

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**“USO DE TIRAFONES EN UNIONES ESTRUCTURALES CON LA ESPECIE DE
MADERA CACHIMBO – CARINIANA DOMESTICATA”**

TESIS

Para optar el Título profesional de:

INGENIERO CIVIL

GERMÁN VICENTE MENACHO CARO

Lima – Perú

2010

ÍNDICE	
RESUMEN	3
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE FOTOS	4
LISTA DE TABLAS	5
LISTA DE CUADROS	5
RELACIÓN DE TABLAS DE DATOS DE CADA ENSAYO DE CIZALLAMIENTO SIMPLE	8
INTRODUCCIÓN	9
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO TEÓRICO	
1.1. ANTECEDENTES	9
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.3. JUSTIFICACIÓN	9
1.4. DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS	10
1.5. RESULTADOS ESPERADOS	10
1.6. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	10
CAPÍTULO II: MADERA	
2.1. GENERALIDADES	11
2.1.1. ESTRUCTURA DE LA MADERA	12
2.1.2. ESTRUCTURA ANATÓMICA	13
2.1.3. PLANOS DE LA MADERA	15
2.1.4. ESTRUCTURA MACROSCÓPICA	16
2.1.5. ESTRUCTURA MICROSCÓPICA	17
2.1.6. MADERAS PARA LA COSTRUCCIÓN	20
2.1.7. ESTRUCTURA SUBMICROSCÓPICA	22
2.1.8. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA	22
2.1.9. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MADERA	23
2.1.10. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA MADERA	26
CAPÍTULO III: TIRAFONES	
3.1. DEFINICIONES	31
3.2. TRATAMIENTO CONTRA LA CORROSIÓN	33

	PAG
CAPÍTULO IV: UNIONES ESTRUCTURALES	
4.1. UNIONES CLAVADAS	34
4.2. UNIONES EMPERNADAS	34
4.3. UNIONES CON TIRAFONES, PIJAS O TIRAFONDOS	35
4.3.1. FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DE LAS UNIONES ESTRUCTURALES CON TIRAFONES, PIJAS O TIRAFONDOS	36
CAPÍTULO V: PARTE EXPERIMENTAL Y CALCULOS ESTADÍSTICOS	
5.1. ENSAYO DE CIZALLAMIENTO SIMPLE	41
5.2. ENSAYO DE DENSIDAD	53
5.3. ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD	58
CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
6.1. RESULTADOS	60
6.2. DISCUSIÓN	82
CONCLUSIONES	92
RECOMENDACIONES	93
BIBLIOGRAFÍA	94
ANEXOS	97

RESUMEN

Considerando que los estudios e investigaciones de uniones estructurales con tirafones, pijas o tirafondos es muy escasa y que nuestro país tiene un gran potencial en recursos forestales cuya participación en la economía es poca o casi nula es que se decidió realizar el presente estudio: "Uso de Tirafones en Uniones Estructurales con la Especie de Madera Cachimbo – *Cariniana Domesticata*".

Para ello se utilizó listones de madera, que corresponden a la especie forestal denominada Cachimbo – *Cariniana Domesticata*. Cabe indicar que esta investigación tiene como objetivo encontrar mediante ensayos experimentales de laboratorio, el comportamiento de los tirafones, pijas o tirafondos en uniones estructurales de madera utilizando la especie mencionada, analizando la influencia de las variables: diámetro, longitud y relación entre el espesor de la pieza lateral y el diámetro (e_L/D) en la resistencia así como la evaluación de tendencias en su comportamiento.

De acuerdo a los alcances de este estudio, servirán como base para futuras investigaciones teniendo en cuenta las reglas de clasificación, el número de características naturales y de imperfecciones de manufactura que afectan la resistencia e influyen en los usos finales correspondientes a cada clase, especie y tamaño ya que cada una tiene valores de diseño asignados. Así también el desarrollo de mayores ensayos con la finalidad de visualizar tendencias con mayor precisión, utilizando diversas maderas, con la finalidad de añadirlas al sector construcción lo cual contribuye a seguir desarrollando una economía sostenible.

INTRODUCCIÓN

OBJETIVO PRINCIPAL

Aumentar la información y Analizar el comportamiento de las Uniones Estructurales de madera Cachimbo con tirafones y conocer las posibilidades de aplicación en la Construcción.

El presente estudio de investigación del comportamiento de los tirafones, pijas o tirafondos en uniones estructurales con la especie de madera Cachimbo – *Cariniana Domesticata*. Los capítulos y contenidos se presentan de la siguiente forma:

En el capítulo I, se define los antecedentes, planteamiento del problema, justificación, definición de los objetivos, los resultados esperados con la presente investigación y la formulación de la hipótesis.

El capítulo II, desarrolla el uso de la madera en nuestro país y el mundo, estructura de la madera, planos de madera, tipos de madera, aserrado, madera para la construcción, propiedades físicas y mecánicas de la madera Cachimbo.

El capítulo III, se refiere a las definiciones y características de los tirafones, pijas o tirafondos y tratamientos contra la corrosión.

El capítulo IV, describe los tipos de uniones estructurales como clavadas, empernadas y con tirafones así como los factores que afectan el comportamiento en dichas uniones.

El capítulo V, hace el análisis de la parte experimental y cálculos estadísticos. Desarrolla los ensayos realizados como Cizallamiento Simple, el ensayo de Densidad y el de Contenido de Humedad.

El capítulo VI, muestra los resultados, discusión y costo beneficio.

Al final se presentan las conclusiones y recomendaciones, así como también la bibliografía y los anexos utilizados en la presente investigación.

CAPÍTULO I : PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES

El estudio del uso de tirafones en uniones estructurales de madera en nuestro país ha sido poco desarrollado. Existen algunos estudios de maderas coníferas que crecen en Norte América.

Hasta 1984 no se realizaron estudios de tirafones en el Perú. Según Hansen, dice que son en esencia tornillos grandes, requiriendo agujeros guías y una llave adecuada para juntarlos a la madera. En la Universidad Nacional Agraria La Molina se encontró un estudio de tirafones en madera Tornillo y en la Universidad Nacional de Ingeniería se encontraron algunos estudios de uniones estructurales con tirafones en madera Azúcar Huayo y en madera Quinilla Colorada.

En el Perú, tenemos la Norma E.010 Madera, que incluye solo clavos y pernos.

Por otro lado, el uso de clavos, pernos, tornillos, pletinas metálicas, entre otros, para la unión de miembros estructurales viene siendo estudiado para determinar con mayor precisión el comportamiento de las conexiones y su incorporación sustentada en el ámbito de la Ingeniería.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la construcción con madera, muchas veces no son suficientes el uso de clavos y pernos. Existen casos en los cuales es necesario, o es más conveniente el uso de tirafones. Sin embargo, existe muy poca información en el país, sobre su utilización con maderas tropicales.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El Perú cuenta con una amplia variedad de especies tropicales de madera, no obstante su explotación es escasa por la falta de conocimiento técnico de muchas de estas especies. Por ello es necesario colaborar con investigaciones para ir ampliando las variedades de las mismas para su uso en la construcción.

El estudio del comportamiento de las uniones con tirafones no está muy difundido en el sector construcción, la mayor parte de las investigaciones realizadas hasta hoy se enfocan en clavos y pernos, de allí la importancia de realizar esta investigación en uniones estructurales con madera resistente de nuestra amazonía y difundirla como una opción más en los distintos proyectos de construcción.

Se tiene conocimiento que la información existente, es en su mayoría de Estados Unidos. Se han realizado estudios con maderas coníferas, las cuales son de menor resistencia y en nuestro país son escasas, por lo tanto hay mucho por investigar en tirafones con maderas tropicales.

1.4 DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS

- Analizar el comportamiento de las uniones estructurales de madera cachimbo con tirafones y conocer las posibilidades de aplicación en la construcción.
- Aumentar la información acerca del comportamiento de este tipo de uniones.
- Proponer el uso de los tirafones como alternativa para la construcción.

1.5 RESULTADOS ESPERADOS

Con la investigación se espera obtener valores que muestren el comportamiento de las uniones estructurales con tirafones, utilizando maderas de alta resistencia y así aportar conocimientos sobre este tipo de uniones para que puedan ser utilizados en la construcción.

1.6 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

A través del Estudio se podrá conocer el comportamiento y la resistencia de uniones con tirafones al Cizallamiento Simple.

CAPÍTULO II : MADERA

2.1 GENERALIDADES

- **Maderas Tropicales, latifoliadas y coníferas:**

Los bosques tropicales de la Subregión Andina cubren aproximadamente el 47% de su superficie (220 millones de hectáreas) constituyendo un ingente recurso para la obtención de madera para construcción. Se estima que hay alrededor de 2,500 especies forestales en estos bosques, para las cuales unas 600 serían aptas para construir.

La práctica limitada en el diseño y construcción con madera ha estado basada en información proveniente de países consumidores de madera coníferas, que por su distinta constitución anatómica respecto a la de la madera latifoliada presenta propiedades y comportamientos diferentes.

A las maderas provenientes de las especies de los bosques tropicales se las denominan genéricamente maderas tropicales. Estas especies, conocidas también con el nombre de latifoliadas o frondosas, se diferencian tanto externa como internamente de las maderas coníferas que, en general, crecen en climas templados. En la subregión existen en limitada proporción algunas especies de coníferas de bosques naturales y otras de zonas reforestadas. Sin embargo, son las especies tropicales las que representan el volumen importante.

Una de las diferencias existentes entre maderas de coníferas y latifoliadas que constituye una característica notoria en el comportamiento mecánico es aquella relacionada con la resistencia y rigidez (capacidad para experimentar deformación).

De modo general puede afirmarse que, a igual densidad, las maderas latifoliadas de los bosques tropicales muestran mayor resistencia que la madera coníferas. Las características de elasticidad son similares o en algunos casos mayores. En ensayos de vigas a escala natural se observan deformaciones importantes antes de que se produzca la falla; si se descarga el espécimen durante el ensayo se recupera casi toda la deformación.

2.1.1 Estructura de la Madera

- **El Tronco:** es un árbol maduro, la sección transversal del tronco presenta las siguientes partes.

- **Corteza exterior:** que es la cubierta que protege al árbol de los agentes atmosféricos, en especial de la insolación; está formado por un tejido llamado floema que cuando muere forma esta capa.

- **Corteza interior:** que es la capa que tiene por finalidad conducir el alimento elaborado en las hojas hacia las ramas, tronco y raíces, está constituido por el tejido floemático vivo, llamado también liber.

- **Cambium:** que es el tejido que se encuentra en la corteza interior y la madera. Las células del cambium tienen la capacidad de dividirse y conservan esa facultad hasta cuando el árbol muere. El cambium forma células de madera hacia el interior y floema o liber hacia el exterior.

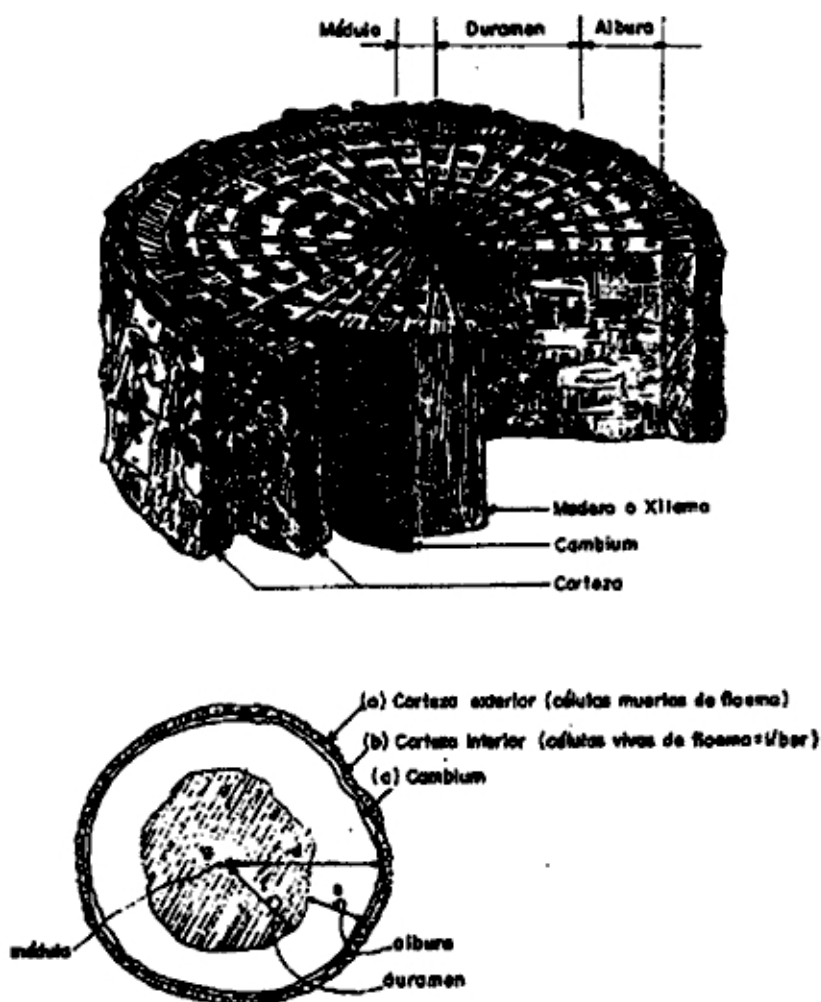
- **La madera o Xilema:** es la parte maderable o leñosa del tronco, se puede distinguir en ella la albura, el duramen y la médula.

- **La albura:** es la parte exterior del xilema cuya función principal es la de conducir el agua y las sales minerales de las raíces a las hojas; es de color claro y de espesor variable según las especies. La albura es la parte activa del xilema.

- **El duramen:** es la parte inactiva y tiene como función proporcionar resistencia para el soporte del árbol. Se forma como se describe a continuación. Con el tiempo la albura pierde agua y sustancias alimenticias almacenadas y se infiltra de sustancias orgánicas distintas, tales como aceites, resinas, gomas, tañinos, sustancias aromáticas y colorantes. La infiltración de estas sustancias modifica la consistencia de la madera que toma un color más oscuro y adquiere un mejor comportamiento frente al ataque de hongos e insectos, este último distingue particularmente al duramen de la albura.

➤ La médula: es la parte central de la sección del tronco y está constituida por tejido parenquimático.

Figura N° 2.1.- Estructura de la madera (Bibliog.9)



2.1.2 Estructura Anatómica

La parte maderable del árbol tiene tres funciones básicas que son las siguientes: conducción del agua, almacenamiento de sustancias de reserva y resistencia mecánica. Para cumplir con estas funciones en la madera se distinguen tres tipos de tejidos: tejido vascular (de conducción), tejido parenquimático (de almacenamiento) y tejido fibroso (de resistencia).

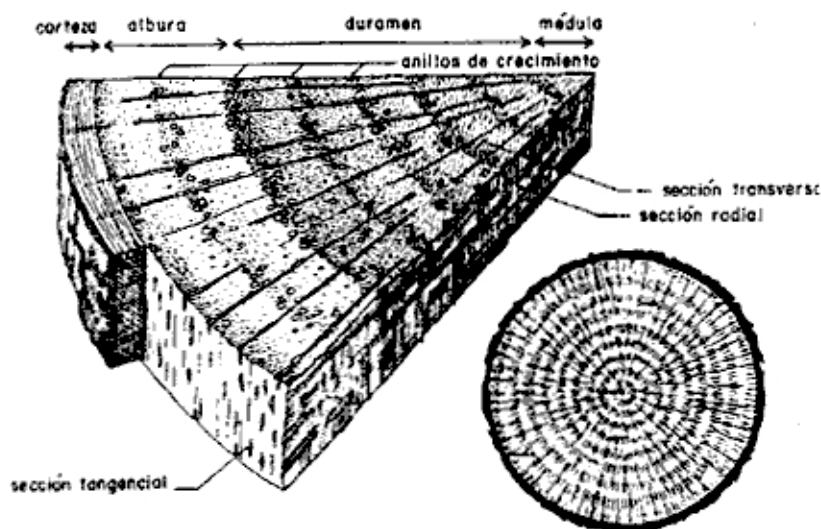
Se llaman elementos prosenquimáticos todas aquellas células alargadas y de paredes engrosadas, principalmente relacionadas con la conducción y la resistencia mecánica; en cambio, se llaman elementos parenquimáticos a aquellas células cortas y de paredes relativamente delgadas que tienen la función de almacenamiento y distribución de las sustancias de reserva.

En el tronco existen dos grandes sistemas de elementos xilémicos. El sistema longitudinal, formado por elementos prosenquimáticos (elementos vasculares, fibras o traqueidas) y elementos parenquimáticos; y el sistema transversal, constituido principalmente por elementos parenquimáticos.

Según el grado de apreciación visual de los tejidos, podemos diferenciar el estudio de la estructura anatómica en tres niveles: macroscópico, microscópico y submicroscópico.

Figura N° 2.2.- Estructura Anatómica de la Madera Latifoliada (tropical)

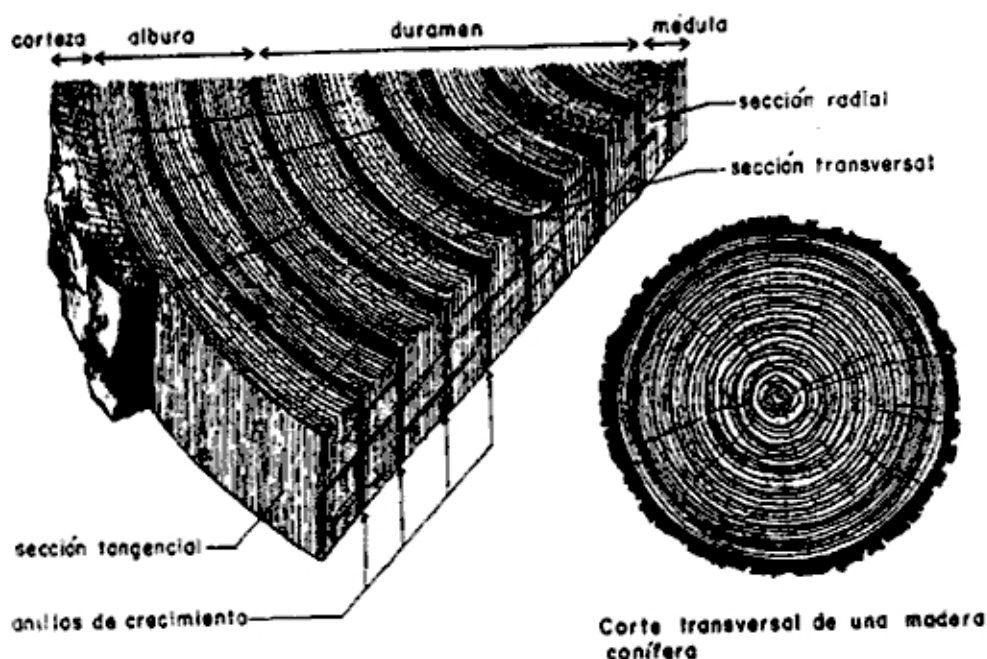
(Bibliog.9)



Corte transversal de una madera latifoliada.

Figura N° 2.3.- Estructura Anatómica de la Madera Conifera

(Bibliog.9)



2.1.3 Planos de la Madera

Para una mejor comprensión de los elementos xilemáticos, es necesario tener una idea de los distintos planos o secciones. Se entiende por sección transversal, el corte practicado perpendicularmente al eje principal del tronco. Cuando el corte se efectúa en forma paralela a dicho eje, se obtendrá una sección longitudinal, la que será tangencial si corre paralela a los anillos de crecimiento y a la corteza y perpendicular a los radios. La sección radial es perpendicular a los anillos y se extiende de la médula a la corteza.

Se sobreentiende que en cualquiera de esas secciones o planos podrán verse todos los elementos celulares que forman la madera, pero la importancia de las mismas reside en el hecho de que presentan aspectos diferentes según el corte considerado.

2.1.4 Estructura Macroscópica

Es observada a simple vista o con ayuda de una lupa de 10 aumentos; se observan las siguientes características:

- **Anillos de crecimiento:** Son capas de crecimiento que tienen la forma de una circunferencia, el último anillo siempre se extiende desde el extremo inferior del árbol hasta la copa. En las zonas templadas, en las cuales las estaciones son bien marcadas, todos los árboles tienen anillos bien definidos. En la primavera cuando empieza el crecimiento el cambium produce células largas con paredes delgadas y lumen amplio para la conducción de agua. En el otoño, la conducción del agua disminuye por lo que el cambium produce células pequeñas, de paredes engrosadas y el lumen pequeño. Debido a la diferencia de las células producidas, además de su color, se pueden ver fácilmente los anillos de crecimiento. En las zonas tropicales, en donde las estaciones no son muy marcadas, los anillos de crecimiento no siempre se distinguen claramente debido al crecimiento casi continuo del árbol.
- **Radios Medulares:** Los radios son líneas que van desde el interior hacia el exterior del árbol, siguiendo la dirección de los radios del círculo definido por el tronco, formando el sistema transversal del tronco. Los radios están constituidos por células parenquimáticas, es por ello que son líneas débiles de la madera y durante el sacado se produce grietas a lo largo de ellos. El ancho de los radios varía según la especie, con una lupa de 10x se los puede identificar claramente.
- **Parenquima Longitudinal.-** Formado por tejido parenquimático constituye parte del sistema longitudinal del tronco, su disposición tiene importancia en la identificación de la especie. El parenquima longitudinal tiene un color más claro que el tejido fibroso. Las maderas con mayor porcentaje de tejido parenquimático son maderas de baja resistencia mecánica y más susceptible al ataque de hongos e insectos.

2.1.5 Estructura Microscópica

En la estructura macroscópica se consideraron las características de los diferentes tejidos de la madera. En cambio la estructura microscópica trata de los diferentes tipos y características de las células que forman estos tejidos.

Según la estructura celular, las especies maderables se dividen en dos grandes grupos: las maderas latifoliadas y las maderas coníferas.

- **Maderas Latifoliadas.**- La madera tiene una estructura anatómica heterogénea, (Ver Fig. N° 2.2, Pág. 14), constituida por diferentes células leñosas, tales como: los vasos o poros que tienen la función de conducción del agua y sales minerales. Estas células forman del 6% al 50% del volumen total de la madera, siendo este porcentaje mayor en las maderas blandas y porosas. También existen fibras que son células adaptadas a la función mecánica y que forman el 50% o más del volumen de la madera; a mayor porcentaje de fibras mayor densidad y por lo tanto mayor resistencia mecánica.

Asimismo se observan células de parénquima que tienen la función de almacenamiento de sustancias de reserva y forman un tejido leñoso blando; en muchas especies tropicales superan el 50% del volumen total.

- **Maderas Coníferas.**- La madera tiene una estructura anatómica homogénea, (Ver Fig. N° 2.3, Pág. 15) y está constituida por elementos leñosos llamados traqueidas; estas forman del 80% al 90% del volumen total de la madera y tienen la función de resistencia y conducción. Asimismo, presenta células de parénquima en menor proporción.

Se presenta una descripción de las maderas latifoliadas y coníferas, en cuanto a su estructura anatómica.

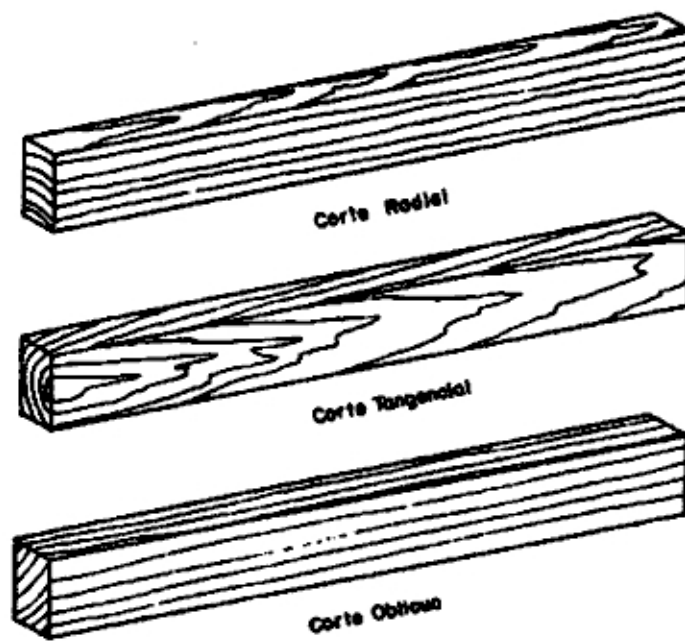
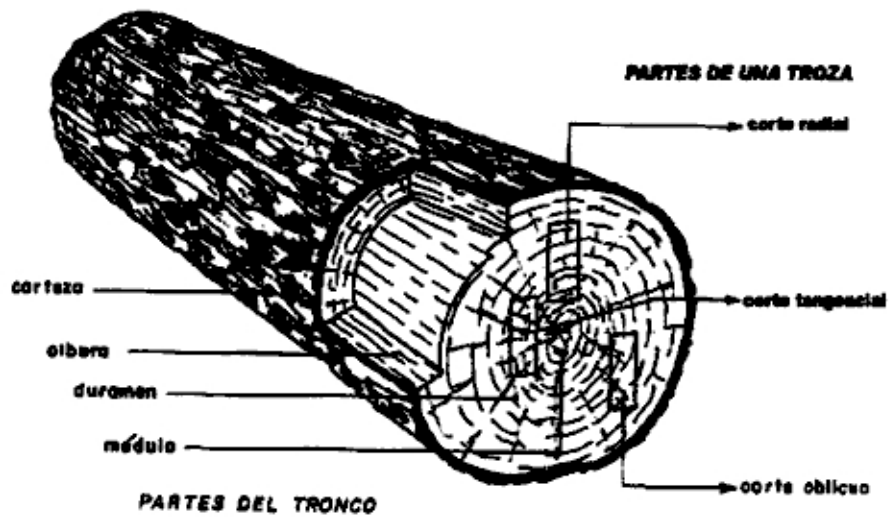
Cuadro N° 2.1.- Descripción de las maderas latifoliadas y coníferas

Sistema	Elementos	Latifoliadas	Coníferas
Longitudinal	Prosenquimáticos	Vasos fibras	Traqueidas
	Parenquimáticos	Parénquima Longitudinal	Parénquima Longitudinal
Transversal	Prosenquimáticos	No tiene	Traqueidas
	Parenquimáticos	Parénquima Radial	Parénquima Radial

- **Aserrado.-** Es el primer procesamiento al que se somete un tronco luego de su extracción del bosque. Esto se realiza mediante sierras de cinta o con sierras circulares de grandes dimensiones. La práctica se concentra en la obtención de piezas de dimensiones grandes, dejando para una etapa posterior la obtención de secciones más pequeñas.

La madera puede cortarse del tronco de 3 maneras distintas: tangente a los anillos de crecimiento, obteniéndose la que se llama madera de "corte tangencial", perpendicularmente a los anillos, es decir siguiendo la dirección de los radios o de los radios de las circunferencias definidas por los anillos, obteniéndose madera de "corte radial" como se muestra en la Fig. N° 2.4 (Pág. 19) y siguiendo una dirección arbitraria obteniéndose en general madera de "corte oblicuo".

Figura N° 2.4.- Denominación de los tipos de corte según su orientación en el tronco (Bibliog. 12)



Para producir madera de calidad estructural es conveniente aserrar las piezas en corte radial, para reducir las distorsiones y defectos debidos al secado. Por ser el tronco cilíndrico, esto no es siempre posible, por lo que debe decidirse el tipo de elemento que se quiere obtener con este corte (por ejemplo vigas o viguetas) y aserrar el resto para otro tipo de elementos menos exigentes en estabilidad dimensional.

2.1.6 Maderas para la construcción

Dentro de una vivienda o construcción liviana a base de madera deben distinguirse dos categorías de material. En primer lugar la madera de construcción estructural donde se encuentra todo aquel elemento que sea empleado con fines resistentes, principalmente el usado para entramados de muros, techos, pisos elevados, columnas, que constituyen la estructura de una edificación. En la otra categoría se encuentran la madera de construcción no estructural, la cual es utilizada para revestimientos, puertas, ventanas, muebles, que no está destinado a resistir cargas importantes.

Por otro lado, según La Junta del Acuerdo de Cartagena, se convino en una clasificación de maderas estructurales en las cuales se denominan A al grupo de maderas de mayor resistencia, B al grupo intermedio y C al grupo de menor resistencia.

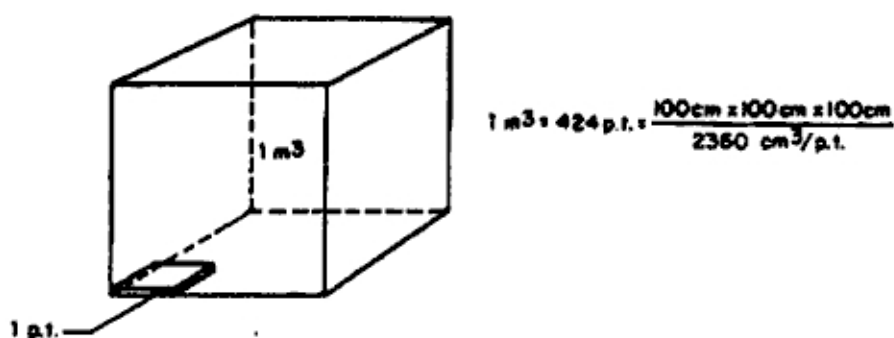
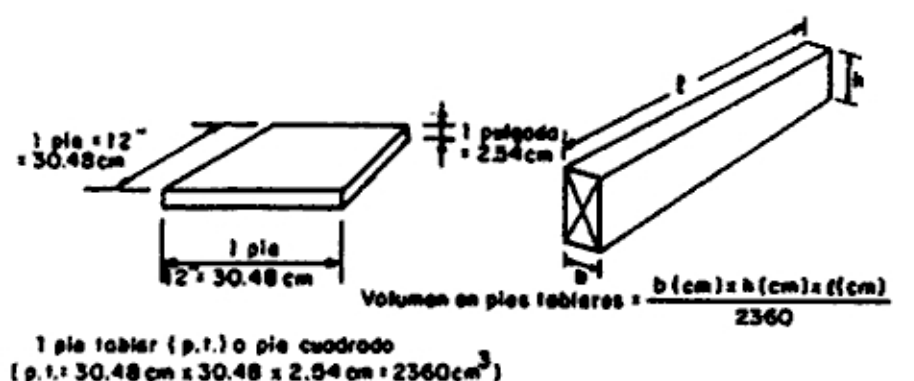
Además las densidades básicas de las maderas del grupo A están por lo general en el rango de 0.71 a 0.90, las del grupo B entre 0.56 y 0.70, y las del grupo C entre 0.40 y 0.55.

Cuadro N° 2.2.- Clasificación de las Maderas en Función a sus Densidades Básicas (Bibliog.9)

GRUPO	DENSIDADES BASICAS
A	0.71 – 0.90
B	0.56 – 0.70
C	0.40 – 0.55

Por otro lado, las dimensiones estandarizadas para cubicación que propone la Junta del Acuerdo de Cartagena son:

Figura N° 2.5.- Formas de cubicar la madera (Bibliog.9)



Es conveniente construir con madera en estado seco o al contenido de humedad de equilibrio. De esta forma se garantiza la estabilidad dimensional de las piezas y disminuyen el riesgo de ataque de hongos e insectos. Sin embargo, las especies de mayor densidad (grupo estructural A y algunas del grupo B) ofrecen dificultades al clavado.

2.1.7 Estructura Submicroscópica

- **Lámina media:** llamada capa intercelular porque une células adyacentes y está compuesta principalmente de lignina (60% a 90% de la pared celular) y pectina.

- **Pared primaria:** Es la capa exterior de la célula compuesta principalmente de lignina y pectina distinguiéndose de la lámina media por la presencia de un 5% de celulosa en forma de fibrillas.

- **Pared secundaria:** Compuesta principalmente por celulosa o fibrillas, llegando a alcanzar el 94%. Está formada por 3 capas que se distinguen por la orientación de las fibrillas. La capa central es la de mayor espesor y sus fibrillas se orientan casi paralelamente al eje de la célula (entre 10° y 30° de desfase). Consecuentemente esta orientación es fundamental en la resistencia de la fibra. Las fibrillas están formadas por la unión de microfibrillas. Las microfibrillas están compuestas de micelas o cristalinos, las mismas que están constituidos por cadenas moleculares de celulosa.

2.1.8 Composición Química de la madera

La madera está constituida por los siguientes elementos: Carbono (C) 49%; Hidrógeno (H) 6%; Oxígeno (O) 44%; Nitrógeno (N) y minerales 1%. La combinación de estos elementos forma los siguientes componentes de la madera: Celulosa (40% - 60%), Hemicelulosa (5% - 25%) y la Lignina (20% - 40%).

2.1.9 Características Físicas de la Madera

a) Contenido de Humedad

La madera contiene agua bajo tres formas: agua libre, agua higroscópica y agua de constitución. El agua libre se encuentra llenando las cavidades celulares. El agua higroscópica se halla contenida en las paredes celulares. El agua de constitución se encuentra formando parte integrante de la estructura molecular.

Cuando se expone la madera al medio ambiente, empieza a perder agua iniciándose el proceso de secado. En el transcurso del secado se pierde primero el agua libre y después el agua higroscópica, el agua de constitución no se pierde sino por combustión de la madera. En función de la cantidad de agua que contenga la madera pueden presentarse tres estados: verde, seco y anhidro. Se dice que la madera está verde cuando ha perdido parte del agua libre, será madera seca cuando ha perdido la totalidad del agua libre y parte del agua higroscópica, finalmente, será madera anhidra cuando ha perdido toda el agua libre y toda el agua higroscópica.

El contenido de humedad (CH) es el porcentaje en peso, que tiene el agua libre más el agua higroscópica con respecto al peso de la madera anhidra. Para una muestra de madera el CH será:

$$\text{CH}\% = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso anhidro}}{\text{Peso anhidro}} \times 100$$

El peso anhidro es conseguido mediante el uso de un horno a 103 ± 2 °C. También se le llama peso seco al horno.

Existen dos valores del CH que son particularmente importantes, al primero se le llama Punto de Saturación de las fibras (PSF) y es el CH que tiene la madera cuando ha perdido la totalidad del agua libre y comienza a perder el agua higroscópica.

Al segundo CH se le llama contenido de Humedad de Equilibrio (CHE) cuando la madera expuesta al aire pierde parte del agua higroscópica hasta alcanzar un CH en equilibrio con la humedad relativa del aire

El PSF varía de 25% a 35%. Cuando el CH es menor que el PSF la madera sufre cambios dimensionales, también varían sus propiedades mecánicas.

b) Cambios Dimensionales

Las variaciones en el CH produce cambios dimensionales en la madera, estos cambios se deben principalmente a la pérdida o ganancia del agua higroscópica en la pared celular.

El agua libre de las cavidades celulares no tiene ninguna influencia en la variación de las dimensiones, es decir, los cambios dimensionales se producen cuando el CH varía por debajo del PSF.

La contracción y la expansión presentan valores diferentes en las tres direcciones de la madera. La contracción longitudinal (CL) es del orden del 0.1%. La contracción tangencial (CT) y la contracción radial (CR) son las principales responsables del cambio volumétrico. Según Kollmann la relación CT/CR varía del 1.65 a 2.30. Los valores de esta relación encontrados para maderas latifoliadas de la subregión varían de 1.4 a 2.9

La contracción (expansión) es para efectos prácticos una función lineal del CH. Considerando que la contracción (expansión) es igual a 0%, cuando CH es mayor o igual al PSF e igual a K cuando el CH ha descendido a 0%, se tiene que para una variación a un CH cualquiera entre 0 y el PSF, la contracción (expansión) se puede calcular usando la siguiente expresión. Esta fórmula no es aplicable cuando CHi o CHf son mayores que PSF.

$$E \text{ o } C \% = \frac{CHf - CHi}{PSF} \times K$$

c) Densidad y Peso Específico

La relación que existe entre la masa y el volumen de un cuerpo se llama densidad. Por costumbre cuando se usa el sistema métrico se toma la masa como el peso del cuerpo. El peso de la madera es la suma del peso de la parte sólida más el peso del agua. El volumen de la madera es constante cuando está en el estado verde, el volumen disminuye cuando el CH es menor que el PSF y vuelve a ser constante cuando ha alcanzado el estado anhidro o seco al horno. Se pueden distinguir en consecuencia cuatro densidades para una misma muestra de madera.

La densidad verde (DV), es la relación que existe entre el peso verde (PV) y el volumen verde (VV).

La densidad seca al aire (DSA) es la relación que existe entre el peso seco al aire (PSA) y el volumen seco al aire (VSA).

La densidad anhidra, (DA) es la relación entre el peso seco al horno (PSH) y el volumen verde (VV). Es la menor de las cuatro.

La densidad básica es que la que se usa con ventaja ya que las condiciones en las que se basa (peso seco al horno y volumen verde) son estables en una especie determinada. La densidad de la parte sólida de la madera $0,63 \text{ gr/cm}^3$ con variaciones insignificantes entre especies.

El peso específico (Pe) es la relación entre el peso de la madera, a un determinado contenido de humedad, y el peso del volumen del agua desplazado por el volumen de la madera. Considerando que el agua tiene densidad igual a uno (1) puede decirse que la relación entre la densidad de la madera dividida entre la densidad del agua igualan a su peso específico. En el sistema métrico la densidad y el peso específico tienen el mismo valor, con la diferencia que este último no tiene unidades. La gravedad específica es equivalente al peso específico.

d) Expansión y conductividad térmica

Conductividad térmica es la medida de la cantidad de calor que fluye de un material sometido a un gradiente de temperatura. Este valor se expresa comúnmente en kilocalorías por metro por hora por grado centígrado. La conductividad térmica de la madera es directamente proporcional contenido de humedad y a la densidad.

La conductividad de la madera es una fracción de otros materiales, por lo tanto la madera es una material aislante por excelencia debido a su naturaleza.

Por otro lado, la madera cambia de dimensiones cuando sufre variaciones de temperatura. La madera como material anisotrópico posee valores diferentes de dilatación térmica en sus tres direcciones anatómicas.

e) Transmisión y absorción del sonido.- La madera tiene una buena capacidad para absorber vibraciones producidas por ondas sonoras. Esta propiedad está relacionada íntimamente con su estructura fibrovascular, su naturaleza elastoplástica y su densidad.

Por otro lado, la madera es menos efectiva en bloquear la transmisión del sonido ya que esta propiedad depende del peso del material y la madera es más liviana que otros materiales estructurales.

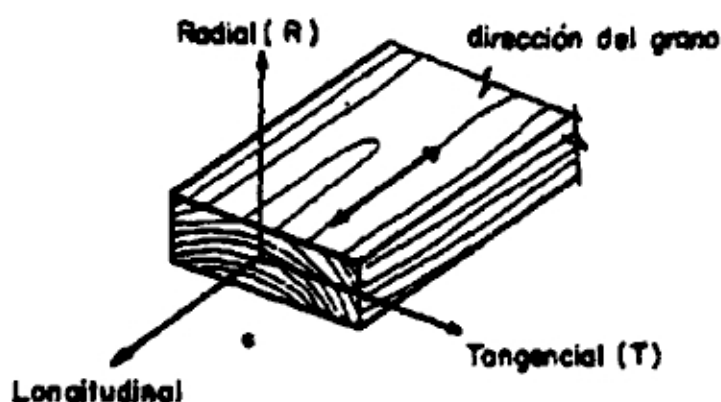
f) Conductividad eléctrica.- La resistencia eléctrica de las maderas es muy sensible a cambios en su contenido de humedad, variando exponencialmente entre resistencias tan altas como 10,000 megahoms para contenidos de humedad del orden de 5%, hasta resistencias de menos de 1 megahom en el punto de saturación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

La conductividad de la madera varía según las tres direcciones anatómicas de la madera. Esta característica se utiliza para medir el contenido de humedad de la madera usando detectores eléctricos que relacionan esta propiedad con el contenido de agua en la pieza.

2.1.10 Características Mecánicas de la Madera

En la madera se pueden reconocer tres direcciones principales que pueden considerarse ortogonales entre sí, estas direcciones son la longitudinal, la tangencial y la radial. En la Fig. N° 2.6 puede observarse que la dirección radial y la tangencial son perpendiculares al grano. En la práctica se consideran dos direcciones: la dirección longitudinal o paralela a la fibra y la dirección transversal o perpendicular al grano.

Figura N° 2.6.- Direcciones ortogonales de la madera (Bibliog.9)



Las principales propiedades resistentes de la madera son: resistencia a la compresión paralela al grano, la compresión perpendicular al grano, la flexión, tracción y corte paralelo al grano. Los esfuerzos básicos para cada una de estas propiedades resistentes son obtenidos de probetas pequeñas libres de defectos y ensayada según la norma ASTM D-143 y las normas COPANT.

a) Resistencia a la Compresión Paralela

La madera presenta gran resistencia a los esfuerzos de compresión paralela a sus fibras. Esta proviene del hecho de que las fibras están orientadas con su eje longitudinal en esa dirección y que a su vez coincide, o esta muy cerca de la orientación de las microfibrillas que constituyen la capa media de la pared celular. Esta es la capa de mayor espesor de las fibras.

La capacidad está limitada por el pandeo de las fibras más que su propia resistencia al aplastamiento. Cuando se trata de elementos a escala natural como columnas, solamente aquellas de una relación de esbeltez (longitud / ancho) menor que 10 desarrollan toda su resistencia al esforzar la sección a su máxima capacidad. Para elementos más esbeltos, que son los más comunes, la resistencia esta determinada por su capacidad a resistir el pandeo lateral, que depende mayormente de la geometría de la pieza más que de la capacidad resistente de la madera que la constituye.

La resistencia a la compresión paralela a las fibras de la madera es aproximadamente la mitad que su resistencia a la tracción.

Valores del esfuerzo de rotura en compresión paralela a las fibras para ensayos con probetas de laboratorio varían entre 100 y 900kg/cm² para maderas tropicales. Esta variación es función de la densidad (entre 0.2 y 0.8 de DB) El esfuerzo en el límite proporcional es aproximadamente el 75% del esfuerzo máximo y la deformación es del orden del 60% de la máxima.

b) Resistencia a la Compresión Perpendicular

Bajo este tipo de carga las fibras están sometidas a un esfuerzo perpendicular a su eje y que tiende a comprimir las pequeñas cavidades contenidas en ellas. Esto permite que se pueda cargar sin que ocurra una falla claramente distinguible. Al incrementarse la magnitud de la carga la pieza se va comprimiendo (aplastando los pequeños cilindros que semejan las fibras), aumentando su densidad y también su misma capacidad para resistir mayor carga.

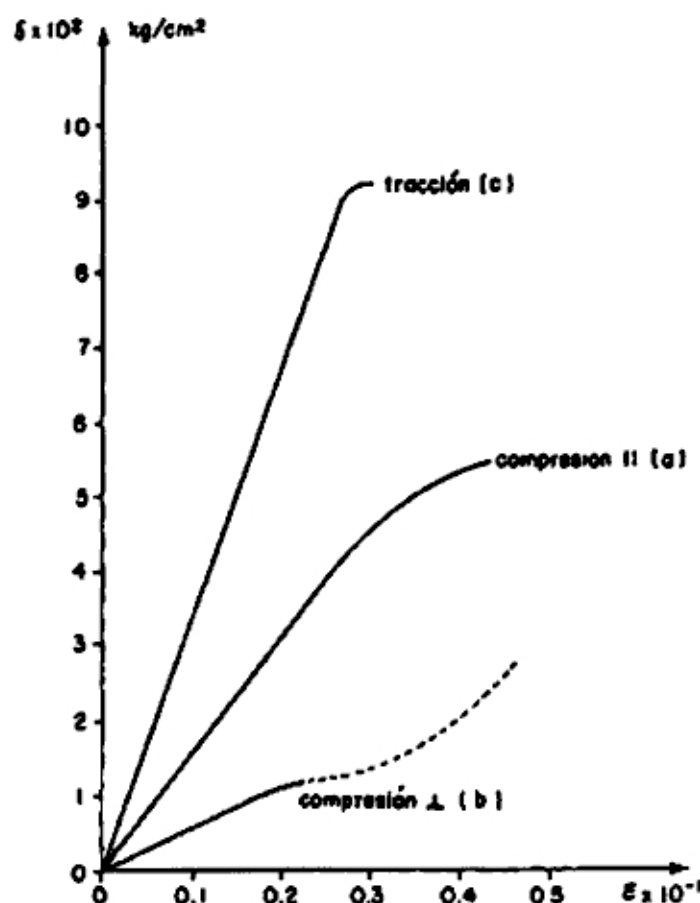
La resistencia está caracterizada por el esfuerzo al límite proporcional. Este varía entre 1/4 a 1/5 del esfuerzo al límite proporcional en compresión paralela.

Cuando las fibras reciben la carga a un ángulo intermedio entre 0° (paralela a las fibras) y 90° (perpendicular a las fibras) la resistencia alcanza valores intermedios.

c) Resistencia a la Tracción

La resistencia a la tracción paralela en especímenes pequeños libres de defectos es aproximadamente dos veces la resistencia a la compresión paralela. En la Gráfica 2.A (Pág. 29) se puede observar el comportamiento lineal y elástico de la curva Esfuerzo – Deformación. La falla se ve de naturaleza explosiva y violenta. Esta resistencia a la tracción es afectada significativamente por la inclinación de la fibra. Para efectos prácticos la resistencia a la tracción perpendicular es nula. La influencia de otros defectos característicos de la madera hace que la resistencia de elementos de escala real pueda ser tan baja como un 15% del esfuerzo de rotura en tracción en probetas.

**Gráfica 2.A.- Curva esfuerzo-deformación para maderas Latifoliadas.
(Bibliog.9)**



d) Resistencia al corte

En elementos constructivos el esfuerzo por corte o cizallamiento se presenta cuando las piezas están sometidas a flexión (corte por flexión). Los valores teóricos de esfuerzos indican que en un punto dado los esfuerzos de corte son iguales tanto a lo largo como perpendicularmente al eje del elemento. Como la madera no es homogénea, sino que las fibras se orientan por lo general con el eje longitudinal de la pieza, presenta distinta resistencia al corte en estas direcciones. La menor es aquella paralela a la fibra. Perpendicularmente a las fibras la resistencia es 3 o 4 veces mayor que en la dirección paralela. Con respecto a los elementos a escala natural se puede decir que la resistencia disminuye por la presencia de defectos en la madera.

e) Resistencia a la flexión paralela a la fibra

La diferencia entre la resistencia a la tracción y a la compresión paralela a la fibra resulta en un comportamiento característico de las vigas de madera en flexión. Como en la resistencia a la compresión es menor que a la tracción, la madera falla primero en la zona de compresión. Con ello se incrementan las deformaciones en la zona comprimida, el eje neutro se desplaza hacia la zona de tracción, lo que a su vez hace aumentar rápidamente las deformaciones totales; finalmente la pieza se rompe por tracción. En vigas secas sin embargo, no se presenta una falla visible de la zona comprimida sino que ocurre directamente la falla por tracción.

f) Módulo de elasticidad (MOE)

Este módulo puede ser obtenido directamente de una curva esfuerzo – deformación. Puede ser ensayado también por métodos indirectos como en los ensayos a flexión. El MOE en compresión paralela es mayor que el MOE en flexión estática, no obstante, usualmente se toma el segundo como genérico de la especie, por ser las deflexiones en elementos a flexión criterio básico en su dimensionamiento.

g) Módulo de corte o rigidez (G)

El módulo de corte relaciona las deformaciones o distorsiones con los esfuerzos de corte o cizallamiento que les dan origen. Existen diferentes valores para este módulo en cada una de las direcciones de la madera. Sin embargo, el más usual es el que sigue la dirección de las fibras.

h) Módulo de Poisson.

Es la relación que existe entre la deformación lateral y la deformación longitudinal. Para el caso de la madera existen en general 6 módulos de Poisson ya que se relacionan las deformaciones en las direcciones longitudinal, radial y tangencial.

CAPÍTULO III : TIRAFONES

3.1 DEFINICIONES

- **Características de los tirafones, pijas o tirafondos**

Son elementos usados para unir piezas estructurales. Los tirafones se usan en uniones que deben resistir cargas de corte y cargas de extracción. El comportamiento de un tirafón en una unión es básicamente muy similar al de un clavo; sin embargo su rigidez y resistencia son mayores, debido a la restricción impuesta por la rosca al penetrar la madera, lo cual incrementa su resistencia a la extracción. Como los tirafones se instalan en un agujero guía taladrado previamente en la pieza lateral, existe una mejor distribución de los esfuerzos de aplastamiento y una mejor sujeción del elemento de unión, lo cual incrementa notablemente su rigidez y resistencia, cuando se la compara con un clavo de dimensiones similares. Además de los factores mencionados para clavos y pernos, el comportamiento de uniones con tirafones se ve notablemente afectado por el peso específico de la madera en las piezas que forman la unión.

La Fig. N° 3.7 (Pág.32), ilustra las dimensiones características de estos elementos de unión. Cabe mencionar que la fabricación de los tirafones (Pijas o Tirafondos) tiene procedencia extranjera por lo que tradicionalmente las dimensiones se expresan en pulgadas.

Durante la fabricación, el diámetro de la parte roscada se reduce. Para que la rosca penetre en la madera al instalarse los tirafones, se recomienda taladrar un agujero guía, en la pieza que recibe la parte roscada, con un diámetro que puede ser 0,70 del diámetro de la caña lisa. Para evitar rajaduras en la pieza que recibe la parte lisa (cabeza) y para facilitar su instalación, se recomienda también perforar un agujero guía con el diámetro igual al diámetro nominal del tirafón.

Los tirafones nunca deben hincarse golpeando con un martillo; esto debe hacerse atornillando con una llave especial. Si es necesario se puede untar la rosca con jabón o cera. Estos compuestos facilitan notablemente la operación de atornillar y según el estudio realizado por J.J. Salinas en "Conexiones con clavos, pernos y pijas" en 1983, no afecta el comportamiento de la unión.



Fotografía N° 3.1.- Los Tirafones, Pijas o Tirafondos (CORONA)

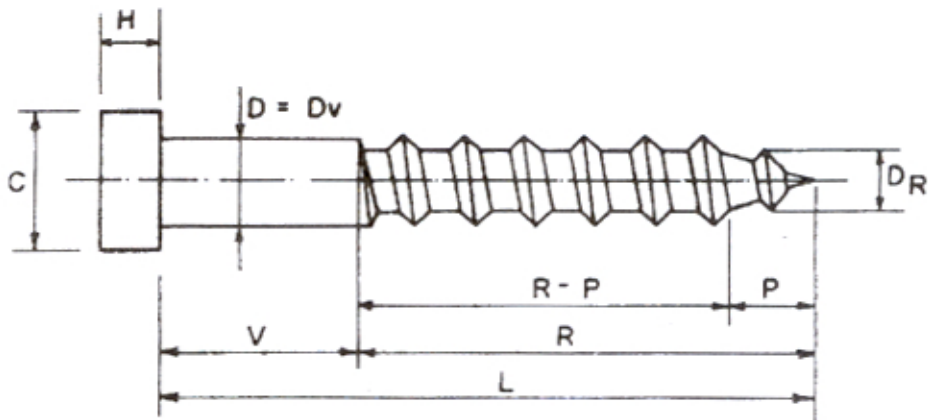


Figura N° 3.7.- Esquema de un tirafón

D = diámetro nominal = D_v = diámetro del vástago sin roscas.

D_R = diámetro del vástago central en zona roscada.

C = lado de la cabeza cuadrada.

H = espesor de la cabeza.

V = longitud del vástago.

L = longitud nominal.

R = longitud roscada total.

P = longitud de la punta aguzada.

3.2. TRATAMIENTO CONTRA LA CORROSIÓN

No se ha encontrado información bibliográfica sobre tratamientos contra la corrosión en tirafones, debido a que la mayoría de información relacionada con uniones estructurales esta avocada al comportamiento de estas en forma mecánica.

Según información encontrada en procesos de fabricación en empresas que se dedican a este rubro, dentro el proceso de fabricación de tirafones, se utiliza revestimientos de zinc contra la corrosión. Cabe resaltar que hay una gran cantidad de países que se dedican a la fabricación de tirafones, los cuales cubren nuestra demanda.

De acuerdo a una publicación del Centro de Tecnologías Electroquímicas de Chile, cuando un metal está expuesto al medio ambiente, su comportamiento frente a la corrosión es una propiedad conjunta de ese metal y del entorno que lo rodea.

Se utilizan entre los elementos de recubrimiento el acero fosfatado o galvanizado, los que les protege de la corrosión. También se pueden encontrar de materiales más resistentes, como el acero inoxidable. Cuanto más noble sea el material, mayor resistencia tendrá.

Por eso los de acero inoxidable son preferibles para exteriores. Por otro lado es recomendable que todo elemento de unión que esté en una pieza de madera húmeda sea recubierto con algún elemento contra la corrosión.

Según la empresa Chilena Pernos Mamut, la medición de la vida útil que posee un recubrimiento se efectúa mediante un ensayo en una cámara de niebla salina (Norma ASTM B 117).

CAPÍTULO IV : UNIONES ESTRUCTURALES

4.1 UNIONES CLAVADAS

Podríamos decir que el clavo es el elemento de unión mas generalizado en la construcción. Para el uso mas apropiado de toda unión estructural, en este caso las clavadas, es necesario saber el comportamiento de la madera a ser utilizada, la capacidad de transmisión de las cargas a través de este medio de unión y la determinación de las cargas básicas de diseño.

Cabe resaltar que la resistencia a la carga lateral de uniones clavadas es la aplicada paralelamente a la longitud de la unión y los clavos sometidos a cizallamiento.

Las uniones clavadas son las más estudiadas hasta el momento, en la Universidad Nacional de Ingeniería y la Universidad Nacional Agraria de La Molina se encontraron investigaciones al respecto. También se cuenta con un capítulo referente a uniones clavadas en el Manual de diseño para maderas del Grupo Andino.

Las uniones clavadas por lo general son las más económicas para estructuras de viviendas y otras edificaciones pequeñas construidas a base de entramados. La mayor parte de las uniones utilizadas en estas edificaciones soportan cargas relativamente pequeñas y no requieren de un diseño como el que se utilizan para otras uniones. Todas las maderas del grupo C y muchas del grupo B, según el acuerdo de Cartagena, pueden clavarse fácilmente, más aun si la madera esta en condición verde. Si se van a clavar maderas del grupo tipo A, se sugiere un agujero guía de diámetro del orden 0,8 del diámetro del clavo. Los criterios de diseño que se presentan en el manual de diseño para maderas del Grupo Andino, son aplicables a uniones con clavos comunes de alambre de acero, o clavos de alta resistencia, estos criterios son en general conservadores.

4.2 UNIONES EMPERNADAS

Según (Bibliog.3) hasta esa fecha en el Perú no se habían hecho estudios en uniones empernadas en madera. Sin embargo en América Latina se sabía que (Bibliog. 20) se había desarrollado una investigación al respecto.

Así también, según (Bibliog. 19) se encontró la resistencia a cargas sometidas de forma paralela y perpendicular a la fibra con madera de Pino Oregon, Pino Amarillo Serrano, Alberto Sitica, Roble y Arce.

Trayer demostró que el esfuerzo de compresión paralelo a la fibra promedio dependía de la relación L/D (donde L depende del tipo de unión y D es el diámetro del perno utilizado). Para pequeños valores L/D el esfuerzo en el límite proporcional es gobernado por la resistencia de la madera, mientras que para valores de L/D altos de flexión lo hace el perno.

Hansen H.S. de los estados unidos nos muestra la aplicación práctica de lo hallado por G.W. Trayer, los espaciamientos entre los pernos y las distancias a los filos, bordes, etc.

Por otro lado, el Perú cuenta con el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino que también tiene un capítulo referente a estas uniones. Este da recomendaciones aplicables a uniones empernadas de dos o mas elementos de madera, o entre un elemento de madera y pletinas metálicas. Las uniones empernadas son particularmente eficientes con maderas de los grupos estructurales A y B, pero pueden utilizarse también con maderas del grupo C.

Según las investigaciones realizadas en uniones empernadas (Bibliog. 3, 9 y 16), se puede llegar a ciertas conclusiones en ensayos realizados en uniones empernadas, entre las cuales tenemos:

La resistencia de las uniones disminuye a medida que aumenta la relación L/D la resistencia de la unión por unidad de área de proyección del perno es constante. Pero a medida que el diámetro del perno es mayor, la carga total del perno es mayor.

Las uniones paralelas resistieron cuatro veces más que las perpendiculares. Para pernos de 3/4", 7/8" y 1" fallaron los elementos laterales para paralelos y centrales para perpendiculares.

Es necesario ajustar los pernos con torquímetros, de tal manera que tenga la misma presión o ajuste.

Procurar que los contenidos de humedad entre los elementos de la unión sean lo más uniformes posibles, es decir, o todos secos por debajo del 20%, o todos húmedos por encima del 30%.

4.3 UNIONES CON TIRAFONES, PIJAS O TIRAFONDOS

Como ya se mencionó, las uniones estructurales con tirafones (pijas o tirafondos) en el país no han sido muy estudiadas, en la Universidad Nacional de Ingeniería se encontró una investigación realizada en el año 2006, la cual contempla ensayos en cargas paralelas y perpendiculares a la fibra para cizalle simple y doble en ambos casos con la especie de madera Quinilla Colorada Manilkana Bidentada. Esta investigación concluyó que el estudio de tirafones ofrece una gama de posibles ensayos a realizar debido a las variables que intervienen en el comportamiento de los mismos. Por otro lado, se llegó a la conclusión de que las uniones cargadas en forma paralela a la dirección de las fibras resistieron más que las cargadas en forma perpendicular a la fibra. Esto en relación a las propiedades de resistencia de la madera en compresión paralela o perpendicular a la fibra. También se encontró una segunda investigación en madera Azúcar Huayo que analiza el ensayo de cizallamiento simple

para uniones cargadas de forma paralela a la fibra, en la cual los valores de resistencia (carga) en el límite proporcional son mayores a los de la madera Quinilla Colorada.

4.3.1 Factores que afectan el Comportamiento de las Uniones Estructurales con Tirafones, Pijas y Tirafondos

Como en todos los tipos de uniones ya mencionados, las uniones estructurales con tirafones (pijas o tirafondos), dependen de factores que en muchos de los casos coinciden. A continuación describimos los factores que afectan su resistencia.

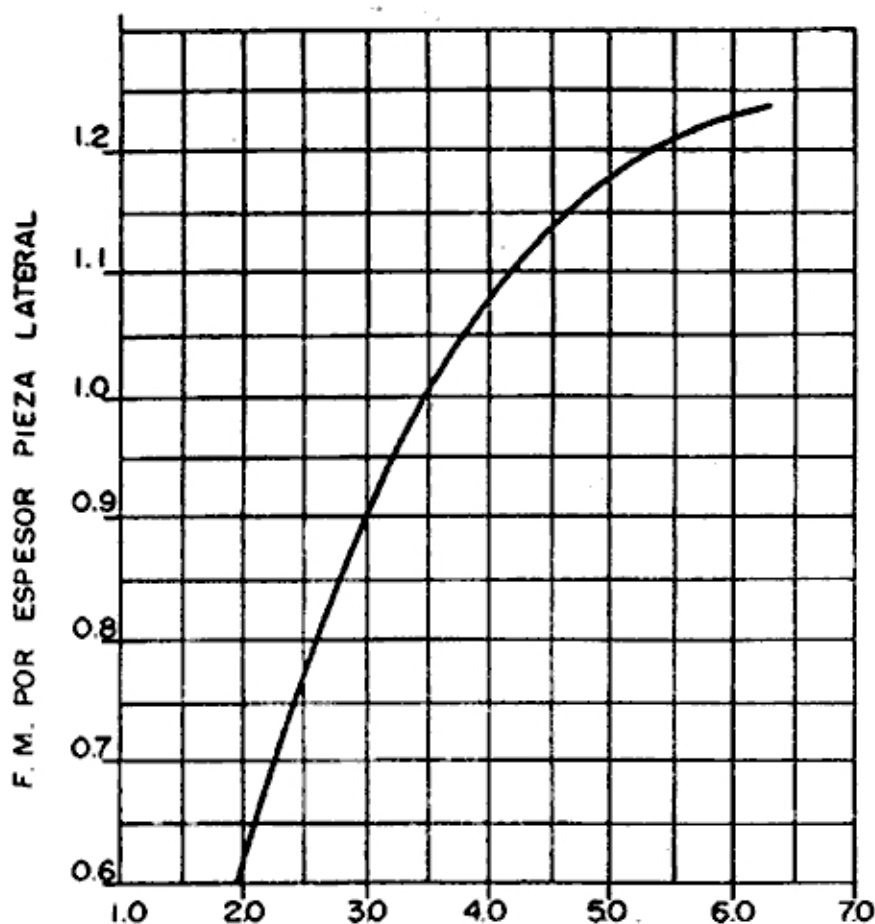
- a) **La madera.**- Aún cuando las diferentes propiedades mecánicas de la madera reflejan el comportamiento de una unión con tirafones, al quedar dicha unión sometida a la extracción lateral, se ha demostrado que la densidad de la madera es el mejor criterio para determinar su resistencia debido a la alta correlación entre la densidad anhidra y la resistencia de la unión con tirafones.
- b) **Tipo de unión.**- El tipo de unión afecta el comportamiento debido a las diferentes resistencias que ofrecen los diversos tipos de materiales utilizados para fabricarlas. Entre las más conocidas tenemos: madera con madera, madera con planchas de metal, entre otras.
- c) **Planos de corte.**- Según la cantidad de planos de corte, la resistencia aumenta en un 100% por plano de corte, siempre y cuando el espesor del miembro central sea el doble que los laterales y que el espesor mínimo no sea alterado.
- d) **Diámetro del tirafón.**- El diámetro del vástago de un tirafón, es un parámetro importante para la resistencia de una unión estructural. Se ha demostrado, según estudios realizados (Bibliog.19), que la carga en el límite proporcional varía correlacionadamente con el cuadrado del diámetro del tirafón. Por tal motivo el diámetro es uno de los factores a analizar en este estudio.
- e) **Espesor de la pieza lateral.**- Esta variable ha sido ampliamente estudiada por J.A. Newlin en los Estados Unidos de América, este investigador demostró que ocurre un incremento en la resistencia de la unión cuando aumenta la razón: relación entre el espesor de la pieza lateral y el diámetro (e_l/D).

$$e_l/D = \text{espesor de la pieza lateral} / \text{diámetro del vástago del tirafón.}$$

Desde 1 a 7; para valores de $e_l/D > 7$ se observó muy poco incremento de las cargas en el límite de proporcionalidad. Newlin demostró que el comportamiento de la resistencia en el límite proporcional para distintas razones e_l/D es el señalado en la Gráfica

4.B (Pág. 37) en el cual, en el eje de las ordenadas se lleva el factor de modificación por espesor de la pieza lateral (K_{le}) que toma el valor de $K_{le} = 1$ para la razón $e_l/D=3.5$; pues este valor usado en la expresión que entrega la resistencia de una unión con tirafón, sometida a la extracción lateral, tal como se explicó.

Gráfica 4.B.- Influencia del espesor de la pieza lateral sobre la resistencia de una unión con tirafón (Bibliog.20)



- f) **Profundidad de penetración en la pieza principal.**- Newlin demostró que si se usa una razón e_l/D constante e igual a 3.5 para los diferentes diámetros de tirafones, una profundidad de penetración del tirafón en la pieza principal igual a 7D para especies madereras de mayor densidad y de 11D para las menos densas, hace que la unión desarrolle toda su resistencia.

Los estudios y experiencias de Newlin confirmaron también que no existe gran variación de las cargas en el límite de proporcionalidad para:

$e_L/D > 5$ donde:

e_L = espesor de la pieza lateral.

D = diámetro del vástago del tirafón.

Los experimentos que se realizaron fueron respetando una profundidad de penetración en la pieza principal:

7D para maderas con densidades anhidras

$\rho_0 > 450\text{kg/m}^3$

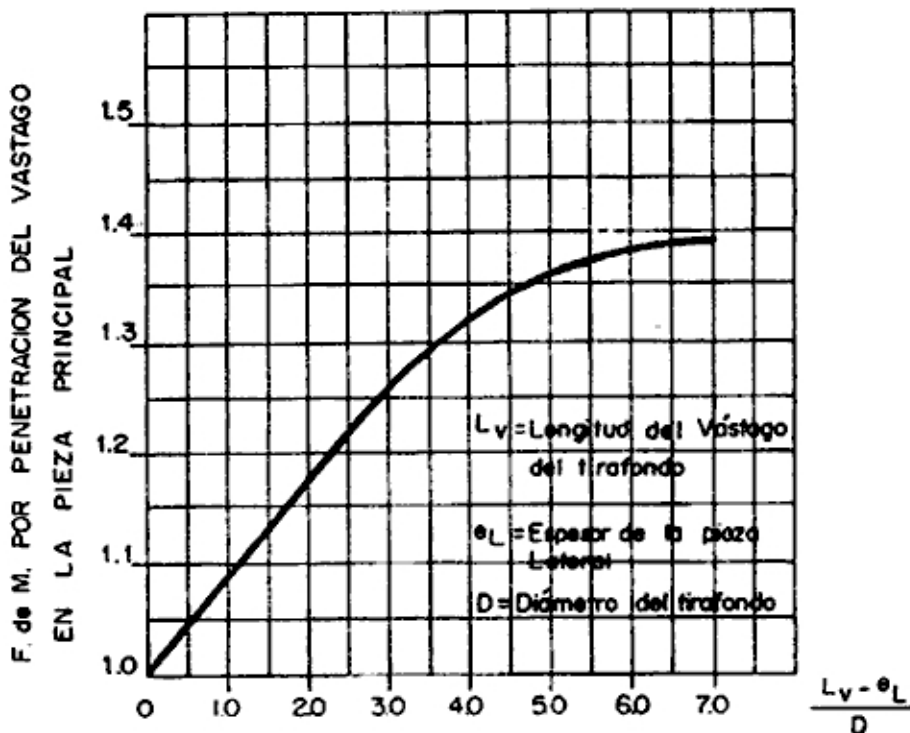
11D para maderas con

$\rho_0 \leq 450\text{kg/m}^3$

Respetando además la condición de $e_L = 3.5 D$.

- g) **Longitud del vástago del tirafón en la pieza principal.**- También Newlin demostró que la resistencia de la unión, en el límite de proporcionalidad, aumenta cuando el vástago penetra en la pieza principal, aumentando tal resistencia a medida que se incrementa tal penetración. Tal comportamiento se muestra en la Gráfica 4.C.

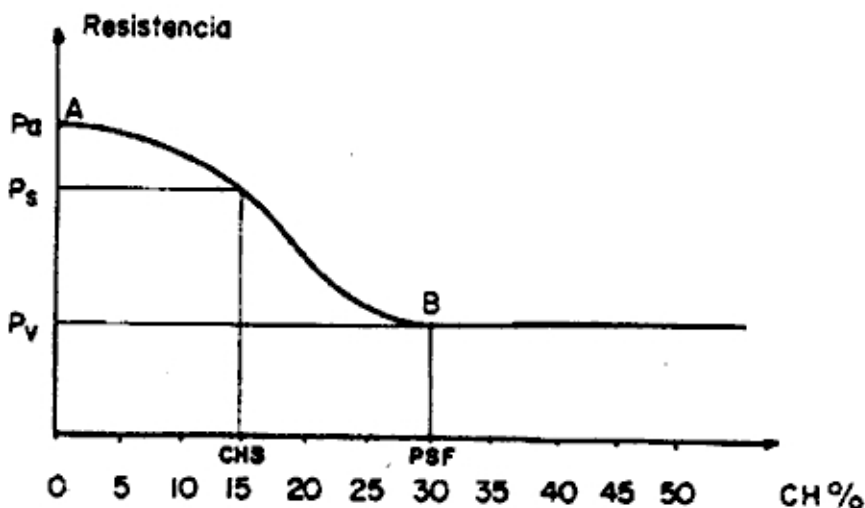
Gráfica 4.C.- Influencia de la penetración del vástago del tirafón en la pieza principal sobre la resistencia (Bibliog.20)



En esta curva, a una penetración nula del vástago del tirafón en la pieza principal se le ha asignado un factor de modificación igual a la unidad aplicable a la carga en el límite de proporcionalidad de la unión, condición para la cual se ha deducido la expresión de resistencia a la extracción lateral en uniones de madera con tirafones. Valores positivos de penetración del vástago en la pieza principal incrementan la carga en el límite proporcional.

- h) **Espaciamiento.**- Es preciso entender que en una unión estructural, existe una longitud mínima para poder absorber la carga y es función del diámetro. Para esta investigación y efectos comparativos con las tesis revisadas en la Universidad Nacional de Ingeniería, se utilizarán los espaciamientos mínimos que sugiere el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino.
- i) **Contenido de humedad.**- Según La Junta del Acuerdo de Cartagena, la madera pierde resistencia cuando aumenta el contenido de humedad, se puede observar en la siguiente Gráfica 4.D, que la resistencia permanece constante cuando el contenido de humedad varía por encima del PSF.

Gráfica 4.D.- Influencia del contenido de humedad en la Resistencia (Bibliog.9)



Es importante notar que ensayos realizados según la Junta del Acuerdo de Cartagena, indican la variación de las propiedades mecánicas para una variación unitaria en el contenido de humedad.

Cuadro N° 4.3.- Variación de las propiedades mecánicas para una variación unitaria en el contenido de humedad (Bibliog.9)

PROPIEDAD	% DE VARIACIÓN
Compresión paralela	4 – 6
Tracción paralela	3
Corte	3
Flexión	4
Módulo de Elasticidad	2

- j) **Densidad.**- La densidad es directamente proporcional a la resistencia. Según La Junta del Acuerdo de Cartagena, la densidad es una medida de la cantidad de material sólido que posee la madera y tiene una marcada influencia en la resistencia mecánica de esta. En probetas pequeñas libres de defectos puede esperarse que la resistencia sea directamente proporcional a la densidad, es decir, a mayor densidad mayor resistencia. Los ensayos de laboratorio con estas probetas indican que existe buen nivel de correlación entre todas y cada una de las propiedades mecánicas y la densidad del material.
- k) **Duración de la carga.**- La carga es un factor importante que afecta la resistencia de una unión estructural; para la presente investigación se consideró una velocidad de carga similar a la utilizada en la investigación realizada en Quinilla Colorada y Azúcar Huayo para efectos comparativos, pero teniendo en cuenta lo mencionado en la Norma: ASTM Designation D 1761 – 88 (reapproved 1995), que considera ciertos valores de velocidad de ensayo.

CAPÍTULO V : PARTE EXPERIMENTAL Y CÁLCULOS ESTADÍSTICOS

5.1 ENSAYO DE CIZALLAMIENTO SIMPLE.

El ensayo de Cizallamiento simple, se define como la extracción lateral a la resistencia que opone un tirafón cuando se le solicita mediante una fuerza perpendicular a su eje.

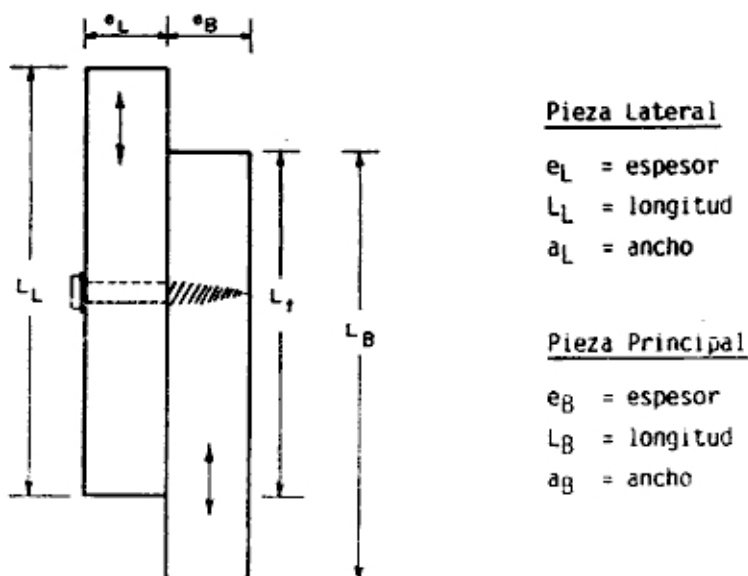


Figura N° 5.8.- Esquema de probeta para ensayo de cizallamiento simple paralelo a la fibra (Bibliog.20)

Para el ensayo de Cizallamiento Simple, se revisaron Normas ASTM y chilenas, las cuales han sido hasta ahora desarrolladas en la investigación de tirafones, pijas o tirafondos pero con maderas coníferas que son de menor resistencia que las maderas de nuestra amazonía las cuales ofrecen una mayor resistencia.

Para este trabajo de investigación, se utilizó madera Cachimbo – *Cariniana Domesticata* de acuerdo a las recomendaciones del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, para su posterior cortado en probetas y ser ensayadas tal y como se especifica en el desarrollo del Capítulo V.



Fotografía N° 5.2- Madera Cachimbo - *Cariniana Domesticata*

Para el diseño de probetas de ensayo se trabajó bajo el criterio de 3 variables que afectan la resistencia de los tirafones ya definidos anteriormente.

Las variables son: diámetro de tirafón, relación e_L/D , longitud de tirafón.

Se tomaron las variaciones de los diámetros de tirafones 1/4", 5/16" y 3/8" (pulgadas) para el diseño, manteniendo constantes las variables e_L/D y longitud de tirafones. Luego se varió e_L/D en 2, 3, 4, 6, manteniendo constante las variables de diámetro y longitud de tirafones. Al final se varió la longitud del tirafón en 2,5"; 3" y 4", manteniendo constantes el diámetro del tirafón y el e_L/D , como fueron tomadas en la tesis de Azúcar Huayo.

5.1.1 Ensayos a realizar

Las siguientes tablas muestran todas las variables estudiadas para todos los ensayos realizados (13). Por lo cual considerando que serán 3 las variables a analizar, se obtendrán 3 gráficas, una para cada variable. En cada gráfica se analizará la tendencia de cada variable en función a la variación de carga, para dos situaciones distintas (2 series en cada gráfica).

Para cada relación e_L/D , existe una medida de pieza lateral y pieza principal para cumplir con el requerimiento de mínima penetración en la madera, como se muestra en el cuadro siguiente:

Cuadro N° 5.4.- Dimensiones de las probetas para cada ensayo

	Diámetro del tirafón	Long. del tirafón	Espesor pieza principal	Espesor pieza lateral	Espesor de la pieza lateral entre diámetro e_l/D
ensayo 1	1/4"	2.5	6.5	1.3	2
ensayo 2	1/4"	3	7.5	1.3	2
ensayo 3	1/4"	4	10	1.3	2
ensayo 4	1/4"	2.5	6	1.9	3
ensayo 5	1/4"	3	7.5	1.9	3
ensayo 6	1/4"	4	9.5	1.9	3
ensayo 7	1/4"	4	9	2.6	4
ensayo 8	1/4"	4	7.5	3.8	6
ensayo 9	5/16"	4	10	1.6	2
ensayo 10	5/16"	4	9	2.4	3
ensayo 11	5/16"	4	8.5	3.2	4
ensayo 12	3/8"	4	9.5	1.9	2
ensayo 13	3/8"	4	9	2.9	3

Los ensayos se hicieron con una repetición de (10) por cada ensayo, haciendo en total (130) ensayos.

a) Variación de la longitud del tirafón (L)

Φ = diámetro constante

e_l/D = constante

Tabla N° 5.1.- Variaciones de la longitud del tirafón

	Diámetro (Φ)	L	e_l/D	N° de ensayo
Serie 1	1/4"	2.5	2	1
	1/4"	3	2	2
	1/4"	4	2	3
Serie 2	1/4"	2.5	3	4
	1/4"	3	3	5
	1/4"	4	3	6

b) Variación de relación e_l/D

Φ = diámetro constante

L = Longitud de tirafón constante

Tabla N° 5.2.- Variaciones de la relación e_l/D

	Diámetro (Φ)	L	e_l/D	N° de ensayo
Serie 1	1/4"	4	3	6
	1/4"	4	4	7
	1/4"	4	6	8
Serie 2	5/16"	4	2	9
	5/16"	4	3	10
	5/16"	4	4	11

c) Variación del diámetro del tirafón (Φ)

e_l/D = constante

L = Longitud de tirafón constante

Tabla N° 5.3.- Variaciones de diámetros de tirafones.

	e_l/D	L	Diámetro (Φ)	N° de ensayo
Serie 1	2	4	1/4"	3
	2	4	5/16"	9
	2	4	3/8"	12
Serie 2	3	4	1/4"	6
	3	4	5/16"	10
	3	4	3/8"	13



Fotografía N° 5.3.- Listones de madera Cachimbo

Luego se procedió al cortado en la carpintería, procurando tener caras horizontales en los planos de apoyo de cada probeta para lograr una transferencia de carga paralela a la fibra.



Fotografía N° 5.4.- Cortado de madera en medidas requeridas



Fotografía N° 5.5.- Madera cortada para elaboración de probetas

Según la Norma ASTM D1761-88 las características de las probetas a usar deben ser de un material de madera representativo, limpio y con fibras paralelas en una dirección. Las dos piezas prismáticas de madera utilizadas para este ensayo deben ser planas y sin asperezas para poder ser unidas entre ellas. La cantidad de ensayos debe de ser lo suficientemente para permitir un análisis estadístico.

Como ya se comentó, las probetas usadas para este ensayo, están compuestas por dos elementos (pieza lateral y pieza principal) de la misma especie de madera, unidos por un tirafón. La pieza lateral corresponde al elemento en el que queda apoyada la cabeza del tirafón y la pieza principal es aquella en donde queda introducida la punta del tirafón.

Según el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, el espaciamiento mínimo que se eligió para las probetas fue de 4 cm. el traslape que se utilizó fue de 10 cm. las piezas de madera se dimensionaron con 30 cm. de longitud.

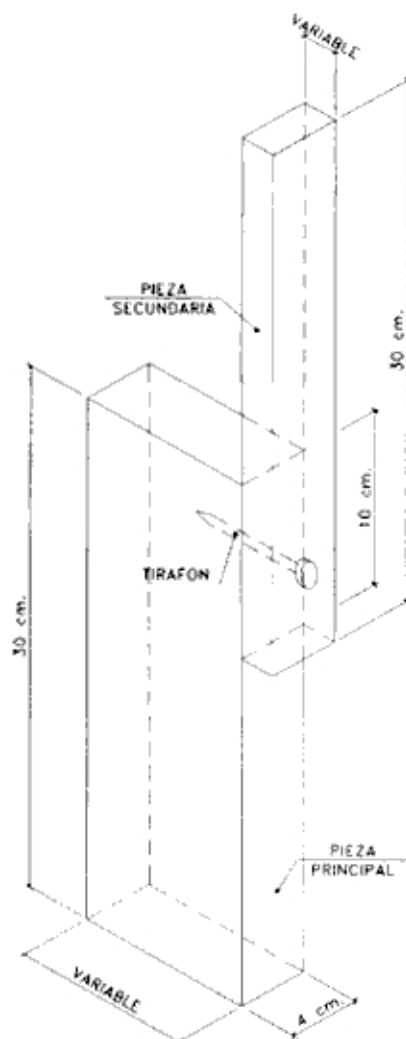
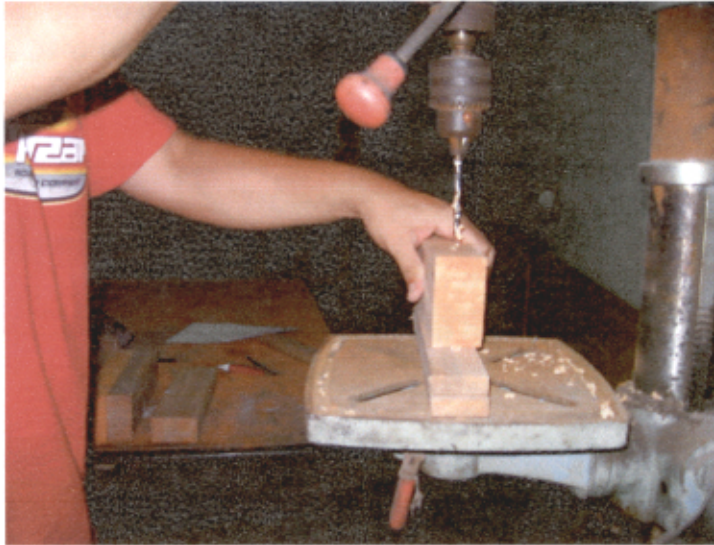


Figura N° 5.9.- Dimensiones de las probetas de ensayo

Una vez marcadas las piezas de madera, se procedió a hacer la perforación guía. La perforación guía se estableció con aproximadamente el 80% del diámetro del tirafón. Para los diámetros de 1/4" se utilizó una broca de 7/32" que equivale al 87% del diámetro. Para el tirafón de 5/16" se utilizó una broca de 1/4" que equivale al 80% del diámetro del tirafón. Y finalmente para el tirafón de 3/8" se utilizó una broca de 5/16", lo que equivale al 83% del diámetro del tirafón.



Fotografía N° 5.6.- Perforación de la pieza principal



Fotografía N° 5.7.- Perforación de la pieza lateral

Luego se procedió a atornillar el tirafón en sus respectivas maderas. Cabe resaltar que La Norma ASTM D1761-88 hace mención a que las probetas deben ser atornilladas dentro de un máximo de una hora de haber sido perforada por el agujero guía, para no alterar el contenido de humedad interno de la pieza de madera.



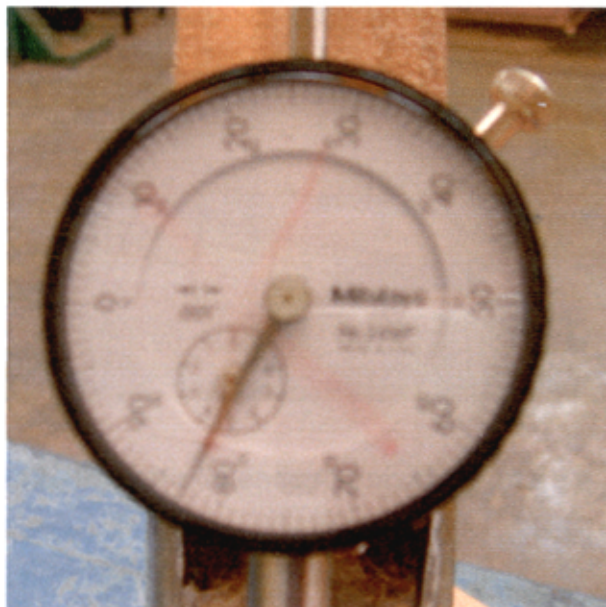
Fotografía N° 5.8.- Atornillado de las piezas

Seguidamente la parte de ensayos, los cuales se realizaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería, utilizando la máquina universal marca AMSLER.



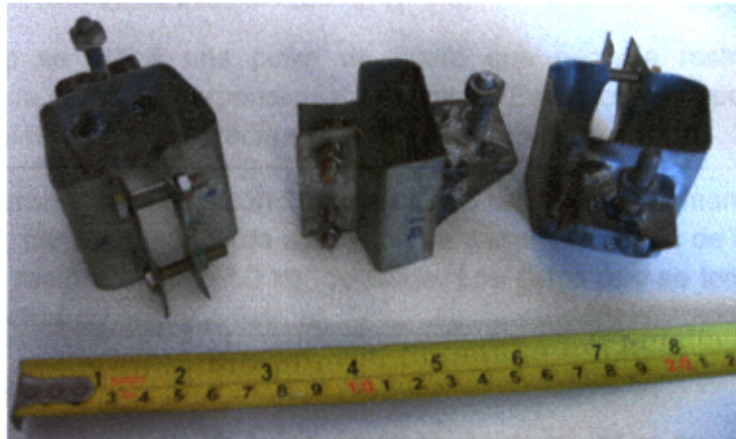
Fotografía N° 5.9.- Máquina universal para ensayos AMSLER

Para la medición de las deformaciones relativas de una pieza con respecto a otra, se utilizó un deformímetro que tuvo que adecuarse en la pieza lateral fijamente, para garantizar una buena lectura de deformaciones.



Fotografía N° 5.10.- Deformímetro utilizado en los ensayos

Para la fijación del deformímetro en la pieza lateral, se utilizó una abrazadera de aluminio. Esta abrazadera evita los desplazamientos de la aguja de medición hacia lugares no previstos que podrían alterar la medida del deformímetro que tiene una precisión de 1/1000 de pulgada.



Fotografía N° 5.11.- Abrazaderas



Fotografía N° 5.12.- Probeta de ensayo con abrazadera en la pieza lateral

Se realizaron en primera instancia ensayos para determinar la velocidad de ensayo, la cual está especificada en la Norma ASTM D1761-88 y en relación a la tesis con Madera Azúcar Huayo y Quinilla Colorada, se determinó una velocidad de ensayo que permita la lectura de datos cada 50 kilogramos de carga, para tener suficientes puntos al inicio de la curva esfuerzo – deformación.

Para el ensayo se utilizó una pieza de acero que permitía restringir los movimientos en la dirección perpendicular a la carga. Esta pieza va apoyada en la pieza principal tal como se aprecia en la siguiente fotografía.

Luego se realizaron 13 ensayos con 10 repeticiones de cada uno tomando datos de deformación, carga y tiempos de aplicación de carga y duración de ensayos. Las lecturas se realizaron cada 50 kg, de carga. Los datos que se tomaron en cuenta en las fechas de ensayos fueron:

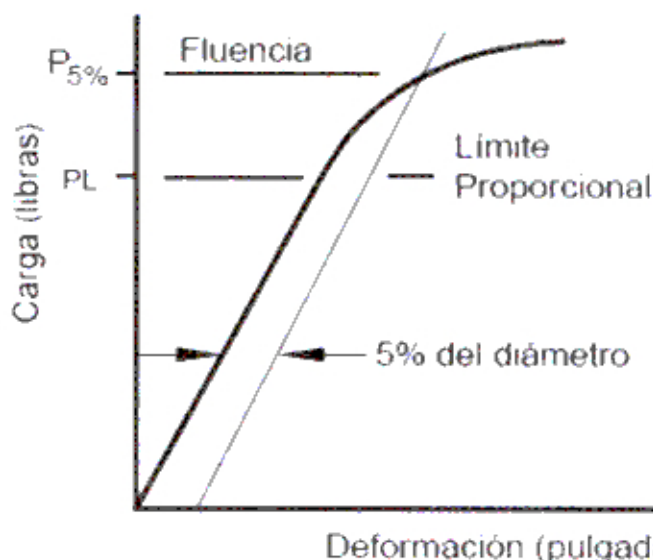
- Fecha de ensayos: 06.02.09; 09.02.09; 13.02.09; 25.02.09; 27.02.09; 10.03.09.

- Temperatura ambiente promedio: 28 °C

Para el ensayo de Cizallamiento Simple con carga paralela a la fibra, se sigue con la teoría de que un material es perfectamente elástico y obedece a la ley de Hooke. Esto se puede decir de elementos que no están sometidos a cargas muy grandes. El borde de este comportamiento en una gráfica esfuerzo – deformación, es denominado "Límite Proporcional". Según la NDS Commentary – American Forest & Paper Association, el Límite Proporcional se ubica al 5% del diámetro del tirafón, con una línea paralela a la parte proporcional de deformación.

Gráfica 5.E.- Carga – deformación.

Fuente: NDS Commentary – American Forest & Paper Association



5.2 ENSAYO DE DENSIDAD

Este ensayo fue realizado de acuerdo a la Norma ITINTEC 251.011. "Método de Determinación de la Densidad".

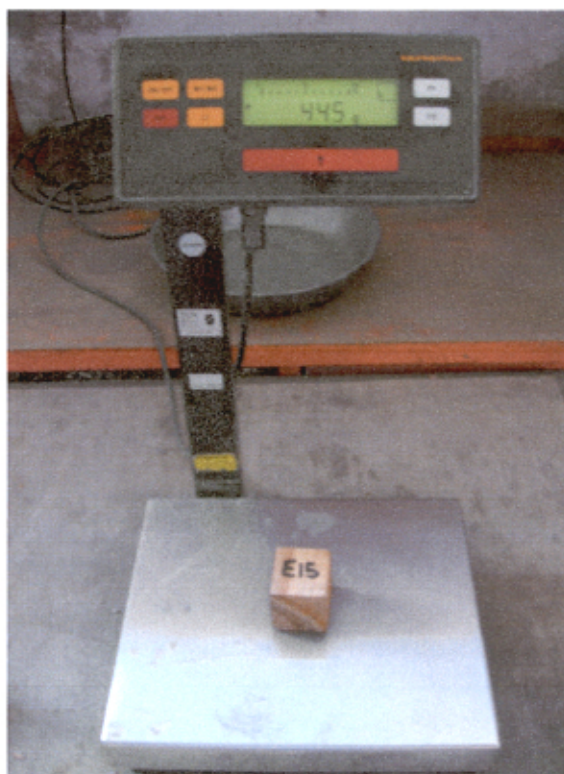
Esta Norma presenta la forma de hallar la densidad de la madera bajo diferentes condiciones de contenido de humedad. Por definición, la densidad es la razón entre el peso y el volumen de la madera a un determinado contenido de de humedad.

- **Madera saturada.**- Aquella que ha alcanzado su máximo contenido de humedad previamente sumergida en agua.
- **Madera seca al aire.**- Aquella que ha adquirido un equilibrio de humedad a ciertas condiciones ambientales.
- **Madera anhidra.**- Aquella en la cual se ha eliminado todo su contenido de humedad.

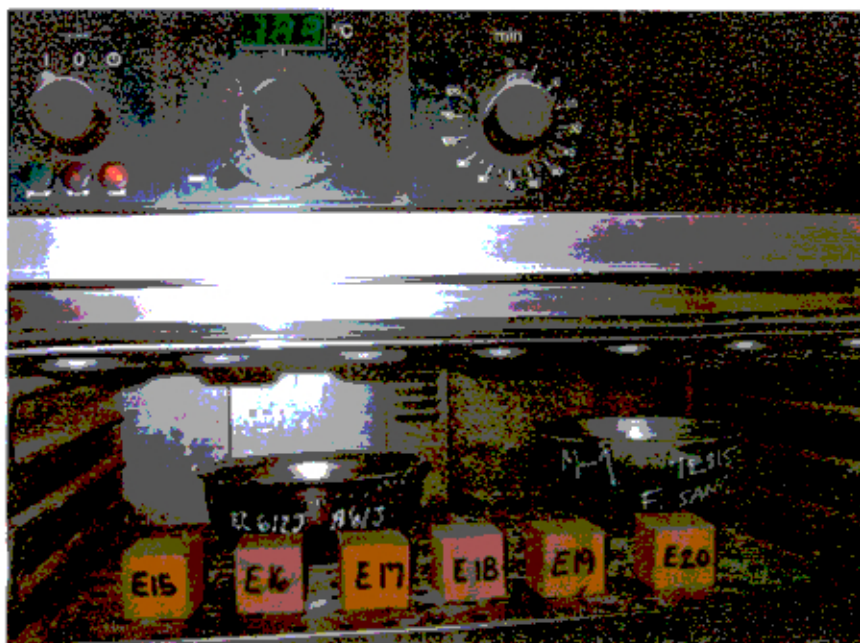
Para este ensayo se cortaron muestras representativas del ensayo de Cizallamiento Simple con carga paralela a la fibra. Las dimensiones de las muestras fueron de 3cm. x 3cm. x 10cm.



Fotografía N° 5.13.- Muestras para ensayo de densidad (3cm x 3cm x 10cm)



Fotografía N° 5.14.- Peso de las muestras en laboratorio



Fotografía N° 5.15.- Secado de muestras al horno

Se hallaron las densidades de las probetas

Cuadro N° 5.5.- Valores obtenidos para el ensayo de densidad

MUESTRA	W_{húmedo} (gr)	W_{saturado} (gr)	W_{seco} (gr)	V_{verde} (cm³)	V_{saturado} (cm³)
D1	67,0	78,5	53,0	90	80
D2	65,0	78,0	52,5	90	80
D3	66,5	77,0	50,0	90	80
D4	64,0	75,5	49,5	90	80
D5	65,5	78,0	53,5	90	80
D6	64,0	76,0	52,0	90	80
D7	64,0	76,5	52,0	90	90
D8	64,5	76,0	51,5	90	80
D9	63,5	76,5	50,5	90	80
D10	65,0	77,5	52,5	90	90

Cuadro N° 5.6.- Densidades obtenidas en el ensayo

MUESTRA	DENSIDAD VERDE	DENSIDAD SATURADA	DENSIDAD ANHIDRA	DENSIDAD BASICA
D1	0,74	0,87	0,59	0,66
D2	0,72	0,87	0,58	0,66
D3	0,74	0,86	0,56	0,63
D4	0,71	0,84	0,55	0,62
D5	0,73	0,87	0,59	0,67
D6	0,71	0,84	0,58	0,65
D7	0,71	0,85	0,58	0,58
D8	0,72	0,84	0,57	0,64
D9	0,71	0,85	0,56	0,63
D10	0,72	0,86	0,58	0,58
D_{PROMEDIO}	0,72	0,86	0,57	0,63

La densidad verde promedio es: $0,72 \text{ gr/cm}^3$

La densidad saturada promedio es: $0,86 \text{ gr/cm}^3$

La densidad anhidra promedio es: $0,57 \text{ gr/cm}^3$

La densidad básica promedio es: $0,63 \text{ gr/cm}^3$

5.3 ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Para este ensayo se utilizó la Norma ITINTEC 251.010. "Método de Determinación del Contenido de Humedad".

El método fue el de secado al horno. Para este ensayo, se obtuvieron muestras de madera de 4cm. x 4cm. x 4cm.



**Fotografía N° 5.16.- Muestras para ensayo de contenido de humedad
(4cm x 4cm x 4cm)**

Esta propiedad física se calculó en todos los ensayos de cizallamiento simple con cargas paralelas a la fibra realizados, tomándose las muestras de los ensayos realizados.

El contenido de humedad es la cantidad de agua contenida en la madera generalmente expresada como porcentaje de su peso anhidro.

$$CH = [(Ph - Ps) 100] / Ps$$

Donde: Ps = peso seco al horno en gramos

PH = peso al momento del ensayo

En el laboratorio se tomaron los siguientes datos:

Cuadro N° 5.7.- Valores para el ensayo de contenido de humedad

MUESTRA	PESO HUMEDO	PESO SECO	FECHA
E1	49,5	39,5	11.02.2009
E2	51,0	41,0	
E3	49,0	39,5	
E4	51,5	40,5	
E5	51,5	40,5	
E6	51,0	40,5	
E7	46,5	37,0	
E8	45,5	39,0	25.02.2009
E9	47,0	40,0	
E10	47,0	40,0	
E11	44,0	37,5	
E12	47,0	40,5	
E13	45,5	39,0	
E14	47,0	40,0	
E15	46,0	40,5	09.03.09
E16	47,0	41,5	
E17	47,0	41,5	
E18	47,0	41,5	
E19	46,5	41,0	
E20	47,0	41,5	

Cuadro N° 5.8.- Contenidos de Humedad en cada Ensayo

MUESTRA	% CH	% CH PROMEDIO
E1	25,3	25,7
E2	24,4	
E3	24,1	
E4	27,2	
E5	27,2	
E6	25,9	
E7	25,7	
E8	16,7	17,0
E9	17,5	
E10	17,5	
E11	17,3	
E12	16,0	
E13	16,7	
E14	17,5	
E15	13,6	13,3
E16	13,3	
E17	13,3	
E18	13,3	
E19	13,4	
E20	13,3	

Los %CH encontrados al principio fueron altos, pues la madera se encontraba verde cuando fue comprada.

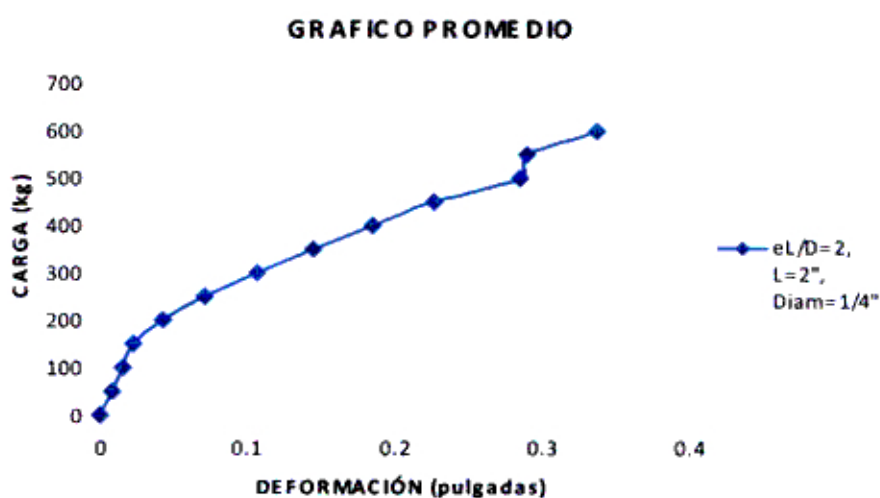
CAPÍTULO VI : RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 RESULTADOS

- a) Para el ensayo de cizallamiento simple con carga paralela a la fibra se ubicaron de forma gráfica las cargas admisibles para cada repetición, siguiendo la teoría mencionada anteriormente, sugerida para el Límite Proporcional en la NDS Commentary – American Forest & Paper Association.

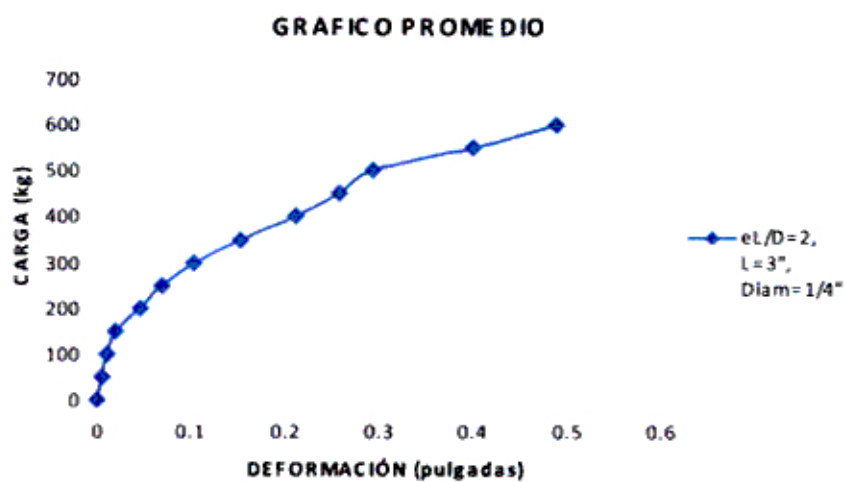
Se presentan las gráficas típicas correspondientes a cada ensayo:

Gráfica N° 6.1.- Ensayo 1



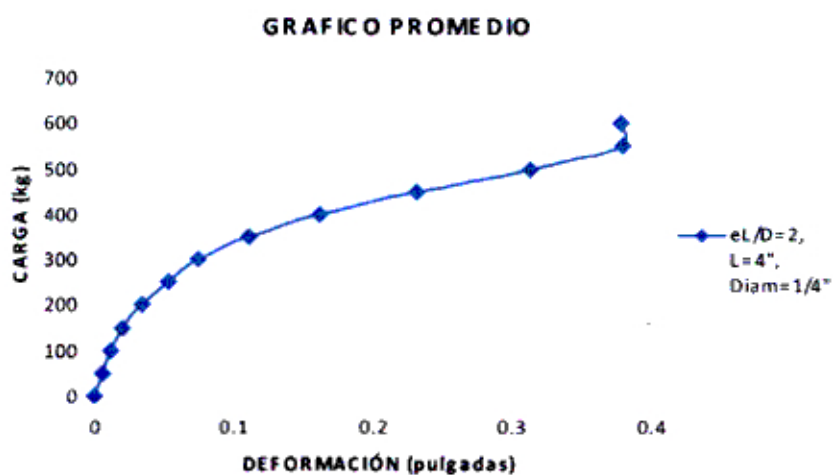
Promedio de 10 Ensayos.

Gráfica Nº 6.2.- Ensayo 2



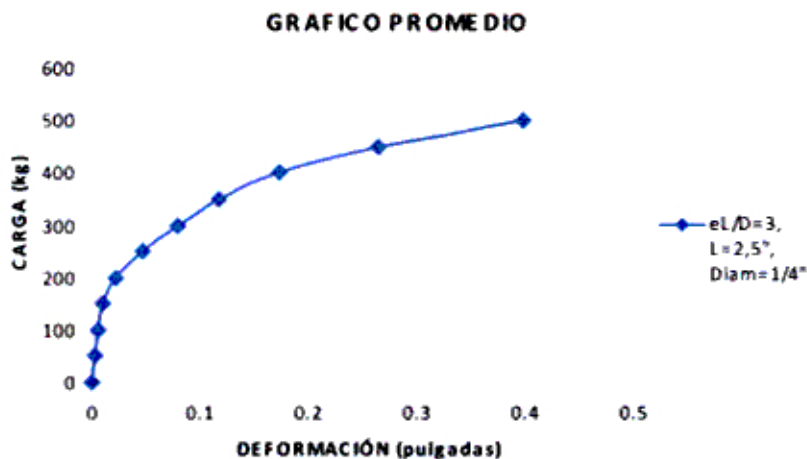
Promedio de 10 Ensayos.

Gráfica Nº 6.3.- Ensayo 3



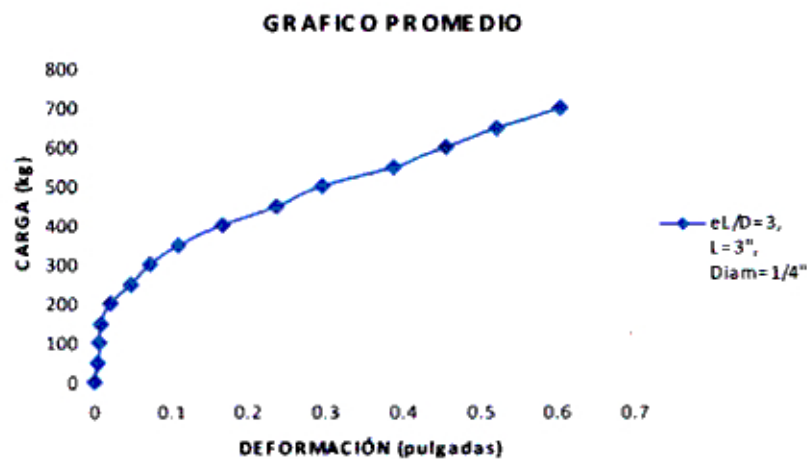
Promedio de 10 Ensayos.

Gráfica N° 6.4.- Ensayo 4



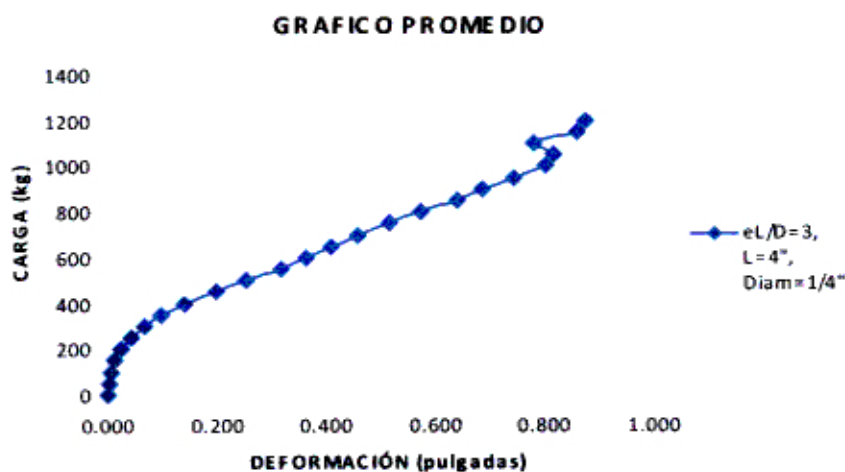
Promedio de 10 Ensayos.

Gráfica N° 6.5.- Ensayo 5



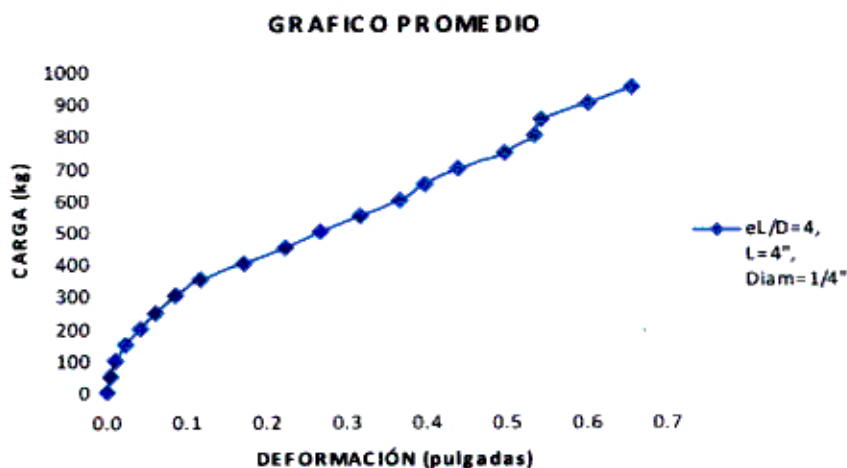
Promedio de 10 Ensayos.

Gráfica N° 6.6.- Ensayo 6



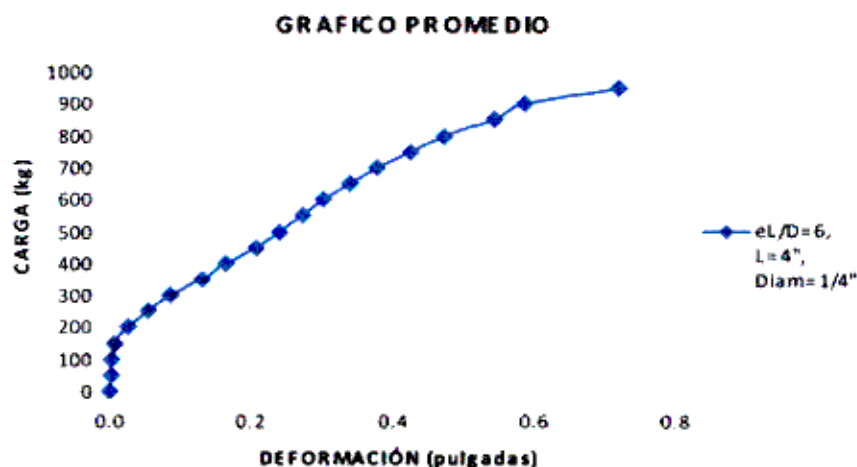
Promedio de 10 Ensayos.

Gráfica N° 6.7.- Ensayo 7



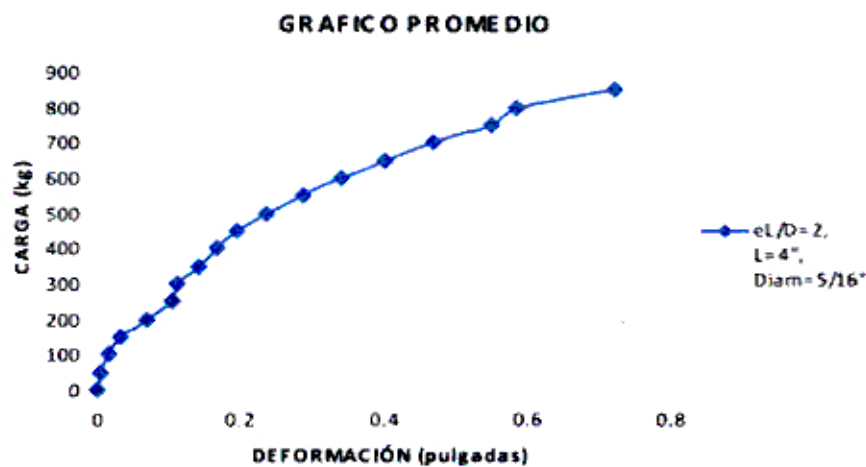
Promedio de 10 Ensayos.

Gráfica N° 6.8.- Ensayo 8



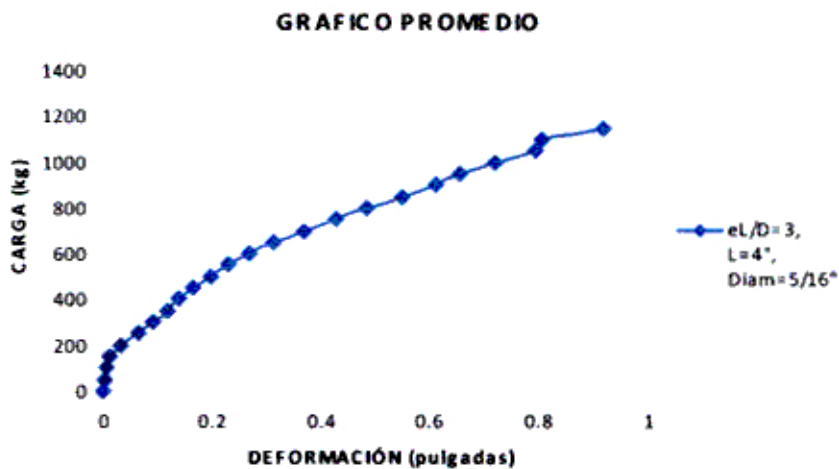
Promedio de 10 Ensayos.

Gráfica N° 6.9.- Ensayo 9



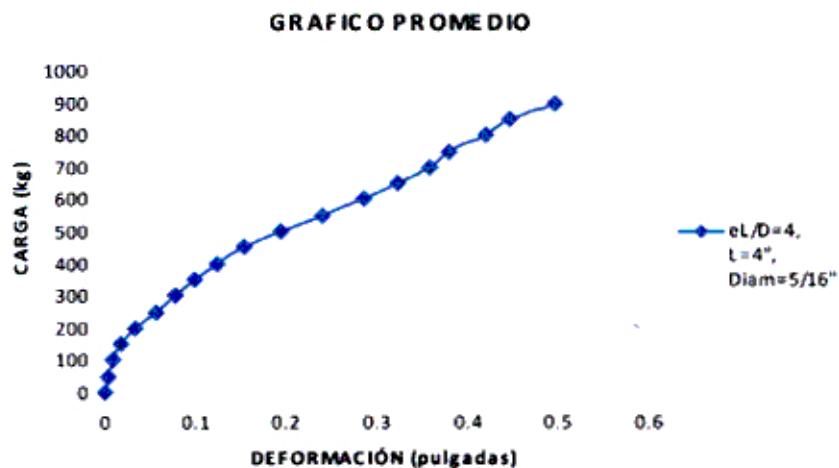
Promedio de 10 Ensayos.

Gráfica N° 6.10.- Ensayo 10



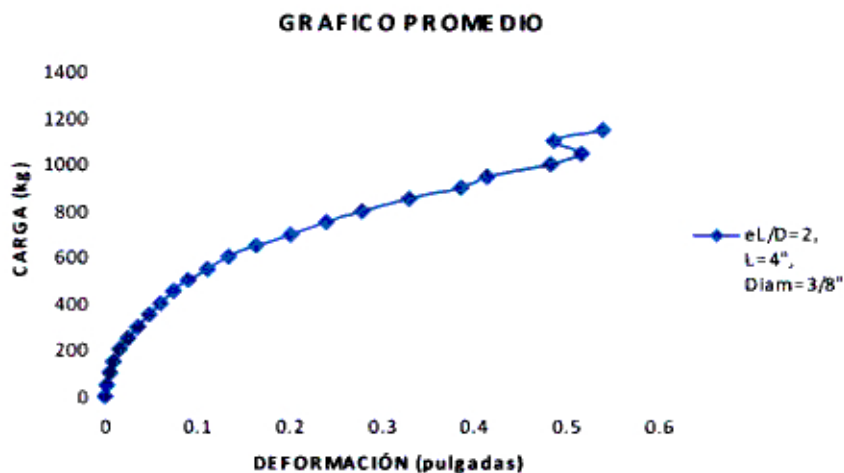
Promedio de 10 Ensayos.

Gráfica N° 6.11.- Ensayo 11



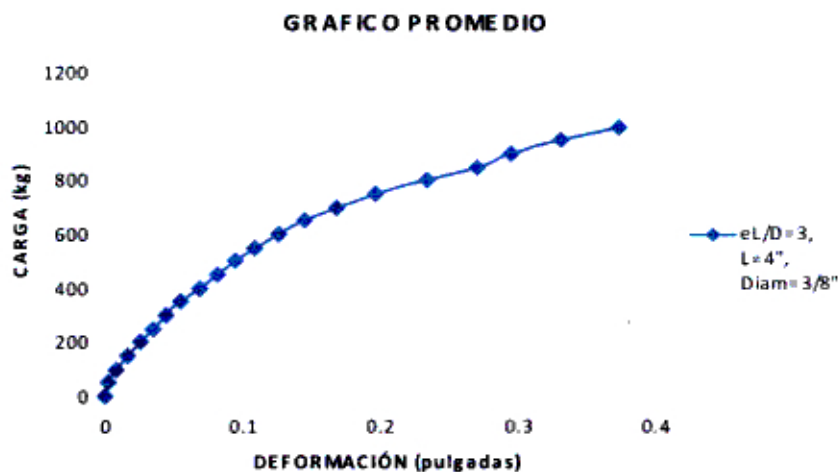
Promedio de 10 Ensayos.

Gráfica N° 6.12.- Ensayo 12



Promedio de 10 Ensayos.

Gráfica N° 6.13.- Ensayo 13



Promedio de 10 Ensayos

- b) Del ensayo de cizallamiento simple con carga paralela a la fibra se obtuvo los siguientes resultados provenientes del análisis en el límite proporcional y al 5% del diámetro del tirafón. (Ver Gráfica 5.E – NDS – Pág. 53).

Cuadro N° 6.9.- Valores de cargas y deformaciones en el límite proporcional y al 5% del diámetro para cada ensayo y cada repetición.

		LP		5%	
		DEFORMACION	CARGA	DEFORMACION	CARGA
E1	M1	51	200	71	239
E1	M2	17	150	32	189
E1	M3	12	150	23	176
E1	M4	25	176	46	227
E1	M5	18	150	39	214
E1	M6	14	100	36	150
E1	M7	9	100	28	200
E1	M8	11	150	27	210
E1	M9	23	200	43	278
E1	M10	29	100	54	150
Promedio Simple		21	148	40	203
Desviación Estandar		12.4	38.2	14.5	39.7
Promedio		17	154	34	203
E2	M1	4	100	16	138
E2	M2	1	150	24	186
E2	M3	23	135	42	184
E2	M4	4	100	21	239
E2	M5	26	232	44	284
E2	M6	16	132	35	171
E2	M7	11	100	26	130
E2	M8	14	128	32	154
E2	M9	18	200	332	226
E2	M10	23	150	46	210
Promedio Simple		14	143	62	192
Desviación Estandar		8.8	43.7	95.5	48.2
Promedio		12	124	30	177

Cuadro N° 6.9.- Valores de cargas y deformaciones en el límite proporcional y al 5% del diámetro para cada ensayo y cada repetición.

		LP		5%	
		DEFORMACION	CARGA	DEFORMACION	CARGA
E3	M1	13	100	39	200
E3	M2	21	150	47	250
E3	M3	1	100	31	169
E3	M4	13	150	31	221
E3	M5	15	100	37	166
E3	M6	9	100	29	184
E3	M7	16	150	35	200
E3	M8	25	200	43	250
E3	M9	1	100	32	190
E3	M10	21	150	48	233
Promedio Simple		14	130	37	206
Desviación Estandar		8.1	35.0	6.9	30.9
Promedio		12	122	37	201
E4	M1	3	50	20	111
E4	M2	5	100	19	163
E4	M3	11	200	25	250
E4	M4	8	150	26	226
E4	M5	9	150	26	211
E4	M6	5	150	20	211
E4	M7	6	150	21	214
E4	M8	7	150	23	221
E4	M9	5	150	20	208
E4	M10	14	200	32	270
Promedio Simple		7	146	23	209
Desviación Estandar		3.3	43.8	4.1	44.2
Promedio		6	143	22	208

Cuadro N° 6.9.- Valores de cargas y deformaciones en el límite proporcional y al 5% del diámetro para cada ensayo y cada repetición.

		LP		5%	
		DEFORMACION	CARGA	DEFORMACION	CARGA
E5	M1	9	150	23	200
E5	M2				
E5	M3	16	150	33	200
E5	M4	7	150	28	221
E5	M5	6	150	22	207
E5	M6	13	200	32	250
E5	M7	6	150	22	221
E5	M8	7	100	26	171
E5	M9	6	150	22	213
E5	M10	5	150	22	228
Promedio Simple		8	150	26	212
Desviación Estandar		3.7	25.0	4.5	22.0
Promedio		8	150	26	212
E6	M1	7	100	24	150
E6	M2	17	150	24	173
E6	M3	6	100	25	150
E6	M4	11	150	28	200
E6	M5	7	150	25	222
E6	M6	4	150	15	200
E6	M7	9	200	29	269
E6	M8	7	150	28	232
E6	M9	11	200	30	250
E6	M10	7	150	24	200
Promedio Simple		9	150	25	205
Desviación Estandar		3.7	33.3	4.2	39.8
Promedio		9	150	24	205

Cuadro N° 6.9.- Valores de cargas y deformaciones en el límite proporcional y al 5% del diámetro para cada ensayo y cada repetición.

		LP		5%	
		DEFORMACIÓN	CARGA	DEFORMACIÓN	CARGA
E7	M1	8	100	25	150
E7	M2	6	100	22	168
E7	M3	9	100	35	200
E7	M4	2	100	18	176
E7	M5	110	350	133	374
E7	M6	6	100	22	150
E7	M7				
E7	M8	19	100	44	163
E7	M9	14	100	39	186
E7	M10	2	100	18	170
Promedio Simple		20	128	40	193
Desviación Estandar		34.4	83.3	36.3	69.7
Promedio		8	100	28	170
E8	M1	6	100	26	164
E8	M2	9	150	29	200
E8	M3	9	200	30	250
E8	M4	5	150	19	200
E8	M5	6	150	22	187
E8	M6	3	100	18	155
E8	M7	5	150	22	200
E8	M8	12	150	29	200
E8	M9	5	150	22	200
E8	M10	2	150	20	200
Promedio Simple		6	145	24	196
Desviación Estandar		3.0	28.4	4.4	25.4
Promedio		6	150	23	198

Cuadro N° 6.9- Valores de cargas y deformaciones en el limite proporcional y al 5% del diámetro para cada ensayo y cada repetición.

		LP		5%	
		DEFORMACIÓN	CARGA	DEFORMACIÓN	CARGA
E9	M1	42	250	65	271
E9	M2	11	150	28	170
E9	M3	11	100	31	142
E9	M4	20	250	40	300
E9	M5	132	200		
E9	M6	15	150	38	215
E9	M7	14	150	35	169
E9	M8	31	150	50	175
E9	M9	12	150	31	170
E9	M10	11	100	29	119
Promedio Simple		30	165	39	192
Desviación Estandar		37.3	53.0	12.1	59.2
Promedio		36	158	30	150
E10	M1	25	250	43	263
E10	M2	8	150	25	181
E10	M3	8	100	24	131
E10	M4	12	150	35	178
E10	M5	15	200	34	222
E10	M6	7	150	27	200
E10	M7	10	200	28	234
E10	M8	14	200	34	250
E10	M9	10	150	29	184
E10	M10	4	150	29	200
Promedio Simple		11	170	31	204
Desviación Estandar		5.8	42.2	5.7	39.1
Promedio		10	169	30	206

Cuadro N° 6.9- Valores de cargas y deformaciones en el límite proporcional y al 5% del diámetro para cada ensayo y cada repetición.

		LP		5%	
		DEFORMACIÓN	CARGA	DEFORMACIÓN	CARGA
E11	M1	3	150	23	200
E11	M2	6	150	24	168
E11	M3	4	150	24	241
E11	M4	5	150	21	200
E11	M5	12	100	42	200
E11	M6	106	350	150	450
E11	M7	23	100	64	200
E11	M8	12	200	30	227
E11	M9	13	200	32	236
E11	M10	11	200	30	250
Promedio Simple		20	175	44	237
Desviación Estandar		31.0	71.7	39.4	78.8
Promedio		8	171	26	217
E12	M1	12	150	51	350
E12	M2	13	300	40	428
E12	M3	10	150	37	228
E12	M4	15	200	50	350
E12	M5	8	150	32	228
E12	M6	19	250	49	400
E12	M7	10	200	40	350
E12	M8	9	200	35	350
E12	M9	11	200	36	300
E12	M10	13	200	42	323
Promedio Simple		12	200	41	331
Desviación Estandar		3.2	47.1	6.7	64.9
Promedio		12	200	41	335

Cuadro N° 6.9- Valores de cargas y deformaciones en el límite proporcional y al 5% del diámetro para cada ensayo y cada repetición.

		LP		5%	
		DEFORMACIÓN	CARGA	DEFORMACIÓN	CARGA
E13	M1	35	300	89	550
E13	M2	20	200	57	363
E13	M3	10	250	32	350
E13	M4	51	350	110	600
E13	M5	102	500	165	700
E13	M6	81	350	111	400
E13	M7	87	450	130	570
E13	M8	76	500	115	650
E13	M9	36	350	67	450
E13	M10	106	500	156	650
Promedio Simple		60	375	103	528
Desviación Estandar		34.5	108.7	42.5	128.3
Promedio		58	363	102	516

Cuadro N° 6.10.- Resumen resultado promedio

	LP		5%	
	DEFORMACION	CARGA	DEFORMACION	CARGA
E1	17	154	34	203
E2	12	124	30	177
E3	12	122	37	201
E4	6	143	22	208
E5	8	150	26	212
E6	9	150	24	205
E7	8	100	28	170
E8	6	150	23	198
E9	36	158	30	150
E10	10	169	30	206
E11	8	171	26	217
E12	12	200	41	335
E13	58	363	102	516

Cuadro N° 6.11.- Cuadro resumen

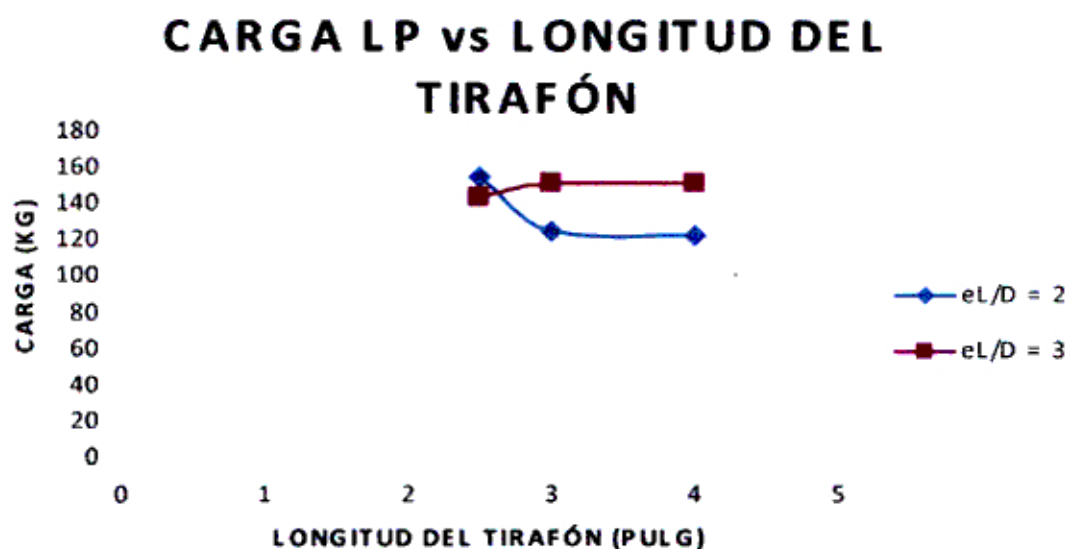
Variables de ensayo	Número de serie	DATOS DE CADA ENSAYO				Límite Proporcional		5% línea paralela Límite Proporcional	
		eL/D	L (pulg)	φ (pulg)	Número de ensayo	Deformación milésima de Pulgada	Carga kg LP	Deformación milésima de pulgada	Carga kg
VARIACION DEL DIAMETRO	SERIE 1	2	4	¼	3	12	122	37	201
		2	4	5/16	9	36	158	30	150
		2	4	3/8	12	12	200	41	335
	SERIE 2	3	4	¼	6	9	150	24	205
		3	4	5/16	10	10	169	30	206
		3	4	3/8	13	58	363	102	516
VARIACION DE LA RELACION eL/D	SERIE 1	3	4	¼	6	9	150	24	205
		4	4	¼	7	8	100	28	170
		6	4	¼	8	6	150	23	198
	SERIE 2	2	4	5/16	9	36	158	30	150
		3	4	5/16	10	10	169	30	206
		4	4	5/16	11	8	171	26	217
VARIACION DE LA LONGITUD DEL TIRAFÓN	SERIE 1	2	2.5	¼	1	17	154	34	203
		2	3	¼	2	12	124	30	177
		2	4	¼	3	12	122	37	201
	SERIE 2	3	2.5	¼	4	6	143	22	208
		3	3	¼	5	8	150	26	212
		3	4	¼	6	9	150	24	205

Para el ensayo de cizallamiento simple con carga paralela a la fibra y con los datos del Cuadro N° 6.12 (Pág.78), se realizaron las Gráficas N° 6.14, 6.15, 6.16, 6.17, 6.18 y 6.19 de variación de carga en función a la variación de Longitud del tirafón, diámetro del tirafón y relación e_L/D , para el límite proporcional y al 5% del diámetro con la teoría mencionada anteriormente. (Referir a la Gráfica 5.E – NDS – Pág. 53).

Como ya se comentó anteriormente, para tener una aproximación más real de las tendencias de las curvas, se realizaron dos series de cada variable (longitud, diámetro y e_L/D) tal y como se refiere en las Tablas N° 5.1, N° 5.2 (Pág. 43), y N° 5.3 (Pág. 44) y en el Cuadro N° 6.12 (Pág.78).

- c) Variación de la carga en Kg. en el Límite proporcional vs. Variación de longitud del tirafón en pulgadas en dos series distintas (Ver Tabla N° 5.1 Pág. 43).

Gráfica N° 6.14.- Variación de la carga en kilogramos en el Límite proporcional vs. Variación de longitud del tirafón en pulgadas.



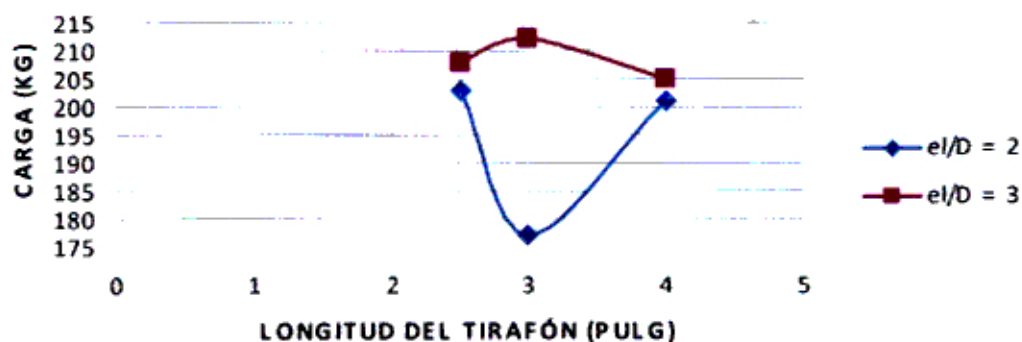
Cuadro N° 6.12.- Variación de longitud del tirafón

Variables de ensayo	Número de serie	DATOS DEL ENSAYO				Carga kg LP
		eL/D	L (pulg)	Φ (pulg)	Número de ensayo	
VARIACIÓN DE LONGITUD DEL TIRAFÓN	SERIE 1	2	2,5	¼	1	154
		2	3	¼	2	124
		2	4	¼	3	122
	SERIE 2	3	2,5	¼	4	143
		3	3	¼	5	150
		3	4	¼	6	150

- d) Variación de la carga en Kg. al 5% del diámetro del tirafón con una línea paralela a la parte proporcional de deformación vs. la variación de longitud del tirafón en pulgadas en dos series distintas. (Ver Tabla N° 5.1 Pág. 43).

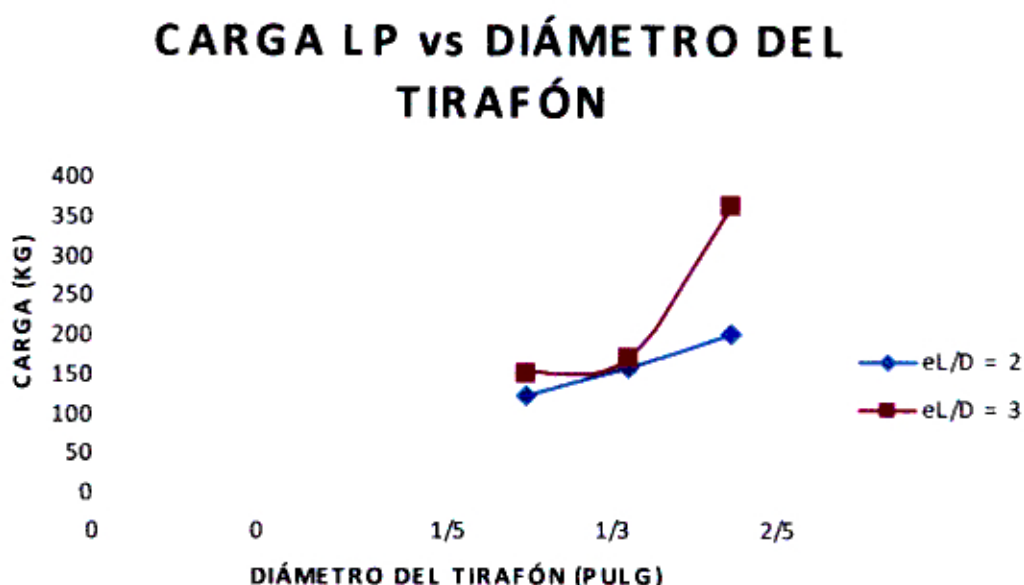
Gráfica N° 6.15.- Variación de la carga en kilogramos al 5% del diámetro de tirafón con una línea paralela a la parte proporcional de deformación vs. Variación de longitud de tirafón en pulgadas.

CARGA vs LONGITUD DEL TIRAFÓN



- e) Variación de la carga en Kg. en el límite proporcional vs. la variación del diámetro del tirafón en pulgadas en dos series distintas. (Ver Tabla N° 5.3 Pág. 44)

Gráfica N° 6.16.- Variación de la Carga en kilogramos en el Límite Proporcional vs. Variación del Diámetro del tirafón en pulgadas.

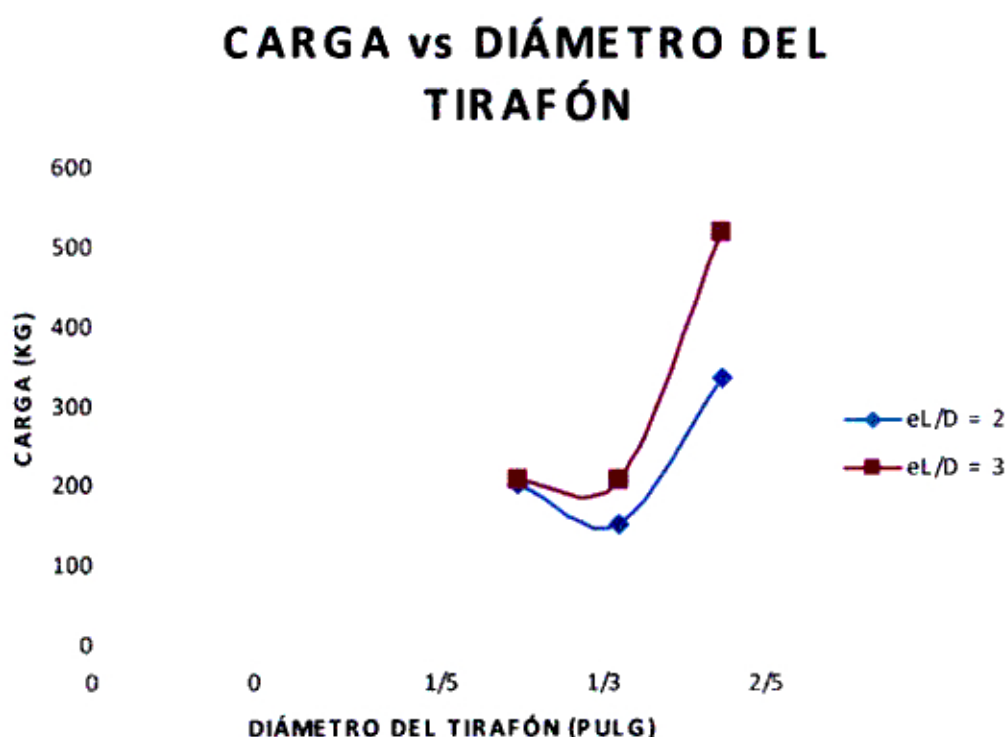


Cuadro N° 6.13.- Variación del diámetro del tirafón

Variables de ensayo	Número de serie	DATOS DEL ENSAYO				Carga kg LP
		eL/D	L (pulg)	Φ (pulg)	Número de ensayo	
VARIACIÓN DEL DIÁMETRO DEL TIRAFÓN	SERIE 1	2	4	1/4	3	122
		2	4	5/16	9	158
		2	4	3/8	12	200
	SERIE 2	3	4	1/4	6	150
		3	4	5/16	10	169
		3	4	3/8	13	363

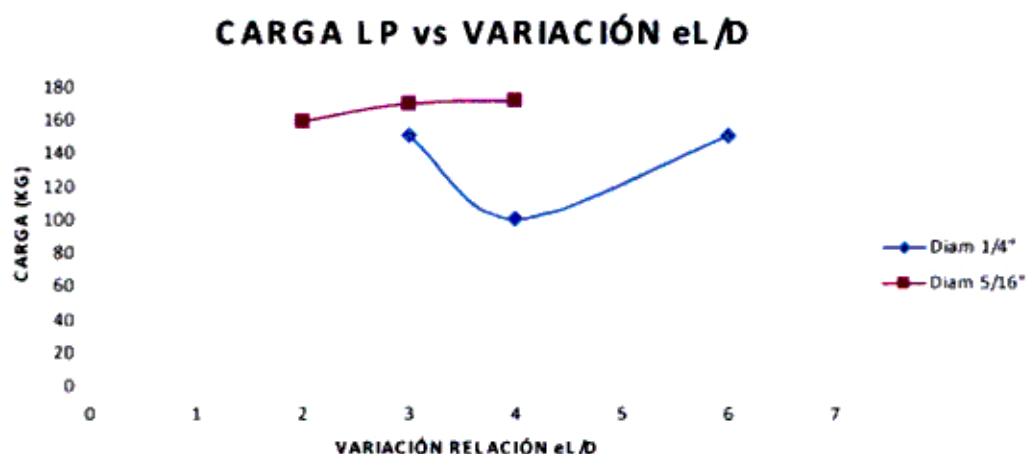
- f) Variación de la carga en Kg. al 5% del diámetro del tirafón con una línea paralela a la parte proporcional de deformación vs. la variación del diámetro del tirafón en pulgadas en dos series distintas. (Ver Tabla N° 5.3 Pág. 44).

Gráfica N° 6.17.- Variación de la carga en kilogramos al 5% del diámetro del tirafón con una línea paralela a la parte proporcional de deformación vs. la Variación del diámetro del tirafón en pulgadas.



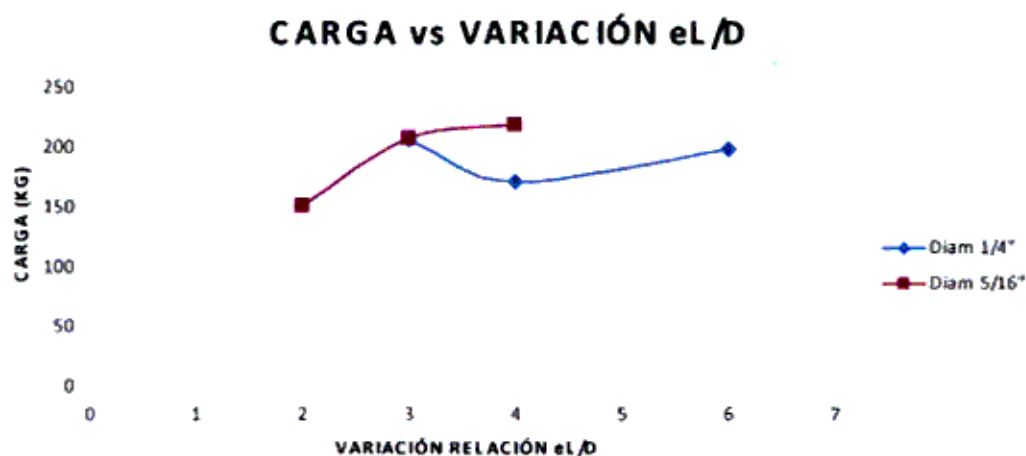
- g) Variación de carga en Kg. en el límite proporcional con respecto a las variaciones de la relación e_L / D en dos series distintas. (Ver Tabla N° 5.2 Pág. 44).

Gráfica N° 6.18.- Variación de la carga en kilogramos en el límite proporcional vs. la variación de la relación e_L/D .



- h) Variación de la carga en Kg. al 5% del diámetro del tirafón con una línea paralela a la parte proporcional de deformación vs. La variación de la relación e_L/D en dos series distintas. (Ver Tabla N° 5.2 Pág. 44).

Gráfica N° 6.19.- Variación de la carga en kilogramos al 5% del diámetro del tirafón con una línea paralela a la parte proporcional de deformación vs. la variación de la relación e_L/D



i) Del ensayo de densidad se obtuvieron los siguientes resultados

La densidad verde promedio es: 0,72 gr/cm³

La densidad saturada promedio es: 0,86 gr/cm³

La densidad anhidra promedio es: 0,57 gr/cm³

La densidad básica promedio es: 0,63 gr/cm³

j) Para el ensayo de Contenido de Humedad, se llevó a cabo con 20 muestras los cuales se obtuvieron de los ensayos de Cizallamiento Simple. (Ver ensayos realizados – Cuadro N° 5.8 Pág. 60) de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

El 11.02.09 el %CH promedio de la madera fue 25,7

El 25.02.09 el %CH promedio de la madera fue 17,0

El 09.03.09 el %CH promedio de la madera fue 13,3

6.2 DISCUSIÓN

a) En la **Gráfica N° 6.1** a la **Gráfica N° 6.13**, (Ver Pág. 61 – 67), se observan las tendencias de las curvas, al inicio tienen la tendencia lineal (Ley de Hooke) y luego la tendencia exponencial, similar a la curva de las gráficas Carga vs Deformación. Estos gráficos están cumpliendo con la parte teórica que se esperaba.

b) Para la **Gráfica N° 6.14** (Ver Pág. 77), Carga en el Límite Proporcional vs Longitud del tirafón, la curva $e_L/D=2$ es decreciente y la curva $e_L/D=3$ es creciente. También se observa que para el menor diámetro la curva $e_L/D=2$ resiste mayor carga.

c) Para la **Gráfica N° 6.15** (Ver Pág. 78), Carga al 5% del Diámetro vs Longitud del tirafón, se observan que las curvas no tienen tendencia. También podemos observar que la curva $e_L/D=2$ soporta menos carga que la curva $e_L/D=3$ para las longitudes de 2,5" y 3", mientras que para la longitud de 4" ocurre lo contrario.

d) Para la **Gráfica N° 6.16** (Ver Pág. 79), Carga en el Límite Proporcional vs Diámetro del Tirafón, se observan que las curvas tienen una tendencia creciente, la curva $e_L/D=3$ tiene una pendiente mucho mayor que la curva $e_L/D=2$.

e) Para la Gráfica N° 6.17 (Ver Pág. 80), Carga al 5% del Diámetro vs Diámetro del tirafón, Se observan que las curvas tienen tendencia creciente y la curva $e_L/D=3$ resiste mayor carga que la curva $e_L/D=2$.

f) Para la Gráfica N° 6.18 (Ver Pág. 81), Carga en el Límite Proporcional vs Variación de la relación e_L/D , se observan que las curvas tienen una tendencia creciente, soportando una mayor carga la curva que cuenta con mayor diámetro.

g) Para la Gráfica N° 6.19 (Ver Pág. 81), Carga al 5% del Diámetro vs Variación de la relación e_L/D , se observa que la curva cuyo diámetro es 5/16" tiene una tendencia creciente y la curva cuyo diámetro es 1/4" tiende a ser constante. Siendo la de diámetro 5/16" la curva que resiste mayor carga.

Cuadro N° 6.14.- Resultados de la tesis: Uniones estructurales con tirafones con la especie Quinilla Colorada Manilkana Bidentada.

Diámetro	e_L/D	Longitud del Tirafón	A	Carga (Kg)		Deformación (pulg/1000)	
				En el límite proporcional	Máxima	En el límite proporcional	Máxima (al 5%)
1/4	2.0	1.50	1	110.40	359.04	44	447
	3.0	2.00	2	115.20	323.52	34	516
	4.0	2.00	3	121.92	321.6	35	298
	6.0	2.50	4	147.36	341.76	45	442
5/16	1.6	1.50	1	128.35	348.48	35	322
	2.4	2.00	2	133.92	329.76	39	293
	3.2	2.00	3	170.69	435.84	37	359
	4.8	2.50	4	169.90	439.68	39	347
3/8	1.3	1.50	1	49.28	355.68	36	294
	2.0	2.00	2	139.68	358.08	37	160
	2.7	2.00	3	183.36	410.88	49	343
	4.0	2.50	4	192.96	479.04	53	378

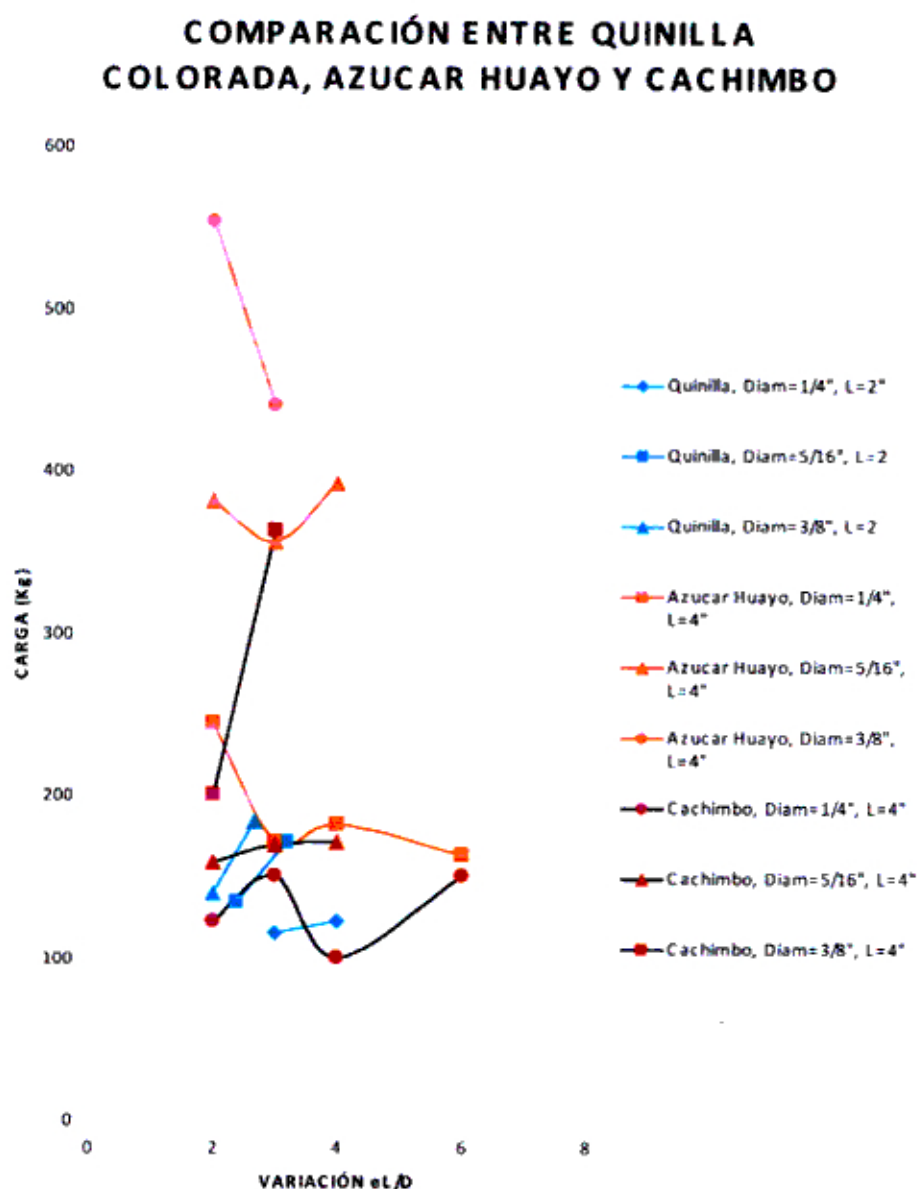
Cuadro N° 6.15.- Resultados de la tesis: Uso de Tirafones en uniones estructurales con la especie de madera tropical Azúcar Huayo-Hymenaea Courbaril.

Diámetro	eL/D	Longitud del Tirafón	Número de ensayo	Carga (kg)		Deformación (pulg/1000)	
				En el Límite Proporcional	Máxima	En el Límite Proporcional	Máxima (al 5%)
1/4	2	2.50	1	130	303	25	71
	2	3.00	2	189	340	26	60
	2	4.00	3	244	327	46	71
	3	2.50	4	128	185	17	30
	3	3.00	5	144	238	15	33
	3	4.00	6	171	298	21	43
	4	4.00	7	182	306	25	53
	5	4.00	8	163	233	24	45
5/16	2	4.00	9	381	528	44	73
	3	4.00	10	356	544	27	54
	4	4.00	11	392	520	31	57
3/8	2	4.00	12	553	713	38	63
	3	4.00	13	440	601	36	62

Cuadro N° 6.16.- Resultados obtenidos en la presente tesis.

Diámetro	eL/D	Longitud del Tirafón	Número de ensayo	Carga (kg)		Deformación (pulg/1000)	
				En el Límite Proporcional	Máxima	En el Límite Proporcional	Máxima (al 5%)
1/4	2	2.50	1	154	203	17	34
	2	3.00	2	124	177	12	30
	2	4.00	3	122	201	12	37
	3	2.50	4	143	208	6	22
	3	3.00	5	150	212	8	26
	3	4.00	6	150	205	9	24
	4	4.00	7	100	170	8	28
	5	4.00	8	150	198	6	23
5/16	2	4.00	9	158	150	36	30
	3	4.00	10	169	206	10	30
	4	4.00	11	171	217	8	26
3/8	2	4.00	12	200	335	12	41
	3	4.00	13	363	516	58	102

Gráfica N° 6.20.- Variación de la carga en kilogramos en el límite proporcional vs. La relación e_L/D con los valores obtenidos en la tesis con Quinilla Colorada Manilkana Bidentada, en la tesis con Azúcar Huayo-Hymenaea Courbaril y los valores obtenidos en la tesis con madera Cachimbo Cariniana Domesticata.



h) Para la **Gráfica N° 6.20**, Variación de la Carga en el Límite Proporcional vs La Variación de la Relación e_L/D con los valores obtenidos en las especies de Madera Quinilla Colorada, Azúcar Huayo y Cachimbo. Se observa que los valores de la carga en el tipo Cachimbo se encuentran entre los valores obtenidos para el tipo Azúcar Huayo y Quinilla Colorada, teniendo los valores mayores el tipo Azúcar Huayo.

Cuadro N° 6.17.- Valores de carga para variaciones de e_L/D con diámetro y longitud constante utilizando la madera Quinilla Colorada Manilkana Bidentada

e_L/D	Diámetro del tirafón (pulg)	Longitud del tirafón (pulg)	Carga en el límite proporcional (kg)	Carga Máxima (kg)	Número de ensayo
3	1/4	2	115	324	1
4			122	322	2

Cuadro N° 6.18.- Valores de carga para variaciones de e_L/D con diámetro y longitud constante utilizando la madera Azúcar Huayo – Hymenaea Courbaril

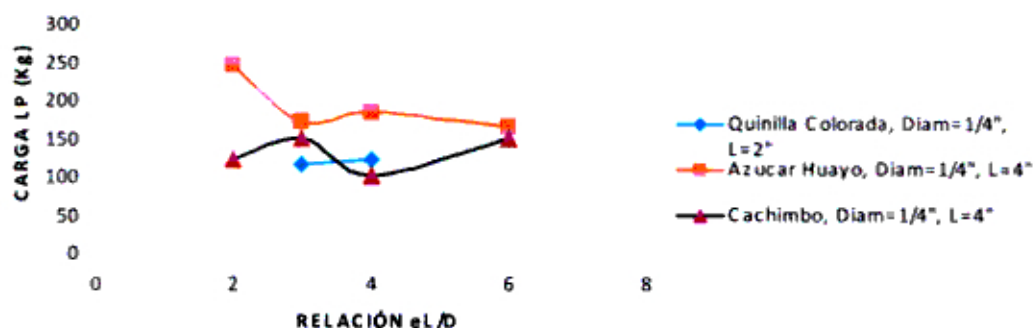
e_L/D	Diámetro del tirafón (pulg)	Longitud del tirafón (pulg)	Carga en el límite proporcional (kg)	Carga Máxima (kg)	Número de ensayo
2	1/4	4	244	327	3
3			171	298	6
4			182	306	7
6			163	233	8

Cuadro N° 6.19.- Valores de carga para variaciones de e_L/D con diámetro y longitud constante utilizando la madera Cachimbo – Cariniana Domesticata

e_L/D	Diámetro del tirafón (pulg)	Longitud del tirafón (pulg)	Carga en el límite proporcional (kg)	Carga Máxima (kg)	Número de ensayo
2	1/4	4	122	201	3
3			150	205	6
4			100	170	7
6			150	198	8

Gráfica N° 6.21.- Comparación de tendencias al variar la relación e_L/D utilizando las especies de madera Quinilla Colorada Manilkana Bidentada, Azúcar Huayo – Hymenaea Courbaril y Cachimbo – Cariniana Domesticata

GRÁFICA COMPARATIVA AL VARIAR e_L/D



i) Para la Gráfica N° 6.21, Variación de la Carga en el Límite Proporcional vs La Variación de la Relación e_L/D y manteniendo el diámetro = 1/4", se observa que el tipo Azúcar Huayo resiste mayor carga en el límite proporcional, seguido de la Cachimbo y Quinilla Colorada respectivamente.

Cuadro N° 6.20.- Valores de carga para variaciones de e_L/D con diámetro y longitud constante utilizando la madera Quinilla Colorada Manilkana Bidentada

e_L/D	Diámetro del tirafón (pulg)	Longitud del tirafón (pulg)	Carga en el límite proporcional (kg)	Carga Máxima (kg)	Número de ensayo
2,4	5/16	2	134	330	2
3,2			171	436	3

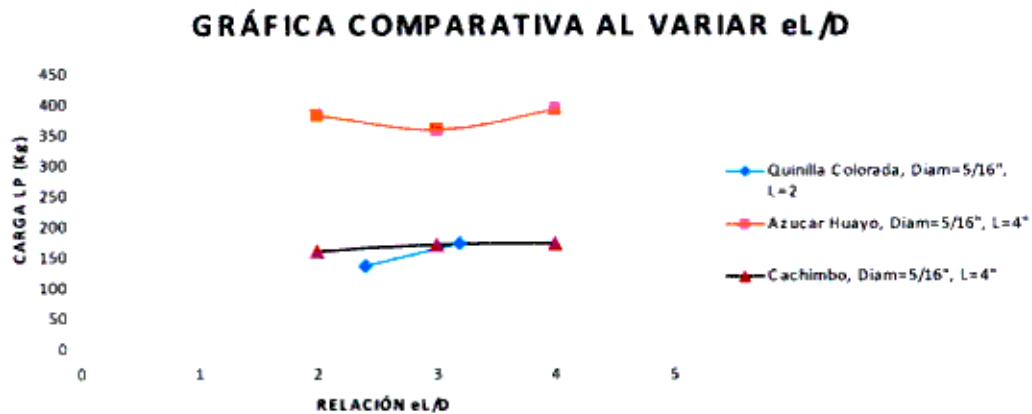
Cuadro N° 6.21.- Valores de carga para variaciones de e_L/D con diámetro y longitud constante utilizando la madera Azúcar Huayo – Hymenaea Courbaril

e_L/D	Diámetro del tirafón (pulg)	Longitud del tirafón (pulg)	Carga en el límite proporcional (kg)	Carga Máxima (kg)	Número de ensayo
2	5/16	4	381	528	9
3			356	544	10
4			392	520	11

Cuadro N° 6.22.-Valores de carga para variaciones de e_L/D con diámetro y longitud constante utilizando la madera Cachimbo – Cariniana Domesticata

e_L/D	Diámetro del tirafón (pulg)	Longitud del tirafón (pulg)	Carga en el límite proporcional (kg)	Carga Máxima (kg)	Número de ensayo
2	5/16	4	158	150	9
3			169	206	10
4			171	217	11

Gráfica N° 6.22.- Comparación de tendencias al variar la relación e_L/D utilizando las especies de madera Quinilla Colorada Manilkana Bidentada, Azúcar Huayo – Hymenaea Courbaril y Cachimbo – Cariniana Domesticata



j) Para la Gráfica N° 6.22, Variación de la Carga en el Límite Proporcional vs La Variación de la Relación e_L/D y manteniendo el diámetro = 5/16", se observa que el tipo Azúcar Huayo resiste mayor carga en el límite proporcional, seguido de la Cachimbo y Quinilla Colorada respectivamente, los valores del tipo Cachimbo están mas cerca a los del tipo Quinilla Colorada. El tipo Cachimbo muestra una tendencia suave a aumentar.

Cuadro N° 6.23.- Valores de carga para variaciones de e_L/D con diámetro y longitud constante utilizando la madera Quinilla Colorada Manilkana Bidentada

e_L/D	Diámetro del tirafón (pulg)	Longitud del tirafón (pulg)	Carga en el límite proporcional (kg)	Carga Máxima (kg)	Número de ensayo
2	3/8	2	140	358	2
2,67			183	411	3

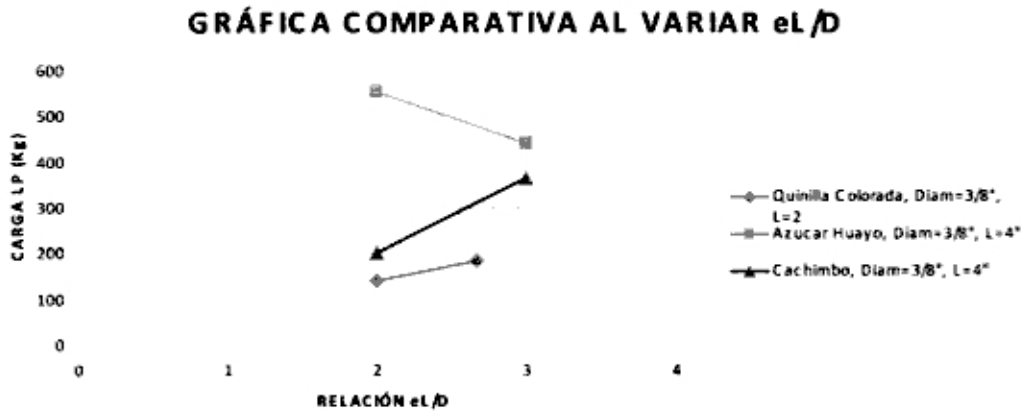
Cuadro N° 6.24.- Valores de carga para variaciones de e_L/D con diámetro y longitud constante utilizando la madera Azúcar Huayo – Hymenaea Courbaril

e_L/D	Diámetro del tirafón (pulg)	Longitud del tirafón (pulg)	Carga en el límite proporcional (kg)	Carga Máxima (kg)	Número de ensayo
2	5/8	4	553	713	12
3			440	601	13

Cuadro N° 6.25.- Valores de carga para variaciones de e_L/D con diámetro y longitud constante utilizando la madera Cachimbo – Cariniana Domesticata

e_L/D	Diámetro del tirafón (pulg)	Longitud del tirafón (pulg)	Carga en el límite proporcional (kg)	Carga Máxima (kg)	Número de ensayo
2	5/8	4	200	335	12
3			363	516	13

Gráfica N° 6.23.- Comparación de tendencias al variar la relación e_L/D utilizando las especies de madera Quinilla Colorada *Manilkana Bidentada*, Azúcar Huayo – *Hymenaea Courbaril* y Cachimbo – *Cariniana Domesticata*



k) Para la Gráfica N° 6.23, Variación de la Carga en el Límite Proporcional vs La Variación de la Relación e_L/D y manteniendo el diámetro = 3/8", se observa que el tipo Azúcar Huayo resiste mayor carga en el límite proporcional, seguido de la Cachimbo y Quinilla Colorada respectivamente, los valores del tipo Cachimbo van en aumento. El tipo Cachimbo muestra una tendencia creciente.

CONCLUSIONES

- 1.- En las gráficas de GRAFICO PROMEDIO (Carga – Deformación) se observa en la parte inicial una tendencia lineal y luego tendencia Exponencial, cumpliendo con la teoría de la ley de Hooke, de un material perfectamente elástico.
- 2.- La densidad teórica de la madera Cachimbo es $0,59 \text{ gr/cm}^3$ y la experimental es $0,57 \text{ gr/cm}^3$.
- 3.- Al aumentar el diámetro del tirafón, incrementa también el valor de la Carga en el límite proporcional.
- 4.- Al comparar la carga que resiste la Madera Cachimbo, se observa que es inferior a la carga que resiste la Madera Azúcar Huayo pero mayor que la Madera Quinilla Colorada, esto debido a la densidad que tiene cada especie de madera. A mayor densidad la madera tendrá mayor resistencia.
- 5.- La Carga máxima que se alcanzó experimentalmente en la presente tesis fue para el ensayo que utilizó el tirafón de diámetro 3/8", relación $e_L/D=3$ y longitud del tirafón 4", en la cual se obtuvo una carga promedio de 363 kg en el límite proporcional.
- 6.- Los valores de deformación tomados como promedio de cada ensayo, fueron los que se encontraban dentro del rango, después de aplicarse la desviación estándar.
- 7.- Los tirafones utilizados en la presente tesis son de la marca CORONA

RECOMENDACIONES

- 1.- Se recomienda para tener mejores registros, que los ensayos sean realizados cuando la madera llegue a estabilizar el Contenido de Humedad.
- 2.- Se recomienda realizar el ensayo de densidad de la madera para compararla con la densidad teórica de la madera que se estudie.
- 3.- Se recomienda al colocar los tirafones, hacerlo cuidadosamente ya que si lo estos son colocados con rapidez, pueden fallar, es aconsejable hacerlo por partes, es decir, primero colocar las dos terceras partes aproximadamente y luego la parte faltante.
- 4.- Se recomienda realizar ensayos, en los cuales se puedan graficar 4 puntos o más, para poder tener un mejor control y tendencia de los valores resultantes de los ensayos al momento de de compararlos con las diferentes especies.
- 5.- Se recomienda al realizar el ensayo de Cizallamiento simple, la carga aplicada debería de tener una velocidad constante.
- 6.- Aplicar la Desviación Estándar a las deformaciones obtenidas en los ensayos de Cizallamiento para obtener un promedio más real de la deformación de cada grupo de ensayo.
- 7.- Se recomienda mencionar la marca o fabricante de los tirafones utilizados, para tener en cuenta al momento de aplicar los valores en diferentes proyectos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Allende Gardella, Jorge J.; Dupuy Montori, J.L. "Propiedades físico – mecánicas, resistencias a las cargas laterales en uniones clavadas de Capirona – Capirona Negra". 1971. Biblioteca UNI – FIC Alberto Regal.
2. Arostegui V. Antonio. Recopilación y Análisis de estudios Tecnológicos de maderas peruanas. Documentos de Trabajo N.2. Abril 1982. Biblioteca de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina.
3. Arrue Gardella, Hugo. "Uniones Empernadas de Madera Tornillo *Cedrelinga Catanaeformis Ducke*". 1969. Biblioteca UNI – FIC Alberto Regal.
4. Campos Mattos, Gil Enrique Alfredo; Cano Delgado, José Carlos. "Uniones estructurales de madera *Humiriastrum excelsum*". 1986. Biblioteca UNI – FIC Alberto Regal.
5. Canales Montes, Juan Abdón. "Resistencia lateral en Uniones Clavadas de la Especie Forestal Cumala Blanca (*Virola Sp*) y Copaiba (*Copaifera o Officinalis*)". 1976. Biblioteca UNI – FIC Alberto Regal.
6. Cruz Cabrera, Juan Alberto. García Teves, Roberto Jaime. "Propiedades físico mecánicas – resistencia a la extracción de clavos y las cargas laterales en uniones clavadas del Renaco Colorado. Biblioteca UNI – FIC Alberto Regal
7. Figueroa Méndez, Luis R.; Porras Agurto, Mario E., "Investigación de las propiedades físico – mecánicas y uniones clavadas en la madera *Lecythis Peruviam Muchmango Blanco*. 1970. Biblioteca UNI – FIC Alberto Regal.
8. Iglesias Granda, Walter Félix. "Experiencia con vigas de madera Tornillo con y sin uniones clavadas", 1973. Biblioteca UNI – FIC Alberto Regal.
9. Junta del Acuerdo de Cartagena. "Manual de Diseño para maderas del Grupo Andino". 1984. Cuarta Edición. Lima

10. La Rosa Mutante, Manuel R. "Uniones Estructurales con Tirafones en Madera Tornillo (*Cedrelinga Catanaeformis Ducke*)". 1984. Biblioteca de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina.
11. McLain, Thomas E. Soltis, Lawrence A. Pollock, David G. "LRFD for Engineered Wood Structures Connection Behavioral Equations".
12. Miyashiro Miyagui, Augusto; Dueñas Rospigliosi, Omar. "Investigación de las propiedades físico - mecánicas y uniones clavadas de la madera *Symphonia Globurifera* al estado húmedo y seco". 1970. Biblioteca UNI - FIC Alberto Regal.
13. Paredes Palomino, Claudia Elizabeth. Uniones estructurales con tirafones en madera Quinilla Colorada - *Manilkara bidentada*. Tesis de grado. Biblioteca UNI - FIC Alberto Regal.
14. Parodi Olivera, Oscar Gerardo. "Uniones Viga - Columna en Madera Rolliza de Eucalipto para la edificación de viviendas económicas" 1990. Biblioteca UNI - FIC Alberto Regal.
15. Pérez Chapoñan, Alvaro Ernesto. Uso de tirafones en uniones estructurales con la especie de madera tropical Azúcar Huayo - *Hymenaea Courbaril*. Tesis de grado. Biblioteca UNI - FIC Alberto Regal.
16. Solari Ruiz, Carlos César; Velásquez León, Alejandro Alfonso. "Estudio del Comportamiento Físico - Mecánico y de Uniones Empernadas de la Madera *Aspidosperma Apocynaceae* (Quillobordon)" 1971. Biblioteca UNI - FIC Alberto Regal.
17. "Standard Test Methods for Mechanical Fasteners in Wood". 1761-1995. Norma técnica.
18. Toledo, Enrique; Rincón, Carlos. Utilización industrial de nuevas especies forestales en el Perú. Organización Internacional de las maderas tropicales (OIMT). INRENA. 1999. Segunda edición. Biblioteca de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

19. Trayer, G. "Uniones Empernadas hechas con Pino Oregon, Pino Amarillo Serrano, Abeto Sitka, Roble y Arce". 1980.
20. Uniones en la Madera Estructural Clavos y Tirafondos. Corporación de fomento de la producción. Santiago de Chile. Diciembre 1989. Informe técnico N 120. Biblioteca de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina.