

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**DETERMINACIÓN DE VALORES ADMISIBLES PARA EL  
DISEÑO ESTRUCTURAL CON MADERA SECA DE  
ESPECIES CACHIMBO COLORADO Y CAPIRONA**

**TOMO I**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR  
DANIEL ANGEL LÓPEZ ARMILLÓN**

**ASESORA  
Mg. ISABEL MOROMI NAKATA**

**Lima- Perú**

**2018**

## **DEDICATORIA**

A mis padres Honorio y Beatriz por su gran apoyo y comprensión cuya ilusión de vida ha sido convertirme en una persona de provecho y a mi abuela Teófila cuyo mayor deseo es ver a sus nietos titulados como ingenieros.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>6</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>7</b>
<b>PRÓLOGO .....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS .....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>15</b>
1.1. GENERALIDADES.....	15
1.2. PROBLEMÁTICA .....	15
1.3. OBJETIVOS .....	16
1.3.1. Objetivo General .....	16
1.3.2. Objetivos Específicos.....	16
1.4. HIPÓTESIS .....	16
<b>CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
2.1. GENERALIDADES DE LA MADERA .....	17
2.2. MADERAS LATIFOLIADAS Y CONÍFERAS .....	17
2.3. POTENCIAL MADERERO DEL PERÚ.....	18
2.3.1. Bosques, deforestación y reforestación .....	18
2.3.2. Producción de Madera Rolliza, Aserrada y principales productos de madera transformada.....	21
2.4. ESTRUCTURA Y CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS DE LA MADERA .....	23
2.4.1. El tronco y sus partes.....	23
2.4.2. Ejes y planos de la madera.....	25

2.4.3.	Estructura anatómica de la madera.....	26
2.4.3.1.	Estructura macroscópica.....	26
2.4.3.2.	Estructura Microscópica.....	27
2.5.	AGENTES EXTERNOS QUE AFECTAN AL COMPORTAMIENTO DE LAS MADERAS.....	28
2.5.1.	Agentes Biológicos.....	28
2.5.1.1.	Reino Animal.....	28
2.5.1.2.	Reino Vegetal.....	29
2.5.2.	Agentes no Biológicos.....	30
2.6.	PROCESO DE OBTENCIÓN DE LA MADERA.....	30
2.6.1.	Aserrado.....	30
2.6.2.	Secado de la madera.....	32
2.6.2.1.	Secado Natural o al aire.....	32
2.6.2.2.	Secado artificial.....	34
2.6.3.	Protección de la madera.....	36
2.6.3.1.	Tipo de preservantes.....	36
2.7.	PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA.....	38
2.7.1.	Propiedades Físicas.....	38
2.7.1.1.	Contenido de Humedad.....	38
2.7.1.2.	Densidad Básica.....	39
2.7.2.	Propiedades Mecánicas.....	39
2.7.2.1.	Resistencia a la Compresión paralela a la fibra.....	40
2.7.2.2.	Resistencia a la Compresión perpendicular a las fibras.....	41
2.7.2.3.	Resistencia a la Tracción paralela.....	41
2.7.2.4.	Resistencia a la Flexión Estática.....	41
2.8.	AGRUPAMIENTO SEGÚN SUS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS.....	42
<b>CAPÍTULO III: PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE LA MADERA CACHIMBO Y CAPIRONA.....</b>		<b>43</b>

3.1.	CARACTERÍSTICA DE LA MADERA CACHIMBO.....	43
3.1.1.	Nombre y Familia .....	43
3.1.2.	Distribución Geográfica.....	43
3.1.3.	Características del árbol .....	43
3.1.4.	Característica de la sección de tronco.....	44
3.1.5.	Característica de la troza .....	44
3.1.6.	Caracteres Organolépticos .....	44
3.1.7.	Características tecnológicas .....	45
3.1.7.1.	Propiedades Físicas.....	45
3.1.7.2.	Propiedades Mecánicas.....	45
3.1.8.	Caracteres macroscópicos .....	45
3.1.9.	Caracteres microscópicos.....	46
3.2.	CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA CAPIRONA.....	47
3.2.1.	Nombre y Familia .....	47
3.2.2.	Distribución Geográfica.....	47
3.2.3.	Características del árbol .....	48
3.2.4.	Característica de la sección de tronco.....	48
3.2.5.	Característica de la troza .....	48
3.2.6.	Caracteres Organolépticos .....	49
3.2.7.	Características tecnológicas .....	49
3.2.7.1.	Propiedades Físicas.....	49
3.2.7.2.	Propiedades Mecánicas.....	49
3.2.8.	Caracteres macroscópicos .....	50
3.2.9.	Caracteres microscópicos.....	50
<b>CAPÍTULO IV: ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS EN PROBETAS PEQUEÑAS DE MADERA SECA.....</b>		<b>52</b>
4.1.	COLECCIÓN DE MUESTRA.....	52
4.1.1.	Procedencia de las muestras.....	52
4.1.2.	Preparación de las muestras .....	52

4.1.3.	Número de muestras.....	55
1.1.1.	Secado de madera.....	55
4.2.	ENSAYO DE PROPIEDADES FÍSICAS.....	56
4.2.1.	Contenido de Humedad.....	56
4.3.	ENSAYO DE PROPIEDADES MECÁNICAS.....	59
4.3.1.	Ensayo de Flexión Estática en Probetas.....	59
4.3.2.	Ensayo de Compresión paralela a la fibra.....	63
<b>CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>		<b>71</b>
5.1.	RESULTADOS DE ENSAYOS FÍSICOS.....	71
5.1.1.	Contenido de Humedad.....	71
5.2.	RESULTADOS DE ENSAYOS MECÁNICOS.....	72
5.2.1.	Corrección de los resultados de ensayos mecánicos por contenido de humedad.....	72
5.2.1.1.	Ajuste para el módulo de rotura a flexión (MOR) y la resistencia máxima a la compresión (RM).....	72
5.2.1.2.	Ajuste para el módulo de elasticidad a flexión (MOE).....	73
5.2.2.	Flexión Estática.....	78
5.2.3.	Compresión Paralela a la Fibra.....	78
5.2.4.	Comparación de las propiedades mecánicas con otros estudios realizados.....	79
5.3.	PROPUESTA DE ESFUERZOS ADMISIBLES PARA MADERA SECA.....	80
5.3.1.	Conceptos básicos para la determinación de esfuerzos admisibles	80
5.3.1.1.	Módulo de elasticidad promedio.....	80
5.3.1.2.	Módulo de elasticidad mínimo.....	81
5.3.1.3.	Esfuerzo promedio.....	81
5.3.1.4.	Esfuerzo Básico.....	81
5.3.2.	Determinación de esfuerzos admisibles.....	81

<b>CAPÍTULO VI: APLICACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISEÑO DE UN TIJERAL .....</b>	<b>86</b>
6.1. ALCANCES .....	86
6.2. RESULTADO DEL DISEÑO Y COMPARACIÓN .....	93
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>95</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>97</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>98</b>

## RESUMEN

En la presente investigación se estudiaron las propiedades mecánicas de flexión estática y compresión paralela a la fibra en muestras de madera seca de las especies Cachimbo Colorado y Capirona. Los ensayos se realizaron en el laboratorio de ensayos de materiales LEM siguiendo los lineamientos establecido en las diferentes normas técnicas peruanas como NTP 251.010, NTP 251.014, y NTP 251.017 que determinan los métodos para realizar el ensayo de contenido de humedad, ensayo a compresión y ensayo a flexión respectivamente. La madera fue obtenida de 4 proveedores distintos para asegurar la variabilidad de las muestras.

De los resultados obtenidos por cada ensayo mecánico, se observó que presentaban contenidos de humedad que variaban desde 12% hasta 16 %, por lo que se decidió ajustar los resultados obtenidos a un contenido de humedad estándar de 12% para tener mayor uniformidad, la (JUNAC, 1984) y (Ugarte & Heinz, 2017) menciona que el CHE (Contenido de humedad de equilibrio) depende del clima y el lugar, pero el CHS (Contenido de humedad en estado seco) es generalmente 12% el valor que define a la madera seca al aire. Este ajuste se realizó siguiendo los lineamientos presentados en el Anexo A1 de la norma ASTM D1990.

Con los valores corregidos se determinaron los esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad, para compararlos con los de la norma E-0.10 que han sido obtenidos a partir de ensayos con madera verde, corroborando la hipótesis que las maderas en estado seco presentan resultados mayores que en estado verde.

Aplicando los valores calculados en las 2 especies de madera seca, se realizó el diseño de un elemento de un tijeral como aplicación, comparándolos con los de madera húmeda. Logrando una reducción en sección y costos del orden de 81% y 67% en madera Cachimbo Colorado y Capirona en estado seco respectivamente.

## ABSTRACT

In this research the mechanical properties of static bending and compression parallel to the fiber in dry wood samples of Cachimbo Colorado and Capirona species were studied. The tests were carried out in LEM material testing laboratory following the guidelines established in the different Peruvian technical standards such as NTP 251.010, NTP 251.014, and NTP 251.017 which specify the methods to perform the moisture content test, compression test and test. to flexion respectively. The wood was obtained from 4 different suppliers to ensure the variability of the samples.

From the results obtained from each mechanical test, it was observed that they had moisture content ranging from 12% to 16%, so it was decided to adjust the results obtained to a standard moisture content of 12% to have greater uniformity, (JUNAC, 1984) and (Ugarte & Heinz, 2017) mention that the CHE (equilibrium moisture content) depends on the climate and the place, but the CHS (Moisture content in dry state) is generally 12% the value that defines dry wood in the air. This adjustment will be made following the guidelines presented in Annex A1 of ASTM D1990.

With the corrected values, the admissible stresses and moduli of elasticity were determined, in order to compare them with those of the E-0.10 standard that have been obtained from green wood tests, verifying the hypothesis that dry woods present higher values than in green condition.

Applying the calculated values for the 2 dry wood species, a truss element was designed as an application, comparing the results with those of wet wood. Achieving a reduction in section and costs of the order of 81% and 67% in wood Cachimbo Colorado and Capirona in dry state respectively.

## PRÓLOGO

En el diseño estructural con madera, los valores admisibles deben corresponder a su condición de humedad, teniendo presente que la resistencia varía con la humedad.

En la Norma peruana de Diseño y Construcción con Madera, se establecen valores admisibles para elementos en condición húmeda y no se indican factores de modificación en el caso de elementos en condición seca, por lo que el diseño es conservador, considerando que la resistencia se incrementa al reducirse la humedad.

Es por ello importante, establecer valores admisibles de la madera en condición seca para ajustar los diseños y permitir reducciones de costos en las edificaciones con este material, sin disminuir sus condiciones de seguridad.

El presente estudio ha tenido como objetivo realizar los ensayos de dos especies de madera en estado seco: el cachimbo colorado y la capirona, con cuyos resultados propone valores admisibles para estas especies en estado seco que permitirá contribuir con información para la elaboración de una propuesta para su incorporación a la Norma de madera vigente.

Mg. Isabel Moromi Nakata

## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1 Estructura microscópica de la madera .....	28
Tabla N° 2 Identificación de daños más comunes de insectos. ....	29
Tabla N° 3 Madereras donde se adquirió las muestras Cachimbo Colorado y Capirona .....	53
Tabla N° 4 Resultado de los ensayos a flexión estática en la especie Cachimbo Colorado .....	67
Tabla N° 5 Resultado de los ensayos a flexión estática en la especie Capirona .....	68
Tabla N° 6 Resultado de los ensayos a compresión paralela a la fibra en la especie Cachimbo Colorado .....	69
Tabla N° 7 Resultado de los ensayos a compresión paralela a la fibra en la especie Capirona .....	70
Tabla N° 8 Valor promedio del Contenido de Humedad de las probetas ensayos .....	71
Tabla N° 9 Constantes para el ajuste de MOR, RM y MOE .....	73
Tabla N° 10 Valores corregidos para el Esfuerzo Limite Proporcional (ELP), Modulo de Rotura (MOR) y Modulo de Elasticidad (MOE) a Flexión de la especie Cachimbo colorado .....	74
Tabla N° 11 Valores corregidos de la Resistencia Máxima (RM) y Modulo de elasticidad aparente (MOEa) en compresión de la especie Cachimbo colorado .....	75
Tabla N° 12 Valores corregidos para el Esfuerzo Limite Proporcional (ELP), Modulo de Rotura (MOR) y Modulo de Elasticidad (MOE) a Flexión de la especie Capirona .....	76
Tabla N° 13 Valores corregidos de la Resistencia Máxima (RM) y Modulo de elasticidad aparente (MOEa) en compresión de la especie Capirona.....	77
Tabla N° 14 Valores representativos del MOR y MOE a flexión para la especie Cachimbo Colorado .....	78
Tabla N° 15 Valores representativos del MOR y MOE a flexión para la especie Capirona.....	78
Tabla N° 16 Valores representativos de la RM y MOEa a compresión para la especie Cachimbo Colorado .....	79

Tabla N° 17 Valores representativos de la RM y MOEa a compresión para la especie Capirona .....	79
Tabla N° 18 Comparación de resultados de la especie Cachimbo Colorado .....	80
Tabla N° 19 Comparación de resultados de la especie Capirona .....	80
Tabla N° 20 Coeficientes para la determinación de esfuerzo admisibles .....	82
Tabla N° 21 Esfuerzo Admisible a flexión de para la Madera Cachimbo Colorado.....	82
Tabla N° 22 Esfuerzo Admisible a flexión de para la Madera Capirona.....	83
Tabla N° 23 Esfuerzo Admisible a Compresión Paralela de para la Madera Cachimbo Colorado .....	83
Tabla N° 24 Esfuerzo Admisible a Compresión Paralela de para la Madera Cachimbo Colorado .....	83
Tabla N° 25 Esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad de las especies Cachimbo Colorado y Capirona .....	84
Tabla N° 26 Comparación de los esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad con la Norma E-0.10 Madera .....	85
Tabla N° 27 Comparación de resultados utilizando esfuerzos admisibles del Grupo B y Tesis .....	93
Tabla N° 28 Comparación de resultados utilizando solo los esfuerzos admisibles del Grupo B.....	93
Tabla N° 29 Volumen de elemento analizado .....	94
Tabla N° 30 Costo del elemento analizado .....	94

## LISTA DE FIGURAS

Fig. N° 1 Especie Conífera y Latifoliada respectivamente .....	18
Fig. N° 2 Extensión de bosques forestales según departamento año 2016 .....	19
Fig. N° 3 Pérdida de bosques según departamento año 2016.....	20
Fig. N° 4 Producción de madera rolliza, 2015 y 2014.....	21
Fig. N° 5 Producción de Madera Aserrada 2015 .....	22
Fig. N° 6 Porcentaje según producción de productos forestales año 2015 .....	22
Fig. N° 7 Sección transversal de un tronco y sus partes. ....	24
Fig. N° 8 Dirección y secciones de la madera.....	25
Fig. N° 9 Anillos de crecimiento anuales finos y bastos .....	27
Fig. N° 10 Radios medulares.....	27
Fig. N° 11 Tipos de corte de la madera.....	31
Fig. N° 12 Apilado en triangulo horizontal .....	33
Fig. N° 13 Apilado en talanquera o caballete .....	34
Fig. N° 14 Apilado horizontal con separadores.....	34
Fig. N° 15 Secado en horno .....	35
Fig. N° 16 Esquema de la Flexión Estática .....	42
Fig. N° 17 Selección de Troza, identificación y corte de listones .....	54
Fig. N° 18 Codificación de la madera Cachimbo Colorado del Proveedor 1.....	54
Fig. N° 19 Acondicionamiento para el secado natural de las especies Cachimbo Colorado y Capirona .....	56
Fig. N° 20 Probeta para el Contenido de Humedad de la especie Cachimbo Colorado obtenida a partir de la probeta de Ensayo a Flexión.....	57
Fig. N° 21 Balanza AND GF-20K utilizada para el pesaje de la muestra.....	58
Fig. N° 22 Muestras de las especies Cachimbo Colorado y Capirona puestas al horno .....	58
Fig. N° 23 Máquina de Ensayo para flexión .....	62
Fig. N° 24 Registro de datos manualmente .....	62
Fig. N° 25 Máquina para el Ensayo a Compresión .....	65
Fig. N° 26 Pendiente en la zona recta de la curva Carga-Deformación.....	66
Fig. N° 27 Plano en planta del techo de madera .....	87
Fig. N° 28 Forma geométrica del tijeral para los tres diseños. ....	88
Fig. N° 29 Carga Muerta (CM) en la estructura del tijeral.....	89
Fig. N° 30 Carga Viva (CV) en la estructura del tijeral.....	89

Fig. N° 31 Carga de Viento (CW) en la estructura del tijeral .....	89
Fig. N° 32 Fuerza Axiales en los elementos del tijeral con madera Grupo B.....	90
Fig. N° 33 Momento flectores en los elementos del tijeral con madera Grupo B	90
Fig. N° 34 Deflexión máxima por carga de servicio del tijeral con madera Grupo B .....	90
Fig. N° 35 Fuerza Axiales en los elementos del tijeral con madera Cachimbo Colorado .....	91
Fig. N° 36 Momento flectores en los elementos del tijeral con madera Cachimbo Colorado .....	91
Fig. N° 37 Deflexión máxima por carga de servicio del tijeral con madera Cachimbo Colorado .....	91
Fig. N° 38 Fuerza Axiales en los elementos del tijeral con madera Capirona ....	92
Fig. N° 39 Momento flectores en los elementos del tijeral con madera Capirona .....	92
Fig. N° 40 Deflexión máxima por carga de servicio del tijeral con madera Capirona .....	92

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

E	módulo de elasticidad o de Young
E <sub>min</sub>	módulo de elasticidad mínimo
E <sub>prom</sub>	módulo de elasticidad promedio
f <sub>c</sub>	esfuerzo admisible de compresión paralela a las fibras
f <sub>c</sub> <sup>⊥</sup>	esfuerzo admisible de compresión perpendicular a las fibras
f <sub>m</sub>	esfuerzo admisible de tracción o compresión producido por flexión
f <sub>v</sub>	esfuerzo admisible por corte en la dirección paralela a la fibras
f <sub>t</sub>	esfuerzo admisible por tracción en la dirección paralela a la fibras
G	módulo de rigidez o de corte
h	peralte de vigueta
I	momento de inercia de la sección
I <sub>x</sub>	momento de inercia con respecto al eje X-X
I <sub>y</sub>	momento de inercia con respecto al eje Y-Y
k	factor de deflexión
K <sub>m</sub>	Factor de magnificación de momentos
L	Luz
L <sub>e</sub>	Longitud efectiva
M	momento de flexión
Mpa	mega Pascal
s	espaciamiento
V	fuerza de corte
CM	Carga muerta
CV	Carga viva
CW	Carga de viento
N <sub>adm</sub>	Carga Axial admisible
N <sub>cr</sub>	Carga crítica de Euler para pandeo
M	Momento flector
t	esfuerzo de corte
Z	Módulo de sección
adm	admisible
CH	contenido de humedad
CHE	contenido de humedad de equilibrio
cm	centímetros

DB	densidad básica
ELP	esfuerzo al límite proporcional
FC	factor de reducción de calidad
FDC	factor de duración de carga
FS	factor de seguridad
FT	factor de reducción por tamaño
Fig.	figura
g	gramo
kg	kilogramo
mm	milímetro
µm	micrómetro
m	metro
kg-cm	kilogramo-centímetro
kg-m	kilogramo-metro
kg/cm	kilogramo por centímetro
kg/m	kilogramo por metro
máx	máximo
min	mínimo
MOE	módulo de elasticidad
MOR	módulo de rotura
Pulg	pulgada
pt	pie tablar
s/c	Sobrecarga

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.1. GENERALIDADES**

En el país, el uso de la madera en el sector de la construcción actualmente se ve restringido por la insuficiencia de conocimientos técnicos, de infraestructura de producción adecuada, de leyes, normas y, además, debido a prejuicios derivados del desconocimiento del material por parte de los usuarios.

En diferentes investigaciones publicadas por la Universidad Nacional de Ingeniería y la Universidad Nacional Agraria de la Molina se observa estudios realizados a distintas especies de madera, como propiedades físicas y mecánicas, clasificación estructural, uniones clavadas, etc. Estas investigaciones tienen estudios sobre sus valores admisibles obtenidos en madera verde; se observa la falta de información sobre estos valores con maderas en estado Seco.

El país cuenta con una gran variedad de especies de madera. Cierta cantidad de especies tienen estudios con respecto a sus propiedades físicas y mecánicas concluyendo en una clasificación estructural; esta clasificación o agrupamiento está basada en valores de densidad básica y resistencia mecánica según lo estipula el artículo 5 de la norma E010 del Reglamento Nacional de Edificaciones. Las especies Cachimbo colorado y Capirona, se encuentran clasificadas dentro del grupo B, la cual muestra una serie de valores admisibles para sus módulos de elasticidad, flexión; tracción paralela según la agrupación dada.

### **1.2. PROBLEMÁTICA**

La Norma E010 Madera del Reglamento Nacional de Edificaciones establece valores admisibles para el diseño estructural, basados en información de ensayos en madera verde y al utilizarlos para el diseño estructural de madera seca se subestima su resistencia.

En el diseño estructural de cualquier material se obtiene como resultados las dimensiones a utilizar. Al realizar el cálculo estructural en madera seca, esta se basará en esfuerzos de madera húmeda dispuesta por la norma E010 del Reglamento Nacional de Edificaciones; esto traerá como resultados dimensiones

conservadoras de mayor dimensión, en cambio al utilizar los esfuerzos admisibles obtenidos de ensayos en madera seca, los resultados serán dimensiones no tan conservadoras o de menor dimensión, habiendo una reducción de costos. Cabe resaltar que al trabajar con estas últimas secciones, no se incumple ninguna norma, por el contrario se obtendría un resultado más real y menos conservador del actual.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo General**

La presente propuesta de investigación tiene por objeto analizar el comportamiento a la compresión y a la flexión de probetas de madera Cachimbo colorado y Capirona en estado seco.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

Determinar la resistencia a la compresión y flexión de probetas de madera al estado seco.

Determinar los módulos de elasticidad.

Proponer valores para los esfuerzos admisibles de diseño en madera seca.

### **1.4. HIPÓTESIS**

La presente investigación en madera seca tiene como hipótesis la mejora en las propiedades físicas y mecánicas en las especies Cachimbo Colorado y Capirona en estado seco con respecto a sus valores en estado húmedo o verde.

Se espera que los resultados sean favorables y así tener más aproximación en el diseño estructural de la madera seca y no basándose en propiedades de madera verde que pueden traer como consecuencias secciones mayores a las requeridas.

## **CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO**

### **2.1. GENERALIDADES DE LA MADERA**

Entre los materiales de construcción, la madera llega ser uno de los más importantes recursos renovables existentes en el mundo, debido a su amplia demanda para la construcción de viviendas y otras estructuras. Cuenta con diferentes usos, estructurales y no estructurales. Entre los usos estructurales sirve para el diseño de vigas, columnas y otros elementos de soporte, para el uso no estructural sirve para la fabricación de mobiliario; para obtención de productos derivados (papel, cartón); y otros usos como juguetes y obras de arte.

Por su origen, la madera como estructura posee características diferentes. Por ejemplo si dos tablas son cortadas de diferentes árboles que crecieron juntos, la resistencia de una y otra serán diferentes. (ARQHYS, 2012)

Entre las especies madereras se tienen dos grupos, maderas latifoliadas y Coníferas.

### **2.2. MADERAS LATIFOLIADAS Y CONÍFERAS**

En la subregión andina los bosques tropicales tienen un área del 47% de su superficie constituyendo un importante recurso para la obtención de madera para construcción. Hay un aproximado de 2500 especies forestales en estos boques, de las cuales, 600 serían aptas para construir. El diseño y la construcción con madera han estado basados en estudios o información proveniente de países consumidores de madera conífera, que presentan una estructura anatómica diferente a las maderas latifoliadas, por consiguiente sus propiedades y comportamientos son distintos. (JUNAC, 1984)

Las maderas presentes en los bosques andinos y selváticos son en su gran mayoría latifoliadas. Se diferencian tanto externamente como internamente de las maderas coníferas que en general crecen en climas templados. En la subregión existe una limitada proporción de especies coníferas, sin embargo son las especies latifoliadas la que representan mayor volumen. (JUNAC, 1984)

Las maderas latifoliadas suelen presentar anillos de crecimiento no tan apreciables a diferencia de las coníferas que tienen anillos de crecimiento perfectamente diferenciados, debido a los cambios climáticos que presentan en su medio ambiente. Las maderas latifoliadas presentan en general una copa bien ramificada y un tronco que varía en dimensiones y forma, en cambio la madera conífera se caracterizan por presentar una estructura de tronco recto y cónico hasta la parte más alta del árbol sin deformarse. (Fritz Duran, 2004) Ver Fig. N° 1

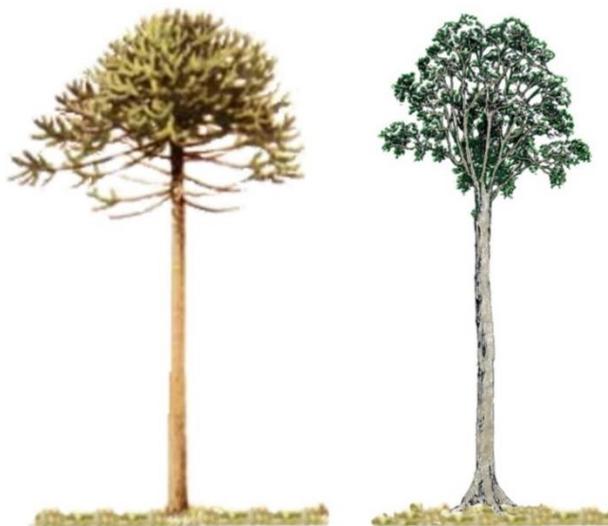


Fig. N° 1 Especie Conífera y Latifoliada respectivamente  
Fuente: (ITACAB) "Fichas Tecnológica por Zona de Vida"

## 2.3. POTENCIAL MADERERO DEL PERÚ

### 2.3.1. Bosques, deforestación y reforestación

Según Eduardo Massur, director de la división de evaluación y conservación del Departamento Forestal (FAO) "El Perú tiene un potencial enorme para el desarrollo de una industria forestal manejada responsablemente". También destacó que el Perú se encuentra dentro de los diez países con mayor área forestal del planeta; respecto al potencial maderero menciono "Perú tiene unos 68 millones de hectáreas de bosques, la gran parte en la Selva, lo que corresponde a una parte de la Amazonía que es la región de mayor biodiversidad del planeta, el Perú ocupa ahora el décimo lugar en el ranking de los países con mayor extensión de bosques con 68 millones de hectáreas, retrocediendo una posición

del puesto noveno cuando tenía 69 millones, debido a la deforestación.” (Agencia Peruana Noticias, 2013)

La superficie de bosques húmedos amazónicos en el Perú según estadísticas del INEI (2017) Es aproximadamente de 69 millones de hectáreas, los departamentos con mayor cobertura boscosa en el 2016 son: Loreto (35 millones 93 mil 227 ha) y Ucayali (9 millones 392 mil 669 ha); y el de menor cobertura es Huancavelica (8 millones 2 mil 550 ha). En el Anexo N°1 se muestra la tabla de superficie de bosques húmedos amazónicos según departamento y año.

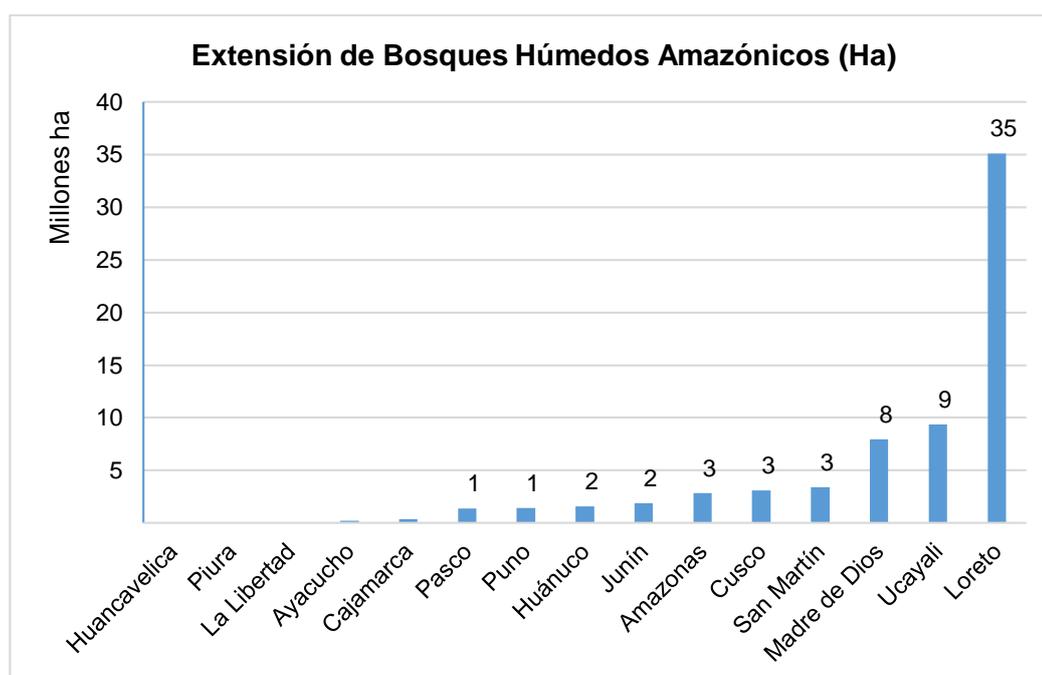


Fig. N° 2 Extensión de bosques forestales según departamento año 2016

Fuente: (INEI, 2017) "Perú Anuario de Estadísticas Ambientales 2017"  
Elaboración Propia

Los bosques presentan una capacidad enorme para la producción de bienes y servicios en forma sostenible. Se requiere desarrollar un manejo forestal para industrias madereras eficientes sin descuidar el desarrollo forestal de productos no maderables. La capacidad potencial de los bosques se clasifica en varias concesiones, teniendo como bosques de producción permanente un promedio de 8.5 millones de ha en los 16 últimos años (INEI, 2017). En el Anexo N°1 se muestra las tablas de la capacidad potencial en los años (2000-2016) publicada en del Anuario de estadísticas ambientales 2017.

Con respecto a la deforestación, la tala ilegal de árboles no sólo lo contribuye sino que causa además cambios climáticos según lo indicado en el INEI (2017). El Ministerio del Ambiente, mediante el Programa Nacional de Conservación de Bosques informaron que en el año 2016 la pérdida de bosques alcanzó un total de 164 mil 662 hectáreas, representando el 0.23 % de la superficie de bosques húmedos amazónicos siendo Loreto el departamento con mayor pérdida ver Fig. N° 3. Según la información presentada en el Anexo N°1 se puede observar la pérdida de los bosques en los últimos 16 años (2001-2016), el promedio de deforestación anual sobrepasa las 123 mil hectáreas.

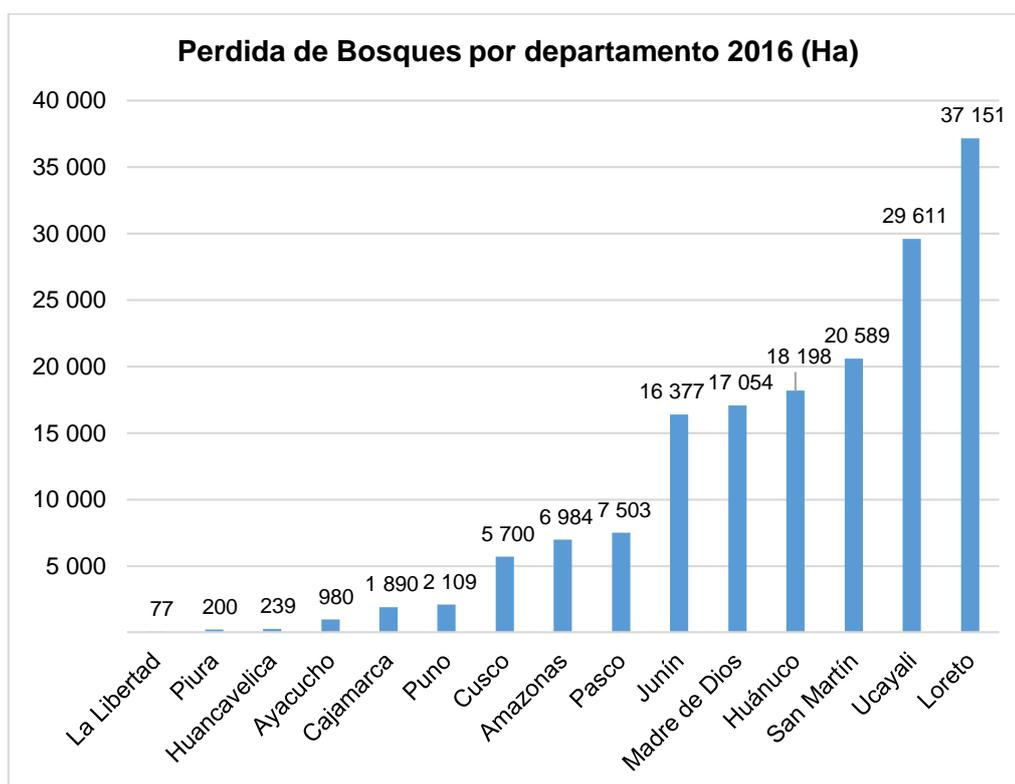


Fig. N° 3 Pérdida de bosques según departamento año 2016

Fuente: (INEI, 2017) "Perú Anuario de Estadísticas Ambientales 2017"  
Elaboración Propia

Así como existe la deforestación, en el Perú se viene dando lo que es la reforestación que consiste en la repoblación forestal, natural o artificial, de una zona que se encontraba cubierta de bosques. El INEI (2017) menciona que en el año 2016 se presentó una reforestación de 7221 ha, siendo el departamento de

La Libertad con mayor reforestación. En el Anexo N°1 se muestra una tabla con la superficie reforestada por departamento en los últimos 18 años (1999-2016),

### 2.3.2. Producción de Madera Rolliza, Aserrada y principales productos de madera transformada

La madera rolliza, es la madera natural después de haber sido obtenida del árbol. Puede estar con corteza o sin ella, en rollos o simplemente escuadrada. Según el INEI (2017) la madera rolliza para el 2015 tuvo una producción de 1 millón 694 mil 431 m<sup>3</sup> y en el 2014 una producción de 2 millones 44 mil 11 m<sup>3</sup>, ver Anexo N°1, siendo el departamento de Loreto el de mayor producción en ambos años, ver Fig. N° 4

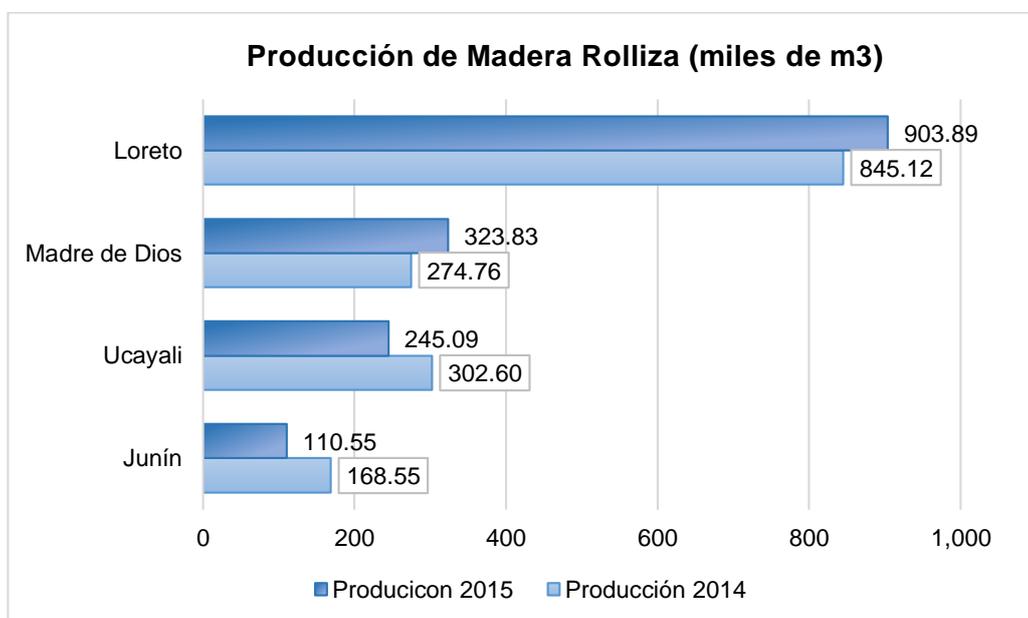


Fig. N° 4 Producción de madera rolliza, 2015 y 2014

Fuente: (INEI, 2017) "Perú Anuario de Estadísticas Ambientales 2017"  
Elaboración Propia

La madera aserrada, es la madera que se produce a partir de la madera en rollo, esta es cortada a través de sierras de cinta o circulares, dando como producto secciones de maderas grandes o pequeñas. La madera tuvo una producción total de 579 mil 121 metros cúbicos en el 2015 y de 667 mil 153 metros cúbicos en el 2014 según INEI (2017) ver Anexo N°1, siendo Loreto el departamento con mayor producción en los dos años, ver Fig. N° 5

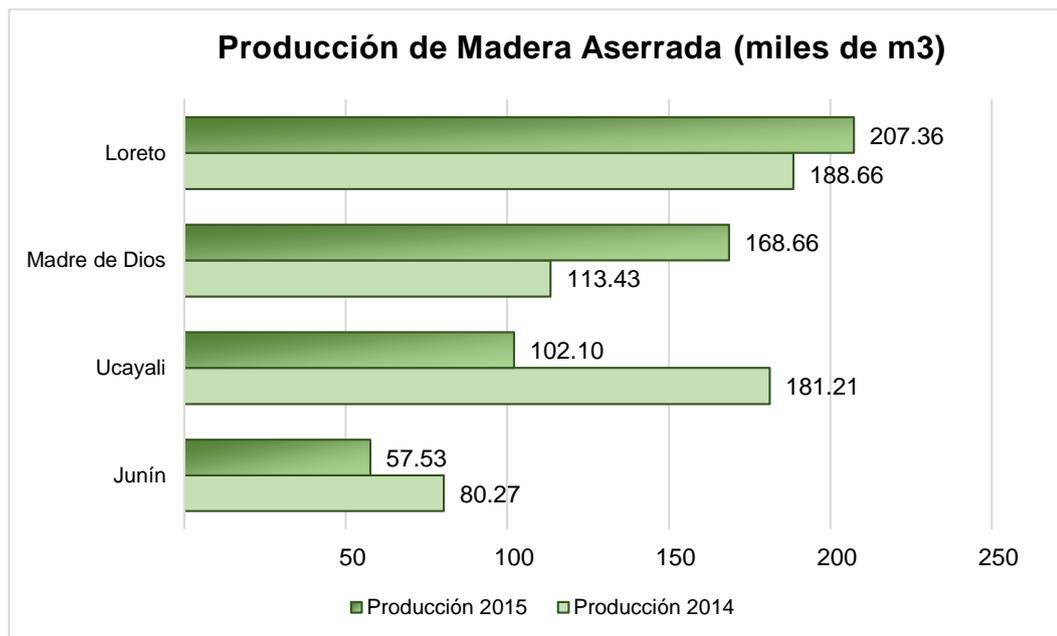


Fig. N° 5 Producción de Madera Aserrada 2015

Fuente: (INEI, 2017) "Perú Anuario de Estadísticas Ambientales 2017"  
Elaboración Propia

En el Anexo N°1 de la presente investigación se tienen los principales productos forestales de los 26 últimos años. En la Fig. N° 6 se muestra la producción de productos forestales correspondientes al año 2015.

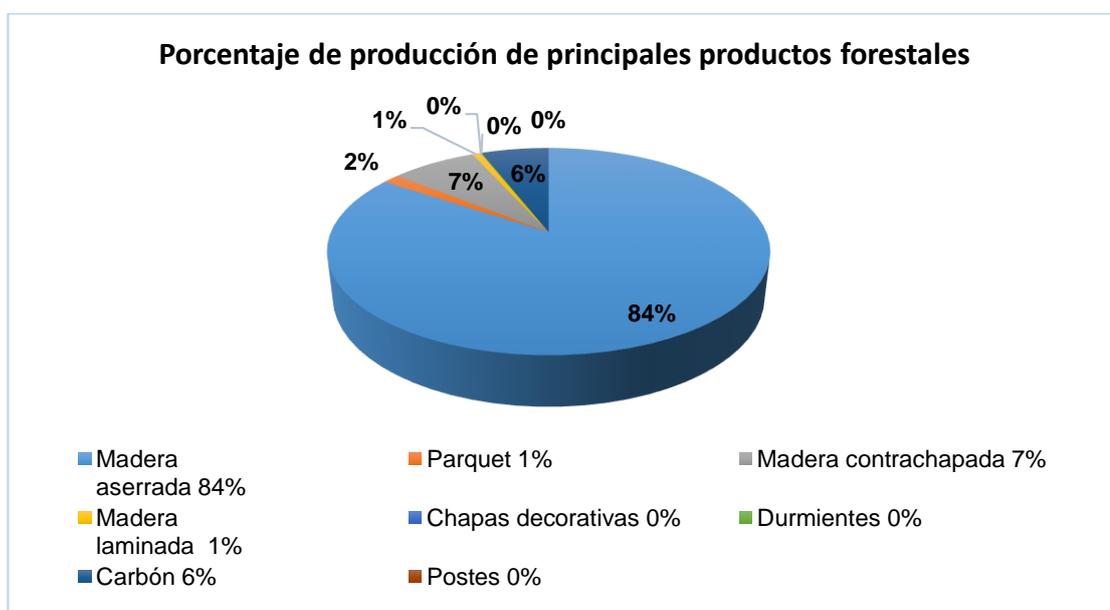


Fig. N° 6 Porcentaje según producción de productos forestales año 2015

Fuente: (INEI, 2017) "Perú Anuario de Estadísticas Ambientales 2017"  
Elaboración Propia

## 2.4. ESTRUCTURA Y CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS DE LA MADERA

El árbol está compuesto por tres partes, tronco, copa y raíces; la madera procede principalmente del tronco y copa (ramas). Dentro del tronco se aprecia una estructura macroscópica que es visible a simple vista o con ayuda de una lupa de 10 aumentos, la otra estructura es a nivel microscópico; desde el exterior hacia el interior las diferentes partes del tronco de un árbol serán descritas en el siguiente ítem.

### 2.4.1. El tronco y sus partes

Hay un número de anillos dentro del tronco de un árbol. Cada año en la vida de un árbol se agrega un anillo y es por esto que muchas personas los llaman anillos anuales. Ver Fig. N° 7 Sección trasversal de un tronco y sus partes.

**Corteza exterior:** Es la parte compuesta por células muertas, estas cumplen la función de proteger el árbol ante agentes climáticos y biológicos. (Fritz Duran, 2004)

**Corteza interior:** Es la capa que tiene por finalidad trasladar los alimentos y nutrientes hacia el tronco, ramas y raíces; está conformada por un tejido floemático vivo, llamado también liber. (JUNAC, 1984)

**Cambium:** También denominado *Cambio*, es la capa ubicada entre la corteza interior y la madera; presenta tejidos generadores de células, es donde se produce el crecimiento del árbol, hacia el interior forma el Xilema y hacia el exterior forma los floemas. (Fritz Duran, 2004)

**Madera o Xilema:** Es la parte maderable del tronco, es de aquí donde se extrae la madera. Es la capa más gruesa, en relación con las demás capas, cuya función es el sostén propio del árbol y la conducción de la savia sin elaborar. Dentro de esta zona se puede distinguir la albura, el duramen y la médula. (Vignote & Martinez, 2006)

**La albura:** Es la parte exterior y activa del xilema, es de color generalmente claro, con células encargadas de conducir savia, agua y almacenar nutrientes, de espesor variable según la especie a estudiar. Puede variar de 1.25 cm a 5 cm; en algunas especies tropicales pueden llegar hasta los 20 cm, e incluso más. (Alvarez & Fernandez, 1992)

**El duramen:** Parte inactiva del xilema y tiene como función brindar la resistencia para el sostén del árbol. Su formación inicia con disminución de agua en la albura y la infiltración de sustancias orgánicas distintas como aceites, resinas, gomas, etc. La infiltración de estas sustancias hace una modificación en la madera tornándola de un color más oscuro y adquiere un mejor comportamiento frente a los hongos e insectos, lo último distingue particularmente al duramen de la albura. (JUNAC, 1984)

**Medula:** Se encuentra en el centro del árbol, es un cilindro de hasta 1.25 cm de diámetro, constituido por tejido blando parenquimático alrededor del cual se produjo el primer crecimiento en espesor del tallo. (Alvarez & Fernandez, 1992)

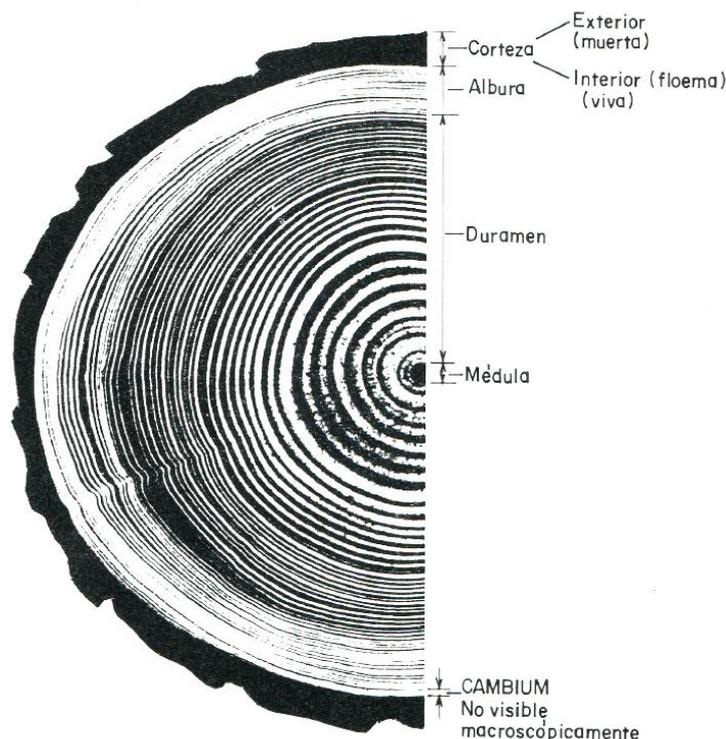


Fig. N° 7 Sección transversal de un tronco y sus partes.

Fuente: (JUNAC, 1989) "Manual del grupo andino para el secado de maderas"

## 2.4.2. Ejes y planos de la madera

La madera es un material anisotrópico, es decir presenta propiedades mecánicas diferentes según el plano o dirección a considerar. La madera tiene tres direcciones o ejes principales asociados a planos.

Eje tangencial, es aquel eje tangente a los anillos de crecimiento y perpendicular al eje longitudinal; el eje radial, es el eje perpendicular a los anillos de crecimientos y el eje axial o longitudinal es paralelo a la dirección de las fibras y por ende al eje longitudinal del tronco. (Fritz Duran, 2004)

La estructura de la madera presenta tres secciones, la sección transversal correspondiente al plano perpendicular al eje axial o longitudinal, la sección radial correspondiente al plano que corta perpendicularmente a todos los anillos de crecimiento y pasa por eje del tronco, y la sección tangencial es aquel plano paralela al eje axial y tangente a los anillos de crecimiento. (JUNAC, 1984)

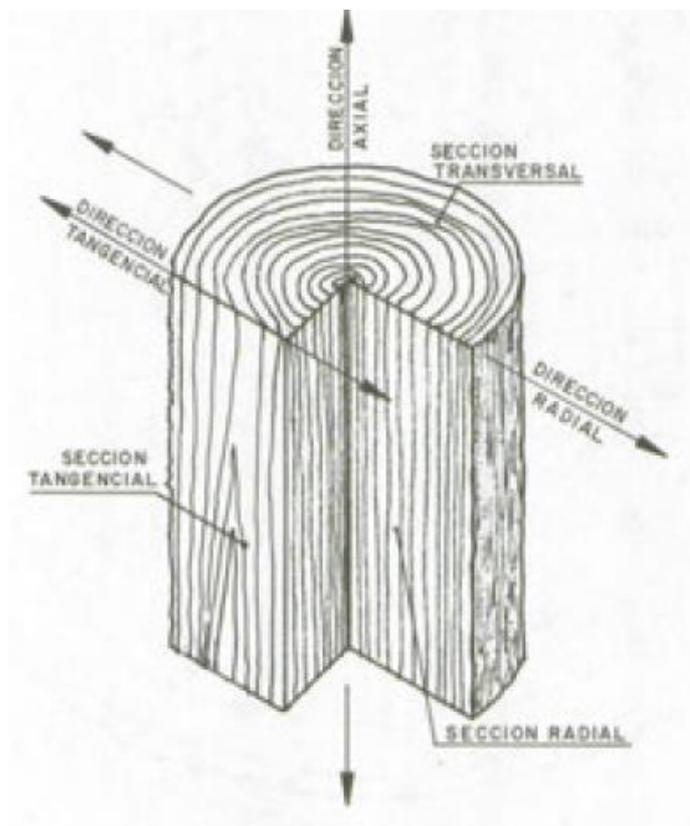


Fig. N° 8 Dirección y secciones de la madera

Fuente: (Alvarez & Fernandez, 1992) "Manual del grupo andino para el secado de maderas"

### 2.4.3. Estructura anatómica de la madera

La madera es un material biológico de origen vegetal tiene funciones de conducir el agua, almacenar sustancia de reserva y resistencia mecánica. Estas funciones se deben al tipo de tejido presente en la madera.

El tejido vascular es el encargado de la conducción, el tejido parenquimático encargado del almacenamiento y el tejido fibroso encargado de la resistencia. También existen diferentes tipos de células, los prosenquimáticos son células alargadas y de paredes engrosadas, relacionadas al tejido vascular y fibroso; en cambio los parenquimáticos son células cortas y de paredes delgadas con la función de almacenamiento. (JUNAC, 1984)

En la dirección longitudinal el tronco está formado principalmente por elementos prosenquimáticos (elementos vasculares, fibras y traquiedas), pero a su vez también presenta en menor proporción elementos parenquimáticos. En la dirección transversal está constituido principalmente por elementos parenquimáticos. (JUNAC, 1984)

#### 2.4.3.1. Estructura macroscópica

Es la estructura que se puede observar a simple vista o con ayuda de una lupa de 10 aumentos. Se aprecia lo siguiente.

**Anillos de Crecimiento:** la constitución del tronco se ve en su espesor y en la forma de sus anillos de crecimiento anual, que pueden ser de diferentes anchos. El ancho de los anillos depende de la clase de árbol y especialmente del clima del lugar donde se desarrolla. Mientras más rico es el crecimiento mayor ancho tienen los anillos, en caso contrario los anillos llegan a ser más finos. (NUTSCH, 2005) Ver Fig. N° 9. En primavera el crecimiento produce células alargadas y de lumen amplio para la conducción de agua, en otoño la conducción de agua disminuye por lo que se produce células pequeñas de paredes engrosadas y lumen pequeño, es por ello que existe una clara diferencia entre los anillos de crecimiento. En cambio en zonas tropicales, donde las estaciones no son bien marcadas, las células crecen aproximadamente del mismo tamaño o de la misma forma, no distinguiéndose con claridad los anillos de crecimiento. (JUNAC, 1984)

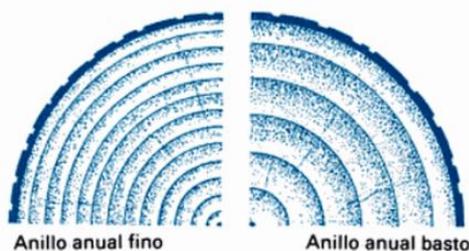


Fig. N° 9 Anillos de crecimiento anuales finos y bastos

Fuente: (NUTSCH, 2005) "Tecnología de la madera y el mueble"

**Radios medulares:** Son elementos que van desde el interior hasta el exterior del árbol. Están encargadas de llevar la savia a las partes centrales del árbol incluyendo la albura; sus células se desarrollan en la dirección radial perpendicular a los anillos de crecimiento. Es una parte blanda en comparación a la masa leñosa, siendo propensa a la rotura por compresión, cuando se ejerce un esfuerzo paralelo a las fibras. (Calleros, 2012)



Fig. N° 10 Radios medulares

Fuente: (Calleros, 2012) "Radios medulares - Tecnología de la madera"

**Parénquima Longitudinal:** Está conformado por tejido parenquimático que es el tejido encargado almacenar sustancias de reserva, se presenta en la dirección longitudinal del tronco y tiene un color más claro que el tejido fibroso. Las maderas que presentan en mayor cantidad el tejido parenquimático tienden a ser más débiles en resistencia mecánica y susceptible al ataque de insectos y hongos. (JUNAC, 1984)

#### 2.4.3.2. Estructura Microscópica

La estructura microscópica estudia los diferentes tipos y características de células que forman los tejidos de las estructuras macroscópicas. Ver Tabla N° 1

Tabla N° 1 Estructura microscópica de la madera

Orientación y/o sistema	Elementos	Latifoliadas	Coníferas
Longitudinal	Prosenquimáticos	Vasos y Fibras	Traqueidas
	Parenquimáticos	Parénquima Longitudinal	Parénquima Longitudinal
Transversal	Prosenquimáticos	No tiene	Traqueidas
	Parenquimáticos	Parénquima Radial	Parénquima Radial

Fuente: (JUNAC, 1984) "Manual de diseño para maderas del grupo andino"  
Elaboracion Propia

## 2.5. AGENTES EXTERNOS QUE AFECTAN AL COMPORTAMIENTO DE LAS MADERAS

Los agentes externos se pueden clasificar de dos maneras los agentes biológicos y no biológicos. Estos agentes afectan a la madera una vez cortada del bosque.

### 2.5.1. Agentes Biológicos

Los agentes biológicos se subdividen a su vez en dos tipos, reino animal y reino vegetal, como hongos, insectos y perforadores marinos. (Huaraz , 2004)

Para que se desarrollen estos agentes biológicos debe haber ciertas condiciones como una fuente alimenticia, temperatura para el desarrollo, humedad entre 20% y 140%, ya que por debajo del 20% de humedad el hongo no puede desarrollarse y sobre 140% humedad no existe suficiente oxígeno para que pueda vivir. (Fritz Duran, 2004)

#### 2.5.1.1. Reino Animal

Dentro del reino animal, los insectos xilófagos son los que mayor daño causan a la madera, En la Tabla N° 2 se presenta un resumen de los más importante tipos de insectos que atacan a la madera.

Tabla N° 2 Identificación de daños más comunes de insectos.

	ANOBIOS	LITIDOS	ESCOLITIDOS	CERAMBICIDOS	TERMITES
<b>Madera atacada</b>	Principalmente albura de conífero	Solamente albura de latifoliadas			
<b>Estado de la madera cuando ocurre el ataque</b>	Seca, a menudo bastante vieja.	Parcial o totalmente seca.	Verde.	Seca en el caso Hylotrupis; verde en el caso de Phorocantha.	Generalmente seca.
<b>Perforaciones (Forma y tamaño)</b>	Por lo común redondos de aproximadamente 1.5mm de diámetro.	Por lo menos redondos de 1.0 a 1.5 mm de diámetro.	Por lo común redondos, a menudo menores de 1.0 mm de diámetro.	Por lo común elípticas, de tamaño variable según especie.	Pocas perforaciones visibles o expuestas.
<b>Túneles</b>	Paralelos al grano transversales a él, dando apariencia de panal; un alfiler penetrará solo a muy corta distancia.	Paralelos al grano principalmente; la totalidad de albura puede ser reducida a polvo; un alfiler penetrará a muy corta distancia.	Transversales al grano principalmente aislados, de diámetro uniforme; un alfiler penetrará profundamente a menudo en toda su longitud.	Paralelos al grano principalmente; ovals y de formas irregulares, variando en su ancho y trayecto.	Paralelos al grano generalmente.
<b>Tipo y Cantidad</b>	Flojo en los túneles; fino, arenoso a veces eyectado en pequeñas cantidades por los agujeros de salida.	Compactado en los túneles, harinoso a menudo saliendo abundante por los agujeros de salida.	De poco a ninguno en los túneles.	Harinoso y también como aserrín fino, con partículas de excremento de madera.	Túneles ligeramente llenos de excremento de madera, no muy aglomerados con aserrín.

Fuente: (Huaraz , 2004) "Clasificación e influencia del contenido de humedad y defectos en las propiedades físicas y mecánicas de la madera capirona"

### 2.5.1.2. Reino Vegetal

**A. Hongos:** Son microorganismos del reino vegetal. Estos microorganismos pueden afectar a la madera de variadas formas, desde una descoloración hasta una desintegración total de la madera. Entre los hongos pueden ser:

**Hongos Cromógenos:** Se caracterizan por alimentarse de las células vivas presentes en la madera. La evidencia más importante que produce es el cambio de coloración, la madera toma un color azulado pero no afecta a su resistencia, pero no deberían despreciarse, porque al presentar dicha coloración significa que la madera fue expuesta a condiciones favorables para el desarrollo de otros hongos. (Fritz Duran, 2004)

**Hongos Xilófagos o de Pudrición:** En este caso los hongos se alimentan de la pared celular causando una gran pérdida en la resistencia, pudiendo desintegrarse con la sola presión de los dedos. En un ataque de pudrición pueden desarrollarse mucho tipos de hongos esto va a depender si el hongo se alimentó de la lignina o de la celulosa, causando así una pudrición blanca o parda. (Fritz Duran, 2004)

**B. Mohos:** Se desarrolla produciendo una proliferación algodonosa sobre la superficie de la madera originando coloraciones verdes, azul-verdoso, amarillentas y rojizas. (Huaraz , 2004)

### 2.5.2. Agentes no Biológicos

Entre los principales agentes no biológicos se tiene: La humedad que causa cambios dimensionales y disminución de la resistencia; la radiación solar produce una decoloración o agrietamiento; el fuego es un peligro constante ya que la madera es un material combustible; el desgaste mecánico producido por la acción de fuerzas externas y/o envejecimiento; y la acción del clima o temperatura.

Según Huaraz (2004) usualmente más de un agente actúa al mismo tiempo. Por ello el fracaso en algunos postes y durmientes de madera, los cuales fueron atacados por una acción combinada de desgaste mecánico y acción del clima.

## 2.6. PROCESO DE OBTENCIÓN DE LA MADERA

### 2.6.1. Aserrado

Llega a ser la primera transformación de la madera después del talado, los troncos pasan por un proceso de corte obteniendo piezas de madera de sección rectangular o cuadrada denominadas tablas o tablones.

Según Santiago, Guevara, & Espinoza (2013) este proceso se lleva a cabo a través de aserraderos que pueden ser fijos, móviles y/o portátiles.

El aserrado se realiza mediante sierra de cinta o sierras circulares de gran dimensión y para las secciones más pequeñas se realiza un reaserrado utilizando sierras de menor dimensión. Hay especies que son difíciles de aserrar debido a

su gran densidad (las sierras convencionales en su mayoría son desarrolladas para madera rolliza), a sustancias corrosivas o extractos que presentan en la madera y dificulta su proceso. (JUNAC, 1984)

Los cortes de la madera pueden darse de 3 distintas formas: Madera de corte tangencial, cuando la cara es tangente a los anillos de crecimiento; madera de corte radial, cuando la cara es perpendicular a los anillos de crecimiento en dirección del radio; y madera de corte oblicuo cuyo corte se realiza siguiendo una dirección arbitraria, ver Fig. N° 11. Si se desea producir maderas de calidad estructural es conveniente que los cortes sean del tipo radial, para la disminución de distorsiones y defectos debido al secado. (Villanueva Peña, 2004)

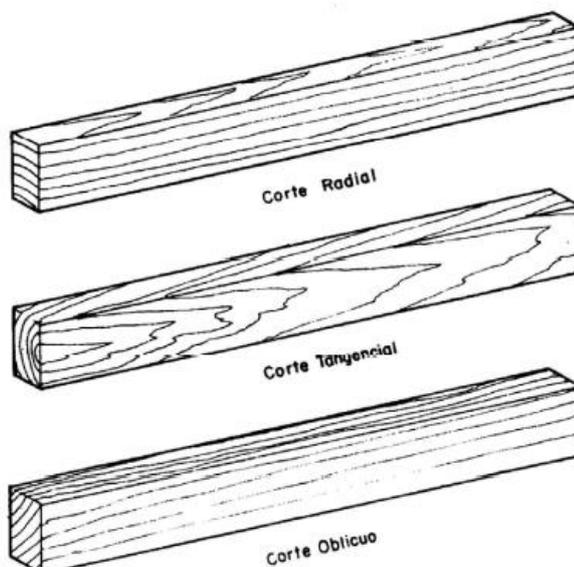


Fig. N° 11 Tipos de corte de la madera.

Fuente: (JUNAC, 1984) "Manual de diseño para maderas del grupo andino"

Algunas consideraciones que se debe tener para la recepción de la madera aserrada son: Que provenga especialmente de concesiones forestales o bosques certificados de comunidades andinas; tener la garantía que los diámetros sean los mínimos de corte de árboles maduros; que tengan una guía de remisión o transporte forestal visada por la dirección ejecutiva forestal y de fauna silvestre correspondiente, en donde se tenga la confirmación del nombre del proveedor y de las especies maderables, lugar de procedencia y fecha de embarque; número

de cuartones y tablas aserradas, volumen de la carga, dimensiones, y metrados en pies tablares o peso de carga. (Santiago, Guevara, & Espinoza, 2013)

### **2.6.2. Secado de la madera**

El proceso de secado tiene como objetivo principal reducir el agua que se encuentra dentro de la madera o simplemente reducir el contenido de humedad de la madera húmeda o verde sin causar defectos que alteren sus propiedades físicas y mecánicas.

La madera al estar seca presenta algunas ventajas evitando la aparición de defectos. Según Santiago, Guevara, & Espinoza (2013) estas ventajas son:

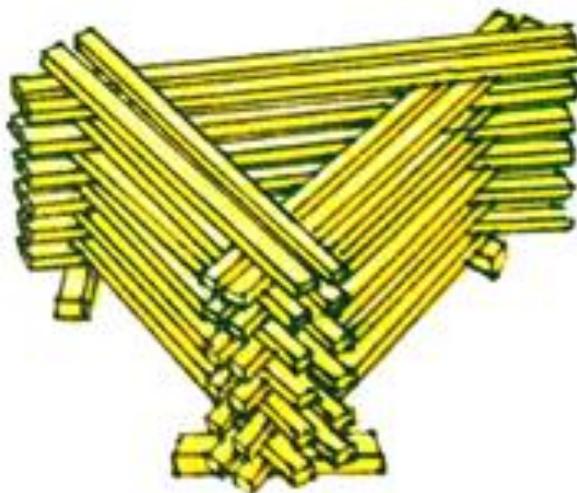
- Optimiza la resistencia mecánica y mejora propiedades como aislante térmico, acústico y eléctrico.
- Reduce su peso favoreciendo el transporte
- Estabiliza la forma y las dimensiones, ante un posible secado no controlado provocando variaciones en la dimensiones de la madera.
- Aumenta la resistencia biológica, especialmente contra la pudrición y manchas de hongos xilófagos, cromógenos o mohos.
- Los productos resultantes de la madera presentan mayor durabilidad y calidad.

La eliminación de agua o proceso de secado se puede dar de las siguientes formas: Secado Natural y Secad artificial.

#### **2.6.2.1. Secado Natural o al aire.**

Es la forma más sencilla y económica. Puede disminuir la humedad de la madera hasta que la humedad del ambiente lo permita (humedad en equilibrio). El proceso de secado al aire es recomendable para productos que se utilizan al C.H. que les permita el ambiente (durmientes, madera estructural, pisos exteriores). La consideración a tener para el secado al aire es principalmente hacerlo bajo techo, ya que no deben estar expuestas a la radiación solar. El apilado dependerá de la característica de la especie maderera. (Santiago, Guevara, & Espinoza, 2013)

**Apilado en triangulo horizontal:** Recomendable para maderas que no son susceptibles a la mancha azul y con poca deformación. Ver Fig. N° 12



*Fig. N° 12 Apilado en triangulo horizontal*

Fuente: Santiago, Guevara, & Espinoza, (2013) "Manual de transformacion de la Madera"

**Apilado en talanqueras o caballetes:** Es cuando las tablas se inclinan o reposan de canto sobre un caballete o viga colocada de 1 a 3 metros del piso; según Santiago, Guevara, & Espinoza (2013) es recomendable para tablas con espesores menores a 1.5 pulgadas, fáciles de secar y con mínima tendencia a deformarse. Ver Fig. N° 13

**Apilado horizontal con separadores:** Es la forma más común de apilar. Se debe hacer sobre bases o cimientos elevados para que la madera no esté en contacto directo con el suelo; se colocará la madera separada una de la otra mediante separadores manteniendo una alineación vertical. Según Santiago, Guevara, & Espinoza (2013) es recomendable para tablas de cualquier espesor. Cabe señalar que el Perú presenta una diversidad de climas, que van desde los húmedos tropicales en la selva, a los secos temperados en la sierra, y a los secos húmedos en la costa. Ver Fig. N° 14



Fig. N° 13 *Apilado en talanquera o caballete*

Fuente: Santiago, Guevara, & Espinoza, (2013) "Manual de transformacion de la Madera"

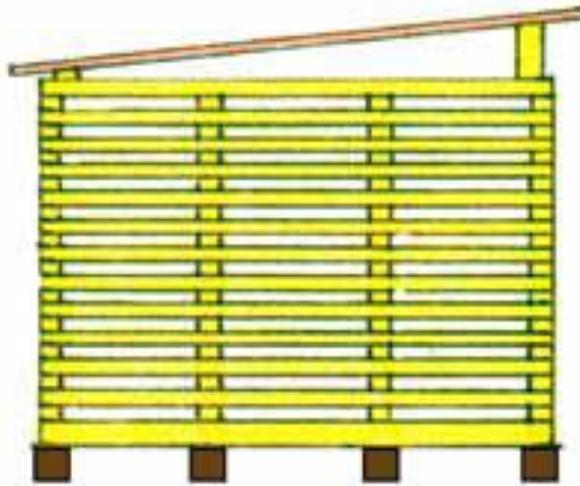


Fig. N° 14 *Apilado horizontal con separadores*

Fuente: Santiago, Guevara, & Espinoza, (2013) "Manual de transformacion de la Madera"

### **2.6.2.2. Secado artificial**

Es el secado realizado a través de cámaras u hornos (ver Fig. N° 15), en el proceso se elimina el agua de la madera mediante el empleo de temperatura, humedad y ventilación, diferentes a las naturales. El secado artificial reduce

considerablemente el contenido de humedad (CH) y el resultado se obtiene en tiempos muy reducidos en comparación del secado al aire. Si el proceso se realiza correctamente, la madera obtenida llega ser de mejor calidad que la secada naturalmente, debido a que la madera es secada en condiciones controladas de temperatura y humedad relativa.



Fig. N° 15 Secado en horno

Fuente: Santiago, Guevara, & Espinoza, (2013) "Manual de transformacion de la Madera"

Existen programas de secado para maderas comerciales basándose en el estudio del Manual del Grupo andino para el secado de maderas de JUNAC (1989), donde consideran los siguientes programas:

**Secado Suave:** Requiere temperaturas bajas, humedad relativa alta y mayores tiempos en cada paso de programa. Es utilizada para maderas latifoliadas, duras y difíciles de secar. Son recomendados para maderas propensas al agrietamiento.

**Secado Moderado:** Es un programa intermedio para maderas latifoliadas de secado lento y/o propensas a sufrir deformaciones o agrietamientos.

**Secado Severo:** Permite temperaturas elevadas y humedad relativa bajas, con cambios fuertes y frecuentes. Se utiliza para maderas latifoliadas de secado fácil con un comportamiento estable.

### **2.6.3. Protección de la madera**

La madera está expuesta a daños por ataques biológicos como insectos y hongos; o por agentes no biológicos como el fuego, desgaste mecánico, el clima y otros, por lo que es necesario protegerla. El tratamiento empieza en función a los requerimientos de durabilidad. La durabilidad natural es la resistencia que opone la madera al ataque de hongos, insectos, u otros agentes destructivos. La durabilidad natural se puede aumentar mediante procesos artificiales o tratamientos con preservantes.

Según Santiago, Guevara, & Espinoza (2013) el uso de preservantes es importante cuando la madera está expuesta al intemperismo, en construcciones civiles y al contacto con el agua en construcciones hidráulicas.

Los preservantes pueden ser sustancias químicas puras o compuestas, que al ser aplicadas directamente a la madera cumplen la función de protegerla aumentando su durabilidad, la durabilidad es una propiedad del tipo de especie de madera, existen especies que duran más tiempo que otras. Según Villanueva Peña (2004) los preservantes permiten que especies no durables se puedan transformar en elementos capaces de competir con otras especies durables.

#### **2.6.3.1. Tipo de preservantes**

Los tipos de preservantes por lo general son compuestos sólidos y requieren de un solvente para penetrar a la madera. Se agrupan según el tipo de solvente a utilizar: Hidrosolubles y oleosolubles, según sea agua o acetite lo que necesitan para disolverse. El preservante debe penetrar hasta una profundidad considerada.

Según JUNAC (1984) los principales preservantes son:

**Creosotas:** Creosota ordinaria, creosota líquida y mezclas de creosota.

**Productos orgánicos:** Pentaclorofenol (soluble en aceite), pentaclorofenato (soluble en agua), Naftenatos (de cobre o zinc)

**Productos inorgánicos:** Sal simple, sal doble, multisal.

**Creosotas:** Son hidrocarburos aromáticos sólidos y líquidos. Contienen grandes cantidades de ácidos y bases de alquitrán. Se utilizan normalmente para tratar los postes y durmientes.

**Pentaclorofenol:** Es un compuesto químico cristalino formado por la reacción del cloro sobre el fenol su fórmula es  $C_6Cl_5$ . Se disuelve en aceites de petróleo, es tóxico para el ser humano irrita la piel y la mucosa, por lo que se debe tener las debidas precauciones al utilizarlo. Resulta eficaz para los hongos e insectos, pero ineficaz para perforadores marinos.

**Naftenatos:** Compuestos cerosos y gomosos, provienen de ácidos Naftenatos obtenidos como subproductos en la refinación de petróleo y sales de elementos metálicos como el cobre y el zinc. Es de gran toxicidad para los hongos y se aplican con brocha, aspersión o inmersión.

**Hidrosolubles o Inorgánicos:** Este grupo comprende una serie de sustancias o mezclas químicas que se emplean utilizando el agua como solvente. Presenta un gran efecto fungicida e insecticida, no son fitotóxicos, carecen de olor y no son inflamables. El uso de sales simples como productos de arsénico, cobre y otros, es actualmente raro, debido a que son fáciles de lixiarse al menor contacto con el agua del medio que rodea la madera, solo es recomendado para interiores. Al combinar los productos simples forman las sales dobles, con el fin de reforzar la actividad tóxica y combatir los hongos e insectos, pero suelen ser ácidas y por lo tanto corrosivas. Para disminuir la acidez de la mezcla se adiciona el cromo siendo este una sustancia alcalina que contrarresta la acidez y en consecuencia la corrosión, dando origen a las multisales. Las multisales que han demostrado ser más eficaces en la preservación de la madera son las del grupo CCB (cobre-cromo-boro) y las CCA (cobre-cromo-arsénico).

## **2.7. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LA MADERA**

### **2.7.1. Propiedades Físicas**

#### **2.7.1.1. Contenido de Humedad**

El agua está siempre presente en el interior de la madera, esto se debe a que es el principal conductor o transporte que emplean las plantas para su alimentación sumado a su capacidad que tienen para absorber agua del medio ambiente (higroscopicidad).

La JUNAC (1984) menciona que el agua presente en la madera se divide en tres formas, agua libre, agua higroscópica y agua de constitución. El agua libre se encuentra en el interior de las cavidades celulares; el agua higroscópica se halla contenida en las paredes celulares y el agua de constitución se encuentra íntegramente formando parte de la estructura celular.

La humedad de la madera se determina con la relación entre la masa de agua contenida en una pieza y la masa de la pieza anhidra (peso seco al horno), expresada en porcentaje. A este cociente se le conoce como contenido de humedad. (Fritz Duran, 2004)

Existen dos valores importantes para el contenido de humedad, el punto de saturación de las fibras (PSF) y el contenido de humedad en equilibrio (CHE). El primero se da al perder toda el agua libre y comenzar a perder el agua higroscópica; y el segundo cuando pierde toda el agua higroscópica hasta un contenido de humedad en equilibrio con el medio ambiente. La madera puede presentar cambios dimensionales y variar sus propiedades mecánicas cuando el contenido de humedad está por debajo del PSF. (JUNAC, 1984)

Según Haygreen & Bowyer (1982) “A medida que la madera se seca debajo del punto de saturación de fibras, la mayoría de propiedades elásticas y resistencia se incrementan”

### **2.7.1.2. Densidad Básica**

La densidad en cualquier material es la relación entre la masa y el volumen. En la madera la densidad varía de acuerdo con la humedad, debido a que la masa de la madera es la suma de la masa sólida con la masa de agua contenida en ella. Es importante conocer la densidad ya que de ella depende gran parte del comportamiento de la madera, como su adaptabilidad, agrupamientos, modificaciones etc.

El volumen de la madera es constante mientras se encuentre en su estado “verde”, cuando la madera disminuye su contenido de humedad por debajo del PSF el volumen también disminuye, y se vuelve constante cuando alcanza el estado anhidro o seco. Es por ello que se pueden distinguir cuatro densidades para una misma madera. (JUNAC, 1984)

Según JUNAC (1984) se distinguen cuatro densidades.

- La densidad verde (DV) relación que existe entre la masa verde y volumen verde.
- La densidad seca al aire (DSA) es la relación que existe entre la masa seca al aire y el volumen seco al aire.
- La densidad anhidra (DA) es la relación entre la masa seca al horno y el volumen seco al horno.
- La densidad Básica (DB) la relación entre la masa seca al horno y el volumen verde. Es la menor de las cuatro.

La densidad básica es la más estable, debido a que la relación entre el peso seco al horno y el volumen verde no varían mucho en una especie determinada.

### **2.7.2. Propiedades Mecánicas**

Representa la capacidad de la madera para soportar o resistir fuerzas externas. Las fuerzas externas se entienden como cualquier sollicitación de carga que al actuar modifica el tamaño, dimensión o simplemente la deforma. Las propiedades

mecánicas se obtienen a través de procesos de experimentación o ensayos en el material.

Una fuerza expresada en unidad de área es denominado esfuerzo. Existen 3 tipos de esfuerzos que actúan en un material, cuando la fuerza externa actúa en compresión, el material tiende a reducirse, cuando actúa a tracción el material tiende a estirarse y cuando se tiene fuerzas cortantes, tienden a desplazar una porción del cuerpo sobre la otra en direcciones contrarias. Además existen los esfuerzos a flexión a partir de la combinación de fuerzas a tracción y compresión que se desarrollan en la sección transversal de un elemento estructural, produciendo en el material una curvatura de flexión. Otro punto importante es definir el módulo de elasticidad que es un parámetro característico que involucra la relación existente entre el esfuerzo producido en un material por acción de una fuerza y su correspondiente deformación unitaria, dentro de un rango elástico. (Verástegui Payehuanca, 2016)

En La JUNAC (1984) menciona que existen tres direcciones principales para que actúen estas fuerzas, la dirección longitudinal, la dirección tangencial y la dirección radial, las dos últimas conforman la dirección transversal. En la práctica se consideran solo dos direcciones la dirección paralela a la fibra (dirección longitudinal) y la dirección perpendicular al grano (dirección transversal).

#### **2.7.2.1. Resistencia a la Compresión paralela a la fibra**

Es la capacidad de la madera para resistir una fuerza en la dirección longitudinal o paralela a la fibra. La JUNAC (1984) menciona “La madera presenta gran resistencia a los esfuerzos de compresión paralela a las fibras, que provienen del hecho de que las fibras estén orientadas con su eje longitudinal en esa dirección”.

La capacidad limitante está dada por el pandeo de las fibras más que por la resistencia al aplastamiento, debido a que para elementos a escala natural como columnas el desarrollo de toda la resistencia se llega a dar para una relación de esbeltez (longitud/ancho) menor que 10, pero para columnas más comunes que tienen una relación de esbeltez mayor a 10 la resistencia se determina por la

capacidad de resistir el pando lateral, que depende generalmente de la geometría de la pieza. (JUNAC, 1984)

#### **2.7.2.2. Resistencia a la Compresión perpendicular a las fibras**

Es la resistencia de la madera a una carga en dirección perpendicular a las fibras. Esta tiende a comprimir las pequeñas cavidades de las fibras. Según JUNAC (1984) al incrementarse la carga perpendicular la pieza se va comprimiendo aplastando los pequeños cilindros que semejan las fibras, aumentando su densidad y también la capacidad de resistir mayor carga en la dirección paralela a su eje.

#### **2.7.2.3. Resistencia a la Tracción paralela**

Es una resistencia a una carga de tracción en dirección al eje paralelo de las fibras. La JUNAC (1984) menciona “La resistencia a la tracción paralela en especímenes pequeños libres de defectos es aproximadamente 2 veces la resistencia a la compresión paralela”.

#### **2.7.2.4. Resistencia a la Flexión Estática**

Es la resistencia de una pieza de madera ante la carga puntual aplicada en su centro de luz o una carga distribuida, produciendo una compresión en la parte superior y una tracción en parte inferior en su sección transversal. Ver Fig. N° 16

Según lo mencionado en los ítems anteriores, la resistencia a la tracción es mayor que la compresión paralela, es por eso que la madera falla primero en la zona de compresión, incrementado las deformaciones en la zona comprimida, el eje neutro se desplaza hacia la zona de tracción, y a su vez aumenta rápidamente las deformaciones totales llegando a romperse por tracción. En madera seca no presentan visiblemente una falla en la zona comprimida sino que ocurre directamente una falla por tracción. (JUNAC, 1984)

Según la JUNAC (1984) “En ensayos de probetas pequeñas libres de defectos los valores promedios de la resistencia a la flexión varían entre 200 y 1700 kg/cm<sup>2</sup> dependiendo de la densidad de la especie y del contenido de humedad”

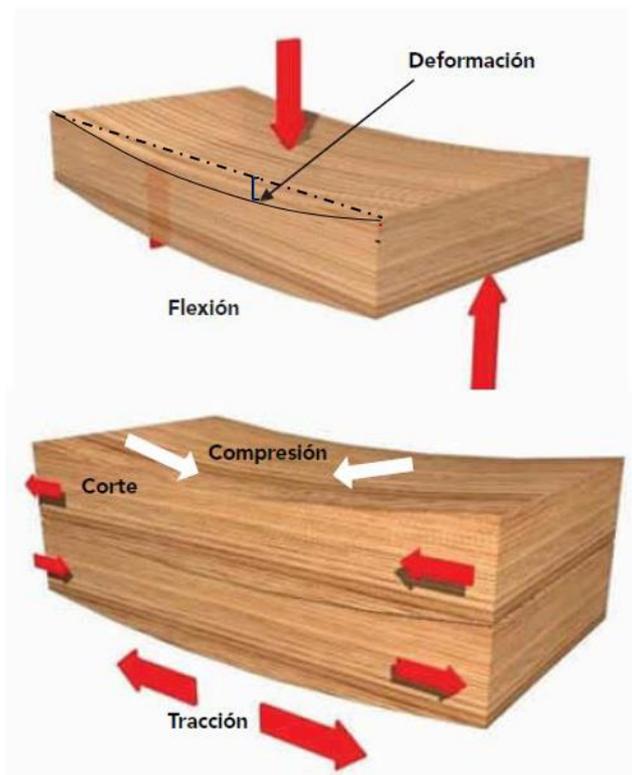


Fig. N° 16 Esquema de la Flexión Estática

Fuente: Fritz Duran, (2004) "La construcción de viviendas en Madera"

## 2.8. AGRUPAMIENTO SEGÚN SUS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

La Norma E-010 Madera del Reglamento Nacional de Edificaciones tiene como fin informar sobre los requisitos, criterios y procedimientos a seguir cuando se quiera utilizar la madera como un recurso renovable para la construcción. En el capítulo N° 1 la norma desarrolla el “Agrupamiento de maderas para uso estructural” donde establece el agrupamiento de distintas especies madereras en tres grupos A, B y C, donde la madera Capirona y Cachimbo Colorado pertenecen al grupo B por sus propiedades físicas y mecánicas.

## CAPÍTULO III: PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DE LA MADERA CACHIMBO Y CAPIRONA

### 3.1. CARACTERÍSTICA DE LA MADERA CACHIMBO

#### 3.1.1. Nombre y Familia

Nombre Científico: *Cariniana Domesticata* (Mart.)

Familia: Lecythidaceae

Nombre Común: Cachimbo (Peru); Cachimbo Caspi (Peru); Cachimbo colorado (Peru); Bacú (Venezuela); Tahuary (Brasil).

#### 3.1.2. Distribución Geográfica

La distribución de la especie Cachimbo fue obtenida de literatura y reportes herbarios. En el Perú se ubica en los departamentos de Huánuco, Loreto, Madre de Dios, y Ucayali, principalmente en bosques no inundados. Para su desarrollo necesita formaciones ecológicas de bosque muy húmedo premontano (bmh-P) y bosque húmedo tropical (bh-T). (CPM, 2008)

#### 3.1.3. Características del árbol

**Copa:** La copa es redonda y pequeña. Con hojas simples, alternas, enteras, y pecioladas, además tiene flores blanco-amarillentas, reunidas en racimos terminales o axilares; fruto pixidio leñoso como una pipa del tabaco con semillas aladas en forma de mariposa. (Villanueva Peña, 2004)

**Tronco:** Fuste recto y cilíndrico de buena conformación. Altura comercial promedio de 17 m. Altura total promedio 22 m. Diámetro promedio en el DAP (diámetro a la altura de pecho) es de 50 cm. (CPM, 2008)

**Corteza:** Corteza externa de color marrón oscuro, de 4 cm de espesor. Corteza interna de color blanco cremoso de apariencia fibrosa, exhala un olor a aceite rancio. (CPM, 2008)

### 3.1.4. Característica de la sección de tronco

(Villanueva Peña, 2004)

- Albura: Poco visible. En condición seca al aire no hay diferencia entre albura y duramen.
- Duramen: Es de color rojizo claro y se decolora ligeramente al ser expuesto a la luz.

### 3.1.5. Característica de la troza

(Villanueva Peña, 2004)

- Forma: Cilíndrica regular
- Diámetros: Medianos a grandes (mayores a 25 pulgadas)
- Defectos: Muy pocos, trozas regulares sin defectos
- Conservación: Susceptible al ataque de hongos e insectos, por lo tanto se recomienda acortar el tiempo de almacenamiento en el bosque y aplicar un tratamiento de fungicida e insecticida.

### 3.1.6. Caracteres Organolépticos

Los caracteres organolépticos pueden ser percibidos por los órganos de los sentidos, como el color, brillo, vetado, sabor, grano, textura y color. Según lo indica Villanueva Peña (2004)

- Color: Pardo oscuro
- Brillo: Medio
- Vetado: Suave
- Dureza: Media alta
- Grano: Recto
- Textura: Fina a media
- Olor: no perceptible

### 3.1.7. Características tecnológicas

#### 3.1.7.1. Propiedades Físicas

Las propiedades físicas de la especie en mención establecida por la Confederación Peruana de la Madera (CPM, 2008) son referenciales, ya que no detallan métodos ni especificaciones usadas para la obtención de la información.

Densidad Básica:	0.59 gr/cm <sup>3</sup>
Contracción Volumétrica:	12.10 %
Relación T/R:	1.50
Contracción Tangencial:	7.58 %
Contracción Radial:	4.96 %
Sílice:	0.52 %

#### 3.1.7.2. Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas de la especie en mención establecidas por la Confederación Peruana de la Madera (CPM, 2008) son referenciales, ya que no detallan métodos ni especificaciones usadas para la obtención de la información.

Módulo de Elasticidad en flexión:	131.00 tn/cm <sup>2</sup>
Módulo de Ruptura en flexión:	735.00 kg/cm <sup>2</sup>
Compresión Paralela:	342.00 kg/cm <sup>2</sup>
Compresión Perpendicular:	66.00 kg/cm <sup>2</sup>
Corte paralelo a las Fibras:	84.00 kg/cm <sup>2</sup>
Dureza de lados:	468.00 kg/cm <sup>2</sup>
Tenacidad:	3.90 kg-m.

### 3.1.8. Caracteres macroscópicos

La JUNAC (1981) describe las siguientes características macroscópicas para la especie Cachimbo.

#### Anillos de crecimiento

- a) Visibilidad: Visible a simple vista
- b) Número promedio de anillos en 10 cm de radio: 37 anillos

#### Poros/Líneas vasculares

- a) Visibilidad: Visible a simple vista
- b) Porosidad: Difusa
- c) Tipos y disposición: Solitarios y escasos múltiples radiales.
- d) Forma y contenido: Redonda a ovalada, la mayoría abiertos.

#### Radios

- a) Visibilidad: Visibles con lupa de 10x
- b) Contraste característico: Presente
- c) Estratificación: Ausente

### 3.1.9. Caracteres microscópicos

Las características microscópicas para la especie Cachimbo se desarrolló teniendo en cuenta la fuente JUNAC (1981).

#### Poros /Vasos

- a) Tipos y disposición: Solitarios múltiples radiales de 2 a 4 poros
- b) Platinas de perforación: Oblicuas a muy oblicuas, de tipo simple.
- c) Aberturas de puntearas: Incluida de forma ovalada.
- d) Punteadas inter vasculares: Alternas, de forma redonda
- e) Numero Promedio por milímetros cuadrados: Moderadamente numeroso, 6 poros.

#### Parénquima Longitudinal

- a) Tipo: Apotraqueal en numerosas líneas uniseriadas continuas formando retículo con los radios y separadas entre sí por capas de fibra de 5 a 11 células.
- b) Contenido: Series parenquimatosas cristalíferas abundantes
- c) Estratificación: Ausente.

#### Radios

- a) Tipo: Heterogeneo Tipo II y III de Kribs
- b) Punteaduras radio vasculares: Similares a la intervascuales
- c) Numero promedio por milímetro lineal: Numero, de 7 radios
- d) Tamaño en número de células: Ancho de 1 a 3 células, altura de 6 a 29 células.
- e) Contenido: Glomerulos gomosos, abundante sílice y cristales romboidales ocasionales.

#### Fibras

- a) Septas: Ausentes
- b) Estratificación: Ausente
- c) Espesor de pared: Mediana a Gruesa
- d) Punteaduras: Simples

### 3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA CAPIRONA

#### 3.2.1. Nombre y Familia

Nombre Científico: *Calycophyllum spruceanum* (Benth.)

Familia: Rubiaceae

Nombre Común: Capirona (Peru); Palo mulato (Peru); Guayabochi (Bolivia); Araguato (Venezuela); Pau mulato (Brasil).

#### 3.2.2. Distribución Geográfica

La Capirona (*Calycophyllum Spruceanum*) se encuentra en los bosques primarios y secundarios de la Amazonía del Perú y Brasil. Está distribuida en el Perú en la región selva en los departamentos de Amazonas, Huanuco, Ucayali, Madre de Dios, Loreto y San Martín, en terrenos periódicamente inundados y en las formaciones ecológicas de bosque seco tropical (bs-T), bosque húmedo tropical (bh-T) y bosque muy húmedo tropical (bhm-T), por debajo de los 1,200 metros sobre el nivel del mar. (Huaraz , 2004)

### 3.2.3. Características del árbol

**Copa:** Irregular y mediana con follaje verde intenso. Sus hojas son caducas, simples opuestas, de borde entero; sus flores son blancas y pequeñas en racimo tipo umbela compuesta; fruto pequeño tipo capsular. (Mera Farias, 2002)

**Tronco:** Con fuste cónico normal y bastante liso. Altura comercial promedio de 25 m. Altura total promedio de 15 m a 35 m. Diámetro promedio en el DAP (diámetro a la altura de pecho) varia de 30 a 60 cm. (Mera Farias, 2002)

**Corteza:** Su corteza es de color marrón con una textura lisa. Se desprende en láminas delgadas. Su corteza interna es de color blanco, que se oxida al contacto con el aire cambiando a un color plomizo, por ello también se le conoce como “palo mulato” (CPM, 2008)

### 3.2.4. Característica de la sección de tronco

(CPM, 2008)

Albura: De color blanco cremoso.

Duramen: De color blanco pardo con vetas de color marrón claro, observándose entre ambas capas un contraste muy bajo en color.

### 3.2.5. Característica de la troza

(Mera Farias, 2002)

Forma: Cilíndrica regular

Diámetros: Medianos a grandes (mayores a 25 pulgadas)

Defectos: Muy pocos, trozas regulares sin defectos

Conservación: La madera es moderadamente resistente al ataque de hongos e insectos, cuando se encuentra mucho tiempo en húmeda se mancha.

### 3.2.6. Caracteres Organolépticos

(Mera Farias, 2002)

Color:	La albura es de color blanco, transición gradual a duramen de color marrón muy pálido amarillento.
Olor:	Característico a vainilla.
Sabor:	Ausente o no distintivo.
Brillo:	De mediana a brillante.
Grano:	De recto a entrecruzado.
Textura:	Fina.
Veteado:	Arcos superpuestos, satinados en bandas longitudinales.

### 3.2.7. Características tecnológicas

#### 3.2.7.1. Propiedades Físicas

Las propiedades físicas de la especie en mención establecida por la (PROMPEX) son referenciales, ya que no detallan métodos ni especificaciones usadas para la obtención de la información.

Densidad Básica:	0.76 gr/cm <sup>3</sup>
Contracción Volumétrica:	15.00 %
Relación T/R:	2.30
Contracción Tangencial:	9.00 %
Contracción Radial:	5.00 %
Sílice:	0.52 %

#### 3.2.7.2. Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas de la especie en mención establecida por la (PROMPEX), son referenciales, ya que no detallan métodos ni especificaciones usadas para la obtención de la información.

Módulo de Elasticidad en flexión: 100.00 tn/cm<sup>2</sup>

Módulo de Ruptura en flexión:	723.00 kg/cm <sup>2</sup>
Compresión Paralela:	283.00 kg/cm <sup>2</sup>
Compresión Perpendicular:	67.00 kg/cm <sup>2</sup>
Corte paralelo a las Fibras:	87.00 kg/cm <sup>2</sup>
Dureza de lados:	425.00 kg/cm <sup>2</sup>
Tenacidad:	2.00 kg-m.

### 3.2.8. Caracteres macroscópicos

La JUNAC (1981) describe las siguientes características macroscópicas para la especie Capirona.

Anillos de crecimiento

- a) Visibilidad: Visible con lupa de 10x
- b) Número promedio de anillos en 10 cm de radio: 30 anillos

Poros/Líneas vasculares

- a) Visibilidad: Visibles con lupa de 10x
- b) Porosidad: Difusa
- c) Tipos y disposición: Solitarios, múltiples radiales y racemiformes
- d) Forma y contenido: Redonda a ovalada, la mayoría abiertos.

Radios

- a) Visibilidad: Visibles con lupa de 10x
- b) Contraste característico: Ausente
- c) Estratificación: Ausente

### 3.2.9. Caracteres microscópicos

Las características microscópicas para la especie Capirona se desarrolló teniendo en cuenta la fuente (JUNAC, 1981).

Poros /Vasos

- a) Tipos y disposición: Solitarios múltiples radiales de 2 a 4 poros y racemiformes
- b) Platinas de perforación: Oblicuas a muy oblicuas, de tipo simple

- c) Aberturas de puntearas: incluida de forma ovalada y ornada
- d) Punteadas inter vasculares: Disminuidas alternas, y de forma redonda
- e) Numero Promedio por milímetros cuadrados: Numero de 15 poros

#### Parénquima Longitudinal

- a) Tipo: Terminal, irregular. Presencia de masculas medulares
- b) Contenido: Sin contenido aparente
- c) Estratificación: Ausente

#### Radios

- a) Tipo: Heterogéneo Tipo I y II de Kribs
- b) Punteaduras radio vasculares: Similares a la inter vasculares
- c) Numero promedio por milímetro lineal: Numero, de 5 radios
- d) Tamaño número de células: Ancho de 1 a 4 células, altura de 7 a 106 las.
- e) Contenido: Glomerulos gomosos y depósitos de sílice

#### Fibras

- a) Tipos: Fibrotraqueidas
- b) Septas: Parcialmente tabicadas
- c) Estratificación: Ausente
- d) Espesor de pared: Gruesa
- e) Punteaduras: Claramente areoladas

## **CAPÍTULO IV: ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS EN PROBETAS PEQUEÑAS DE MADERA SECA**

### **4.1. COLECCIÓN DE MUESTRA**

Considerando lo que se menciona en la NTP 251.008; la adquisición de las especies maderables que puede realizarse de dos maneras: Extrayéndola del mismo bosque o en diferentes proveedores de madera en la ciudad de Lima, para tener la seguridad que la procedencia sea de distintos árboles.

La NTP 251.008 indica “Para estudios preliminares que permitan obtener un valor promedio de las propiedades físicas y mecánicas deben tomarse como mínimo tres árboles por población”. Considerando esto se optó recolectar las muestras de 04 proveedores diferentes por cada especie, con el apoyo de un personal técnico capacitado para la correcta identificación anatómica, el Ing. forestal Manuel Chavesta Custodio.

#### **4.1.1. Procedencia de las muestras**

La especie Cachimbo Colorado tiene como procedencia las provincias Coronel Portillo y Padre Abad en el departamento de Ucayali; la especie Capirona tiene como procedencia solamente la provincia de Coronel Portillo ubicada en el departamento de Ucayali.

#### **4.1.2. Preparación de las muestras**

Al no haber la oportunidad de ir a la misma zona de extracción, las muestras de las especies Cachimbo Colorado y Capirona fueron colectadas a partir de 4 proveedores diferentes para cada una. La adquisición se realizó de esta manera para asegurar que la procedencia sea de distintos árboles.

El instituto SENCICO se encargó de la compra e identificación de las especies de madera en estudio, con apoyo del Ing. Forestal Manuel Chavesta, para la identificación de especies. Cabe señalar que no solo se compró las especies Cachimbo colorado y Capirona sino otras especies para diferentes investigaciones. Ver Anexo N°2

Dentro de las instalaciones de los proveedores se realizó la selección de troza, identificación, cortado de listones, para luego finalizar con el acarreo, codificación y almacenamiento. Ver Fig. N° 17. Los proveedores de madera de las especies Cachimbo Colorado y Capirona se muestran en la siguiente tabla.

Tabla N° 3 Madereras donde se adquirió las muestras Cachimbo Colorado y Capirona

ESPECIE	PROVEEDOR	MADERERA	DIRECCIÓN	CONTACTO
<b>CACHIMBO COLORADO</b>	P1	Maderas America	Av. Pachacutec Mz. I Lt 08 Parcela II - Villa El Salvador	295 0215 / 998889322
	P2	Maderera Sebastian	Parcela II - Mz. I - Lt 6 - Parque Industrial - Villa El Salvador	287 4014 / 995207392
	P3	Maderera Los Mellizos	Parcela II - Mz. K - Lt 1B - Parque Industrial - Villa El Salvador	287 9588 / 996512811
	P4	Corporacion Shushupe S.A.C.	Parcela II - Mz. I - Lt 6 - Parque Industrial - Villa El Salvador	259-7084 / 990861920
<b>CAPIRONA</b>	P1	Maderas Juan Manuel	Parcela II - Mz. I- Lt 14 - Parque Industrial - Villa El Salvador	785 8414 /945446256
	P2	Maderera Los Mellizos	Parcela II - Mz. K - Lt 1B - Parque Industrial - Villa El Salvador	287 9588 / 996512811
	P3	Maderera Tribay S.A.C	Parcela II - Mz. K- Lt 1A - Parque Industrial - Villa El Salvador	287 5270 / 990270380
	P4	Maderera S J T E.I.R.L.	Parcela II - Mz. Q- Lt 2 - Parque Industrial - Villa El Salvador	280 9674 / 999885296

Fuente: Elaboración propia

Las probetas para los ensayos mecánicos quedaron de dos dimensiones finales, 5cmx5cmx20cm para ensayos a compresión y de 5cmx5cmx76cm para ensayos a flexión. Las codificaciones se hicieron según la especie y proveedor como se muestra en la Fig. N° 18.



Fig. N° 17 Selección de Troza, identificación y corte de listones

Fuente: Elaboración propia



Fig. N° 18 Codificación de la madera Cachimbo Colorado del Proveedor 1

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3. Número de muestras

De las probetas obtenidas, tendrán que cumplir la Norma Madera aserrada para uso estructural. Clasificación visual y requisitos (NTP 251.104) para garantizar la calidad, alcanzando las tolerancias máximas con respecto a los diferentes defectos que puedan presentar las maderas por sus propias características, al ser un material biológico.

El número de muestras usualmente utilizadas para cada tipo de ensayo físico-mecánico son de 20 probetas según lo indica la JUNAC (1984). También menciona que para encontrar el valor representativo, se basa en límite de exclusión del 5% que menciona que de toda la población existente de dicha especie solo el 5% tiene resultados menores a este valor.

Para la presente investigación se contó con 40 probetas para los ensayos a flexión y 40 probetas para los ensayos de compresión paralela a la fibra. Para la determinación del contenido de humedad, se reutilizaron estas mismas probetas en menores dimensiones.

- 40 probetas de **5cmx5cmx20cm** para ensayos a compresión paralela a las fibras.
- 40 probetas de **5cmx5cmx76cm** para ensayos a flexión estática.
- 40 probetas de **5cmx5cmx5cm** para determinar el contenido de humedad.

#### 1.1.1. Secado de madera

En el laboratorio de ensayos de materiales (LEM) de la Universidad Nacional de Ingeniería, se acondicionó un lugar para el secado de maderas, realizando un secado natural o al aire libre según lo mencionado en el capítulo de fundamento teórico. Las maderas fueron apiladas horizontalmente dejando la debida separación para una buena ventilación de aire, hasta llegar a un contenido de humedad que el ambiente lo permita (Humedad en equilibrio). En la Fig. N° 19 se puede apreciar el apilado de las especies Cachimbo Colorado y Capirona.



Fig. N° 19 Acondicionamiento para el secado natural de las especies Cachimbo Colorado y Capirona

Fuente: Elaboración propia

## 4.2. ENSAYO DE PROPIEDADES FÍSICAS

Para determinar la propiedad física de contenido de humedad se siguió los lineamientos establecidos en las normas (NTP 251.010).

### 4.2.1. Contenido de Humedad

Para determinar el contenido de humedad se utilizaron las probetas libres de defectos de los ensayos de flexión estática y compresión paralela a la fibra. Inmediatamente después de realizar los ensayos mecánicos, cada probeta es cortada con una longitud de 2.5 cm en la zona donde no presentan fallas y lo más cercano al centro de la probeta, obteniendo como resultado una muestra de 5cmx5cmx2.5cm para el presente ensayo, tal como se muestra en la Fig. N° 20.

El método a utilizar para el ensayo es el “método B – Secado en estufa” propuesto por la NTP 251.010, en la cual se menciona los lineamientos a seguir para una buena realización del ensayo, como por ejemplo el equipo a utilizar, procedimientos y cálculos, los cuales serán descritos en los párrafos siguientes.

## Equipos

Con respecto a los equipos a utilizar en el ensayo son: una estufa que sea capaz de mantener una temperatura de  $103^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$  durante todo el tiempo de secado y una balanza con una precisión de 0.1g para el pesaje de las muestras.

## Procedimiento

- Se procede al peso de la muestra utilizando la balanza AND GF-20K para alcanzar una precisión deseada. Ver Fig. N° 21
- Se colocan la muestra en la estufa u horno hasta alcanzar los  $103^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$  y tener un peso constante. Ver Fig. N° 22.
- Se asume que la muestra ha alcanzado este punto cuando la pérdida de masa, en un intervalo de 3 horas es igual o menor que dos veces la resolución de la lectura de la balanza seleccionada.
- Las muestras secas se depositan en un desecador con una sustancia desecadora fresca hasta que hayan alcanzado la temperatura ambiente.



Fig. N° 20 Probeta para el Contenido de Humedad de la especie Cachimbo Colorado obtenida a partir de la probeta de Ensayo a Flexión

Fuente: Elaboración propia



Fig. N° 21 Balanza AND GF-20K utilizada para el pesaje de la muestra

Fuente: Elaboración propia



Fig. N° 22 Muestras de las especies Cachimbo Colorado y Capirona puestas al horno

Fuente: Elaboración propia

## **Cálculo del Contenido de Humedad**

Se calcula según la fórmula siguiente:

$$CH\% = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100$$

Donde:

$m_1$ : Masa en gramos de la muestra antes del secado en estufa.

$m_2$ : Masa en gramos de la muestra después del secado en estufa.

### **4.3. ENSAYO DE PROPIEDADES MECÁNICAS**

Los ensayos de propiedades mecánicas se realizaron en base a las normas establecidas NTP 251.017 para Flexión Estática y NTP 2510.14 para Compresión paralela a la fibra. Los ensayos mecánicos se realizaron en el Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM) ubicado en la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI.

#### **4.3.1. Ensayo de Flexión Estática en Probetas**

Para la realización de los ensayos a flexión estática se consideró lo estipulado en la norma NTP 251.017, como el tamaño de las probetas, equipo a utilizar y procedimiento a seguir para la obtención de los resultados.

#### **Tamaño de Probetas para el ensayo.**

La norma NTP. 251.017 indica realizar pruebas con probetas de 5cmx5cmx76cm de longitud con el método primario.

#### **Equipo**

Para el ensayo de flexión según la NTP 251.017 se utiliza una máquina de ensayos universal que tiene la capacidad de aplicar una fuerza, con dos crucetas, fija y móvil. En este caso particular el ensayo se realizó con la máquina de ensayo

uniaxial Alfred J. Amsler cumpliendo con lo requerido. Para la medición de la deflexión se utilizó un deflectómetro con una precisión de 0.01 mm.

### **Procedimientos**

- Primero se realiza la ubicación de un plano neutral, eligiendo cualquier método conveniente para determinar las deformaciones a partir de este plano.
- Segundo, se aplica una carga en el centro de la muestra a través de un cabezal o bloque de carga, sobre la cara tangencial de la probeta. Se colocará las placas de acero con rodillo entre la probeta y los soportes según se muestra en la Fig. N° 23
- Tercero, para la ejecución del ensayo la carga es aplicada continuamente con una velocidad constante de la cruceta móvil de la prensa de 2.5 mm/min para las probetas de 5cmx5cmx76cm.
- Cuarto, en esta parte se empieza a registrar manualmente los intervalos de carga aplicadas en la probeta con sus respectivas deformaciones que se van produciendo en la mitad de la luz de la probeta durante todo el ensayo de flexión tal como se muestra en la Fig. N° 24. Estos datos servirán para elaborar una gráfica carga vs deformación por cada probeta ensayada.
- Como quinta parte del procedimiento se realizará la determinación del contenido de humedad en cada probeta, esto es inmediatamente después del realizar el ensayo de flexión estática, de la parte no agrietada y cercana a la zona donde ha ocurrido la falla se extrae una probeta de 2.5 cm de largo.

### **Expresión de resultados**

Determinación de la carga al límite proporcional ( $P'$ )

La carga límite proporcional se determina sobre la curva carga-deformación, trazando una tangente desde cero la cual corresponde al punto de carga donde la tangente se separa de la curva.

Determinación del esfuerzo de la fibra al límite proporcional (ELP)

El esfuerzo de la fibra al límite proporcional se calcula según la fórmula siguiente:

$$ELP = \frac{3P'L}{2ae^2}$$

Donde:

ELP: Esfuerzo de la fibra al límite proporcional en kg/cm<sup>2</sup>

P': Carga al límite proporcional en kg.

L: distancia entre soportes, luz de la probeta en cm.

a: ancho de la probeta en cm.

e: espesor de la probeta en cm.

Cálculo de Módulo de Rotura (MOR).

Con los valores de carga de rotura por flexión para las 40 probetas ensayadas se determina para cada una su módulo de rotura mediante la fórmula:

$$MOR = \frac{3PL}{2ae^2}$$

Donde:

MOR: Módulo de rotura en kg/cm<sup>2</sup>

P: Carga máxima en kg.

L: distancia entre soportes, luz de la probeta en cm.

a: ancho de la probeta en cm.

e: espesor de la probeta en cm.

Cálculo de Módulo de Elasticidad (MOE).

Se calcula mediante la fórmula:

$$MOE = \frac{P'L^3}{4ae^3Y}$$

Donde:

MOE: Módulo de elasticidad en kg/cm<sup>2</sup>

P': Carga Límite proporcional en kg.

L: distancia entre soportes, luz de la probeta en cm.

a: ancho de la probeta en cm.

e: espesor de la probeta en cm.

Y: deflexión en el centro de la luz al límite proporcional.



*Fig. N° 23 Máquina de Ensayo para flexión*

Fuente: Elaboración propia



*Fig. N° 24 Registro de datos manualmente*

Fuente: Elaboración propia

#### **4.3.2. Ensayo de Compresión paralela a la fibra.**

Para el ensayo de compresión paralela a la fibra se consideró lo mencionado en la norma NTP 251.014, como el tamaño de las probetas, equipo a utilizar para un adecuado ensayo y procedimientos a seguir para la obtención de los resultados.

#### **Tamaño de Probetas para el ensayo.**

La norma NTP. 251.014 indica realizar pruebas con probetas de 5cmx5cmx20cm de longitud con el método primario.

#### **Equipo**

Para el ensayo de compresión paralela según la NTP 251.014 se utiliza una máquina de ensayos universal que tiene la capacidad de aplicar una fuerza, con dos crucetas, fija y móvil. En este caso particular el ensayo se realizó con la máquina de ensayo uniaxial ZWICK / ROELL cumpliendo con lo requerido, ver Fig. N° 25. Para la medición de la deflexión se utilizó un deflectómetro con una precisión de 0.001 mm; el deflectómetro será ensamblado con unas abrazaderas separadas 15 cm entre ellas.

#### **Procedimiento**

- Primero se aplicará la carga sobre las superficies extremas del prisma, o mejor dicho sobre las caras transversales de la probeta. Esta carga se aplicará a una velocidad de 0.6mm/min de forma continua durante todo el ensayo, y con eso se obtendrá una curva de carga-deformación que se deberá realizar hasta después de la rotura de la probeta. NTP.251.014
- Segundo, una vez terminado el ensayo de compresión paralela a la fibra se extraerá una muestra de cada probeta para considerarla en el ensayo de contenido de humedad esta muestra tendrá una longitud de 2.5 cm de largo

## Expresión de resultados

Determinación de la resistencia máxima por compresión axial (RM) de las probetas a ensayar se calculará de cada una su resistencia máxima según la fórmula siguiente:

$$RM = \frac{P}{A}$$

Donde:

RM: Resistencia Máxima por compresión axial, en kg/cm<sup>2</sup>

P: Carga máxima soportada por la probeta, en kg.

A: Área de la superficie de la sección transversal de la probeta calculada antes del ensayo, en cm<sup>2</sup>.

La determinación de módulo de la elasticidad se calcula aplicando la siguiente fórmula.

$$MOE = \frac{P'L}{AD}$$

Donde:

MOE: Módulo de elasticidad en kg/cm<sup>2</sup>

P': Carga al límite proporcional, en kg.

L: distancia entre las abrazaderas del deflectómetro en cm.

A: Área de la sección transversal de la probeta calculada antes del ensayo, en cm<sup>2</sup>.

D: Deformación experimentada por la probeta al límite proporcional, en cm.



Fig. N° 25 Maquina para el Ensayo a Compresión

Fuente: Elaboración propia

Nota: El valor del **P'** se extrae del análisis de una curva Carga-Deformación para cada probeta, pero en caso las curvas presenten un comportamiento aparente no proporcional debido principalmente al método de medición de las deformaciones, se utilizará los valores de carga-deformación en el tramo recto de la curva, obteniendo su pendiente y con ello la obtención de un módulo de elasticidad aparente (MOEa) (Mera Farias, 2002)

Para la presente investigación se utilizó la siguiente fórmula para el cálculo del módulo de elasticidad MOEa:

$$MOEa = \frac{10 \times m \times l}{A}$$

Donde:

MOEa: Módulo de elasticidad aparente en  $\text{kg}/\text{cm}^2$

m: Pendiente de la zona recta de la curva carga-deformación, en  $\text{kg}/\text{mm}$ .

L: Altura de la probeta en cm.

A: Área de la sección transversal de la probeta calculada antes del ensayo, en  $\text{cm}^2$ .

Las curvas carga-deformación, su pendiente respectiva y su coeficiente de correlación  $R^2$  se encuentran en el Anexo N°4 de la presente investigación.

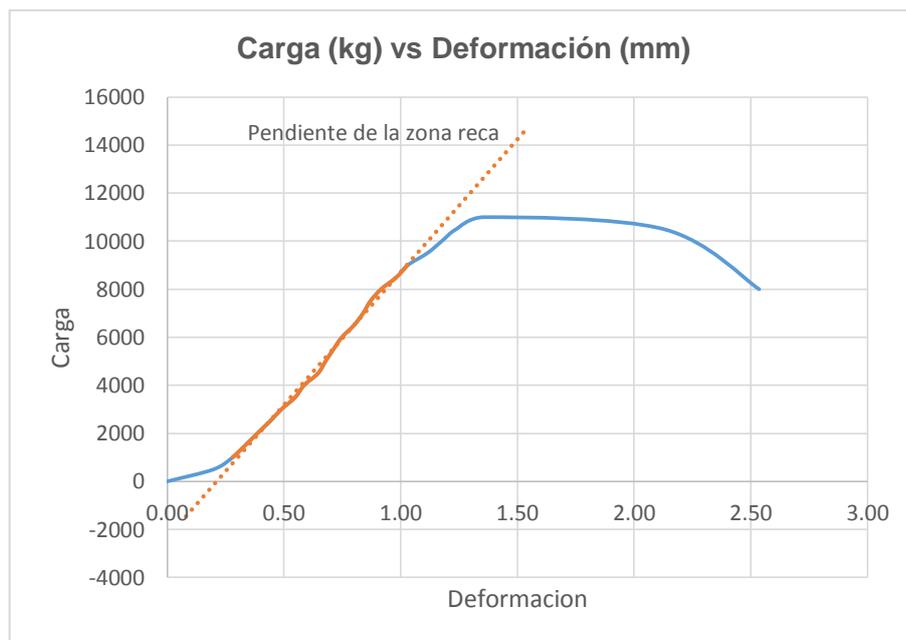


Fig. N° 26 Pendiente en la zona recta de la curva Carga-Deformación

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4 Resultado de los ensayos a flexión estática en la especie Cachimbo Colorado

Probeta N°	Carga al L.P. (Kg)	Defl L.P. (mm)	Carga Max. (Kg)	ELP (Kg/cm2)	MOR (Kg/cm2)	MOE (Kg/cm2)	CH(%)
CC P1-01	680	7.99	1113	571	934	117148	14.54
CC P1-02	640	7.45	1051	541	889	119074	14.91
CC P1-03	740	7.92	1175	623	989	128917	14.81
CC P1-04	680	7.47	1142	582	978	128195	14.32
CC P1-05	580	6.27	1137	514	1007	136851	14.29
CC P1-06	600	6.34	884	517	762	134190	14.63
CC P1-07	700	8.02	1108	598	946	122545	14.44
CC P1-08	660	6.84	1026	582	904	141705	14.33
CC P1-09	720	7.82	1155	602	966	125197	15.24
CC P1-10	740	8.04	1162	629	988	128166	14.37
CC P2-11	420	5.81	876	355	740	99450	14.89
CC P2-12	500	7.56	931	426	794	92918	14.88
CC P2-13	480	7.90	864	406	732	84612	15.07
CC P2-14	640	10.06	916	553	791	90246	15.06
CC P2-15	440	7.78	693	372	586	77863	14.61
CC P2-16	540	8.16	815	456	688	91126	14.71
CC P2-17	440	6.08	826	375	704	101779	14.83
CC P2-18	740	9.15	1132	631	966	114047	14.75
CC P2-19	480	6.92	685	411	586	97293	14.89
CC P2-20	600	8.00	1058	517	912	107502	15.05
CC P3-21	740	8.33	1189	633	1018	124604	15.01
CC P3-22	820	8.66	1131	686	946	129213	14.67
CC P3-23	640	7.88	742	545	632	113805	14.55
CC P3-24	660	8.42	993	552	830	106584	14.97
CC P3-25	720	8.76	1136	587	927	108539	14.57
CC P3-26	640	7.63	1107	541	935	116410	14.59
CC P3-27	640	8.06	929	520	755	104299	14.43
CC P3-28	740	7.62	1074	595	864	125586	13.3
CC P3-29	580	6.23	891	491	755	129327	15.2
CC P3-30	660	8.22	1108	562	944	112438	14.69
CC P4-31	660	7.77	952	555	801	116797	14.81
CC P4-32	720	7.39	1126	614	960	136739	14.97
CC P4-33	640	7.46	847	540	715	118320	14.82
CC P4-34	720	7.95	1223	614	1043	126596	14.66
CC P4-35	720	9.08	921	604	773	108576	14.73
CC P4-36	640	7.49	1232	546	1051	119825	15.12
CC P4-37	620	7.92	979	526	830	108856	14.81
CC P4-38	520	6.41	786	443	670	113350	14.72
CC P4-39	680	8.72	1011	578	859	108438	14.88
CC P4-40	580	7.19	768	491	650	111947	14.88
<b>Promedio</b>	634	7.72	997	537	846	114477	14.73
<b>Desv. Est.</b>	96.20	0.89	153.61	79.76	131.28	14900	0.33
<b>Coef.Var.</b>	0.15	0.11	0.15	0.15	0.16	0.13	0.02
<b>Percentil 5%</b>	440	6.22	740	375	630	89964	14.32

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 5 Resultado de los ensayos a flexión estática en la especie Capirona

Probeta N°	Carga al L.P. (Kg)	Defl L.P. (mm)	Carga Max. (Kg)	ELP (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (Kg/cm <sup>2</sup> )	CH(%)
CAP P1-01	740	9.12	1315	611	1086	108931	14.72
CAP P1-02	760	10.82	1140	646	968	97849	15.22
CAP P1-03	740	9.45	1243	622	1045	107588	14.82
CAP P1-04	700	9.42	1180	584	984	100761	15.01
CAP P1-05	700	8.60	1230	586	1029	110680	15.00
CAP P1-06	660	8.99	1142	565	978	102876	14.71
CAP P1-07	720	8.54	1244	609	1053	117169	15.24
CAP P1-08	720	8.77	1300	692	1249	138177	14.92
CAP P1-09	680	8.28	1306	582	1117	115774	14.87
CAP P1-10	680	9.02	1263	579	1075	105702	15.09
CAP P2-11	760	8.86	1340	634	1117	115839	15.03
CAP P2-12	740	9.56	1016	624	857	106046	15.07
CAP P2-13	760	9.02	1170	629	968	112982	14.89
CAP P2-14	800	9.88	1200	675	1013	111629	15.09
CAP P2-15	740	8.76	1305	624	1101	116229	14.63
CAP P2-16	760	9.08	1144	648	976	116952	14.83
CAP P2-17	760	9.92	1040	643	880	105689	14.99
CAP P2-18	740	9.24	1211	622	1017	110281	15.08
CAP P2-19	760	10.02	1140	644	966	105580	15.07
CAP P2-20	780	8.52	1226	670	1053	129898	14.74
CAP P3-21	780	7.98	1426	649	1187	132482	14.97
CAP P3-22	740	7.52	1320	627	1118	136809	13.43
CAP P3-23	800	8.12	1345	678	1139	136974	15.00
CAP P3-24	800	7.94	1310	706	1156	149069	13.92
CAP P3-25	780	8.16	1420	666	1213	134535	15.15
CAP P3-26	780	7.70	1236	654	1036	138844	15.13
CAP P3-27	780	8.26	1415	667	1210	132770	14.35
CAP P3-28	760	7.08	1408	641	1187	147986	15.06
CAP P3-29	800	8.38	1342	667	1118	129241	15.30
CAP P3-30	760	7.87	1446	628	1194	129852	15.05
CAP P4-31	720	7.66	1400	618	1201	132797	15.22
CAP P4-32	740	8.88	1283	616	1068	112616	15.10
CAP P4-33	940	9.30	1508	803	1287	141373	15.16
CAP P4-34	780	8.48	1409	665	1201	129311	15.09
CAP P4-35	760	8.11	1302	640	1096	128153	15.17
CAP P4-36	780	8.74	1300	674	1123	127683	14.66
CAP P4-37	840	8.92	1400	704	1174	128536	14.73
CAP P4-38	760	8.56	1311	646	1114	123957	14.98
CAP P4-39	700	7.36	1390	596	1182	133246	14.96
CAP P4-40	720	8.14	1273	584	1032	115932	14.18
<b>Promedio</b>	756	8.68	1285	640	1089	121970	14.89
<b>Desv. Est.</b>	48.04	0.78	110.73	43.55	98.98	13698	0.37
<b>Coef.Var.</b>	0.06	0.09	0.09	0.07	0.09	0.11	0.02
<b>Percentil 5%</b>	680	7.51	1135	582	962	102770	14.17

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 6 Resultado de los ensayos a compresión paralela a la fibra en la especie Cachimbo  
Colorado

Probeta N°	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga Max (Kg)	Pend. (Kg/mm)	RM (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOEa (Kg/cm <sup>2</sup> )	CH (%)
CC-P1-01	25.08	12500	12885	498	102731	13.33
CC-P1-02	24.78	11900	8994	480	72562	13.33
CC-P1-03	25.02	11000	11038	440	88217	13.45
CC-P1-04	24.84	11700	9820	471	79066	13.03
CC-P1-05	24.87	11600	7616	467	61258	12.97
CC-P1-06	24.74	12200	10297	493	83256	13.49
CC-P1-07	24.83	11900	9984	479	80417	13.51
CC-P1-08	24.65	11700	8329	475	67576	12.39
CC-P1-09	24.90	10700	7174	430	57619	13.43
CC-P1-10	24.75	11800	8492	477	68630	13.45
CC-P2-11	24.03	12500	10829	520	90117	12.29
CC-P2-12	25.33	11000	24812	434	195944	12.74
CC-P2-13	25.41	11200	12619	441	99337	12.54
CC-P2-14	25.45	11000	11218	432	88168	12.99
CC-P2-15	25.36	10600	8838	418	69711	12.13
CC-P2-16	25.38	10400	9409	410	74152	12.90
CC-P2-17	24.61	13200	11137	536	90522	13.09
CC-P2-18	25.56	10500	11441	411	89512	12.30
CC-P2-19	25.61	11300	9560	441	74647	12.10
CC-P2-20	25.41	11000	8489	433	66826	12.42
CC-P3-21	24.46	11700	12305	478	100625	13.28
CC-P3-22	25.14	12700	12125	505	96479	12.65
CC-P3-23	25.17	12000	9613	477	76400	12.17
CC-P3-24	25.06	12000	13517	479	107856	12.35
CC-P3-25	25.08	11700	11580	467	92363	13.07
CC-P3-26	24.25	11800	12916	487	106525	12.57
CC-P3-27	25.22	12500	13713	496	108767	12.86
CC-P3-28	25.01	12800	10787	512	86245	12.95
CC-P3-29	23.93	12000	12960	502	108335	12.37
CC-P3-30	24.48	13400	12494	547	102064	13.11
CC-P4-31	24.65	12600	10033	511	81416	13.21
CC-P4-32	24.36	13000	10394	534	85322	12.89
CC-P4-33	24.49	12200	13416	498	109576	13.19
CC-P4-34	24.40	13100	10434	537	85513	13.11
CC-P4-35	24.67	12300	13354	499	108278	13.45
CC-P4-36	24.36	13000	13008	534	106780	13.03
CC-P4-37	24.67	14200	12120	576	98272	13.05
CC-P4-38	24.65	12000	10346	487	83939	12.30
CC-P4-39	24.59	12600	20222	512	164495	12.06
CC-P4-40	24.42	11500	10749	471	88027	12.98
<b>Promedio</b>	24.84	11970	11477	482	92439	12.86
<b>Desv. Est.</b>	0.42	857.01	3132.69	39.47	25131.30	0.45
<b>Coef.Var.</b>	0.02	0.07	0.27	0.08	0.27	0.03
<b>Percentil 5%</b>	24.24	10595	8293	418	66547	12.13

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 7 Resultado de los ensayos a compresión paralela a la fibra en la especie Capirona

Probeta N°	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga Max (Kg)	Pend. (Kg/mm)	RM (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOEa (Kg/cm <sup>2</sup> )	CH (%)
CA-P1-01	25.13	11200	8623	446	68617	16.11
CA-P1-02	25.19	12700	14349	504	113948	15.42
CA-P1-03	25.47	13500	13575	530	106609	15.89
CA-P1-04	25.35	13400	14090	529	111160	15.40
CA-P1-05	25.07	13500	12894	538	102844	15.42
CA-P1-06	25.30	13600	16556	538	130900	15.61
CA-P1-07	25.47	10900	10193	428	80032	15.50
CA-P1-08	25.14	13500	18674	537	148564	15.18
CA-P1-09	25.51	10150	7570	398	59353	16.06
CA-P1-10	25.14	13500	16585	537	131967	15.02
CA-P2-11	25.34	11700	12776	462	100834	15.19
CA-P2-12	25.29	13500	10125	534	80086	14.58
CA-P2-13	25.30	8400	10125	332	80053	14.78
CA-P2-14	25.50	11400	13306	447	104351	15.22
CA-P2-15	25.38	15500	14934	611	117677	14.91
CA-P2-16	25.43	12800	16440	503	129289	15.23
CA-P2-17	25.39	14000	13569	551	106879	15.72
CA-P2-18	25.48	10850	7655	426	60080	15.38
CA-P2-19	25.60	7800	8719	305	68119	15.13
CA-P2-20	25.22	13000	10994	516	87201	15.61
CA-P3-21	25.54	14950	14971	585	117246	15.48
CA-P3-22	25.38	15500	12908	611	101734	15.04
CA-P3-23	25.15	14200	14791	565	117600	15.66
CA-P3-24	25.39	14700	15985	579	125934	15.22
CA-P3-25	24.92	10900	3057	437	24530	15.21
CA-P3-26	25.26	14800	17910	586	141802	15.65
CA-P3-27	25.02	14900	15166	596	121231	14.47
CA-P3-28	25.03	14700	11375	587	90891	15.29
CA-P3-29	25.04	14800	17319	591	138304	15.05
CA-P3-30	25.49	14400	12340	565	96833	15.20
CA-P4-31	25.70	13900	12515	541	97374	14.58
CA-P4-32	25.10	12900	17301	514	137832	14.79
CA-P4-33	25.28	14700	11598	581	91754	14.51
CA-P4-34	25.07	13200	16284	526	129885	15.04
CA-P4-35	25.80	14800	13671	574	105992	15.45
CA-P4-36	25.52	14200	14657	556	114879	14.97
CA-P4-37	25.39	13500	11621	532	91553	14.35
CA-P4-38	25.42	15500	14983	610	117879	15.16
CA-P4-39	25.24	15200	14936	602	118374	14.54
CA-P4-40	24.87	11500	13373	462	107544	14.25
<b>Promedio</b>	25.31	13204	13213	522	104443	15.18
<b>Desv. Est.</b>	0.21	1868.00	3238.62	73.83	25788.39	0.45
<b>Coef.Var.</b>	0.01	0.14	0.25	0.14	0.25	0.03
<b>Percentil 5%</b>	25.02	10063	7651	395	60044	14.46

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1. RESULTADOS DE ENSAYOS FÍSICOS

#### 5.1.1. Contenido de Humedad

Para el contenido de humedad se tomó como referencia la NTP 251.010, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla N° 8 Valor promedio del Contenido de Humedad de las probetas ensayas

Determinación del Contenido de Humedad a partir del Ensayo:	Cachimbo Colorado C.H. Prom (%)	Capirona C.H. Prom (%)
Flexión estática	14.73	14.89
Compresión paralela a la fibra	12.86	15.18

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N° 8 se muestran los valores promedio del contenido de humedad. Estos resultados de contenido de humedad corresponden a los ensayos para determinar los esfuerzos admisibles de flexión y compresión, se puede observar que están cercanos al contenido de humedad del 12% y no tienen una diferencia de más de 3 puntos porcentuales.

Para Ugarte & Heinz (2017) y JUNAC (1984) el CHE (Contenido de humedad de equilibrio) dependerá del clima y el lugar donde se encuentre la madera, pero a su vez mencionan que el CHS (Contenido de humedad en estado seco) es generalmente 12% el valor que define a la madera seca al aire.

La norma E0.10 Madera menciona, en el capítulo dos, que para el diseño estructural la madera aserrada deberá estar seca y en ningún caso sobrepasar un contenido de humedad del 22%.

Por ello se decidió ajustar las propiedades mecánicas a dos CH estándar de 12% y 22% siguiendo los procedimientos descritos en el anexo A1 de la Norma ASTM D1990.

## 5.2. RESULTADOS DE ENSAYOS MECÁNICOS

### 5.2.1. Corrección de los resultados de ensayos mecánicos por contenido de humedad

Los ensayos mecánicos fueron realizados con un contenido de humedad entre 12% y 16%, por lo que se consideran que están en estado seco, pero para tener valores más exactos se ajustó a 2 contenidos de humedad estándar, al 12% por ser generalmente el valor que define a la madera seca al aire según estudios de JUNAC (1984) y Ugarte & Heinz (2017), y al 22% siendo el límite considerado por la norma E0.10 Madera.

El procedimiento ha sido descrito siguiendo los lineamientos presentes en el anexo A1 de la Norma ASTM D1990.

El procedimiento indica, que las muestras no estén alejadas del contenido de humedad al que se desea ajustar, para este caso el 12%. Deben evitarse los ajustes de más de cinco puntos porcentuales, ya que disminuye la precisión del ajuste. Para el estándar de la norma ASMT menciona que los ajustes son válidos para contenidos de humedad entre 10 y 23%.

#### 5.2.1.1. Ajuste para el módulo de rotura a flexión (MOR) y la resistencia máxima a la compresión (RM)

Para el MOR a flexión y RM a la compresión los ajustes se calcularán a partir de la siguiente ecuación.

Si:

$$\text{MOR} \leq 2415 \text{ psi}, 169.80 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{RM} \leq 1400 \text{ psi}, 98.42 \text{ kg/cm}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} S_2 = S_1$$

Si:

$$\left. \begin{array}{l} \text{MOR} > 2415 \text{ psi, } 169.80 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{RM} > 1400 \text{ psi, } 98.42 \text{ kg/cm}^2 \end{array} \right\} S_2 = S_1 + \left\{ \frac{(S_1 - B_1)}{(B_2 - M_1)} \right\} \times (M_1 - M_2)$$

Dónde:

$S_1$  = propiedad en el Contenido de Humedad 1, psi,

$S_2$  = propiedad en contenido de humedad 2, psi,

$M_1$  = contenido de humedad 1, %

$M_2$  = Contenido de humedad 2, %

$B_1, B_2$  = constantes de la Tabla N° 9

### 5.2.1.2. Ajuste para el módulo de elasticidad a flexión (MOE)

El módulo de elasticidad en flexión, MOE, se puede ajustar para cambios en el contenido de humedad usando la ecuación.

$$S_2 = S_1 \frac{(B_1 - (B_2 \times M_2))}{(B_1 - (B_2 \times M_1))}$$

$S_1$  = propiedad en el Contenido de humedad 1, psi,

$S_2$  = propiedad en contenido de humedad 2, psi,

$M_1$  = contenido de humedad 1, %

$M_2$  = Contenido de humedad 2, %

$B_1, B_2$  = constantes de la Tabla N° 9

Tabla N° 9 Constantes para el ajuste de MOR, RM y MOE

Constantes	MOR	RM	MOE
<b>B1</b>	2415	1400	1.857
<b>B2</b>	40	34	0.0237

Fuente: ASTM D1990

Tabla N° 10 Valores corregidos para el Esfuerzo Limite Proporcional (ELP), Modulo de Rotura (MOR) y Modulo de Elasticidad (MOE) a Flexión de la especie Cachimbo colorado

Probeta N°	CH(%)	Valores Corregidos al CH 12%			Valores Corregidos al CH 22%		
		ELP (Kg/cm2)	MOR (Kg/cm2)	MOE (Kg/cm2)	ELP (Kg/cm2)	MOR (Kg/cm2)	MOE (Kg/cm2)
CC P1-01	14.54	611	1010	121811	453	710	103453
CC P1-02	14.91	584	972	124536	436	686	105767
CC P1-03	14.81	674	1080	134618	494	755	114330
CC P1-04	14.32	619	1051	132840	459	736	112820
CC P1-05	14.29	545	1082	141743	411	756	120381
CC P1-06	14.63	553	823	139728	416	590	118670
CC P1-07	14.44	639	1020	127223	471	716	108050
CC P1-08	14.33	619	971	146862	459	685	124729
CC P1-09	15.24	659	1070	131624	484	749	111788
CC P1-10	14.37	671	1064	132913	492	744	112882
CC P2-11	14.89	376	806	103979	303	579	88308
CC P2-12	14.88	455	866	97134	353	617	82495
CC P2-13	15.07	435	801	88717	340	576	75347
CC P2-14	15.06	600	867	94609	446	618	80351
CC P2-15	14.61	393	629	81051	313	465	68836
CC P2-16	14.71	487	744	95006	373	539	80688
CC P2-17	14.83	398	764	106313	317	552	90291
CC P2-18	14.75	681	1053	118978	499	737	101047
CC P2-19	14.89	439	634	101723	343	468	86393
CC P2-20	15.05	559	1003	112681	420	705	95700
CC P3-21	15.01	689	1120	130525	503	781	110854
CC P3-22	14.67	740	1028	134630	537	721	114341
CC P3-23	14.55	583	678	118353	435	497	100517
CC P3-24	14.97	597	908	111578	445	645	94763
CC P3-25	14.57	629	1004	112912	465	706	95896
CC P3-26	14.59	579	1013	121138	433	712	102882
CC P3-27	14.43	553	811	108264	416	582	91948
CC P3-28	13.3	616	898	128096	456	638	108791
CC P3-29	15.2	532	831	135880	403	595	115402
CC P3-30	14.69	604	1026	117189	449	720	99528
CC P4-31	14.81	598	871	121962	445	621	103582
CC P4-32	14.97	667	1054	143146	489	738	121573
CC P4-33	14.82	581	776	123572	434	560	104949
CC P4-34	14.66	661	1135	131883	485	790	112007
CC P4-35	14.73	651	838	113235	479	599	96170
CC P4-36	15.12	593	1162	125737	442	807	106788
CC P4-37	14.81	566	904	113670	424	642	96539
CC P4-38	14.72	472	724	118195	364	526	100382
CC P4-39	14.88	625	938	113358	462	664	96274
CC P4-40	14.88	528	705	117026	400	514	99390
<b>Promedio</b>	14.73	577	918	119361	431	651	101373
<b>Desv. Est.</b>	0.33	87.62	144.95	15381	56.32	93.18	13063
<b>Coef.Var.</b>	0.02	0.15	0.16	0.13	0.13	0.14	0.13
<b>Percentil 5%</b>	14.32	398	676	94314	316	495	80101

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 11 Valores corregidos de la Resistencia Máxima (RM) y Modulo de elasticidad aparente (MOEa) en compresión de la especie Cachimbo colorado

Probeta N°	CH (%)	Valores Corregidos al CH 12%		Valores Corregidos al CH 22%	
		RM (Kg/cm2)	MOEa (Kg/cm2)	RM (Kg/cm2)	MOEa (Kg/cm2)
CC-P1-01	13.33	524	104832	330	89033
CC-P1-02	13.33	505	74047	320	62887
CC-P1-03	13.45	464	90188	298	76596
CC-P1-04	13.03	489	80313	312	68209
CC-P1-05	12.97	484	62167	309	52798
CC-P1-06	13.49	522	85169	329	72333
CC-P1-07	13.51	507	82289	321	69888
CC-P1-08	12.39	482	67975	308	57731
CC-P1-09	13.43	453	58888	292	50013
CC-P1-10	13.45	504	70164	319	59590
CC-P2-11	12.29	526	90512	331	76872
CC-P2-12	12.74	446	198154	288	168291
CC-P2-13	12.54	450	100152	290	85059
CC-P2-14	12.99	448	89503	289	76015
CC-P2-15	12.13	420	69848	274	59322
CC-P2-16	12.90	423	75171	276	63842
CC-P2-17	13.09	559	92034	350	78164
CC-P2-18	12.30	415	89918	271	76367
CC-P2-19	12.10	443	74760	286	63493
CC-P2-20	12.42	440	67251	284	57116
CC-P3-21	13.28	501	102604	318	87141
CC-P3-22	12.65	517	97433	327	82750
CC-P3-23	12.17	480	76596	307	65053
CC-P3-24	12.35	485	108428	309	92087
CC-P3-25	13.07	486	93877	310	79729
CC-P3-26	12.57	497	107448	316	91255
CC-P3-27	12.86	512	110195	324	93588
CC-P3-28	12.95	531	87498	334	74311
CC-P3-29	12.37	509	108943	322	92524
CC-P3-30	13.11	571	103801	356	88158
CC-P4-31	13.21	535	82928	337	70431
CC-P4-32	12.89	552	86482	346	73449
CC-P4-33	13.19	521	111577	329	94762
CC-P4-34	13.11	560	86968	350	73862
CC-P4-35	13.45	527	110697	332	94014
CC-P4-36	13.03	555	108464	348	92118
CC-P4-37	13.05	600	99853	372	84804
CC-P4-38	12.30	492	84320	313	71613
CC-P4-39	12.06	513	164644	325	139831
CC-P4-40	12.98	488	89347	311	75882
<b>Promedio</b>	12.86	498	93636	317	79524
<b>Desv. Est.</b>	0.45	43.41	25292	23.68	21481
<b>Coef.Var.</b>	0.03	0.09	0.27	0.07	0.27
<b>Percentil 5%</b>	12.13	422	66997	276	56900

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 12 Valores corregidos para el Esfuerzo Limite Proporcional (ELP), Modulo de Rotura (MOR) y Modulo de Elasticidad (MOE) a Flexión de la especie Capirona

Probeta N°	CH(%)	Valores Corregidos al CH 12%			Valores Corregidos al CH 22%		
		ELP (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (Kg/cm <sup>2</sup> )	ELP (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (Kg/cm <sup>2</sup> )
CAP P1-01	14.72	658	1185	113587	484	822	96469
CAP P1-02	15.22	708	1072	102840	516	750	87341
CAP P1-03	14.82	673	1143	112363	493	795	95430
CAP P1-04	15.01	634	1082	105549	468	756	89642
CAP P1-05	15.00	636	1132	115921	469	788	98451
CAP P1-06	14.71	607	1065	107256	451	745	91092
CAP P1-07	15.24	666	1169	123184	489	812	104619
CAP P1-08	14.92	753	1375	144538	545	944	122755
CAP P1-09	14.87	629	1225	121008	465	848	102771
CAP P1-10	15.09	630	1187	110865	465	824	94157
CAP P2-11	15.03	690	1232	121382	504	853	103089
CAP P2-12	15.07	680	942	111190	498	666	94433
CAP P2-13	14.89	682	1060	118127	499	742	100324
CAP P2-14	15.09	738	1118	117081	535	779	99436
CAP P2-15	14.63	671	1198	121026	492	830	102787
CAP P2-16	14.83	702	1067	122162	512	746	103752
CAP P2-17	14.99	700	965	110676	510	681	93997
CAP P2-18	15.08	678	1122	115649	496	782	98220
CAP P2-19	15.07	702	1064	110702	512	745	94018
CAP P2-20	14.74	724	1149	135493	526	799	115073
CAP P3-21	14.97	706	1308	138690	514	901	117788
CAP P3-22	13.43	652	1169	139822	480	812	118750
CAP P3-23	15.00	739	1255	143460	536	868	121840
CAP P3-24	13.92	745	1229	153511	540	850	130376
CAP P3-25	15.15	729	1345	141240	529	925	119954
CAP P3-26	15.13	715	1145	145718	520	797	123757
CAP P3-27	14.35	713	1305	137645	519	900	116901
CAP P3-28	15.06	699	1312	155140	510	904	131760
CAP P3-29	15.30	733	1245	136005	532	861	115508
CAP P3-30	15.05	684	1319	136108	500	909	115596
CAP P4-31	15.22	676	1335	139570	495	919	118536
CAP P4-32	15.10	672	1180	118135	492	819	100331
CAP P4-33	15.16	884	1429	148442	629	979	126071
CAP P4-34	15.09	726	1329	135627	528	915	115187
CAP P4-35	15.17	700	1214	134583	511	841	114300
CAP P4-36	14.66	727	1223	133015	528	847	112969
CAP P4-37	14.73	762	1282	134051	550	885	113849
CAP P4-38	14.98	703	1226	129786	512	849	110226
CAP P4-39	14.96	646	1302	139467	476	897	118449
CAP P4-40	14.18	619	1105	119870	459	771	101805
<b>Promedio</b>	14.89	695	1195	127512	507	829	108295
<b>Desv. Est.</b>	0.37	49.31	110.75	14174	31.70	71.20	12037
<b>Coef.Var.</b>	0.02	0.07	0.09	0.11	0.06	0.09	0.11
<b>Percentil 5%</b>	14.17	629	1055	107171	465	739	91020

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 13 Valores corregidos de la Resistencia Máxima (RM) y Modulo de elasticidad aparente (MOEa) en compresión de la especie Capirona

Probeta N°	CH (%)	Valores Corregidos al CH 12%		Valores Corregidos al CH 22%	
		RM (Kg/cm2)	MOEa (Kg/cm2)	RM (Kg/cm2)	MOEa (Kg/cm2)
CA-P1-01	16.11	526	73147	332	62124
CA-P1-02	15.42	579	120141	360	102035
CA-P1-03	15.89	623	113248	384	96181
CA-P1-04	15.40	608	117163	376	99506
CA-P1-05	15.42	619	108433	382	92091
CA-P1-06	15.61	624	138432	385	117569
CA-P1-07	15.50	490	84489	312	71756
CA-P1-08	15.18	611	156042	378	132526
CA-P1-09	16.06	466	63222	299	53694
CA-P1-10	15.02	607	138260	376	117423
CA-P2-11	15.19	524	105926	330	89962
CA-P2-12	14.58	592	83326	368	70768
CA-P2-13	14.78	366	83553	244	70961
CA-P2-14	15.22	507	109673	321	93144
CA-P2-15	14.91	689	123074	421	104526
CA-P2-16	15.23	573	135904	357	115423
CA-P2-17	15.72	643	113227	396	96163
CA-P2-18	15.38	485	63305	310	53764
CA-P2-19	15.13	339	71491	230	60717
CA-P2-20	15.61	598	92218	371	78320
CA-P3-21	15.48	676	123735	414	105088
CA-P3-22	15.04	693	106619	423	90551
CA-P3-23	15.66	658	124465	404	105707
CA-P3-24	15.22	661	132356	406	112410
CA-P3-25	15.21	495	25777	315	21892
CA-P3-26	15.65	683	150056	417	127442
CA-P3-27	14.47	659	125919	404	106942
CA-P3-28	15.29	673	95633	412	81220
CA-P3-29	15.05	670	144968	410	123120
CA-P3-30	15.20	644	101740	396	86407
CA-P4-31	14.58	600	101314	372	86045
CA-P4-32	14.79	574	143882	358	122198
CA-P4-33	14.51	643	95361	396	80989
CA-P4-34	15.04	595	136122	369	115607
CA-P4-35	15.45	662	111805	406	94956
CA-P4-36	14.97	627	120262	387	102138
CA-P4-37	14.35	584	94915	363	80611
CA-P4-38	15.16	696	123773	424	105120
CA-P4-39	14.54	668	123086	409	104536
CA-P4-40	14.25	503	111318	319	94542
<b>Promedio</b>	15.18	593	109684	368	93154
<b>Desv. Est.</b>	0.45	85.17	27044	46.45	22968
<b>Coef.Var.</b>	0.03	0.14	0.25	0.13	0.25
<b>Percentil 5%</b>	14.46	461	63301	296	53761

Fuente: Elaboración Propia

### 5.2.2. Flexión Estática

#### Módulo de Rotura y Módulo de Elasticidad a flexión.

Después de la recolección y procesamiento de datos, los valores fueron ajustados para contenidos de humedad estándar de 12% y 22% tal como se muestra en las Tabla N° 10 y Tabla N° 12. A continuación se muestra el resumen de los valores representativos para las dos especies en estudio.

Tabla N° 14 Valores representativos del MOR y MOE a flexión para la especie Cachimbo Colorado

CACHIMBO COLORADO				
Valores Representativos al CH 12%			Valores Representativos al CH 22%	
Probeta N°	MOR (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (Kg/cm <sup>2</sup> )
Promedio	918	119361	651	101373
Desv. Est.	144.95	15381	93	13063
Coef.Var.	0.16	0.13	0.14	0.13
Percentil 5%	676	94314	495	80101

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 15 Valores representativos del MOR y MOE a flexión para la especie Capirona

CAPIRONA				
Valores Representativos al CH 12%			Valores Representativos al CH 22%	
Probeta N°	MOR (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (Kg/cm <sup>2</sup> )
Promedio	1195	127512	829	108295
Desv. Est.	110.75	14174	71	12037
Coef.Var.	0.09	0.11	0.09	0.11
Percentil 5%	1055	107171	739	91020

Fuente: Elaboración Propia

### 5.2.3. Compresión Paralela a la Fibra

#### Resistencia Máxima a la Compresión

Los valores arrojados por el ensayo a compresión fueron también ajustados para contenidos de humedad estándar de 12% y 22% tal como se muestra en las Tabla N° 11 y Tabla N° 13. A continuación se muestra el resumen de los valores representativos para la resistencia máxima en las dos especies en estudio.

Tabla N° 16 Valores representativos de la RM y MOEa a compresión para la especie Cachimbo Colorado

	CACHIMBO COLORADO			
	Valores representativos al CH 12%		Valores representativos al CH 22%	
Probeta N°	RM (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOEa (Kg/cm <sup>2</sup> )	RM (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOEa (Kg/cm <sup>2</sup> )
Promedio	498	93636	317	79524
Desv. Est.	43.41	25292	23.68	21481
Coef.Var.	0.09	0.27	0.07	0.27
Percentil 5%	422	66997	276	56900

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 17 Valores representativos de la RM y MOEa a compresión para la especie Capirona

	CAPIRONA			
	Valores representativos al CH 12%		Valores representativos al CH 22%	
Probeta N°	RM (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOEa (Kg/cm <sup>2</sup> )	RM (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOEa (Kg/cm <sup>2</sup> )
Promedio	593	109684	368	93154
Desv. Est.	85.17	27044	46.45	22968
Coef.Var.	0.14	0.25	0.13	0.25
Percentil 5%	461	63301	296	53761

Fuente: Elaboración Propia

Para el módulo de elasticidad se consideró el obtenido a través del ensayo a flexión por ser las deflexiones el criterio básico para el dimensionamiento en un diseño de elemento a flexión.

#### 5.2.4. Comparación de las propiedades mecánicas con otros estudios realizados.

Se realizó la comparación entre otros estudios con los resultados promedios calculados de los ensayos a flexión y compresión paralela mostradas en Tabla N° 14 hasta la Tabla N° 17, para ver que los valores sean similares deduciendo que se trata de las mismas especies.

Tabla N° 18 Comparación de resultados de la especie Cachimbo Colorado

Fuente	CACHIMBO COLORADO				
	Flexión Estática			Compresión Paralela	
	ELP (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (Kg/cm <sup>2</sup> )	RM (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (Kg/cm <sup>2</sup> )
López, D (2017), Seco	537	918	119361	498	93636
H. Valderrama (1993)	429	735	131000	342	66000
Villanueva Peña (2005)	420	787	125641	--	--
Junac(1982) Peru, Seco	626	1134	164310	521	189440
Junac(1982) Peru, Verde	415.7	716	132240	343	162750

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 19 Comparación de resultados de la especie Capirona

Fuente	CAPIRONA				
	Flexión Estática			Compresión Paralela	
	ELP (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOR (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (Kg/cm <sup>2</sup> )	RM (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOE (Kg/cm <sup>2</sup> )
López, D (2017), Seco	640	1195	127512	593	109684
H. Valderrama (1993)	813	1312	162000	660	183000
Mera, L. (2002)	721	1132	119000	532	67780
Huaraz, E. (2004), Seco	727	1120	132000	--	--
Huaraz, E. (2004), Verde	687	1020	116000	--	--
Junac(1982) Peru, Seco	813	1312	161800	660	146420
Junac(1982) Peru, Verde	682	1027	108430	500	134430

Fuente: Elaboración propia

### 5.3. PROPUESTA DE ESFUERZOS ADMISIBLES PARA MADERA SECA

Para el cálculo de los esfuerzos admisibles se debe tener algunos conceptos básicos

#### 5.3.1. Conceptos básicos para la determinación de esfuerzos admisibles

##### 5.3.1.1. Módulo de elasticidad promedio

Se promedian los valores del módulo de elasticidad (MOE) obtenidos de las probetas libre de defectos. Este valor resultante es el módulo de elasticidad promedio que representa a la especie en estudio.

### 5.3.1.2. Módulo de elasticidad mínimo

El módulo de elasticidad mínimo es el correspondiente al valor donde solamente el 5% del total del número de muestras es menor a este. Para poder hallar el valor mínimo se utilizó un límite de exclusión del 5% de los valores, que consiste en ordenar de menor a mayor los valores y se toma el valor que corresponde al orden igual al 5% del número total de ensayos.

### 5.3.1.3. Esfuerzo promedio

Es el valor resultante al promediar todos los valores del Módulo de rotura a flexión (MOR) o de la Resistencia máxima a la compresión (RM).

### 5.3.1.4. Esfuerzo Básico

Según la NTP E0.10, es el esfuerzo mínimo obtenido de ensayos de propiedades mecánicas que sirve para la determinación del esfuerzo admisible. Este mínimo corresponde a un límite de exclusión del 5%, que significa que es el valor donde solamente el 5% del total del número de muestras es menor a este. Para nuestro estudio es considerado el 5% percentil.

## 5.3.2. Determinación de esfuerzos admisibles

La Norma E-010 Madera del Reglamento Nacional de Edificaciones presenta en el Artículo 11 Agrupamiento, el cálculo de los esfuerzos admisibles aplicando la siguiente expresión.

$$\text{Esfuerzo Admisible} = \frac{F.C \times F.T}{F.S \times F.D.C} \times \text{Esfuerzo Básico}$$

Donde:

F.C = Coeficiente de reducción por calidad

F.T= Coeficiente de reducción por tamaño

F.S= Coeficiente de seguridad

F.D.C= Coeficiente de duración de Carga

Tabla N° 20 Coeficientes para la determinación de esfuerzo admisibles

	FLEXIÓN	COMPRESIÓN PARALELA	CORTE PARALELO	COMPRESIÓN PERPENDICULAR
<b>F.C</b>	0,80	*	*	*
<b>F.T</b>	0,90	*	*	*
<b>F.S</b>	2,00	1,60	4,00**	1,60
<b>F.D.C</b>	1,15	1,25	*	*

(\*) Incluido en F.S  
(\*\*) Incluye un coeficiente por concentración de esfuerzos = 2 debido a la posible presencia de rajaduras por secado en los extremos de la pieza

Fuente: (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2014) "Reglamento Nacional de Edificaciones"

Siguiendo el criterio de la norma E-0.10 madera, se realiza el cálculo a partir de los esfuerzos básicos mencionados en el ítem 5.2.2 y 5.2.3 que servirán de utilidad para el cálculo de los valores admisibles, estos serán mostrados en las Tabla siguientes con los factores respectivos para el cálculo. A continuación se muestra la operación a realizar para la determinación de esfuerzos admisibles de flexión y compresión paralela.

$$\text{Esfuerzo a la flexión admisible} = \text{MOR}_{\text{Admisilbe}} = \frac{0.8 \times 0.9}{2 \times 1.15} \times \text{Esfuerzo Básico}$$

$$\text{Esfuerzo a la compresión paralela admisible} = \text{RM}_{\text{Admisilbe}} = \frac{1 \times 1}{1.60 \times 1.25} \times \text{Esfuerzo Básico}$$

Tabla N° 21 Esfuerzo Admisible a flexión de para la Madera Cachimbo Colorado

	Madera Cachimbo Colorado 12% CH	Madera Cachimbo Colorado 22% CH
Esfuerzo a la Flexión MOR básico (kg/cm)	676	495
(FC)	0.80	0.80
(FT)	0.90	0.90
(FS)	2.00	2.00
(FDC)	1.15	1.15
<b>Esfuerzo admisible a la Flexión MOR<sub>admisilbe</sub>; F'm (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>212</b>	<b>155</b>

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 22 Esfuerzo Admisible a flexión de para la Madera Capirona

	Madera Capirona 12% CH	Madera Capirona 22% CH
Esfuerzo a la Flexión MOR básico (kg/cm)	1055	739
(FC)	0.80	0.80
(FT)	0.90	0.90
(FS)	2.00	2.00
(FDC)	1.15	1.15
<b>Esfuerzo admisible a la Flexión MOR admisible; F'm (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>330</b>	<b>231</b>

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 23 Esfuerzo Admisible a Compresión Paralela de para la Madera Cachimbo Colorado

	Madera Cachimbo Colorado 12%	Madera Cachimbo Colorado 22%
Esfuerzo a Compresión Paralela RM básico (kg/cm)	422	276
(FC)	1.00	1.00
(FT)	1.00	1.00
(FS)	1.60	1.60
(FDC)	1.25	1.25
<b>Esfuerzo admisible Compresión Paralela RM admisible; Fc// (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>211</b>	<b>138</b>

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 24 Esfuerzo Admisible a Compresión Paralela de para la Madera Cachimbo Colorado

	Madera Cachimbo Colorado 12%	Madera Cachimbo Colorado 22%
Esfuerzo a Compresión Paralela RM básico (kg/cm)	461	296
(FC)	1.00	1.00
(FT)	1.00	1.00
(FS)	1.60	1.60
(FDC)	1.25	1.25
<b>Esfuerzo admisible Compresión Paralela RM admisible; Fc// (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>230</b>	<b>148</b>

Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla N° 21 a la Tabla N° 25 se muestran los esfuerzos admisibles a flexión y compresión paralela con sus respectivos factores de corrección para su cálculo, a dos contenidos de humedad estándar. Se observa que los esfuerzos en la madera disminuyen al aumentar el contenido de humedad.

En la tabla siguiente se muestra el resumen de los esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad de las especies en estudio a un contenido de humedad del 12% (seco) y al 22%.

Tabla N° 25 Esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad de las especies Cachimbo Colorado y Capirona

Especie	CH %	MOE promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOE mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. De Flex. Admisible F'm (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. De Compr. Admisible Fc// (Kg/cm <sup>2</sup> )
Madera Cachimbo Colorado	12%	119361	94314	212	211
Madera Capirona	12%	127512	107171	330	230
Madera Cachimbo Colorado	22%	101373	80101	155	138
Madera Capirona	22%	108295	91020	231	148

Fuente: Elaboración Propia

Los valores de la Tabla N° 25 van a ser utilizados para la comparación entre ellos a diferentes ajustes de contenido de humedad y con los valores de la norma E-010 Madera. Se tiene conocimiento que los valores de la norma fueron obtenidos a partir de ensayos en madera verde por lo que la presente investigación tiene como objetivo analizar el comportamiento a la compresión y flexión en madera seca, basando en la hipótesis que las maderas en estado seco presentan valores más favorables. En este sentido se observa que a cierta manera se está cumpliendo con la hipótesis presentada en el capítulo 1.

Las maderas Cachimbo Colorado y Capirona pertenecen al grupo B de la norma E-010 Madera. Para poder compararlos con los valores del grupo B se optó en elegir los valores mínimos entre estas dos especies con su respectivo contenido de humedad, siendo los que representarían al grupo B para la comparación, ver Tabla N° 26. Cabe señalar que mientras más especies del grupo B se investiguen habrá una mayor seguridad ya que se elegiría la madera más débil del grupo de todas las especies investigadas.

Tabla N° 26 Comparación de los esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad con la Norma E-0.10 Madera

	CH % de ensayo	MOE promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOE mínimo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. De Flex. Admisible F'm (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esf. De Compr. Admisible Fc// (Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>GRUPO B (Tesis)</b>	12%	119361	94314	212	211
GRUPO B (Tesis)	22%	101373	80101	155	138
<b>GRUPO B Norma E0.10 MADERA</b>	Verde	100000	75000	150	110

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla N° 26 muestra los valores mínimos obtenidos entre las dos especies Cachimbo Colorado y Capirona. Se observa que los valores ajustados al 22% de C.H. son ligeramente mayores al de la norma por ser el límite que exige esta misma. Por el contrario los valores ajustados al 12% de C.H. presentan números considerablemente mayores con respecto a la norma, ya que se encuentran en un estado seco. En el capítulo siguiente se realizará una comparación entre los valores obtenidos en estado seco (12% CH) con los valores de la norma para ver que mejoras trae el diseño en madera seca.

## **CAPÍTULO VI: APLICACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISEÑO DE UN TIJERAL**

El presente capítulo muestra el diseño de un elemento del tijeral para la comparación entre madera seca ajustado al 12% CH con madera verde 25% CH aproximadamente, con la finalidad de ver que tan favorable es el diseño con madera seca, siendo sus esfuerzos admisibles mayores a los de madera verde.

Se realizarán tres diseños para la comparación. El primer diseño con los valores de esfuerzos admisibles propuestos en la norma E0.10 madera (madera verde) y el segundo y tercer diseño con los valores de esfuerzos admisibles a flexión ( $F_m$ ) y compresión paralela ( $F_{c//}$ ) de las especies Cachimbo Colorado y Capirona respectivamente.

### **6.1. ALCANCES**

El tijeral presenta una forma W, y forma parte de un techo a dos aguas, con un área en planta de 7.8 m de ancho x 14 m de largo. El tijeral principal estará espaciado cada 3.5 m y tendrá una luz de 7.8 m con una pendiente de 0.5; sobre la brida superior del tijeral descansarán correas cada 1.09 m que servirán de soporte para la cobertura de fibrocemento. En la brida inferior del tijeral presentará también correas cada 1.09 m, que servirán para el sostén del cielo raso contribuyendo también como arriostres. Ver Fig. N° 27

Para usos prácticos los diseños de la madera Cachimbo Colorado y Capirona se realizarán con una misma densidad para poder compararse al mismo tiempo con el diseño de la del grupo B; además contarán con sus respectivos valores de esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad calculados en la presente tesis. También la forma geométrica del tijeral será igual para los tres casos, tal como se observa en la Fig. N° 28 , diferenciándose en las secciones a utilizar.

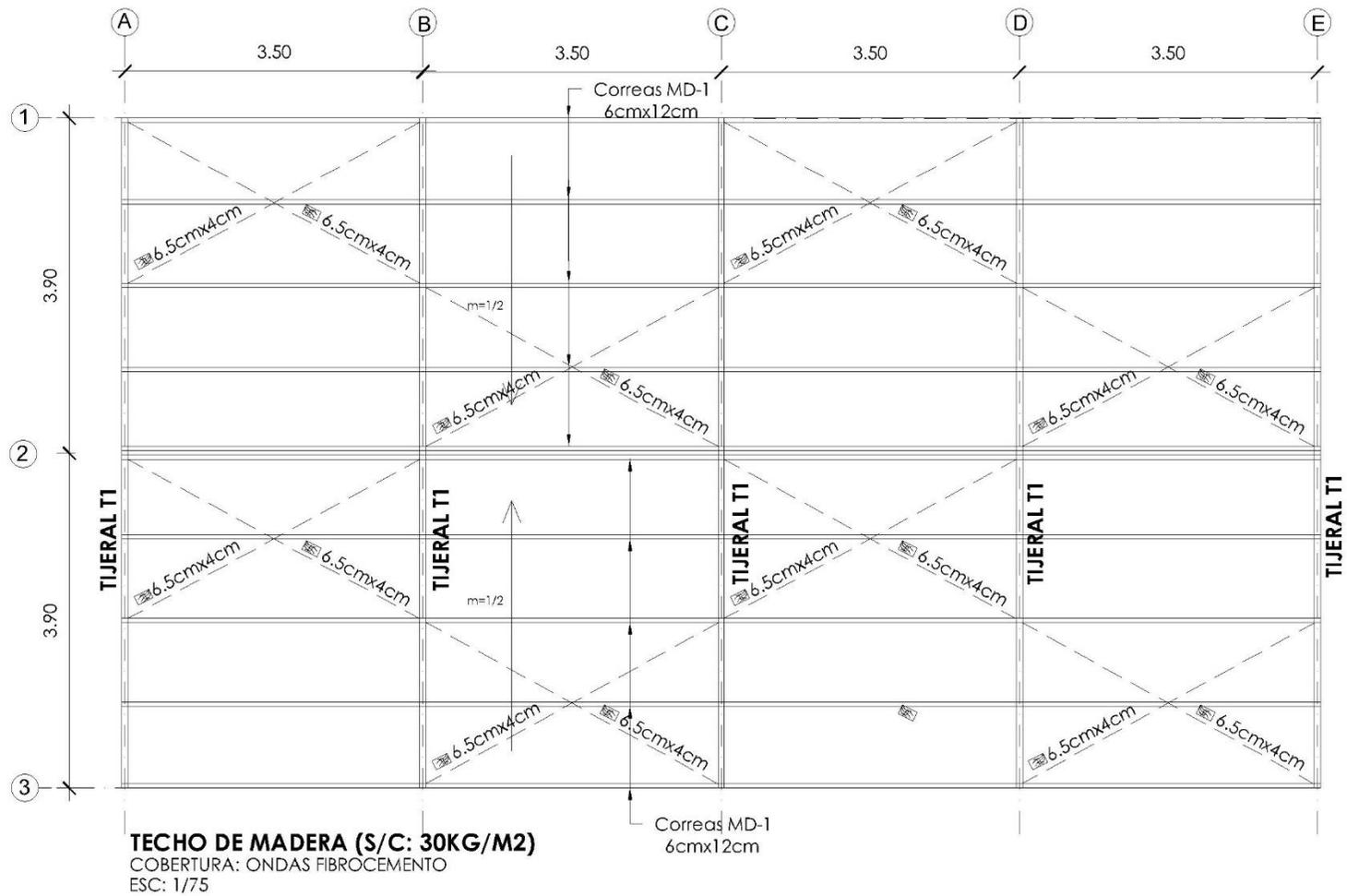


Fig. N° 27 Plano en planta del techo de madera

Fuente: Elaboración Propia

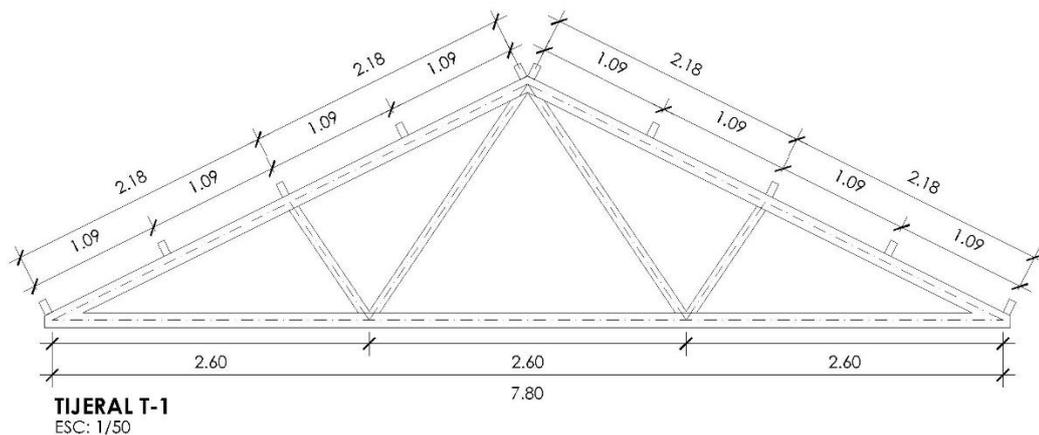


Fig. N° 28 Forma geométrica del tijeral para los tres diseños.

Fuente: Elaboración Propia

Las secciones de los elementos propuestos para los tres casos de diseño son:

**Grupo B**

Brida Superior e inferior:

Diagonales:

**Sección**

6cmx12.5cm

6cmx9cm

**Madera Cachimbo Colorado**

Brida Superior e inferior:

Diagonales:

**Sección**

5.5cmx11cm

5.5cmx9cm

**Madera Capirona**

Brida Superior e inferior:

Diagonales:

**Sección**

5cmx10cm

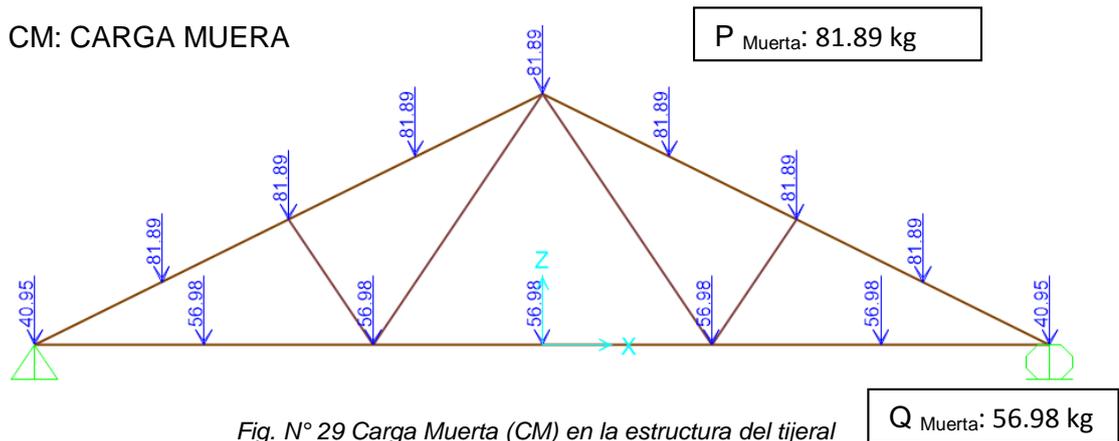
5cmx9cm

Caber resaltar que las dimensiones no son comerciales, por tratarse de una comparación con fin académico.

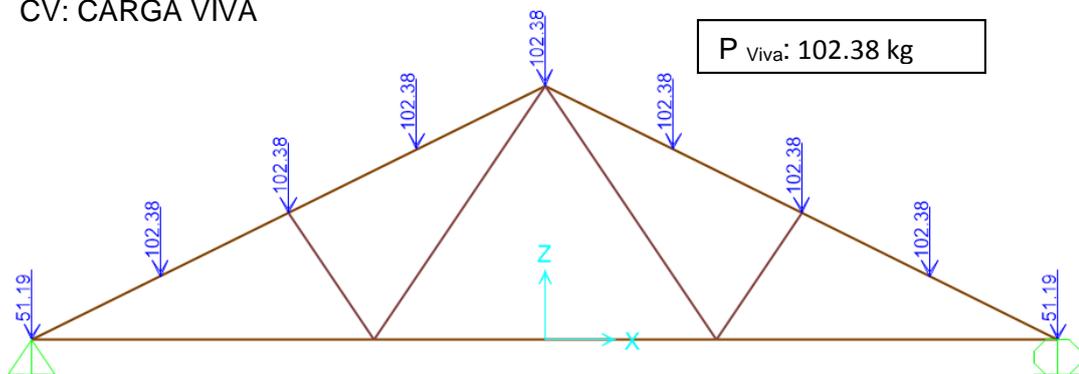
Para el cálculo de cargas se realizó un metrado de cargas descrito en el Anexo N°5, considerando el peso de las correas, cobertura, luminarias, sobrecarga de montaje, y viento; el peso propio de los elementos del tijeral se calculó automáticamente en el programa SAP2000 V16.0, por la geometría de las secciones.

Del metrado de cargas se obtuvo:

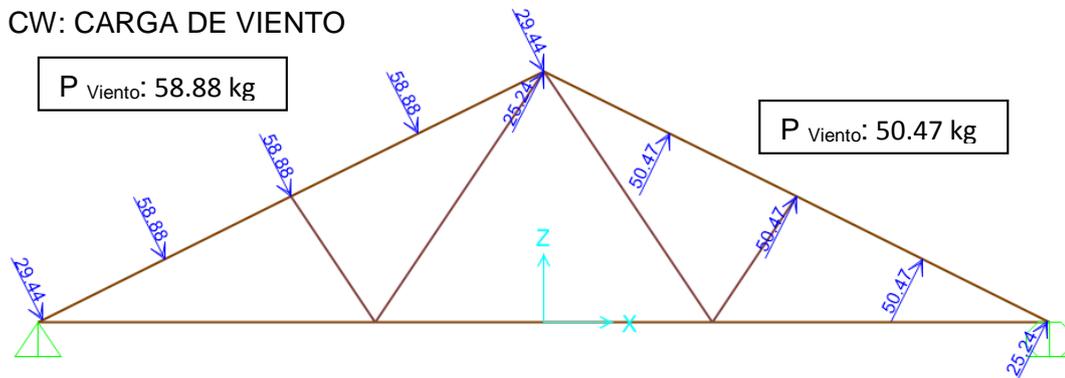
CM: CARGA MUERA



CV: CARGA VIVA



CW: CARGA DE VIENTO



El análisis del tijeral fué realizado con el programa SAP2000 V16.0 para el cálculo de fuerzas axiales y momentos flectores en los elementos del tijeral y deflexión máxima. En las figuras siguientes se muestran la fuerza axial y el momento flector del elemento más desfavorable a diseñar para cada caso de tijeral (Grupo B, Cachimbo Colorado y Capirona)

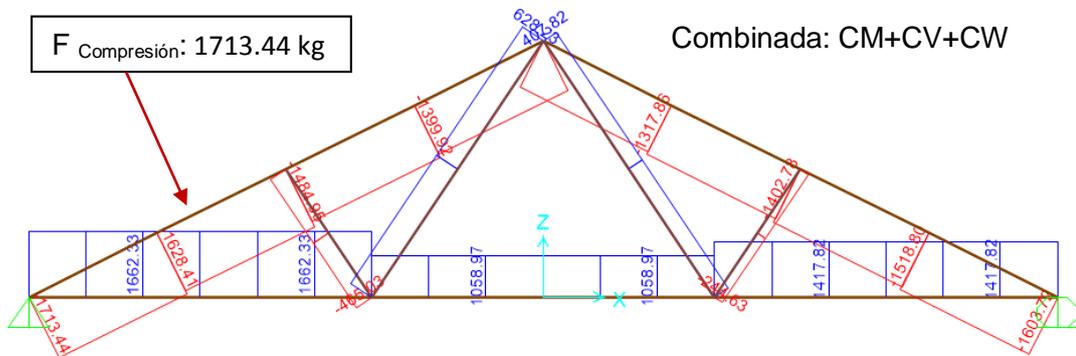


Fig. N° 32 Fuerza Axiales en los elementos del tijeral con madera Grupo B

Fuente: Elaboración Propia

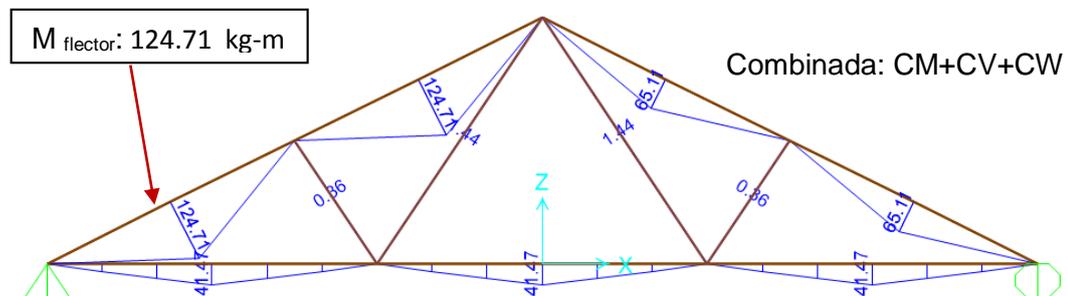


Fig. N° 33 Momento flectores en los elementos del tijeral con madera Grupo B

Fuente: Elaboración Propia

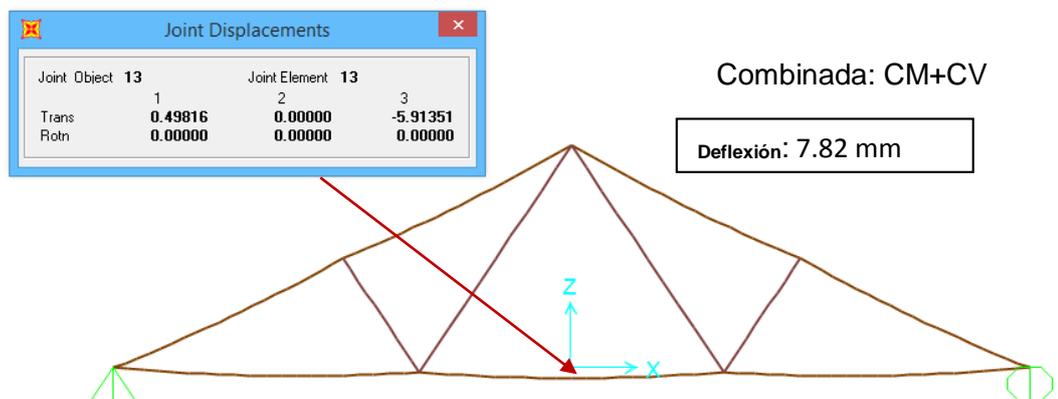


Fig. N° 34 Deflexión máxima por carga de servicio del tijeral con madera Grupo B

Fuente: Elaboración Propia

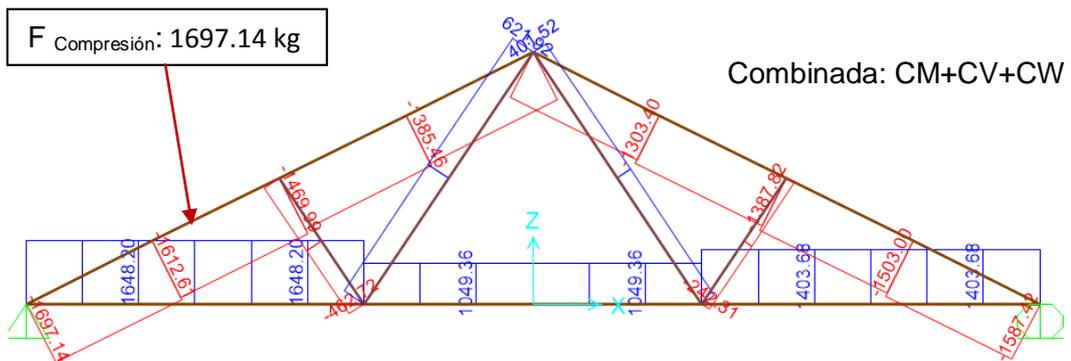


Fig. N° 35 Fuerza Axiales en los elementos del tijeral con madera Cachimbo Colorado

Fuente: Elaboración Propia

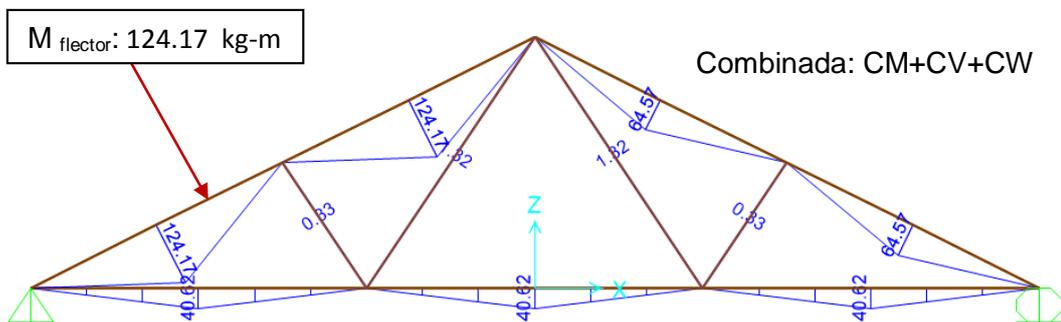


Fig. N° 36 Momento flectores en los elementos del tijeral con madera Cachimbo Colorado

Fuente: Elaboración Propia

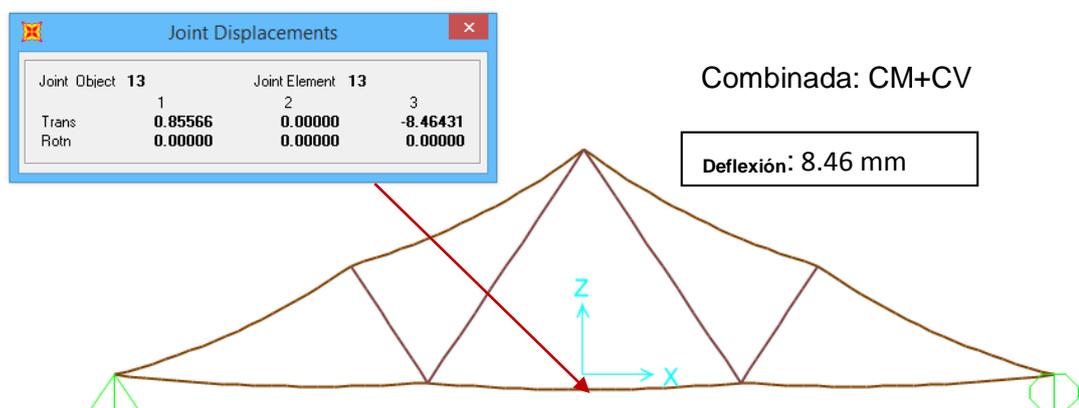


Fig. N° 37 Deflexión máxima por carga de servicio del tijeral con madera Cachimbo Colorado

Fuente: Elaboración Propia

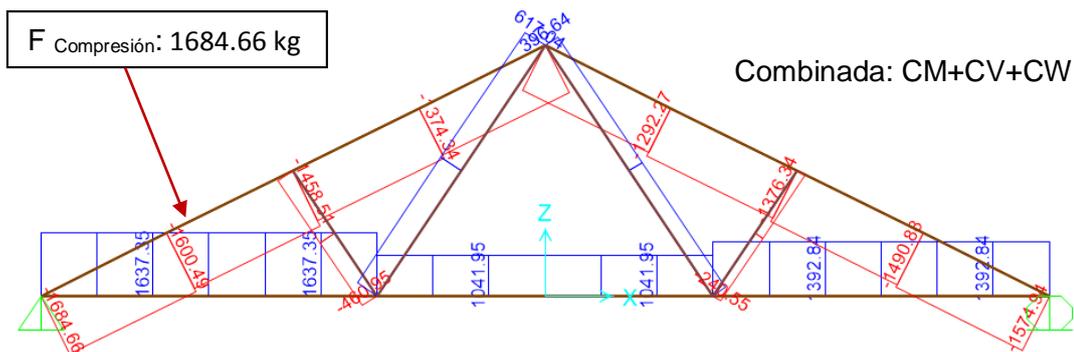


Fig. N° 38 Fuerza Axiales en los elementos del tijeral con madera Capirona

Fuente: Elaboración Propia

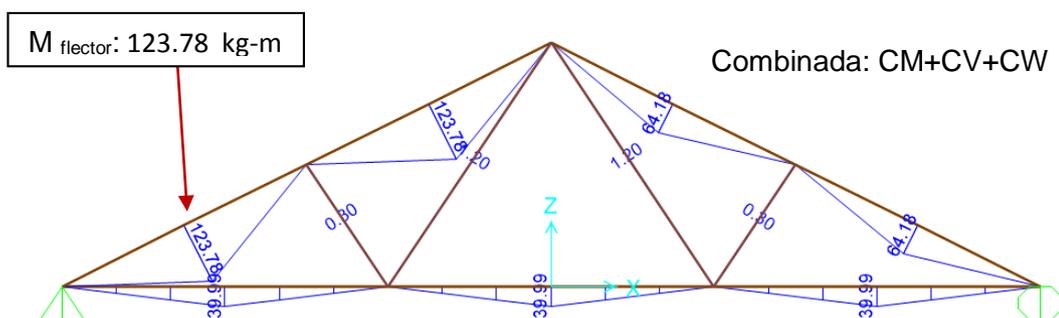


Fig. N° 39 Momento flectores en los elementos del tijeral con madera Capirona

Fuente: Elaboración Propia

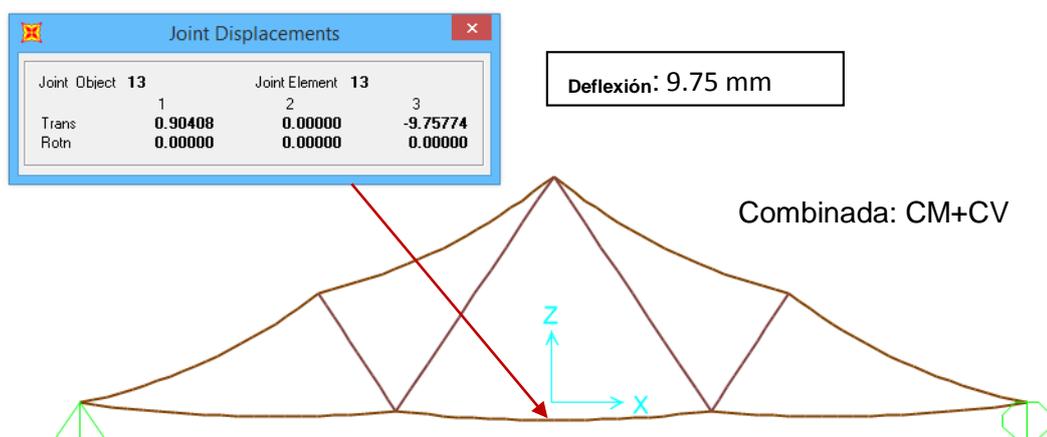


Fig. N° 40 Deflexión máxima por carga de servicio del tijeral con madera Capirona

Fuente: Elaboración Propia

## 6.2. RESULTADO DEL DISEÑO Y COMPARACIÓN

El elemento a diseñar es el elemento más desfavorable sometido a cargas de compresión y flexión (flexo-compresión) mostradas en las figuras anteriores. El diseño para cada caso se puede apreciar en el Anexo N°5.

De los resultados se observa que a pesar de reducir las secciones para los diseños de madera seca, la capacidad de resistencia admisible para la fuerza axial y momento flector se mantiene casi igual, variando ligeramente, cumpliendo así el diseño a flexo compresión. Ver Tabla N° 27

Tabla N° 27 Comparación de resultados utilizando esfuerzos admisibles del Grupo B y Tesis

Diseño	b x h (cm <sup>2</sup> )	N (kg)	N adm (kg)	M (kg-cm)	M adm (kg-cm)	$\frac{N}{N_{adm}}$	$\frac{k_m  M }{Z f_m}$	$\frac{N}{N_{adm}} + \frac{k_m  M }{Z f_m} \leq 1$	
<b>1.Grupo B (Verde)</b>	6x12.5	1713.44	<b>7329.64</b>	12470	<b>20902.95</b>	0.23	0.60	<b>0.83</b>	<b>Ok!</b>
<b>2.Cachimbo Colorado (Seca)</b>	5.5x11	1697.14	<b>7468.27</b>	12417	<b>20308.09</b>	0.23	0.61	<b>0.84</b>	<b>Ok!</b>
<b>3.Capirona (Seca)</b>	5x10	1684.66	<b>5796.29</b>	12378	<b>22704.20</b>	0.29	0.55	<b>0.84</b>	<b>Ok!</b>

Fuente: Elaboración Propia

Además, utilizando la misma hoja de cálculo se obtuvo la carga axial y momento flector admisible considerando solo los valores de esfuerzos admisibles del Grupo B y así compararlas con los resultados de la tabla anterior. Ver Tabla N° 28

Tabla N° 28 Comparación de resultados utilizando solo los esfuerzos admisibles del Grupo B

Diseño	b x h (cm <sup>2</sup> )	N (kg)	N adm (kg)	M (kg-cm)	M adm (kg-cm)	$\frac{N}{N_{adm}}$	$\frac{k_m  M }{Z f_m}$	$\frac{N}{N_{adm}} + \frac{k_m  M }{Z f_m} \leq 1$	
<b>1.Grupo B (Verde)</b>	6x12.5	1713.44	<b>7329.64</b>	12470	<b>20902.95</b>	0.23	0.60	<b>0.83</b>	<b>Ok!</b>
<b>1.Grupo B (Verde)</b>	5.5x11	1697.14	<b>5417.00</b>	12417	<b>13784.73</b>	0.31	0.90	<b>1.22</b>	<b>No Cumple</b>
<b>1.Grupo B (Verde)</b>	5x10	1684.66	<b>4002.02</b>	12378	<b>9385.02</b>	0.42	1.33	<b>1.75</b>	<b>No Cumple</b>

Fuente: Elaboración Propia



## CONCLUSIONES

- De la presente investigación se concluye que los esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad calculados en las maderas Cachimbo Colorado y Capirona en estado seco con un ajuste de contenido de humedad al 12%, son considerablemente mayores a los indicados en la norma E0.10 para el grupo B.
- Según la presente investigación los módulos de elasticidad y esfuerzos admisibles a compresión paralela y flexión estática ajustados al 22% de contenido de humedad de la madera Capirona presentan valores por encima de los de la norma del Grupo A.
- Según la norma E0.10 madera la clasificación de la madera Capirona y Cachimbo Colorado pertenecen al mismo grupo. En la presente investigación se muestra que los valores obtenidos en los ensayos mecánicos la madera Capirona tiene valores más altos en comparación con la madera de Cachimbo Colorado, considerándose en el límite superior del rango de valores del grupo B.
- Para una agrupación en estado seco se debe poner los módulos de elasticidad y esfuerzos admisibles mínimos que identifiquen al grupo. Para la presente investigación es la madera Cachimbo Colorado la que determina los esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad que tendrá el grupo en estado seco, con más estudios de diferentes maderas secas del grupo B, se puede tener una mayor precisión en la representación del grupo.
- En el diseño del elemento del tijeral se observa un ahorro en material y en costo, al diseñar con madera seca (12% CH), se puede ver que los porcentaje en volumen de la madera Cachimbo Colorado y Capirona llegan ser el 81% y 67% respecto del volumen en caso de diseñarse con madera húmeda.
- Los contenidos de humedad promedio de las probetas Cachimbo Colorado y Capirona varían entre 12% a 15.5%, considerándose como probetas en estado seco.

- Con los ajustes de las propiedades mecánicas para contenidos de humedad al 12% y 22% se puede ver como las propiedades mecánicas aumentan al disminuir el contenido de humedad.
  
- Cabe resaltar que estos ajustes fueron realizados por la norma ASTM D1990, la cual se basa en estudios de madera coníferas, abriendo como investigación pendiente valores de ajuste para maderas latifoliadas.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda verificar estudios para esfuerzos admisibles a tracción, corte y compresión perpendicular en estado seco para diferentes especies de madera.
- Es de suma importancia hacer estudios sobre ajuste de propiedades mecánicas según el contenido de humedad pero con maderas tropicales para tener una mayor precisión en el ajuste.
- Complementar los estudios con otras maderas del grupo B para tener una mejor aproximación en los resultados que pudieran representar al grupo pero con valores extraídos de ensayos en madera seca.
- Para el diseño se muestra que las secciones en los elementos del tijeral llegan a disminuir en su ancho, por ello es recomendable tener un buen arrojamiento para evitar el pandeo fuera del plano del tijeral.
- Al observar el diseño en los tres casos, es recomendable utilizar la especie Capirona ya que da un mejor resultado ante las secciones, y con respecto al costo no varía mucho con la madera Cachimbo Colorado, pero eso va a depender de la disponibilidad o zona donde haya mayor cantidad en la especie buscada.
- Se recomienda seguir avanzando en el desarrollo tecnológico de madera seca al demostrar que tiene mejoras ante la madera húmeda, debido a presentar mejores propiedades mecánicas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agencia Peruana Noticias. FAO. Peru tiene un "potencial enorme" para el desarrollo de la industria forestal. AMERICAeconomía. 2013.
2. Alvarez, H., & Fernandez. "Fundamentos teóricos del secado de madera". INIA E. Madrid, España. 1992.
3. ARQHYS, R. "Generalidades de la Madera". Recuperado el 25 de agosto de 2017, de <http://www.arqhys.com/construccion/generalidades-madera.html>. 2012.
4. American Society of Testing Materials. "Standard Practice for Establishing Allowable Properties for Visually-Graded Dimension Lumber from In-Grade Tests of Full-Size Specimens". ASTM D1990-16. 2002.
5. Calleros, H. "Radios medulares - Tecnología de la madera". Recuperado el 02 de Octubre de 2017, de <https://sites.google.com/site/tecnologiadelamadera/about-me>. 2012.
6. Confederación Peruana de la Madera. "Compendio de información técnica de 32 especies forestales". CITEMadera. Lima. 2008.
7. Fritz Duran, A. "La construcción de viviendas en Madera". CORMA. Santiago, Chile. 2004.
8. Haygreen, J., & Bowyer, J. "Forest products and wood science, an introducción". The Iowa State University. Iowa, US. 1982.
9. Huaraz, E. "Clasificación e influencia del contenido de humedad y defectos en las propiedades físicas y mecánicas de la madera Capiróna". Tesis para optar el título profesional UNI-FIC. Lima. 2004.
10. Indecopi. "Madera Aserrada para uso estructural. Clasificación visual y requisitos". NTP 251.104. Lima. 2011.
11. Indecopi. "Maderas. Selección y Colección de muestras". NTP 251.008. Lima. 2012.
12. Indecopi. "Método para determinar la compresión axial o paralela al grano". NTP 251.014. Lima. 2014.
13. Indecopi. "Método para determinar la densidad". NTP 251.011. Lima. 2014.
14. Indecopi. "Método para determinar la flexión estática". NTP 251.017. Lima. 2014.
15. Indecopi. "Métodos para determinar el contenido de humedad". NTP 251.010. Lima. 2014.

16. Instituto Nacional de Estadísticas e Informática. "Superficie de bosques tropicales segun departamentos y año". Lima, Peru. 2014.
17. Instituto Nacional de Estadísticas e Informática. "Peru Anuario de Estadísticas Ambientales 2017". INEI. Lima. 2017.
18. Instituto de Transferencia de Tecnologías Apropriadas para Sectores Marginales. "Fichas Tecnológica por Zona de Vida". Recuperado el 05 de Septiembre de 2017, de [http://www.itacab.org/adminpub/upload/2\\_1208812280.jpg](http://www.itacab.org/adminpub/upload/2_1208812280.jpg).
19. Junta del Acuerdo de Cartagena. "Descripción general y anatómica de 105 maderas del grupo andino". PAD-REFORT. Lima. 1981.
20. Junta del Acuerdo de Cartagena. "Manual de diseño para maderas del grupo andino". PADT-EFORT. Lima. 1984.
21. Junta del Acuerdo de Cartagena. "Manual del grupo andino para el secado de maderas". PADT-REFORT. Lima.1989.
22. Junta del Acuerdo de Cartagena. "Tabla de Propiedades Físicas y Mecánicas de la madera de 20 especies del Perú". PADT-REFORT. Lima.1982.
23. Mera Farias, L. "Clasificación estructural de la madera Capirona". Tesis para optar el título profesional UNI-FIC. Lima. 2002.
24. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. "Reglamento Nacional de Edificaciones". El Peruano. Lima. 2014.
25. Nutsch, W. "Tecnología de la madera y el mueble". REVERTÉ. Barcelona. 2005.
26. PROMPEX. "Madera del Perú. Promoción de nuevas especies forestales del Perú en el comercio exterior". Lima.
27. Santiago, P., Guevara, L., & Espinoza, M. "Manual de transformación de la Madera". AIDER-Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral. Lima. 2013.
28. SERFOR. "Cartilla de precios de productos y servicios forestales". Cámara Nacional Forestal. Lima. 2016.
29. Ugarte, J., & Heinz, K. "Manual de operadores de secadores convencionales para madera". Citemadera. Lima. 2017.
30. Verástegui Payehuanca, M. "Determinación de esfuerzos admisibles en madera seca para las especies Mashonaste y Panguana". Tesis para optar el título profesional UNI-FIC. Lima. 2016.

31. Vignote, S., & Martinez, I. "Tecnología de la Madera". Mundi- Prensa. Madrid. 2006.
32. Villanueva Peña, V. "Clasificación estructural de la madera "Cachimbo" Cariniana Domesticata". Tesis para optar el titulo profesional UNI-FIC. Lima. 2004.