



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**PROPUESTA DE UN SISTEMA CONSTRUCTIVO DE PAREDES
PARA EDIFICACIONES UTILIZANDO MADERAS NACIONALES**

Omar Orlando Zambrano Pérez

Asesorado por el Dr. Edgar Virgilio Ayala Zapata

Guatemala, marzo de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE UN SISTEMA CONSTRUCTIVO DE PAREDES PARA
EDIFICACIONES UTILIZANDO MADERAS NACIONALES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

Omar Orlando Zambrano Pérez

Asesorado por el Dr. Edgar Virgilio Ayala Zapata

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MARZO DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II:	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III:	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV:	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V:	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO:	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Jorge Mario Morales González
EXAMINADOR:	Ing. Manuel Hernández Rodríguez
EXAMINADOR:	Ing. Gabriel Guerra Cua
EXAMINADOR:	Ing. Fredy García Fuentes
SECRETARIO:	Ing. Edgar José Aurelio Bravatti Castro

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PROPUESTA DE UN SISTEMA CONSTRUCTIVO DE PAREDES PARA
EDIFICACIONES UTILIZANDO MADERAS NACIONALES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 19 de enero de 2005.

Omar Orlando Zambrano Pérez

AGRADECIMIENTOS A

DIOS OMNIPOTENTE, por permitirme realizar uno de mis sueños.

El Doctor Ing. EDGAR VIRGILIO AYALA ZAPATA, por su amistad, sus sabios consejos, su valiosa colaboración y asesoría para la realización del presente trabajo de graduación.

El Ing. Mario Corzo, por su amistad y apoyo para la realización de los ensayos de las paredes y la cimentación de la construcción demostrativa.

MI MADRE, por todos sus sacrificios, su amor y apoyo incondicional durante toda mi carrera y mi vida.

MIS TIAS, en especial a Sandra Pérez Olazábal y Blanca Argelia Marroquín Cáceres por todo su apoyo durante mi vida de estudiante.

LA FAMILIA Salvatierra Toledo, en especial a mi amigo Marco Vinicio por su apoyo incondicional y amistad sincera.

MI ESPOSA, Claudia Elizabeth Castillo Lázaro por todos los años de amor, apoyo y comprensión.

MI HIJO, Mario Xavier por su apoyo y colaboración para la realización de la construcción demostrativa.

MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS, en especial al Ing. Luis Alberto Luna de León, por su amistad sincera.

El Licenciado Fredy Molina Sanchinelli, el señor Otto Colorado Spooner, y a las demás personas de la Sociedad civil Árbol Verde, por su hospitalidad, amistad, apoyo, y el aporte para la realización del presente trabajo de graduación en pro de la investigación y el desarrollo de Guatemala.

TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE, DE UNA U OTRA FORMA,
COLABORARON EN LA REALIZACIÓN DEL PRESENTE TRABAJO.

ACTO QUE DEDICO A

MIS PADRES

Marco Aurelio Zambrano Castellanos
Irma Amanda Pérez Olazábal de Zambrano

MIS ABUELOS

Florencio Ramón Zambrano Díaz (Ä)
María Emma Castellanos (Ä)
Everardo de Jesús Pérez Sagastume (Ä)
Ana María Olazábal (Ä)

MIS HERMANOS

Emma Elizabeth, Mónica Zulema, Marco Vinicio, Valery Gabriela y
Wendy Mariela

MIS CUÑADOS

Sergio Abraham Cabria Batres y Alexander Flores

MI ESPOSA

Claudia Elizabeth Castillo Lázaro

MIS HIJOS

Omar Orlando, Mario Xavier, Naraly Maylin, Kathia Melissa,
Yashi Sabrina, Omar Eliezer Otoniel

A LA FAMILIA

Castillo Lázaro

LA FACULTAD DE INGENIERÍA

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VI
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Materiales utilizados en la construcción.....	1
1.2. Sistemas constructivos existentes en Guatemala.....	2
1.3. Sector forestal.....	3
1.3.1. La reserva biosfera maya.....	4
1.3.2. Sociedad civil Árbol Verde.....	5
2. LA MADERA.....	9
2.1. Generalidades.....	9
2.2. Propiedades.....	10
2.2.1. Propiedades físicas.....	11
2.2.2. Propiedades físico-mecánicas.....	11
2.2.3. Propiedades físico-químicas.....	12
2.2.4. Propiedades particulares.....	12
2.3. Clases de madera.....	13
2.3.1. La madera confiera o resinosa.....	13
2.3.2. Maderas frondosas.....	14
2.4. Enfermedades y defectos.....	14

2.4.1.	Defectos por evolución de las fibras.....	15
2.4.2.	Defectos por crecimiento.....	15
2.4.3.	Defectos de la madera manipulada.....	16
2.4.4.	Deformaciones durante el secado.....	16
2.4.5.	Defectos de parásitos y hongos.....	17
2.4.6.	Insectos que atacan a la madera.....	17
2.5.	Preservación.....	18
2.5.1.	Madera en pie.....	18
2.5.2.	Madera en rollo.....	18
2.5.3.	Madera aserrada.....	19
2.5.4.	Cómo se protege la madera.....	19
2.5.5.	Clasificación de los preservadores.....	20
2.5.6.	Características de los preservadores.....	20
2.5.7.	Tipos de tratamiento.....	21
2.5.7.1.	Procesos de presión.....	21
2.5.7.2.	Proceso de doble vacío.....	22
2.5.7.3.	Procesos sin presión.....	22
2.5.7.4.	Difusión en madera verde.....	23
2.6.	Medidas comerciales.....	23
2.7.	Ventajas y desventajas.....	24
2.7.1.	Ventajas de la madera sobre otros materiales de construcción...	24
2.7.2.	Desventajas de la madera.....	25
2.8.	Aplicaciones.....	26
3.	ESTRUCTURAS DE MADERA PARA LA EDIFICACIÓN.....	29
3.1.	Reseña histórica.....	29
3.2.	Entramado lleno.....	30
3.3.	Entramado abierto.....	33
3.3.1.	Tradición constructiva del entramado abierto.....	35
3.3.2.	Edificaciones de armazón o entramado de madera.....	35
3.3.2.1.	Construcción de entramado visto.....	36
3.3.2.2.	Construcción de entramado oculto.....	36

3.3.3.	La construcción por elementos de un piso (elementos cortos)...	36
3.3.4.	La construcción por fachadas completas (elementos largos).....	37
3.4.	Evolución estructural.....	39
3.5.	Sistemas constructivos de entramados de madera.....	40
3.5.1.	<i>Balloon Frame</i> í í í í í í í í í í í í í í í í í í	41
3.5.2.	<i>Platform Frame</i> í í í í í í í í í í í í í í í í í í ..	42
4.	TABIQUES DE MADERA CON REVESTIMIENTO CONSTRUCTIVOí ..	45
4.1.	Revestimiento constructivo.....	45
4.2.	Entramado de los tabiques.....	45
4.3.	Propiedades de un tabique.....	46
4.4.	Recubrimientos externos.....	46
4.5.	Recubrimientos de tablas.....	47
4.5.1.	La tabla machihembrada.....	47
4.5.2.	La tabla solapada.....	48
4.5.3.	El recubrimiento de tabla y listón.....	50
4.5.4.	Tejas de madera o tejuelas.....	51
5.	SISTEMA CONSTRUCTIVO PROPUESTO.....	53
5.1.	Descripción del sistema.....	53
5.1.1.	Cimentación.....	54
5.1.2.	Paredes.....	55
5.1.3.	Acabados.....	56
5.2.	Componentes del sistema.....	57
5.2.1.	El concreto.....	57
5.2.2.	La madera.....	59
5.2.3.	Fijaciones.....	62
6.	PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LAS PAREDES.....	63
6.1.	Materiales.....	63
6.2.	Herramienta y equipo.....	63
6.3.	Estructura de las paredes de madera.....	64

6.4.	Armado de la estructura.....	65
6.4.1.	Preparación de la madera.....	65
6.4.2.	Ubicación de columnas.....	67
6.4.3.	Ubicación de vigas.....	68
6.4.4.	Montaje de columnas y vigas.....	68
6.5.	Montaje y anclaje de la estructura a al cimentación.....	69
6.5.1.	Montaje.....	69
6.5.2.	Anclaje.....	69
6.6.	Forro o revestimiento constructivo.....	70
6.6.1.	Preparación.....	70
6.6.2.	Montaje.....	71
6.6.3.	Acabados.....	72
7.	METODOLOGÍA.....	75
7.1.	Normas y tipos de ensayo en paredes.....	75
7.1.1.	Ensayo a compresión.....	76
7.1.2.	Ensayo a corte.....	77
7.1.2.1.	Cargas lateralesí í í í í í í í í í í í í í ..	77
7.2.	Materiales para paredes de ensayo.....	79
7.3.	Elaboración de paredes de ensayo.....	80
7.3.1.	Pared a compresión.....	80
7.3.2.	Pared a corte.....	83
7.4.	Ensayos de laboratorio.....	87
7.4.1.	Ensayo a compresión.....	87
7.4.2.	Ensayo a corte.....	91
7.5.	Evaluación técnica.....	97
7.5.1.	Ensayo a compresión.....	97
7.5.1.1.	Análisis de fallas.....	97
7.5.1.2.	Análisis de resultados.....	102
7.5.2.	Ensayo a corte.....	104
7.5.2.1.	Análisis de fallas.....	104
7.5.2.2.	Análisis de resultados.....	106

8.	APLICACIÓN.....	111
8.1.	Construcción demostrativa en la sección de Tecnología de materiales y sistemas constructivos.....	111
8.2.	Evaluación del sistema constructivo.....	125
8.2.1.	Evaluación técnica.....	125
8.2.2.	Evaluación económica.....	130
	CONCLUSIONES.....	133
	RECOMENDACIONES.....	135
	BIBLIOGRAFÍA.....	136
	APÉNDICES.....	139
	ANEXOS.....	146

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Dirección respecto de las fibras	10
2	Evolución de las ensambladuras de esquina	31
3	Ensambladuras de esquina en prolongación	32
4	Ensambladuras de esquina enrasadas	32
5	Diseño con doble pared y doble pared a base de medios troncos	33
6	Entramado vertical	34
7	Entramado de elementos cortos	37
8	Entramado de elementos largos	37
9	Sistema <i>Balloon Frame</i>	41
10	Sistema <i>Platform Frame</i>	42
11	Tabla machihembrada	48
12	Tabla solapada	49
13	Forro exterior con tabla solapada	50
14	Recubrimiento de tabla y listón	51
15	Tejas de madera o tejuelas	52
16	Detalle de elementos de la cimentación	58
17	Detalle de anclaje	58
18	Detalle de entramado de paredes	60
19	Perfil del forro exterior	61
20	Detalle de unión forro exterior	61
21	Detalles de ubicación de columnas en paredes	62
22	Aserrado	65
23	Apilado y secado	65
24	Cepillado	66

25	Canteado	66
26	Desorillado	66
27	Perfilado	66
28	Despuntado	66
29	Diagramas de carga ensayo a compresión	76
30	Diagrama de aplicación de carga lateral	78
31	Diagrama de deformación angular	79
32	Proceso de armado de pared para ensayo a compresión	80
33	Proceso de armado y montaje de pared para ensayo a corte	83
34	Colocación de pared a compresión en marco de carga	88
35	Inicia pandeo a 37,000 libras	89
36	Se reacomoda la carga y se vuelve a cargar a 37,000 libras	90
37	Falla por pandeo, carga máxima 37,000 libras	90
38	Pared instalada en viga de ensayo	91
39	Vistas de forros de Manchiche y Santa María	92
40	Instalación de deformómetros	93
41	Aplicación de carga lateral	94
42	Volteo y ladeo	95
43	Análisis de fallas en pared a compresión	97
44	Sección de pared a compresión	102
45	Gráfico carga-deflexión de pared a compresión	103
46	Se observa corrimiento en las duelas de forro	104
47	Ruptura de viga superior en el punto de apoyo de las barras tensoras	105
48	Falla tornillo a tensión	106
49	Sección de pared a corte	106
50	Gráfico carga-deformación de pared a corte	110
51	Gráfico esfuerzo-deformación de pared a corte	110
52	Proceso del proceso de la construcción demostrativa	111

TABLAS

I	Material predominante en las paredes exteriores	1
II	Componentes químicos de la madera	12
III	Clasificación de la madera según su escuadrilla	23
IV	Datos obtenidos del ensayo de pared a compresión	88
V	Datos obtenidos del ensayo de pared a corte	94
VI	Área total de la pared a compresión	102
VII	Área total de la pared a corte	107
VIII	Datos del ensayo de la pared a corte	109
IX	Cálculo del módulo de rigidez	109
X	Cuadro comparativo de costos	130
XI	Tiempos de ejecución en días	131
XII	Cuantificación de materiales, pared de mampostería	140
XIII	Cuantificación de materiales, pared de madera forro 1 cara	141
XIV	Cuantificación de materiales, pared de madera forro 2 caras	142
XV	Costo por m ² , pared de mampostería	143
XVI	Costo por m ² , pared de madera 1 cara	144
XVII	Costo por m ² , pared de madera 2 caras	145
XVIII	Cobertura forestal 2001 por departamento	147
XIX	Arancel del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC	148
XX	Factores para prestación de servicios	150

GLOSARIO

Avellanadora	Broca de metal, cuya función es barrenar y hacer la roseta en la madera, en un solo paso, para facilitar la instalación de tornillos y clavos.
Densidad	En la madera es el peso contenido en una unidad de volumen.
Esfuerzo	Es la fuerza aplicada por unidad de área, que soporta el material.
Humedad	En la madera, se refiere a la cantidad de agua existente en la misma, expresada en porcentaje de su peso.
Machihembra	Pieza para forro o para pisos, perfilada en toda la longitud de sus cantos, dotada de un diente o macho en uno de sus cantos y de un canal o hembra en el otro canto.
Madera de sierra	Se le llama también madera aserrada, y es el resultado de subdividir las trozas o madera en rollo, con sierra.
Madera dura	Madera que procede de árboles de crecimiento lento, por lo que su costo es mayor; debido a su alta resistencia suelen emplearse en la construcción de pisos y forros exteriores.
Madera en rollo	Madera que no se labra ni se descorteza.
Paramento	Cualquiera de las dos caras de una pared.
Pared	Obra civil, levantada a plomo, con grueso, ancho y altura, cuya función es cerrar un espacio o detener techumbres.

Revestimiento	Capa o cubierta con que se resguarda o se adorna una superficie.
Sistema constructivo	Conjunto de elementos constructivos que, ordenadamente relacionados entre sí, contribuyen a un fin determinado, trabajando como un solo elemento.
Tabique	Pared delgada que separa los ambientes interiores de una edificación.
Tabla solapada	Elemento utilizado para forro o revestimientos exteriores de paredes, colocado preferentemente en forma horizontal para evitar la entrada de aire y agua, llamada también de rebajo longitudinal.

RESUMEN

El presente trabajo, tiene como antecedentes los diferentes materiales que se utilizan en la construcción de paredes para exteriores que predominan en Guatemala, los diferentes sistemas constructivos existentes o más comúnmente utilizados, la importancia del sector forestal y su potencial para la producción de maderas.

Se describe a la madera como material, sus características físicas y sus propiedades mecánicas, clases de madera, enfermedades y defectos, preservación, medidas comerciales, ventajas y desventajas.

Se tiene un panorama general de lo que son las estructuras de madera utilizadas para la edificación, en donde se dan a conocer los diferentes sistemas constructivos de entramado de madera y sus revestimientos, tabiques con revestimiento constructivo, así como los diferentes tipos de revestimiento.

Se presenta un capítulo con la descripción del sistema constructivo propuesto, utilizando maderas nacionales, y los componentes del sistema.

Se muestra en forma detallada el procedimiento constructivo de las paredes de madera con el sistema constructivo propuesto.

Se describen los ensayos realizados para paredes a compresión y a corte, los materiales utilizados, la forma de elaboración de las paredes de ensayo, paso a paso, por medio de fotografías, el análisis, la evaluación técnica y los resultados de los ensayos realizados.

Se presenta en forma detallada, paso a paso por medio de una secuencia de fotografías, el proceso de la construcción demostrativa realizada en la sección de Tecnología de materiales y sistemas constructivos, del Centro de Investigaciones de

Ingeniería de la universidad de San Carlos de Guatemala.

También se cuenta con la evaluación técnica de las paredes elaboradas con el sistema propuesto, y la evaluación económica, en forma comparativa, entre el sistema constructivo propuesto de paredes de madera y el sistema tradicional de pared de mampostería de block reforzada.

OBJETIVOS

General

Proponer un sistema constructivo de paredes, que se pueda aplicar en la construcción de diferentes edificaciones (viviendas, oficinas, bodegas, ampliaciones en construcciones existentes, tabiques, etc.).

Específicos

1. Promover las maderas nacionales como materia prima principal para la construcción de paredes para edificaciones.
2. Promover el conocimiento de las características, ventajas y desventajas, así como las aplicaciones de la madera en la construcción.
3. Dar a conocer los diferentes sistemas constructivos de entramado de madera y sus revestimientos.
4. Proponer un sistema constructivo técnico de paredes, para edificaciones, utilizando maderas nacionales, que sea compatible y a la vez que aproveche los elementos de los sistemas constructivos tradicionales como el acero y el concreto.
5. Proponer un sistema constructivo fácil de ejecutar, liviano y seguro, tomando en cuenta las características sísmicas de nuestro país.
6. Determinar por medio de los ensayos a corte y a compresión, la resistencia de las paredes construidas con el sistema propuesto.

7. Hacer un análisis comparativo de costos de la construcción de una pared utilizando mampostería de block reforzada y el sistema constructivo propuesto.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales productos forestales es la madera, recurso que desde hace cientos de años el hombre ha transformado y utilizado para satisfacer sus necesidades. Es importante conocer el potencial forestal de Guatemala para lo que se anexa una tabla con el inventario forestal por departamento.

El presente trabajo de graduación contiene información sobre la madera y pretende promover las maderas nacionales como materia prima para la construcción de paredes para edificaciones, así como impulsar el conocimiento de las características, ventajas, desventajas y aplicaciones de la madera, aplicados a un sistema constructivo.

Se da a conocer la propuesta de un sistema constructivo técnico de paredes para edificaciones, utilizando maderas nacionales. Se mencionan los elementos del sistema constructivo y se hace énfasis en la construcción de las paredes de madera. Se detalla paso a paso el procedimiento constructivo de las paredes.

También se presenta la metodología utilizada para la realización de los ensayos de paredes, sometidas a cargas verticales y horizontales.

Contiene en forma gráfica, todo el proceso de una construcción demostrativa, así como la evaluación técnica y económica. Se muestra el costo por metro cuadrado de pared con el sistema constructivo propuesto y el costo por metro cuadrado de pared utilizando mampostería de block reforzada.

Se pretende que los valores de los esfuerzos de corte y compresión, obtenidos de los ensayos realizados, sirvan como antecedentes para la realización de trabajos similares.

1 ANTECEDENTES

1.1 Materiales utilizados en la construcción

En Guatemala la situación de la utilización de los materiales en la construcción de acuerdo al último censo habitacional realizado en noviembre del 2002 es la siguiente:

Tabla I. **Material predominante en las paredes exteriores**

	Cantidad viviendas	%	Vivienda urbana	%	Vivienda rural	%
Block	1,130,753	43.86	775,046	62.25	355,707	26.68
Adobe	625,905	24.28	178,647	14.35	447,258	33.55
Madera	426,336	16.54	99,561	8.00	326,775	24.51
Ladrillo	87,529	3.39	72,934	5.86	14,595	1.09
Lepa, palo o leña	86,625	3.36	14,289	1.15	72,336	5.43
Bajareque	80,561	3.12	11,995	0.96	68,566	5.14
Concreto	73,216	2.84	53,259	4.28	19,957	1.50
Lámina metálica	54,784	2.12	32,878	2.64	21,760	1.63
Otro material	12,556	0.49	6,357	0.51	6,199	0.46
TOTAL	2,578,265	100.00	1,245,112	100.00	1,333,153	100.00

La Universidad de San Carlos, por medio de la Sección de Tecnología de Materiales y Sistemas Constructivos del Centro de Investigaciones de Ingeniería y la facultad de Arquitectura, ha realizado varios trabajos de investigación y ensayos en torno a los diferentes materiales utilizados en la construcción, llevando consigo el desarrollo del control de calidad que ha sido implementado en ensayos de laboratorio de acuerdo a normas nacionales e internacionales (Coguanor, Astm, Une, etc.)

Entre los materiales estudiados se puede mencionar los agregados (arenas, gravas), cementos, puzolanas, blocks de arena pómez y barro cocido, ladrillos, pisos, concreto, acero, láminas, madera, bambú, adobe, plásticos, etc.

En los países en vías de desarrollo como Guatemala, los avances tecnológicos logrados alrededor del acero, concreto y plásticos, y el poco conocimiento que tienen arquitectos e ingenieros sobre las propiedades, técnicas de cultivo y procesamiento de la madera, son factores que han contribuido a que la madera termine considerándose como un material apto solamente para construcciones rústicas o temporales de poco valor, o limitada únicamente para hacer pequeños adornos en las casas y fabricar muebles

1.2 Sistemas constructivos utilizados en Guatemala

Cabe mencionar la participación de la iniciativa privada, en la propuesta de sistemas constructivos prácticos, enfocados a la construcción de viviendas, cercas, muros perimetrales, y edificios en general.

Sistemas constructivos convencionales:

- Construcción monolítica de concreto reforzado
- Mampostería Reforzada
- Sistemas constructivos mixtos
- Adobe
- Madera (casas tipo canadiense con madera de pino tratado)

Sistemas constructivos no convencionales:

- Ferro-cemento
- Bajareque
- Bambú
- Mampostería reforzada de adobe

Prefabricados:

- Paneles de concreto reforzado *Monolit*
- Paneles de yeso
- Panel W
- Fibrocemento (sistema constructivo *Plycem*)
- Electro panel

También se puede mencionar el aporte académico de varios trabajos de graduación con propuestas de sistemas constructivos, aprovechando los materiales y mano de obra de las localidades que han sido objeto del estudio.

Los trabajos en su mayoría han sido orientados al área rural del país, considerando que es allí donde se encuentran los materiales que han sido propuestos como elementos de los diferentes sistemas constructivos.

1.3 Sector forestal

El sector forestal constituye para Guatemala uno de los sectores con más oportunidades de desarrollo. La Ley forestal emitida en 1998 por medio del Decreto legislativo No 101-96, es el instrumento legal por medio del cual se pueden implementar iniciativas que desarrollen el potencial del sector. Otro factor que influye en acciones que han dado mayor impulso al cultivo de bosque lo constituye el programa PINFOR, por medio del cual se promueven plantaciones forestales y el manejo del bosque natural con fines productivos.

El incremento de las plantaciones forestales y el manejo del bosque con fines productivos constituyen factores que permiten producir mayor cantidad de madera, a la cual es necesario agregarle valor por medio de su transformación, para incrementar los beneficios económicos que de la actividad forestal se derivan.

1.3.1 La reserva biosfera maya

En 1989 el Congreso de la República con el Decreto 4-89 creó el CONAP y en 1990 creó la RBM con el Decreto 5-90, en el departamento de Petén, Guatemala. La administración de la RBM está a cargo de CONAP, de acuerdo al mandato que se establece en el Decreto legislativo 4-89 y 5-90, además establece que puede delegar o compartir la administración de las reservas.

La RBM cuenta con una extensión de 2.1 millones de hectáreas, comprendiendo parte de los municipios de Melchor de Mencos, Flores, San José, San Andrés y La Libertad. El objetivo de la RBM es el de proteger y conservar los recursos naturales y culturales a la vez proporcionar bienes y servicios a la comunidad local, nacional e internacional, presentando y desarrollando ejemplos de que se puede construir el desarrollo de la sociedad en forma compatible con el medio ambiente, a través del uso sustentable de los recursos naturales y culturales.

La RBM ha sido zonificada de la siguiente manera:

Zona Núcleo óZN-: esta zona cuenta con 767,000 hectáreas destinadas a una preservación estricta ya que es el corazón de la reserva, sirve para conservar la biodiversidad natural y la riqueza cultural. Se trata de mantener la integridad ecológica, la presencia humana debe alterar lo menos posible los hábitats y la vida natural de las especies de flora y fauna. Se encuentra dividida en cinco parques nacionales (como Tikal) y tres biotopos (como el Zotz).

Zona de Uso Múltiple óZUM-: esta zona cuenta con 848,440 ha, aquí se permite el desarrollo de actividades económicas sustentables bien planificadas, que no sólo constituyan un medio de subsistencia económica para las comunidades ligadas a la reserva sino que además ayuden al mantenimiento de las condiciones naturales de la Zona Núcleo. El plan maestro de la RBM establece que es posible el otorgamiento de concesiones de aprovechamiento y manejo de recursos naturales.

Zona de Amortiguamiento óZAM-: Es una franja de 15 Km. de ancho que se extiende de este a oeste por todo el límite sur de la reserva. Cuenta con una superficie de 497,500 ha, donde se promueve la conservación de áreas remanentes de bosque y actividades agrícolas y pecuarias con técnicas mejoradas poco impactantes, de modo de frenar el avance de la frontera agrícola hacia otras zonas de la reserva.

1.3.2 Sociedad civil Árbol Verde

La unidad de manejo óLas Ventanasö se ubica dentro de la zona de uso múltiple de la Reserva de la Biosfera Maya y fue adjudicada bajo el modelo de concesión a la Sociedad civil Árbol Verde mediante resolución No. ALC/020-99 del Consejo Nacional de Áreas Protegidas óCONAP-.

La asesoría técnica estará a cargo de la Fundación Naturaleza para la Vida (NPV), según convenio realizado entre el CONAP, Sociedad Civil y ONG, para que las actividades a desarrollar se enmarquen dentro de las normas técnicas, políticas y sociales más viables.

La Sociedad civil Árbol Verde, se concibe como una empresa comunitaria que en sus estatutos plantea como objetivo general el mejoramiento de las condiciones de vida de sus socios y de las comunidades a las que pertenecen.

Por medio del desarrollo de procesos e implementación de proyectos productivos basados en el uso racional y sostenible de los recursos y servicios forestales y no forestales provenientes de la concesión forestal comunitaria otorgada por autoridad competente. Está conformada por 230 socios de las comunidades de Ixlú, El Remate, Macanche, El Zapote, Las Viñas, el Naranja, El Caoba, El Porvenir y El Zocotzal, todas en jurisdicción del municipio de Flores, Petén.

Cuenta con un plan de manejo general, que tiene como objetivo principal, manejar en forma integral los recursos naturales existentes dentro de la unidad de manejo, para generar bienes y servicios que permitan mejorar el nivel de vida de los concesionarios. Esto, procurando causar el menor impacto posible en los ecosistemas naturales.

El plan de manejo tendrá una duración de 30 años, entrando en vigencia a partir del año 2000 para finalizar el 2030. Cada 5 años será revisado y actualizado conforme a resultado de investigaciones.

El área a manejar abarca una extensión de 64,973.57 ha, de las cuales únicamente el 51% cuenta con buen potencial para producción, aunque ya han sido intervenidas por industria madereras en años anteriores. En total se cuenta con 33,079.01 ha para producción.

Elaboraron un inventario forestal integrado, trazando parcelas de forma sistemática, de forma rectangular con dimensiones de 20 x 500 m. En cuanto a los resultados obtenidos del análisis del inventario de toda el área, se tiene que existe un promedio de 591.2 árboles/ha con diámetros igual o mayor a 10 cm, los cuales presentan un área basal de 23.25 m²/ha.

El volumen comercial de las especies a partir de los 25 cm de diámetro es de 26.64 m³/ha, del cual aproximadamente 6 m³/ha pertenecen a especies actualmente comerciales.

El presente trabajo, está orientado a una de las tantas aplicaciones de la madera, tomando en cuenta el potencial del sector forestal en cuanto a la producción de grandes cantidades de madera y la oportunidad de dar a conocer las características de otras especies maderables no tradicionales, sus ventajas y desventajas, conocer el comportamiento de la madera como elemento de un sistema constructivo, en la construcción de paredes que se puedan aplicar en diferentes edificaciones, utilizando maderas nacionales. Se busca una propuesta que resulte económica, liviana y rápida de ejecutar.

2 LA MADERA

2.1 Generalidades

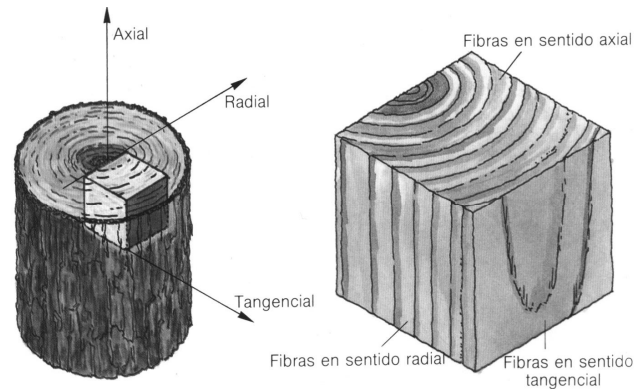
La madera ha sido un material importante para la construcción de edificios en la historia de todas las regiones del mundo. La naturaleza brinda un material de excelente resistencia, adaptabilidad y otras grandes propiedades idóneas para múltiples utilizaciones.

La madera, como material, representa un reto y se necesita capacidad y destreza para un uso correcto, tanto si se trabaja sola como combinada con otros materiales.

Su facilidad de adaptación a los diferentes niveles de prefabricación y la mejora de las técnicas de protección, hacen de la madera un material deseable para procesos de construcción limpios, secos y rápidos, haciendo las edificaciones de madera competitivas tanto por su coste inicial como por su bajo coste de mantenimiento, aspectos que se combinan con la idoneidad de este material para ajustarse a nuevas funciones. Es importante que las personas que van a utilizar algún tipo de madera, conozcan cuales son sus propiedades y las fuerzas a las que estará sometida la pieza, según la función que vaya a desempeñar.

La característica fundamental de la madera como materia transformada es la de ser *anisotrópica e higroscópica*. Es **anisotrópica** porque sus características físicas y en especial sus propiedades mecánicas, dependen de la dirección del esfuerzo o trabajo en relación con sus fibras, las que se ordenarán principalmente de forma axial; paralela al eje de crecimiento del árbol; radial; perpendicular a la primera y cortando el eje del árbol; tangencial; normal a las dos anteriores.

Figura 1. Direcciones respecto de las fibras



Es **higroscópica** porque, aparte del agua que contiene por su propia constitución, ésta podría aumentar o disminuir según la humedad del ambiente. Esta propiedad hace que la madera constantemente se contraiga o se hinche. Es evidente que todas las propiedades físicas y mecánicas de la madera, estarán definidas por el porcentaje de contracción o hinchamiento en que se encuentre.

Cada especie tendrá un comportamiento particular de sus fibras, de acuerdo con el porcentaje de agua en relación con su peso específico.

Las propiedades físicas y mecánicas de la madera, para ser comparadas y evaluadas, estarán en función de un grado de humedad determinado, que será del 12%, según dictamen de la Conferencia Internacional de Ginebra.

2.2 Propiedades

Entre las propiedades de la madera se puede mencionar las físicas, mecánicas, químicas y otras particulares.

2.2.1 Propiedades físicas

Además de las dos propiedades descritas anteriormente, se pueden listar las siguientes:

- La hendibilidad
- Dureza o resistencia al corte
- Flexibilidad
- Densidad o peso específico
- Retractibilidad o contracción
- Homogeneidad
- Conductibilidad

2.2.2 Propiedades físico-mecánicas

Tomando en cuenta que las propiedades físicas y en especial las características físico-mecánicas en la madera dependen de la dirección en donde se apliquen las fuerzas en relación con sus fibras; la cantidad de humedad; el modo de aplicación de las cargas; la cantidad de nudos y otros defectos, se pueden listar las siguientes características físico-mecánicas:

- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la tracción
- Resistencia a la flexión
- Resistencia al cizallamiento o cortadura
- Resistencia a la torsión
- Resistencia al pandeo

2.2.3 Propiedades físico-químicas

Desde un punto de vista constructivo, se puede entender la madera como una estructura esencialmente tubular, cuyos ejes y fibras principales siguen mayoritariamente la dirección del eje del árbol, mientras que las fibras radiales y tangenciales sirven para amarrar a las primeras.

Cada uno de estos tubos, que son células de madera, tiene las paredes constituidas por dos sustancias: *la lignina*, sustancia amorfa y resistente a la compresión que contiene, enrollada helicoidalmente de una forma alternativa en la pared del tubo; *la celulosa*, material de gran resistencia a la tracción.

Si se hace un análisis general de los componentes químicos que constituyen la madera se encontrará con las proporciones que aparecen consignadas a continuación:

Tabla II. Componentes químicos de la madera

Principales componentes químicos de la madera	Porcentaje de ocupación en el árbol
Celulosa	50%
Lignina	30%
Productos orgánicos (materias de reserva y de secreción)	20 %

2.2.4 Propiedades particulares

Existen propiedades especiales que están en estrecha relación con la utilización de la madera en el ámbito de la construcción, por ejemplo:

- Térmicas
- Acústicas
- Antisísmicas (en construcciones de baja altura)

Las maderas ligeras, blandas y con mucha porosidad son las más aislantes del calor; y las duras, densas y compactas, las menos aislantes. Se puede decir, que la madera es el peor conductor de calor, sin embargo, si hay inflamación se convertirá en un buen combustible.

2.3 Clases de madera

Respecto a las especies de árboles maderables de grandes posibilidades técnico-económicas, existen dos grupos fundamentales:

- a) Coníferas o gimnospermas
- b) Frondosas o angiospermas

2.3.1 La madera de conífera o resinosa

Características

- Madera de estructura muy homogénea
- Son maderas ligeras y blandas
- Conservan sus hojas y su verdor durante todo el año
- Aunque su crecimiento disminuye en invierno, no se detiene
- Pueden sobrepasar fácilmente los 100 m de altura
- Alcanzan su máximo crecimiento en zonas frío-templadas
- Fácil uso y un amplio espectro de aplicaciones

2.3.2 Maderas frondosas

Características

- Madera de estructura variable y compleja
- Pocos y pequeños espacios huecos
- Son maderas densas y pesadas
- Tejido leñoso más compacto
- Mayor valor decorativo (nudos, brillo y veteado).

2.4 Enfermedades y defectos

Cuando la estructura de la madera presenta anomalías propias de agentes externos o internos dentro del crecimiento del árbol se dice que está degradada.

Se pueden mencionar algunas anomalías del ciclo vital de la madera, por ejemplo:

- La fibra retorcida
- Madera entrelazada
- Verrugas o lupias
- Curvatura del tronco
- Nudos
- Fendas
- Acebolladuras

Existen dos formas de analizar los defectos del desarrollo del árbol; por evolución de las fibras y por el crecimiento.

2.4.1 Defectos por evolución de las fibras

Están generados por el anormal crecimiento de las fibras, al no desarrollarse paralelamente a la médula, entre ellos se puede mencionar:

- Nudos
- Tronco de fibra revirada
- Tronco de fibra curva

2.4.2 Defectos por el crecimiento

Una madera está sana si al cortar transversalmente un tronco se encuentra con unos anillos regulares de crecimiento anual que indiquen un desarrollo uniforme, ya que cualquier situación extraordinaria en la vida del árbol quedará grabada no sólo en su dibujo, sino en su futuro comportamiento mecánico.

Entre los defectos de crecimiento se puede listar los siguientes:

- Corazón excéntrico
- Anillos irregulares de crecimiento
- Estructura con doble albura
- Estructura con corazón hueco
- Estructura con lunulados
- Estructura con hendiduras o fendas periféricas
- Estructura con pata de gallo
- Estructura con acebolladuras o rodajas

2.4.3 Defectos de la madera manipulada

Cuando la madera entra en el sistema de producción pasa por un conjunto de procesos que la alteran y modifican, tanto en su capacidad anisótropa como higroscópica.

Todas las características de la madera pueden ser modificadas según el proceso de tala, descortezado, troceado y secado.

- Si se corta un árbol en momentos inoportunos dará como resultado madera muy propensa a ser atacada por insectos y mohos
- No dejar secar bien la madera después del talado, dará lugar a fendas o rajaduras radiales.
- El uso de tablas o tablones con parte de duramen y de albura dará lugar a deformaciones respecto a la rectangularidad de la pieza, ya que el duramen es más homogéneo y estructuralmente más estable que la albura.

2.4.4 Deformaciones durante el secado

La contracción no se produce uniformemente porque la humedad contenida en el tronco está repartida en forma heterogénea. La parte periférica es mucho más porosa, ya que sus vasos linfáticos tienen canales muy gruesos y sufre una contracción mucho mayor que en la parte del corazón que está más lignificada y más seca. Las deformaciones durante el secado se pueden listar de la manera siguiente:

- Curvamiento y alabeo
- Deformación por corte

- Deformación por contracción longitudinal
- Hendidura en sentido longitudinal
- Hendidura en sentido radial
- Deformaciones por secado desigual

2.4.5 Efectos de parásitos y hongos

No se debe olvidar que aunque la madera sea de origen orgánico, es especialmente estable, no obstante, constituye por su propia naturaleza la base de alimentación de organismos vivos, especialmente los hongos e insectos xilófagos, que originan la degradación de su estructura interna con su consecuente pérdida de resistencia.

Los hongos que pueden llegar a degradar la madera se clasifican en los siguientes tipos: hongos xilófagos (o de pudrición) y hongos cromógenos.

2.4.6 Insectos que atacan a la madera

A continuación se listan algunos de los insectos xilófagos más destructivos:

- Carcoma grande
- Polilla
- Carcoma
- Termita
- Abeja carpintera
- Gusano negro
- Hormiga carpintera

- Hormiga blanca
- Mariposa carpintera

2.5 Preservación de la madera

Para preservar la madera es importante tomar una serie de acciones durante todo el proceso de la misma, desde la madera en pie hasta el producto terminado.

Se pueden listar una serie de acciones que son determinantes para preservar la madera en buenas condiciones:

2.5.1 Madera en pie

- Evitar las heridas del árbol en pie.
- Cortar el árbol en el momento oportuno, esto puede ser, de una buena edad, en buena época, para reducir el riesgo del ataque de insectos y hongos.

2.5.2 Madera en rollo

- Sellar las secciones transversales de corte, para evitar el cambio brusco de humedad, agrietaduras radiales y el ataque de insectos y hongos.
- Evitar que los árboles apeados permanezcan mucho tiempo sin descortezar y en contacto unos con otros.
- Colocar los árboles apeados, de manera que circule el aire.
- Fumigar o impregnar la madera, contra insectos.

2.5.3 Madera aserrada

- Sellar o impermeabilizar los cabezales de la madera para disminuir la capacidad higroscópica de las piezas ya dimensionadas.
- Para el apilado de madera aserrada, evitar el contacto directo de las piezas, colocando separadores.
- Evitar la insolación de la madera.
- Evitar la exposición a la intemperie por mucho tiempo (sol, lluvia, viento).
- Evitar la exposición al fuego.

2.5.4 Cómo se protege la madera

El tipo de protección depende del nivel de prevención o control que se requiera, contra el ataque de hongos e insectos, para lo cual se partirá de las siguientes premisas:

- La temperatura de la madera no es factible de controlar.
- Alterar la aireación y el PH requeriría procedimientos muy costosos.
- Mantener la madera a bajo contenido de humedad es un buen método.
- Cuando la madera está expuesta al contacto con el suelo es muy difícil mantener un bajo contenido de humedad.
- Es factible combatir hongos e insectos, tratando químicamente la madera (de acuerdo al uso) en forma conveniente y costeable a gran escala, este es el método más generalizado.

2.5.5 Clasificación de los preservadores

Los productos químicos preservadores para la madera se agrupan, según su tipo de solvente (*Cockroft*, 1971), de la siguiente manera:

- Oleaginosos, preservadores solubles en aceites de petróleo
- Hidrosolubles, preservadores solubles en agua

La elección del producto dependerá del tipo de servicio a que esté destinada la madera por tratar.

2.5.6 Características de los preservadores (*Hunt y Garrat*, 1953):

- a) Ser altamente tóxicos a los organismos destructores de la madera, en concentraciones mínimas.
- b) Poseer alta capacidad de penetración en la madera.
- c) Que puedan permanecer durante largo tiempo inalterados (poder residual) y ser poco lixiviables por intemperismo u otros agentes.
- d) Ser seguros de manipular y usar sin peligro a la salud.
- e) No dañar a la madera ni a los metales.
- f) Ser accesibles y económicos tanto en el mercado como en sus métodos de aplicación.

Para propósitos específicos, deben ser además:

- g) Limpios e incoloros
- h) Compatibles con pinturas y barnices
- i) Que no hinchen a la madera
- j) Que presenten resistencia al fuego o repelencia al agua.

2.5.7 Tipos de tratamiento

Los tratamientos preservadores para madera son muchos y muy variados, algunos requieren de plantas de impregnación, otros no requieren de equipos tan complicados y también hay de aplicación doméstica.

A continuación se exponen brevemente los principales tipos de tratamiento actualmente en uso (*Cartwright y Findlay*, 1958; y *Cockroft* 1971).

2.5.7.1 Procesos a presión

a) **Célula llena:** en este método, la madera se coloca en un cilindro o autoclave induciéndole vacío. Se llena entonces el cilindro con una solución preservadora hasta alcanzar presión hidráulica. Esta situación mantiene el tiempo suficiente para mantener el grado de tratamiento deseado. Después se drena el cilindro y se aplica finalmente vacío que limpia la superficie de la carga para facilitar su manejo. En este proceso se emplean generalmente preservadores hidrosolubles.

b) **Célula vacía:** existen dos modalidades de este método. El proceso *Rueping* consiste en colocar la carga en el cilindro e inyectar aire a presión, después se aplica la solución hasta alcanzar presión hidráulica y por último se efectúa el vacío final. La segunda modalidad recibe el nombre de proceso *Lowry* y es semejante al anterior con la excepción de que al principio del tratamiento no se inyecta aire a presión. Se restringen estos procesos a tratamientos con creosota y preservadores oleosos.

2.5.7.2 Proceso de doble vacío

La carga de madera en este proceso se coloca en el autoclave y se somete a un corto período de vacío. Al introducir solución preservadora, se libera el vacío obteniendo penetración moderada de solución en la albura. Después de drenar el cilindro, se aplica una segunda fase de vacío, proporcionando un cierto control sobre la absorción. Esto hace posible que la retención de la carga sea adecuada, pero no excesiva. Por economizar solución preservadora, este proceso es adecuado en el empleo de preservadores con solvente orgánico cuyo costo es relativamente alto.

2.5.7.3 Procesos sin presión

a) **Inmersión:** este proceso no requiere autoclave ni equipo de presión o vacío. Se emplea solamente una cuba de tratamiento en donde se sumergen cargas de madera durante algunos minutos. En este caso se utilizan también preservadores con solvente orgánico, especialmente preservadores insecticidas.

b) **Baño:** aquí, es necesario el empleo de un túnel de tratamiento a través del cual se impulsan mecánicamente piezas individuales de madera y durante el trayecto son rociadas con preservador. Se emplean preservadores con solvente orgánico. La impregnación por este método retiene poco preservador.

c) **Aplicación por brocha o aspersion:** estos tratamientos brindan protección muy limitada y sólo se emplean para tratamientos *in situ*, es decir, como mantenimiento.

2.5.7.4 Difusión en madera verde

Son varios los procesos que se aplican en madera recién cortada sin sazonar, en el aserradero. La madera se sumerge en las soluciones preservadoras y se aplica estrechamente durante un período que permita la difusión total del o los preservadores en toda la madera antes de que ésta se seque. Por último, se sazona la madera. Estos métodos emplean preservadores hidrosolubles a base de boro.

2.6 Medidas comerciales

Es importante saber que las medidas comerciales de la madera están normalizadas en muchos países, pero la aplicación de las medidas normalizadas depende de las costumbres de los profesionales, el uso, costumbres de la región y las dimensiones del tronco. Hay muchas tablas de medidas comerciales, pero en todas predomina el ancho sobre el grueso.

La madera se comercializa aserrada, ya sea rústica o cepillada, en forma rectangular, llamándose a su sección escuadrilla, y vendiéndose en unidades de pie tabla. Los pie tabla son uniformes y contienen 144 pulgadas cúbicas, o el equivalente a una tabla de 10 x 12 x 12. Se puede clasificar esta madera de la forma siguiente:

Tabla III. Clasificación de la madera según su escuadrilla

Denominación	Escuadrilla
VIGAS	50 x 80 para arriba
VIGUETAS	40 x 60 para arriba
COLUMNAS	40 x 40 para arriba
COSTANERAS	30 x 40

Continúaí

REGLA	2ö x 3ö
TABLÓN	2ö x 12ö
TABLONCILLO	1 ½ö x 12
TABLA	1ö x 12ö

2.7 Ventajas y desventajas

2.7.1 Ventajas de la madera sobre otros materiales de construcción

La madera es un material versátil que presenta muchas cualidades o ventajas, entre las cuales se mencionan las siguientes:

- Excelente resistencia
- Múltiples utilizaciones
- Compatible con otros materiales
- Material antisísmico
- Facilidad de adaptación
- Diferentes niveles de prefabricación
- Procesos de construcción limpios, secos y rápidos
- Bajo costo de mantenimiento
- Reutilizable
- De rápida instalación
- Excelentes características acústicas, térmicas y mecánicas
- Libertad de diseño
- Recurso renovable
- Versátil
- Fácil manipulación

- Fácil transporte
- Libre de emisiones
- Excelente trabajabilidad
- Variedad de terminación o acabados
- Belleza estética
- Economía
- Flexibilidad
- Los elementos estructurales son ligeros, resistentes y tenaces
- Ocupa poco espacio
- De fácil ensamblaje
- De fácil montaje

2.7.2 Desventajas de la madera

Siendo la madera un material noble que presente un sin número de ventajas, también presenta desventajas en su uso, las cuales se tienen que tomar en cuenta a la hora de utilizarla en la construcción de edificaciones, entre éstas podemos listar las siguientes:

- Combustibilidad
- Contracciones
- Deterioro
- Durabilidad
- Requiere preservantes para prolongar su vida útil
- Contenido de humedad
- Desconocimiento de su uso

2.8 Aplicaciones

La madera es un material de múltiples aplicaciones dentro de la construcción, desde los trabajos preliminares hasta el amueblado de una edificación.

Dentro de la gran gama de aplicaciones que tiene la madera podemos listarlas de acuerdo a su uso, de la siguiente manera:

2.8.1 En obras temporales

- Andamios
- Formaletas
- Estaqueado

2.8.2 En cimentaciones

- Pilotes

2.8.3 En pisos

- Estructura
- Entrepisos
- Parqué

2.8.4 En paredes

- Entramado (vigas y columnas)
- Forro
- Zócalo
- Molduras
- Tabiques

2.8.5 En edificaciones de más de un nivel

- Gradadas
- Barandas
- Entrepisos

2.8.6 En techos

- Cielo falso (machihembre)
- Elementos estructurales (tendales, vigas)
- Tijeras
- Cubierta

2.8.7 En alumbrado público

- Postes
- Cruceros

2.8.8 Como producto terminado

- Puertas
- Ventanas
- Muebles
- Artesanía
- Cercas o verjas
- Juegos infantiles

Cada uno de los renglones listados para las diferentes aplicaciones de la madera se puede subdividir o desglosar de manera específica, generando una gama aun mayor de aplicaciones, de acuerdo al uso, tipo de madera y diseño.

De acuerdo al diseño se pueden generar una gran variedad de formas y tamaños.

3 ESTRUCTURAS DE MADERA PARA LA EDIFICACIÓN

Tradicionalmente, las construcciones de madera son numerosas y de gran importancia en los países escandinavos. En los últimos años, más de un 80% de las nuevas viviendas se han hecho con madera, construcciones que han llegado a un altísimo nivel de perfección.

La dureza climática y la competitividad con otros materiales hacen necesario el desarrollo de métodos de construcción y aspectos para reforzar su durabilidad, facilidad de mantenimiento y su coste razonable.

3.1 Reseña histórica

A modo de referencia, para entender el proceso que ha generado los actuales sistemas de casas de madera, de muy rápida instalación y de excelentes características acústicas, térmicas y mecánicas, sin dejar de lado la creciente libertad de diseño que, paulatinamente, algunos sistemas han ido brindando al profesional de la construcción.

No es posible componer en detalle una lista cronológica de las técnicas y procedimientos de construcción en madera, ni tampoco es sencillo apuntar el desarrollo de las tendencias y estilos por medio de los cuales se llevaron a cabo, ya que los métodos empleados varían y variaron de un lugar a otro, de acuerdo con la disponibilidad, la calidad y la especie de madera.

Esto dio lugar a que en diferentes puntos del planeta se fueran desarrollando sistemas racionalizados de construcción en madera, en diferentes escalas y formas, aunque todas, en mayor o menor grado, buscaban armar y construir sistemáticamente.

Así es como puede hacerse un análisis de esta evolución a partir de dos grandes grupos de sistemas, los cuales, históricamente, pueden resumirse en: **el entramado lleno**, el cual fue evolucionando hasta generar **el entramado abierto**.

Existen sistemas más concretos y localizados culturalmente como el de arquitrabado o de viga y pilar, cuya mejor expresión se desarrolló en China y Japón, desde donde se extendió a la India, llevada por los monjes budistas. En todo caso este sistema oriental tiene como característica que los paneles sean no portantes.

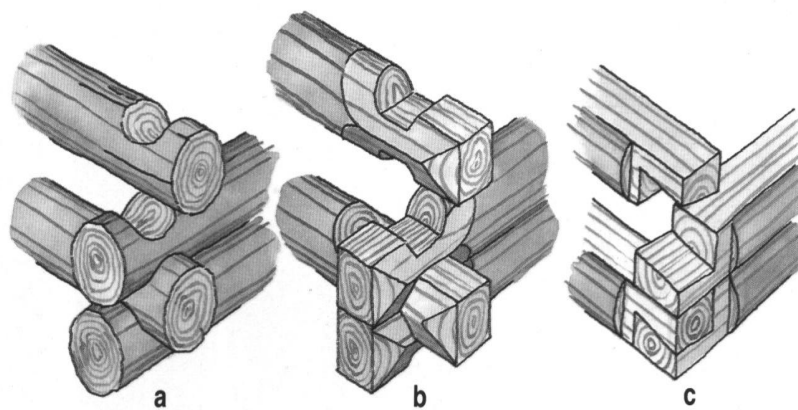
3.2 Entramado lleno

En términos muy generales, este método se basa en la disposición de troncos enteros muy próximos entre sí, cuya característica es que en un principio estaban muy poco labrados. Este sistema se originó en las regiones del este de Europa, donde la abundancia de bosques permitía el uso masivo y sin medida de árboles. Este método ha continuado vigente en todo el norte de la ex Unión Soviética, Finlandia y las zonas alpinas.

Esta técnica es conocida popularmente con el nombre de cabaña de troncos, y su sistema de enlace y unión se basa en buscar la trabazón de las esquinas del edificio mediante diversas clases de ensambladuras, y en darles forma aumentando o reduciendo progresivamente la longitud de los troncos o piezas dispuestos de forma horizontal.

Desde tiempos inmemoriales se han elaborado medios de unión que buscan obtener mayor estabilidad de las paredes a través de la mayor o menor cohesión de los vértices. En la figura pueden verse tres ensambladuras de esquina que, de izquierda a derecha, construyen un enlace, estructuralmente más estático.

Figura 2. **Evolución de las ensambladuras de esquina**



3.2.1 Ensambladuras de esquina

Éste es uno de los aspectos fundamentales de la construcción del entramado lleno y, por lo tanto, es el aspecto constructivo que más cambios ha sufrido en pos de una mayor estabilidad e impermeabilidad con respecto al entorno medioambiental.

Se pueden observar dos grandes grupos de ensambladuras como lo son: las ensambladuras de esquina en prolongación y las ensambladuras de esquina enrasadas.

Figura 3. Ensambladuras de esquinas en prolongación

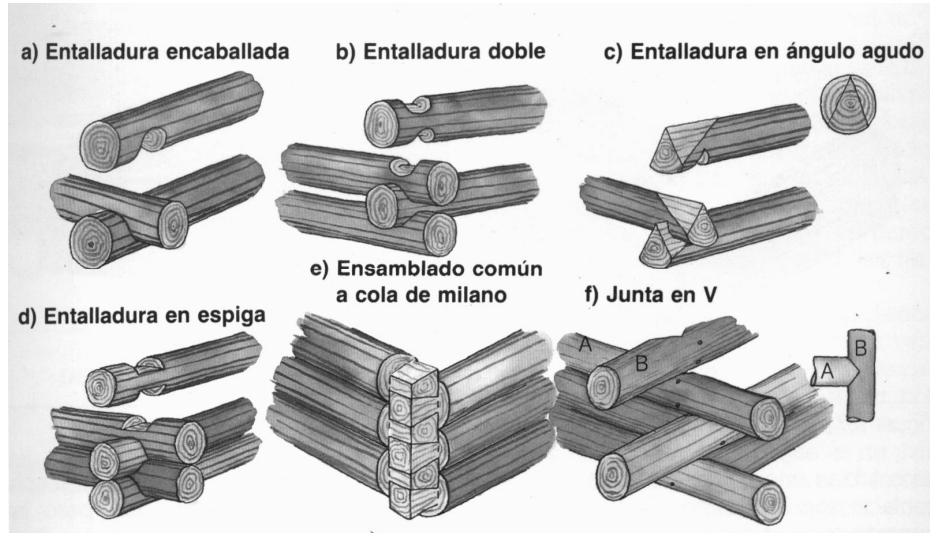


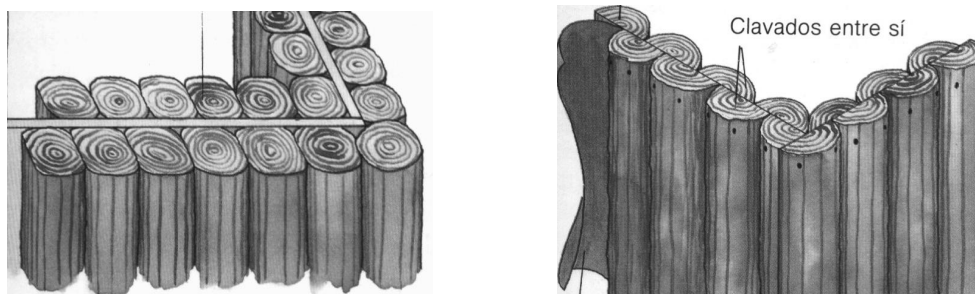
Figura 4. Ensambladuras de esquinas enrasadas



3.2.2 Paredes con troncos verticales

Además de las construcciones tradicionales realizadas a base de troncos cilíndricos o escuadrados, dispuestos horizontalmente, es conveniente también citar los tipos estructurales que emplean troncos colocados en posición vertical, ya que en algunos casos dicha posición resulta más ventajosa que la horizontal.

Figura 5. **Diseño con doble pared y doble pared a base de medios troncos**



Las ventajas más evidentes pueden ser que su puesta en obra no precisa de ensambladuras complejas en las esquinas y permite el uso de troncos cortos que en contadas ocasiones superan los 2,50 m, lo cual representa una mayor facilidad de manejo, incluso por un solo hombre. A esta forma de construcción también se le llama tipo estacada.

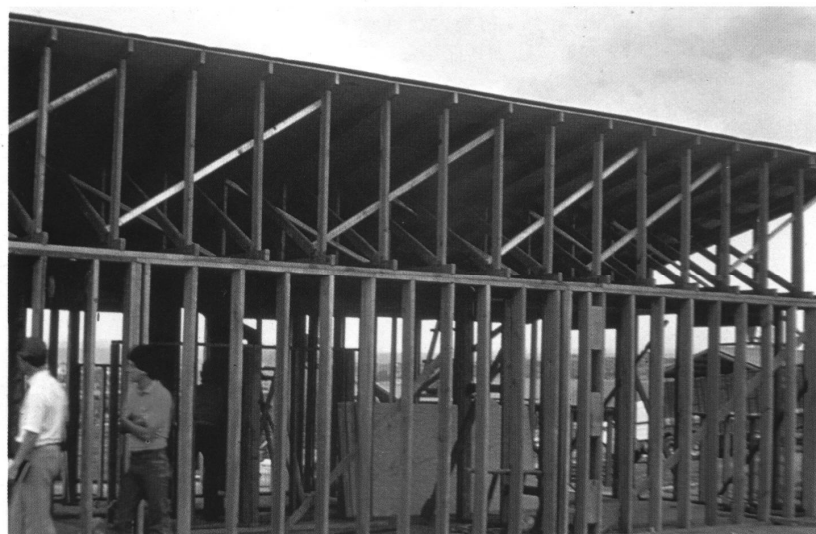
3.3 Entramado abierto

En términos generales, tenemos que el desarrollo de los entramados abiertos dentro del campo de la construcción en madera es el que más avances y difusión ha tenido en el mundo de la edificación desde sus inicios hasta nuestros días.

En una casa se trata de organizar un entramado estructural de madera, por lo general de especies no resinosas, que posteriormente se recubre mediante un enlistonado, entablado o sistemas análogos. Dichas piezas se suelen prefabricar, para luego efectuar el montaje de las mismas *in situ*.

En la figura 6 se puede apreciar, a modo de ejemplo, una trama vertical a punto de ser revestida para constituirse en muros perimetrales.

Figura 6. **Entramado vertical**



Históricamente, el más alto grado de perfeccionamiento de esta forma de construir se alcanzó en los países del norte de Europa occidental, constituyendo el fundamento de los sistemas *balloon* y otros que se desarrollaron en Norteamérica y Escandinavia.

3.3.1 Tradición constructiva del entramado abierto

Suiza ha sido uno de los centros de difusión estilística en algunas de las tipologías utilizadas actualmente a través del modelo arquitectónico del chalé.

El Reino Unido también es una referencia para ver la tradición constructiva en madera, esto se debe a que la calidad, antigüedad y variedad de edificios que se han conservado hasta la actualidad dan testimonio de la importancia de la madera como material de construcción.

3.3.2 Edificaciones de almacén o entramado de madera

Definición: las edificaciones de estructura de entramado de madera son unas construcciones cuyas funciones portantes son asumidas por los elementos de la estructura, que son de madera o de materiales derivados de la madera. Estos elementos estructurales absorben todos los esfuerzos aplicados al edificio: cargas perimetrales, esfuerzos eólicos, esfuerzos horizontales y los transmiten a las cimentaciones. Las funciones de separación y de cercamiento pueden ser realizadas con madera, pero también con otro tipo de material.

La estructura de entramado se ha ido limitando en general a las construcciones en las cuales la madera es el elemento principal de la estructura. Las construcciones de entramado de madera se clasifican en dos categorías: **Construcciones de entramado visto y construcciones de entramado oculto.**

Es muy importante subrayar que los edificios de entramado de hoy en día no son construcciones provisionales sino que se construyen con la misma esperanza de vida que las casas de piedra o albañilería.

3.3.2.1 Construcciones de entramado visto

Este tipo de estructura ha sido muy utilizada en Europa, puesto que en su momento fue muy económica. Los elementos estructurales quedan vistos y los espacios libres entre ellos se rellenan de un material entre los cuales se pueden citar: el adobe o tapial de paja y arcilla, las tejas planas, los ladrillos, la mampostería y la madera.

3.3.2.2 Construcciones de entramado oculto

Llamadas también de estructura o esqueleto de madera, que en la actualidad son las más numerosas. Este tipo conlleva un revestimiento interior y exterior.

Las formas de los paramentos (cualquiera de las dos caras de una pared) varían según las regiones y las épocas. Sin embargo, se distinguen dos formas de construcción a partir de los lienzos de la fachada.

3.3.3 La construcción por elementos de un piso (elementos cortos)

Los elementos de la estructura de un solo piso quedan ensamblados con el piso inferior. Los pisos descansan los unos sobre los otros de manera independiente. Este sistema permite el empleo de maderas cortas y las fachadas pueden estar en voladizo. En contrapartida, se necesita una altura de forjado envigado considerable entre los dos pisos (mayor escuadría en columnas y vigas). Gracias a esta técnica se ha logrado construir edificios de varios pisos.

Figura 7. **Entramado de elementos cortos**



3.3.4 La construcción para fachadas completas (elementos largos)

Este procedimiento se ha utilizado en edificaciones de dos pisos, como máximo, permitiendo un grueso de forjado más reducido, o sea una sección más pequeña y elementos más esbeltos. Los pies derechos o columnas de esquina son de una sola pieza y ascienden desde el suelo a la cubierta.

Figura 8. **Entramado de elementos largos**



Las vigas maestras se unen a los pies derechos por medio de ensambladuras de espiga pasante, que no aparece vista en la fachada. Los inconvenientes de las maderas largas son las importantes escuadrías necesarias por la estructura. La evolución de este sistema constructivo, a base de pies derechos continuos, ha dado origen a la construcción de modernos edificios de esqueleto de madera.

Desde finales de la Edad Media, en las ciudades se edifican casas de varios pisos. El entramado abierto es, con gran diferencia, el sistema de construcción más utilizado en razón de las amplias posibilidades arquitectónicas que ofrece y de su interés económico.

El método más antiguo es el de elementos largos o casas de columnas, que utiliza los pies derechos de esquina de una sola pieza, a los cuales se ensamblan las piezas horizontales por medio de una espiga reforzada.

Este método presenta el inconveniente de su peso, dificultad de montaje en espacios reducidos; además necesita troncos sólidos y rectilíneos de 7 a 10 m de longitud; asimismo es bastante difícil ensamblar correctamente las largas piezas horizontales (soleras) con los pies derechos.

Finalmente, el sistema no permite la construcción en voladizo, tan práctica en los pueblos donde los terrenos de construcción son de nivel irregular o en donde es necesario construir edificaciones de varios niveles.

Hacia la mitad del siglo XVI se adopta el método llamado de **elementos cortos**, en el cual los pies derechos o columnas de esquina no tienen más que una altura de piso, por tanto su longitud es interrumpida por las soleras con las cuales se ensamblan.

La ventaja innegable de este procedimiento unida a su ligereza y solidez está incrementada por los lienzos verticales y horizontales, que, estrechamente montados los unos con los otros, transforman el entramado en un conjunto rígido.

Esta técnica de elementos cortos presenta la ventaja de utilizar piezas menos rectilíneas, lo cual es beneficioso en las regiones de plantaciones de frondosas.

A partir de esta época y gracias a esta técnica, los edificios pueden elevarse hasta los cinco o seis pisos, en los cuales la estructura horizontal de cada uno sirve de plataforma de trabajo para la edificación del piso siguiente.

Hoy en día calles antiguas de ciudades europeas cuentan con muchos edificios construidos mediante este procedimiento y que datan de los siglos XVI al XIX.

Sorprende la similitud de estos métodos con los utilizados actualmente en América del Norte y en Europa, en las construcciones con vigas y pilares de esqueletos con plataformas que están destinadas a la edificación de inmuebles de varias plantas.

3.4 Evolución estructural

La construcción de estructura o esqueleto de madera viene caracterizada por una retícula portante a la cual se adosan elementos planos que tienen por función el cerramiento de los planos y no son elementos portantes. Sus ventajas están basadas en la existencia de unos pocos elementos de estructuras derivadas de las solicitaciones estáticas, y de la forma de construcción abierta con libertad de concepción.

La disposición de las paredes, en principio, no depende de la retícula constitutiva de la estructura; los subespacios que se forman son libres. Se considera la edificación en esqueleto como la técnica más antigua de construcción.

3.4.1 Las estructuras portantes

Las estructuras portantes están constituidas de una manera sencilla por pies derechos, vigas maestras y forjados que se apoyan sobre las vigas o están ensamblados lateralmente.

Una de las ventajas de la estructura reticulada es que puede modificarse libremente en el campo de la construcción en madera, deja una gran libertad para la división y utilización del espacio. La función principal de los muros es la separativa, siendo su colocación arbitraria y pueden ser modificados por nuevas necesidades.

La alta resistencia mecánica de la madera se conjuga con un peso reducido lo cual favorece el montaje rápido de la estructura o entramado.

3.5 Sistemas constructivos de entramados de madera

Este tipo de construcción es muy utilizado en Estados Unidos y en los países escandinavos. Toda la estructura está compuesta por piezas de madera de sección relativamente pequeña y formando espacios de 40 a 60 cm.

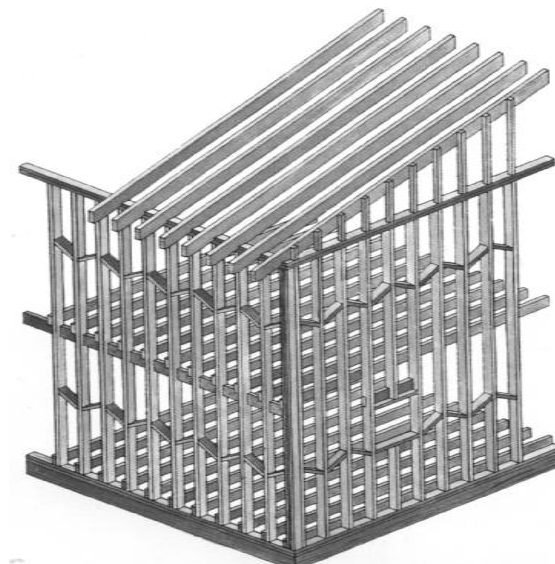
Esta estructura puede revestirse o acabarse por diferentes elementos de recubrimiento: tablas, planchas contraplacadas o paneles de partículas, fibrocemento, etc.

Se distinguen entre las tipologías de esta clase de construcción: el *Balloon Frame* y el *Platform Frame*, sistemas inspirados en la evolución de los sistemas de elementos largos y elementos cortos.

3.5.1 Construcción de entramado *Balloon Frame* o estructura cruzada

Esta técnica ha sido desarrollada y generalizada a finales del siglo XIX en EE.UU. y es una derivación del método medieval de elementos largos. Se caracteriza por una repetición de retículas de pequeñas medidas formadas por los pilares, viguetas de forjados y vigas. Se distingue por la utilización de madera de pequeña escuadría así como montantes que tienen la misma altura de los muros y por elementos secundarios que forman montantes y travesaños del entramado. En este tipo de entramado no se aprecia la diferencia entre elementos principales y secundarios, se ven escuadrías equivalentes entre los diferentes elementos que conforman el muro y el piso.

Figura 9. Sistema *Balloon Frame*

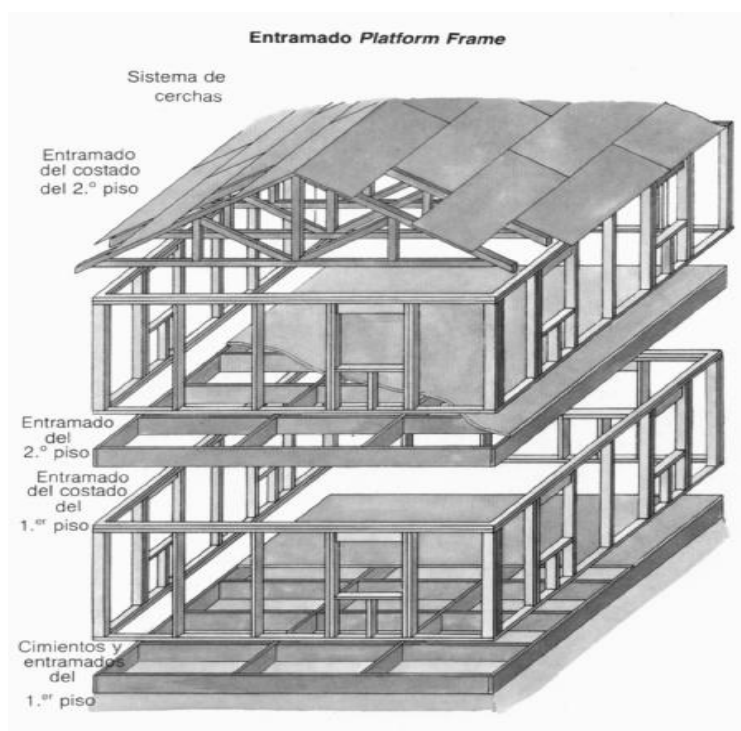


La construcción del entramado *Balloon Frame* representaba un avance sobre el entramado clásico: reducción del volumen de madera utilizado, disminución del tiempo de edificación y disminución de los gastos de mano de obra (la madera no necesita ser preparada en el taller del carpintero puesto que viene directamente del aserradero). Con respecto a la reducción de la mano de obra se puede decir que el coste de la misma en el montaje, resulta más económico que el de un carpintero de la mayor calificación profesional capaz de realizar trabajos de ensamble.

3.5.2 Construcción de entramado *Platform Frame*

En EE.UU. (y en algunos países de Europa), constituye una evolución del sistema *Balloon Frame*. Este es un sistema más adaptado a la prefabricación plana.

Figura 10. **Sistema *Platform Frame***



Se caracteriza por paredes con montantes cortos de una altura máxima de un piso, unidos con elementos de solera o travesaños (por el ensamble de los ángulos de las paredes planas entre muros y forjados de manera que se constituyen zonas independientes, por el hecho de que la armadura, al igual que los pisos, es independiente y por una contribución del elemento de relleno a la estabilidad general).

En este tipo de construcción, por lo tanto, los pisos y las armaduras son independientes los unos de los otros. Cada forjado formado por viguetas constituye una plataforma sobre la cual los muros y tabiques de un mismo nivel son distribuidos y montados. Este sistema permite una prefabricación en taller de las paredes, así como el sistema *Balloon Frame*.

Resulta difícil su industrialización debido a la obligatoriedad de ser construido *in situ*, razón por la cual esta técnica ha derivado en otras concepciones del entramado y de manera especial en el sistema de *Platform Frame*. Esta técnica, utilizada en la actualidad en todo el mundo para la construcción de casas individuales y de pequeños edificios, necesita una mayor cantidad de madera que el *Balloon Frame*, pero permite en compensación la construcción en taller, donde los gastos pueden controlarse mejor lo que representa una economía apreciable.

4 TABIQUES DE MADERA CON REVESTIMIENTO CONSTRUCTIVO

4.1 Revestimiento constructivo

Se llama así al revestimiento que forma parte integral de la estructura de un entramado de madera. En muchos casos, la colocación del entablado en diagonal (45°) sobre el entramado de madera permite reforzar estructuralmente el paramento y refuerza la indeformabilidad frente al viento, golpes o sismos.

4.2 Entramado de los tabiques

El entramado es la estructura que sirve de sostén y alma a muros interiores y exteriores, en edificaciones construidas íntegramente o en su mayor parte con madera. También se le conoce como el esqueleto o la parte resistente de un tabique.

Como elementos de un entramado se pueden mencionar los siguientes: la solera de anclaje que es un elemento horizontal de madera, que descansa en el sobrecimiento o solera de humedad, una carrera o frontal en la parte superior y varios pies derechos o montantes, otros elementos importantes son sus riostras o diagonales, que sirven para triangular el conjunto e impedir su deformación, sobre el vano de la puerta se coloca un dintel y sobre el vano de la ventana se coloca un dintel armado. El pie derecho esquinero también recibe el nombre de cornijal.

4.3 Propiedades de un tabique

En general, un tabique o muro delgado de una edificación, debe satisfacer algunas condiciones mínimas, dependiendo de su ubicación y de su uso:

- Si está en el interior y sirve de separación de dos ambientes. Debe ser capaz de aislar el ruido y la visibilidad
- Si colinda con un baño o una cocina. Debe ser resistente a la humedad.
- Cuando limita la edificación con el exterior. Debe protegerla del frío o del excesivo calor, y su cara externa tiene que ser resistente a la lluvia y en general a la intemperie.
- Como muro de carga. Debe ser capaz de resistir el peso de la techumbre o el de otro piso superior.
- En todos los casos necesita ser apto para resistir el trato que se da a cualquier muro: en cuanto a afirmar objetos, el respaldo de una silla, recibir pequeños golpes, colgar una repisa, o cualquier instalación sobre el paramento (cualquiera de las caras del muro), al mismo tiempo que ha de mantener una apariencia consistente y estética.

4.4 Recubrimientos externos

Los revestimientos de madera o sus derivados para muros de exterior son de muchos tipos, ya que pueden estar formados con planchas superficiales si se emplea el tablero contrachapado o con piezas más pequeñas, como las tejas de madera o el entablado. Este último sistema es el más usado, ya que a través de tablones y tablas unidas entre sí se evita que el agua, el viento y la humedad puedan pasar del exterior al interior.

Básicamente, podemos distinguir por su colocación dos familias de recubrimientos en los entablados: los revestimientos de tablas verticales y horizontales, a los que habrá que sumar la colocación de maderas de mayor escuadría, cuya posición siempre será en horizontal.

4.5 Recubrimientos de tablas

Las tablas se colocan tanto vertical como horizontalmente sobre el entramado de los tabiques, y dependerá del sistema de unión entre estas tablas que se prefiera un sentido u otro, ya que con los diferentes perfiles de encuentro se pretende tener un paño por el cual pueda escurrir el agua de lluvia, evitándose al máximo la posibilidad de filtraciones por juntas a causa del viento o la simple capilaridad de cada pieza. Por ello, ofrecen una mayor seguridad aquellos sistemas que hagan de sus encuentros un difícil recorrido para los agentes externos.

De la inmensa cantidad de variaciones que hay en la práctica, podemos distinguir cuatro sistemas de recubrimientos de tabla, que unos más y otros menos aseguran la estanquidad de la pared donde se aplican.

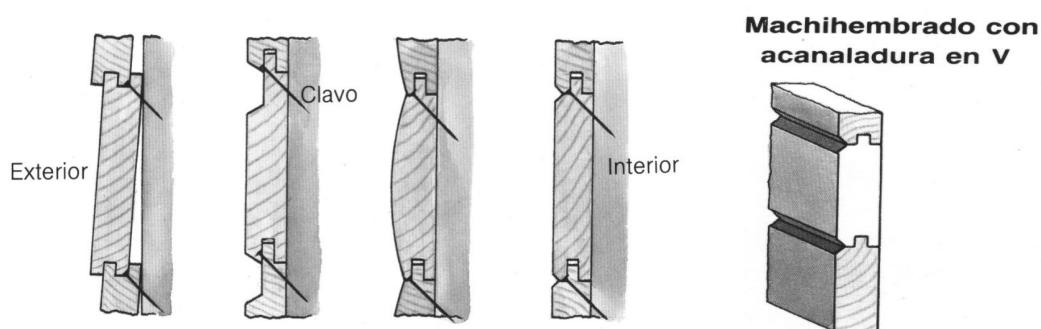
4.5.1 La tabla machihembrada

Este revestimiento puede ir instalado tanto en sentido vertical como horizontal, y la unión entre las tablas es muy semejante a la caja y espiga, ya que un canto de la tabla tiene una ranura y el otro una lengüeta. Virtualmente es más hermético y sólido que el sistema de tabla lisa, además que no se pierden las cualidades tras experimentar una contracción moderada.

Esta manera de ensamblar controla además el alabeo de las piezas a causa del secado, ya que la unión siempre permite un juego entre una y otra pieza.

La aplicación de este entablado se extiende a suelos y cubiertas con ventaja sobre el sistema a tope porque a través del machihembrado el conjunto actúa homogéneamente para que, al recibir una sollicitación superficial, parte de la fuerza sea transmitida a las tablas adyacentes.

Figura 11. **Tabla machihembrada**



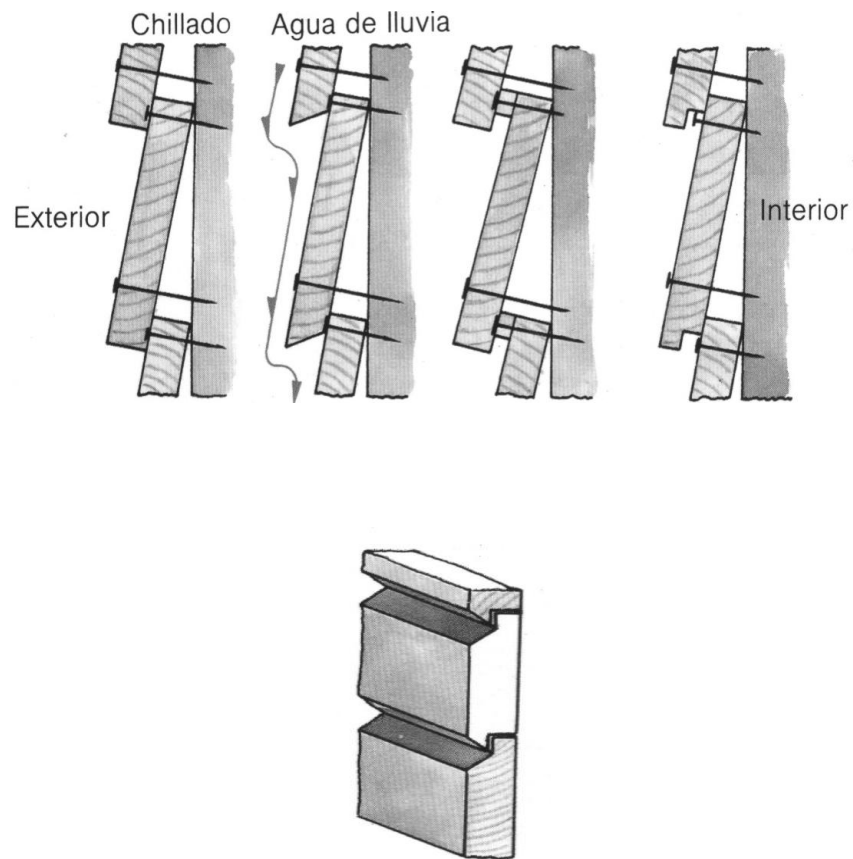
El ancho de las tablas fluctúa en la mayoría de los casos entre 15 y 20 cm., y a la hora de hacer el pedido se debe tener en cuenta que la ejecución de la lengüeta y la ranura supone reducir la anchura de las tablas casi un centímetro, por lo que se solicita con un margen adicional. Es importante también que antes de ser usadas estén lo más secas posible. Los espesores más usados para esta clase de tablas fluctúan entre 1.5 y 3 centímetros.

4.5.2 La tabla solapada

Este revestimiento se coloca preferentemente en forma horizontal y tiene como característica que las tablas se montan, en mayor o menor grado, unas sobre las otras, para que al solaparse se evite el flujo de corrientes de aire y agua de lluvia.

Esta instalación es de más rápida gestión y de más cómoda fijación. La variedad de tablas solapadas va de las simples tablas aserradas sin ningún secado (chillado), puestas unas sobre otras, a otras con perfiles más complejos que incluyen vierteaguas y sistemas de semimachihembrado.

Figura 12. **Tabla solapada**



La apariencia que da este sistema de cerramiento, sea cual sea el tipo de solape, es siempre una textura endentada.

Figura 13. **Forro exterior con tabla solapada**

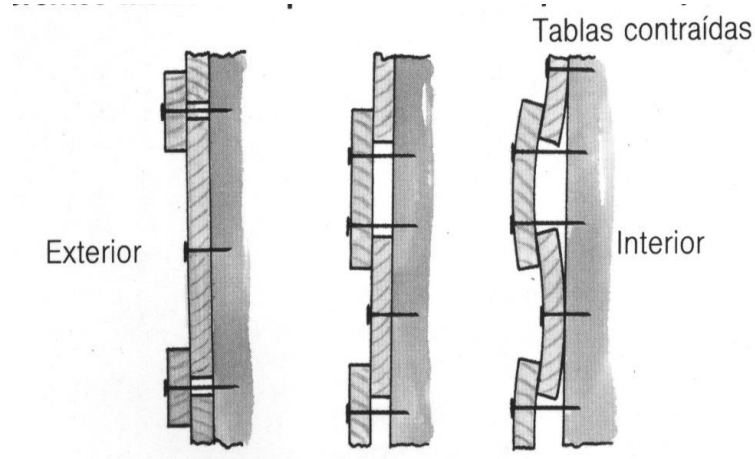


Tanto en las tablas machihembradas como en las solapadas, existen procedimientos para enfatizar y remarcar las juntas de modo que se conviertan en un elemento decorativo; entre estos procedimientos está el de practicar acanaladuras en forma de V, generadas por ambas piezas que se juntan, disimulándose con esto los intersticios que se generan inevitablemente por la contracción y dilatación de la madera. En algunos casos las juntas están prensadas para pasar desapercibidas junto a la textura que presenta la tabla.

4.5.3 El recubrimiento de tabla y listón

Este sistema se usa en los casos en que sea forzoso emplear madera sin el debido tratamiento contra la humedad y que aún esté verde, para construir un recinto que, sin embargo, pueda soportar las inclemencias atmosféricas una vez que la madera esté completamente seca.

Figura 14. **Recubrimiento de tabla y listón**



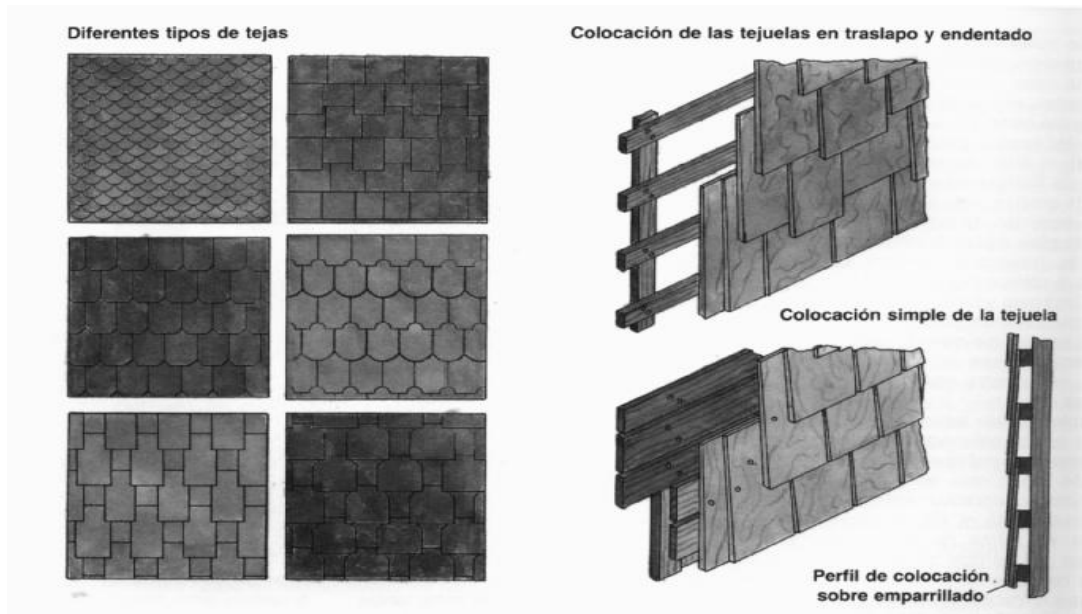
4.5.4 **Tejas de madera o tejuelas**

Este es un sistema de cerramiento muy característico, y en cierta medida es de la familia de los recubrimientos mediante tabla solapada, ya que está constituido por elementos de formato rectangular, de diferentes maderas resistentes a la intemperie, como pueden ser el cedro rojo, la acacia, el alerce y en general cualquier madera que no sufra grandes transformaciones con los cambios de temperatura.

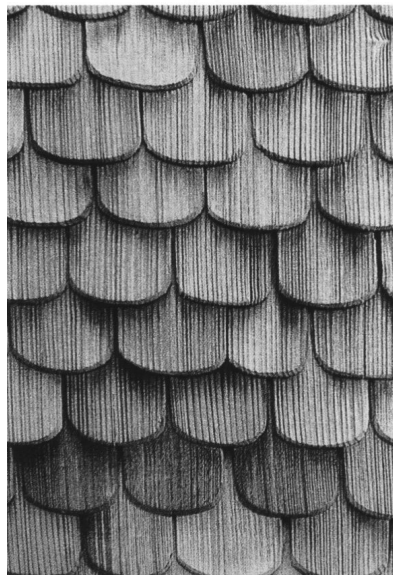
Una de las ventajas que tiene este sistema sobre otros (como el machihembrado) es el grosor que pueden alcanzar las tejuelas superpuestas, que en muchos y según la forma de su disposición puede ser equivalente a dos o tres piezas, consiguiéndose con esto, un revestimiento grueso, impermeable, compacto y a la vez muy elástico.

En contrapartida su instalación es más ardua y lenta que en los recubrimientos anteriores.

Figura 15. Tejas de madera o tejuelas



La tejuela cumple la función de las escamas de un pez en el recubrimiento exterior de un edificio



5 SISTEMA CONSTRUCTIVO PROPUESTO

5.1 Descripción del sistema

El sistema constructivo propuesto, es un sistema concebido para la construcción de paredes de madera que se apliquen en diferentes edificaciones, de uno o dos niveles, utilizando como elemento principal para su construcción, las maderas nacionales, optimizando la utilización de los diferentes tipos de madera de acuerdo a sus características físicas y mecánicas.

Por ser de madera, es un sistema constructivo liviano, que no requiere de grandes cimentaciones, pero debe considerarse el tipo de suelo y las condiciones climatológicas del área en donde se va a realizar la construcción, para una correcta aplicación.

El sistema se puede aplicar en la construcción de: viviendas, oficinas, áreas de estar, ampliaciones en construcciones existentes, divisiones de ambientes, tabiques, etc.

Características del sistema propuesto:

- Es un sistema constructivo de entramado abierto, que utiliza elementos cortos.
- El refuerzo vertical está conformado por parales de madera.
- El refuerzo horizontal lo conforman una regla colocada como solera de anclaje y una regla colocada en la parte superior de la pared, así como reglas colocadas en los sillares y dinteles de puertas y ventanas.
- Tiene refuerzo inclinado (arriostres o contraventeo), que son reglas colocadas en los extremos laterales del entramado de la pared.

- El revestimiento es un elemento constructivo, al que denominamos el forro, colocado horizontalmente en las dos caras de la pared.
- La fijación del forro será con tornillos.

Dentro de los renglones principales que componen el sistema, podemos mencionar los siguientes: cimentación, paredes, techo e instalaciones. Para fines del presente trabajo se mencionará la cimentación y se enfocará en el estudio de las paredes.

5.1.1 Cimentación

El sistema, utiliza como cimientos, un cimiento corrido superficial o poco profundo, de concreto fundido en el lugar (in situ), que lleva una base de relleno compactado de 0.05m, la función del cimiento es aislar toda la estructura de madera, del contacto directo con el suelo y puede tener un espesor T entre 0.10 y 0.15 m. también lleva un armado con electromalla # 6x6, 3/3 o 3#3 + ESL #2 @ 0.20m. El resto del piso lo conforma una torta de concreto sin refuerzo con un espesor entre 0.07 y 0.10m y una banqueta perimetral con un diente o bordillo para evitar erosiones y hundimientos como se puede ver en las figuras 16 y 17 de la página 58.

Sobre el cimiento corrido se funde una solera monolítica de concreto armado (2#3+ ESL #2 @0.20m), que a su vez cumple la función de emplantillado para los muros de madera, dicha solera de humedad puede tener las siguientes dimensiones: ancho= (entre 0.10 y 0.15 m) y alto=0.15m, la solera de humedad tiene unos bastones o esperas de hierro #3 que vienen desde el armado del cimiento y van ubicados a 0.50m de las esquinas y a 1.00m en los tramos intermedios de las paredes, los bastones sirven para anclar la estructura de madera a la cimentación. El nivel del piso terminado, debe tener una cota mínima de +0.10m sobre el nivel exterior.

5.1.2 Paredes

En el sistema constructivo, las paredes o tabiques de madera se componen de los dos elementos siguientes: entramado o esqueleto estructural de madera y forro o revestimiento constructivo de madera. El **entramado** está compuesto de elementos verticales (columnas o pies derechos) y elementos horizontales (vigas o soleras), y en los extremos del entramado elementos inclinados (arriostres), ver figura 18. Los elementos del entramado se deben unir entre sí con tornillos.

El **forro**: se le llama revestimiento constructivo porque se integran al entramado de madera como un todo, dándole mayor resistencia al sistema, ya que funcionan como rigidizantes para los elementos verticales.

El sistema utiliza forro de tabla, para exteriores se utiliza una tabla solapada en V con bota aguas, para interiores se pueden utilizar tablas machihembradas, colocadas de forma horizontal, fijado con clavos o tornillos, se puede colocar en una o en las dos caras del entramado, dependiendo del uso y del costo que se desee.

Aunque la construcción de las paredes, está concebida para hacerse *in situ*, se puede industrializar, prefabricando paneles con las mismas características estructurales.

La función de las paredes es brindar privacidad, crear ambientes saludables protegidos de la intemperie y por lo tanto mejoran la calidad de las edificaciones.

Los elementos verticales del entramado (columnas o pies derechos) tendrán una sección de 30x30 y de 20x30, espaciados @ 1.00m. (Cuando la longitud de las paredes no sea múltiplo de 1 m, se pueden colocar las columnas a un espaciamiento variable $S < 1.00\text{m}$). Los elementos inclinados o arriostres se colocan en los extremos del entramado de la pared y tendrán una escuadrilla de 20x30.

Los elementos horizontales (vigas o soleras), tendrán una sección de 20x30, colocados en la parte superior e inferior del entramado del muro, se colocarán elementos horizontales intermedios, solamente en los sillares y dinteles de puertas y ventanas.

Los vanos de puertas pueden ser de ancho y altura variable, teniendo como mínimo 2.00 m de altura.

La altura del dintel de puertas y ventanas va a depender de la altura de la solera de humedad y de la altura de diseño de las paredes. Los vanos de las ventanas pueden ser de ancho variable, la altura del sillar y dintel de las ventanas puede ser variable, teniendo como mínimo 2.00 m la altura del dintel.

El forro exterior será de tabla solapada de 10x60, con acanaladura en V, con bota aguas como se muestra en el detalle, el espesor de la tabla del forro exterior será de 10 (una pulgada) y del forro interior será tabla machihembrada de 3/4x 60.

5.1.3 Acabados

Los ambientes internos y la apariencia externa, en un sistema constructivo con madera, son muy estéticos y agradables, ya que la madera queda expuesta, el acabado puede ser: rústico, barnizado, pintado, según el uso, el costo y el gusto del cliente.

Es conveniente proteger el forro de las paredes que quedan expuestas a la intemperie, para evitar pudriciones y así alargar su vida útil.

5.2 Componentes del sistema

El sistema propuesto posee una estructura integral que se adapta a diferentes medidas de ambientes, así como a diferentes necesidades y usos. Los principales componentes del sistema son: *el concreto y la madera*.

5.2.1 El concreto

Es una piedra artificial resultante de la combinación de cemento, agua y agregados pétreos dosificados adecuadamente. Los agregados del concreto por su tamaño se clasifican en: agregado fino (arena), de diámetros menores a $\frac{1}{4}$ ö (6mm aproximadamente), agregado grueso (grava o piedrín), todo material mayor de $\frac{1}{4}$ ö. Los tamaños varían de $\frac{1}{4}$ ö a 3ö (6mm a 7.6cm).

La calidad del concreto depende de un correcto diseño de la mezcla y del uso de materiales adecuados. La propiedad más común y fácil de medir en el concreto es la resistencia a la compresión, que es la más usual para especificar su calidad, aunque los elementos de concreto también trabajan a corte, de donde es importante el diseño del espesor o peralte.

La cantidad de agua en el concreto es un factor determinante para su resistencia, cuanto más húmedo este el concreto, más fácil será trabajarlo, pero las mezclas de concreto muy mojadas no son las más resistentes.

El concreto se aplica en el sistema, en la construcción de la cimentación, conformada por el cimiento corrido y la solera de humedad, la torta del piso y la banqueta perimetral. El perímetro de la losa de cimentación tiene un diente o bordillo para evitar erosiones y hundimientos.

Figura 16. **Detalle de elementos de la cimentación**

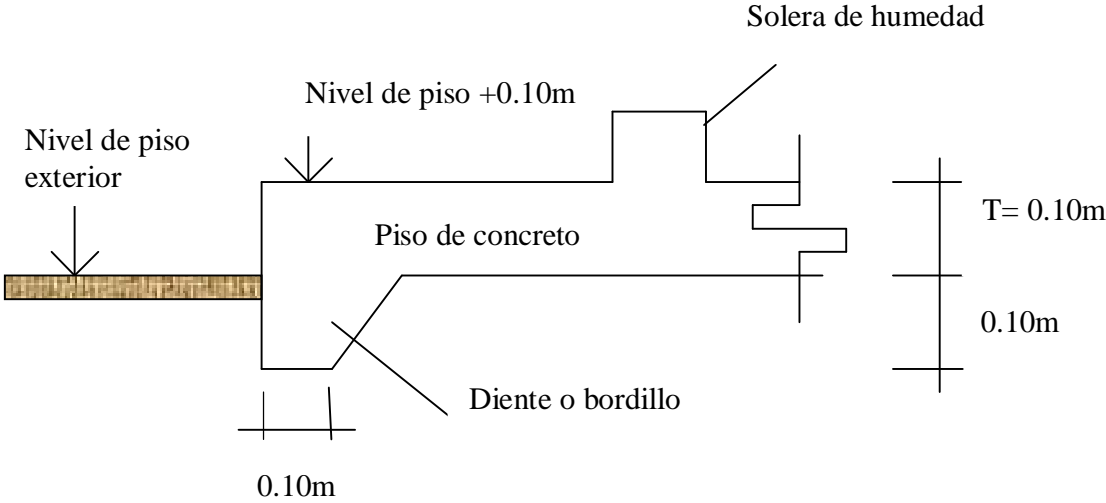
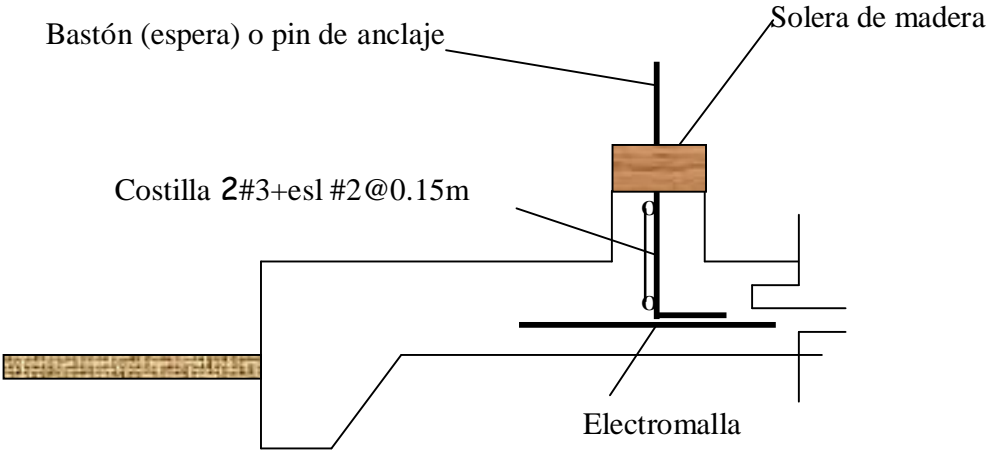


Figura 17. **Detalle de anclaje**



5.2.2 La madera

La madera es un material vivo, heterogéneo (de dureza irregular), anisótropo (características físicas y mecánicas diferentes según su dirección). Su naturaleza depende de sus características climáticas, físicas, químicas y fisiológicas. Es un material noble, sólido y frágil a la vez.

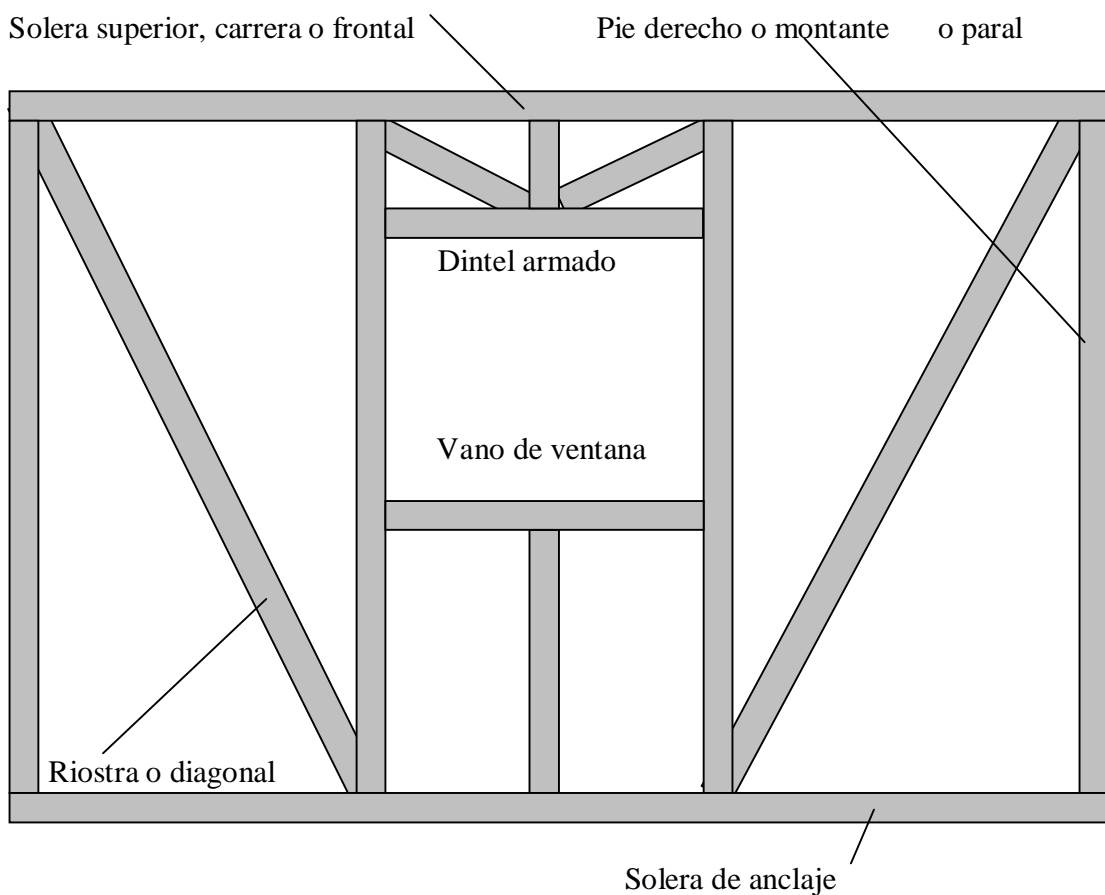
Propiedades físicas: la madera se clasifica en resinosa y frondosa, presenta tres direcciones principales (axial, radial y tangencial), en una muestra de madera se pueden observar diferentes elementos que caracterizan su especie, por ejemplo: el aspecto, el color, el poro, la masa, el volumen y la dureza. **Propiedades físico-mecánicas:** debido a la anisotropía de la madera, la orientación de los esfuerzos con relación a las fibras, el grado de humedad de la madera, el modo de aplicación de las cargas y la cantidad de nudos y otros defectos, se puede llegar a determinar las siguientes propiedades:

- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la tracción
- Resistencia a la flexión
- Resistencia al cizallamiento o corte
- Resistencia a la torsión
- Resistencia al pandeo

Dentro de los productos forestales de mayor importancia en Guatemala, se encuentra la madera. Es el material que reúne más ventajas que ningún otro conocido actualmente, es el recurso renovable por excelencia, se puede manufacturar con herramientas muy sencillas. Es el único material con el que se puede construir totalmente una edificación, desde la estructura, pisos, paredes, techos y hasta los muebles.

El sistema constructivo propuesto, concibe la madera como el material principal para su construcción (entramado y forro de paredes).

Figura 18. **Detalle de entramado de paredes**



En la figura del diseño de la sección del forro exterior, todas las dimensiones están dadas en milímetros; el sistema propone la utilización de secciones entre 40 y 60 de alto, para aprovechar mejor las secciones de madera angosta disponible, y para evitar deformaciones, no teniendo que utilizar obligatoriamente ancho de tabla de 12 pulgadas, el espesor de la tabla para forro puede variar entre $\frac{3}{4}$ y 10.

Figura 19. Perfil del forro exterior

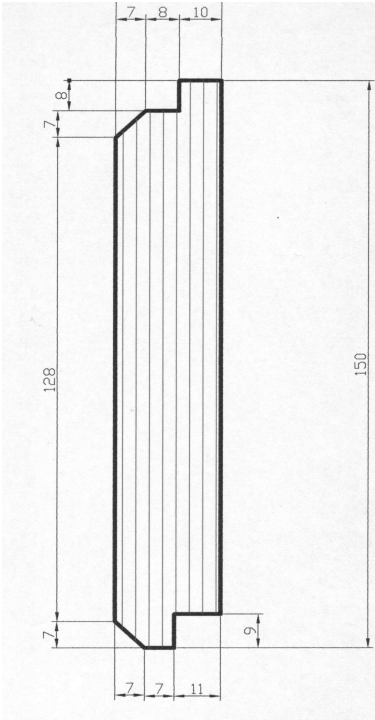
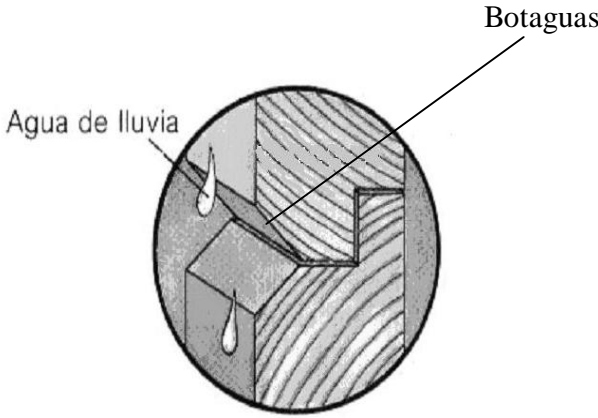
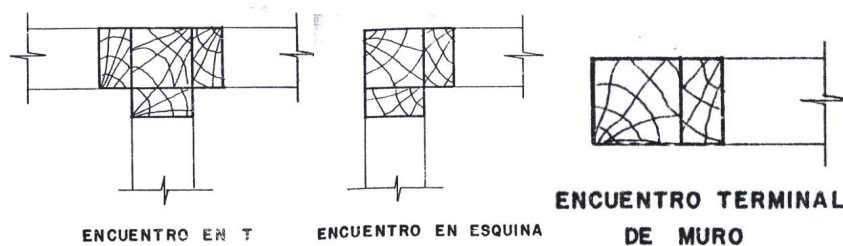


Figura 20. Detalle de unión forro exterior



Al diseño de la sección del forro exterior, también se le conoce como tabla con rebajo longitudinal en los dos cantos. El rebajo consiste en la elaboración de batientes y chaflanes en los dos cantos de la tabla y en toda su longitud, de acuerdo a las dimensiones diseñadas. Para lograr el perfilado tanto del forro exterior como del forro interior, se puede utilizar cuchillas para trompo con las formas deseadas, o la sierra circular de banco, logrando el perfil deseado en varios pasos.

Figura 21. **Detalles de ubicación de columnas en paredes**



5.2.3 Fijaciones

El sistema constructivo propuesto contempla que la fijación, tanto del entramado como del forro será atornillada, a través de la experiencia de estudios anteriores se sabe que da mejores resultados, aunque la fijación también se puede realizar con clavos.

Para conservar la estética del sistema, tanto en el armado del entramado como en la instalación del revestimiento, es indispensable llevar un trazo uniforme, que se puede realizar utilizando regla, lápiz, y punzón, para marcar todos los puntos en donde irán colocadas las fijaciones.

6 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LAS PAREDES

6.1 Materiales

El sistema concibe **la madera** como material principal para la construcción de las paredes. Es muy importante utilizar maderas nacionales, pueden ser especies conocidas tradicionalmente en el ambiente de la construcción. En este trabajo se propone la utilización de maderas no tradicionales para la construcción de las paredes, con el propósito de ir conociendo sus características como material y como elemento de un sistema constructivo. La madera a utilizar tiene que ser madera preparada (aserrada, cepillada, canteada, desorillada, perfilada, despuntada) con las dimensiones que se indican para los elementos del entramado y del forro. Para la cimentación, el cimientado corrido, el piso y la solera de humedad se utilizará concreto y acero.

6.2 Herramienta y equipo

Entre la herramienta y equipo necesarios para la construcción de paredes de madera se puede enumerar los siguientes:

- Equipo estacionario
- Sierra circular de banco
- Cepillo
- Canteadora
- Trompo
- Sierra radial

Herramienta manual

- Sierra circular
- Serrucho
- Cepillo manual
- Router
- Barreno o taladro
- Desarmador inalámbrico
- Trépano o berbiquí
- Desarmadores manuales
- Broca avellanadora
- Brocas para desarmador
- Sargentos o prensas
- Prensas escuadradas
- Martillo
- Nivel
- Escuadrilón
- Escuadra
- Punzón

6.3 Estructura de las paredes de madera

También se le conoce como entramado o esqueleto, está conformada por elementos verticales (parales, columnas o pies derechos) con una sección de 30x30 (7.5x7.5 cms); elementos horizontales (soleras o vigas, sillares y dinteles) con una sección de 20x30 (5.0x7.5 cms) y elementos inclinados (arriostres, o contraventeo) con una sección de 20x30 (5.0x7.5 cms), la longitud de los elementos es variable, de acuerdo a las medidas de la pared a construir.

6.4 Armado de la estructura

Como cualquier proyecto de construcción, es importante tener bien definidos y plasmados en planos los detalles de la construcción a realizar, por ejemplo para el sistema es muy importante contar con el plano de cimentaciones y columnas, para el cual servirá ubicar las columnas de las paredes y para ejecutar correctamente el armado de la estructura de las paredes de acuerdo a las dimensiones descritas en planos, de esta forma se tiene la ventaja de que se puede adelantar el trabajo en taller para dimensionar todas las piezas de la estructura.

6.4.1 Preparación de la madera

La preparación de la madera incluye los pasos siguientes: aserrado, apilado o estibado, secado, cepillado, canteado, desorillado, perfilado y despuntado. Para construir la estructura de las paredes debe utilizarse madera estructural aserrada seca, con una humedad que oscile entre 14% y 20%.

Figura 22. **Aserrado**



Figura 23. **Apilado y secado**



Figura 24. **Cepillado**



Figura 25. **Canteado**



Figura 26. **Desorillado**



Figura 27. **Perfilado**



Figura 28. **Despuntado**



Para preservar los elementos de la estructura contra ataques de insectos o agentes químicos se hace necesario aplicar alguna sustancia a base de pentaclorofenol o algún otro método que sea efectivo.

Todas las uniones se deben dejar a tope, teniendo el cuidado que queden a escuadra, utilizando tornillos para unir las piezas. Es importante que las dimensiones de las piezas sean uniformes y exactas, para lo cual todas las piezas deben estar cepilladas.

Cualquiera que sea la madera a utilizarse, debe estar libre de defectos y principalmente si tiene tendencia a rajarse, antes de utilizar clavos o tornillos, debe taladrarse (con broca avellanadora) que produzca un agujero de 0.80 veces el diámetro del tornillo a utilizar.

Tomando en cuenta que el sistema propuesto no es modular (a base de paneles), se tiene la libertad de adaptar la estructura en el lugar, teniendo el cuidado de colocar los paralelos espaciados a una distancia $S \leq 1.00$ metro, el sistema es de entramado abierto y utiliza elementos verticales y horizontales cortos, de longitud variable, entre 8 y 12 pies (2.44 y 3.60 metros).

6.4.2 Ubicación de columnas

Para la ubicación de las columnas de madera debe tomarse en cuenta los siguientes criterios, ver figura 21 en página 62:

- En las esquinas
- En encuentros de muros en T
- En encuentros de muros en +
- En puntos terminales de los muros

6.4.3 Ubicación de las vigas

En el sistema propuesto las vigas principales son la solera de anclaje ubicada en la parte inferior de la estructura o entramado de la pared y la carrera o frontal ubicada en la parte superior de la estructura o entramado.

También funcionan como vigas o elementos horizontales, los sillares y dinteles, cuya ubicación depende del lugar donde se requieran puertas y ventanas. La longitud de las vigas va a depender de las medidas de las paredes descritas en planos.

6.4.4 Montaje de las columnas y vigas

Ya teniendo claras las medidas de la pared a construir (ancho y alto), se cortan los elementos a la medida, como primer paso se coloca la viga de anclaje sobre la solera y se marca la ubicación de los pines de anclaje y ductos, luego se perfora y se ensaya solamente la viga, si coincide sin problema, se procede a armar el marco de la pared, uniendo las columnas exteriores con la solera de anclaje y la solera superior, utilizando para lograr una buena unión (a plomo y escuadra) las prensas escuadradoras, verificar la escuadra con escuadrilón, posteriormente se fijan, se avellan y se atornillan, después se traza el espaciamiento de los ejes de las columnas intermedias, por último se colocan las columnas intermedias se fijan con las prensas escuadradoras, se avellan y se atornillan. Ver figuras 32 y 33.

Ya teniendo las columnas instaladas, se verifica el plomo de las columnas, se verifica la ubicación de puertas y ventanas, se mide el espacio interno entre columnas, se cortan y se colocan los sillares (altura variable) y dinteles (altura 2.00 a 2.15 mts.), si la pared tiene puertas o ventanas, se colocan y se fijan los arriostres o elementos inclinados.

6.5 Montaje y anclaje de la estructura a la cimentación

Para fijar la estructura de la pared, se tiene previsto la construcción previa del cimiento corrido 3#3 + ESL # @0.20m y un solera de humedad que lleva un armado con 2#3 + ESL #2 @ 0.20m. De la solera salen unos bastones o pines de anclaje de hierro #3 que están ubicados a 0.50m desde las esquinas de las paredes de los ambientes y @ 1.00m en el resto de la pared.

6.5.1 Montaje

Ya teniendo armada la estructura de la pared se procede al montaje de la misma, haciendo coincidir los agujeros que se hicieron en la solera de anclaje con los respectivos bastones o pines de anclaje, y los ductos existentes. El peso de la estructura de la pared va a depender de las dimensiones de la pared y de la madera que se utilice, por lo que el montaje de la estructura se puede hacer en forma manual con dos o cuatro personas o auxiliándose con algún polipasto y lazos. Tomando en cuenta que la estructura tendrá que levantarse del suelo por lo menos 30 centímetros.

6.5.2 Anclaje

Una vez se logra levantar y montar la estructura de la pared, se procede a sentarla sobre la solera de humedad, se colocan arriostres provisionales, se verifica la plomada y luego se procede a fijar la estructura por medio de los bastones o pines de anclaje. La fijación consiste en doblar los bastones o pines de anclaje en el sentido longitudinal de la solera, con un martillo, para lograr el anclaje de la estructura a la cimentación.

Para lograr una mejor sujeción de la estructura a la cimentación se pueden colocar un par de clavos de 4ø en cada bastón o pin de anclaje, en forma cruzada, o también se pueden colocar un par de grapas o lañas para cerco. Ver figura 50 en páginas 115 y 116.

6.6 Forro o revestimiento constructivo

6.6.1 Preparación

La preparación del forro inicia desde el aserrado de la madera, ya que es importante que la madera tenga las dimensiones adecuadas, que no esté alabeada o torcida, luego se procede a cepillar la madera, cantar, desorillar y perfilar. El sistema propuesto concibe la madera para forro, como una tabla angosta (de 4 a 6 pulgadas) y un espesor ya cepillado entre ¾ø y 1ø. Ver figuras 22 a la 28.

La característica del perfilado del forro propuesto para el sistema es: *forro exterior* = tabla solapada con acanaladura en V, existen diferentes fresas o brocas para madera con las que se pueden lograr las características (batientes y chaflanes) que se necesitan para el forro exterior, en la práctica se pueden lograr con la sierra circular de banco que tenga diferentes ángulos de inclinación en la sierra o con router manual (fresadora para madera), *forro interior* = tabla machihembrada, elaboradas con fresas o cuchillas para madera, convencionales.

Todas las tablas para forro, ya sea interior o exterior, tienen que estar cepilladas, cubiertas con algún preservante y lijadas, ya sea a mano o con lijadora, antes de colocarse. Se le da prioridad a la cara que quedará expuesta o visible, la otra cara puede quedar solamente cepillada.

La selección de la mejor cara de la tabla para forro, queda a criterio de la persona que esté trabajando la madera. Las medidas del largo de las tablas para el forro, dependen de las dimensiones de la pared que se va a trabajar o de las dimensiones de la madera disponible, las que ya estarán definidas en la estructura o entramado de la pared. Es importante trabajar cortes a escuadra para lograr buenas uniones o empalmes en el forro.

6.6.2 Montaje

Una de las características del sistema propuesto es que la pared será de doble forro y que el forro se instalará de forma horizontal.

Para iniciar el montaje del forro, el instalador se puede auxiliar con prensas o sargentos rápidos, los cuales le servirán para sujetar cada una de las piezas del forro, mientras se avellana y se atornilla. Ver figura 32 en la página 82.

Forro exterior: ya teniendo preparadas las tablas para el forro, se procede al montaje o instalación, iniciando la colocación de las tablas, una a una, de abajo hacia arriba, teniendo cuidado de colocar la primera tabla a nivel, para mantener la estética y la horizontalidad del revestimiento, es importante que coincidan los batientes del forro.

Para la fijación de las tablas se puede utilizar clavos o tornillos, el sistema propuesto utilizará tornillos, estos pueden ser #8 X 2" o #8 X 2½". Se deben colocar dos fijaciones o tornillos, en cada punto en donde coincida el eje de una columna con el forro o en los extremos de las duelas del forro.

Para evitar rajaduras o grietas en la madera, antes de colocar un tornillo se tiene que avellanar con una broca que tenga 0.80 del diámetro del tornillo.

Existen brocas avellanadoras con las que se facilita el proceso de instalación del forro, pero si no se cuenta con una broca avellanadora, el proceso se puede realizar en dos pasos, perforando primero con una broca que tenga un diámetro 0.80 veces el diámetro del tornillo y luego se hace la roseta o avellana con una broca más grande, puede ser una broca para metal de $\frac{3}{8}$ o de $\frac{1}{2}$ de diámetro, la roseta sirve para que la cabeza del tornillo quede oculta o a rostro de la cara de la madera.

Forro interior: antes de instalar el forro interior, es importante colocar la tubería y accesorios de las instalaciones (agua potable, electricidad, ductos para cable y teléfono, drenajes). Ver figura 50 en la página 116.

El procedimiento de instalación del forro interior es similar a la instalación del forro exterior descrito anteriormente. Teniendo el cuidado de hacer coincidir el macho y la hembra correctamente, utilizando un mazo de madera, un mazo de hule o un martillo y un pedazo de madera para no dañar los perfiles del forro.

Si la pieza de forro no cubre todo el largo de la pared, se debe completar haciendo coincidir la unión de la pieza de complemento en el eje de la columna, para tener espacio, para colocar la fijación de las dos piezas del forro, o bien agregar una regla extra endosada o acuachada de 2×3 , para tener suficiente área de fijación, tomando en cuenta que en ese punto se incrementarán dos fijaciones (tornillos o clavos), por cada pieza del forro.

6.6.3 Acabados

La aplicación de algún tipo de acabado o recubrimiento, va a depender del criterio o gusto de la persona que va a construir, del costo, el uso, o de la ubicación y el tipo de ambiente en el que va a construirse la pared.

Es importante resaltar que la madera se presta para trabajar cualquier tipo de acabado, entre ellos:

- Natural: sin ningún tipo de acabado, solamente lijado.
- Transparente: con algún tipo de laca o barniz transparente, que permite apreciar la belleza de la madera.
- Recubrimiento a color: se puede aplicar cualquier tipo de pintura o laca del color que se desee, debiendo aplicar previamente un fondo.

Para cualquiera de los casos de aplicación de algún tipo de acabado, es necesario preparar la superficie de la madera, teniendo el cuidado de que la madera a cubrir debe estar libre de grasas o suciedad y debidamente lijada o pulida.

Para pulir la madera es aconsejable utilizar primero una lija de grano grueso número (60, 80), luego utilizar lija de grano medio (# 120, 160, 180), teniendo el cuidado de lijar la madera en el sentido de la fibra, para no rayarla.

Los diferentes tipos de acabados se pueden aplicar: a mano, utilizando wipe o brocha, o con pistola con la ayuda de un compresor.

No importa el tipo de madera que se utilice para forrar una pared, puesto que todas las maderas son preciosas y vale la pena mostrar su belleza natural, utilizando algún barniz impermeabilizante, transparente para exteriores, o para lugares que estarán expuestos a la humedad, pudiéndose aplicar o no en las paredes interiores.

7 METODOLOGÍA

7.1 Normas y tipos de ensayos en muros

Para la realización de las diferentes pruebas para muros, se ha sugerido la utilización de la norma ASTM E-72, de la que se tomaron las generalidades para los ensayos y se complementó con la experiencia práctica obtenida en la sección de Tecnología de materiales y sistemas constructivos y la sección de Estructuras del Centro de Investigaciones de Ingeniería, adquirida de trabajos anteriores, sobre los diferentes sistemas constructivos.

La norma ASTM E ó 72, describe en sus diferentes secciones los requisitos de dimensionamiento y forma de los muros, así como los detalles de su instalación para ser ensayados. El complemento de esta norma se presenta en las distintas pruebas, en la forma de ensayar los muros y la forma de tomar las deformaciones.

En el presente capítulo se estudia el comportamiento de paredes de madera con entramado abierto, elementos cortos y revestimiento constructivo doble, sometidas a cargas de compresión y cargas laterales (a corte), con los procedimientos de la norma antes descrita.

La cantidad de ensayos a realizar es la siguiente:

- Ensayo a compresión (cargas verticales) = 1 pared
- Ensayo a corte (cargas laterales) = 1 pared

A continuación se hace una breve descripción de los ensayos a realizar:

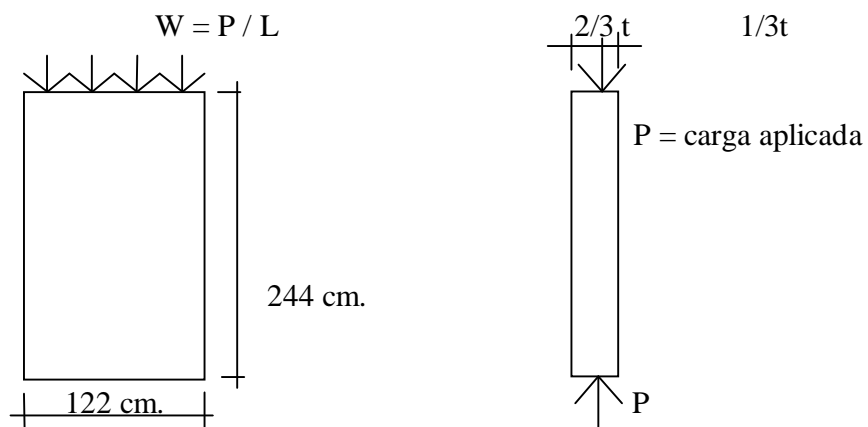
7.1.1 Ensayo a compresión

Las paredes de una edificación en la mayoría de casos se encuentran sometidas a cargas verticales provocadas por: el peso propio de las paredes, por el peso de segundos niveles (entrepisos y muros), cubiertas, cargas vivas, cargas muertas, etc.

Las paredes del sistema propuesto tienen un entramado o estructura de madera, compuesta básicamente por elementos verticales, horizontales y arriostres. Todas las cargas que se apliquen en forma vertical, serán transmitidas a la cimentación por los elementos verticales del entramado (columnas o pies derechos).

El ensayo de compresión se describe en la sección 9 de la norma E ó 72, en donde especifica un ancho nominal para el muro de ensayo de 1.2 m (4ft), y la colocación del muro de ensayo en el marco de carga, con una excentricidad de 1/3 de su grosor, tal como se aprecia en la siguiente figura:

Figura 29. Diagramas de carga ensayo a compresión



7.1.2 Ensayo a corte

Las paredes de las edificaciones también se encuentran sometidas a cargas laterales. Se entiende por carga lateral, aquella fuerza o influencia externa que provoca ladeo en la estructura, no importando la dirección de ésta. Ya sea un marco rígido, una armadura o una estructura compuesta, las cargas laterales siempre estarán presentes en los miembros verticales de éstas, en los nudos o uniones de los miembros.

El origen de las cargas laterales es variado; influyen en su presencia los movimientos sísmicos, denominados carga sísmica, cargas de viento en estructura muy esbeltas, cargas de suelo en el caso de sótanos o edificaciones profundas, en donde existen empujes de tierra y otras formas de generación de cargas laterales.

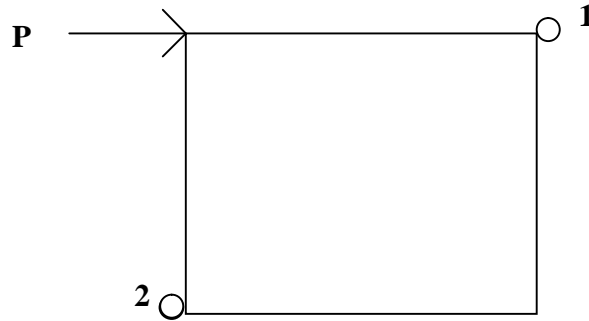
El ensayo a corte se describe en la sección 14 de la norma E-72 (mínimo 3 ensayos), en donde se hace referencia y se recomienda el método descrito en la norma E-564 (mínimo 2 ensayos). En ambos casos se especifica que las dimensiones de las paredes de ensayo no pueden ser menores de 2.4m (8ft), tanto en su alto como en el ancho.

La carga lateral se aplicará en los extremos superiores de las paredes, determinando para cada caso el cambio lineal de las diagonales o las deformaciones producidas en el extremo opuesto al de la aplicación de la carga.

7.1.2.1 Cargas laterales

Se aplica una carga lateral como se indica en la figura 30, para calcular el módulo de rigidez a corte, de cada una de las paredes ensayadas.

Figura 30. Diagrama de aplicación de carga lateral



P = Carga aplicada

- 1 = Deformómetro 1 (para medir el ladeo)
- 2 = Deformómetro 2 (para medir el volteo)

Para calcular el módulo de rigidez, se necesita calcular primero el esfuerzo cortante y la deformación angular de las paredes, con el valor de la carga lateral aplicada, en el momento que se presenta la falla.

- **Fórmula del módulo de rigidez**

$$G = \frac{V}{\theta} ; \text{ donde } \begin{array}{l} V = \text{Esfuerzo cortante} \\ \theta = \text{Deformación angular} \end{array}$$

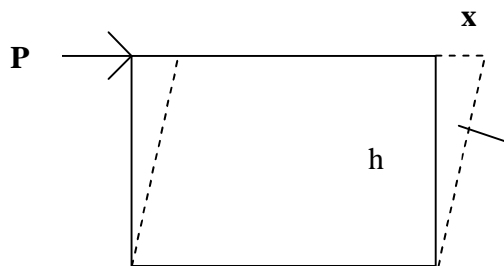
- **Fórmula del esfuerzo cortante**

$$V = \frac{P}{A} = \text{Carga lateral} / \text{Área de corte}$$

- **Deformación angular (θ)**

Para obtener la deformación angular se mide el desplazamiento de la pared en la horizontal (x) y la altura de la pared ensayada (h).

Figura 31. **Diagrama de deformación angular**



- **Fórmula de deformación angular**

$$\theta = \text{Sen}^{-1} (x / h)$$

7.2 Materiales para paredes de ensayo

Se utilizarán tres especies de madera no tradicionales del Petén, *Lonchocarpus castilloi* Standl. (Manchiche), *Calophyllum brasiliense* Camb. (Santa maría) y *Vatairea lundellii* Standley (Danto).

La madera a utilizar fue cortada en el mes de febrero de 2004, trasladada al aserradero en el mes de marzo, la madera de Santa María y Manchiche tienen entre 70 y 80 años de edad, a la madera en rollo se le aplicó parafina en los extremos, para evitar el ataque de insectos, grietas y cambio de color, tienen un 20% de humedad, la madera fue aserrada a principios del mes de octubre, apilada en fardos y secada al aire.

El entramado de las paredes se hará de la siguiente manera: parales de Danto, vigas y arriostres de Santa María, forro exterior de Manchiche, forro interior machihembrado de Santa María.

7.3 Elaboración de paredes de ensayo

7.3.1 Pared a compresión

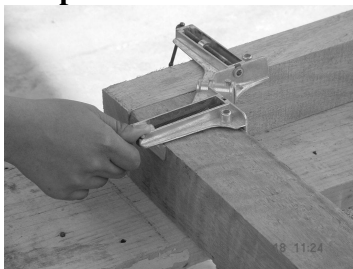
En la sección 9 de la norma E ó 72, especifica un ancho nominal para el muro o pared de ensayo de 1.2 m (4 pies) y una altura de 2.4 m (8 pies), y la colocación del muro de ensayo en el marco de carga, con una excentricidad de 1/3 de su grosor.

Las dimensiones del ancho de la pared para el ensayo a compresión fueron de 0.915 m (3 pies), tomando en cuenta el mejor aprovechamiento de las tablas de forro disponibles que tenían un largo de 6 pies, y el espaciamiento de las columnas que es representativo del sistema propuesto; la altura de la pared fue de 2.44 m (8 pies).

El armado de la estructura y la instalación del forro de la pared para el ensayo a compresión se realizó de acuerdo a los pasos descritos en el capítulo 6, en los incisos 6.4 y 6.6.

Figura 32. **Proceso de armado de pared para ensayo a compresión**

a) **Unión de viga y columna con prensas escuadradoras**



b) **Verificación de escuadra**



c) Trazo y punzonamiento



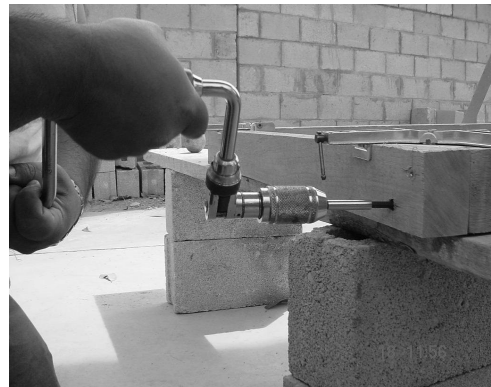
d) Unión con tornillos



e) Atornillador inalámbrico



f) Atornillado con berbiquí



g) Marco armado



h) Instalado forro machihembrado en una cara



i) Sujeción forro exterior con prensas



j) Herramienta utilizada para la instalación del forro



k) Pared terminada con doble forro



7.3.2 Pared a corte

El ensayo a corte se describe en la sección 14 de la norma E-72, se especifica que las dimensiones de las paredes de ensayo no pueden ser menores de 2.4 m (8ft), tanto en su alto como en el largo.

Las dimensiones de la pared de ensayo son de 2.44 m de altura y 2.82 m de largo, la estructura está compuesta por 4 paralelos o columnas de madera de Danto con una escuadría de 3" x 3" (7.5 x 7.5 cm), dos vigas o soleras de Santa María de 2" x 3" (5.0 x 7.5 cm.) y dos arriostres de Santa María de 2" x 3" (5.0 x 7.5cm).

Previo a iniciar el armado de la pared para el ensayo a corte, se limpió la viga de ensayo, se barrenó con broca de 3/8" y se colocaron tres pernos de anclaje, que simularán la fijación del sistema propuesto.

El armado de la estructura y la instalación del forro de la pared para el ensayo a corte se realizó de acuerdo a los pasos descritos en el capítulo 6, en los incisos 6.4 y 6.6.

Figura 33. **Proceso de armado y montaje de pared para ensayo a corte**

a) **Entramado o estructura de la pared para el ensayo a corte**



b) Instalación del forro machihembrado de Santa María



c) Terminada la instalación de la primera cara con forro



d) Pernos de anclaje instalados



e) Anclaje de la estructura a la
a la



f) Pared montada en viga de ensayo



- g) Apuntalamiento de pared, se puede apreciar el forro machihembrado con madera de Santa María**



- h) Instalación de segundo forro, tabla solapada con madera de Manchiche**



i) Terminada la instalación del forro en ambas caras



7.4 Ensayos de laboratorio

7.4.1 Ensayo a compresión

La estructura de la pared está conformada por dos columnas de Danto, dos vigas de Santa María, 17 duelas de machihombre de Santa María en una cara y 17 duelas de tabla solapada de Manchiche en la otra, con las dimensiones descritas en el segundo párrafo del inciso 7.3.1. Una vez terminada la pared se procedió a colocarla en el marco de carga, se centró y se verificó el plomo.

Figura 34. Colocación de pared a compresión en marco de carga



Se colocó un hilo a $L/2$ de la altura de la pared, para verificar la deflexión conforme se aplique la carga, y se marcaron dos puntos en los extremos de la pared en el eje del hilo, a los cuales se denominaron 1 y 2, en los cuales se verificó la lectura inicial previo a iniciar el ensayo.

Tabla IV. Datos obtenidos del ensayo de pared a compresión

CARGA (LBS)	1 mm	2 mm	OBSERVACIONES
0.00	37.05	32.00	Lectura inicial
10,000	43.70	34.70	Inicia deflexión
14,000			Crujido de la madera
15,000	44.85	35.45	Continúa deflexión

Continúaí

20,000	46.35	34.75	Hubo un reacomodo de 1,000 libras en 5 minutos
30,000	40.95	29.05	Hubo un reacomodo de 4,000 libras en 5 minutos Se invierte el pandeo
37,000	19.75	6.25	Se presentó pandeo, reacomodo de 6,000 libs.
37,000	0.00	0.00	Carga máxima

Figura 35. **Inicia pandeo a 37,000 libras**



Figura 36. Se reacomoda carga y se vuelve a cargar a 37,000 libras



Figura 37. Falla por pandeo carga máxima 37,000 libras



7.4.2 Ensayo a corte

La estructura de la pared para el ensayo a corte está conformada por cuatro columnas de Danto, dos vigas de Santa maría, 2 arriostres de Santa María, 17 duelas de machihembre de Santa María en una cara y 17 duelas de tabla solapada de Manchiche en la otra, todas las duelas del forro atornilladas con tornillo negro # 8 x 2ö.

Una vez terminada la estructura pared, se procedió a instalar el primer forro machihembrado de madera de Santa María, luego se montó e instaló en la viga horizontal para ensayos, después se instaló el segundo forro de tabla solapada de madera de Manchiche, luego se instaló toda la estructura del equipo para el ensayo de corte.

Se colocó el quipo para el ensayo a corte, que consiste en: el marco para la aplicación de la carga lateral, barras tensoras, dos deformómetros para chequear el volteo y el ladeo de la pared, se instaló un gato hidráulico ENERPAC RC 1012, de 10 toneladas y un área efectiva de 2.23 pulgadas cuadradas.

Figura 38. **Pared instalada en la viga de ensayo**



Figura 39. **Vistas de forros de Manchiche y Santa Maria**

- a) Marco para la aplicación de carga de corte, barras tensoras, forro de Manchiche



- b) Forro de Santa María



Figura 40. **Instalación de deformómetros**

a) Deformómetro para chequear volteo



b) Deformómetro para chequear ladeo



Tabla V. Datos obtenidos del ensayo a corte

Presión (kg / cm ²)	Deformómetro 1 LADEO	Deformómetro 2 VOLTEO	Observaciones
0	0, 0	(2-3), 6	Lectura inicial
25	1.085	0.8045	
50	2.180	2.2665	
75	3.180	3.1395	
100	4.680	3.6540	
120	5.68	4.5180	Carga máxima
100	7.28	4.7430	Reacomodo de la carga
120 (100)	8.78	4.6850	

Figura 41. Aplicación de carga lateral



Figura 42. **Volteo y ladeo**

a) Se aprecia el volteo con la carga aplicada



b) No se dio ninguna falla en las duelas del forro ni en los tornillos



c) Ladeo de la pared con la carga aplicada, se observa el desplome



d) Colocación de plomada para verificar el ladeo



7.5 Evaluación técnica

En los ensayos realizados se siguieron las especificaciones de la norma E ó 72 de la ASTM (*American Society for Testing and Materials*).

7.5.1 Ensayo a compresión

7.5.1.1 Análisis de fallas

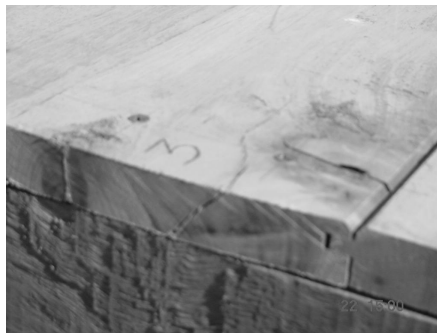
Se procedió a numerar las duelas de abajo hacia arriba, del 1 al 17, de la cara de la pared hacia donde se dio el pandeo, que fue la cara con duelas de machihembre de Santa María, se desmontaron las duelas 5 a la 9, ubicadas entre $L/3$ y $L/2$.

A continuación se describen una por una el tipo de falla que presentó el forro machihembrado de madera de Santa María.

Lado izquierdo, las duelas 1 y 2 no presentan fallas

Figura 43. **Análisis de fallas en pared a compresión**

a) **Duela 3, presenta deslizamiento por corte**



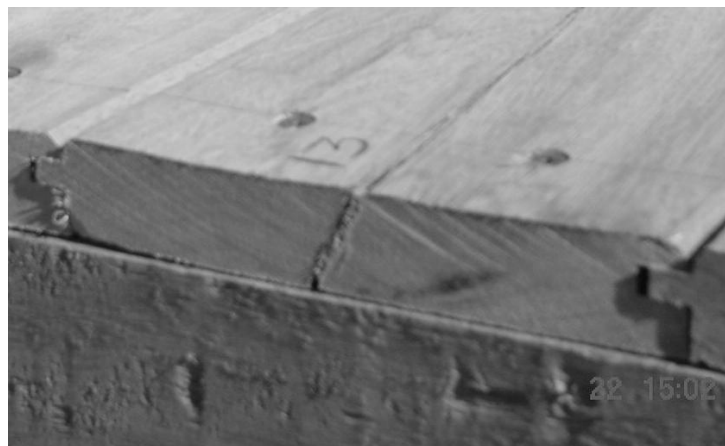
Duela 4, no presenta ningún tipo de falla.

b) Duelas 5 y 6, grietas por corte



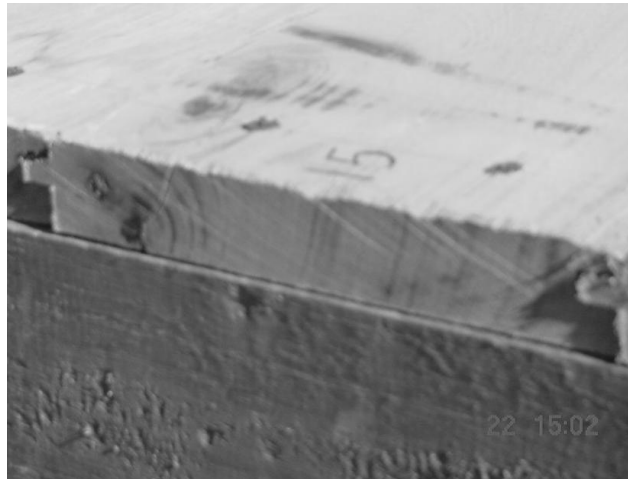
Duelas de la 7 a la 12 no presentan fallas.

c) Duela 13, presenta falla por corte



Duelas 14, 16 y 17, no presentan fallas.

d) Duela 15 presenta falla por corte



Lado derecho, las duelas 1 a la 5, no presentan ningún tipo de falla.

e) Duela 6, presenta tornillo pandeado, ubicado a 82 cm medidos de abajo hacia arriba, o sea a L/3 de la altura de la pared



f) **Duelas 7 y 8, presenta grietas por corte**

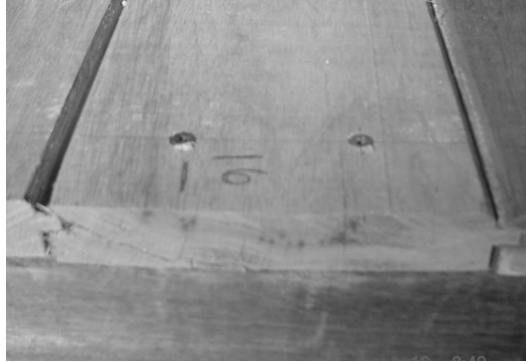


g) **Duela 9, se localizó tornillo fallado por corte,
ubicado a L/2 de la altura de la pared**



Las duelas 10 a la 15 y la 17, no presentan ningún tipo de falla.

h) Duela 16, presenta falla por corte



Se desmontó todo el forro de ambas caras de la pared a compresión y se observó que los tornillos no salían con la misma facilidad o el mismo grado de dificultad con que se instalaron, para la cara con forro machihembrado de madera de Santa María de un total de 48 tornillos, 12 (25%) se rescataron en buen estado, 10 salieron cortados y 26 se cortaron al intentar sacarlos. Para la cara con madera de Manchiche de un total de 68 tornillos, 39 (57%) se rescataron en buen estado y 29 se cortaron al intentar sacarlos.

i) Muestra de tornillos que salieron cortado y un tornillo normal



7.5.1.2 Análisis de resultados ensayo a compresión

Del ensayo a compresión se obtuvo una carga máxima aplicada a la pared de 37,000 libras ($W_{max} = 16,818.18$ Kilogramos).

Figura 44. Sección pared a compresión

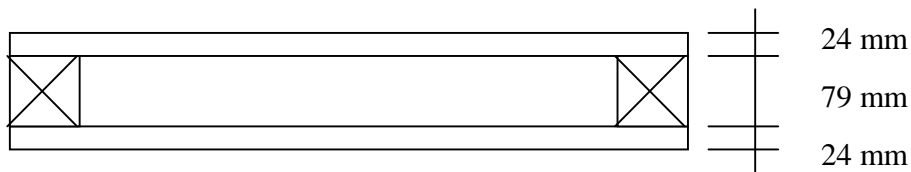


Tabla VI. Área total de pared a compresión

Función	Dimensión nominal (pulgadas)	Dimensión real (centímetros)	Área (cm²)
Columna 1	3ö x 3ö	7.9 x 7.9	62.41
Forro machihembre	1ö x 3ø	2.4 x 91.5	219.60
Forro tabla solapada	1ö x 3ø	2.4 x 91.5	219.60
Columna 2	3ö x 3ö	7.9 x 7.9	62.41
Área total			564.02

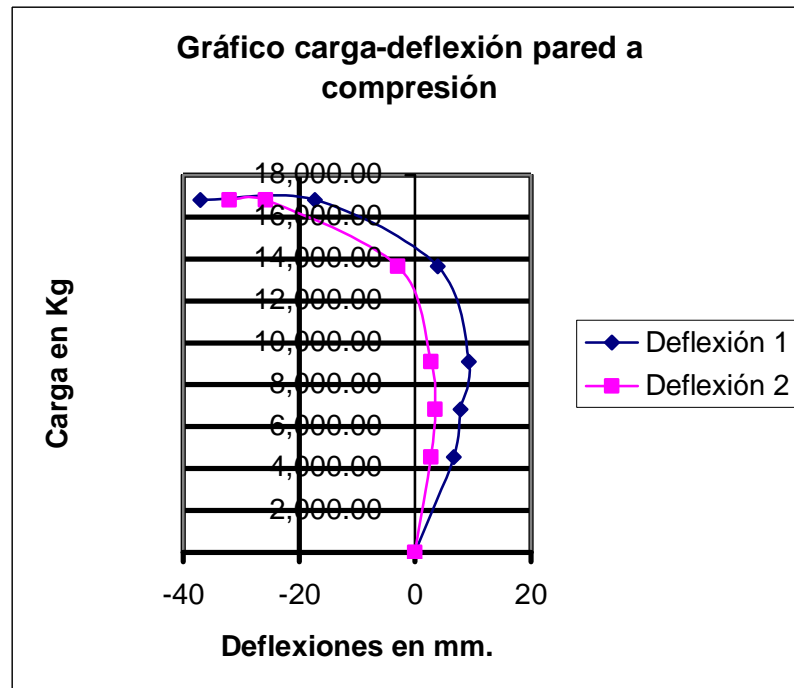
Esfuerzo de compresión para carga máxima:

$$\text{comp max} = P/A = 16,818.18 \text{ kg} / 564.02 \text{ cm}^2 = 29.82 \text{ kg/cm}^2$$

Utilizando el 60% de la carga máxima, para efectos de diseño, $P_d = 10,100 \text{ Kg}$.

$$\text{diseño} = 10,100 \text{ kg} / 564.02 \text{ cm}^2 = 17.91 \text{ kg / cm}^2. \text{ Aproximadamente } 18 \text{ kg / cm}^2.$$

Figura 45. Gráfico carga-deflexión de pared a compresión



Inicialmente al aplicar la carga en la pared del ensayo a compresión, se observó la tendencia a pandearse hacia la cara con forro de madera de Manchiche, pero al acomodarse la carga, la absorbió mejor el forro de Manchiche que es de tabla solapada y al pasar de los 10,000 kg. de carga se invirtió el pandeo hacia la cara con forro machihembrado de madera de Santa María.

La prueba realizada con la pared sometida a carga de compresión, revela un comportamiento similar al de un elemento esbelto bajo efectos de flexo-compresión.

Es interesante observar como trabajó mejor la tabla solapada acomodándose mejor ante la carga de compresión, comparado con el comportamiento de las tablas machihembradas que por su confinamiento tendieron a ser más débiles y por consiguiente a la deformación por pandeo.

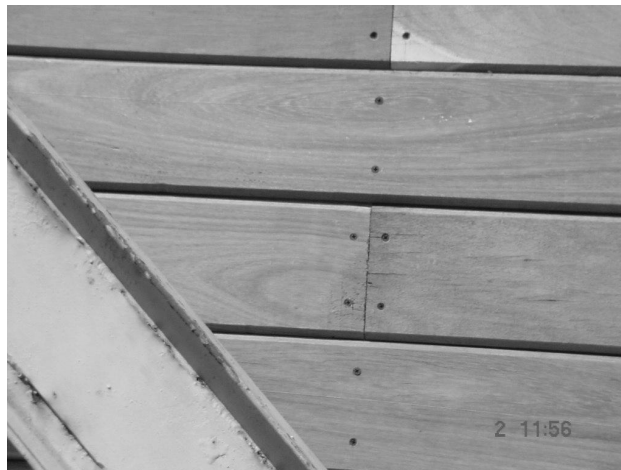
7.5.2 Ensayo a corte

7.5.2.1 Análisis de fallas

Se numeraron las duelas de forro en ambas caras de la pared, previo al ensayo se marcaron las grietas existentes en la estructura y en el forro, que pudieran inducir algún tipo de falla, para determinar las fallas reales después del ensayo.

Durante la aplicación de la carga lateral se observó el desplazamiento de la parte superior de la pared (ladeo) y volteo en la parte inferior, en el lado donde se aplicó la carga.

Figura 46. Se observa corrimiento en las duelas de forro



Cuando se aplicó una presión de 120 kg/cm², se bajó la presión a 100 kg/cm², y se dio la ruptura de la viga superior en la parte donde se apoyan las barras tensoras, que impiden que el volteo sea mayor, e inducen a la pared a trabajar a corte.

Figura 47. **Ruptura de viga superior en el punto de apoyo de las barras tensoras**

a) **Para una presión aplicada de 120 kg/cm²**



b) **Viga fallada**



Se observó al desmontar el forro de la pared del ensayo a corte, desprendimiento de la cabeza del tornillo utilizado para fijar el arriostre, en el punto donde se verificó el ladeo, y corrimiento del arriostre. Se observó una falla de instalación del forro, que definitivamente influyó en ladeo de la pared, y es que no se atornillaron las duelas del forro de ambas caras a ninguno de los dos arriostres de la pared de ensayo, provocando que trabajara el arriostre solo y no como parte de un sistema integral.

Figura 48. **Falla tornillo a tensión, en esquina del ladeo**



Al desmontar el forro de ambas caras de la pared que se ensayó a corte, los tornillos no salían con facilidad, ni aplicando el mismo torque con que se instalaron, teniendo que desprender las tablas con una uña y cortarse otros tornillos.

7.5.2.2 Análisis de resultados ensayo a corte

Se determinará a continuación el resultado del esfuerzo de corte que se presenta en la pared de ensayo y su comportamiento gráfico. El esfuerzo de corte estará determinado por la fuerza horizontal que se aplica en le extremo de la pared.

Figura 49. **Sección de pared a corte**

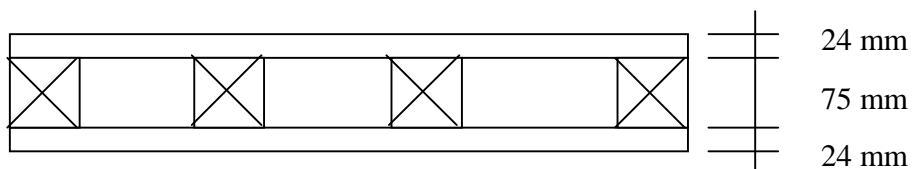


Tabla VII. Área total de pared a corte

Función	Dimensión nominal (pulgadas)	Dimensión real (centímetros)	Área (cm²)
Columna	3ö x 3ö	7.5 x 7.5	56.25
Forro	1ö x 9.26ø	2.4 x 282.0	676.80

Área efectiva total de la pared a corte, que incluye las cuatro columnas y los dos forros.

$$A_e = 2 (676.80) + 4 (56.25) = \mathbf{1578.60 \text{ cm}^2}$$

Para calcular el Módulo de rigidez, se necesita calcular primero el esfuerzo cortante y la deformación angular de las paredes, con el valor de la carga lateral aplicada, en el momento que se presenta la falla.

- **Fórmula del Módulo de rigidez**

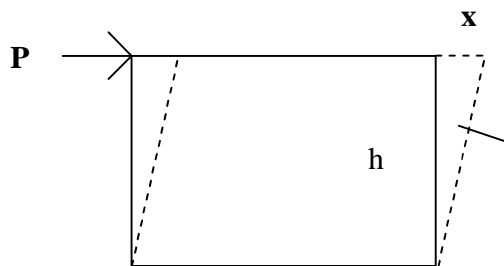
$$G = \frac{V}{\theta} ; \text{ donde } \begin{array}{l} V = \text{Esfuerzo Cortante} \\ \theta = \text{Deformación angular} \end{array}$$

- **Fórmula del Esfuerzo cortante**

$$V = \text{Carga lateral} / \text{Área de corte}$$

- **Deformación angular (θ)**

Para obtener la deformación angular se mide el desplazamiento de la pared en la horizontal (x) y la altura de la pared ensayada (h).



- **Fórmula de deformación angular**

$$\theta = \text{Sen }^{-1} (x / h)$$

Cálculo del esfuerzo cortante

Para calcular el esfuerzo cortante necesitamos convertir la presión aplicada por el gato hidráulico (kg/cm^2) en carga horizontal (kg), para lo que utilizaremos el área indicada en el manual que es de $2.23 \text{ pulg}^2 = 14.387 \text{ cm}^2$, obteniendo la carga de la fórmula presión x área.

Tabla VIII. Datos del ensayo de pared a corte

Presión (kg / cm ²)	Deformómetro 1 LADEO	Deformómetro 2 VOLTEO	Carga lateral (Kg)
0	0, 0	(2-3), 6	0
25	1.085	0.8045	359.67
50	2.180	2.2665	719.35
75	3.180	3.1395	1079.02
100	4.680	3.6540	1438.70
120	5.68	4.5180	1726.44

Para el cálculo de la deformación angular utilizamos los datos del deformómetro No.1 y la altura original de la pared de ensayo que es de 244 cm.

Tabla IX. Cálculo del módulo de rigidez

Carga lateral (Kg)	Deformación LADEO	Esfuerzo cortante (kg/cm ²)	Def. angular (x/h)	Módulo de rigidez G (/)
0	0, 0	0	0	0
359.67	1.085	0.2278	0.0044	51.77
719.35	2.180	0.4557	0.0089	51.20
1079.02	3.180	0.6835	0.0130	52.58
1438.70	4.680	0.9114	0.0192	47.47
1726.44	5.68	1.0937	0.0233	46.94

Figura 50. Gráfico cargaódeformación de pared a corte

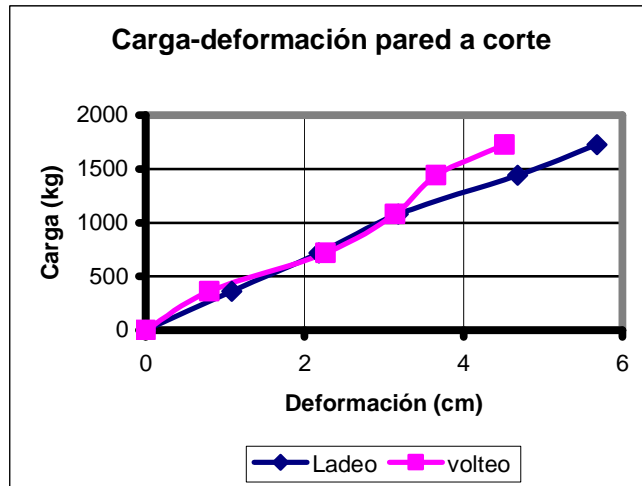
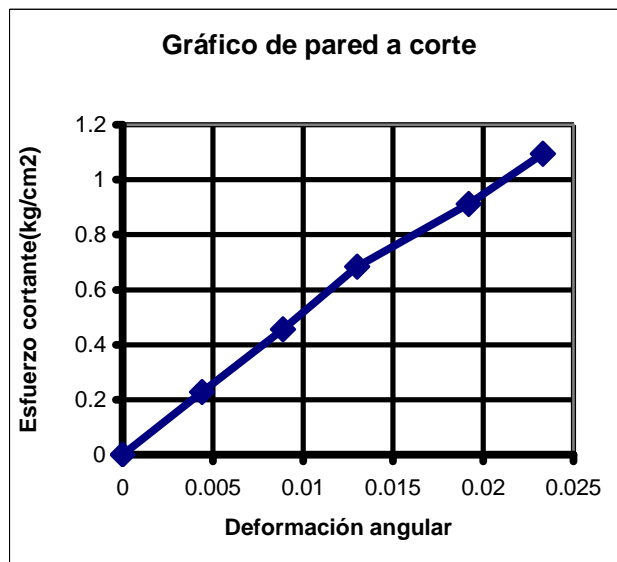


Figura 51. Gráfico esfuerzo-deformación de pared a corte



En el gráfico se puede apreciar un comportamiento directamente proporcional, entre el esfuerzo y la deformación angular de la pared.

8 APLICACIÓN

8.1 Construcción demostrativa en la sección de tecnología de materiales y sistemas constructivos

Consiste en la construcción de un cimiento corrido, piso de concreto y una banqueta perimetral, en un área de 64 m², con las especificaciones y características del sistema propuesto.

Aprovechando una de las ventajas de la madera, como lo es la reutilización, se adaptaron los muros de ensayo como una aplicación de paredes para cerrar un ambiente, sobre la cimentación que se construyó.

Para la elaboración de las paredes de la construcción demostrativa, se siguieron todos los pasos descritos en el capítulo 6 del presente trabajo.

Figura 52. **Fotos del proceso de la construcción demostrativa**

a) Área para construcción demostrativa



b) Cimentación para construcción demostrativa



c) Armado de la estructura de pared



d) Colocación de la estructura en la cimentación



e) Estructura de dos paredes con vanos para ventanas



f) Armado de la estructura de la tercera pared



g) Montaje de la estructura de la tercera pared, con vano para puerta



h) Montaje de la estructura de la cuarta pared



i) Detalle de anclaje de la estructura de madera a la cimentación



j) Detalle de anclaje y colocación de ductos eléctricos



k) Estructura de 4 paredes ya montadas



l) Instalación de forro machihembrado de Santa María



m) Instalación forro interior machihembrado, de Santa María



n) Instalación de forro interior en pared que llevará doble forro



ñ) Terminada la instalación de forro interior



o) Instalación de forro machihembrado de Santa María en pared interna



p) Detalle de dintel armado en ventana



q) Terminada la instalación de forro en pared con vano para puerta



r) Terminada la instalación de forro exterior con madera de Manchiche en pared que lleva doble forro



s) **Vista de dos caras exteriores con madera solapada de Manchiche**



En la foto se puede apreciar dos caras exteriores con madera de Manchiche, como los marcos en las ventanas y las tablas colocadas como esquineros, los cuales son de madera de Manchiche.

t) **Forro exterior de Manchiche en pared con ventana y forro interior de Santa María**



u) Vista frontal del ambiente terminado



v) Vista interior, estructura de pared



w) **Detalle de marco interior en ventana**



x) **Vista de dos paredes interiores con machihembre de Santa María**



y) Terminadas las paredes de la construcción demostrativa



Todo el proceso de las paredes de la construcción demostrativa, se desarrolló de la siguiente manera, elaboración de la estructura de las paredes 3 días y la instalación del forro, detalles de marcos y esquineros en 4 días, para un total de 7 días trabajados.

Durante el proceso se hicieron cortes en los elementos de la estructura, se cortaron de largo todas las duelas del forro, se desmontó el forro en las dos caras de la pared que se ensayó a corte, se desmontó la estructura de la viga de ensayo y se montó en la cimentación de la construcción demostrativa, se hicieron varias duelas de Manchiche para completar el forro exterior, también se hicieron las piezas para los marcos de ventanas y los esquineros; todos estos trabajos influyeron en el tiempo de ejecución, ya que estaba estimado en 5 días.

8.2 Evaluación del sistema constructivo

La evaluación del sistema se enfoca directamente en el comportamiento de las paredes de madera, al ser sometidas a cargas de compresión y de corte, también al proceso de construcción y montaje de las mismas.

Para tener un panorama más amplio del sistema constructivo no hay que dejar pasar por alto el comportamiento y las condiciones de cada uno de los elementos que lo integran, tanto del entramado como del forro de las paredes. Para que la evaluación sea completa debe incluir tanto el aspecto técnico como el económico.

8.2.1 Evaluación técnica

8.2.1.1 Materiales

Es importante la calidad de los materiales empleados en la construcción, por ejemplo los tornillos utilizados para el armado de la estructura de la pared, son de color amarillo o dorado, # 10 x 3ö, mostraron poca resistencia al corte, debido al torque aplicado para su instalación, por lo que había que instalarlos con mucho cuidado. En el ensayo del muro de corte se dio el desprendimiento de la cabeza del tornillo en el punto donde se verificó el ladeo de la pared, en la unión del arriostre con la columna.

El tornillo utilizado para la instalación del forro, es de color negro, #8 x 2ö, rosca ordinaria, cabeza cónica, se instala con broca tipo estrella o phillips, este tornillo tiene mejores características ya que es más resistente al instalarlo y da una mayor fijación al unir dos piezas de madera.

En la pared a compresión se observó que los tornillos no salían con la misma facilidad o el mismo grado de dificultad con que se instalaron.

Para la cara con forro machihembrado de madera de Santa María de un total de 48 tornillos, 12 (25%) se rescataron en buen estado, 10 salieron cortados y 26 se cortaron al intentar sacarlos. Para la cara con madera de Manchiche de un total de 68 tornillos, 39 (57%) se rescataron en buen estado y 29 se cortaron al intentar sacarlos.

De la evaluación de la madera utilizada para la construcción de las paredes de ensayo y de la construcción demostrativa, se puede decir que a la hora de manipularla se pudo experimentar que tanto las columnas de Manchiche como de Danto son bastante pesadas, para trabajarla tanto para cortarla como para avellanarla, fue más trabajable o menos dura la madera de Santa María, y más dura la madera de Manchiche.

Es importante mencionar que entre las columnas de Manchiche y Danto, se presentaron más alabeo y torcedura en la madera de Danto, las dimensiones de la madera aserrada fueron de 30 x 30 x 120

La madera de Santa María utilizada para vigas y arriostres, con una escuadrilla de 20 x 30 (5cm x 7.5cm) y 12 pies de largo, presentaron demasiado alabeo y pandeo, así como rajaduras, muestra de un mal manejo, a la hora de apilarse o estibarse y de un secado brusco.

Es importante mencionar que cualquier material al cual se le agrega valor por medio de su transformación o aplicación, requiere de más herramienta y equipo para trabajarlo.

Es importante mencionar como dato, que en el proceso de la construcción de 33 m² de pared, con el sistema constructivo propuesto, se quebraron durante su uso 10 brocas que se utilizaban para avellanar el forro, para la instalación de los tornillos.

8.2.1.2 Paredes de ensayo

En los ensayos realizados se siguieron las especificaciones de la norma E ó 72 de la ASTM (*American Society for Testing and Materials*).

Pared a compresión, para la realización de este ensayo ya se mencionó con anterioridad, las dimensiones y materiales de la pared y sus elementos, proceso de elaboración de la pared, así como la aplicación de la carga y la forma de toma de lectura de las deformaciones. La pared a compresión se toma como representativa del sistema constructivo propuesto, ya que la separación de sus columnas está dentro del rango mencionado.

Dentro de los aspectos más relevantes del ensayo y el comportamiento de la pared a compresión se pueden mencionar los siguientes:

- Se aplicó la carga en el centro de la pared.
- A las 10,000 libras (4,545kg) se inicia pandeo en la cara del forro de tabla solapada de madera de Manchiche.
- Se escuchó un crujido a las 14,000 libras de carga (6,363kg).
- A las 20,000 libras de carga (9,091kg) hubo un reacomodo de 1,000 libras en 5 minutos.
- A las 30,000 libras (13,636kg), se da un acomodo de 4,000 libras en 5 minutos y se invierte el pandeo hacia la cara de forro machihembrado de madera de Santa María.
- A las 37,000 libras (16,818 kg), se presentó un acomodo de 6,000 libras, se presenta el pandeo muy visible, se vuelve a llegar a 37,000 libras, ya no absorbió más carga. Carga máxima a compresión = 37,000 libras.
- Se presentaron grietas por corte en las duelas de forro machihembrado de Santa María, ver fotografías del análisis de fallas.

- Se encuentra un tornillo pandeado o torcido a L/3 de la altura de la pared.
- Se encuentra tornillo fallado por corte a L/2 de la altura de la pared.
- No se da un deterioro visible en la pared de ensayo.
- Esfuerzo de compresión a la carga máxima = **comp max = P/A =**
 $16,818.18 \text{ kg} / 564.02 \text{ cm}^2 = \mathbf{29.82 \text{ kg/cm}^2}$.

Pared a corte, para la realización de este ensayo ya se mencionó con anterioridad, las dimensiones y materiales de la pared y sus elementos, proceso de elaboración de la pared, así como la aplicación de la carga y la forma de toma de lectura de las deformaciones.

Dentro de los aspectos más relevantes del ensayo y el comportamiento de la pared a corte se pueden mencionar los siguientes:

- Se inició el ensayo aplicando presión e iniciando lecturas a cada 25 kg/cm², así como las lecturas de ladeo y volteo, obtenidas de los deformómetros 1 y 2 respectivamente.
- Durante la aplicación de la carga se observó bastante desplazamiento en la parte superior de la pared (ladeo) y volteo en la parte inferior.
- Al aplicarle una presión de 120 Kg/cm², se dio la ruptura de la viga superior de la pared, en la parte donde se apoyan las barras tensoras, y bajó la lectura a 100 Kg/cm².
- Se observó corrimiento en las duelas del forro.
- El ladeo máximo fue de 5.68 centímetros.
- Al retirar la carga aplicada, se dio una recuperación de 1.68 cm y una deformación permanente de 4 centímetros.
- Carga lateral máxima = **1726.44 Kg.**
- Esfuerzo cortante para carga máxima = **1.09 Kg./cm².**
- Deformación angular máxima = **0.0233 rad.**

- Módulo de rigidez para carga máxima = **46.94 kg/cm²**.

Es importante mencionar el desprendimiento por tensión de la cabeza de un tornillo que sujetaba el arriostre con la columna de la pared a corte, en la parte superior derecha de la pared, en donde se midió el ladeo.

También es importante recalcar que los arriostres de la pared del ensayo a corte trabajaron solos, ya que no se atornillaron las duelas de los forros a los arriostres, por lo que queda la incertidumbre de que si se hubieran atornillado todas las duelas a los arriostres, no se hubiera presentado tanto desplazamiento de la pared a la hora de la aplicación de la carga, así como reforzar la viga superior para que no se de la ruptura inducida por el confinamiento de las barras tensoras. Como evaluación, es importante poner atención a estos aspectos para futuros ensayos con paredes de madera.

Otro aspecto que se debe tomar en cuenta para la construcción de paredes de madera, es el dimensionamiento y la preparación de los elementos, tanto del entramado como del forro, tener los materiales, herramienta y equipo adecuados previo a iniciar la construcción, para hacer más eficiente y de forma planificada el proceso de construcción e instalación.

8.2.2 Evaluación económica

Para realizar una evaluación económica de un sistema constructivo nuevo, hay que definir un marco de comparación contra otro sistema constructivo ya conocido, para efectos del presente trabajo, se hará una comparación entre el sistema constructivo propuesto de paredes de madera y la mampostería de block reforzada. Tomando en cuenta el costo de los materiales, tiempos de ejecución y costo de la mano de obra.

El ambiente a construir tiene un ancho de 3.00 metros, un largo de 3.50 metros y una altura de paredes de 2.59 metros, cimiento corrido armado y piso de concreto de 0.07 metros de espesor.

A continuación se presenta el cuadro comparativo de costos entre las paredes con el sistema constructivo de mampostería reforzada y las paredes con el sistema propuesto utilizando maderas nacionales.

Tabla X. **Cuadro comparativo de costos**

No.	RENGLÓN	Mampostería	Sistema constructivo propuesto	
		Q/renglón	forro 2 caras Q/renglón	forro 1 cara Q/renglón
1	Trabajos preliminares	371.00	371.00	371.00
2	Cimentación	2,935.63	1205.55	1205.55
3	Piso de concreto	371.61	339.74	339.74
4	Paredes	5,200.08	9,367.22	7,059.00
	TOTALES	Q 8,878.32	Q 11,283.51	Q 8,975.29
	m2 de pared	33.67	33.67	33.67
	Costo por m2	Q 263.69	Q 335.12	Q 266.57

Los datos contenidos en la tabla X, son un resumen de los datos que se encuentran en las tablas de la XII a la XVII de los apéndices, donde se puede encontrar la cuantificación de materiales para los dos sistemas constructivos y el cálculo del costo por metro cuadrado de pared.

De la tabla anterior se puede observar que la diferencia porcentual entre el costo por metro cuadrado con paredes de mampostería y la pared de madera con forro en las dos caras es de un 27% más y con la pared de madera con forro en una cara, es del 1.09%.

El costo de la mano de obra para los dos sistemas constructivos varía de la siguiente manera: para la mampostería reforzada el costo de la mano de obra es del 42% del costo total y para el sistema constructivo propuesto utilizando maderas nacionales es del 20% del total.

El tiempo de ejecución para un ambiente como el de la construcción demostrativa, se puede integrar en días de la manera siguiente:

Tabla XI. **Tiempos de ejecución en días**

Preliminares	Mampostería	Madera, 2 caras	Madera, 1 cara
Limpieza	1	1	1
Trazo	1	1	1
Nivelación	1	1	1
Cimentación			
Excavación	2	0	0
Cimiento corrido	3	4	4
Levantado a solera de humedad	1	0	0
Solera de humedad	2	1	1
Piso	1	1	1
Paredes	10	6	4
Total de días	22	15	13

Se puede observar en el cuadro anterior que si se construye con el sistema constructivo propuesto utilizando maderas nacionales y con forro en las dos caras, se reduce el tiempo de ejecución en un 32%, y si se construye con forro en una sola cara, se reduce el tiempo de ejecución en un 41%, lo que representa reducción de costos en mano de obra.

Otra de las ventajas que se debe tomar en cuenta a la hora de construir con madera es ñla construcción con muro secoö, lo que reduce la utilización de agua en la construcción y por consiguiente se reducen los costos.

De todo lo anterior se puede decir que el sistema constructivo propuesto brinda reducción de costos en cuanto al tiempo de ejecución y la mano de obra, pudiéndose aplicar en construcciones a gran escala en donde podrían reducirse los costos de los materiales, que representa el rubro más alto en el sistema constructivo propuesto.

CONCLUSIONES

1. La utilización de maderas no tradicionales en la construcción de paredes para edificaciones es escasa, el uso de la madera para la construcción de paredes para viviendas es más generalizado en las áreas rurales, sin técnicas adecuadas de construcción, preparación y preservación.
2. El estudio y la aplicación de maderas no tradicionales, para la construcción de paredes con el sistema propuesto, promueve las maderas nacionales como materia prima.
3. La construcción y los ensayos, de las paredes con el sistema constructivo propuesto, promueven y amplían el conocimiento de las características, las posibles aplicaciones, ventajas y desventajas de la utilización de la madera en la construcción.
4. Existen dos grandes grupos de sistemas constructivos en madera, el entramado lleno y el entramado abierto, de los cuales el desarrollo del entramado abierto es el que más avances y difusión ha tenido en el mundo de la edificación, desde sus inicios hasta nuestros días.
5. El sistema constructivo propuesto de paredes de madera para edificaciones, es compatible con el acero y el concreto, ya que la cimentación y la solera de humedad son de concreto armado, el piso es de concreto y los anclajes utilizados para unir la cimentación y las paredes de madera, son de acero.

6. El sistema constructivo propuesto es fácil de ejecutar, liviano y seguro, ya que la madera es un material, con diferentes niveles de prefabricación, de rápida instalación, de fácil manipulación, de fácil ensamblaje y montaje, antisísmico.
7. Del ensayo de la pared a compresión con el sistema propuesto, se obtuvo que la carga máxima a compresión fue de 37,000 libras (16,818 kg), y que el esfuerzo de compresión para la carga máxima es de $= 29.82 \text{ Kg/cm}^2$.
8. Del ensayo de la pared a corte con el sistema propuesto, se obtuvo que la carga lateral máxima fue de 1,726.44 Kg., el esfuerzo cortante para la carga máxima $= 1.09 \text{ kg/cm}^2$, la deformación angular máxima $= 0.0233$, el módulo de rigidez para la carga máxima $= 46.94 \text{ Kg/cm}^2$.
9. El costo de la cimentación con el sistema constructivo propuesto, equivale al 41% del costo del sistema constructivo tradicional de mampostería de block reforzada.
10. El costo por metro cuadrado de pared con el sistema constructivo propuesto, con doble forro, es mayor en un 27%, que el costo por metro cuadrado de una pared con mampostería de block reforzada.
11. El costo por metro cuadrado de pared con el sistema constructivo propuesto, con forro en una sola cara, es mayor en un 1.09%, que el costo por metro cuadrado de una pared con mampostería de block reforzada.
12. El tiempo de construcción de una pared con el sistema constructivo propuesto, se reduce en un 32%, comparado con una pared de mampostería de block reforzada.

RECOMENDACIONES

1. Continuar con el estudio de las maderas nacionales no tradicionales, sus diferentes aplicaciones y las propuestas de otros sistemas constructivos.
2. Divulgar los resultados de las diferentes caracterizaciones realizadas con maderas nacionales, tradicionales y no tradicionales.
3. Promover el uso de otras especies de madera, no tradicionales, para la construcción de paredes.
4. Manejar con cuidado el secado de la madera, para evitar deformaciones o defectos debido a los cambios bruscos de temperatura.
5. Realizar más ensayos de paredes con el sistema constructivo propuesto, variando el espaciamiento de las columnas, para determinar los valores de diseño óptimos.
6. Continuar con el manejo sostenible de las áreas forestales del país.
7. Implementar el laboratorio de maderas, en la sección de Tecnología de materiales y sistemas constructivos del Centro de investigaciones de ingeniería de la universidad de San Carlos de Guatemala.

BIBLIOGRAFÍA

1. Annual Book of ASTM STANDARDS, Section 4, Construction, volume 04. 07, Building Seals and Sealants; Fire Standards; *Building Constructions*. s.l: s.e., 1990.
2. Arriola Sarti, Max y Eric S. Torres Morales. Resistencia a Corte, en muros de ladrillo de barro cocido, reforzados con pines. Tesis Ing.Civil, Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1986.
3. **Biblioteca Atrium de la Carpintería**. Tomos 1, 3 y 5. Barcelona, España: Ediciones Océano, MCMXCIII, 1993.
4. Bosch Pérez, Gerardo Federico. Ensayo de 4 preservadores para madera contra hongos que causan la pudrición. Tesis Ing. Químico Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1982.
5. Catálogo de Sistemas Constructivos. **Tecnología para la auto producción del hábitat**. Santiago de Chile: Centro de Estudios de la Vivienda CEDVI, Universidad Central, Chile; 1991.
6. Barillas Oliva, Sergio Rolando. Consideraciones y diseño estructural para casas de madera y plywood. Tesis Ing. Civil, Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería; 1992.
7. DATAFORG, base de datos forestales de Guatemala, V.3.

8. **El trabajo en MADERA.** Madrid, España: Susaeta Ediciones; 1994.
9. Estrada Hurtarte, Gustavo Adolfo. Manual de cuantificación de materiales para urbanizaciones y edificaciones. Tesis Ing. Civil, Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería; 1990.
10. García Chiu, Mario Roberto. Muros de Tableros de Bambú. Tesis Ing.Civil, Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería; 1986.
11. INE, **Censos 2002:** XI de población y VI de habitación. Guatemala, s.e., 2002.
12. Herrera Prera, Julio Roberto. Sistema constructivo a base de paneles de madera y bambú. Tesis Ing. Civil, Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería; 1989.
13. INAB. www.inab.gob.gt
14. Ingeniería Estructural, Comportamiento de miembros y sistemas. México: Editorial Limusa; 1980.
15. Juárez Fernández, Maria Eugenia. Propuestas Técnicas de Sistemas Constructivos para contribuir a resolver el problema Habitacional del área urbana en Guatemala. Tesis Inga. Civil, Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería; 2000.
16. Parker, Harry y James Ambrose. **Diseño simplificado de estructuras de Madera.** 2ª.ed. México: Editorial Limusa, 2000.
17. **Primer Seminario Centroamericano y del Caribe de Tecnología de los Materiales.** San José Costa Rica, 2004.

18. Sociedad Civil òÁRBOL VERDEö. Ixlú, El Caoba, Flores, Petén: s.e., 2004.

19. Steinmüller Mazariegos, Augusto Alejandro. Características Físico- mecánicas y estructurales en planchas y paneles de fibro-cemento. Tesis Ing. Civil, Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería; 1987.

20. www.cii.usac.edu.gt

APÉNDICES

Tabla XII. Cuantificación de materiales, pared de mampostería

SISTEMA CONSTRUCTIVO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA
 CUANTIFICACIÓN DE MATERIALES Y PRECIOS UNITARIOS

No.	RENGLÓN	CANTIDAD	P.U. materiales										costo		Unitario			
			UNIDAD	Cemento	Área rfo	Piedrn	Hierro 3/8"	Hierro 1/4"	Alambre	Área blanca	Cal	Formaleta	Block	Total				
1	Cimiento corrido	13	ml	8.56	0.46	0.92	0.52	0.21	1.44									Q48.29
				Q312.44	Q27.60	Q119.60	Q119.60	Q42.00	Q6.48	0	0	0	0	0	0	0	0	Q627.72
2	Paredes de block	28.72	m2	7.15	0.61	0	0	0	0	0	0	0	0	40	360			
				Q260.98	Q36.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Q200.00	Q702.00			Q1,199.38
3	Solera de bandedad	13	ml	3.21	0.17	0.34	0.79	0.21	1.92	0	0	0	0	4.5	0			
				Q117.17	Q10.20	Q44.20	Q181.70	Q42.00	Q8.64	0	0	0	0	Q22.50	0.00			Q32.80
4	Solera intermedia de block U	10.70	ml	1.24	0.07	0.12	0.29	0.08	0.80						30			
				Q45.37	Q3.90	Q15.60	Q66.70	Q16.00	Q3.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Q58.50			Q19.60
5	Solera de corona	13	ml	3.21	0.17	0.34	0.79	0.21	1.92	0	0	0	0	4.5	0			
				Q117.17	Q10.20	Q44.20	Q181.70	Q42.00	Q8.64	0	0	0	0	Q22.50	0			Q32.80
6	Piso de concreto 0.07m	8.64	m2	4	0.3	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
				Q146.00	Q18.00	Q78.00	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-			Q242.00
7	Columnas C1	18.72	ml	4.61	0.25	0.5	1	1.58	14.55	0	0	0	13	0				
				Q168.27	Q15.00	Q65.00	Q330.00	Q316.00	Q65.48	0	0	0	0	Q65.00	Q-			Q924.74
8	Columnas C2	12.48	ml	1.56	0.08	0.16	0.34	0.29	2.43	0	0	0	5	0				
				Q56.94	Q4.80	Q20.80	Q78.20	Q38.00	Q10.94	0	0	0	0	Q25.00	Q-			Q254.68
9	Repello	68	m2	10.56	0.9	0	0	0	0	0	0	0	15	0				
				Q385.44	Q54.00	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q75.00	Q-				Q514.44
10	Cernido vertical	68	m2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10	15	0			
				Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q-	Q80.00	Q167	Q75.00	Q-			Q322.50
																		Q3,852.00
M2 de construcción			41.86	m2	33.67	M2 DE CONSTRUCCIÓN										Q5,148.13	Q114.40	Q122.98

Tabla XIII. Cuantificación de materiales, pared de madera forro 1 cara

SISTEMA CONSTRUCTIVO PROPUESTO CON MADERAS NACIONALES
 CUANTIFICACIÓN DE MATERIALES Y PRECIOS UNITARIOS

PARED CON FORRO 1 CARA																
No.	REGLÓN	P.U. materiales	CANTIDAD										costo Total	costo Unitario		
			UNIDAD	q	m ³	m ³	m ³	q	q	q	q	pie			pie	Tabla
			Cañento	Araya no	Piedra	Hierro 3/8"	Hierro 1/4"	Alambre	lb	pie	Manchiche	St. Maria	Fornalata	Tornillo#8	Tornillo#10	Brocas
1	Cimiento corrido	13	ml	4.28	0.23	0.46	0.52	0.21	1.44	0	0	0	9	9	0	0
				Q.158.22	Q. 13.80	Q. 59.80	Q. 119.60	Q. 42.00	Q. 6.48	Q. -	Q. -	Q. -	Q. 45.00	Q. -	Q. -	Q. 442.90
2	Solera de humedad	12	ml	1.48	0.08	0.16	0.45	0.11	1.88	0	0	0	9	0	0	
				Q. 54.02	Q. 4.80	Q. 20.80	Q. 103.50	Q. 22.00	Q. 7.56	Q. -	Q. -	Q. -	Q. 45.00	Q. -	Q. -	Q. 257.68
3	Piso de concreto 0.07m	8.25	m ²	3.50	0.30	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
				Q.127.75	Q. 18.00	Q. 70.20	Q. -	Q. -	Q. -	Q. -	Q. -	Q. -	Q. -	Q. -	Q. -	Q. 215.95
3	Parales 3x3 Manchiche	104.00	pies	-	-	0	-	-	-	104.00	-	-	-	-	0	0
										Q. 936.00					Q. 936.00	
4	Tabla 1x6 Manchiche	200	pies	-	-	-	-	-	-	200	-	-	-	-	-	-
										Q. 2,000.00					Q. 2,000.00	
5	Parales 2x3 Santa Maria	247	pies	-	-	-	-	-	-	-	247	-	-	-	-	-
										Q. 2,223.00					Q. 2,223.00	
7	Mechiembre 1x6 Santa Maria	230	pies	-	-	-	-	-	-	-	230	-	-	-	-	-
										Q. 2,300.00					Q. 2,300.00	
8	Tornillos #6x2	8	cientos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	-
													Q. 72.00		Q. 72.00	
9	Tornillos #1x3	2	cientos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
													Q. 43.00		Q. 43.00	
10	Brocas	12	u	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-
														Q. 84.00	Q. 84.00	
															Q. 7,658.00	
															Q. 8,674.53	
															Q. 264.65	
															Q. 227.44	

Tabla XIV. Cuantificación de materiales, pared de madera forro 2 caras

SISTEMA CONSTRUCTIVO PROPUESTO CON MADERAS NACIONALES
 CUANTIFICACIÓN DE MATERIALES Y PRECIOS UNITARIOS

PARED CON FORRO 2 CARAS												costo							
No.	RENGLÓN	CANTIDAD	P U materiales	qq	m3	m3	qq	qq	lb	pe	pe	pie	Tabla Formalita	cientos Tomillo#8	cientos Tomillo#10	unidad Brocas	costo Total	costo Unitario	
			UNIDAD	Cemento	Arena r/o	Piedra	Hierro 3/8"	Hierro 1/2"	Alambre	Manchiche	Sa. Maria	Formalita	Formalita	Tomillo#8	Tomillo#10	Brocas			
1	Cimiento corrido	13	ml	4.28	0.23	0.46	0.52	0.21	1.44	0	0	9			0				
				Q. 156.22	Q. 13.80	Q. 59.80	Q. 119.60	Q. 42.00	Q. 6.48	Q.	Q.	Q. 45.00		Q.			Q. 442.90	Q. 34.07	
2	Solera de humedad	12	ml	1.48	0.08	0.16	0.46	0.11	1.68	0	0	9			0				
				Q. 54.02	Q. 4.80	Q. 20.80	Q. 103.50	Q. 22.00	Q. 7.56	Q.	Q.	Q. 45.00		Q.			Q. 257.68	Q. 21.47	
3	Piso de concreto 0.07m	8.25	m2	3.50	0.30	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
				Q. 127.75	Q. 18.00	Q. 70.20	Q.	Q.	Q.	Q.	Q.	Q.	Q.	Q.	Q.	Q.	Q.	Q. 215.95	Q. 26.18
3	Perales 3x3 Manchichite	104.00	pies			0				104.00					0				
										Q. 936.00							Q. 936.00	Q. 9.00	
4	Tabla 1x6 Manchichite	200	pies							200									
										Q. 2,000.00							Q. 2,000.00	Q. 10.00	
5	Parales 2x3 Santa Maria	247	pies								247								
										Q. 2,223.00							Q. 2,223.00	Q. 9.00	
7	Machihembre 1x6 Santa Maria	460	pies								460								
										Q. 4,600.00							Q. 4,600.00	Q. 10.00	
8	Tomillos #6x2	15	cientos										15						
													Q. 135.00				Q. 135.00	Q. 9.00	
9	Tomillos #10x3	2	cientos											2					
														Q. 43.00			Q. 43.00	Q. 21.50	
10	Brocas	12	u													12			
																Q. 84.00	Q. 7.00	Q. 10,021.00	

Q. 10,937.63 Q. 324.84

Metros cuadrados de construcción 33.07 m2

297.92

Tabla XV. Costo por m², pared de mampostería

COSTO POR METRO CUADRADO

MAMPOSTERÍA DE BLOCK REFORZADA

No	REGLÓN	Cantidad	Unidad	Precios unitarios		P.U. total	Costo total	Costo . Mano de obra
				Materiales	Mano de obra			
1	Trabajos preliminares							
	Limpieza	14	m2	-	10.00	10.00	140.00	140
	Trazo	13	ml	-	7.00	7.00	91.00	91
	Nivelación del terreno	14	m2	-	10.00	10.00	140.00	140
								0
2	Cimentación							0
	Excavación	3.74	m3	-	60.00	60.00	224.64	224.64
	Cimiento corrido	13	ml	48.29	35.00	83.29	1,082.77	455
	Levantado a solera de humedad	5.46	m2	114.40	70.00	184.40	1,006.82	382.2
	Solera de humedad	13	ml	32.80	15.00	47.80	621.40	195
								0
3	Piso de concreto 0.07m	8.64	m2	28.01	15.00	43.01	371.61	129.6
								0
4	Levantado de paredes	28.2	m2	114.40	70.00	184.40	5,200.08	1974

41.86 m2 Q 8,878.32 Q 3,731.44
 33.67 m2 Q 263.69 Q 110.82
 Metros de pared Q/m2

Tabla XVI. Costo por m², pared de madera forro 1 cara

COSTO POR METRO CUADRADO

SISTEMA CONSTRUCTIVO PROPUESTO CON MADERAS

No	REGLÓN	Cantidad	Unidad	Precios unitarios		Forro 1 Cara		Costo Mano de obra
				Materiales	Mano de obra	P.U. total	Costo total	
1	Trabajos preliminares							
	Limpieza	14	m2	-	10.00	10.00	140	140
	Trazo	13	ml	-	7.00	7.00	91	91
	Nivelación del terreno	14	m2	-	10.00	10.00	140	140
							0	0
2	Cimentación							
	Excavación	0	m3	-	60.00	60.00	0	0
	Cimiento corrido	13	ml	34.07	25.00	59.07	767.91	325
	Levantado a solera de humedad	0	m2	114.44	70.00	184.44	0	0
	Solera de humedad	12	ml	21.47	15.00	36.47	437.64	180
							0	0
3	Piso de concreto 0.07m	8.25	m2	26.18	15.00	41.18	339.74	123.75
								0
4	Levantado de paredes	27.42	m2	227.44	30.00	257.44	7,059.00	822.6

Metros de pared 33.67 m2 Q/m2 Q 266.57

Q 8,975.29 Q 1,822.35 20% 54.12

Tabla XVII. Costo por m², pared de madera forro 2 caras

COSTO POR METRO CUADRADO

SISTEMA CONSTRUCTIVO PROPUESTO CON MADERAS

No	RENGLÓN	Cantidad	Unidad	Precios unitarios			Forro 2 Caras		Costo Mano de obra
				Materiales	Mano de obra	P.U. total	Costo total		
1	Trabajos preliminares								
	Limpieza	14	m2	-	10.00	10.00		140	140
	Trazo	13	ml	-	7.00	7.00		91	91
	Nivelación del terreno	14	m2	-	10.00	10.00		140	140
						-		0	0
2	Cimentación					-		0	0
	Excavación	0	m3	-	60.00	60.00		0	0
	Cimiento corrido	13	ml	34.07	25.00	59.07	767.91	325	325
	Levantado a solera de humedad	0	m2	114.44	70.00	184.44	0	0	0
	Solera de humedad	12	ml	21.47	15.00	36.47	437.64	180	180
						-		0	0
3	Piso de concreto 0.07m	8.25	m2	26.18	15.00	41.18	339.74	123.75	123.75
						-		0	0
4	Levantado de paredes	27.42	m2	297.62	44.00	341.62	9,367.22	1206.48	1206.48
							Q 11,283.51	Q 2,206.23	
									20%
Metros de pared				33.67	m2		Q 335.12		65.53
							Q/m2		

ANEXOS

Tabla XVIII. Cobertura forestal 2001 por departamento

DEPARTAMENTO	BOSQUE	% Total	% Relativo
ALTA VERAPAZ	433,938.00	9.96	40.5
BAJA VERAPAZ	95,648.00	2.19	32.8
CHIMALTENANGO	75,563.00	1.73	40.5
CHIQUIMULA	27,774.00	0.64	11.5
EL PROGRESO	38,984.00	0.89	21.2
ESCUINTLA	32,408.00	0.74	7.2
GUATEMALA	71,724.00	1.65	32.7
HUEHUETENANGO	269,583.00	6.19	37.1
IZABAL	324,356.00	7.44	43.1
JALAPA	24,441.00	0.56	12.0
JUTIAPA	10,307.00	0.24	3.1
PETÉN	2,261,407.00	51.89	62.9
QUETZALTENANGO	63,375.00	1.45	29.7
QUICHÉ	257,914.00	5.92	35.4
RETALHULEU	17,613.00	0.40	10.4
SACATEPÉQUEZ	22,124.00	0.51	41.2
SAN MARCOS	108,603.00	2.49	30.6
SANTA ROSA	60,931.00	1.40	19.3
SOLOLÁ	40,726.00	0.93	39.1
SUCHITEPÉQUEZ	22,415.00	0.51	9.4
TOTONICAPÁN	33,058.00	0.76	30.7
ZACAPA	64,857.00	1.49	24.0
	4,357,749.00	100.00	

Tabla tomada de: www.inab.gob.gt

Tabla XIX. Arancel del Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC

Tecnología de materiales

1 Ensayos de postes a flexión, según norma ASTM D-1036		
a)	Postes de madera	Q500.00
b)	Postes de concreto	Q600.00
c)	Postes metálicos	Q500.00
2 Paneles livianos		
a)	A compresión, según norma ASTM E-72-80	Q400.00
b)	A flexión, según norma ASTM E-72-80	Q400.00
c)	A carga lateral (corte), según norma ASTM E-519-81	Q500.00
3 Muros pesados (mampostería, concreto)		
a)	A compresión, según norma ASTM E-447	Q500.00
b)	A flexión, según norma ASTM E-518	Q500.00
c)	A carga lateral (corte), según norma ASTM E-564-76	Q600.00
4 Inspecciones		
a)	Sin informe (2 horas máximo fuera CII)	Q400.00
b)	Con informe (2 horas máximo fuera CII)	Q700.00
5 Láminas		
	Ensayo a flexión (una separación)	Q300.00
6 Costaneras de lámina y joists		
	Ensayo a flexión (una separación)	Q300.00
7 Viguetas para losa		
	Ensayo a flexión (una separación)	Q400.00
8 Pruebas de carga		
a)	En losas, c/m ²	Q300.00
b)	En vigas, c/m ²	Q300.00
c)	En tarimas de madera hasta 2.00 m ²	Q300.00
	Mayores a consultar	Q300.00
		a
		Q600.00
9 Certificación de aptitud técnica para sistemas FHA-ACI		
a)	Constructivos	min. Q1,500.00
b)	Certificados de aptitud para procedimientos de ensayos, varía con el ensayo de	Q1,500.00
		a
		Q5,000.00
c)	Revisiones de memorias de cálculo de sistemas constructivos, varía con la extensión del documento	Q1,500.00
		Q1,700.00

Continúaí

10 Ensayos de anclaje

- | | |
|------------------|---------|
| a) Extracción | Q120.00 |
| b) Carga lateral | Q400.00 |

Pueden realizarse estudios de sistemas constructivos en cuanto a evaluación experimental, que será una combinación de varios de los ensayos anteriores, debe solicitarse por escrito.

11 Ensayos de prismas de mampostería

- | | |
|----------------------------------|---------|
| a) A compresión (incluye módulo) | Q350.00 |
| b) A corte | Q350.00 |
| c) A fricción y adherencia | Q350.00 |

12 Tubos de acero a compresión de 1.00 m largo máximo.

- | | |
|-------------------------------|---------|
| a) De diámetro hasta 2" | Q200.00 |
| b) De diámetro de 2" hasta 4" | Q300.00 |
| c) Mayores de 4" de diámetro | Q500.00 |

13 Tubos de acero a flexión, una separación

- | | |
|-------------------------------|---------|
| a) De diámetro hasta 2" | Q250.00 |
| b) De diámetro de 2" hasta 4" | Q300.00 |
| c) Mayores de 4" de diámetro | Q500.00 |

Todos los ensayos anteriores son por pieza o unidad; para cantidades de tres o más podrá considerarse una rebaja de un 20% máximo.

Todas las piezas serán preparadas y llevadas al laboratorio o elaboradas en el mismo donde se indique por el interesado; podrán prepararse por personal de laboratorio, para lo cual el interesado proporcionará todos los materiales y detalles de cómo de ser, cuyo costo quedará a convenir por escrito.

Tabla XX. Factores para prestación de servicios

Interesados	Factor
a) Estudiantes de la Facultad de Ingeniería de la universidad de San Carlos de Guatemala	0.00
b) Estudiantes de otras Facultades de la universidad de San Carlos de Guatemala	0.25
c) Otras facultades o instituciones de la universidad de San Carlos de Guatemala	0.25
d) Comités de comunidades de escasos recursos económicos	0.50
e) Asociaciones de comunidades establecidas jurídicamente	0.70
f) Estudiantes de otras universidades	0.85
g) Municipalidades	0.85
h) Organizaciones no gubernamentales (ONGs)	0.85
i) Organizaciones del sector público	0.85
j) Organizaciones del sector privado y personas individuales	1.00