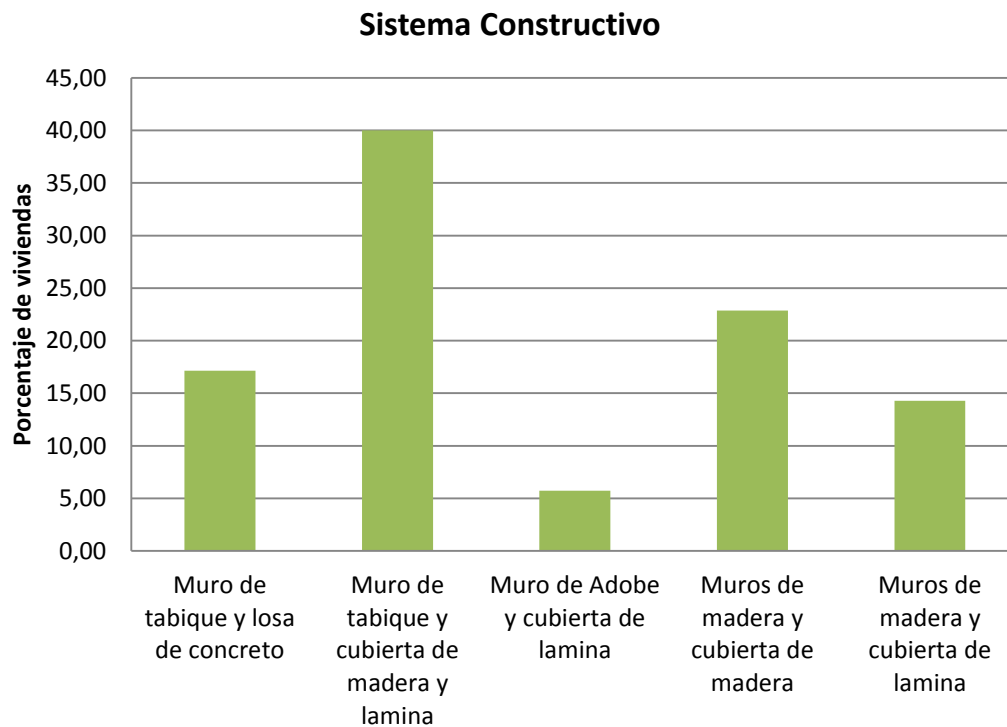
<sup>57</sup> El termino **ítem** hace referencia a cada una de las partes que conforman un conjunto.

**Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango**



Del porcentaje total de la muestra analizada, un 17.14% de las viviendas están construidas bajo un sistema de muros de tabique rojo y losa de concreto; Un 40% son construidas bajo un sistema de muros de tabique rojo y cubierta con estructura de madera aserrada y forro de lámina; Un 5.71% Están construidas bajo un sistema de muros de Adobe y cubierta con estructura de madera aserrada y forro de lámina; Un 22.86% están construidas bajo un sistema de muros de madera y cubierta de

madera y un 14.29% son construidas bajo un sistema de muros de madera y cubierta con estructura de madera y forro de lámina.



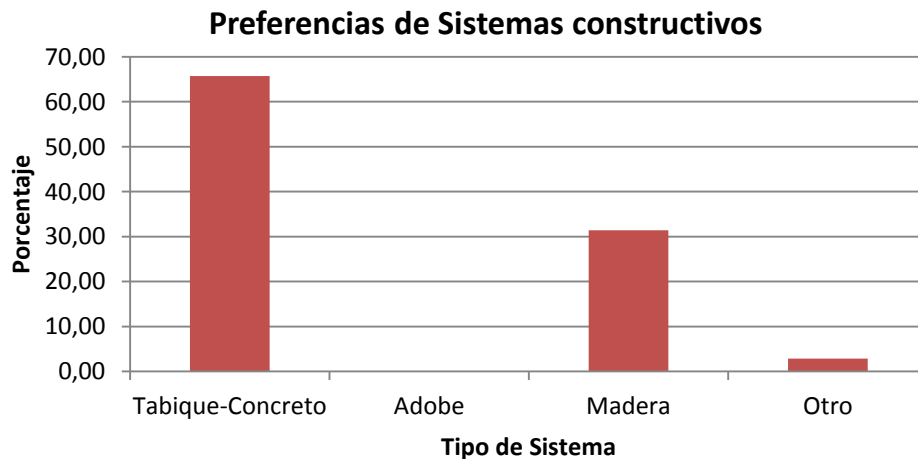
**Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango**

Del 100% de la muestra analizada, el 48.57% estaría dispuesto a invertir tan solo menos de \$150,000.00 para construir una nueva vivienda, el 31.43% invertiría de \$150,000.00 a \$300,000.00, el 17.14% invertiría de \$300,000.00 a \$500,000.00, y el 2.86% invertiría más de \$500,000.00.



Del 100% de la muestra el 65.71% preferirían construir una nueva vivienda o ampliar su vivienda actual mediante un sistema de concreto-tabique, un 31.43% lo harían bajo un sistema formal de construcción con madera y un 2.86% construirían su vivienda a base de block de concreto.

Por otro lado, llevando a cabo una sumatoria de puntos de las respuestas de cuatro ítems, se pudo concluir con una aceptación o preferencia hacia la vivienda de madera de casi un 40% del total de la muestra revisada.





## 6. Conclusiones.

### 6.1 Conclusión de la revisión del adecuado comportamiento estructural.

Las secciones idóneas de viguetas para ser utilizadas en el sistema constructivo propuesto son las de 2" x 10" espaciadas a cada 61 cm para cubierta y de 2" X 8" espaciadas a cada 40 cm para entepiso. El diseño estructural de la cubierta permite soportar desde un sistema de impermeabilización a base de cartón asfaltado hasta un tejado a base de teja de barro tipo árabe.

El sistema de entramado ligero proyectado no presenta mayores problemas ante cargas gravitacionales, ya que la capacidad de carga de los paneles excede en un 500% la carga actuante.

El área de apoyo en cimentación que demanda el sistema constructivo es mínima. Pudiéndose utilizar sin ningún problema una cimentación a base de postes hincados en el terreno. No obstante, con la finalidad de elevar la edificación del nivel del terreno natural y generar una mayor apariencia de vivienda permanente se ha propuesto la utilización de una cimentación en forma de rodapié a base de piedra braza de la región.

Existe una diferencia considerable entre las capacidades de carga que arroja un elemento estructural diseñado con madera tipo A y uno con madera tipo B, y aunque la mayor cantidad de elementos estructurales se diseñaron suponiendo un uso de madera tipo B, se recomienda un estricto criterio de selección de la madera cuando esta se requiera utilizar estructuralmente como madera tipo A.

El uso de pendientes mayores al 5% y al hecho de no contar con configuraciones arquitectónicas donde existan cubiertas críticas sobre las cuales escurran varias cubiertas, permitió un diseño estructural para el cual no es necesario el considerar cargas accidentales por acumulación de lluvia, granizo o nieve. No obstante, el uso de cargas únicamente gravitacionales demanda factores de modificación más elevados que cuando se diseña considerando cargas accidentales, derivando en un diseño aún más conservador, el cual puede soportar sin ningún problema las cargas que puedan llegar a incidir en la cubierta de la vivienda ya sea por razón de lluvia, granizo o nieve.

### 6.2 Conclusiones de la revisión del adecuado comportamiento térmico del sistema.

En resumen, analizando diferentes factores como la accesibilidad a los materiales, la economía de estos, la facilidad de instalación, el impacto ecológico, la durabilidad y principalmente los coeficientes de conductividad térmica, se puede decir que los materiales con más ventajas son:

- d) Las placas de poliestireno reciclado,
- e) Los paneles de fibra de Madera y

f) Los paneles de fibra de corcho

De estos materiales las placas de poliestireno reciclado presentan el coeficiente de transmisión de calor más bajo y en conjunto con los demás materiales utilizados en el sistema de muros y cubiertas se obtuvo un flujo (perdida) de calor menor, perfilándose así como la opción más viable para ser usado como material aislante.

Cabe remarcar que cualquiera de los tres materiales aislantes revisados en conjunto con el sistema de muro o cubierta, poseen mejores características de aislamiento térmico que un muro de tabique rojo recocido o que una losa de concreto de 10 cm de espesor. Inclusive un muro de entramado de madera sin mayor aislación que una cámara de aire de 9 cm de espesor puede asilar más que un muro de estos materiales.

### 6.3 Conclusión Comparativa Económica.

El abatimiento de costos logrado por  $m^2$  de construcción al realizar la comparativa económica entre una de las configuraciones de vivienda bajo el sistema constructivo con madera proyectado y una vivienda bajo el sistema constructivo de concreto tabique, fue de un 29.86%. Esto sin sacrificar o comprometer características involucradas en la durabilidad de las viviendas, el comportamiento térmico y el comportamiento mecánico de ambos sistemas.

Como se observó desde la revisión estructural del sistema constructivo con madera, los volúmenes de cimentación que este demanda son relativamente bajos en comparación con el sistema de concreto tabique. Esto derivó en un costo de cimentación más bajo.

Además del costo de cimentación, la segunda diferencia notoria entre ambos sistemas está en los muros. Los abatimientos logrados en cimentación y muros de la vivienda de madera son de un 58.64% y 59.32% respectivamente.

En el caso de los sistemas de cubiertas la diferencia es menos notoria, sin embargo, la vivienda de madera sigue presentando una diferencia a favor de un 13.23% con respecto al costo por  $m^2$  de la losa de concreto.

### 6.5 Conclusión General.

A comparación con el sistema de concreto-tabique el sistema de construcción con madera proyectado permite un mayor aprovechamiento de las propiedades mecánicas del material. A pesar de que la madera de pino, el tabique rojo recocido y el block de concreto poseen capacidades de carga unitaria similares, el uso de secciones y elementos de madera más esbeltos deriva en capacidades de carga menores en viguetas y en muros. No obstante, esa capacidad de carga aun viéndose reducida es más

que suficiente para soportar las cargas muertas propias del sistema, las cargas vivas y cargas accidentales, demostrando así un adecuado comportamiento estructural y una mayor eficiencia de los materiales utilizados.

Desde la revisión de la literatura se encontró que la madera como material de construcción posee mejores cualidades de aislación térmica que materiales como la arcilla recocida y el concreto. No obstante, se debió revisar el sistema de muro y de cubierta tomando en cuenta todos los materiales que intervienen; los materiales de soporte, los de recubrimiento y los utilizados con fines de aislación térmica, así como los espesores de estos. La revisión realizada mediante la fórmula de flujo de calor, permitió encontrar que efectivamente el sistema proyectado se comporta mejor que un muro de tabique rojo recocido o una losa de concreto.

Considerando los precios actuales de la madera y de los materiales tradicionales de construcción en la región, se pudo lograr un abatimiento importante en los costos generales. Al igual que en los países con vocación forestal, a medida que aumente la demanda de la madera en la construcción, bajara el precio de esta y por consiguiente, el porcentaje de abatimiento de costos puede ser mayor. Por otro lado la producción industrializada de estas viviendas traería consigo un abatimiento de costos por el volumen de obra.

El grado de aceptación de la vivienda de madera en la región de estudio fue más alto de lo que se esperaba. Las encuestas realizadas permitieron observar que la tendencia a preferir las viviendas de madera se da en adultos mayores, quienes tuvieron la posibilidad de habitar en viviendas de madera construidas bajo técnicas vernáculas y en personas con un nivel de educación media y alta, las cuales han tenido acceso a literatura sobre madera.

Para que el sistema constructivo con madera proyectado pueda tener una aceptación más rápida, es importante promover y hacer del conocimiento público en las regiones forestales los resultados de la investigación realizada, exponer las propiedades y ventajas que tiene un sistema de construcción formal con madera, además de los beneficios que puede traer a estas regiones el uso local de la madera, así como el valor agregado que se le puede dar a la madera que sale de estas comunidades.

No se debe dejar de lado el nicho de mercado que representa en estas regiones actualmente la construcción y ampliación de vivienda bajo sistemas mixtos de construcción, así como también la construcción de cubiertas ligeras.

### **Futuras investigaciones.**

- Investigación y propuestas de materiales para ser usados como aislantes térmicos, contruidos a partir de los residuos de madera obtenidos durante la etapa de aserrío.

**Alternativa de vivienda de madera para las regiones Forestales de Durango**

---

- Revisión de la factibilidad económica y Propuesta de un modelo de negocio para la producción y comercialización de viviendas de madera bajo el sistema proyectado en la región de estudio.
- Elaboración del análisis completo del ciclo de vida de una vivienda de madera construida a partir del sistema proyectado, desde la extracción de la madera como materia prima, hasta el desmantelamiento de la vivienda una vez terminada su vida útil.

## Glosario de términos.

### **aclareos**

hace referencia a la técnica silvícola mediante la cual se lleva a cabo una poda selectiva para hacer espacio y permitir que los árboles mejor desarrollados y más sanos se logren y se extraiga una mejor madera., 36

### **aglomerados**

Tablero elaborado a base de virutas de madera, aserrín y resinas., 40, 41, 61, 103

### **angiospermas**

Son todas las plantas que producen flor y fruto., 45

### **anhidra**

Que no contiene agua., 52, 53

### **ápice**

Se refiere al extremo superior de un árbol., 44

### **área basal**

se refiere al área en metros cuadrados del corte transversal de un árbol a la altura del pecho, es decir, a 1.30 m. aproximadamente., 7, 84

### **Área basal**

se refiere al área en metros cuadrados del corte transversal de un árbol a la altura del pecho, es decir, a 1,30 m., 7, 84

### **arriostramientos**

elemento estructural diagonal, usado en los entramados de madera para soportar empujes o cargas horizontales., 40, 59, 60

### **autoclave**

Cámara cilíndrica de cierre hermético con paredes metálicas muy resistentes, 25, 48

### **Bajo carbono**

hace referencia a los materiales que demandan poca energía de manufactura, que no emiten gases de efecto invernadero durante el proceso y que además pueden ser reciclados o reutilizados una vez que la edificación ha cumplido con su periodo de vida útil., 33

### **Bungaló**

Se refiere a una casa unifamiliar de una planta, construida con madera., 59

### **caducas**

Hace referencia a las plantas o árboles que pierden su follaje durante alguna estación del año., 45

### **carrizo**

tallo seco de planta de maíz., 12

### **cerchas**

entramado formado por piezas lineales de madera unidas entre ellas en un mismo plano y sometidas a esfuerzos de compresión y tracción., 26, 40

### **contrachapados**

Tablero elaborado con finas chapas de madera pegadas con las fibras encontradas perpendicularmente una sobre otra, con la ayuda de resinas, presión y calor., 7, 9, 37, 40, 41, 50, 60, 81, 96, 97, 107, 139, 140, 141

### **dominancia**

se refiere al índice más alto de coincidencia de una misma especie en un área determinada., 7, 84

### **Dominancia**

se refiere al índice más alto de coincidencia de una misma especie en un área determinada., 7, 84

### **ebanistería**

se refiere a la técnica de carpintería de trabajar con maderas finas para la fabricación principalmente de muebles de alta calidad. En la ebanistería se utilizan maderas como el ebano, la caoba, el roble y el nogal., 9, 41, 48

### **finger-joint**

En carpintería es el corte que se hace con forma de peine en dos piezas de madera que posteriormente se pegan., 51

### **FSC**

Forest Stewardship Council, 36

### **fuste**

parte visible después de la raíz, que parte del suelo y llega hasta la copa., 24, 42, 46

### **geomorfológica**

hace referencia a las formas de la superficie terrestre, 4

### **gimnospermas**

Son todas las plantas que producen sus semillas expuestas., 44

### **higroscópico**

Se refiere a la capacidad de absorción de humedad del ambiente., 52

### **letrina**

espacio o local destinado para defecar., 11

### **lignocelulósicas**

se refiere a la materia que contiene celulosa, hemicelulosa y lignina., 50

### **madera aserrada**

hace referencia a aquella que ha sido dimensionada y cepillada en un aserradero., 7, 13, 17, 49, 50, 81, 151

**maderas reconstituidas**

hace referencia a los tableros o escuadrias elaborados a partir de derivados de la madera como lo son las fibras, las partículas y las ojuelas, entre otras., 7, 50

**mancha azul**

Se refiere al hongo *Ceratocystis pilífera*, el cual produce este tinte característico en la madera cuando ha sido atacada., 28

**materiales de alto carbono**

hace referencia a los materiales que demandan grandes cantidades de energía durante su extracción, transformación o creación, además de emitir considerables cantidades de gases de efecto invernadero durante los procesos de manufactura y una vez que el material a cumplido con su ciclo de vida., 33

**monocultivos**

Se entiende como monocultivo a las plantaciones forestales de una misma especie., 35

**perennes**

Se refiere a las plantas que no mantiene su follaje durante todo el año., 45

**pies derechos**

término usado en la construcción con madera, Se refiere al elemento estructural vertical dentro de un entramado de madera o una estructura, usado para resistir cargas verticales., 40, 60, 61, 62, 63

**pilotes**

elementos estructurales sometidos a cargas verticales usados para la cimentación de edificaciones., 21, 22, 47

**postes**

elementos estructurales de madera sometido esencialmente a cargas de compresión., 9, 13, 17, 21, 22, 24, 40, 48, 59, 72, 77, 153

**punto de equilibrio**

nivel de secado de la madera, en el cual ya no absorbe ni desprende humedad. El rango oscila entre el 8 y 14% y varía dependiendo de la zona., 24

**rajueado**

acción de incrustar delgadas piedras en las juntas verticales de los adobes, con la intención de

generar una superficie más favorable para la adherencia de un aplanado de cal., 12

**savia**

es el fluido o líquido transportado por los tejidos de conducción de las plantas (xilema o floema)., 43, 44, 45, 48

**sección nominal**

sección si labrar de una pieza de madera., 13, 97

**tapanco**

espacio generado entre la cubierta frecuentemente a dos aguas y un envigado de entrepiso. El espacio es utilizado como almacén de granos, herramientas o como alcoba., 11

**tejabán**

cubierta sencilla con estructura de madera sin muros perimetrales que confinen el espacio. Es usado en las zonas rurales como almacenamiento o protección para el ganado., 11

**tejamanil**

teja de madera de elaboración artesanal., 10, 13, 97

**tinglada**

hace referencia a la disposición de tejuelas o tablas de revestimiento, cuando en vez de juntarse por sus cantos, se montan parcialmente una sobre la otra., 10, 13

**trozas**

se refiere un tronco o parte del mismo desramado y dimensionado a una medida estándar., 7, 13, 16

**vigas laminadas**

Se refiere al elemento estructural horizontal formadas por piezas de maderas juntas y encoladas por sus caras dispuestas de diversas maneras., 41, 49, 51

**xilófagos**

adjetivo usado para calificar a los organismos que se alimentan de madera., 18, 25, 27, 49

**zaguán**

hace referencia al espacio cubierto que comunica el acceso desde la calle al patio central de la casa. Es el vestíbulo de acceso comúnmente usado en la arquitectura doméstica Española y Árabe, traído a México durante la Colonia., 12

---

## Referencias.

- Blue Sky Mod. (2013). *Cabaña Prefabricada Blue Sky Mod*. Recuperado el 02 de Noviembre de 2013, de [http://arkinetia.com/breves/todd-saunders-noruega\\_a16](http://arkinetia.com/breves/todd-saunders-noruega_a16)
- Beyond sustainable*. (13 de noviembre de 2013). Recuperado el 04 de octubre de 2014, de <http://beyondsustainable.net/2013/11/13/los-aislamientos-termicos-de-origen-vegetal/>
- AeroHouse. (13 de Mayo de 2012). *AeroHouse*. Recuperado el 13 de Mayo de 2012, de <http://www.aerohouse.net/>
- American Wood Council. (2005). *National Desing Especification. Desing Values for Wood Construction*. USA: American Forest & Paper Association, Inc.
- Barbosa, F. (s.f.). *Especificaciones generales para la construcción de viviendas de interes social a base de componentes de madera*. Mexico, D.F.: FOVI- BANCO DE MEXICO.
- Bjorn, B. (2009). *The ecology of Building materials*. Oxford, UK.: Architectural Press. Elsevier.
- Casas Alberta. (18 de Febrero de 2013). *Modular Canadian Home*. Recuperado el 18 de Febrero de 2013, de <http://www.casasalberta.cl/>
- Centro de Transferencia Tecnologica de la Madera. (2008). *Manual para la construccion de viviendas en madera*. Chile: CTT.
- Clark J.D., H. J. (s.f.). Fire and its roles in early hominid lifeways. *The African Archaeological Review*, 27.
- Echenique, M. R., & Robles, F. F. (1986). *Estructuras de madera*. Mexico: Limusa.
- Edwards, B. (2001). *Guia Basica de Sostenibilidad*. Barcelona, España: Gustavo Gili.
- Erdoiza, S. J. (29 de Noviembre de 2013). Sequoia. Asesoría y tratamiento de maderas. (S. M. Hernández, Entrevistador)
- Escárpita, H. A. (2002). Situación actual de los bosques de Chihuahua. *Maderas y Bosques*, 8(1), 3-17.
- Forest Products Laboratory, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. (1987). *Wood Handbook. Wood as an engineering material*. Washington DC. U. S.: U.S. Government Printing Office.
- Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal. (1987). *Normas Tecnicas Complementarias para el Diseño y Construccion de Estructuras de Madera*. Mexico D.F.: Qunita Epoca.
- Garcia, N. V. (07 de 02 de 2015). Posibilidades de obtencion de un credito hipotecario para vivienda de madera . (M. H. Suárez, Entrevistador)



Habitaflex. (17 de Octubre de 2013). *Sistema Habitaflex*. Recuperado el 17 de Octubre de 2013, de <http://www.habitaflex.com/>

Harper, R. (2003). *Inside the Smart Home*. USA: Springer-Verlag London.

Hoadley, R. B. (2000). *Understanding wood. A craft's man guide to wood technology*. United States of America: The Taunton Press, Inc.

IDAE. (s.f.). *Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía*. Recuperado el 04 de octubre de 2014, de <http://www.idae.es/>

INEGI. (28 de Abril de 2014). *Poblacion, Hogares y Vivienda*. Recuperado el 30 de Septiembre de 2014, de Censo de Poblacion y Vivienda 2010.: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=17484>

INFOR. División industrias. (1991). *Manual de construcciones en madera* (2º ed., Vol. Nº 10). Santiago, Chile: Corporación de fomento de la producción.

Instituto de Ingeniería de la UNAM. (1991). *Comentarios y Ejemplos de las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Madera*. Ciudad de México: Series UNAM.

Jackson, A., & Day, D. (1987). *Manual Completo de la Carpintería y la Ebanistería*. Madrid, España: Ediciones del Prado.

Kaufmann, M. (2014). *michellekaufmann.com*. Recuperado el 05 de Mayo de 2014, de <http://michellekaufmann.com/>

Kauman G., W. (1997). El panorama a nivel mundial de la investigación en productos forestales. *Madera y Bosques*, 3(1), 3-12.

Kircher, M. (1999). *Arquitectura en Madera: Nuevas Tendencias*. Barcelona: Blume.

KLH UK. (2015). *KLH UK*. Recuperado el marzo de 2015, de <http://www.klhuk.com/>

kopahaus. (12 de Septiembre de 2013). *Estructura kopahaus*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2013, de <http://www.kopahaus-barlinek.pl>

Laboratory, D. o. (1987). *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. Washington D.C., USA.: Department of Agriculture.

Lehmann, S. (2013). Low carbon construction systems using prefabricated engineered solid wood panels for urban infill to significantly reduce greenhouse gas emissions. *Sustainable Cities and Society-Elsevier*, 57-67.

- Lippke, B., & Washington, U. o. (junio de 2011). Wood products reduces carbon dioxide emission levels. *Carbon management*.
- McHarg, I. (2000). *Proyectar con la naturaleza*. Mexico: Gustavo Gili.
- mkarchitecture. (12 de Octubre de 2013). Recuperado el 12 de Octubre de 2013, de Sunset Breeze House: [www.mkd-arc.com](http://www.mkd-arc.com)
- Olgay, V. (1998). *Arquitectura y Clima, manual bioclimatico para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Ordoñez, C. V. (1995). Muros de cortante en estructuras de madera. *Maderas y Bosques*, 1(2), 37-50.
- Parker, H. (1989). *Diseño Simplificado de estructuras de Madera*. Mexico: Limusa.
- Paya, M. (1992). *Aislamiento termico y acustico*. Barcelona: Ediciones EAC, S.A.
- Peraza, S. J., Arriaga, M. F., Arriaga, M. C., González, A. M., Peraza, S. F., & Rodríguez, N. M. (1995). *Casas de Madera. Sistemas constructivos aplicados a casas de madera unifamiliares*. Santiago de Chile.: Cosmoprint, S.L.
- Perez Verdín, G. (2006). Los recursos forestales maderables y el desarrollo social y económico en el estado de Durango. *Madera y Bosques*, 12(1), 3-15.
- Price, W. (2006). *Arquitectura de Madera: Historia Universal*. Londres: Blume.
- Rowell, R. M. (2005). *Wood Chemistry and Wood Composites*. Florida, USA: CRC Press.
- SEMARNAT. (2012). *Anuario estadístico de la producción forestal*. D.F., Mexico: Secretaria de medio ambiente y recursos naturales.
- Smith, R. E. (2010). *Prefab Architecture. A guide to modular desing and construction*. New Jersey, USA.: John Wiley & Sons, Inc.
- Southern Pine Council. (2010). *Cubiertas Ligeras con Madera Estructural de las Coniferas de los Estados Unidos*. Oregon: Consejo de Exportacion de Maderas de Coniferas.
- Space, C. (05 de Septiembre de 2013). *Modular sistem The Qube*. Recuperado el 05 de Septiembre de 2013, de <http://www.cubespace.eu/index-intro-en.php>
- Studio 804. (2013). *Studio 804*. Recuperado el 24 de Agosto de 2013, de <http://arkineta.com/casas/casas-prefabricadas/tags118>
- Thimoshenko, S. P. (s.f.). *Resistencia de Materiales tomo 1*. Espasa-Calpe S.A.
- Vale, B. (2005). *Prefabs. A history of the UK temporary Housing Programme*. London, UK: Chapman & Hall.

---

Villasuso, B. M. (1993). *La Madera en la Arquitectura 2*. Buenos Aires, Argentina: El Ateneo.