

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ADAPTACIÓN DE CRITERIOS PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE MADERA EN VENEZUELA.

Presentado ante la ilustre:

Universidad Central de Venezuela

Por el Br:

Hecmy Parra

Para optar al título de:

Ingeniero Civil

Caracas, 2012

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ADAPTACIÓN DE CRITERIOS PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE MADERA EN VENEZUELA.

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Ing. José Manuel Velásquez

Presentado ante la ilustre:

Universidad Central de Venezuela

Por el Br:

Hecmy Parra

Para optar al título de:

Ingeniero Civil

Caracas, 2012

ACTA

El día 09 de noviembre de 2012 se reunió el jurado formado por los profesores:

José Manuel Velásquez.

Antonio Guell.

Angelo Marinilli.

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado **“ADAPTACIÓN DE CRITERIOS PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE MADERA EN VENEZUELA”** Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar por el Título de **INGENIERO CIVIL.**

Una vez oída la defensa oral que el bachiller hizo de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Números	Letras
Br. Hecmy Manuel Parra Garofalo	19	Diecinueve

Recomendaciones:

FIRMAS DEL JURADO



Caracas, 09 de noviembre de 2012

DEDICATORIA

A nuestro Dios,

Jehová.

"Por esto, sea que estén comiendo, o bebiendo, o haciendo cualquier otra cosa, hagan todas las cosas para la gloria de Dios".

(1 Corintios 10:31)

A mis padres,

Fajaira y Hector.

A mi abuela,

Parmen Aurora.

A toda mi familia

AGRADECIMIENTOS

Primero, gracias a mi Dios Jehová por darme la vida y su fuerza divina para poder cumplir esta meta sin olvidar que todo lo debemos a Él. También por todas las bendiciones que me ha dado a lo largo de mi vida, entre ellas mi familia entera y el suplemento espiritual que me ha dado.

A mi madre y a mi padre, los mejores que pueden existir, por siempre estar ahí pendiente de todo lo que me afecta, cumpliendo con todas mis necesidades emocionales y físicas y por inculcarme aprecio hacia los estudios ya que sin ella mi historia fuese otra.

A mi abuela, por siempre atenta a todo en lo que podía colaborar y que gracias a su apoyo pude culminar mi carrera con la menor afectación posible.

A mi novia y amiga incondicional, Claudia Linares, sin ella tampoco hubiese podido culminar esta meta.

A mis instructores de cátedra, cuyo conocimiento lo transmitieron con sinceridad y ganas de verme mejorar, el cual agradezco.

A mis compañeros de estudio, que en muchas ocasiones estaban ahí para cualquier ayuda y en otras tantas sirvieron hasta de profesores. Entre ellos: Sandra Carneiro, Fathima Perales, Oliver Nieves, Dervis Pacheco, y muchos otros.

Y a todas las demás personas que de alguna manera u otra contribuyeron a que esta meta se culminara de la mejor manera.

Parra G. Hecmy M.
**ADAPTACIÓN DE CRITERIOS PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO DE
ESTRUCTURAS DE MADERA EN VENEZUELA.**

Tutor Académico: Prof. José Manuel Velásquez.

Trabajo Especial de Grado. Ciudad, U.C.V. Facultad de Ingeniería.

Escuela de Ingeniería Civil. 2012, 194 páginas.

Palabras clave: estructuras de madera, diseño en madera, criterios para la construcción en madera, normas para la construcción en madera, conexiones de madera.

RESUMEN

El presente proyecto plantea la recopilación y adaptación de criterios de análisis y diseño de estructuras hechas en madera para el caso particular de Venezuela. Debido al poco avance en la materia es necesaria la recopilación de información ya existente tanto nacional como internacional de normas, manuales, criterios, etc. Las normas extranjeras serán estudiadas para adaptarlas a las características y propiedades de la madera en Venezuela. Las estructuras a analizar mediante métodos de análisis estructurales, van desde casos simples como techos a edificaciones unifamiliares y el estudio de las conexiones que son un elemento vital en el comportamiento seguro de la estructura. Algunos esfuerzos realizados en el pasado por el Laboratorio Nacional de Productores Forestales (LNPF) y a nivel local con otros países vecinos han generado algún material de apoyo que servirá de base para la investigación. El país posee considerables recursos forestales que están sin ningún aprovechamiento a pesar de que el déficit de viviendas es grande y desviar esfuerzos hacia este campo redundaría en mejoramientos en cuanto a rendimiento y economía. Se espera la elaboración de criterios actuales que sean de utilidad a la industria de la construcción en Venezuela.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 El problema de la investigación	3
1.2 Objetivos de la Investigación	4
1.3 Justificación de la Investigación	5
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1 Introducción	6
2.2 Estructura de la madera	7
2.2.1 El árbol	7
2.2.2 Estructura anatómica	8
2.2.3 Composición química de la madera	10
2.2.4 Propiedades básicas	10
2.3 La edificación de madera y sus componentes	12
2.4 Sistemas estructurales	12
2.4.1 Uniones estructurales	12
2.4.2 Sistema entramado	18
2.4.3 Sistema poste y viga	21
2.4.4 Sistemas de armaduras	23
CAPÍTULO III	26
MARCO METODOLÓGICO	26
3.1 Recurso Forestal	26
3.2 Características físicas de la madera	26
3.2.1 Contenido de humedad	26
3.2.2 Densidad y peso específico	28
3.2.3 Conductividad térmica	30
3.2.4 Conductividad eléctrica	32

3.3 Propiedades resistentes de la madera	32
3.3.1 Resistencia a la compresión paralela	33
3.3.2 Resistencia a la compresión perpendicular	34
3.3.3 Resistencia a la tracción	34
3.3.4 Resistencia al corte.....	36
3.3.5 Resistencia a la flexión paralela al grano	37
3.4 Propiedades elásticas de la madera	40
3.4.1 Módulo de elasticidad (E)	41
3.4.2 Módulo de corte o rigidez (G).....	41
3.4.3 Módulo de Poissón	41
3.5 Factores que afectan el comportamiento de la madera.....	42
3.6 Secado de la madera.	43
3.7 Tratamiento de la madera.....	43
3.8 La madera como material de construcción	44
3.8.1 Comercialización de la madera.....	44
3.8.2 Escuadrías y secciones preferenciales PADT-REFORT	44
2.8.3 Dimensiones comerciales y dimensiones reales	46
3.8.4 Madera de construcción no estructural	48
3.8.5 Madera de construcción estructural	48
3.9 El caso del Pino Caribe.....	54
3.9.1 Características	57
3.9.2 Propiedades físicas	57
3.9.3 Propiedades mecánicas	58
3.10 Análisis y diseño estructural	58
3.10.1 Métodos de análisis.....	58
3.10.2 Métodos de diseño	59
3.10.3 Cargas	60
3.10.4 Protección contra los sismos	60
3.11 Uniones o conexiones	61
3.11.1 Clasificación.....	62
3.11.2 Uniones clavadas	63
3.11.3 Uniones empernadas.....	76

3.12 Comentarios de la norma chilena NCh.1198-2006	84
3.13 Comentarios del Euro-Código 5-1995-1997	85
CAPÍTULO IV	86
RESULTADOS Y ANÁLISIS	86
CAPÍTULO V	88
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
Conclusiones.....	88
Recomendaciones	88
ANEXO 1	90
EUROCODIGO 5	90
ANEXO 2	105
Norma Chilena NCh-1198-2006	105
ANEXO 3. Madera Laminada	171
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	179

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Edificio de departamentos multifamiliar de cuatro pisos estructurado en madera en 1998, Calgary, Alberta, Canadá (Tomado de CORMA, s.f.).	7
Figura 2. 2 Secciones de un árbol (Adaptado de CORMA, s.f.).	7
Figura 2. 3 Partes del tronco (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).	9
Figura 2. 4 Ejes de una pieza de madera (Adaptado de CORMA, s.f.).	11
Figura 2. 5 La edificación de madera y sus componentes (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).	13
Figura 2. 6 Encuentro entre elementos de madera (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).	14
Figura 2. 7 Necesidad de unir dos vigas en un apoyo (Tomado de CORMA, s.f.).	15
Figura 2. 8 Necesidad de unir un tabique interior con uno perimetral, se combinan clavos en la solera de amarre y pernos en la unión de los pie derechos (Tomado de CORMA, s.f.)	15
Figura 2. 9 Unión de vigas solucionado mediante colgadores metálicos (Tomado de CORMA, s.f.)	15
Figura 2. 10 Elementos de unión (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984)	16
Figura 2. 11 Unión de piezas mediante clavos, en tabiques, (A) pie derecho inicial y (B) pie derecho intermedio (Tomado de CORMA, s.f.)	16
Figura 2. 12 Uniones clavadas más comunes (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).	17
Figura 2. 13 Sistema entramado plataforma (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).	19
Figura 2. 14 Ubicación de los tabiques sobre la plataforma (Tomado de CORMA, s.f.)	19
Figura 2. 15 Entramado horizontal (Tomado de CORMA, s.f.).	20
Figura 2. 16 Sistema entramado global o integral (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).	21
Figura 2. 17 Sistema poste y viga (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984)	22
Figura 2. 18 Sistema poste y viga (Tomado de CORMA, s.f.)	22
Figura 2. 19 Sistema poste y viga. Monasterio Cisterciense Mariakloster (Tomado de Linz, 2009).	23
Figura 2. 20 Sistema de armaduras (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).	25
Figura 3. 1 Punto de Saturación de la Fibra, PSF (Tomado de CORMA, s.f.).	27
Figura 3. 2 Madera sobre el PSF. Presencia de agua libre y agua ligada (Tomado de CORMA, s.f.).	28
Figura 3. 3 Curvas de humedad de equilibrio de la madera (Adaptado de CORMA, s.f.).	29
Figura 3. 4 Conductividad térmica de la madera (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1980).	32

Figura 3. 5 Esquema de ensayo de compresión paralela (Tomado de CORMA, s.f.).....	33
Figura 3. 6 Esquema de ensayo de compresión perpendicular (Tomado de CORMA, s.f.)	34
Figura 3. 7 Esquema de ensayo de tracción paralela a las fibras (Tomado de CORMA, s.f.)	35
Figura 3. 8 Esquema de tracción normal a las fibras (Tomado de CORMA, s.f.)	35
Figura 3. 9 Esquema de tracción normal radial a las fibras (Tomado de CORMA, s.f.)	35
Figura 3. 10 Curvas esfuerzo-deformación para maderas latifoliadas (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984)	36
Figura 3. 11 Esfuerzo de Corte (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1980).....	37
Figura 3. 12 Esquema de ensayo de corte longitudinal (Tomado de CORMA, s.f.).....	37
Figura 3. 13 Esquema de ensayo de flexión estática (Tomado de CORMA, s.f.).....	38
Figura 3. 14 Curva típica caga – deflexión para flexión (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).....	39
Figura 3. 15 Unidades para comercializar madera (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).....	45
Figura 3. 16 Dimensiones comerciales y reales de la escuadría (sección transversal) (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).	47
Figura 3. 17 Madera de construcción no estructural (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).....	49
Figura 3. 18 Madera de construcción estructural (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).....	50
Figura 3. 19 Defectos tomados en cuenta para la clasificación de la madera (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1980).....	51
Figura 3. 20 Ubicación geográfica de las plantaciones de Pino Caribe (Tomado de Molina, 2006).....	54
Figura 3. 21 Plantación de Pino Caribe (Tomado de Molina, 2006).....	55
Figura 3. 22 Ejemplo de estructuras hechas con madera (Tomado de Molina, 2006)	56
Figura 3. 23 Ejemplo de estructuras hechas con Pino Caribe (Tomado de Molina, 2006) .	56
Figura 3. 24 Unión clavada sometida a cizallamiento simple (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).	65
Figura 3. 25 Espesores mínimos y penetración de clavos sometidos a cizallamiento simple (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).	68
Figura 3. 26 Ubicación de clavos lanceros (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).....	68
Figura 3. 27 Espesores mínimos y penetración de clavos sometidos a cizallamiento doble (Adaptado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).	69
Figura 3. 28 Clavo sometido a fuerzas de extracción (Tomado de Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias y Tecnología).	72
Figura 3. 29 Unión empernada a doble cizallamiento. Cargas paralelas al grano en todos los elementos (Tomado de Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias y Tecnología).....	79

Figura 3. 30 Unión empernada a doble cizallamiento (Tomado de Universidad Mayor de San Simon. Facultad de Ciencias y Tecnología).	79
Figura 3. 31 Uniones empernadas, cargas inclinadas con relación al grano (Tomado de Universidad Mayor de San Simon. Facultad de Ciencias y Tecnología).	80
Figura 3. 32 Unión empernada con pletinas metálicas (Tomado de Universidad Mayor de San Simon. Facultad de Ciencias y Tecnología).	81
Figura 3. 34 Unión empernada sometida a cizallamiento múltiple (Tomado de Universidad Mayor de San Simon. Facultad de Ciencias y Tecnología).	82
Figura 3. 35 Espaciamientos mínimos entre pernos, cargas paralelas al grano (Tomado de Universidad Mayor de San Simon. Facultad de Ciencias y Tecnología).	83
Figura 3. 36 Espaciamiento mínimo entre pernos, cargas perpendiculares al grano (Tomado de Universidad Mayor de San Simon. Facultad de Ciencias y Tecnología).	83

Figura A.3. 1 Centro de información del Zoo y del castillo Raesfeld (Tomado de Linz, 2009).....	171
Figura A.3. 2 Torre de vigilancia Kupla (Tomado de Linz, 2009)	172
Figura A.3. 3 Tejado de Expo Hannover 2000 (Tomado de Linz, 2009).....	173
Figura A.3. 4 Casa <am Hochgericht>. Alemania (Tomado de Linz, 2009)	174
Figura A.3. 5 Mirador (Tomado de Linz, 2009).....	175
Figura A.3. 6 Mirador (Tomado de Linz, 2009).....	175
Figura A.3. 7 Sala de conciertos (Tomado de Linz, 2009).....	176
Figura A.3. 8 Sala de conciertos (Tomado de Linz, 2009).....	177
Figura A.3. 9 Edificio Savill. Reino Unido (Tomado de McLeod, 2010).....	178

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Composición química de la madera (Elaboración propia. Datos tomados de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).....	10
Tabla 2. 2 Componentes de la madera (Elaboración propia. Datos tomados de Junta del Acuerdo de Cartagena,1984).....	10
Tabla 3. 1 Tipos de densidad en una muestra de madera (Elaboración propia. Datos extraídos de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).	30
Tabla 3. 2 Densidad básica de especies de Venezuela estudiadas en el PADT-REFORT (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena,1984).	31
Tabla 3. 3 Esfuerzos admisibles y módulo de elasticidad para las maderas del grupo andino (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).	39
Tabla 3. 4 Coeficientes de trabajo de las maderas (Adaptado de Estructuras de madera (M.O.P. 1955)).....	40
Tabla 3. 5 Valores experimentales para la fórmula de Hankinson (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).	42
Tabla 3. 6 Secciones preferenciales PADT-REFORT (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena,1984).....	46
Tabla 3. 7 Dimensiones reales y equivalentes comerciales (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena,1984).....	47
Tabla 3. 8 Grupos de especies estudiadas en el PADT-REFORT para madera estructural de Venezuela (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena,1984).	52
Tabla 3. 9 Clasificación de las especies de madera (Adaptado de Estructuras de madera (M.O.P. 1955)).....	53
Tabla 3. 10 Propiedades físicas del Pino Caribe (Tomado de Molina, 2006).	57
Tabla 3. 11 Propiedades mecánicas del Pino Caribe (Tomado de Molina, 2006).....	58
Tabla 3. 12 Carga admisible por clavo- simple cizallamiento (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).	66
Tabla 3. 13 Factores modificadorios de las cargas admisibles para uniones clavadas (Adaptado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).	67
Tabla 3. 14 Espaciamiento mínimo para cizallamiento simple o cizallamiento doble clavado de un solo lado (Adaptado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).	70
Tabla 3. 15 espaciamento mínimo para simple cizallamiento con pre-taladrado o doble cizallamiento simétrico (Adaptado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).....	71
Tabla 3. 16 Carga admisible de extracción (Kg) (Tomado de Universidad Mayor de San Simon. Facultad de Ciencias y Tecnología).	72
Tabla 3. 17 Factores modificadorios de las cargas admisibles para uniones clavadas sometidas a extracción (Tomado de Universidad Mayor de San Simon. Facultad de Ciencias y Tecnología).	73

Tabla 3. 18 Cargas admisibles para uniones apernadas-doble cizallamiento (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).....	78
Tabla 3. 19 Espaciamientos mínimos para pernos (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).....	84

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo especial de grado contempla la adaptación de criterios para el análisis y diseño de estructuras de madera, mediante la recopilación de información necesaria, para poder obtener una visión más actual de lo que debe considerarse a la hora de utilizar la madera, como las normas nacionales y extranjeras, y cualquier información que tenga validez académica, considerando los diferentes tipos de estructuras y algunas variantes novedosas que expanden el espectro de aplicación de la madera como elemento estructural.

Para el desarrollo de esta investigación se han dispuesto de cinco capítulos. En el Capítulo I se plantea el problema que dio raíz a la investigación, se fijan los objetivos a cumplir para llegar al resultado del objetivo macro y, por último se enuncian el porqué de la investigación, es decir, lo que justifica invertir esfuerzos en este proyecto, así como también los aportes que brindará la investigación personalmente, para la comunidad, la universidad y la industria de la construcción.

El segundo capítulo contiene el marco teórico, en él se contempla la parte conceptual del trabajo, como la estructura de la madera, sus características y propiedades básicas que la hacen un material comercial, así como la descripción de los sistemas estructurales más usados que serán de interés a la hora de definir cuál es el sistema más apto para cada construcción, y como complemento algunas imágenes de interés que permiten entender mejor los componentes de este material en la edificación.

A continuación, se presenta el capítulo III con el marco metodológico, en este se describe paso a paso el procedimiento seguido para llevar a cabo la investigación, material bibliográfico recolectado, definición de propiedades físico-mecánicas imprescindibles para conocer un material desde el punto de vista estructural, el desempeño de la madera en el área comercial y todo lo que hizo falta para cumplir uno a uno los objetivos del proyecto.

En el cuarto capítulo se muestran los resultados obtenidos, se analizan en respuesta a los objetivos específicos establecidos, a partir de la información recolectada y su aplicación al caso de la madera en Venezuela.

El quinto y último capítulo contiene las conclusiones forjadas en base a los resultados obtenidos y se hacen recomendaciones generales, que sirvan para que investigaciones futuras, relacionadas con el tema de la madera como elemento estructural, sean más eficientes y aumenten el conocimiento en esta rama que esta tan olvidada.

Finalmente se presentan una serie de anexos en los que se muestran extractos de las normas usadas para el tema de conexiones, además de algunas imágenes que quieren transmitir lo que se puede lograr con maderas manipuladas en el mundo de las estructuras, material que complementa la investigación y contribuye a un mayor interés para futuras investigaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 El problema de la investigación

A través de la historia Venezuela se ha caracterizado por ser un país rico en recursos forestales y en el pasado su adelanto en materia del uso de la madera como elemento estructural ha sido manifiesto. Prueba de ello es el papel que ha jugado el Laboratorio Nacional de Productores Forestales (LNPF) que tuvo un rol protagónico en el sector forestal latinoamericano hasta mediados de la década de los ochenta del siglo pasado, llegando a ser el más importante centro de investigación en el área de la tecnología de la madera y el único instituto en el país dedicado a la investigación en el campo de la ciencia y tecnología de los productos forestales (Barrios, Contreras, y Sosa, 2010); conjuntamente con la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de los Andes (ULA) realizó proyectos de construcción de viviendas en madera, como el proyecto que el LNPF presentó ante el Ministerio de Obras Públicas y el Banco Obrero en 1966 titulado “Estudios de elementos prefabricados a base de pajilla de madera y cemento para edificaciones de interés social”.

Debido a la fuerte cultura constructiva del país cuya preferencia ha sido por los materiales llamados duros o tradicionales como el concreto y el acero, sumado a problemas económicos que presentó el LNPF, ya que luego de haber comenzado varios proyectos se vieron en la necesidad de recibir más inyección de dinero de parte del gobierno, cosa que no se materializó y es por esto que sus esfuerzos se ven desvanecidos. Prueba de ello es que como ya se mencionó la cultura maderera en la actualidad es muy escasa o prácticamente desapareció (Barrios, Contreras, y Sosa, 2010). No es hasta 1984 cuando Venezuela en conjunto con otros países mediante la Junta del Acuerdo de Cartagena publica un libro llamado “Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino” cuyo contenido abarca diferentes tópicos referentes a la madera, sus características y propiedades, protección, empleo como material de construcción, diseño estructural, etc.

Sin embargo, el material teórico actual disponible para el análisis, diseño y detallado de la madera como elemento estructural y sus métodos de construcción es poco; así como la consideración del análisis sísmico que no está incluido en ninguna norma del

país, ni ningún texto que haga referencia al caso venezolano. Todo esto junto con el bloqueo cultural ha llevado al país a un estancamiento en materia maderera originando así un desconocimiento de la variedad de usos de este material pudiendo ser una alternativa constructiva para el problema actual de la vivienda en el país.

Con base a lo anteriormente expuesto en este proyecto se plantea la adaptación de criterios, para el análisis y diseño de estructuras de madera considerando del factor sismo, basados en las normas nacionales y extranjeras (como el Euro – Código 5), aplicado al caso particular de la madera presente en el país.

1.2 Objetivos de la Investigación

Objetivo General:

- Adaptar criterios para el análisis y diseño de estructuras de madera en Venezuela.

Objetivos Específicos:

- Revisar material bibliográfico como normas nacionales y extranjeras que tratan el tema de la madera como elemento estructural.
- Determinar la vigencia y veracidad de estas normas y en el caso las extranjeras si es posible adaptarlas a la madera en Venezuela.
- Ubicar las zonas forestales de interés en el país que pudieran ser usadas para la madera como elemento estructural.
- Definir las características y propiedades de la madera para uso estructural así como su tratamiento y protección.
- Definir los métodos de análisis y diseño estructural de la madera.
- Estudiar las conexiones entre los elementos estructurales de madera.
- Ejemplificar algunos tipos de conexiones.

1.3 Justificación de la Investigación

Basado en el escaso avance que ha tenido la madera como elemento estructural en Venezuela en el intervalo de las últimas tres (3) décadas, el presente proyecto puede plantear el uso de la madera como un material constructivo alternativo, el cual ha sido abandonado debido a la poca cultura en cuanto al tema y a la falta de material técnico informativo como normas, manuales, libros y cualquier apoyo que le sirva al ingeniero civil para analizar y diseñar una estructura segura y de calidad. Se estudiarán criterios de normas extranjeras en cuanto al análisis y diseño estructural incluido el análisis sísmico para adaptarlos dentro de ciertos límites al país, aportando sin duda una herramienta para un diseño más confiable. Esto va de la mano con una metodología constructiva y de mantenimiento que es vital para la construcción en madera y este proyecto deja caminos abiertos para seguir desarrollando estos temas a futuro.

La utilización de métodos constructivos específicos es muy importante dependiendo del tipo de estructura que se quiera construir y es por ello que se requiere estudiar cómo hacer el análisis y diseño desde un simple techo hasta una vivienda en madera. El déficit de vivienda es un tema importante en Venezuela y las estructuras en madera plantean una alternativa constructiva muy viable ya que se tiene la materia prima y el proceso constructivo no es complicado, aparte que desde un punto de vista ecológico la madera es un recurso natural renovable, tomando en cuenta claro está que garantizar su existencia en el tiempo es un proceso que lleva años, a diferencia de la materia prima para la producción del acero y el concreto que no es renovable.

Además de lo ya mencionado, está el tema de rendimiento y el factor del dinero, ya que una vivienda de madera podría ser más económica que una construida con los materiales tradicionales y estar disponible para su habitabilidad en mucho menos tiempo que la tradicional, representando una posible solución de parte del problema de vivienda en el país. Muchos países vecinos han avanzado mucho en estructuras de madera, por lo que es inconcebible que Venezuela, teniendo el recurso forestal y pudiendo fortalecer la base teórica, esté atrasada en este tema con respecto a otros países. En tal sentido el presente proyecto puede dejar puertas abiertas para futuras investigaciones en tan importante tema.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

La madera, es el material por excelencia más noble que jamás la especie humana ha utilizado tanto en la industria como en la construcción. Prácticamente todas las culturas de la humanidad han empleado la madera en la agricultura, pesca, ingeniería, vivienda, etc. La madera es probablemente el único recurso renovable que se utiliza a gran escala y que su aprovechamiento no daña al medio ambiente. La madera no puede circunscribirse a un período más o menos largo de la humanidad, ya que es un material que de forma permanente se ha utilizado en la construcción, estando presente a lo largo de toda la historia de la civilización. Así, en las zonas de abundantes bosques la madera constituía la totalidad de la edificación, desde su estructura, hasta los cerramientos y cubierta. En zonas con menor cantidad de madera, ésta se usaba en la cubierta y en su estructura horizontal (Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias y Tecnología).

Para entender la naturaleza de la madera es realmente importante tener presente que la madera proviene de árboles y que por ende su compleja estructura natural atiende a servir las necesidades funcionales de un árbol y no a las de una persona; de ahí que sus cualidades o defectos pueden determinarse a partir de su árbol de origen. Por tanto si lo que se plantea es el buen uso estructural de la madera, es necesario tener un conocimiento de su naturaleza, características y comportamiento. De ahí radica la gran importancia de existencia de información adecuada y estructurada a los requerimientos actuales, para que los profesionales encargados del diseño, cálculo y ejecución de las construcciones en madera puedan realizar una eficiente gestión y uso correcto del material, con la finalidad de cumplir altos estándares de calidad y bienestar sin dejar a un lado la accesibilidad económica para las personas en el tema de la vivienda (CORMA, s.f.).

A través de la historia la madera ha sido uno de los materiales más utilizados por el hombre. Hoy día, en la mayoría de los países desarrollados su uso como material estructural ha superado el 90% de la construcción habitacional de 1 a 4 pisos (CORMA, s.f.).



Figura 2. 1 Edificio de departamentos multifamiliar de cuatro pisos estructurado en madera en 1998, Calgary, Alberta, Canadá (Tomado de CORMA, s.f.).

2.2 Estructura de la madera

2.2.1 El árbol

Está compuesto por tronco, copa y raíces. La parte del tronco es la que nos interesa ya que de él se obtiene materia prima para la producción de madera aserrada, perfiles y tableros contrachapados (CORMA, s.f.).

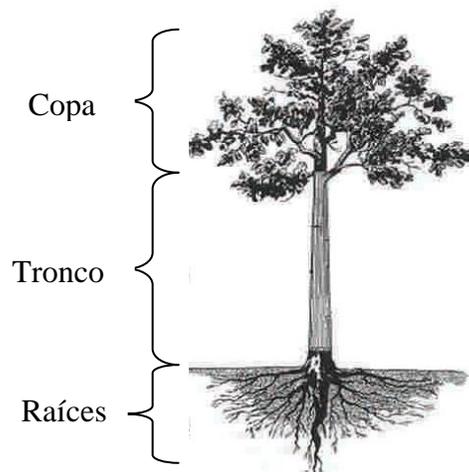


Figura 2. 2 Secciones de un árbol (Adaptado de CORMA, s.f.).

Al hacer un corte transversal del tronco y analizar desde el exterior hacia el interior se distinguen zonas claramente diferenciadas que cumplen cada una de ellas funciones específicas. La corteza está formada por materia muerta y se divide en dos: corteza exterior (Fig. 2.3.a), que es la cubierta que protege al árbol de agentes atmosféricos, en especial la insolación, y biológicos; está formada de un tejido llamada floema que al morir forma ésta cubierta; y corteza interior (Fig. 2.3.b), está constituida por un tejido floemático vivo conocido como líber, y su función es conducir el alimento elaborado en las hojas hacia las ramas, troncos y raíces. El Cambium (Fig. 2.3.c) es el tejido generador de células, es decir, donde se produce el crecimiento del árbol. Hacia el interior forma el xilema y hacia el exterior, forma el floema. La madera o xilema (Fig. 2.3.d), es la parte maderable del tronco y se pueden distinguir en ella la albura, el duramen y la médula. La albura (Fig. 2.3.e), es la parte activa ubicada hacia el exterior y cuya función principal es conducir el agua y las sales minerales de las raíces a las hojas; el duramen (Fig. 2.3.f), es la parte inactiva y tiene como función proporcionar resistencia para el soporte del árbol; y la médula (Fig. 2.3.g), es un tejido inactivo que se encuentra en el centro del árbol y no tiene una función en específico (CORMA, s.f.) (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

2.2.2 Estructura anatómica

La parte maderable del árbol tiene tres funciones que son: conducción de agua, almacenamiento de sustancias de reserva y resistencia mecánica. Para cumplir con estas funciones la madera utiliza tres tipos de tejido respectivamente y según el grado de apreciación visual de los mismos podemos diferenciar la estructura anatómica en 3 niveles: macroscópico, microscópico y submicroscópico (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

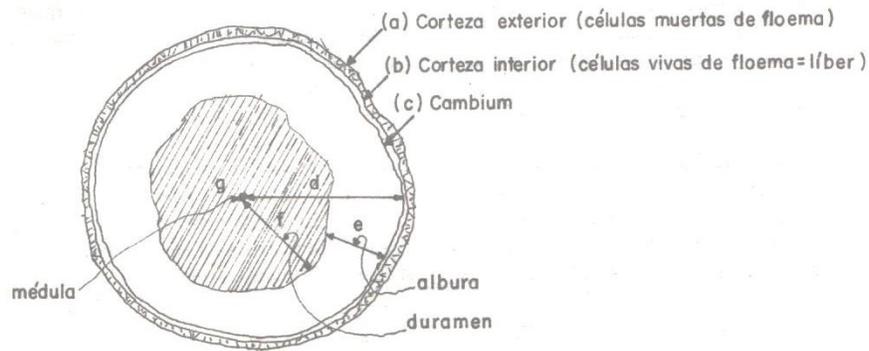
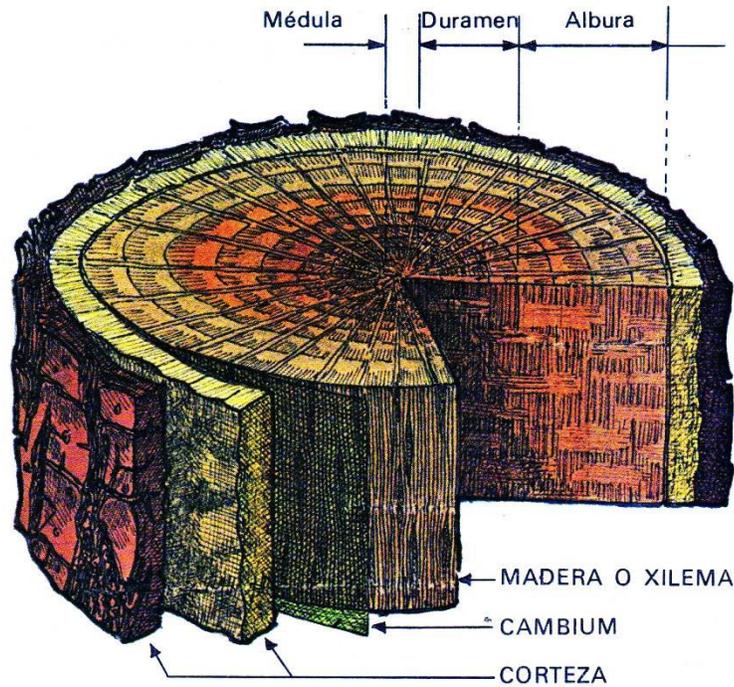


Figura 2. 3 Partes del tronco (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

En su estructura microscópica o celular se consideran las características de los diferentes tipos de células que forman los tejidos de la madera y se clasifican en dos especies: maderas latifoliadas y maderas coníferas. Las maderas latifoliadas provienen del grupo de angiospermas y tienen una estructura anatómica heterogénea constituida esencialmente por vasos, los cuales realizan la función conductora de agua y sales minerales, y por fibras que son el sostén del árbol. Las maderas coníferas tienen una estructura anatómica homogénea y está constituida por elementos leñosos llamados traqueidas, los cuales forman del 80 al 90 por ciento del volumen total de la madera y tiene

una doble función de resistencia del árbol y conducción de savia (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

2.2.3 Composición química de la madera

La madera está constituida por los siguientes elementos:

Tabla 2. 1 Composición química de la madera (Elaboración propia. Datos tomados de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Elemento	Porcentaje (%)
Carbono (C)	49
Hidrógeno (H)	6
Oxígeno (O)	44
Nitrógeno (N) y minerales	1

La combinación de estos elementos forma los siguientes componentes de la madera:

Tabla 2. 2 Componentes de la madera (Elaboración propia. Datos tomados de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Celulosa	40 – 60 %
Hemicelulosa	5 – 25 %
Lignina	20 – 40 %

2.2.4 Propiedades básicas

La madera puede ser considerada como un material biológico, anisotrópico e higroscópico; por tanto es importante explicar cada una de estas características. Es un material biológico porque que está compuesto principalmente por moléculas de celulosa y lignina. Según sea el plano o dirección que se considere respecto a la dirección longitudinal de sus fibras y anillos de crecimiento, el comportamiento tanto físico como mecánico del

material, presenta resultados dispares y diferenciados. Para tener una idea, la madera resiste entre 20 y 200 veces más en el sentido del eje del árbol, que en el sentido transversal. En base a este comportamiento estructural tan desigual, es necesario establecer ejes. El eje tangencial, como su nombre lo indica, es tangente a los anillos de crecimiento y perpendicular al eje longitudinal de la pieza. El eje radial es perpendicular a los anillos de crecimiento y al eje longitudinal. El eje longitudinal es paralelo a la dirección de las fibras y por ende, al eje longitudinal del tronco (figura 2.4). Forma una perpendicular respecto al plano formado por los ejes tangencial y radial. La madera es un material higroscópico ya que tiene la capacidad de captar y ceder humedad en su medio, proceso que depende de la temperatura y humedad relativa del ambiente. Este comportamiento es el que determina y provoca cambios dimensionales y deformaciones en la madera. (CORMA, s.f.).

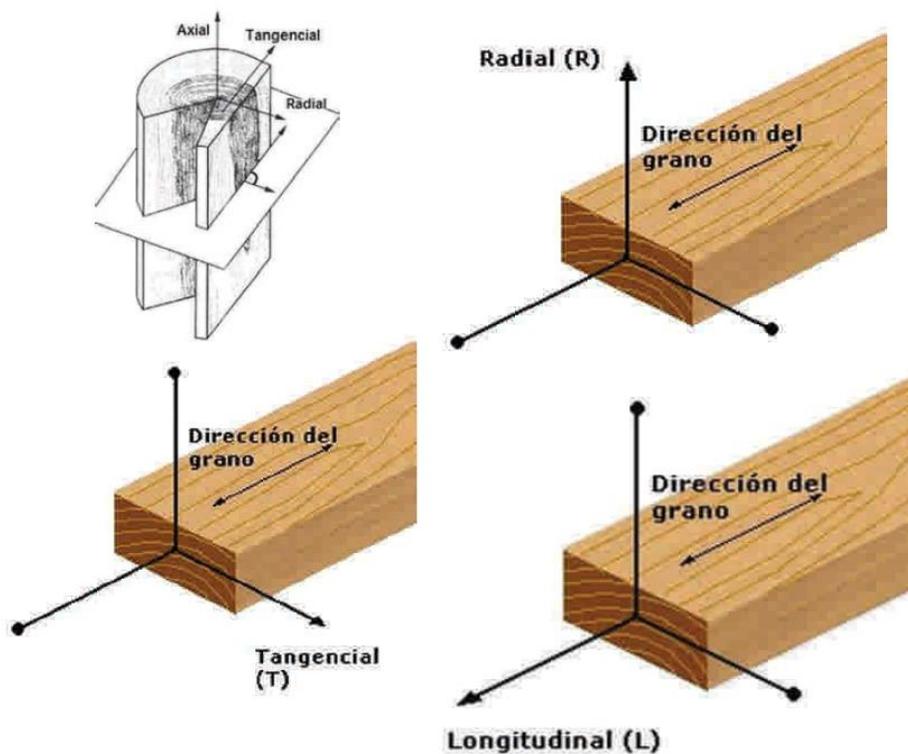


Figura 2. 4 Ejes de una pieza de madera (Adaptado de CORMA, s.f.).

2.3 La edificación de madera y sus componentes

La madera en la edificación es utilizada tanto para la estructura como para el revestimiento. Por su condición de material orgánico, en ciertos usos donde requiera ser especialmente protegida, como cimientos por ejemplo, puede ser reemplazada por otros materiales. De esta forma la madera se combina con otros materiales en la fabricación y complementación de los distintos componentes de la edificación (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

La figura 2.5 presenta una perspectiva isométrica de una vivienda de madera sin terminar, que muestra dos sistemas de techo e incluye la terminología de los elementos que la componen.

2.4 Sistemas estructurales

2.4.1 Uniones estructurales

Las piezas aserradas en las dimensiones requeridas, son unidas entre sí para formar componentes. La unión permite la continuidad constructiva y transmite las fuerzas que actúan entre los elementos, debiendo estas piezas permanecer fijas para conservar la forma original del conjunto (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Por medio de las uniones se pueden obtener elementos de cualquier longitud, traslapando sucesivamente las piezas, o también de cualquier ancho mediante la adición de piezas paralelas. Ambos recursos son muy ventajosos ya que al trabajar con piezas pequeñas el desperdicio es menor y su manipulación así como su fijación más simples (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

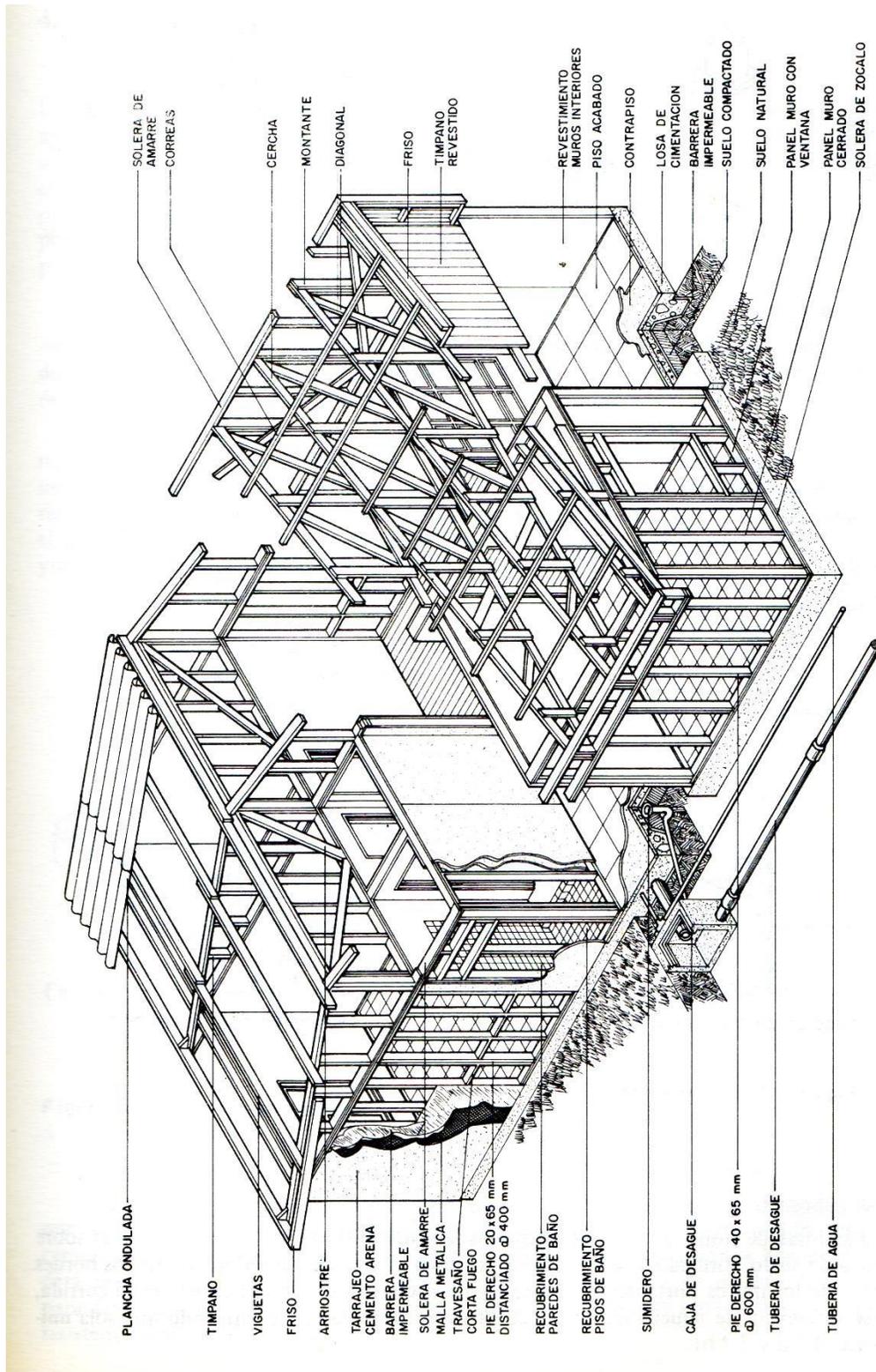


Figura 4.1 La edificación de madera y sus componentes

Figura 2.5 La edificación de madera y sus componentes (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984)

Los encuentros entre piezas de madera pueden darse por cualquiera de sus lados o superficies y estos pueden ser en forma perpendicular, paralela, inclinada o con rebajo (Fig. 2.6).

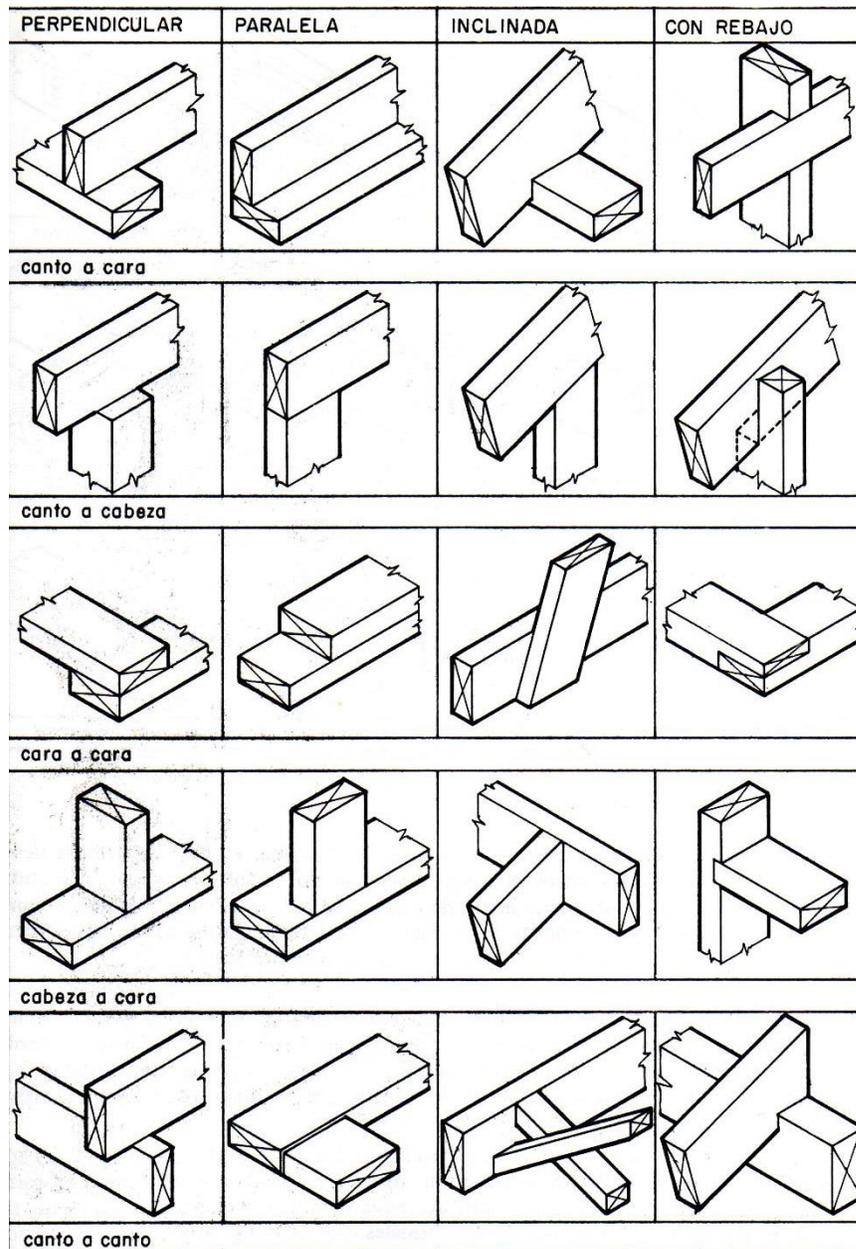


Figura 2. 6 Encuentro entre elementos de madera (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984)



Figura 2. 7 Necesidad de unir dos vigas en un apoyo (Tomado de CORMA, s.f.)

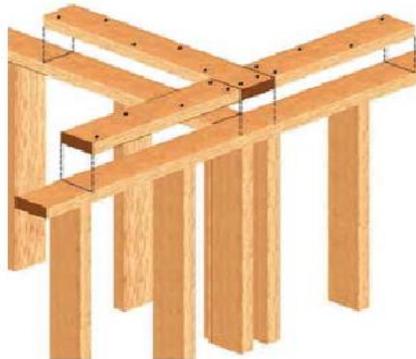


Figura 2. 8 Necesidad de unir un tabique interior con uno perimetral, se combinan clavos en la solera de amarre y pernos en la unión de los pie derechos (Tomado de CORMA, s.f.)

Los dispositivos que se emplean para construir las uniones en construcciones con madera se conocen con el nombre de elementos de unión. Los más usados son: clavos, pernos, tirafondos, zunchos, pletinas y ángulos metálicos, que no solo sirven para uniones entre maderas sino para madera con acero u hormigón (Fig. 2.10). Existen otros, como las planchas de clavos pero no se fabrican localmente (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

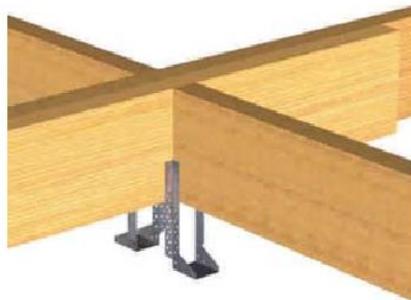


Figura 2. 9 Unión de vigas solucionado mediante colgadores metálicos (Tomado de CORMA, s.f.)

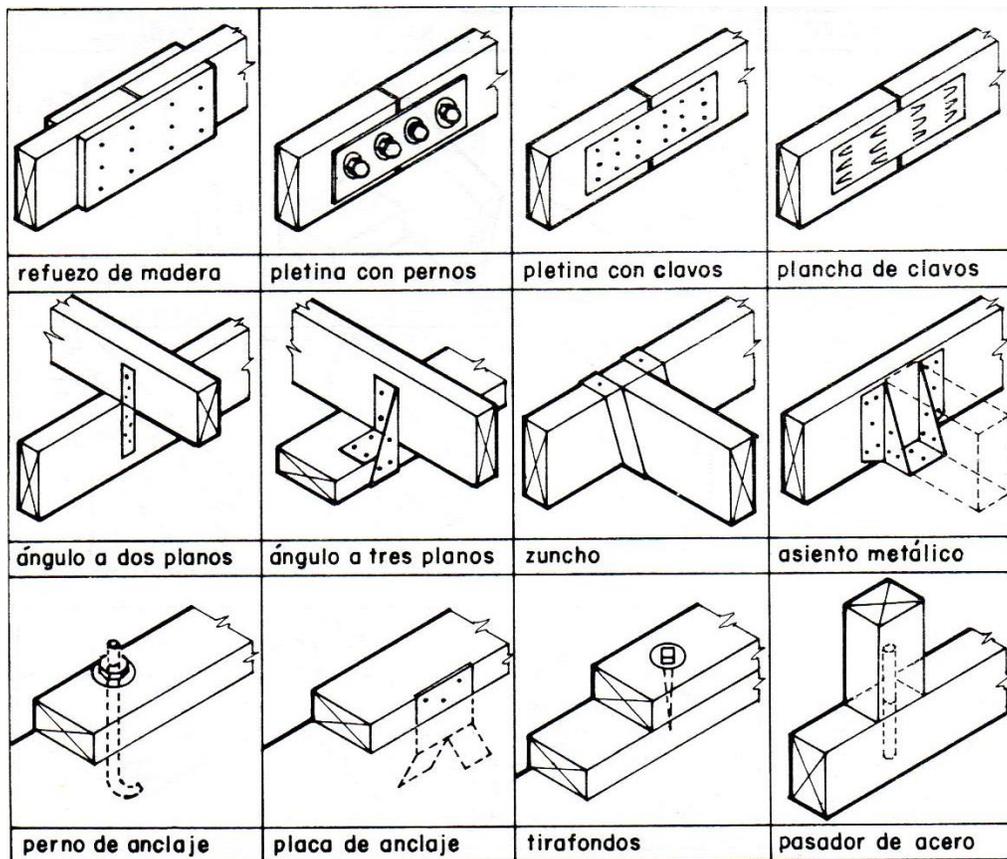


Figura 2. 10 Elementos de unión (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984)

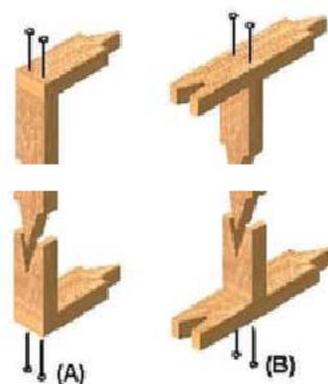


Figura 2. 11 Unión de piezas mediante clavos, en tabiques, (A) pie derecho inicial y (B) pie derecho intermedio (Tomado de CORMA, s.f.)

De todas las uniones las más fáciles de fabricar y verificar son las uniones clavadas, la mayoría de las uniones en construcción liviana se hacen con clavos (Fig. 2.12) (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984). Más adelante se profundizará en las conexiones.

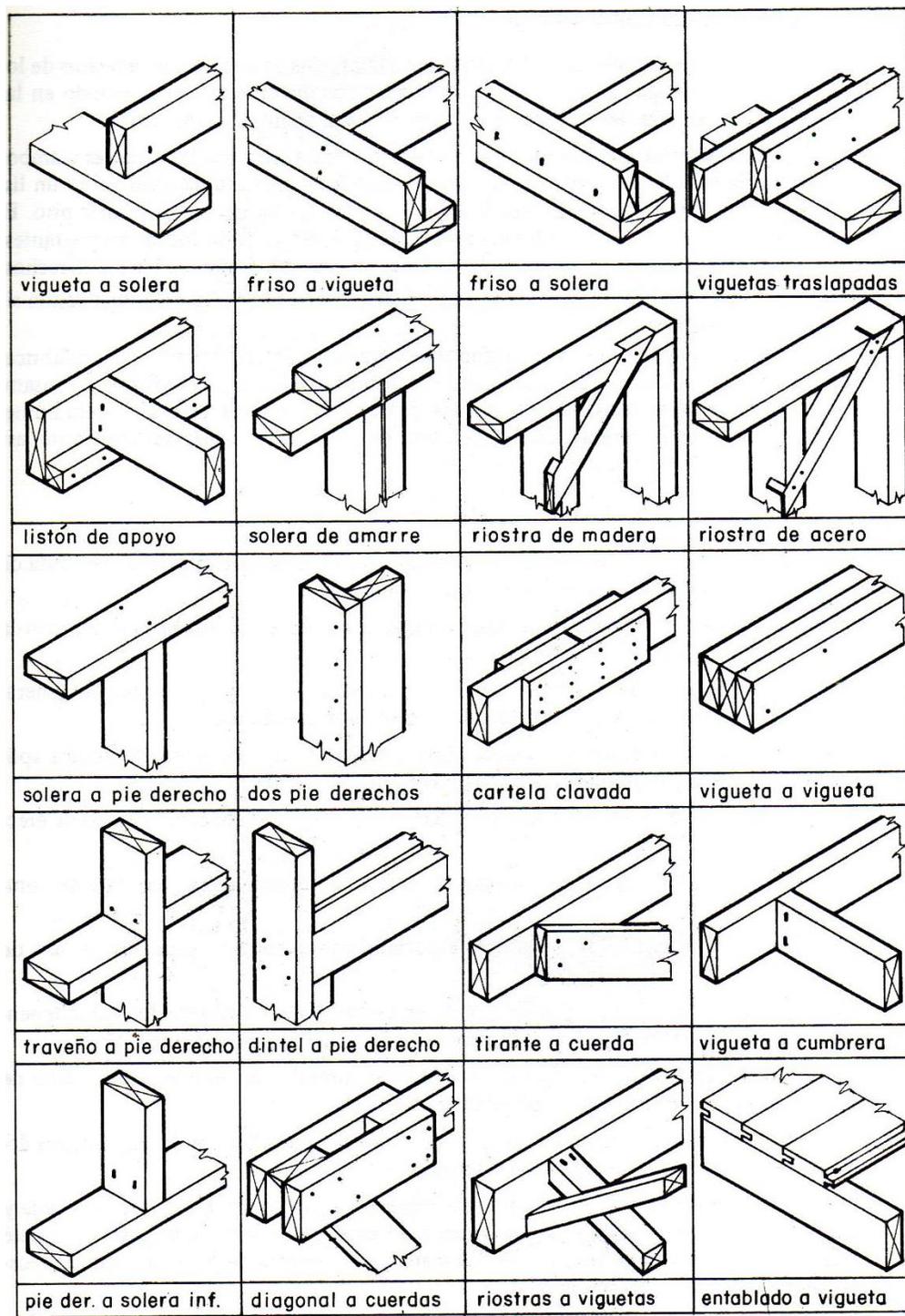


Figura 2. 12 Uniones clavadas más comunes (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984)

2.4.2 Sistema entramado

La estructura está constituida por elementos de sección transversal pequeña y a su vez muy esbeltos, pero dispuestos a corta distancia entre ellos. Generalmente, tienen el mismo espesor pero varían en el ancho y en la longitud. Con ellos se construyen los distintos componentes tales como muros, pisos, entrepisos, techos. Todos ellos arriostrados o cubiertos por entablado o por tableros conformando volúmenes arriostrados entre sí, resultando en una rigidez similar a la de un casco o caja en donde las cargas se transmiten en forma repartida. Existen dos variantes principales en este sistema: el entramado plataforma y el entramado global o integral.

a) Sistema entramado plataforma

El piso es construido a modo de una plataforma, sobre la cual se erigen los muros. Los muros reciben a la plataforma del piso superior o directamente al techo. La plataforma del piso está compuesta por viguetas paralelas y por entablado o tableros como revestimiento estructural, el cual se clava directamente a las viguetas. El piso descansa sobre la solera de zócalo en caso de una cimentación corrida o sobre vigas en una cimentación de pilotes o pilastras (Fig. 2.13) (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Los muros están compuestos por pie-derechos paralelos en cuyos extremos tienen soleras clavadas a ellos. Los muros, con o sin revestimiento se colocan sobre la plataforma del piso y se fijan desde sus soleras interiores a las viguetas. Los pie-derechos de los muros colindantes se clavan entre sí. Encima de las soleras superiores de los muros se coloca otra solera traslapada que va enlazándolos que se conoce como solera de amarre (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Es el método más utilizado en la construcción de viviendas con estructura en madera. Su principal ventaja es que cada piso (primero y segundo nivel) permite la construcción independiente de los tabiques soportantes y auto soportantes, a la vez de proveer de una plataforma o superficie de trabajo sobre la cual se pueden armar y levantar. La plataforma de madera se caracteriza por estar conformada por elementos horizontales independientes de los tabiques, apoyados sobre la solera de amarre de ellos, la que además servirá como una barrera cortafuego a nivel de piso y cielo para la plataforma (CORMA, s.f.).

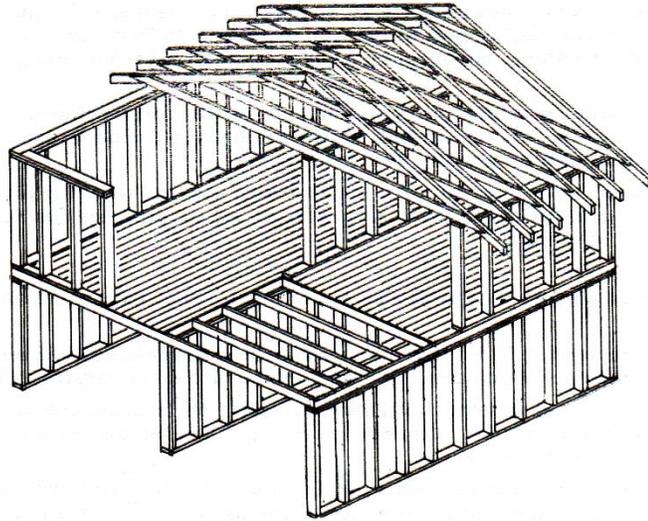


Figura 2. 13 Sistema entramado plataforma (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984)

Una vez fabricados los tabiques sobre la plataforma, se procede a izarlos y ubicarlos en el lugar correspondiente (Fig. 2.14).



Figura 2. 14 Ubicación de los tabiques sobre la plataforma (Tomado de CORMA, s.f.)

La figura 2.15 nos muestra elementos horizontales (vigas) apoyados sobre las soleras de amarre de los tabiques del primer piso. Arriostrando el entramado horizontal (plataforma de entepiso) con tableros contrachapado estructural.



Figura 2. 15 Entramado horizontal (Tomado de CORMA, s.f.)

b) Sistema entramado global o integral

La diferencia más resaltante con el Entramado Plataforma es que los pie-derechos de los muros exteriores y de algunos muros interiores tienen dos pisos de altura, acabando en las soleras superiores de amarre, las que reciben directamente al techo (Fig. 2.16) (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

En el primer piso los pie-derechos están clavados cara a cara con las viguetas y ambos se apoyan sobre la solera de zócalo. En el segundo piso las viguetas descansan sobre un listón de apoyo y se clavan a los pie-derechos de la misma forma que en el primer piso. El listón de apoyo es una pieza horizontal encajada a los pie-derechos de los muros portantes. Las viguetas laterales paralelas y en contacto con los muros son clavadas a los pie-derechos. El revestimiento tanto de pisos como de muros debe colocarse en la obra. Los techos son similares al sistema plataforma (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

El uso de este sistema no es muy difundido y no se presta fácilmente a la prefabricación de los componentes, tanto por el tamaño de los mismos, como por su forma de ensamblaje. Además los detalles constructivos no son convenientes cuando se usa madera húmeda. Sin embargo, en ellos es muy fácil el tendido de tuberías y cables verticalmente, así como la colocación del aislamiento (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

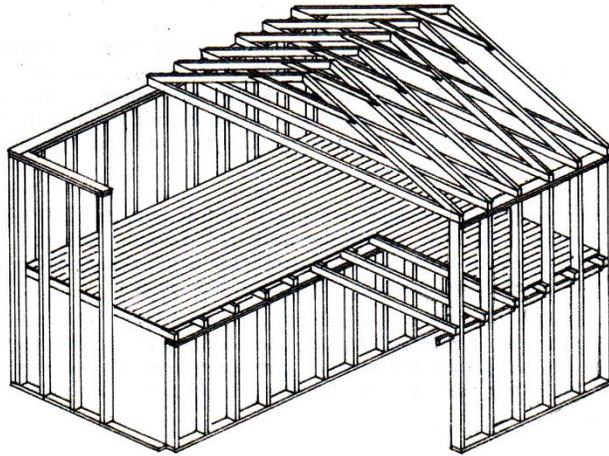


Figura 2. 16 Sistema entramado global o integral (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984)

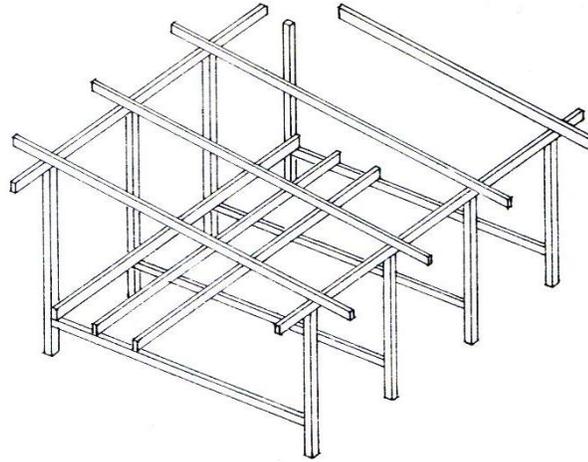
2.4.3 Sistema poste y viga

Como su nombre lo indica este sistema está constituido por vigas y columnas, que se colocan a modo de pórticos. Típicamente estos van espaciados alrededor de 1.5 m si están unidos por entablado, o alrededor de 3.50 si van unidos por viguetas más entablado o tablero. Transmiten la carga al nivel inmediato inferior en forma concentrada. Este sistema se emplea tanto para construcciones livianas, de uno o dos pisos, como para pesadas o de tres pisos o más (Fig. 2.17).

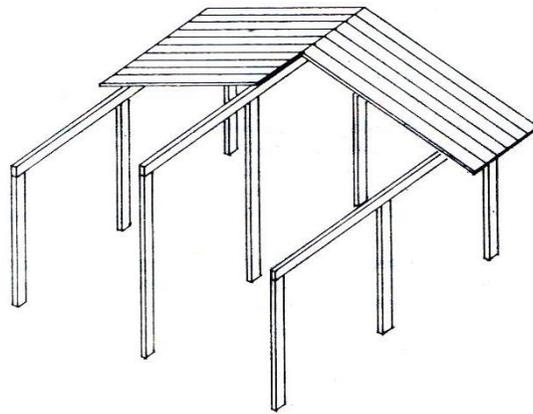
Economiza mano de obra porque son pocos elementos de fácil ensamblaje. El diseño de la edificación es muy flexible en el cerramiento de los distintos ambientes. Generalmente no requiere dinteles en aberturas para puertas o ventanas, estas se colocan entre las columnas o postes y pueden tener toda la dimensión del vano.

Las limitaciones de este sistema pueden ser resueltas mediante un cuidadoso diseño. Es necesario proporcionar estabilidad lateral especialmente en muros, mediante elementos diagonales de arriostre. Las instalaciones eléctricas y sanitarias son difíciles de esconder, debido a la falta de espacios vacíos en muros y techo, para lo cual es necesario el empleo de duetos.

En la figura 2.18 se puede observar el conjunto de vigas horizontales e inclinadas y como transmiten los esfuerzos a los pilares o columnas.



(a) poste , viga y viguetas



(b) poste , viga y entablonado

Figura 2. 17 Sistema poste y viga (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984)



Figura 2. 18 Sistema poste y viga (Tomado de CORMA, s.f.)



Figura 2. 19 Sistema poste y viga. Monasterio Cisterciense Mariakloster (Tomado de Linz, 2009)

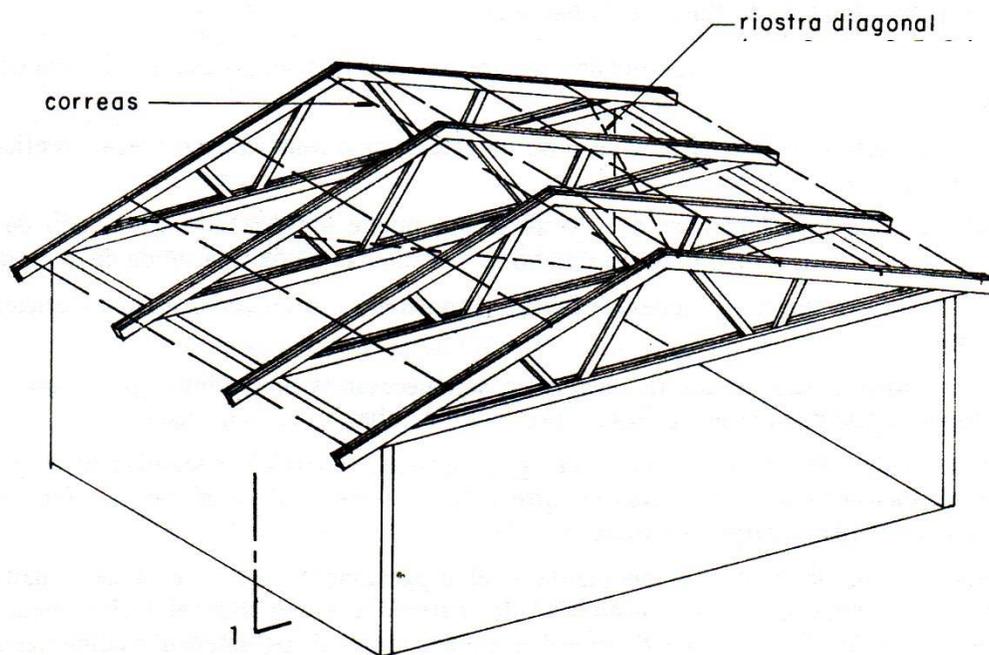
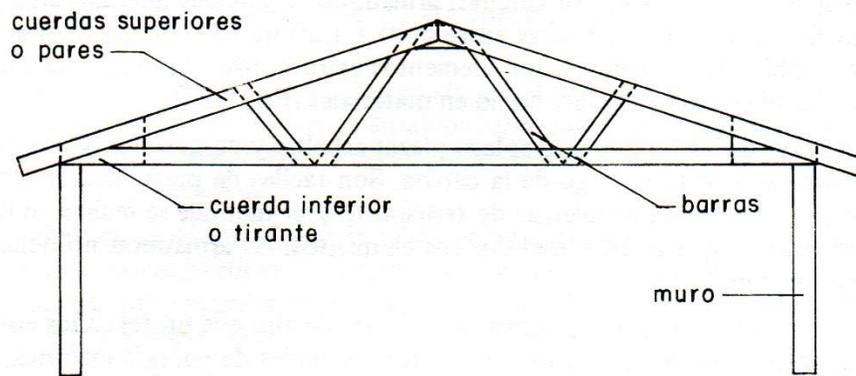
2.4.4 Sistemas de armaduras

Es el sistema de techado conformado por cerchas, armaduras o tijerales que cubren alrededor de diez metros de luz y están espaciadas entre 0.60 a 1.20 m. Las cerchas o armaduras de cubierta, como también se las conoce, son elementos estructurales de mucha resistencia y muy económicos, tanto en mano de obra como en materiales (Fig. 2.19)

Para la fabricación de las cerchas se emplean piezas esbeltas y de poca longitud, ya que estas pueden empalmarse a todo lo largo de la cercha. Son fáciles de prefabricar y almacenar. Por su propio peso no tienen problemas de transporte y el montaje se realiza en forma manual. Por los esfuerzos a que están sometidos sus elementos, las armaduras no deben ser cortadas o taladradas en ningún lugar.

El espacio que queda en su interior forma una cámara de aire que protege a los ambientes de la radiación solar y puede ser usado para correr los cables de energía eléctrica, ductos de aire acondicionado, la chimenea y para colocar el tanque de agua.

Existen distintos tipos de cerchas, las cuales se emplean de acuerdo a las necesidades particulares de la edificación. Pueden tener una sola agua, dos aguas, cuerdas superiores casi paralelas solo con una ligera pendiente.



PERSPECTIVA ISOMETRICA

Figura 2. 20 Sistema de armaduras (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Recurso Forestal

Algunas zonas del país en las que existe presencia de extensiones boscosas que se pudiesen aprovechar y algunas de ellas de hecho actualmente se usan para producción por parte de Productos Forestales de Oriente. C.A. (PROFORCA), están ubicadas en los estados Anzoátegui, Apure, Falcón y Monagas y ocupan aproximadamente 442.894,34 Ha (Productos Forestales de Oriente C.A., 2011). Alrededor del 90 % de estas plantaciones son pinos, como por ejemplo el caso del Pino Caribe.

3.2 Características físicas de la madera

3.2.1 Contenido de humedad

La madera contiene agua bajo tres formas: agua libre llenando las cavidades celulares, agua higroscópica contenida en las paredes celulares y agua de constitución que se encuentra formando parte integrante de la estructura molecular. Para determinar la humedad en la madera, se establece una relación entre masa de agua contenida en una pieza y masa de la pieza anhidra, expresada en porcentaje. A este cociente se le conoce como contenido de humedad (ecuación 3.1). Al peso anhidro también se le conoce como peso seco al horno. Por ejemplo, si una pieza de madera contiene 30% de humedad, significa 30 kilos de agua por cada 100 kg de madera. (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

$$\% CH = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso anhidro}}{\text{Peso anhidro}} \times 100 \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

Existen dos valores de contenido de humedad importantes, uno es el Punto de Saturación de la Fibra (PSF) que es el valor de CH que tiene la madera cuando ha perdido toda la totalidad de agua libre y comienza a perder el agua higroscópica, la cual está contenida en las paredes celulares (figura 3.1); y el otro es el Contenido de Humedad de Equilibrio (CHE) que se presenta cuando la madera ha perdido la cantidad necesaria de

agua higroscópica para estar en equilibrio con la humedad relativa del aire (Fig. 3.2), la cual depende de las condiciones ambientales (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Kollmann comprobó en 1959 que la humedad de equilibrio es casi constante para todas las maderas, y elaboró un ábaco para determinar este valor. Esto quiere decir que cuando la madera es sometida a un ambiente saturado de humedad (100% de humedad relativa del aire), el contenido de humedad de equilibrio (CHE) es casi constante para todas las maderas, alcanzando un valor máximo de 30% (Fig. 3.3) (CORMA, s.f.). Esta condición es la que se definió anteriormente como PSF.

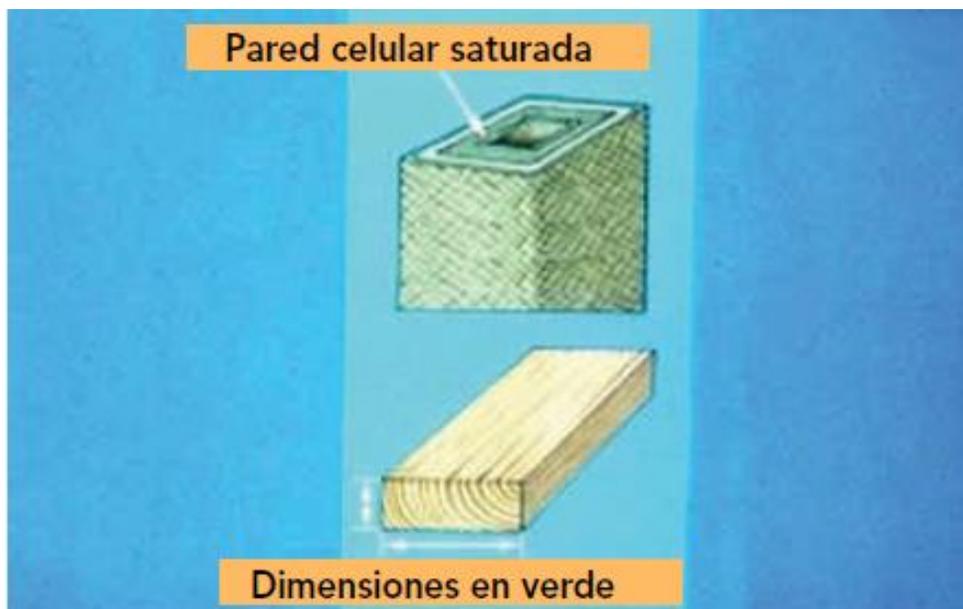


Figura 3. 1 Punto de Saturación de la Fibra, PSF (Tomado de CORMA, s.f.).

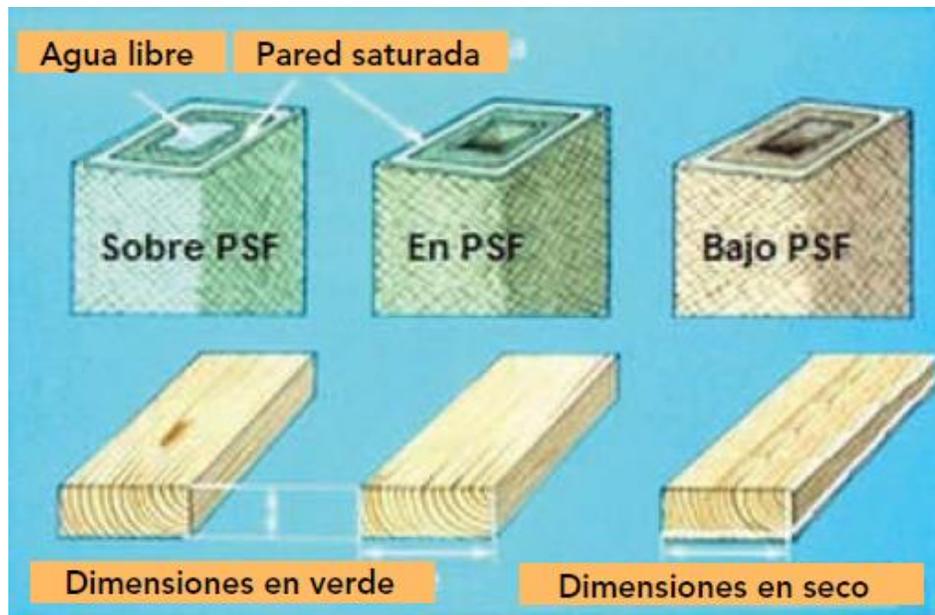


Figura 3. 2 Madera sobre el PSF. Presencia de agua libre y agua ligada (Tomado de CORMA, s.f.).

3.2.2 Densidad y peso específico

La relación que existe entre la masa y el volumen de un cuerpo se llama densidad. Por costumbre cuando se usa el sistema métrico se toma la masa como el peso del cuerpo. El peso de la madera es la suma del peso de la parte sólida más el peso del agua. Debido al contenido de humedad la masa y el volumen varían, por esta razón esta es una de las características físicas más importantes, ya que está relacionada con las propiedades mecánicas y de durabilidad de la madera. Se pueden distinguir en consecuencia cuatro densidades para una misma muestra de madera. La densidad verde (DV), es la relación que existe entre el peso verde (PV) y el volumen verde (VV). La densidad seca al aire (DSA), que es la relación que existe entre el peso seco al aire (PSA) y el volumen seco al aire (VSA). La densidad anhidra (DA), que es la relación entre el peso seco al horno (PSH) y el volumen seco al horno (VSH). Y por último la densidad básica (DB), que es la relación entre el peso seco al horno (PSH) y el volumen verde (VV) (Tabla 3.1). La DB es la menor de todas (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

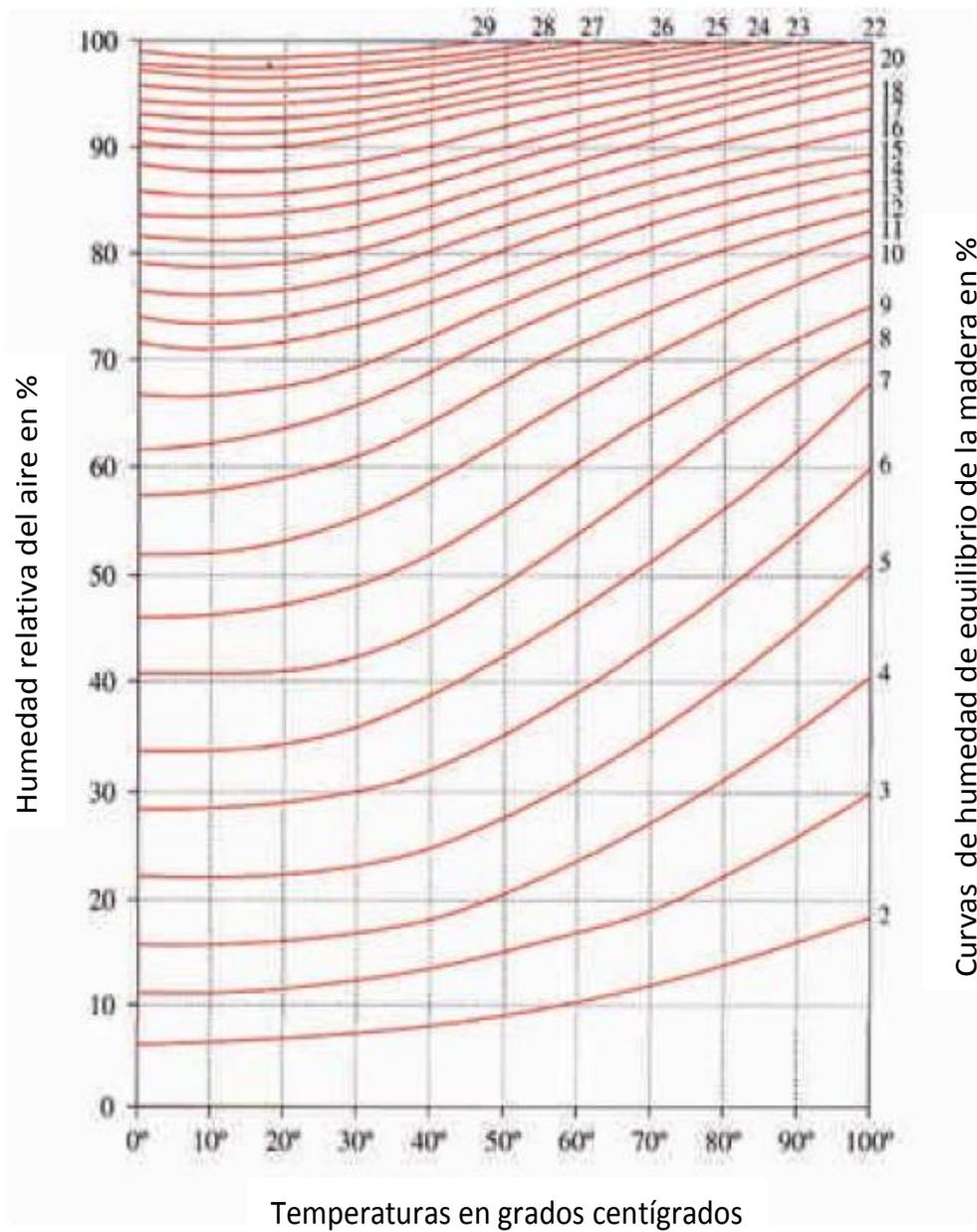


Figura 3. 3 Curvas de humedad de equilibrio de la madera (Adaptado de CORMA, s.f.).

Tabla 3. 1 Tipos de densidad en una muestra de madera (Elaboración propia. Datos extraídos de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Tipo de densidad	Es igual a
Densidad verde (DV)	$\frac{\text{Peso verde}}{\text{Volumen verde}} = \frac{PV}{VV}$
Densidad seca al aire (DSA)	$\frac{\text{Peso seco al aire}}{\text{Volumen seco al aire}} = \frac{PSA}{VSA}$
Densidad anhidra (DA)	$\frac{\text{Peso seco al horno}}{\text{Volumen seco al horno}} = \frac{PSH}{VSH}$
Densidad básica (DB)	$\frac{\text{Peso seco al horno}}{\text{Volumen verde}} = \frac{PSH}{VV}$

El peso específico es la relación entre el peso de la madera, a un determinado contenido de humedad, y el peso del volumen de agua desplazado por el volumen de la madera. Las densidades de los grupos estructurales se pueden ver en la tabla 3.2 (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984). Considerando que el agua tiene densidad igual a 1 Kg/cm³ puede decirse que la relación entre la densidad de la madera dividida entre la densidad del agua igualan a su peso específico.

3.2.3 Conductividad térmica

La cantidad de calor que fluye a través de un material, sometido a un gradiente térmico se llama conductividad térmica, este valor se expresa comúnmente en kilocalorías por metro por hora y por grado centígrado [Kcal/hora-m-°C].

La conductividad térmica de la madera es directamente proporcional al contenido de humedad y a la densidad, es además de 2 a 2.8 veces mayor en la dirección longitudinal que en la dirección radial o tangencial. Para una madera de densidad básica 0.8 g/cm³ y un CH del 30%, el valor de la conductividad térmica alcanza a 0.20 Kcal/hora-m-°C. La madera es por lo tanto un material aislante por excelencia debido a su naturaleza porosa (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984). Véase figura

Tabla 3. 2 Densidad básica de especies de Venezuela estudiadas en el PADT-REFORT
(Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena,1984).

Grupo	Nombre Común	Densidad básica (DB) (Kg/cm³)
A	Algarrobo	0.77
	Mora	0.78
	Perhuétamo	0.78
	Zapatero	0.89
B	Aceite cabimo	0.56
	Apamate	0.54
	Charo amarillo	0.65
	Chupón rosado	0.66
	Guayabón	0.64
	Pardillo amarillo	0.65
C	Carne asada	0.55
	Mureillo	0.47
	Samán	0.49
	Saqui saqui	0.39

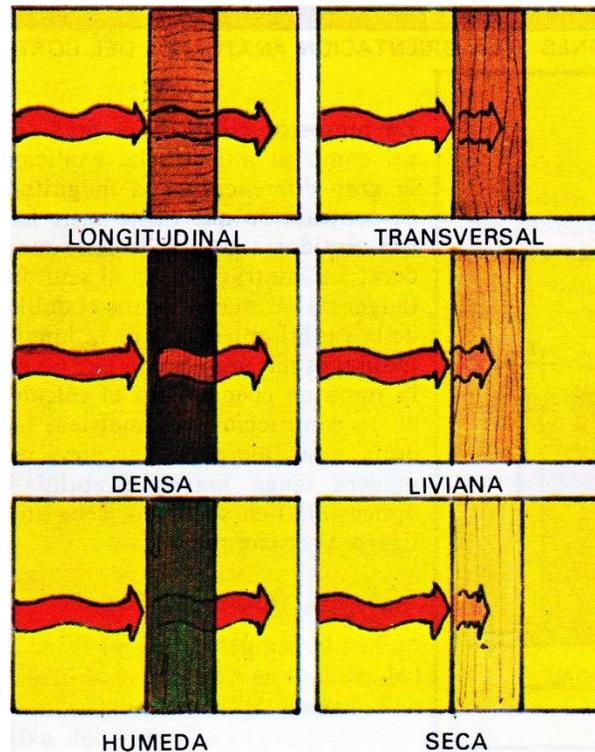


Figura 3. 4 Conductividad térmica de la madera (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1980).

3.2.4 Conductividad eléctrica

La resistencia eléctrica de las maderas es muy sensible a cambios en su contenido de humedad, variando exponencialmente entre resistencias tan altas como 10,000 Megaohms, para contenidos de humedad del orden del 5%, hasta resistencias de menos de 1 Megaohm en el PSF. Sin embargo, bajo condiciones normales de uso, la madera en estado seco al aire se comporta como un material aislante debido a que su resistencia eléctrica es aproximadamente 500 Megaohms.

3.3 Propiedades resistentes de la madera

Las propiedades mecánicas de la madera determinan la capacidad o aptitud para resistir fuerzas externas. Estas propiedades se obtienen a través de la experimentación, mediante ensayos que se aplican al material y que determinan los diferentes valores de esfuerzos a los que puede estar sometida la madera. Las principales son:

3.3.1 Resistencia a la compresión paralela

Es la resistencia de la madera a una carga en dirección paralela a las fibras, la que se realiza en columnas cortas para determinar la tensión de rotura, tensión en el límite de proporcionalidad y módulo de elasticidad. La madera presenta gran resistencia a los esfuerzos de compresión paralela a sus fibras. Esta proviene del hecho que las fibras están orientadas con su eje longitudinal en esa dirección y que a su vez coincide, o está muy cerca de la orientación de las microfibrillas que constituyen la capa media de la pared celular, la cual es la capa de mayor espesor (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

La capacidad está limitada por el pandeo de las fibras más que por su propia resistencia al aplastamiento. Por ejemplo cuando se trata de elementos a escala natural como columnas, solamente aquellas de una relación de esbeltez (longitud/ancho) menor que 10 desarrollan toda la resistencia al forzar la sección a su máxima capacidad. En cambio para elementos más esbeltos, que son las más comunes, la resistencia está determinada por su capacidad a resistir el pandeo lateral, que depende de la geometría de la pieza más que de la capacidad resistente de la madera. La resistencia a la compresión paralela a las fibras en la madera es aproximadamente la mitad que su resistencia a la tracción (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Los valores del esfuerzo de rotura en compresión paralela a las fibras para ensayos con probetas de laboratorio varían entre 100 y 900 Kg/cm² para maderas tropicales. Esta variación es función de la densidad (entre 0.2 y 0.8 de D.B). El esfuerzo en el límite proporcional es aproximadamente el 75% del esfuerzo máximo, y la deformación es del orden del 60% de la máxima (Fig. 3.10.a) (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).



Figura 3. 5 Esquema de ensayo de compresión paralela (Tomado de CORMA, s.f.)

3.3.2 Resistencia a la compresión perpendicular

Las fibras están sometidas a un esfuerzo en dirección perpendicular a su eje y que tiende a comprimir las pequeñas cavidades contenidas en ellas. Debido a ello la madera puede ser cargada sin que ocurra una falla claramente distinguible. Al incrementar la magnitud de la carga la pieza se va comprimiendo, aumentando su densidad y también su capacidad para resistir mayor carga (Fig. 3.10.b). Cuando las fibras reciben la carga a un ángulo intermedio entre 0° y 90° la resistencia alcanza valores intermedios que siguen aproximadamente la fórmula de Hankinson (véase la sección 3.5 Ec. 3.2) (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

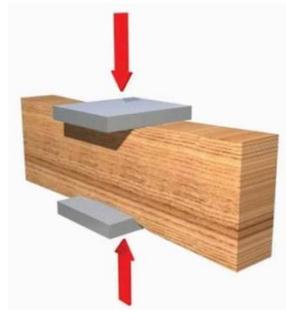


Figura 3. 6 Esquema de ensayo de compresión perpendicular (Tomado de CORMA, s.f.)

3.3.3 Resistencia a la tracción

Existe la tracción paralela a las fibras (Fig. 3.7) que es la resistencia a una carga de tracción en dicha dirección; y la tracción normal a las fibras (Fig. 3.8) que es la resistencia que opone la madera a una carga de tracción en la dirección normal a las fibras. La resistencia a la tracción paralela en especímenes pequeños libres de defectos es aproximadamente 2 veces la resistencia a la compresión paralela. Podemos observar un comportamiento lineal y elástico de la curva esfuerzo deformación, y la naturaleza explosiva y violenta con la que se da la falla (Fig. 3.10.c). La resistencia a la tracción paralela es afectada significativamente por la inclinación del grano. Por ejemplo para una inclinación de 1 en 8 (7°) el esfuerzo de rotura es el 75% del esfuerzo de rotura paralelo al grano, para una inclinación de 1 en 4 (14°) el esfuerzo de rotura es solo el 45%. El esfuerzo

de rotura perpendicular al grano (90°) es del 2 al 5% del esfuerzo de rotura paralelo al grano (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).



Figura 3. 7 Esquema de ensayo de tracción paralela a las fibras (Tomado de CORMA, s.f.)

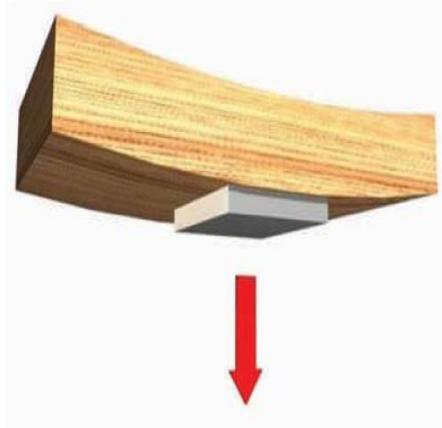


Figura 3. 8 Esquema de tracción normal a las fibras (Tomado de CORMA, s.f.)

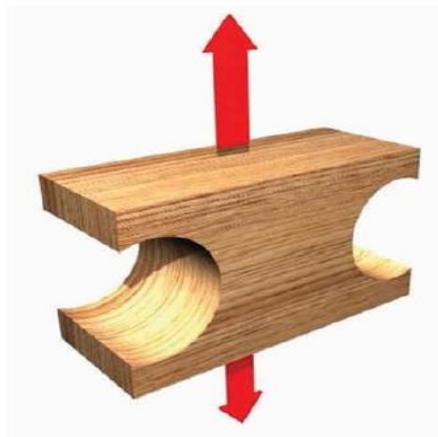


Figura 3. 9 Esquema de tracción normal radial a las fibras (Tomado de CORMA, s.f.)

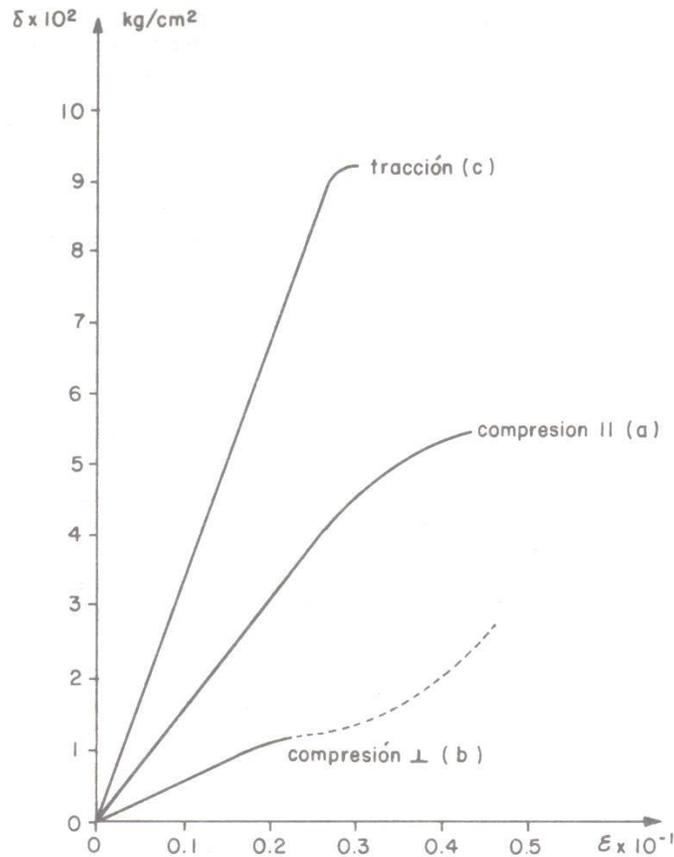


Figura 3. 10 Curvas esfuerzo-deformación para maderas latifoliadas (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984)

3.3.4 Resistencia al corte

Se presenta cuando las piezas están sometidas a flexión. Los análisis teóricos indican que en un punto dado los esfuerzos de corte son iguales tanto a lo largo como perpendicularmente al eje del elemento. Como la madera no es homogénea, sino que sus fibras se orientan generalmente con el eje longitudinal de la pieza, presenta diferente resistencia al corte en dos direcciones. En la dirección de las fibras, paralelo al eje longitudinal, la resistencia al corte es menor. Perpendicularmente a las fibras la resistencia es tres a cuatro veces mayor que la dirección paralela (Fig. 3.11) (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

El esfuerzo de rotura en probetas sometidas a corte paralelo varía entre 25 y 200 Kg/cm^2 en promedio. Es mayor en la dirección radial que en la tangencial. Aumenta con la

densidad aunque en menor proporción que la resistencia a la compresión (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

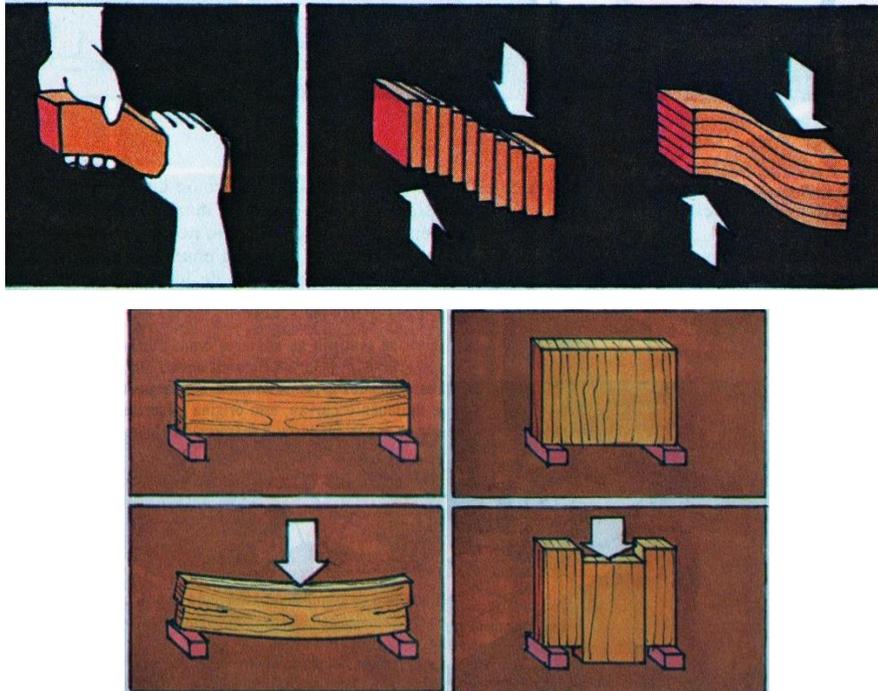


Figura 3. 11 Esfuerzo de Corte (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1980)



Figura 3. 12 Esquema de ensayo de corte longitudinal (Tomado de CORMA, s.f.)

3.3.5 Resistencia a la flexión paralela al grano

La diferencia entre la resistencia a la tracción y a la compresión paralela resulta en un comportamiento característico de las vigas de madera en flexión. Como la resistencia a la compresión es menor que a la tracción, la madera falla primero en la zona de compresión. Con ello se incrementan las deformaciones en la zona comprimida, el eje neutro se desplaza hacia la zona de tracción, lo que a su vez hace aumentar rápidamente las

deformaciones totales; finalmente la pieza se rompe por tracción. En vigas secas, sin embargo, no se presenta primeramente una falla visible de la zona comprimida sino que ocurre directamente la falla por tracción (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Dicha información experimental evidencia que la hipótesis de Navier sobre la permanencia de la sección plana durante la deformación no se cumple, y la aplicación de las formulas de la teoría de vigas para el cálculo de los esfuerzos no es estrictamente aplicable. Por lo tanto la resistencia a flexión así estimada resulta en esfuerzos mayores que los de compresión y menores que los de tracción.

En la figura 3.14 observamos una curva típica de carga – deformación para maderas tropicales, se aprecia que la carga en el límite proporcional (L.P.) es aproximadamente el 60% de la carga máxima ($P_{m\acute{a}x}$) (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

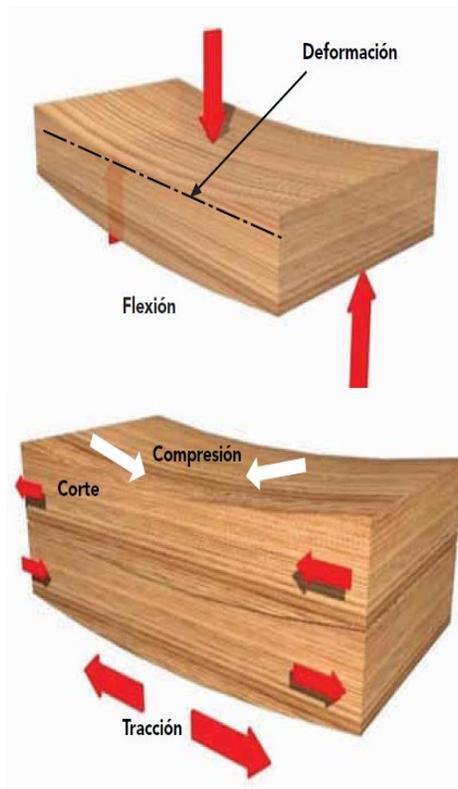


Figura 3. 13 Esquema de ensayo de flexión estática (Tomado de CORMA, s.f.)

Se presentarán los esfuerzos admisibles para las maderas de cada grupo estructural según la Junta del Acuerdo de Cartagena (Tabla 3.3). Los esfuerzos básicos de las propiedades resistentes de la madera se obtienen por ensayos de pequeñas probetas según

las normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM D-143) y del Comité Panamericano de Normas Técnicas (COPANT). Estos valores son para maderas húmedas y pueden ser usados también para maderas secas.

Existen otras referencias de valores de tensiones admisibles extraídos de la norma de Estructuras de Madera (MOP-1955) (tabla 3.4).

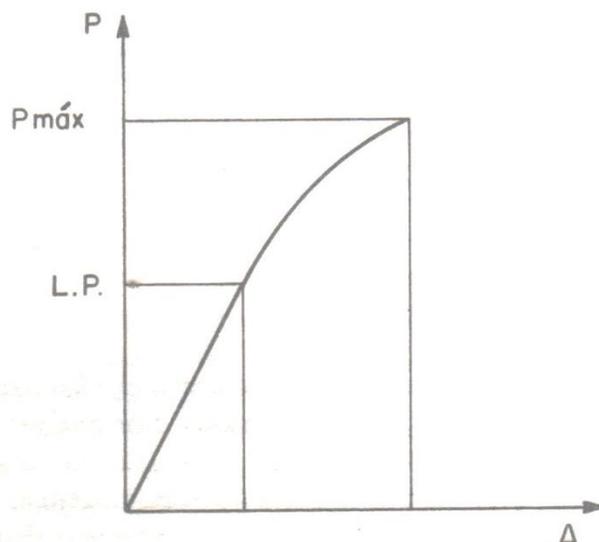


Figura 3. 14 Curva típica carga – deflexión para flexión (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984)

Tabla 3. 3 Esfuerzos admisibles y módulo de elasticidad para las maderas del grupo andino (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Propiedades (Kg/cm ²)	Notación	Grupo		
		A	B	C
Flexión	fm	210	150	100
Compresión paralela	fc	145	110	80
Compresión perpendicular	fc _⊥	40	28	15
Corte paralelo	fv	15	12	8
Tracción paralela	ft	145	105	75
Módulo de elasticidad mínimo	E _{min}	95.000	75.000	55.000
Módulo de elasticidad promedio	E _{prom}	130.000	100.000	90.000

Tabla 3. 4 Coeficientes de trabajo de las maderas (Adaptado de Estructuras de madera (M.O.P. 1955)).

Clasificación	Flexión		Compresión		Tensión cortante
	Coeficiente de trabajo Rmf (Kg/cm ²)	Módulo de elasticidad Em (Kg/cm ²)	Paralela a las fibras Rmc (Kg/cm ²)	Perpendicular a las fibras R'mc (Kg/cm ²)	Paralela a las fibras Rms (Kg/cm ²)
	Factor de seguridad 15		Factor de seguridad 8	Factor de seguridad 2,50	Factor de seguridad 7
A1 MADERAS MUJ DURAS	110	199.000	110	100	13
	120	188.000	120	60	15
	110	166.000	110	90	13
	90	132.000	90	90	11
	120	206.000	120	60	15
	100	178.000	100	50	12
	100	89.000	100	50	12
	100	148.000	100	40	12
	100	176.000	100	50	12
	120	201.000	120	60	15
A2 MADERAS DURAS	70	126.000	70	30	12
	80	118.000	80	35	13
	80	168.000	80	35	11
	70	117.000	70	30	10
	75	145.000	75	30	11
A2 MADERAS SEMI - DURAS	55	114.000	55	27	10
	50	92.000	50	25	9
	40	71.000	40	20	6
	55	91.000	55	27	12
	45	82.000	45	22	9
MADERAS BLANDAS	15	38.000	15	7	3
	35	71.000	35	17	7
	35	56.000	35	17	6

3.4 Propiedades elásticas de la madera

Las características elásticas de un material son representadas por el módulo de elasticidad (E), el módulo de corte (G) y el módulo de Poisson (μ). La madera es un

material ortotrópico (no tiene iguales propiedades físicas en todos sus puntos y para toda dirección), por lo tanto tiene tres módulos de elasticidad, tres módulos de corte y seis módulos de Poisson, orientados y definidos por tres ejes ortogonales. Pero por razones prácticas se puede suponer que el material es homogéneo, lo que permite considerar solamente un módulo de elasticidad, uno de corte y tres de Poisson.

3.4.1 Módulo de elasticidad (E)

El Módulo de Elasticidad o de Young de la madera puede ser obtenido directamente de una curva esfuerzo-deformación, por ejemplo un ensayo de compresión paralela o también por métodos indirectos como en los ensayos a flexión. En la tabla 3.7 se muestran los valores de E aplicables a elementos en flexión, tracción o compresión en la dirección paralela a las fibras, estos valores son para maderas húmedas y pueden ser usados también para maderas secas. Para cada Grupo se presentan dos valores, en general se deberá utilizar el módulo de elasticidad mínimo (E_{\min}); el módulo de elasticidad promedio (E_{prom}) podrá utilizarse cuando exista una acción de conjunto garantizada como en el caso de viguetas y entablados (tabla 3.3 y 3.4) (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

3.4.2 Módulo de corte o rigidez (G)

Relaciona las deformaciones o distorsiones con los esfuerzos de corte o cizallamiento que las originan. Existen diferentes valores para este módulo en cada una de las direcciones de la madera. Sin embargo, el más usual es el que sigue la dirección de las fibras y varía entre 1/16 a 1/25 del valor del módulo de elasticidad lineal (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

3.4.3 Módulo de Poisson

Es la relación que existe entre la deformación lateral y la deformación longitudinal, por lo tanto es adimensional. Para el caso de la madera existen en general 6 módulos de Poisson ya que se relacionan las deformaciones en las direcciones: longitudinal, radial y tangencial. En general se puede decir que estos valores varían entre 0.325 a 0.40 para densidades de 0.5 gr/cm^3 (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

3.5 Factores que afectan el comportamiento de la madera.

Lo primero que se podría presentar es un defecto por su propia naturaleza, características que han sido adquiridas por el árbol durante su crecimiento y se les llama defectos de crecimiento, como por ejemplo la inclinación de grano con respecto a la dirección longitudinal del tronco; este defecto influye en la resistencia de una pieza y se puede estimar según la fórmula de Hankinson, la cual es función de la resistencia paralela, la resistencia perpendicular y del ángulo (θ) (ecuación 3.2). El contenido de humedad también influye debido a que aumenta o disminuye su resistencia. La densidad por otro lado también juega un papel importante ya que ella representa la cantidad de material sólido que posee la madera y tiene una marcada influencia en la resistencia mecánica de esta. La temperatura de manera general modifica las propiedades mecánicas de la madera de manera tal que a medida que aumenta, las propiedades mecánicas disminuyen y si la temperatura disminuye las propiedades mecánicas aumentan, es decir, son inversamente proporcionales. La duración de la carga podría afectar su comportamiento si se llegara a entrar en lo que se conoce como flujo plástico (deformación adicional dependiente del tiempo). Su degradación natural es otro factor que puede afectar sus propiedades debido a agentes externos. El ataque de insectos fácilmente destruye la madera, por lo cual es importantísimo protegerla adecuadamente. Y por último los ataques químicos que dependiendo de las alteraciones en que produzcan en la madera podrán verse afectadas sus propiedades mecánicas o no (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

$$N = \frac{P \times Q}{P \times \text{Sen}^n \theta + Q \times \text{Cos}^n \theta} \quad \text{(Ecuación 3.2)}$$

Tabla 3. 5 Valores experimentales para la fórmula de Hankinson (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Propiedades	n	Q/P
Tensión	1.5 – 2	0.04 – 0.07
Compresión	2 – 2.5	0.03 – 0.40
Flexión	1.5 – 2	0.04 – 0.10
Módulo de elasticidad	2	0.04 – 0.12

3.6 Secado de la madera.

El secado de la madera es un proceso que se justifica para toda pieza que tenga uso definitivo en el interior de la vivienda, sea con fines estructurales o de terminación (CORMA, s.f.). La utilización de madera seca aporta una serie de beneficios, entre los que se destaca:

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

3.7 Tratamiento de la madera.

En el tratamiento de la madera se deben definir los requerimientos de durabilidad que son necesarios, o sea, si la madera elegida tiene la capacidad para resistir el ataque de los diferentes agentes de destrucción, una vez puesta en servicio sin ningún tratamiento preservador. Sólo en caso de que no se puedan utilizar las especies adecuadas a la durabilidad exigida, se debe realizar el tratamiento que corresponda. Desde siempre la madera en la arquitectura ha sido considerada como un material importante, no tan sólo en componentes de terminación, sino que también como elemento estructural. Con base a esto, la protección de la madera frente a agentes destructores adquiere vital relevancia al momento del diseño, especialmente si se tiene en cuenta para uso estructural requerirá ser protegida con un preservante adecuado y por medio de un método de impregnación confiable (CORMA, s.f.).

3.8 La madera como material de construcción

La madera es el único material con que se puede construir íntegramente una vivienda. Dentro de una vivienda o construcción liviana a base de madera deben distinguirse dos categorías de material. En una primera se encuentra todo aquel empleado con fines resistentes, principalmente el usado para entramados de muros, techos pisos elevados, columnas, que constituyen la estructura de la edificación. En otra categoría se encuentra el material usado para revestimientos, puertas, ventanas, muebles, que no están destinados a resistir cargas importantes. Por ende los requisitos de ambas son diferentes. La primera se denomina madera estructural o madera de construcción estructural, la cual será el centro focal de este trabajo, y la segunda madera no estructural o madera de construcción no estructural (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

3.8.1 Comercialización de la madera

La madera se comercializa por volumen siendo la ubicación cuantificada en metros cúbicos (m^3), y en varios países andinos pies cuadrados o pies tablares (p.t.) (Fig. 3.15). El precio de los tableros a base de madera se cotiza por metro cuadrado (m^2) para un determinado espesor, o también por pie cuadrado en aquellos países o regiones que usan estas unidades. Las molduras se comercializan por metro lineal (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

3.8.2 Escuadrías y secciones preferenciales PADT-REFORT

Surgen de la necesidad de contar con un grupo de escuadrías con dimensiones estandarizadas apropiadas para la construcción y el diseño con madera (Tabla 3.6). En su identificación se han tenido en cuenta factores como:

- Eficiencia de las formas estructurales
- Facilidad de obtención de unas a partir de las otras
- Satisfacer la necesidad de contar con un número adecuado de escuadrías para construcción de viviendas y obras pequeñas que puedan normalizarse a través de la aceptación de los propios usuarios.

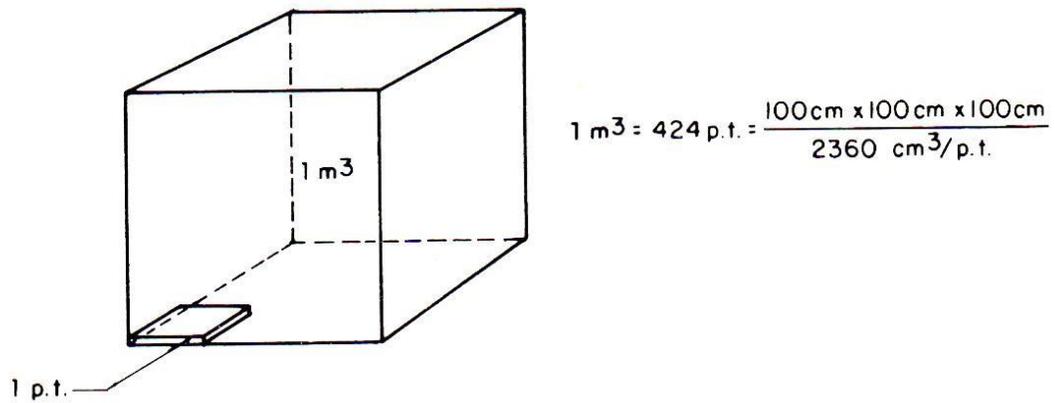
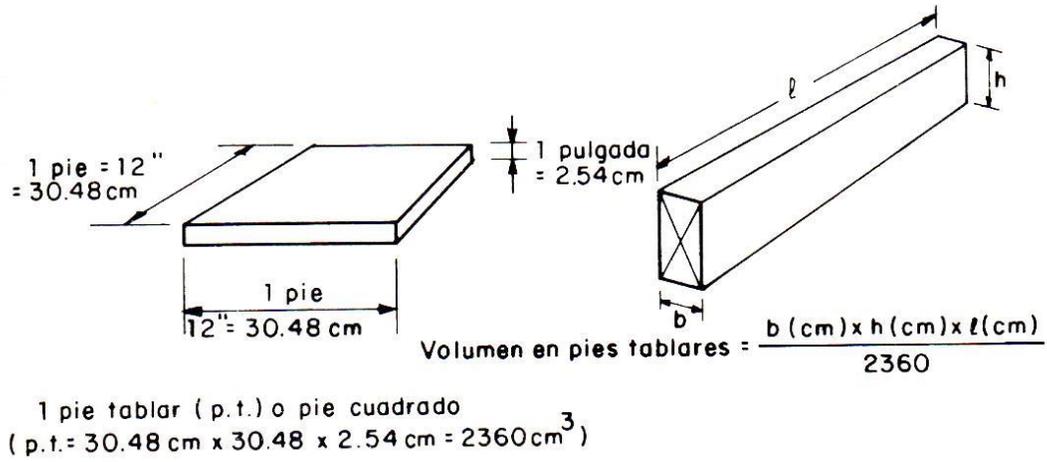


Figura 3. 15 Unidades para comercializar madera (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Tabla 3. 6 Secciones preferenciales PADT-REFORT (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena,1984).

Dimensiones b x h (cm)	Uso más frecuente
4 x 4	Pie - derechos
4 x 6.5	Pie – derechos, viguetas
4 x 9	Pie – derechos, viguetas, columnas
4 x 14	Viguetas, vigas
4 x 16.5	Viguetas, vigas
4 x 19	Viguetas, vigas
4 x 24	Viguetas, vigas
6.5 x 6.5	Columnas
6.5 x 9	Columnas, vigas
9 x 9	Columnas
9 x 14	Columnas, vigas
9 x 19	Vigas
9 x 24	Vigas
9 x 29	Vigas
14 x 14	Columnas
14 x 19	Vigas, columnas
14 x 24	Vigas
14 x 29	Vigas

2.8.3 Dimensiones comerciales y dimensiones reales

Debido al proceso de cortes sucesivos y cepillado, las piezas de madera experimentan disminuciones progresivas en las dimensiones de su sección transversal, haciendo diferentes las medidas iniciales (denominadas nominales o equivalentes comerciales) y aquellas que finalmente presentan (Fig. 3.16) (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

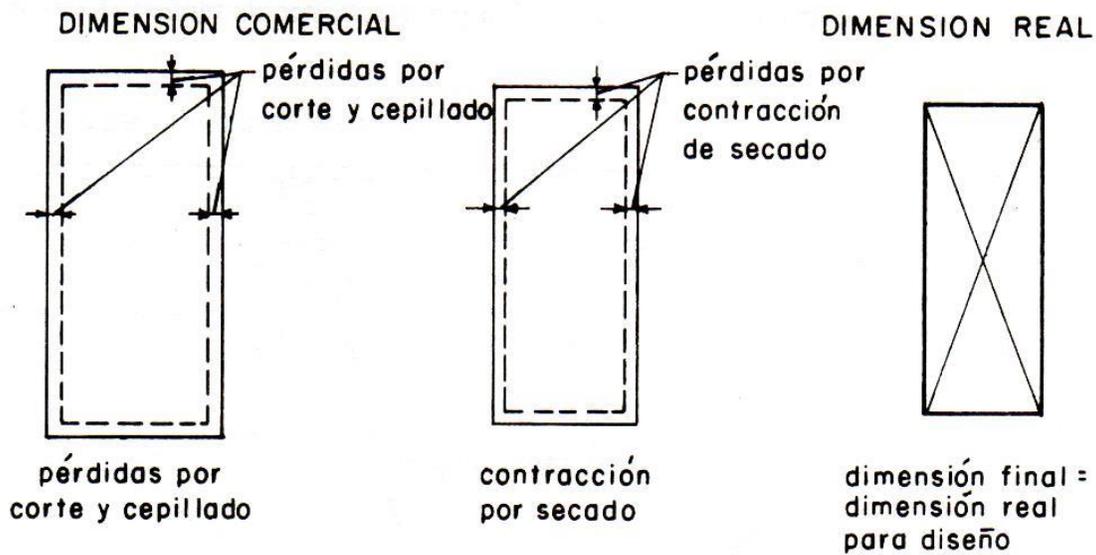


Figura 3. 16 Dimensiones comerciales y reales de la escuadría (sección transversal)

(Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Tabla 3. 7 Dimensiones reales y equivalentes comerciales (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Dimensión real (cm)	Equivalente comercial (pulg)	Dimensión real (cm)	Equivalente comercial (pulg)
4 x 4	2 x 2	9 x 9	4 x 4
4 x 6.5	2 x 3	9 x 14	4 x 6
4 x 9	2 x 4	9 x 19	4 x 8
4 x 14	2 x 6	9 x 24	4 x 10
4 x 16.5	2 x 7	9 x 29	4 x 12
4 x 19	2 x 8	14 x 14	6 x 6
4 x 24	2 x 10	14 x 19	6 x 8
6.5 x 6.5	3 x 3	14 x 24	6 x 10
6.5 x 9	3 x 4	14 x 29	6 x 12

3.8.4 Madera de construcción no estructural

Puede presentarse básicamente en dos formas dentro de una construcción: madera vista y madera cubierta o no vista (fig. 3.17).

3.8.5 Madera de construcción estructural

Se denomina así a aquella madera que constituye el armazón estructural de la edificación. Es decir forma la parte resistente de componentes como muros o paredes, pisos, techos tales como: pie-derechos, columnas, vigas, cerchas entre otros (fig. 3.18). Su característica en común es básicamente su función resistente (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Las condiciones que debe cumplir este material son las siguientes:

1. Debe ser material clasificado como de calidad estructural para lo cual debe cumplir con la norma de clasificación visual por defectos (Fig. 3.19).
2. Debe ser madera proveniente de las especies forestales consideradas como adecuadas para construir (Tabla 3.8 y Tabla 3.9).
3. Deben ser piezas de madera dimensionadas de acuerdo a las escuadrías o secciones preferenciales (Tabla 3.6).

Es conveniente construir con madera en estado seco o al contenido de humedad de equilibrio. De esta forma garantizas la estabilidad de las dimensiones de las piezas y se disminuye el riesgo a ataques de hongos e insectos. A pesar de ello, las especies de mayor densidad (grupo estructural A y B) presentan dificultades al clavado y labrado cuando están secas, por lo que comúnmente se trabajan en estado verde ($CH > 30\%$), tomando así las precauciones necesarias (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

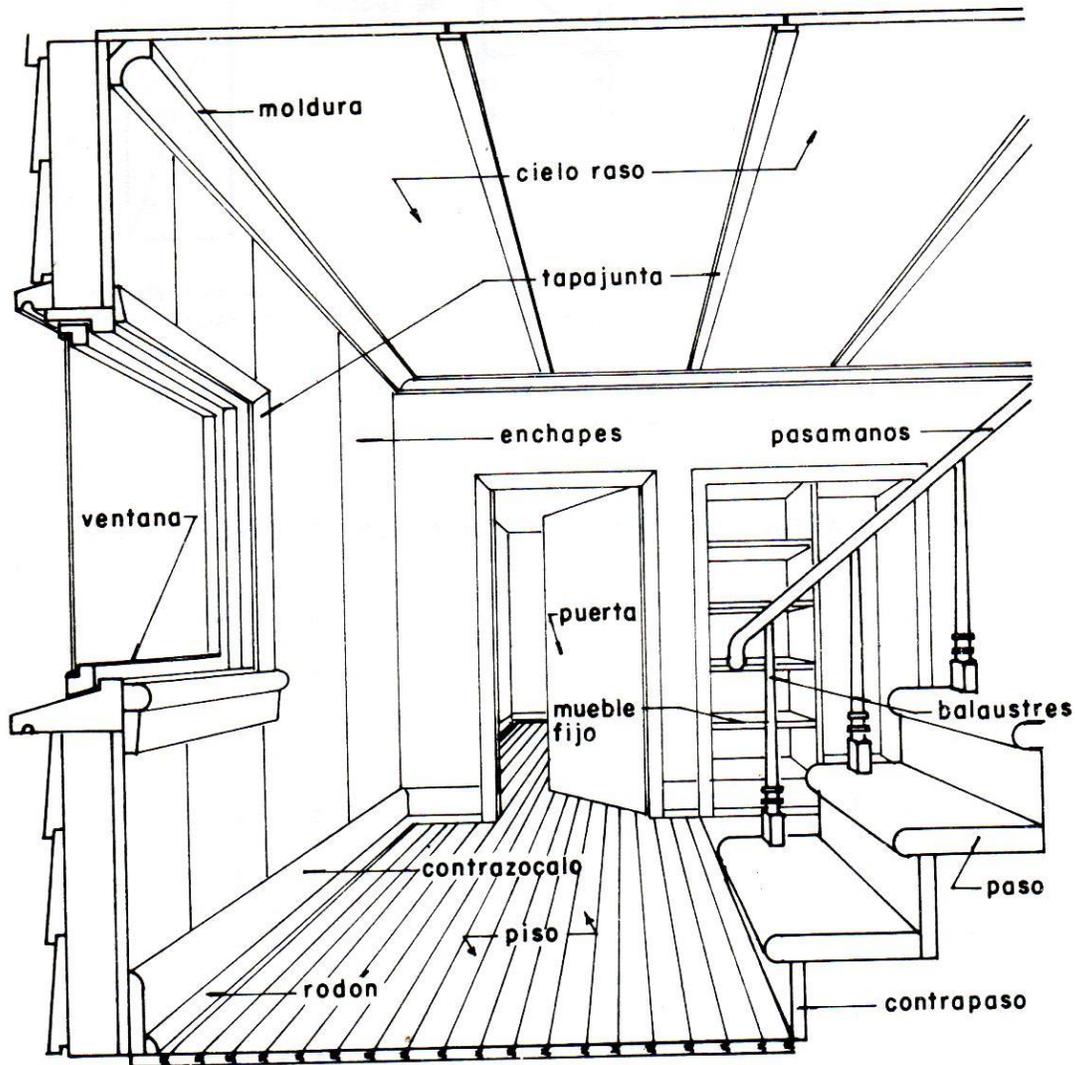


Figura 3. 17 Madera de construcción no estructural (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

La madera estructural debe tener buena durabilidad natural o estar adecuadamente preservada. Adicional, deben aplicarse en el diseño aquellos detalles constructivos destinados a proteger la edificación contra agentes dañinos a la madera (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984). Esta variedad da pie a la necesidad de clasificar las maderas para limitar su uso a un grupo que cumpla con los requerimientos necesarios que van a depender del uso destinado a la madera (Tabla 3.8 y Tabla 3.9).

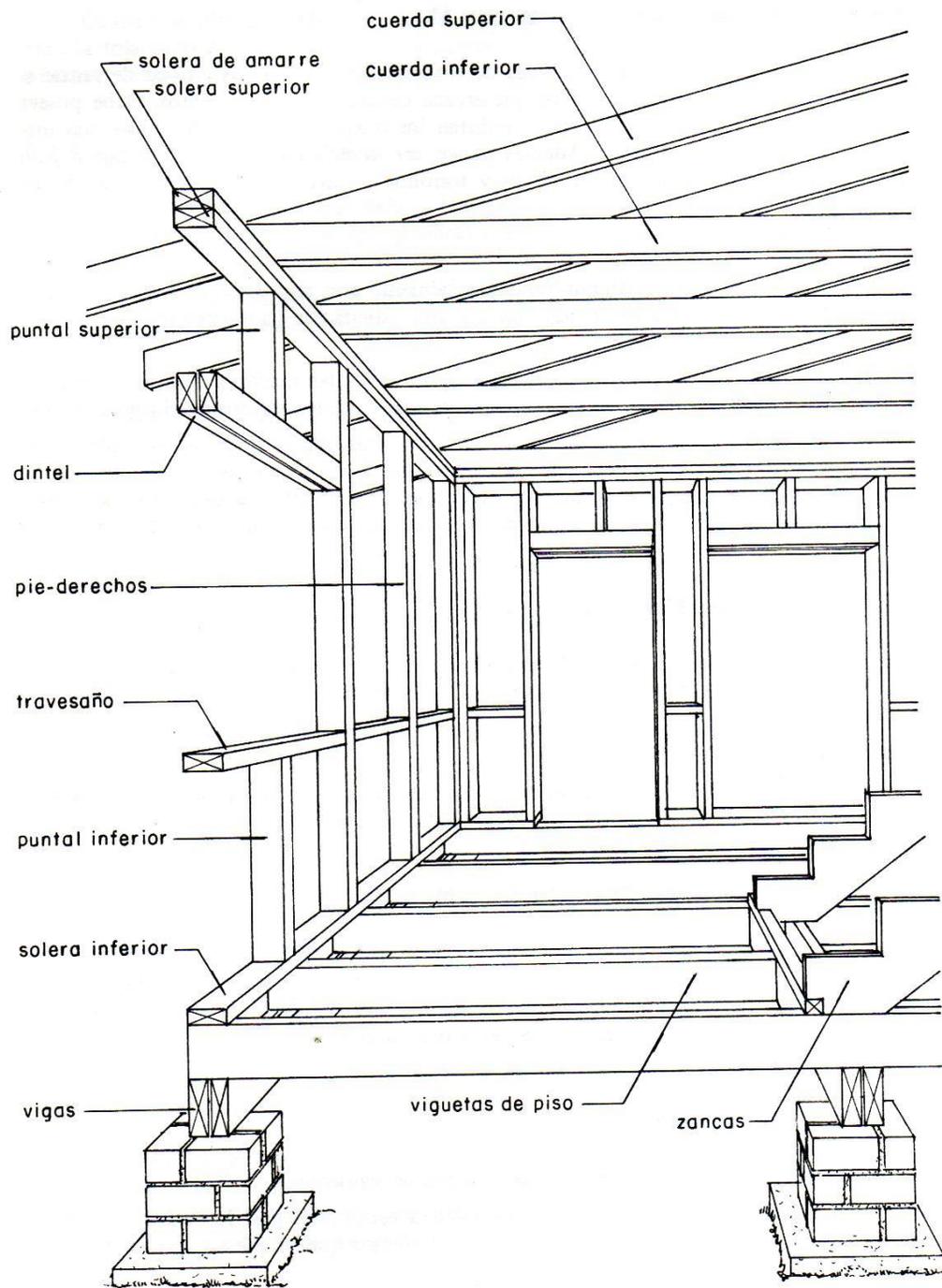


Figura 3. 18 Madera de construcción estructural (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Los defectos son anomalías o irregularidades que afectan el comportamiento estructural y la apariencia de la madera. Los defectos que se toman en cuenta para la clasificación de la madera son los siguientes:

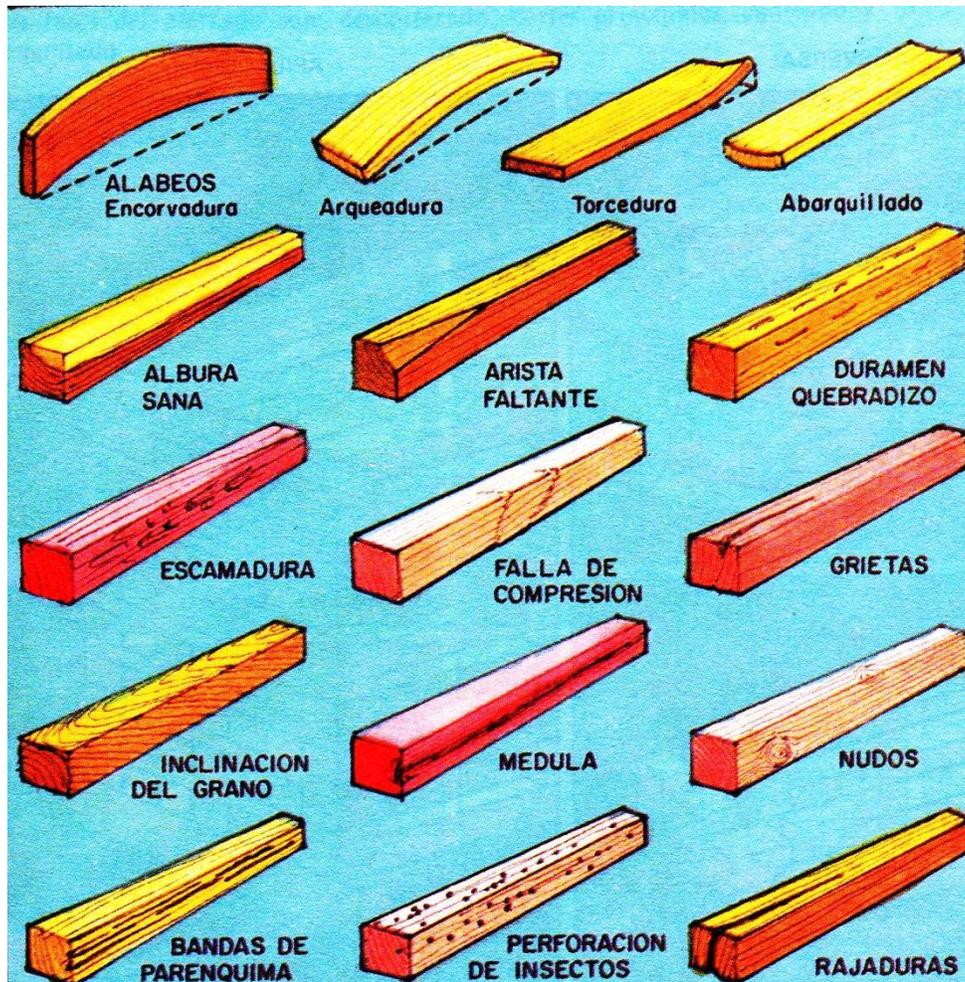


Figura 3. 19 Defectos tomados en cuenta para la clasificación de la madera (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1980).

Tabla 3. 8 Grupos de especies estudiadas en el PADT-REFORT para madera estructural de Venezuela (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena,1984).

Grupo	Nombre Común	Nombre Científico
A	Algarrobo	Hymenae courbaril
	Mora	Mora gonggrijpii
	Perhuétamo	Mouriri Barinensis
	Zapatero	Peltogyne porphyrocardia
B	Aceite cabimo	Copaifera pubiflora
	Apamate	Tabebuia rosea
	Charo amarillo	Brosimum alicastrum
	Chupón rosado	Pouteria anibifolia
	Guayabón	Terminalia guianensis
	Pardillo amarillo	Terminalia amazonia
C	Carne asada	Hieronyma laxiflora
	Mureillo	Erismia uncinatum
	Samán	Pithecellobium saman
	Saqui saqui	Bombacopsis quinata

Las propiedades mecánicas de la madera, especialmente el esfuerzo de rotura en flexión (módulo de rotura), están correlacionados con la densidad básica (véase en la sección 3.2.2 Tabla 3.2). Por lo tanto, el agrupamiento de las especies en tres grupos está basado (con algunas excepciones) en las densidades. Los límites entre grupo han sido establecidos considerando tanto las características de resistencia como de rigidez (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Tabla 3. 9 Clasificación de las especies de madera (Adaptado de Estructuras de madera (M.O.P. 1955)).

Clasificación	Nombre común de la madera	Nombre científico de la madera
A1 Maderas muy Duras	Araguaney	Tecoma-Chrisantha
	Bálsamo	Myroxilum Toluiferum
	Canalete	Cordia Spondioides
	Cartán	Centrolubium Orinocensi
	Curarí	Tecoma-Serratifolia
	Gateado	Astronium Graveolens
	Granadillo (Ebano)	Libidibia Granadillo
	Mora	Chlorophora Tinctoria
	Pilón	Andira inermis
	Roble	Catalpa longisiliqua
	Vera	Burmesia roborea
A2 Maderas Duras	Angelino	Homalium pedicellatum
	Carreto	Sickingia eritroxylon
	Orozul	Calatula Venezuelana
	Pardillo	Cordia alliodora
	Pitchpine	
A2 Maderas Semi - Duras	Apamate	Tecoma. Pentaphilla
	Caoba	Swietenia. Candollei
	Jabillo	Hura crepitans
	Hueso de pescado	Enterolobium
	Samán	Samanea
Maderas Blandas	Balsa	
	Cedro	
	Majagua	

3.9 El caso del Pino Caribe

El Pino caribe, (*Pinus caribea*, var. *Hondurensis*), es una conífera de crecimiento rápido originaria de México y América Central, principalmente de Belice, Honduras, Nicaragua y Guatemala; es decir, a lo largo del lado Caribe de América Central. También es nativo de las Bahamas y Cuba (CVG-PROFORCA, 1994).

Este árbol propio de las pequeñas elevaciones ha sido ampliamente introducido en plantaciones tropicales de África y en Suramérica (CVG-PROFORCA, 1994)

El Pino caribe fue introducido en Venezuela a partir de 1961. Hoy en día, en el sur de los Estados Anzoátegui y Monagas se cuenta con cerca de 500.000 hectáreas de plantación. También se le ha plantado, en menor escala, en los Estados Andinos, Llanos Occidentales, Carabobo, Yaracuy y Guayana Venezolana (Fig. 3.20) (CVG-PROFORCA, 1994).

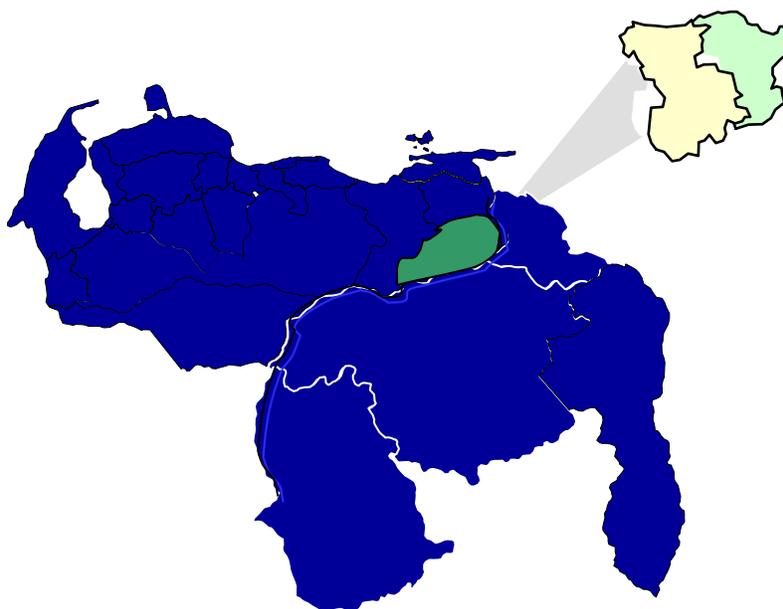


Figura 3. 20 Ubicación geográfica de las plantaciones de Pino Caribe (Tomado de Molina, 2006)

La madera de Pino caribe es de color amarillo claro, olor resinoso, el veteado es suave y longitudinal (Fig. 3.21); no presenta sabor distintivo (Molina, 2006).

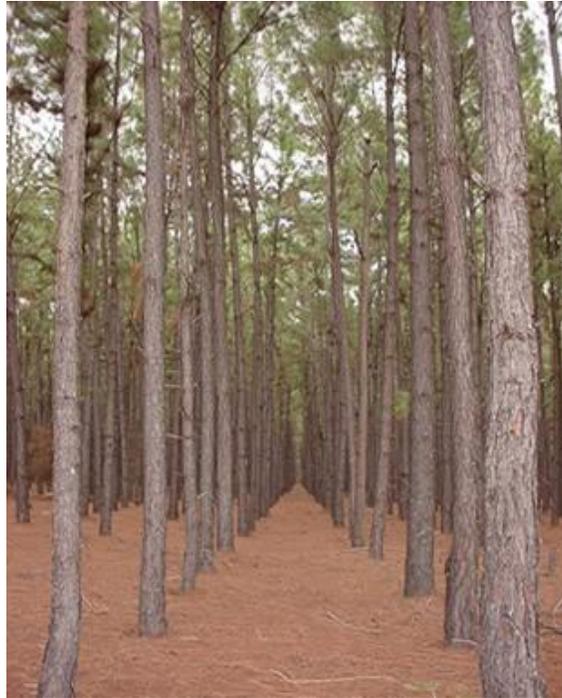


Figura 3. 21 Plantación de Pino Caribe (Tomado de Molina, 2006)

La densidad del Pino caribe es de $0,48 \text{ gr/cm}^3$, al 12% de contenido de humedad (LABONAC, 1978). Sus propiedades mecánicas son bastante similares a las del *Pinus elliotti* (Slash pine) (Molina, 2006).

El Pino caribe es utilizado en la construcción, la carpintería interior y exterior, en la fabricación de muebles y juguetes, machihembrados, molduras, pisos de canchas. La madera de Pino caribe también es utilizada para mueblería, ebanistería, fabricación de paletas, embalajes, encofrados, y formaletas. Su madera tratada es apta y confiable para usos a la intemperie o sumergida en agua (CVG-PROFORCA, 1994).

La lista de usos posibles de la madera del Pino caribe es evidentemente muy extensa pero, es importante hacer resaltar el hecho de que es la “madera de obra” que le faltaba al país, ya que presenta las características imprescindibles (CVG-PROFORCA, 1994). Entre ellas podemos mencionar:

- Dimensiones normalizadas
- Precios notablemente accesibles
- Durabilidad garantizada por tratamiento de acuerdo con normas Internacionales

- Disponibilidad inmediata y a largo plazo dada la superficie plantada
- Propiedades mecánicas conocidas.

La madera de Pino caribe es similar a la de los pinos sureños de los Estados Unidos (Longleaf pine -P. Palustres-, Shortleaf pine -P. Echanata-, Loblolly pine P. Lamberiana) o el pino radiata chileno. En construcción puede ser aplicada en puentes, muelles, cerchas para techos, vigas, pies derechos, viguetas, postes y pilotes. También como material de acabado interior, revestimientos y pisos.



Figura 3. 22 Ejemplo de estructuras hechas con madera (Tomado de Molina, 2006)



Figura 3. 23 Ejemplo de estructuras hechas con Pino Caribe (Tomado de Molina, 2006)

3.9.1 Características

Es fácil de aserrar. Su secado al aire es rápido y se seca satisfactoriamente en estufa. El secado artificial, además de acelerar el proceso, minimiza defectos tales como: torceduras y agrietamientos, los cuales ocurren principalmente en las primeras fases de secado (CVG-PROFORCA, 1995).

Se trabaja fácilmente en todas las operaciones de labrado mecanizado; es fácil de labrar con herramientas manuales y mecanizadas. El contenido de humedad influye directamente sobre la resistencia al corte, eficiencia en la operación, y calidad de superficies resultantes (CVG-PROFORCA, 1995).

Absorbe muy bien los perseverantes hidrosolubles por medio de tratamientos a presión. Su comportamiento con los conectores metálicos es bueno. Acepta bien los barnices, tintes y pinturas y se puede encolar (CVG-PROFORCA, 1994).

Las características físico - mecánicas y de trabajabilidad de la madera de Pino Caribe permiten ubicarla en el Grupo Estructural “ C “ de la clasificación propuesta por la Junta de Acuerdo de Cartagena, que reúne a las maderas con Densidad Básica entre 0,4 y 0,55 gr/cm³ y esto la define como material propicio para la construcción de estructuras (Molina, 2006).

3.9.2 Propiedades físicas

Tabla 3. 10 Propiedades físicas del Pino Caribe (Tomado de Molina, 2006).

Humedad equilibrio	18 %
CH. promedio seca en cámara	12 %
Densidad básica (DB)	0,48 gr/cm ³
Densidad verde (DV)	0,98 gr/cm ³
Densidad seca al aire (DSA)	0,56 gr/cm ³

3.9.3 Propiedades mecánicas

Tabla 3. 11 Propiedades mecánicas del Pino Caribe (Tomado de Molina, 2006).

Propiedades	Kg/cm²
Módulo de elasticidad mínimo ($E_{\min} = E_{0,05}$)	55.000
Módulo de elasticidad promedio (E_{prom})	90.000
Flexión (fm)	100
Compresión paralela (fc)	80
Compresión perpendicular (fc \perp)	15
Corte (fv)	8
Tracción paralela (ft)	75

3.10 Análisis y diseño estructural

3.10.1 Métodos de análisis

Este proyecto se limitara a estructuras analizadas por procedimientos convencionales de análisis lineal y elástico. La determinación de los efectos de las cargas en los elementos estructurales debe efectuarse con hipótesis consistentes y con los métodos aceptados en la buena práctica de la ingeniería.

La madera, por presentar propiedades mecánicas diferentes en direcciones diferentes es un material anisotrópico. Sin embargo, por razones de simplicidad, en ingeniería la madera puede ser tratada como un material ortotrópico, con direcciones características definidas según la orientación de las fibras (radial, tangencial y longitudinal). La simplificación es aún mayor cuando se analizan elementos lineales como vigas y columnas, pues en estos casos se considera a la madera como si fuera un material homogéneo e isotrópico.

Por lo general, se considera adecuado analizar elementos estructurales de madera suponiendo que tiene un comportamiento lineal, esto porque para cargas que producen esfuerzos por debajo de los admisibles, el comportamiento es esencialmente lineal.

3.10.2 Métodos de diseño

El Método de diseño usado para elementos de madera debe ser por cargas de servicio o método de los esfuerzos admisibles. Considerando básicamente los Requisitos de Resistencia y los Requisitos de Rigidez.

Actualmente la tendencia general en el diseño de estructuras es hacia el diseño en resistencia última (caso del hormigón y del acero). Pero, debido a que por el momento no se dispone información confiable acerca del comportamiento de las maderas tropicales en las estructuras, no se puede hacer el diseño en condiciones límites.

a) Requisitos de resistencia

Los elementos estructurales de madera deben diseñarse de tal manera que los esfuerzos aplicados, producidos por las cargas de servicio, sean iguales o menores a los esfuerzos admisibles del material, es decir:

$$\text{Esfuerzos aplicados} \leq \text{Esfuerzos admisibles}$$

b) Requisitos de rigidez

En los elementos de madera las deformaciones causadas por las cargas de servicio deben ser menores o iguales a las admisibles. Estas deformaciones admisibles dependen del tipo de elementos.

$$\text{Deformaciones producidas} \leq \text{Deformaciones admisibles}$$

3.10.3 Cargas

Las estructuras de madera deben diseñarse para soportar los siguientes tipos de cargas:

- Peso propio y otras cargas permanentes o cargas muertas.
- Sobrecargas de servicio o cargas vivas.
- Sobrecargas de sismos, vientos, nieve y temperatura.

Es conveniente aclarar que cuando las cargas vivas sean de aplicación continua o de larga duración con relación a la vida útil de la estructura, éstas se debe considerar como cargas muertas (caso de bibliotecas, almacenes, etc.) para efectos de la determinación de deformaciones diferidas.

3.10.4 Protección contra los sismos

Principios Generales de Diseño

Buen criterio de diseño, materiales apropiados y una construcción segura son los aspectos que deben tomarse en cuenta en cualquier tipo de edificación para garantizar un buen comportamiento sísmico.

Adicionalmente a los conceptos generales tradicionales que se toman en cuenta para diseñar estructuras antisísmicas, es conveniente considerar algunos aspectos más directamente relacionados con construcciones a base de madera:

- La respuesta de estructuras en sismos pasados sugiere que es muy importante fijar todos los elementos entre sí a través de soleras de amarre, riostras, travesaños, etc que incluyan a los componentes portantes como a los no portantes. Esto es particularmente aplicable en los sistemas tipo entramado, que están formados por muchas piezas de madera de poca sección y longitud donde la unidad estructural se basa en el éxito del proceso de fabricación y de los mecanismos de unión.
- Es recomendable proveer flexibilidad en las uniones, que es posible obtener mediante el uso de clavos o pernos como elementos de unión. Desde este punto de vista las uniones encoladas no son recomendables entre elementos sometidos a cargas cíclicas debidas a la vibración sísmica.

- Prestar especial atención a la forma de fijación de chimeneas de ladrillo, parapetos, cornisas, balcones e inclusive tanques de agua en el techo, pues salvo que se tomen las debidas precauciones pueden resultar muy peligrosos para los usuarios o transeúntes si llegaran a desprenderse de su posición original.
- En casos de muros cortafuego o paredes medianeras hechas de mampostería, es importante que estos satisfagan las especificaciones para cargas sísmicas de los códigos locales para resistir adecuadamente el corte horizontal que se presenta.
- Cuando mayor sea el peso de la cobertura, mayores serán las fuerzas de inercia que se producirán durante un sismo. Si la edificación tiene una cobertura de poco peso, la acción sísmica y el riesgo de desprendimiento será menor y menores las deformaciones. Si por el contrario el techo es muy pesado, se hace notoria la diferencia de masas con la estructura liviana de madera que la soporta y se traduce en mayores efectos sobre la edificación.
- Movimientos sísmicos severos aumentan invariablemente el riesgo de incendios o aniegos y se deben tomar precauciones en el diseño tanto de las instalaciones electromecánicas como de las sanitarias empleando criterios de tolerancia en las conexiones que permitan absorber desplazamientos inesperados de las mismas. El uso de conexiones especiales o detalles constructivos adecuados son también apropiados.

3.11 Uniones o conexiones

Las viviendas con estructura en madera se materializan uniendo dos o más elementos independientes que convergen en un punto, conformando la estructura soportante. Estas intersecciones de elementos estructurales dan origen a nudos o uniones (sectores más vulnerables de las construcciones de madera), los cuales deben ser resueltos en el diseño considerando aspectos estructurales (resistencia y transmisión de las cargas), arquitectónicos (si quedará a la vista o no el nudo) y constructivos (procedimientos y consideraciones para la materialización de la unión) (CORMA, s.f.).

Estructuralmente estos nudos deben ser capaces de transmitir los esfuerzos de un elemento a otro, sin comprometer la rigidez y geometría del sistema estructural, donde los esfuerzos de compresión se transmiten por simple apoyo y los de tracción, que requieren de

un mayor análisis para dar continuidad a la estructura, se resuelven mediante fijaciones que traspasarán los esfuerzos de un elemento a otro (CORMA, s.f.).

En general, todas las piezas estructurales y ensambles deben ser capaces de soportar con adecuada estabilidad y rigidez, la totalidad de las cargas y otras sollicitaciones que pueden ser razonablemente esperadas durante su montaje, construcción y uso, sin exceder las tensiones de diseño y deformaciones admisibles (CORMA, s.f.).

Para asegurar un diseño resistente y estable será necesario:

- Considerar la geometría de la estructura.
- Estudiar y comprobar toda interacción y unión que se requiera entre los elementos estructurales de madera y entre ellos y otras partes de la estructura.
- Proporcionar elementos de arriostamiento o diafragmas adecuados en los planos paralelos a la dirección de las fuerzas laterales que actúan sobre la estructura.

3.11.1 Clasificación

De acuerdo al material que se emplea para materializar la unión, éstas se clasifican en:

- Uniones clavadas.
- Uniones empernadas.
- Uniones atornilladas.
- Uniones con tirafondos.
- Uniones con conectores.

En estos tipos de unión las piezas de madera no son modificadas en su forma original, utilizan piezas metálicas que las atraviesan, por esta razón se reconocen dos tipos de resistencia:

- Resistencia al corte o cizallamiento.
- Resistencia a la extracción.

Existen otras formas de unión en las que se deben realizar cortes en las piezas para poder ser unidas y garantizar la transmisión de cargas, ellas son los:

- Ensamblés.
- Empalmes.

3.11.2 Uniones clavadas

Los clavos son alambres de fierro o acero galvanizado que son introducidos en la madera mediante golpes que se aplican en uno de sus extremos aplanados, llamado cabeza. Los clavos se utilizan generalmente en tablas y piezas hasta de 2" de espesor, pero no son convenientes en uniones de piezas gruesas (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Las uniones clavadas son las más económicas para estructuras de viviendas y otras edificaciones pequeñas. Las uniones utilizadas en estas edificaciones soportan cargas relativamente pequeñas. Las características de estas uniones responden más bien a criterios constructivos, en todos los casos el mínimo número de clavos que se debe utilizar es de dos (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Todas las especies de madera del grupo estructural "C" y muchas del grupo "B" pueden clavarse fácilmente, más aún si la madera está verde ($CH > 30\%$); las maderas de mayor densidad y/o secas son más difíciles de clavar. Para clavar maderas del grupo estructural "A" es conveniente realizar un pre-taladrado con un diámetro del orden de 0.8 veces el diámetro del clavo a utilizarse (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

La carga admisible de una unión clavada depende principalmente de:

- La madera utilizada (tipo y condición).
- Los clavos (calidad, longitud, diámetro y número).
- Espesores de los elementos a unirse y penetración de los clavos en ellos.

Los procedimientos descritos a continuación estarán basados en el Manual de Diseño del Grupo Andino.

❖ Procedimiento de diseño para uniones clavadas.

El procedimiento para diseñar éste tipo de uniones Esta basado en se puede esquematizar de la siguiente manera:

- Uniones sometidas a cizallamiento o corte
 - 1) Establecer bases de cálculo
 - a. Grupo de madera utilizado.
 - b. Cargas actuantes en la unión y su orientación con respecto a las piezas de madera.
 - 2) Seleccionar la longitud y el diámetro de los clavos. Es conveniente usar clavos de la mayor longitud posible (si se quiere, usar como guía de acuerdo al elemento a clavar las Tablas 13.16 y 13.17 del *Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino*).
 - 3) Determinar la carga admisible para un clavo a simple cizallamiento (usar Tabla 3.12)
 - a. Clavos a doble Cizallamiento, multiplicar por 1.80 valores de la Tabla 3.12.
 - b. Clavos lanceros, multiplicar por 0.83 valores de la Tabla 3.12.
 - c. Clavos a Tope, multiplicar por 0.67 valores de la Tabla 3.12.
 - 4) Para uniones construidas con madera seca, se puede multiplicar por 3.12.
 - 5) Verificar espesores mínimos y longitudes de penetración; eventualmente reducir las cargas admisibles por clavo.
 - 6) Determinar el número de clavos y su ubicación.

- Uniones sometidas a extracción
 - 1) Establecer bases de cálculo
 - a. Grupo de madera utilizado.
 - b. Cargas actuantes en la unión y su orientación con respecto a la dirección de los clavos.
 - 2) Seleccionar la longitud y el diámetro de los clavos. La longitud debe ser entre 2 y 3 veces el espesor del elemento que contiene la cabeza del clavo.
 - 3) Determinar la longitud de penetración: “a”, en el elemento que contiene la punta del clavo, y calcular la carga admisible para un clavo perpendicular al grano usar la Tabla 5.5.

- 4) Para clavos lanceros multiplicar por $\frac{2}{3}$ los valores de la Tabla 3.16. Los clavos paralelos al grano de la madera que contiene a la punta no pueden considerarse resistentes (llamados clavos a tope).
- 5) Uniones construidas con madera seca, se puede duplicar la carga admisible.
- 6) Determinar el número de clavos y su ubicación.

1) Uniones sometidas a cizallamiento

Cargas Admisibles:

La carga admisible de una unión clavada depende de muchos factores, como el tipo de madera utilizada y su condición, la calidad, longitud y cantidad de clavos, espesores de los elementos de penetración, etc.

Las cargas admisibles en condiciones de servicio para un clavo se dan a continuación, y están en dependencia al tipo de Cizallamiento al que se encuentre los clavos en la unión.

a) Cizallamiento Simple:

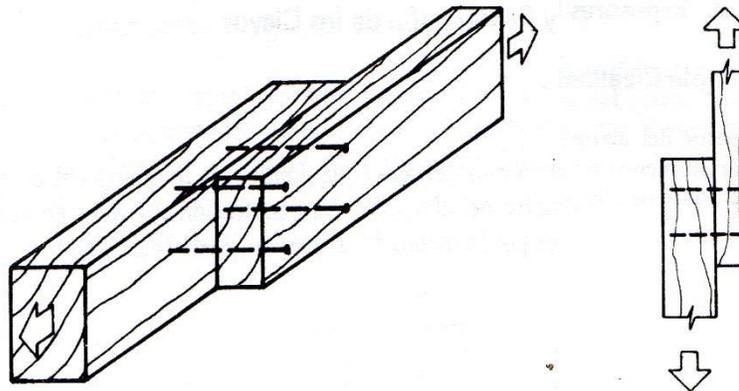


Figura 3. 24 Unión clavada sometida a cizallamiento simple (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Para lo cual se da una tabla con los valores admisibles para un clavo perpendicular al grano y sometido a simple cizalle, y en esta tabla se considera la longitud y el diámetro del clavo, así como el grupo estructural de madera a utilizar (Tabla 3.12).

Tabla 3. 12 Carga admisible por clavo- simple cizallamiento (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

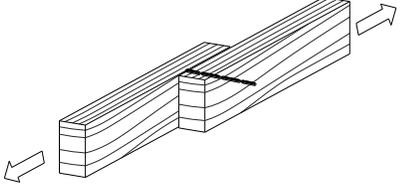
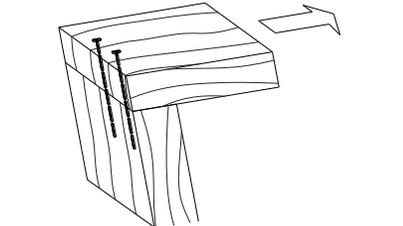
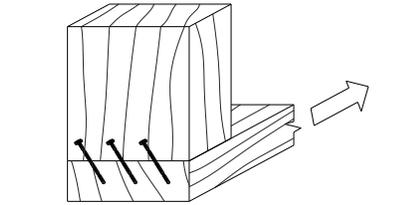
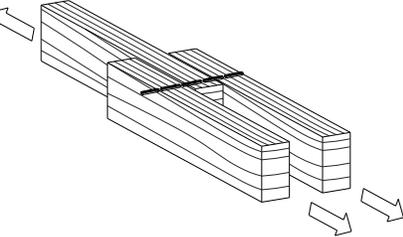
Longitud (L)		d mm	Carga Admisible, kg		
mm	pulg		Grupo A**	Grupo B	Grupo C
51	2	2.4	36	28	20
		2.6	40	31	22
		2.9	46	36	25
		3.3	53	42	30
63	2 1/2"	2.6	40	31	22
		2.9	46	36	25
		3.3	53	42	30
		3.7	61	48	35
76	3	3.3	53	42	30
		3.7	61	48	35
		4.1	70	54	39
89	3 1/2"	3.7	61	48	35
		4.1	70	54	39
		4.5	78	61	44
102	4	4.1	70	54	39
		4.5	78	61	44
		4.9	87	68	49

(**) Para clavar maderas del grupo A se requiere pre-taladro.

Cabe señalar que los valores de la anterior tabla son para maderas construidas con uniones húmedas (C.H. \geq 30%); para uniones construidas con madera seca se puede incrementar las cargas admisibles en un 25% (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

- b) Otros Casos, como por ejemplo un clavo sometido a doble Cizallamiento, clavos lanceros, y clavos a tope, se determina su carga admisible multiplicando los valores de la tabla 3.12 por factores que corresponden a cada caso, y que se dan en la tabla 3.13 (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Tabla 3. 13 Factores modificatorios de las cargas admisibles para uniones clavadas (Adaptado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Tipo de Unión	Esquema	Factor
a. Cizallamiento simple, clavo perpendicular al grano		1.0
b. Cizallamiento simple, clavo a tope(paralelo al grano de la madera que contiene la punta)		0.67
c. Cizallamiento simple, clavos lanceros		0.83
d. Doble cizallamiento, clavo perpendicular al grano		1.80

II) Espesores mínimos y penetración de los clavos.

a) Cizallamiento Simple

El espesor de la madera más delgado (que contiene la cabeza del clavo) debe ser por lo menos 6 veces el diámetro del clavo: $6d$. La penetración del clavo en el elemento que contiene la punta debe ser por lo menos 11 diámetros: $11d$ (Fig. 3.25) (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

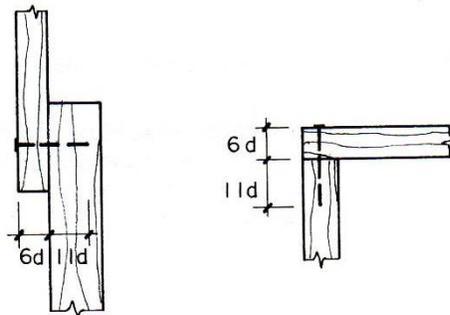


Figura 3. 25 Espesores mínimos y penetración de clavos sometidos a cizallamiento simple (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Si se tienen espesores o penetraciones menores, las cargas admisibles deben reducirse. El factor de reducción debe ser la menor de las relaciones:

- Espesor del elemento más delgado dividido entre $6d$.
- Penetración del elemento que contiene la punta dividido entre $11d$.

En ningún caso deben aceptarse espesores o penetraciones menores que el 50 % de los ($6d$, $11d$) antes indicados.

Para clavos lanceros estos mínimos no son aplicables. Los clavos lanceros deben ser introducidos en puntos ubicados a una distancia igual a $1/3$ de la longitud del clavo a partir del plano de unión y formando un ángulo aproximadamente de 30 grados con la dirección del grano, como se muestra en la Fig. 3.26 (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

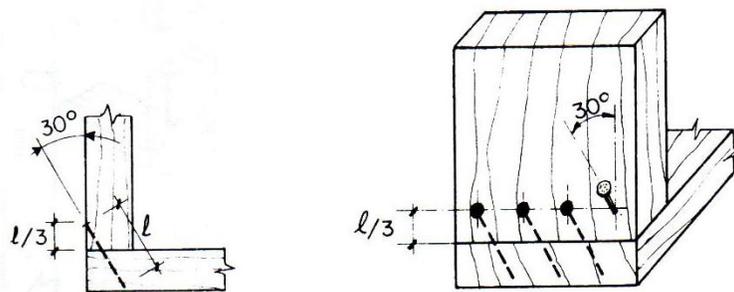


Figura 3. 26 Ubicación de clavos lanceros (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

b) Cizallamiento Doble

El espesor del elemento central debe ser por lo menos igual a 10 veces el diámetro del clavo, $10d$. Tanto el espesor del elemento adyacente a la cabeza del clavo, como la penetración del clavo en el elemento que contiene la punta no deberán ser menores que 5 veces el diámetro del clavo, $5d$ (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

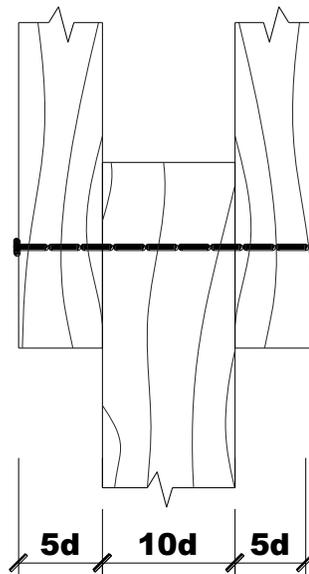


Figura 3. 27 Espesores mínimos y penetración de clavos sometidos a cizallamiento doble (Adaptado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Si no se cumplen los requisitos expuestos anteriormente, las cargas admisibles deben reducirse. El factor de reducción debe ser la menor de las relaciones:

- Espesor del elemento central dividido entre $10d$
- Espesor del elemento adyacente a la cabeza dividido entre $5d$
- Penetración del elemento que contiene la punta dividido entre $5d$

En ningún caso deben aceptarse espesores o penetraciones menores que el 50 % de los ($5d$, $10d$) antes indicados.

Si se clavan la mitad de los clavos desde cada lado, el espesor del elemento adyacente a la cabeza y la penetración del clavo en la madera que contiene la punta pueden promediarse para efectos de establecer la relación con la longitud $5d$.

III) Espaciamientos mínimos.

Los espaciamientos mínimos especificados son necesarios para evitar rajaduras al clavar la madera. Con frecuencia estos requisitos obligan a utilizar elementos de madera de dimensiones mayores a las estrictamente necesarias por resistencia.

En uniones constituidas por elementos de madera orientados en direcciones diferentes se deben verificar por separado los requisitos de espaciamiento en cada uno de ellos, resultando para la unión los que sean mayores en cada dirección.

a) Cizallamiento simple.

La distancia entre clavos y a los bordes o extremos de las piezas de madera deben ser mayores o iguales a los indicados en la tabla 3.14.

Tabla 3. 14 Espaciamiento mínimo para cizallamiento simple o cizallamiento doble clavado de un solo lado (Adaptado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Elementos cargados paralelamente al grano	A lo largo del grano		{ Espaciamiento entre clavos → 16d Distancia al extremo → 20d
	Perpendicular a la dirección del grano		{ Espaciamiento entre líneas de clavos → 8d Distancia a los bordes → 5d
Elementos cargados perpendicularmente al grano	A lo largo del grano		{ Espaciamiento entre clavos → 16d
	Perpendicular a la dirección del grano		{ Espaciamiento entre líneas de clavos → 8d Distancia al borde cargado → 10d Distancia al borde no cargado → 5d

Cuando se use un pre-taladrado, pueden usarse los espaciamientos mínimos siguientes (Tabla 3.15).

Tabla 3. 15 espaciamiento mínimo para simple cizallamiento con pre-taladrado o doble cizallamiento simétrico (Adaptado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Elementos cargados paralelamente al grano	A lo largo del grano		{ Espaciamiento entre clavos → 11d Distancia al extremo → 16d	
	Perpendicular a la dirección del grano			{ Espaciamiento entre líneas de clavos → 6d Distancia a los bordes → 5d
	Elementos cargados perpendicularmente al grano	A lo largo del grano		
		Perpendicular a la dirección del grano		{ Espaciamiento entre líneas de clavos → 6d Distancia al borde cargado → 10d Distancia al borde no cargado → 5d

b) Doble Cizallamiento.

Los espaciamientos mínimos recomendados varían de acuerdo a la dirección del clavado, es decir:

- Si todos los clavos son colocados al mismo lado.
- Si se colocan alternadamente de ambos lados.

Para el primer caso, los espaciamientos mínimos son los mismos que para simple cizallamiento recomendados en la tabla 3.14.

Para el segundo caso (doble cizallamiento simétrico) los espaciamientos mínimos son los de la tabla 3.15.

IV) Uniones sometidas a extracción.

En lo posible el diseño debe evitar que los clavos queden sometidos a fuerzas de extracción.

La fuerza de extracción que puede ser resistida por un clavo depende de:

- Grupo estructural (A, B, C) al que pertenece la madera utilizada, y su contenido de humedad.
- Longitud y diámetro de los clavos.
- Ubicación de los clavos en relación a los elementos de madera.
- Penetración de los clavos en la madera que contiene la punta.

Las expresiones que permiten evaluar la carga admisible para un clavo perpendicular al grano en función al grupo estructural se presentan en la tabla 3.16. Estos valores pueden duplicarse si se utiliza madera seca.

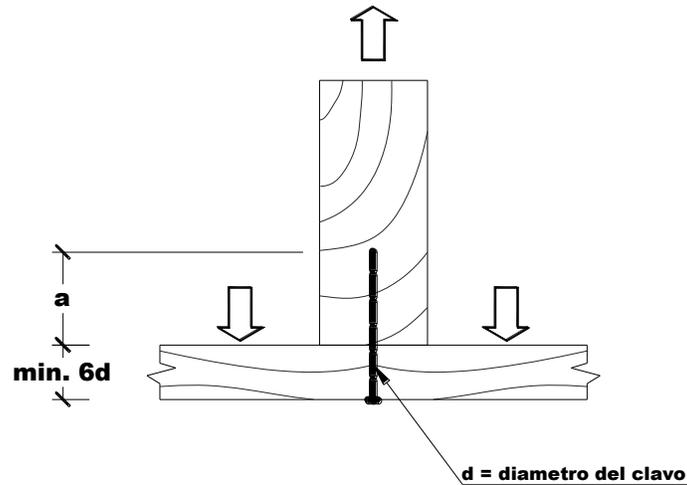


Figura 3. 28 Clavo sometido a fuerzas de extracción (Tomado de Universidad Mayor de San Simon. Facultad de Ciencias y Tecnología).

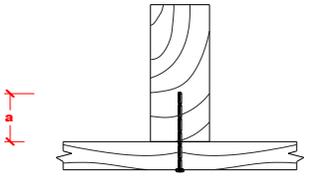
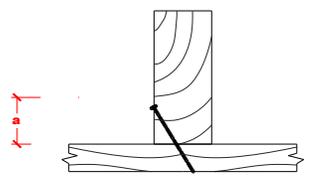
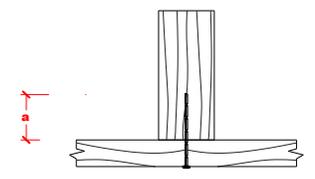
Tabla 3. 16 Carga admisible de extracción (Kg) (Tomado de Universidad Mayor de San Simon. Facultad de Ciencias y Tecnología).

Grupo		Clavo Perpendicular al Grano
A	↔	$8 \cdot a \cdot d$
B	↔	$6 \cdot a \cdot d$
C	↔	$4 \cdot a \cdot d$
a , d , deben considerarse en centímetros Los coeficientes se pueden duplicar si se usa madera seca		

Para clavos lanceros y clavos aproximadamente paralelos al grano de la madera, la carga admisible se determina multiplicando los valores calculados de la Tabla 3.16 por los factores indicados en la Tabla 3.17.

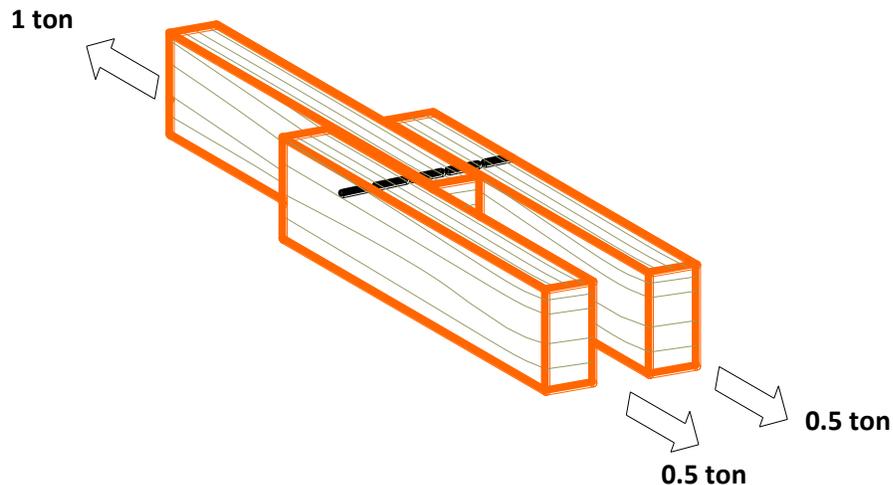
Como conclusión se puede decir que el diseño de buenas juntas clavadas requiere de un poco de ingeniería y mucha carpintería de buena calidad. Lo mejor sería que quien diseñe las juntas clavadas tenga un poco de experiencia real en carpintería.

Tabla 3. 17 Factores modificatorios de las cargas admisibles para uniones clavadas sometidas a extracción (Tomado de Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias y Tecnología).

Tipo de Unión	Esquema	Factor
a. Clavo perpendicular al grano		1.0
b. Clavo lancero		0.67
c. Clavo a tope (paralelo al grano)		0

Ejemplo

Se desea determinar el número de clavos para la siguiente unión. La madera central tiene de base 5 cm y de altura 10 cm; las maderas laterales son de 2.5cm de base y de 10 cm de altura. Se pide realizar la unión mediante clavos. Utilizar madera del grupo B.



Paso1) El grupo Estructural es el B, y la carga a la que se someterán los clavos es Doble Cizalle perpendicular a la fibra.

Paso2) De la tabla 5.1 se elegirá clavos de 3.5 pulgadas de longitud y 3.7 mm de diámetro

Paso3) Se determinan las cargas admisibles para este tipo de clavos:

De la tabla 3.13 se saca que se deben multiplicar por 1.80 los valores admisibles de la tabla 3.12.

Entonces:

$$P_{adm} = 48 \text{ kg} \cdot 1.80 = 86.4 \text{ kg.}$$

Paso4) Verificación de espesores mínimos:

- El espesor del elemento central debe ser por lo menos 10 veces el diámetro del clavo:

$$10d = 10 \cdot 3.7 = 37 \text{ mm} = 3.7 \text{ cm}$$

Como la base del elemento central es de 5 cm $\square \rightarrow$ **CUMPLE!**

- Tanto el espesor del elemento adyacente a la cabeza del clavo, como la penetración del clavo en el elemento que contiene la punta no deberán ser menores que 5 veces el diámetro del clavo:

$$5d = 5 \cdot 3.7 = 18.5 \text{ mm} = 1.85 \text{ cm}$$

Como la base del elemento que contiene la cabeza del clavo es de 2.5 cm

⇒ **CUMPLE!**

Sumando la base del elemento exterior que contiene la cabeza del clavo más la base del elemento central, y este valor restando a la longitud del clavo, se determina cuanta penetración tiene el clavo en el elemento que contiene la punta del clavo:

$$5 + 2.5 = 7.5 \text{ cm}$$

$$L_{\text{clavo}} = 8.9 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow \text{Penetración} = 8.9 - 7.5 = 1.40 \text{ cm}$$

1.40 cm < 1.85 cm ⇒ Reducir la carga admisible del clavo.

Entonces:

$$\text{Factor de reducción} = \frac{1.40}{1.85} = 0.76$$

Entonces la resistencia admisible por clavo será:

$$P_{\text{adm}} = 86.4 \text{ kg} \cdot 0.76 = 65.66 \text{ kg.}$$

Paso5) Determinación de número de clavos:

$$\# \text{Clavos} = \frac{\text{Carga}}{P_{\text{adm}}} = \frac{500}{65.66} = 7.61 \cong 8 \text{ clavos}$$

3.11.3 Uniones empernadas

Son uniones desmontables de tipo puntual. El perno constituye uno de los medios de unión más antiguos y usados pese a que la capacidad de transmisión de carga en relación al consumo de acero es bastante reducida.

En el funcionamiento de una unión apornada se producen tres fases distintas en la transmisión de fuerzas:

- En un comienzo, y especialmente para pernos fuertemente apretados la unión trabaja por roce. Luego los pernos se ubican contiguos a la madera presionando las paredes de los agujeros.
- Esta presión que inicialmente es uniforme en su distribución sobre la superficie del agujero, con el aumento de la carga ahora no es uniforme debido al efecto flector que se produce en el perno, generándose concentraciones localizadas de tensiones en los bordes de la madera. El perno deformado se incrusta en la madera.
- Finalmente, esta deformación del perno es tal que los corrimientos que ha experimentado la unión superan ampliamente las deformaciones admisibles en uniones estructurales.

Para efectos de cálculo de uniones apornadas se considera la segunda fase.

Las uniones con pernos deberán realizarse de manera que exista contacto efectivo entre las piezas unidas. Si el contenido de humedad es alto, al efectuarse el montaje de la estructura en cuestión deberán hacerse inspecciones a intervalos no superiores a seis meses hasta verificar que los movimientos por contracciones han dejado de ser significativos. En cada inspección deberán apretarse los elementos de unión hasta lograr un contacto efectivo entre las caras de las piezas unidas. Además se recomienda que todos los elementos metálicos utilizados con madera húmeda tengan un tratamiento anticorrosivo (Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias y Tecnología).

Las uniones apornadas son particularmente eficientes con maderas de los grupos estructurales A y B, pero pueden utilizarse con maderas del grupo C (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Cuando se utilicen piezas metálicas de unión, los agujeros deberán localizarse de manera que queden correctamente alineados con los agujeros correspondientes en las piezas de madera. Se colocará una arandela entre la cabeza o la tuerca del elemento de unión y la madera para evitar esfuerzos de aplastamiento excesivos. Las arandelas podrán omitirse cuando la cabeza o la tuerca del elemento se apoyen directamente sobre una placa de acero (Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias y Tecnología).

Las cargas admisibles están basadas en resultados de ensayos efectuados a uniones con pernos según la norma ASTM D 1767 – 74, sometidos a doble cizallamiento. Estos resultados corresponden a 46 especies, con uniones cargadas paralelamente al grano o en dirección perpendicular al grano del elemento central y con relaciones entre el espesor del elemento central y el diámetro del perno (Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias y Tecnología).

1) Uniones sometidas a cizallamiento doble.

Las cargas admisibles que se presentan en la Tabla 3.18 son directamente aplicables a uniones sometidas a doble cizallamiento para el caso en que el espesor de cada uno de los elementos laterales es igual a la mitad del espesor del elemento central. Esto es aplicable tanto para cargas paralelas como perpendiculares al grano. Para aquellos casos en que el espesor de los elementos laterales no alcanza a ser la mitad del espesor del elemento central, se ha optado por considerar como útil solamente el doble del espesor de los elementos laterales. Para los casos en que el espesor del elemento central no llega a ser el doble de los laterales, se recomienda que el espesor útil de los elementos laterales sea sólo la mitad de aquel elemento central.

Tabla 3. 18 Cargas admisibles para uniones apernadas-doble cizallamiento (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

L				GRUPO		GRUPO		GRUPO		
	cm.	d cm.	d pulg.	L/d	A		B		C	
					P kg	Q kg	P kg	Q kg	P kg	Q kg
2.0	0.63	1/4	3.2	195	88	131	58	75	34	
	0.95	3/8	2.1	297	101	196	67	113	39	
	1.27	1/2	1.6	396	117	261	78	151	45	
	1.59	5/8	1.3	495	132	326	88	188	51	
3.0	0.63	1/4	4.8	229	124	179	88	113	51	
	0.95	3/8	3.2	438	152	294	101	169	59	
	1.27	1/2	2.4	594	176	392	117	226	68	
	1.59	5/8	1.9	743	198	489	132	282	77	
4.0	0.63	1/4	6.3	256	144	200	114	128	68	
	0.95	3/8	4.2	491	201	386	134	226	78	
	1.27	1/2	3.1	779	234	522	156	301	91	
	1.59	5/8	2.5	990	264	653	175	375	102	
	1.9	3/4	2.1	1188	299	783	199	452	116	
5.0	0.95	3/8	5.3	536	226	420	168	268	98	
	1.27	1/2	3.9	851	293	653	195	376	114	
	1.59	5/8	3.1	1217	330	816	219	470	128	
	1.9	3/4	2.6	1485	374	979	248	564	145	
6.5	0.95	3/8	6.8	591	260	463	206	297	127	
	1.27	1/2	5.1	943	345	739	253	471	148	
	1.59	5/8	4.1	1350	428	1061	285	611	166	
	1.9	3/4	3.4	1809	486	1273	323	734	188	
8.0	0.95	3/8	8.4	645	289	501	235	318	156	
	1.27	1/2	6.3	1024	385	799	303	511	182	
	1.59	5/8	5.0	1465	481	1148	351	731	205	
	1.9	3/4	4.2	1963	595	1544	397	903	232	
9.0	0.95	3/8	9.5	676	308	523	253	329	169	
	1.27	1/2	7.1	1072	409	835	326	535	205	
	1.59	5/8	5.7	1535	512	1200	395	766	230	
	1.9	3/4	4.7	2057	633	1614	447	1016	261	
10.0	0.95	3/8	10.5	704	325	544	270	339	181	
	1.27	1/2	7.9	1118	433	869	348	555	227	
	1.59	5/8	6.3	1600	541	1248	426	799	256	
	1.9	3/4	5.3	2144	669	1679	497	1070	290	

a) Influencia de la Orientación de las Fuerzas con Relación al Grano

Los valores indicados como P (Tabla 3.18) son cargas admisibles para el caso en que la fuerza en la unión sigue la dirección del grano, como se indica en la figura 3.29.

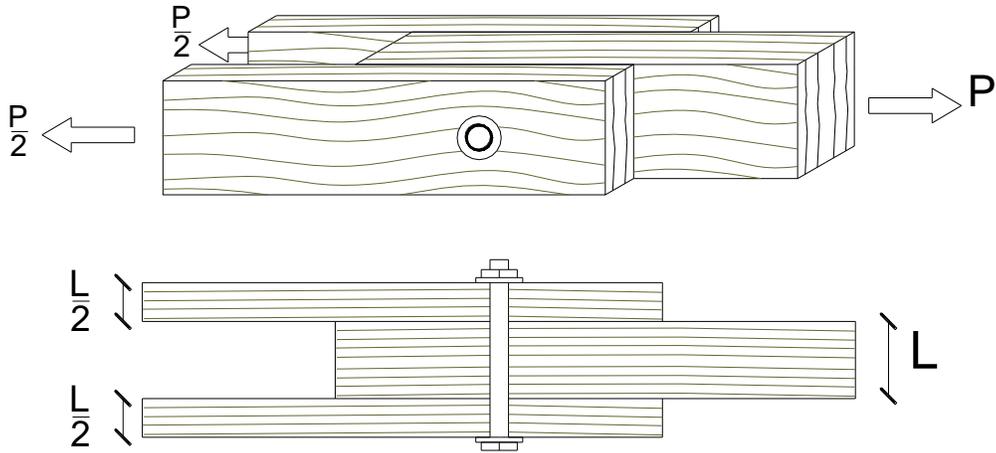
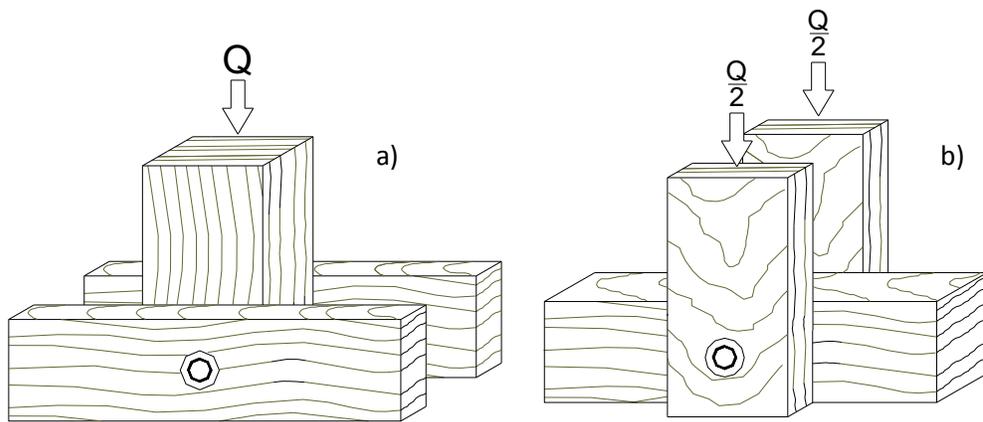


Figura 3. 29 Unión empernada a doble cizallamiento. Cargas paralelas al grano en todos los elementos (Tomado de Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias y Tecnología).

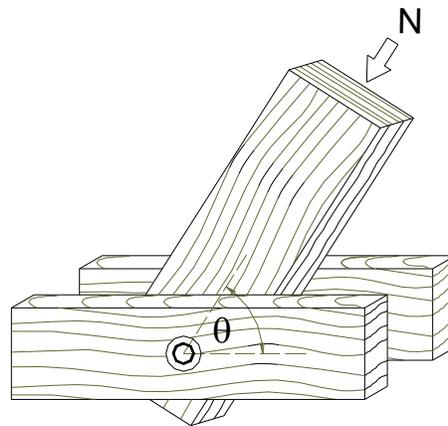
Las cargas admisibles cuando la fuerza es paralela al grano del elemento pero perpendicular al grano de los elementos laterales o viceversa (Figura 3.30) se indican como Q.



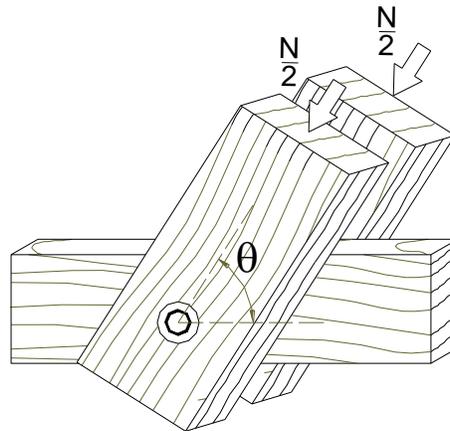
a) Cargas perpendiculares al grano en los elementos laterales y paralela al grano en el elemento central. b) Cargas perpendiculares al grano en los elementos laterales y paralela al grano en el elemento central

Figura 3. 30 Unión empernada a doble cizallamiento (Tomado de Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias y Tecnología).

Las cargas admisibles P y Q corresponden a dos situaciones límites. Si la carga aplicada sigue la dirección del grano en el elemento central pero forma un ángulo θ con la dirección del grano en los elementos laterales (Figura 3.31.a.) o viceversa (Figura 3.31.b.), la carga admisible puede determinarse con la fórmula de Hankinson (sec. 3.5 Ec. 3.2).



a)



b)

Figura 3. 31 Uniones emperradas, cargas inclinadas con relación al grano (Tomado de Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias y Tecnología).

b) Uniones con Pletinas Metálicas

Si los elementos laterales son pletinas metálicas, los valores indicados como P en la Tabla 3.18 pueden incrementarse en 25 %. No deben considerarse incrementos similares para cargas perpendiculares a la dirección del grano, Q. En ambos casos, L debe tomarse como el espesor del elemento central de madera (Figura 3.32). Las pletinas metálicas deben tener amplio margen de seguridad contra posibles fallas por corte o aplastamiento.

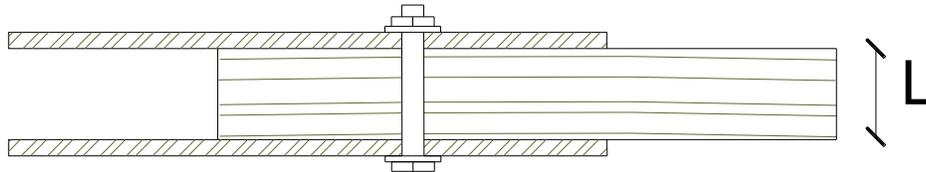


Figura 3. 32 Unión emperrada con pletinas metálicas (Tomado de Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias y Tecnología).

II) Uniones sometidas a cizallamiento simple.

La carga admisible para un perno sometido a simple cizallamiento puede considerarse como la mitad de la carga tabulada o calculada para una unión con doble cizallamiento. Para efectos de este cómputo, el elemento central debe tomarse con igual espesor y orientación que el elemento más grueso en la unión a simple cizallamiento; los elementos laterales deben considerarse con el espesor y orientación del elemento más delgado (Fig. 3.33).

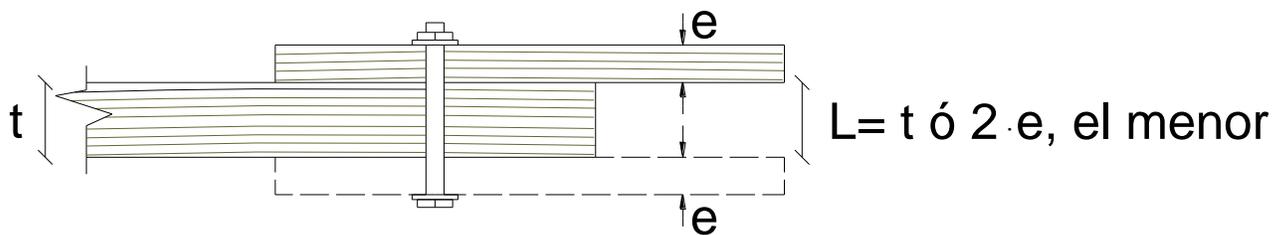


Figura 3. 33 Unión emperrada sometida a cizallamiento simple (Tomado de Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias y Tecnología).

III) Uniones sometidas a cizallamiento múltiple.

Para uniones apernadas de 4 ó más elementos, (Figura 3.34) la carga admisible puede determinarse sumando las cargas admisibles para cada plano de cizallamiento. Estas deben ser calculadas considerando los dos elementos adyacentes a cada plano y con el procedimiento indicado anteriormente.

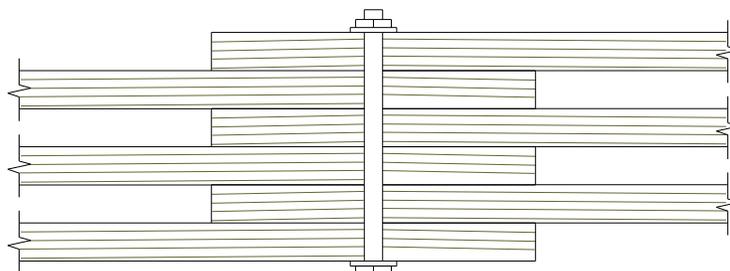


Figura 3. 34 Unión emperrada sometida a cizallamiento múltiple (Tomado de Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias y Tecnología).

Consideraciones para efectos combinados de corte y fuerza axial, además de los coeficientes de reducción de carga por Efecto de Grupo en las uniones apernadas son detalladas en el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. (Capítulo 12).

IV) Espaciamientos mínimos.

El espaciamiento entre pernos y las distancias entre éstos y los bordes de los elementos de madera deben ser suficientes para permitir que cada perno desarrolle toda su capacidad resistente.

En uniones constituidas por elementos de madera orientados en direcciones diferentes, se deben verificar por separado los requisitos de espaciamiento en cada uno de ellos, resultando para la unión los que sean mayores en cada dirección.

En lo que sigue, se define como línea de pernos a la que forman dos o más pernos en una línea paralela a la dirección de la carga.

a) Cargas paralelas a la dirección del grano

En elementos en los que las fuerzas aplicadas siguen la dirección del grano; la distancia entre pernos, separación de las filas y las distancias a los bordes y extremos deben ser mayores o iguales que las indicadas. Todas estas distancias deben medirse a partir del eje del perno.

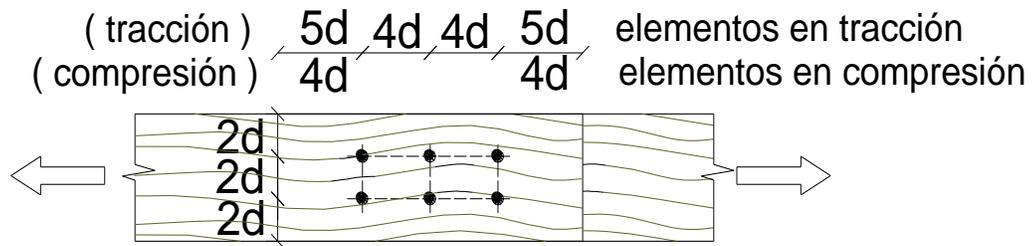


Figura 3. 35 Espaciamientos mínimos entre pernos, cargas paralelas al grano (Tomado de Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias y Tecnología).

b) Cargas perpendiculares a la Dirección del Grano

Para elementos cargados perpendicularmente a la dirección del grano, los espaciamientos mínimos y distancias entre filas y a los bordes y extremos se presentan en la Tabla 3.19.

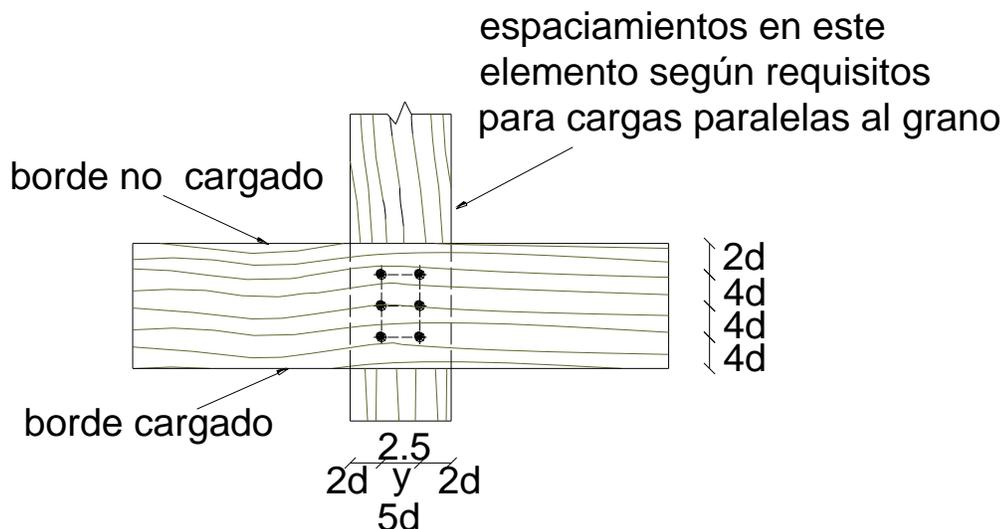


Figura 3. 36 Espaciamiento mínimo entre pernos, cargas perpendiculares al grano (Tomado de Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias y Tecnología).

Como se indica la separación o espaciamiento entre líneas de pernos, s , es función de la relación L/d . Para L/d mayor que 2 y menor que 6 se puede hacer una interpolación lineal. (Véase Fig. 12.18 “Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino”).

Tabla 3. 19 Espaciamientos mínimos para pernos (Tomado de Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Elementos cargados paralelamente al grano	A lo largo del grano	Espaciamiento entre pernos	4d
		Distancia al extremo en tracción	5d
		Distancia al extremo en compresión	4d
	Perpendicularmente a la dirección del grano	Espaciamiento entre líneas de pernos	2d*
		Distancia a los bordes	2d
Elementos cargados perpendicularmente al grano	A lo largo del grano	Espaciamiento entre líneas de pernos, s :	
		para $L/d \leq 2$	$s = 2.5d$
		para $L/d \geq 6$	$s = 5d$
	para $2 \leq L/d \leq 6$	$2.5d \leq s \leq 5d$	
	Perpendicularmente a la dirección del grano	Espaciamiento entre pernos	4d
Distancia al borde cargado		4d	
Distancia al borde no cargado		2d	

d = diámetro del perno

(*) Si el espaciamiento entre líneas es mayor de 12.5 cm. es recomendable usar elementos laterales separados para cada fila.

En los anexos 1 y 2 se presentan normas extranjeras para el diseño de conexiones que tomaran en cuenta otros tipos de conexiones.

3.12 Comentarios de la norma chilena NCh.1198-2006

- Es importante resaltar que Chile posee una norma específicamente destinada a las consideraciones sísmicas que es la NCh433, la cual aumenta el alcance sísmico en el diseño de la estructura.
- Toma en cuenta el efecto del viento que es un factor importante en las edificaciones de madera, el cual no aparece considerado en la literatura de nuestro país (NCh432).
- Las tensiones admisibles y módulos de elasticidad han sido profundamente estudiados para su madera más usada que es el Pino Radiata, y poseen factores de modificación para todo tipo de efectos que modifican el comportamiento de la

madera, como por ejemplo el contenido de humedad, la temperatura, el tipo de corte de la madera, etc.

- Se pueden calcular analíticamente elementos de madera de sección transversal circular ofreciendo las tensiones admisibles y módulos de elasticidad, así como los factores de modificación que difieren de los de elementos de sección rectangular.
- En el tema de las uniones que fue en el que hicimos énfasis, la norma considera primero tipos de conexiones que nosotros no hemos estudiado, como uniones con conectores de anillo, con placas metálicas dentadas, de contacto entre piezas de madera; y segundo también estudia los elementos de conexión de forma cilíndrica.
- Una parte importantísima es que también dedica un capítulo al cálculo de la madera laminada, que en nuestro país aún no la fabricamos, y que es una opción bastante atractiva por sus muchas ventajas, lo que servirá para futuras investigaciones.

3.13 Comentarios del Euro-Código 5-1995-1997

- Esta norma no cubre los requisitos especiales del cálculo sísmico. En el Eurocódigo 8 "Cálculo de estructuras en zonas sísmicas", que completa el Eurocódigo 5, se incluyen tales aspectos.
- Un punto resaltante es que aparecen las consideraciones para el cálculo por estados límites últimos, que en nuestro país no está desarrollado en la literatura, tomando en cuenta incluso las piezas compuestas o encoladas.
- Un aspecto importante es que dedica un capítulo al cálculo de la madera laminada, y también aparece el cálculo de vigas a dos aguas y de forma curvilínea, que en madera laminada es un tópico muy atractivo, ya que es una opción que ofrece muchas ventajas como ya lo mencionamos.
- En el tema de las uniones al igual que la chilena permite calcular otros tipos de conexiones que pueden ser muy útiles y que nosotros no aplicamos por falta de material teórico. Aparte de ello, considera el diseño de uniones de acero con madera que son necesarias cuando las tensiones en los nodos son muy altas y la madera se ve comprometida.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Es evidente el avance en materia teórica de las normas extranjeras con respecto a la última norma del país (1955), razón por la cual países vecinos están más avanzados en el uso de la madera como material estructural. Por ejemplo, el Eurocódigo considera los efectos del sismo tomando en cuenta las propiedades de la madera, así como la norma Chilena, cuando en las normas actuales de nuestro país las consideraciones sísmicas se hayan de una manera burda a partir del área bruta en planta. La norma chilena Nch-1198-2006 tiene bastantes avances en materia de conexiones sustentados por cantidad de ensayos realizados en su país, con normas que incluso especifican el diseño de la madera laminada, que en nuestro país no se produce desde hace tiempo y es un elemento de madera con amplio espectro de aplicación estructural. También tienen definidos muchos parámetros que van en función de ensayos realizados al Pino Radiata (su madera más utilizada en materia estructural), lo cual agiliza el cálculo para el caso de utilizar dicho material.

Este atraso puede deberse a la falta de cultura en construcción con madera estructural, pues se le suele considerar como un material de baja calidad no aplicable a nuestra zona por factores climáticos; otro factor a considerar en la escasa implementación de estructuras de madera en nuestro país es que las construcciones realizadas generalmente utilizan madera del grupo “A” con sistema estructural poste – viga; este tipo de madera es sumamente costosa lo cual también limita su aplicación. Sin embargo, de utilizar un sistema estructural como el entramado vertical podría usarse una madera del grupo “B” o “C”, en cuyo caso el costo resultaría competitivo con el de otros tipos de estructuras.

En cuanto al recurso forestal nuestro país cuenta con muchas hectáreas de Pino Caribe, del cual recopilamos en la investigación sus propiedades físico-mecánicas que nos permiten diseñar estructuras de madera para así poder estudiar o modelar diferentes casos de estructuras y analizar su comportamiento.

Los métodos de análisis y diseño siguen siendo por tensiones admisibles, lo cual castiga más a la edificación en el tamaño de las secciones aumentando el precio de la misma. Vemos que en el Eurocódigo 5 existe el análisis de estados límites últimos,

información que podríamos aprovechar si en un futuro se consiguen los parámetros necesarios de las maderas de Venezuela.

Existen muchos tipos de conexiones, algunas de las cuales no han sido consideradas en la norma regional, además de que no existen los productos de manufacturas necesarios para implementarlas, pero pudimos definir parámetros de diseño general que facilitan futuros estudios de variaciones de uniones. Como por ejemplo uniones de madera con acero, uniones con pasadores, con placas dentadas, etc.

La madera laminada es una variante en la producción de madera que permite construir estructuras grandes con madera, consiguiendo grandes luces y edificaciones más eficientes en su comportamiento global, ya que ella resiste más que la madera aserrada y cuyas propiedades y comportamiento están estudiados en las normas extranjeras mencionadas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se localizaron plantaciones de Pino Caribe, madera que puede ser utilizada como material estructural y lo más importante se definieron sus propiedades. Esto no quiere decir que la caracterización del Pino Caribe este completa sin embargo, es la madera más ampliamente caracterizada en nuestro país actualmente.
- Estamos verdaderamente atrasados en información teórica de madera estructural, lo cual es algo inconcebible debido al adelanto de países vecinos y a la presencia de la materia prima en nuestro país.
- La madera es un material muy noble y queda demostrado que su uso no es solo para obras no estructurales y está muy a la par con los materiales tradicionales como el concreto y el acero, al menos en aplicaciones habitacionales, incluso aventajándolos en algunos casos para este tipo de estructura.
- Este trabajo de investigación abre las puertas para futuras investigaciones ya que hubo tópicos que quedaron limitados debido a la falta de información experimental en el país.
- Se recopiló bastante material para el análisis y diseño de conexiones lo cual abre la puerta para seguir ampliando este tema tan extenso.
- Se definieron los métodos de análisis y diseño, y se verifico la existencia de métodos más actuales en las otras normas.

Recomendaciones

- Lo primordial es invertir y enfocar esfuerzos en investigación y experimentación para así aumentar el material teórico disponible en el país.
- Es de vital importancia propiciar la apertura de materias en las universidades, ya que incluso unas décadas atrás se impartía conocimiento del tema en las casas de estudio.

- Aprovechar los avances de los demás países debido a que la base teórica es igual, lo que cambia son los parámetros de entrada y es lo que el país debe investigar.
- Incluso sería factible y no fuera de orden, importar árboles y sembrarlos aquí, los cuales ofrezcan mejor comportamiento que los que tenemos en posesión. Chile lo hizo con el Pino Radiata y hoy es la madera que más usan estructuralmente.

ANEXO 1

EUROCODIGO 5

Proyecto de Estructuras de Madera

Capítulo 6

ANEXO 2

Norma Chilena NCh-1198-2006

Construcciones en madera

Cálculo

ANEXO 3. Madera Laminada

Ejemplos de lo que puede lograrse con la madera laminada:



Figura A.3. 1 Centro de información del Zoo y del castillo Raesfeld (Tomado de Linz, 2009)



Figura A.3. 2 Torre de vigilancia Kupla (Tomado de Linz, 2009)



Figura A.3. 3 Tejado de Expo Hannover 2000 (Tomado de Linz, 2009)



Figura A.3. 4 Casa <am Hochgericht>. Alemania (Tomado de Linz, 2009)



Figura A.3. 5 Mirador (Tomado de Linz, 2009)

Las vigas y cables de acero se cubrieron con madera de pino tratada a presión, dotándole de un aspecto ligero y agradable y evitando parecer un elemento extraño en el paisaje.

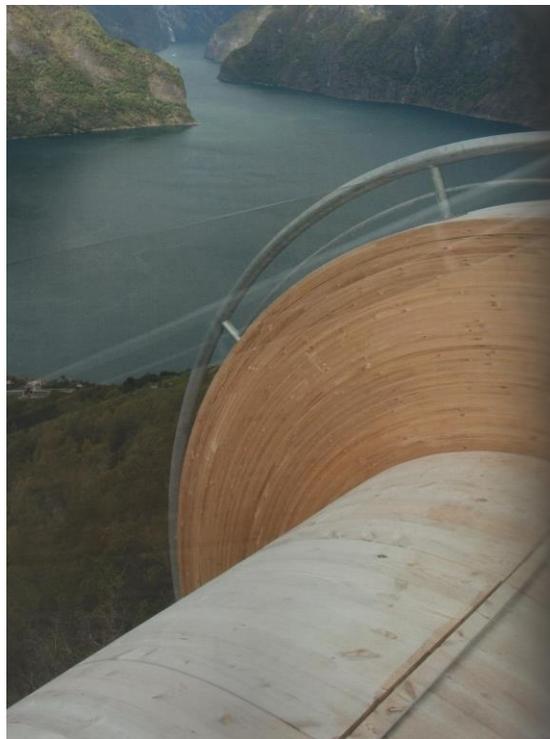


Figura A.3. 6 Mirador (Tomado de Linz, 2009)



Figura A.3. 7 Sala de conciertos (Tomado de Linz, 2009)



Figura A.3. 8 Sala de conciertos (Tomado de Linz, 2009)

Para lograr un empalme práctico, los listones de alerce de la cubierta se han unido directamente al borde de acero mediante dedos de Kerto LVL (madera laminada barnizada) que están atornillado entre los listones y los soportes.



Figura A.3. 9 Edificio Savill. Reino Unido (Tomado de McLeod, 2010)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrios, E., Contreras, W., & Sosa, M. (2010). *LABORATORIO NACIONAL DE PRODUCTORES FORESTALES. Historia de la Investigación Tecnológica de la Madera como Material de Construcción en Venezuela*. Mérida, Venezuela: Impresos Las Cumbres C.A.
- CORMA. (s.f.). *Manual de la Construcción de Viviendas en Madera*. Chile.
- CVG-PROFORCA. (1994).
- CVG-PROFORCA. (1995).
- Junta del Acuerdo de Cartagena. (1980). *Cartilla de Construcción con Madera*. Carvajal S.A.
- Junta del Acuerdo de Cartagena. (1984). *Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino* (Cuarta ed.). Lima, Peru: Carvajal S.A.
- Linz, B. (2009). *Madera*. h.f.Ullmann.
- McLeod, V. (2010). *El detalle en la Arquitectura Contemporanea en Madera*. Blume.
- Molina, R. (2006). *La Madera de Plantaciones: El Caso del Pino Caribe. Curso de Ampliación de Conocimientos. Diseño y Construcción de Viviendas con Madera*.
- Productos Forestales de Oriente C.A. (21 de 03 de 2011). *Plantaciones Forestales*. Obtenido de http://proforca.gob.ve/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=28:plantaciones&id=6:esquemas
- Universidad Mayor de San Simon. Facultad de Ciencias y Tecnología. (s.f.). *Estructuras de Madera*.