

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



**“Uso de tirafones en uniones estructurales
con la especie de madera tropical Azúcar
Huayo - *Hymenaea Courbaril*”**

TESIS

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

ALVARO ERNESTO PEREZ CHAPOÑAN

Lima – Perú

2007

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, también mi agradecimiento a la Ing. Isabel MOROMI NAKATA asesora de la presente tesis, al especialista Dr. Javier PIQUÉ DEL POZO y al Dr. Hugo SCALETTI FARINA por su valiosa colaboración y aportes de tipo científico y académico que permitieron centrar y orientar adecuadamente la elaboración de esta tesis, asimismo a las autoridades de la Facultad de Ingeniería Civil, y no sería dable dejar de mencionar al Dr. Javier ARRIETA FREYRE Director de la Escuela de Ingeniería Civil y Presidente de la Comisión de Titulación Profesional por su permanente disposición de apoyo. Finalmente a todos los profesores y a cada uno de los que de una manera u otra colaboraron con el autor para que este trabajo de investigación se pudiera concluir y plasmar en la presente tesis. Ciertamente, ninguna de las personas antes aludidas son responsables de cualquier error o deficiencia que pudiera existir.

DEDICATORIA

A mis queridos padres y hermana:

Blanca María Chapoñan Valderrama,

Walter Antonio Pérez Sáez y

Vania Ofelia Pérez Chapoñan por su gran apoyo, aliento incondicional y por sus consejos y enseñanzas.

La educación es el único camino para alcanzar la verdadera libertad y fortalecer el rol protagónico de ser capaces de forjar nuestro propio destino.

PRESENTACIÓN

El Perú ocupa el séptimo lugar en el mundo y el segundo en Sudamérica, después de Brasil, con una extensión boscosa tropical húmeda de 67 millones de hectáreas (52.8% del territorio nacional). Más de la mitad del territorio nacional está constituido por una variada gama de especies forestales conocidas aprovechadas por la industria maderera con una transformación primaria; sin embargo, esta actividad no aporta las utilidades en generación de divisas y empleo que su gran potencial le posibilita.

El nombre común de la madera usada para este estudio es Azúcar Huayo y el nombre científico *Hymenaea Courbaril*. En México la conocen como Cuapinole, que es un árbol nativo tropical originario de México y Antillas, se extiende desde el centro de México hasta la Guayana Francesa, Brasil, Bolivia y Colombia. En el Perú se encuentra principalmente en los departamentos de Loreto, San Martín y Ucayali, en las zonas ecológicas de bosque húmedo tropical (bh-t) bosque húmedo sub-tropical (bmh-st) y bosque seco tropical (bs-t), prefiriendo los terrenos pantanosos en bosques primarios.

Morfológicamente es un árbol frondoso, grande y robusto, subcaducifolio de 10 a 25 metros de altura (puede llegar a 40 metros), altura comercial de 31 metros y diámetro a la altura del pecho (DAP) de 1.50 cm., de madera sólida o dura y de larga vida, moderadamente difícil para trabajar pero de hermoso pulimento comparable a la caoba.

La identificación de la madera se hace al momento de su extracción o en el proceso de aserrío en los depósitos de madera o en la obra, comparándose con las determinadas en la publicación "Descripción General y Anatómica de las Especies del Grupo Andino" editada por el PADT-REFORT de la Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC).

En la década de 1980 la JUNAC (Junta del Acuerdo de Cartagena) integrada por cinco países miembros de la región sub andina, realizó estudios para la utilización de la madera tropical en la construcción. Se estudiaron veinte (20) especies peruanas de las cuales 9 fueron clasificadas e incorporadas a la norma de agrupamiento de madera para uso estructural del RNC.

La participación del sector forestal en la economía nacional llega limitadamente al 1.5% y hasta el 3.7% si se consideran las transacciones del mercado informal. Paradójicamente las importaciones tanto de productos planos como las de mayor valor agregado han crecido significativamente y vienen desplazando a la oferta nacional.

El aprovechamiento sostenible de los bosques garantiza una reposición eficiente y continua de los recursos forestales maderables para el desarrollo de la industria de la madera. Por ello la concesión forestal es un plazo, un pago, un manejo, una cosecha y una reposición de lo usado y a futuro un contexto de alta rentabilidad.

El Plan Forestal en la Sub Región Andina determinó que actualmente se comercializan especies forestales maderables que pueden ser utilizadas en la construcción de viviendas y otras edificaciones, pero que es necesario investigar sobre sus características maderables, clasificación taxonómica, estableciéndose el punto de partida para su producción, propagación y manejo racional.

Evidentemente el potencial forestal maderable del país, constituye una ventaja comparativa, que debe aprovecharse promocionando las bondades de sus diferentes especies, en este caso su utilización en la industria de la construcción, que ha sido uno de los aspectos considerados para la realización de este estudio.

INTRODUCCION

Considerando que el Perú tiene un potencial de recursos forestales naturales maderables muy grande cuya participación en la economía nacional llega limitadamente al 1.5% y hasta el 3.7% y por otra parte que los estudios técnicos e investigaciones relacionadas con uniones estructurales con tirafones (pijas o tirafondos) son escasos, se optó por desarrollar el presente estudio: "Uso de Tirafones en Uniones Estructurales con la Especie de Madera Tropical Azúcar Huayo - *Hymenaea Courbaril*".

Para la investigación se utilizaron listones de madera, que corresponden a la especie forestal denominada Azúcar Huayo - *Hymenaea Courbaril*, que fue utilizada por el tesista Bachiller Raúl ESTACIO JIMENEZ de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería en la Tesis: "Clasificación Estructural de la Especie Forestal Azúcar Huayo - *Hymenaea Courbaril* y Diseño de un Techado de una Fábrica con Tijerales de Madera", Tesis aun no sustentada, siendo una de sus conclusiones que la madera Azúcar Huayo es apta para la construcción.

La presente investigación tuvo como objetivo encontrar, mediante ensayos experimentales de laboratorio, el comportamiento de los tirafones (pijas o tirafondos) en uniones estructurales de madera utilizando la especie tropical Azúcar Huayo *Hymenaea Courbaril* de nuestra amazonía, analizando la influencia de las variables longitud, diámetro y relación entre el espesor de la pieza lateral y el diámetro (e_L/D) en la resistencia, y evaluando las tendencias en su comportamiento.

Dados los alcances de esta investigación, es de esperar que futuras investigaciones la amplíen y complementen de acuerdo a las reglas de clasificación y limiten 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. Cada especie y cada clase tienen valores de diseño asignados. Asimismo, hacer más ensayos para obtener más variables y visualizar tendencias con mayor precisión, utilizando diversas

maderas procedentes de nuestra amazonía, para seguir incorporándolas al mercado del sector construcción.

RESUMEN

Esta investigación estudia el comportamiento de tirafones, pijas y tirafondos en uniones estructurales con la especie de madera tropical Azúcar Huayo – *Hymenaea Courbaril*. Los capítulos y contenidos se presentan de la siguiente forma.

El capítulo I trata lo relacionado al uso de madera en el mundo y en el Perú, estructura de la madera, planos de madera, tipos de madera, aserrado, madera para construcción, propiedades físicas y mecánicas de la madera Azúcar Huayo.

El capítulo II, esta referido a las definiciones y características de los tirafones y tratamientos contra la corrosión.

El capítulo III, define de forma breve y concisa los tipos de uniones estructurales mas frecuentes, tales como las clavadas, empernadas y con tirafones.

El capítulo IV, refiere en su totalidad a la parte experimental. Los ensayos realizados fueron el de extracción lateral en cizallamiento simple, ensayo de densidad, ensayo de contenido de humedad.

El capítulo V hace el análisis de resultados, discusión y costo beneficio.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el trabajo de investigación como también anexos y la bibliografía usada.

INDICE

	Pág.
PRESENTACIÓN	1
INTRODUCCION	3
RESUMEN	5
INDICE	6-7

CAPITULO I

MADERA

1.1 Generalidades	8
1.1.1 Uso de madera en el mundo y en el Perú	9
1.1.2 Estructura de la madera	10
1.1.3 Planos de madera	13
1.1.4 Tipos de madera	15
1.1.5 Aserrado	16
1.1.6 Madera para la construcción	18
1.2 Propiedades físicas y mecánicas	19
1.2.1 Propiedades físicas	20
1.2.2 Propiedades mecánicas de la madera	24

CAPITULO II

TIRAFONES

2.1 Definiciones	28
2.2 Características de los tirafones, pijas o tirafondos	29
2.3 Tratamientos contra la corrosión	31

CAPITULO III

UNIONES ESTRUCTURALES

3.1 Uniones clavadas	33
3.2 Uniones empernadas	34
3.3 Uniones con tirafones, pijas o tirafondos	35
3.3.1 Factores que afectan el Comportamiento de las Uniones Estructurales con Tirafones, pijas o tirafondos	36

CAPITULO IV

PARTE EXPERIMENTAL Y CÁLCULOS ESTADÍSTICO

4.1 Ensayo de extracción lateral en cizallamiento simple	43
4.1.1 Ensayos a realizar	45
4.2 Ensayo de densidad	57
4.3 Ensayo de contenido de humedad	64

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Resultados	66
5.2 Discusión	89
5.3 Análisis costo – beneficio	97

CONCLUSIONES	99, 100
---------------------	---------

RECOMENDACIONES	101, 102
------------------------	----------

BIBLIOGRAFIA	103, 104
---------------------	----------

ANEXOS	105, 122
---------------	----------

CAPITULO I

MADERA

1.1 Generalidades

La práctica limitada en el diseño y construcción con madera en nuestro medio esta basada en la información proveniente de países consumidores de maderas coníferas, que por su distinta constitución anatómica a la de la madera latifoliada (tropical), presenta propiedades y comportamientos diferentes.

Las maderas tropicales, 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.

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

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

Con respecto a ciertas características generales podemos afirmar que existe una buena correlación entre la densidad básica y las propiedades mecánicas de la madera a nivel de probetas pequeñas libres de defectos pero ésta no tiene las mismas características para vigas a escala natural.

La densidad se usa como un indicador del posible grupo al que pertenece la especie, pero la única forma de asegurarse es la realización de ensayos a escala natural. Para garantizar la representatividad de la muestra, la madera debe ser colectada de acuerdo a las normas reconocidas. Los resultados deben ser comparados con los grupos estructurales para incluir la especie en cuestión en el grupo que le corresponda.

Al especificar una determinada especie en el diseño, o las pertenecientes a un grupo estructural, el problema de garantizar que se este usando la especie correcta se transfiere al constructor y al supervisor. Evidentemente las características supuestas en el diseño para una especie no tienen validez por otra especie que no pertenece a los grupos determinados, por lo que un error de identificación es un riesgo para la construcción y el propietario.

La identificación de los árboles de determinada especie es llevada a cabo por los productores en el momento de su extracción del bosque. Sin embargo, la identificación de la madera debe llevarse a cabo luego del proceso de aserrado en los depósitos de madera o en la obra. Para ello es posible usar las características macroscópicas; o sea visibles a simple vista o con lupa de diez (10) aumentos. Estas pueden compararse con las consignadas en la publicación "Descripción General y Anatómica de las especies del Grupo Andino" editada también por el PADT - REFORT de la Junta del Acuerdo de Cartagena. A este nivel de observación existen ciertas limitaciones en la identificación, por lo que puede ser necesario, en algunos casos, análisis microscópicos de muestras de la madera por identificar.

1.1.1 Uso de madera en el mundo y en el Perú

Desde tiempos inmemoriales el hombre ha recurrido a la madera para usos de tipo doméstico, entre los cuales el más antiguo es el de utilizarla como combustible. En la actualidad se consumen cerca de 3.500.000.000 de metros cúbicos de madera en el

mundo; de ellos, aproximadamente el 53% es destinada a calefacción y cocción de alimentos. El 47% restante se destina a la construcción de viviendas, usos industriales, mobiliario, utensilios de diverso tipo y a la fabricación de papeles, cartulinas y cartones. Hoy en día existen más de 10.000 productos de uso cotidiano que provienen de la madera.

La madera de construcción tuvo mucha importancia desde principios de siglo, cuando fue usada para la producción de energía en las embarcaciones y en la construcción civil y naval. La extracción de madera de construcción, comenzó a gran escala, en la década de los veinte.

La madera es usada en todo el mundo para construcción de viviendas y en el Perú se está tratando de utilizar los recursos maderables propios.

1.1.2 Estructura de la madera

a) **El tronco.**- En 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, esta formada 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, esta constituido por el tejido floemático vivo, llamado también liber.

Cambium.- Que es el tejido que se encuentra entre la corteza interior y la madera. Las células del Cambium tienen la

capacidad de dividirse y conservar esa facultad hasta cuando el árbol muere. El Cambium forma células de madera hacia el interior y floema o liber hacia el exterior.

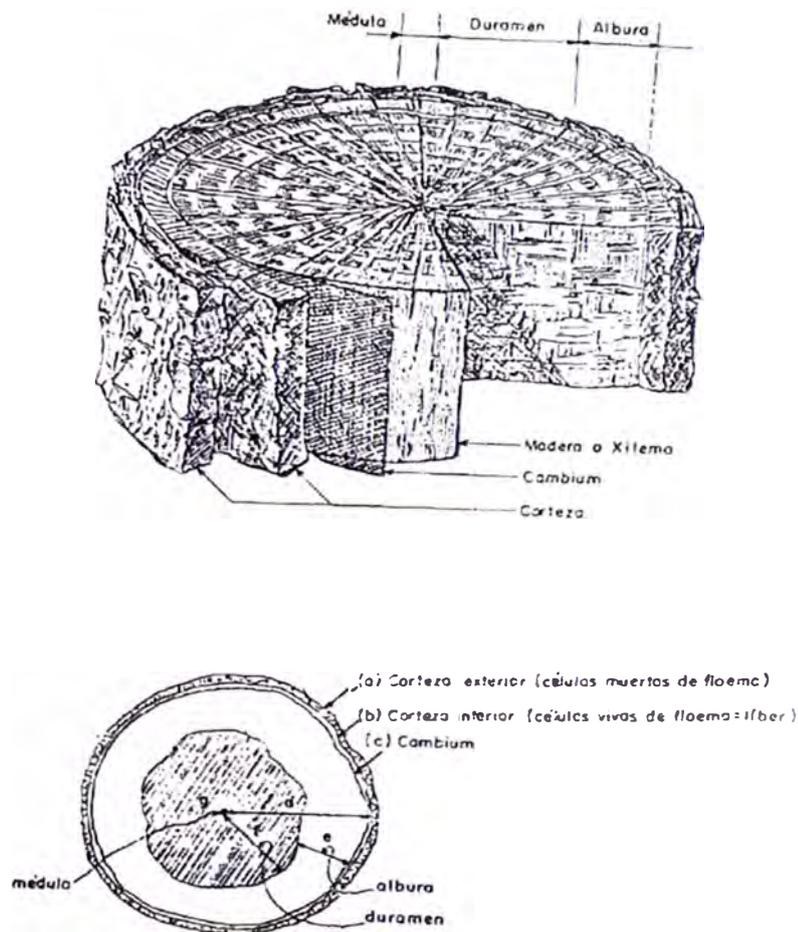
La madera o Xilema.- Es la parte maderable o leñosa del tronco, se puede distinguir en ella la albura, el duramen y la medula.

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 y se infiltra de sustancias orgánicas distintas, tales como aceites, resinas, gomas, taninos, 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, esto último distingue particularmente al duramen de la albura.

Médula.- Es la parte central de la sección del tronco y esta constituida por tejido parenquimático.

Figura N° 1. Estructura de la madera (Ref. 3)



b) Estructura Anatómica.- La parte maderable del árbol tiene tres funciones básicas que son las siguientes: Conducción de 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 prosénquimáticos 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 del almacenamiento y distribución de las sustancias de reserva.

En el tronco existen dos grandes sistemas de elementos xilemáticos. El sistema longitudinal, formado por elementos prosénquimáticos (elementos vasculares, fibras traqueadas) 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: macroscópicos (a simple vista), microscópicos (tipos y características de células que forman estos tejidos) y sub microscópicos (la estructura de la fibra o célula leñosa).

1.1.3 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 sobrentiende 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.

Figura N° 2 Estructura Anatómica de la madera latifoliada (tropical).
(Ref. 3)

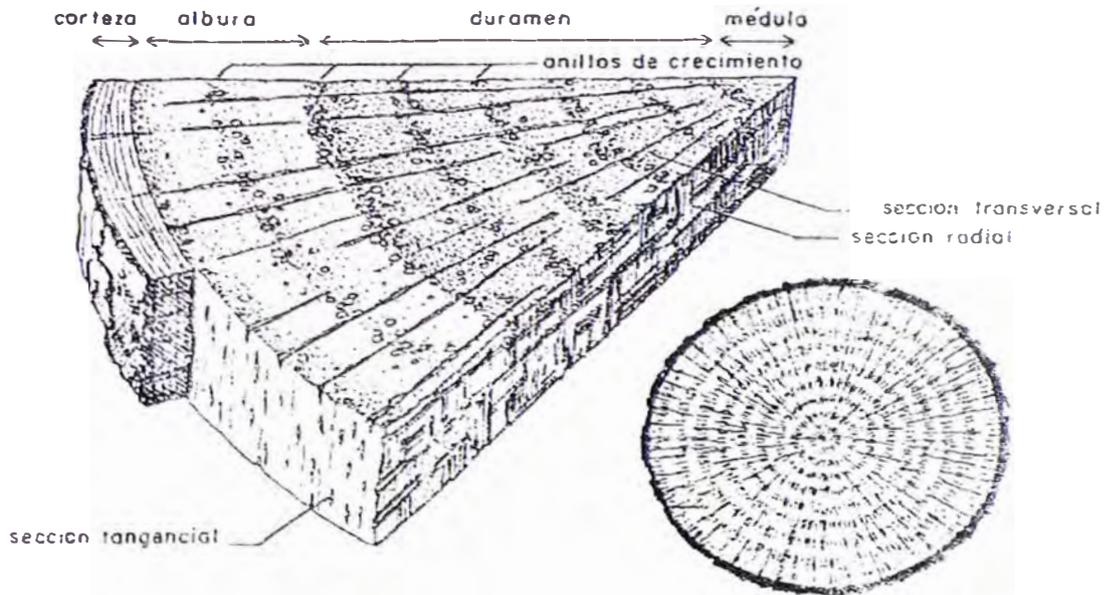
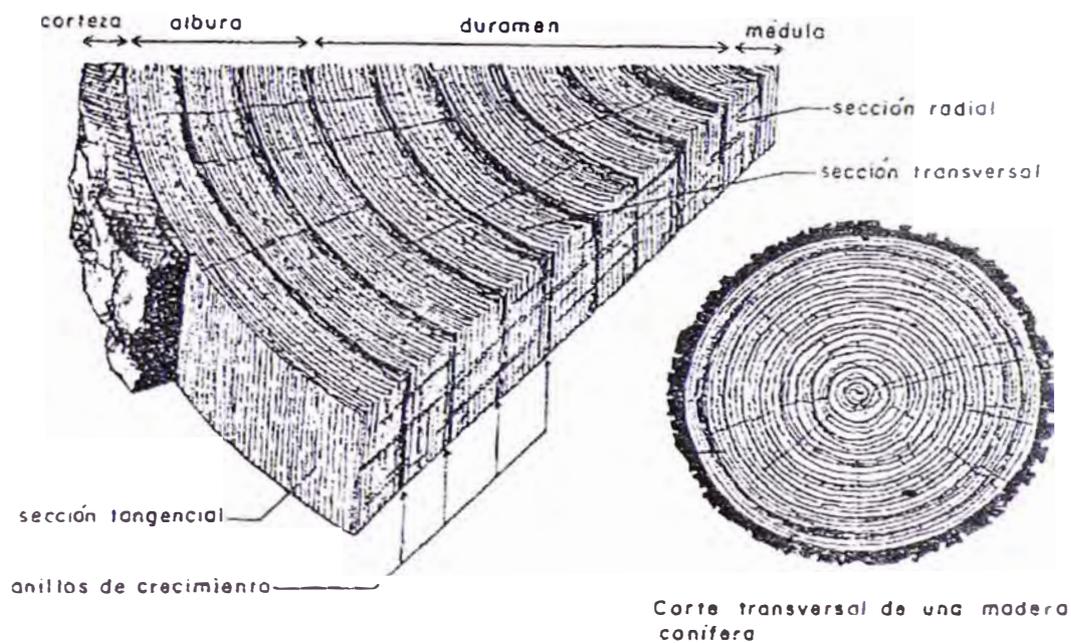


Figura N° 3 Estructura Anatómica de la madera conifera.
(Ref. 3)



Así mismo, la madera químicamente esta constituida por los siguientes elementos en una proporción promedio según La Junta del Acuerdo de Cartagena: Carbono (C) 49%, Hidrogeno (H) 6%; Oxigeno (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 Liginina (20%-40%).

1.1.4 Tipos de Maderas

a) Maderas Latifoliadas. – Como se puede observar en la figura N° 2 (Pág. 14), la madera tiene una estructura anatómica heterogénea, 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 tanto mayor resistencia mecánica. Así mismo 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.

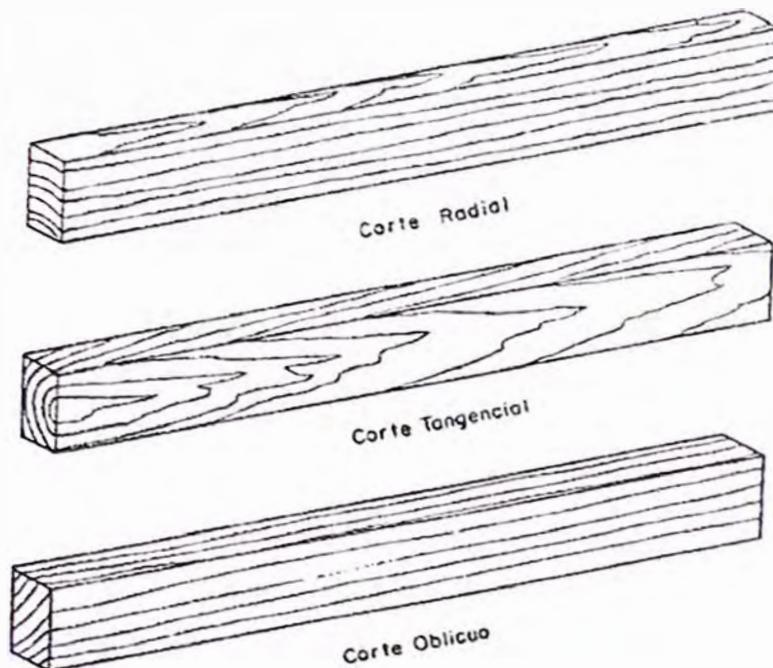
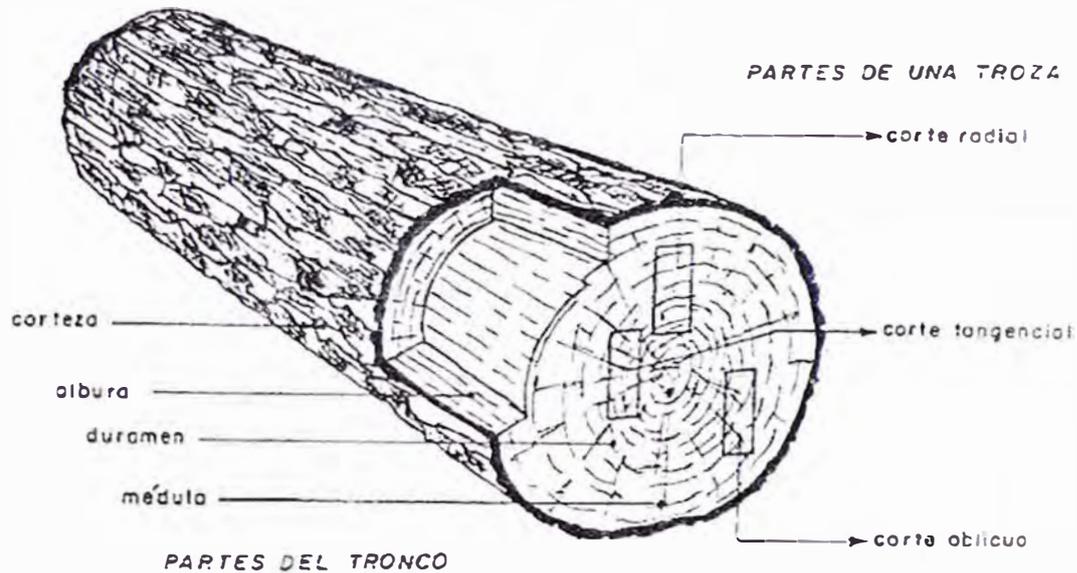
b) Maderas Coníferas.– La figura N° 3 (Pág. 14) muestra que la madera tiene una estructura anatómica homogénea y esta constituida por elementos leñosos llamados traqueidas; estas forman del 80% al 90% del volumen total de la madera y tienen la función de resistencia y conducción. Asimismo, presenta células de parénquima en menor proporción.

1.1.5 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 tres 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 Figura N° 4 (Pág. 17), y siguiendo una dirección arbitraria obteniéndose en general madera de "corte oblicuo".

Figura N° 4. Denominación de los tipos de corte según su orientación en el tronco. (Ref 3)



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 cilindrico, 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.

1.1.6 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 esta 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.

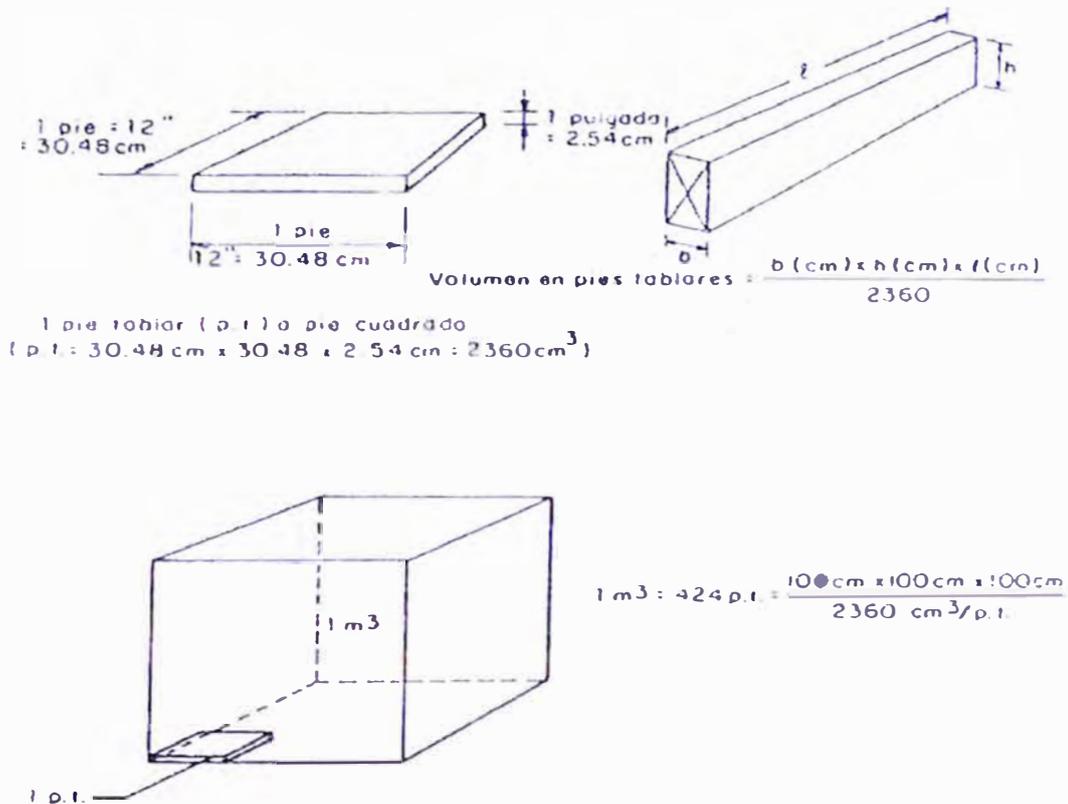
Además, las densidades básicas de las maderas del grupo A están por lo general en el rango de 0.71 a 0.90, las del grupo B entre 0.56 y 0.70, y las del grupo C entre 0.40 y 0.55.

Cuadro N° 1. Clasificación de las Maderas en Función a sus Densidades Básicas. (Ref. 3)

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° 5. Formas de cubicar la madera. (Ref. 3)



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.

1.2 Propiedades Físicas y Mecánicas

Entre las propiedades físicas y mecánicas más importantes de las maderas, mencionaremos las siguientes:

1.2.1 Propiedades físicas

- 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 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.

Es sabido que cuando se expone la madera al medio ambiente, empieza a perder agua, iniciándose el proceso de secado. En este proceso, 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 a la cantidad de agua que contenga la madera pueden presentarse tres estados: verde, seco y anhidro. Se le llama verde cuando la madera ha perdido parte del agua libre; seca, cuando ha perdido la totalidad del agua libre y parte del agua higroscópica. Y madera anhidra cuando ha perdido toda el agua libre y toda el agua higroscópica.

El contenido de humedad (CH) según La Junta del Acuerdo de Cartagena, es el porcentaje en peso, que tiene el agua libre mas el agua higroscópica con respecto al peso de la madera anhidra. Para una muestra de madera el CH será:

$$CH \% = \{ [\text{peso húmedo} - \text{peso anhidro}] / \text{peso anhidro} \} \times 100$$

El peso anhidro es conseguido mediante el uso de un horno a 103 ± 2 grados centígrados; también se le llama peso seco al horno.

Debemos resaltar que existen dos valores de contenido de humedad que son: el 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 producen cambios dimensionales en la madera, estos cambios se deben principalmente a la pérdida o ganancia del agua higroscópica en la paredes 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.

- 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 mas el peso del agua. El volumen de la madera es constante cuando esta 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 seco al horno (VSH).

La densidad básica (DB), 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 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 es 1.56 gr/cm³ 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 térmicas.- 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 y por grado centígrado. La conductividad térmica de la madera es

directamente proporcional al contenido de humedad y a la densidad. La conductividad de la madera es una fracción de otros materiales, por lo tanto la madera es un 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.

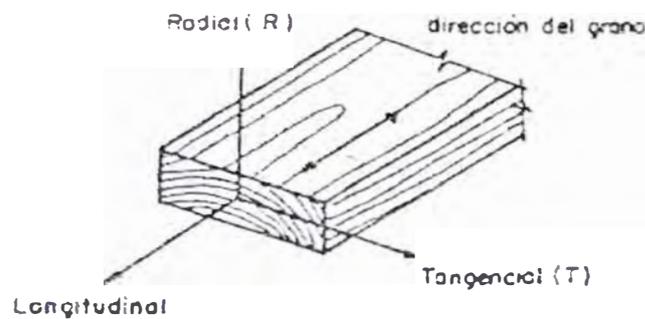
La conductividad de la madera varía según las tres direcciones anatómicas de la madera. Esta característica se utiliza para medir el contenido de humedad de la madera usando

detectores eléctricos que relacionan esta propiedad con el contenido de agua en la pieza.

1.2.2 Propiedades Mecánicas de la madera.

Como ya se comentó, en la madera se puede reconocer tres direcciones principales que pueden considerarse ortogonales entre si, estas son la; longitudinal, tangencial y radial. En la figura N° 6 se puede apreciar lo mencionado.

Figura N° 6. Direcciones ortogonales de la madera.
(Ref. 3)



Se puede observar que las direcciones radial y tangencial son perpendiculares a la fibra. En la practica se consideran dos direcciones: la longitudinal o paralela a la fibra y la transversal o perpendicular a la fibra.

Entre las principales propiedades mecánicas mencionaremos las siguientes:

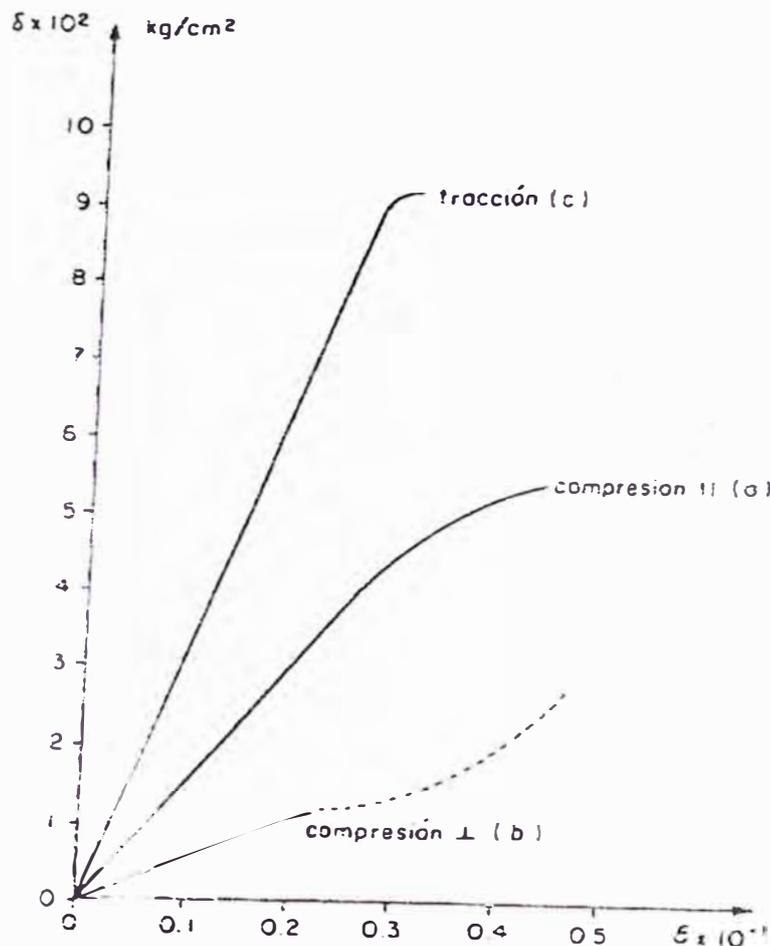
- a) **Resistencia a la compresión paralela.-** La madera presenta gran resistencia a los esfuerzos de compresión paralela a las fibras. Esta capacidad esta limitada por el pandeo de las fibras más que por su propia resistencia al aplastamiento. La resistencia a la compresión paralela a las fibras en 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 900 kg/cm² para maderas tropicales. Esta variación es función de la densidad.

b) Resistencia a la compresión perpendicular.- Bajo este tipo de cargas 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 la madera 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.

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 figura N° 7 (Pág. 26) se puede ver el comportamiento lineal y elástico de la curva esfuerzo-deformación. La falla se ve de naturaleza explosiva y violenta. Esta resistencia a 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.

**Figura N° 7. Curva esfuerzo-deformación para maderas Latifoliadas.
(Ref. 3)**



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 sus 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 tres o cuatro 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 la resistencia a la compresión es menor que a la tracción, la madera falla primero en la zona de compresión. Con ello se incrementan las deformaciones en la zona comprimida, el eje neutro se desplaza hacia la zona de tracción, lo que a su vez hace aumentar rápidamente las deformaciones totales; finalmente la pieza se rompe por tracción. En vigas secas, sin embargo, no se presenta primeramente una falla visible de la zona comprimida sino que ocurre directamente la falla por tracción.
- f) Módulo de elasticidad (MOE).-** Este modulo puede ser obtenido directamente de una curva esfuerzo – deformación. Puede ser hallado 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 modulo de corte relaciona las deformaciones o distorsiones con los esfuerzos de corte o cizallamiento que les dan origen. Existen diferentes valores para este modulo 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 deformación longitudinal. Para el caso de la madera existen en general seis módulos de poisson ya que se relacionan las deformaciones en las direcciones longitudinal, radial y tangencial.

CAPITULO II

TIRAFONES

2.1 Definiciones

Tirafones, Pijas o Tirafondos

Los tirafones denominados también tirafondos o pijas son elementos usados para unir piezas estructurales.

Fotografía N° 2. Tirafones.



Los tirafones son fabricados con una variedad de diámetros similares a la de pernos y la diferencia principal con estos, es que en los tirafones la rosca termina en punta como la de un tornillo o clavo. Los tirafones están diseñados para penetrar en un agujero guía y anclarse en la pieza principal de una unión. Estos conectores se usan en las uniones en las que la pieza principal es gruesa en demasía y el uso de un perno no sería económico, debido a que este resultaría de una longitud excesiva. También se pueden emplear los tirafones en aquellas uniones en las que la cara de una de las piezas no es accesible para la instalación de rondanas y tuercas. Cabe resaltar que la rosca de un tirafón aumenta

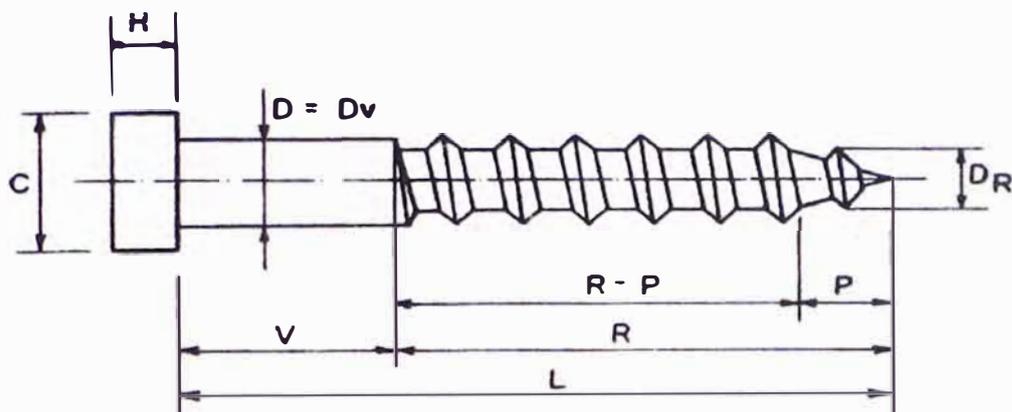
considerablemente su resistencia a cargas de extracción, la cual según un estudio realizado en conexiones con clavos, pernos y tirafones por el Instituto Nacional de Investigación sobre Recursos Bióticos, encontrado en la Universidad Nacional Agraria La Molina, es de 2.5 a 3.5 veces la de un clavo liso con el mismo diámetro.

2.2 Características de los Tirafones, Pijas o Tirafondos

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 en 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 Figura N° 8 (Pág. 30) 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.

Figura N° 8. 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

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 un diámetro igual al diámetro nominal del tirafón.

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

2.3 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 está avocada al comportamiento de estas en forma mecánica.

Según información encontrada en procesos de fabricación en empresas que se dedican a este rubro, dentro del 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. Cuánto 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 este en una pieza de madera humedad 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).

CAPITULO III

UNIONES ESTRUCTURALES

3.1 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 reasaltar 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 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 utiliza 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 de 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, de sección transversal circular y caña lisa. Para clavos con otro tipo de acabado, o clavos de alta resistencia, estos criterios son en general conservadores.

3.2 Uniones Empernadas

Según (Ref. 1) hasta esa fecha en el Perú no se habían hecho estudios en uniones empernadas en madera. Sin embargo en América Latina se sabía que (Ref. 9), se había desarrollado una investigación al respecto.

Así también, según (Ref. 10) se encontró la resistencia a cargas sometidas de forma paralela y perpendicular a la fibra con madera de Pino Oregon, Pino Amarillo Serrano, Abeto Sitlca, 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 estructural 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 una 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 (Ref. 1, 3 y 7), se pudo 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. Para una misma 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 por perno es mayor.

Las uniones paralelas resistieron cuatro veces más que las perpendiculares. Para pernos de $\frac{3}{4}$ ", $\frac{7}{8}$ " 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 mas uniformes posibles, es decir, o todos secos por debajo del 20%, o todos húmedos por encima del 30%.

3.3 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. Por otro lado, una de las recomendaciones del estudio en mención fue, realizar ensayos mas detallados de cada variable en relación a cada tipo de ensayo, es por esto que se escogió para esta tesis el análisis del ensayo de cizallamiento simple para uniones cargadas de forma paralela a la fibra.

3.3.1 Factores que afectan el comportamiento de las uniones estructurales con tirafones, pijas o tirafondos

Como en todos los tipos de uniones ya mencionadas, 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.

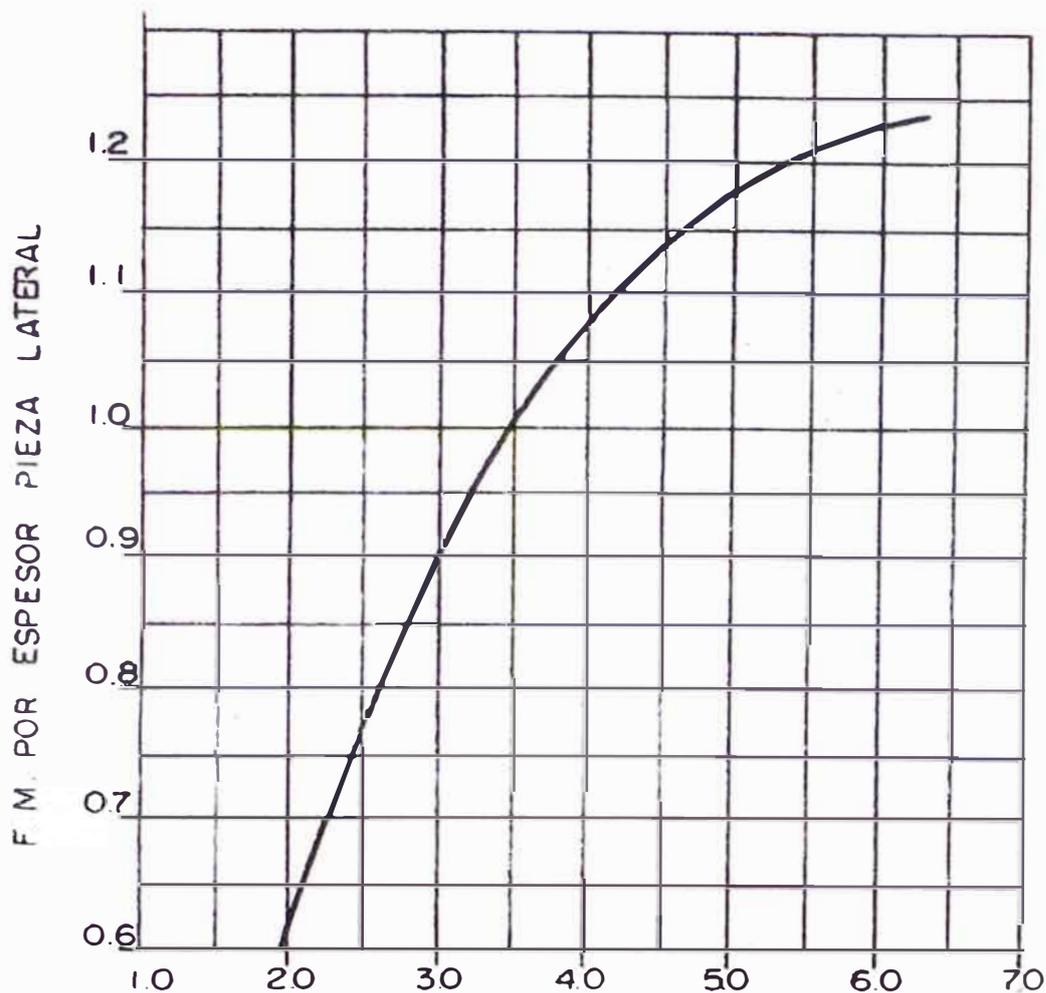
- a) **La madera.-** Aún cuando las diferentes propiedades mecánicas de la madera reflejan el comportamiento de una unión con tirafones, al quedar dicha unión sometida a la extracción lateral, se ha demostrado que la densidad de la madera es el mejor criterio para determinar su resistencia debido a la 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 (Ref. 10), que la carga en el límite proporcional varía correlacionadamente con el cuadrado del diámetro del tirafón. Por tal motivo el diámetro es uno de 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 se 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 de e_L/D es el señalado en la Figura N° 9 (Pág. 38), en la cual, en el eje de las ordenadas se lleva el factor de modificación por espesor de la pieza lateral (K_{te}) que toma el valor $K_{te} = 1$ 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.

Figura N° 9. Influencia del espesor de la pieza lateral sobre la resistencia de una unión con tirafón (Ref. 11).



- 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:

$$e_L/D > 5 \quad \text{donde:}$$

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:

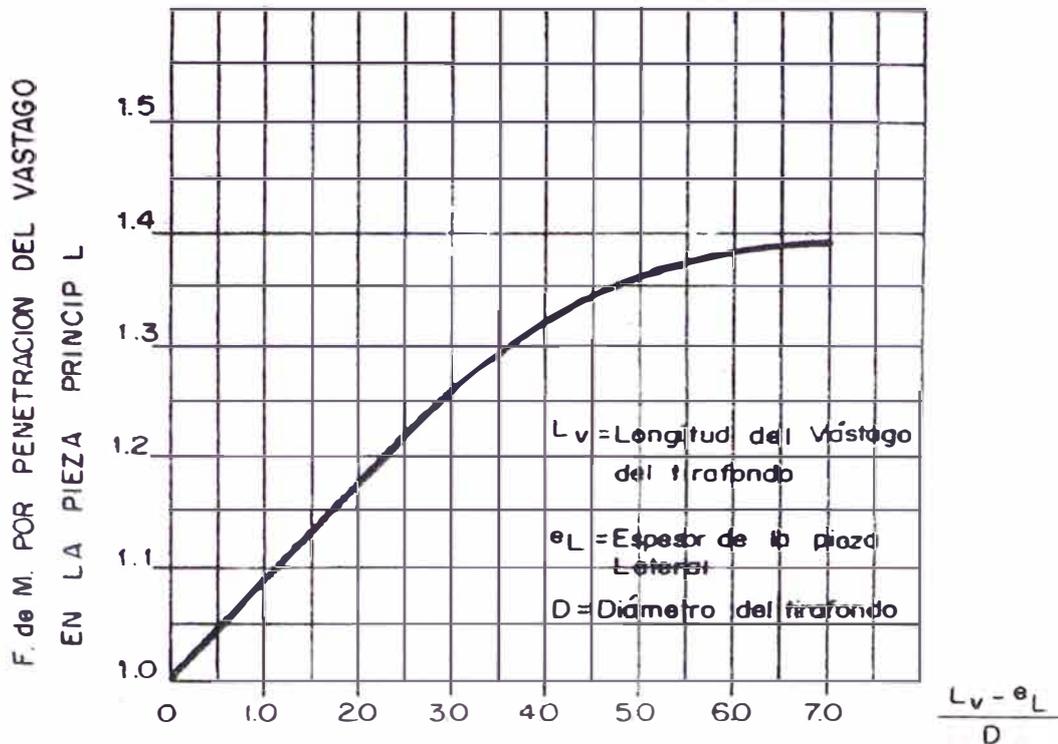
7D para maderas con densidades anhidras $\rho_0 > 450 \text{ kg/m}^3$

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 Figura N° 10 (Pág. 40).

Figura N° 10. Influencia de la penetración del vástago del tirafón en la pieza principal sobre la resistencia. (Ref. 11)



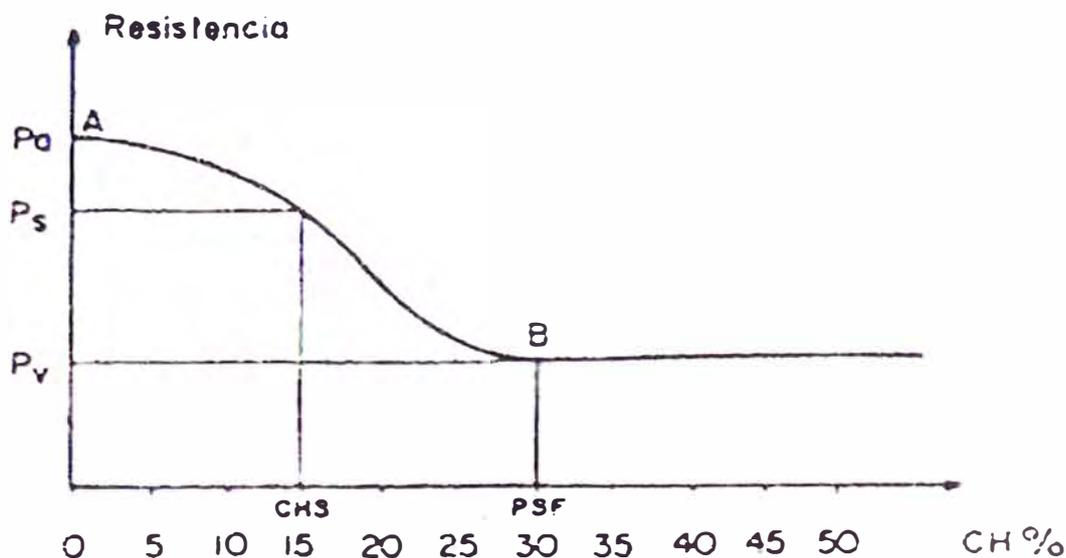
En esta curva, a una penetración nula del vástago del tirafón en la pieza principal se le ha asignado un factor de modificación igual a la unidad aplicable a la carga en el límite de proporcionalidad de la unión, condición para la cual se ha deducido la expresión de resistencia a la extracción lateral 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 la tesis revisada 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 figura que la resistencia permanece constante cuando el contenido de humedad varía por encima del PSF.

Figura N° 11. Influencia del contenido de humedad en la Resistencia.
(Ref. 3)



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° 2. Variación de las propiedades mecánicas para una variación unitaria en el contenido de humedad. (Ref. 3)

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 (antes mencionada) realizada en Quinilla Colorada 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.

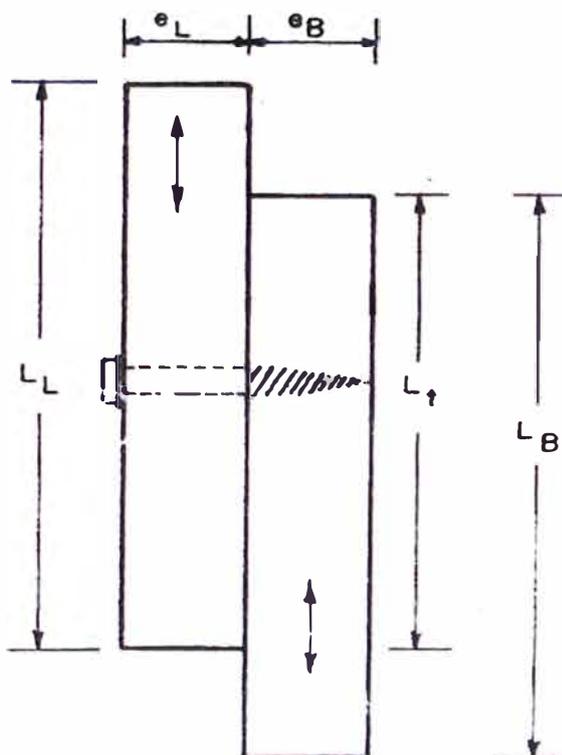
CAPITULO IV

PARTE EXPERIMENTAL Y CÁLCULOS ESTADÍSTICOS

4.1 Ensayo de Extracción Lateral en Cizallamiento Simple

El ensayo de extracción lateral en 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° 12. Esquema de probeta para ensayo de cizallamiento simple paralelo a la fibra. (Ref. 11)



Pieza Lateral

e_L = espesor
 L_L = longitud
 a_L = ancho

Pieza Principal

e_B = espesor
 L_B = longitud
 a_B = ancho

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

Para esta investigación, se utilizaron listones de madera Azúcar Huayo – *Hymenaea Courbaril* de 4 cm. x 14 cm. x 320 cm. de los cuales se hizo una selección de acuerdo a las recomendaciones de el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, para su posterior cortado en probetas y ser ensayadas tal y como se especifica en el capítulo cuatro. Debemos resaltar que el limitante para el diseño de las dimensiones de probetas fue el espesor de 4cm de los listones de madera.

Fotografía N° 1. Madera Azúcar Huayo – *Hymenaea Courbaril*



El criterio utilizado para el diseño de probetas de ensayo, se basó en tres de las variables que afectan la resistencia de tirafones ya definidas anteriormente. Las variables que se tomaron en cuenta fueron: diámetro de tirafón, relación e_L/D , longitud de tirafón.

Para el diseño se tomó primero la variación de los diámetros de tirafones de 1/4", 5/16" y 3/8" (pulgadas), 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. Finalmente,

se varió la longitud del tirafón en 2.5, 3 y 4 pulgadas, manteniendo constantes el diámetro del tirafón y el e_l/D .

4.1.1 Ensayos a realizar

Las tablas siguientes muestran todas las variables en estudio para la totalidad de ensayos realizados (13). Debido a que serán tres las variables a analizar, se obtendrán tres 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).

A. Variación de diámetro de tirafón. (Φ)

$e_L/D = \text{constante}$

Longitud de tirafón (L) = constante

Tabla N° 1: Variaciones de diámetros de tirafones.

	e_L/D	L pulgadas	Φ pulgadas	Número 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

B. Variación de relación e_L/D .

$\Phi = \text{constante}$

Longitud de tirafón (L) = constante

Tabla N° 2: Variaciones de la relación e_L/D .

	Φ pulgadas	L pulgadas	e_L/D	Número 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 de longitud de tirafón (L).

Φ = constante

e_L/D = constante

Tabla N° 3: Variaciones de longitud de tirafón.

	Φ pulgadas	e_L/D	L pulgadas	Número de ensayo
SERIE 1	¼	2	2.5	1
	¼	2	3	2
	¼	2	4	3
SERIE 2	¼	3	2.5	4
	¼	3	3	5
	¼	3	4	6

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 siguiente cuadro:

Cuadro N° 3. Dimensiones de las probetas para cada ensayo.

	Diámetro del tirafón pulg	Longitud del tirafón pulg	Espesor de la pieza principal cm	Espesor de la pieza lateral cm	Espesor de la pieza lateral entre diámetro e_L/D
ENSAYO 1	¼	2.5	6.5	1.3	2
ENSAYO 2	¼	3	7.5	1.3	2
ENSAYO 3	¼	4	10	1.3	2
ENSAYO 4	¼	2.5	6	1.9	3
ENSAYO 5	¼	3	7.5	1.9	3
ENSAYO 6	¼	4	9.5	1.9	3
ENSAYO 7	¼	4	9	2.6	4
ENSAYO 8	¼	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 diez (10) por cada uno, haciendo un total de ciento treinta (130) ensayos.

Los listones de madera fueron cortados con una previa selección de listones en buen estado según El Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino.

Fotografía N° 3. Listones de madera Azúcar Huayo.



Luego, con los listones seleccionados y de acuerdo a las dimensiones de probetas obtenidas para los ensayos, 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° 4. Selección de listones para cortado.



Fotografía N° 5. Cortado de madera en medidas requeridas.



Fotografía N° 6. Madera cortada para elaboración de probetas.

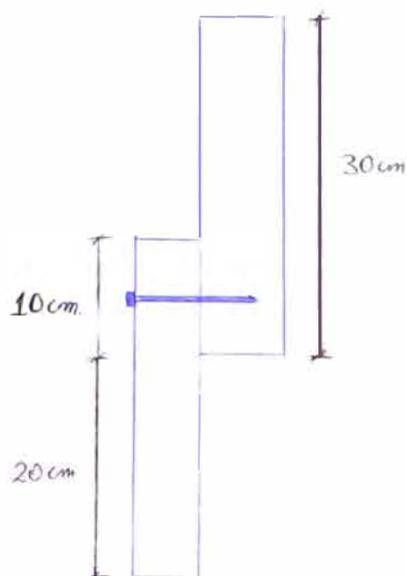


Según la Norma ASTM D1761-88 las características de las probetas a usar deben ser de un material de madera representativo, limpio y con fibras paralelas en una dirección. Las dos piezas prismáticas de madera utilizadas para este ensayo deben ser planas y sin asperezas para poder ser unidas entre ellas. 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° 13: 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 $\frac{1}{4}$ " se utilizó una broca de $\frac{7}{32}$ " que equivale al 87% del diámetro. Para el tirafón de $\frac{5}{16}$ " se utilizó una broca de $\frac{1}{4}$ " que equivale al 80% del diámetro de tirafón. Y finalmente para el tirafón de $\frac{3}{8}$ " se utilizó una broca de $\frac{5}{16}$ ", lo que equivale al 83% del diámetro del tirafón.

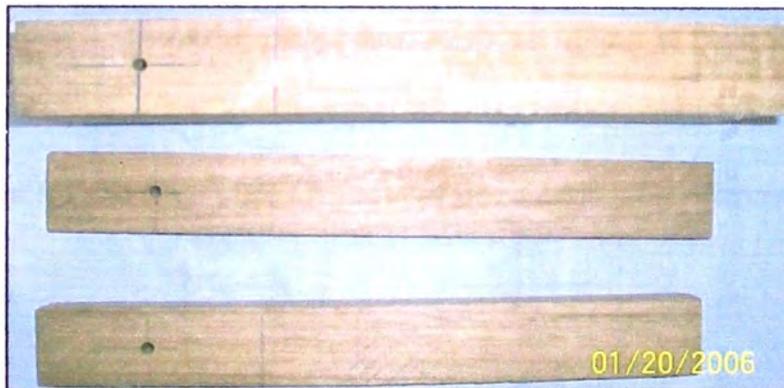
Fotografía N° 7: Perforación de la pieza principal



Fotografía N° 8: Perforación de la pieza lateral.



Fotografía N° 9: Piezas perforadas con agujeros guías.



Seguidamente 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° 10: atornillado de las piezas.



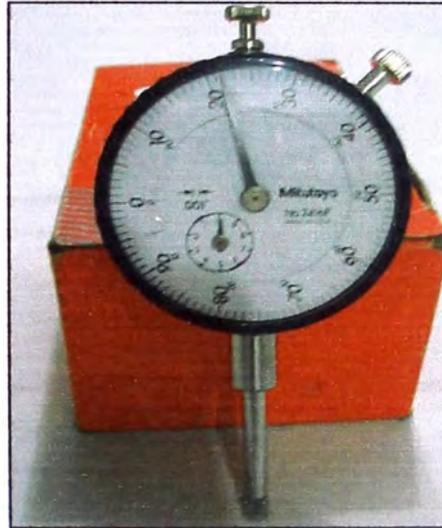
Luego se paso a la parte de ensayos propiamente dicha, los cuales se realizaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería, para los cuales se utilizó la maquina universal de marca AMSLER.

Fotografía N° 11: Maquina Universal para ensayos marca 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° 12: Deformímetro utilizado en los ensayos.

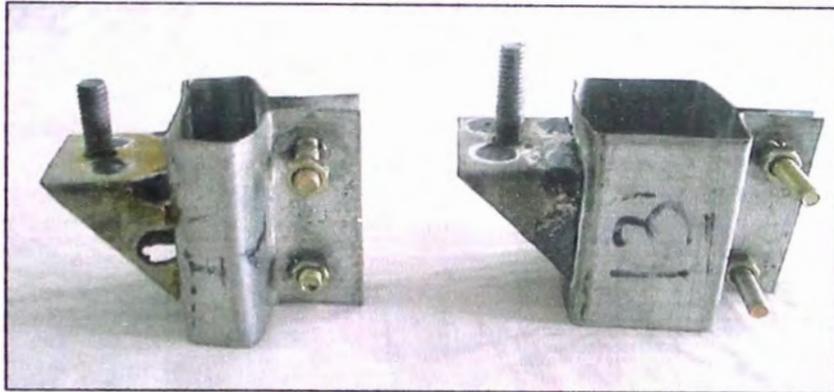


Para la fijación del deformímetro en la pieza lateral, se fabricó una abrazadera de aluminio. Esta abrazadera evita los desplazamientos de la aguja de medición hacia lugares no previstos que podrían alterar la medida del deformímetro que tiene una precisión de 1/1000 de pulgada.

Fotografía N° 13: Preparación de abrazaderas.



Fotografía N° 14: Abrazaderas



Fotografía N° 15: Probeta de ensayo con abrazadera en la pieza lateral.



Se realizaron en primera instancia ensayos para determinar la velocidad de ensayo, la cual esta especificada en la Norma ASTM D1761-88 y en relación a la tesis con Madera Quinilla Colorada – *Manilkana Bidentada*, 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.

Fotografía N° 16: Pieza que restringe movimientos laterales.



Seguidamente se realizaron trece (13) ensayos con diez (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 kilogramos de carga. Los datos que se tuvieron en cuenta en las fechas de ensayos fueron:

Fecha de ensayos: 02 de Febrero – 03 de Marzo

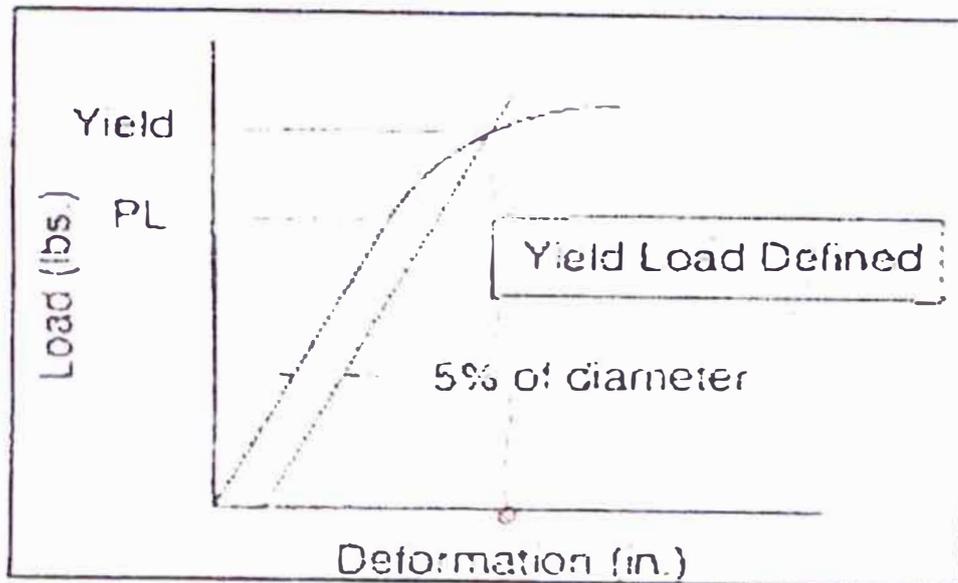
Humedad relativa promedio: 64%

Temperatura ambiente promedio: 28 grados Centígrados.

Para el ensayo de extracción lateral en 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 grafica esfuerzo – deformación, es denominado "Limite Proporcional". Según la NDS Commentary – American Forest & Paper Association, el Limite Proporcional se ubica al

5% del diámetro del tirafón, con una línea paralela a la parte proporcional de deformación.

Figura N° 14: Carga – deformación. Fuente: NDS Commentary – American forest & Paper Association.



4.2 Ensayo de Densidad

Este ensayo fue realizado siguiendo 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 humedad. Se llama madera saturada a aquella madera que ha alcanzado su máximo contenido de humedad previamente sumergida en agua. Madera seca al aire es aquella que ha adquirido un equilibrio de humedad a ciertas condiciones ambientales. Madera anhidra, es aquella en la cual se ha eliminado todo su contenido de humedad.

Para este ensayo se cortaron dos muestras representativas de cada ensayo de extracción lateral en cizallamiento simple con carga paralela a la fibra. Las dimensiones de las muestras fueron de 4cm. x 4cm. x 4cm.

Fotografía N° 17: Muestras para ensayo de densidad



Fotografía N° 18: Muestra de 4cm. x 4cm x 4cm



Fotografía N° 19 : Peso de las muestras en laboratorio



Fotografía N° 20 : Secado de muestras al horno



Se hallaron las densidades, en estado ambiente y en madera seca.

a) Densidad en estado ambiente

Para hallar la densidad en este estado se tomaron medidas de peso y volumen a condiciones ambientales del laboratorio.

Cuadro N° 4: valores para el ensayo de densidad estado ambiente

Ensayos	Peso ambiente	Volumen ambiente	Densidad ambiente
1A	55	64	0.86
1B	53.5	64	0.84
2A	53.5	64	0.84
2B	56	64	0.88
3A	57.5	64	0.90
3B	54.5	64	0.85
4A	54	64	0.84
4B	54	64	0.84
5A	55.5	64	0.87
5B	54.5	64	0.85
6A	58.5	64	0.91
6B	58	64	0.91
7A	57	64	0.89
7B	53.5	64	0.84
8A	57.5	64	0.90
8B	58.5	64	0.91
9A	51.5	64	0.80
9B	56	64	0.88
10A	57.5	64	0.90
10B	56	64	0.88
11A	54	64	0.84
11B	53	64	0.83
12A	56	64	0.88
12B	58.5	64	0.91
13A	55.5	64	0.87
13B	54.5	64	0.85

Cuadro N° 5: Densidades estado ambiente en cada ensayo.

ensayos	peso ambiente	volumen ambiente	densidad ambiente
1	54.25	64	0.85
2	54.75	64	0.86
3	56.00	64	0.88
4	54.00	64	0.84
5	55.00	64	0.86
6	58.25	64	0.91
7	55.25	64	0.86
8	58.00	64	0.91
9	53.75	64	0.84
10	56.75	64	0.89
11	53.50	64	0.84
12	57.25	64	0.89
13	55.00	64	0.86

La densidad promedio en estado ambiente es 0.87 gr/cm³.

Cuadro N°7: valores de densidad seca en cada ensayo.

ensayos	peso seco	volumen seco	densidad seca
1	48.75	59.30	0.82
2	49.00	59.30	0.83
3	50.00	59.30	0.84
4	48.50	59.30	0.82
5	49.25	59.30	0.83
6	51.75	59.30	0.87
7	49.75	59.30	0.84
8	51.75	59.30	0.87
9	47.50	59.30	0.80
10	50.75	59.30	0.86
11	48.00	59.30	0.81
12	50.75	59.30	0.86
13	48.75	59.30	0.82

La densidad seca promedio es 0.84 gr/cm³

4.3 Ensayo de Contenido de Humedad

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

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



Fotografía N° 21: Muestras para ensayo de contenido de humedad

Esta propiedad física se calculó en todos los ensayos de extracción lateral en cizallamiento simple con cargas paralelas a la fibra realizados, tomándose dos muestras por cada ensayo.

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°8: Datos de ensayo para el contenido de humedad.

ensayos	Peso húmedo	Peso seco	Ph-Ps	Humedad
1A	55.0	49.5	5.5	11.1
1B	53.5	48.0	5.5	11.5
2A	53.5	48.0	5.5	11.5
2B	56.0	50.0	6.0	12.0
3A	57.5	51.0	6.5	12.7
3B	54.5	49.0	5.5	11.2
4A	54.0	48.5	5.5	11.3
4B	54.0	48.5	5.5	11.3
5A	55.5	49.5	6.0	12.1
5B	54.5	49.0	5.5	11.2
6A	58.5	51.5	7.0	13.6
6B	58.0	52.0	6.0	11.5
7A	57.0	51.5	5.5	10.7
7B	53.5	48.0	5.5	11.5
8A	57.5	51.5	6.0	11.7
8B	58.5	52.0	6.5	12.5
9A	51.5	45.0	6.5	14.4
9B	56.0	50.0	6.0	12.0
10A	57.5	51.5	6.0	11.7
10B	56.0	50.0	6.0	12.0
11A	54.0	48.5	5.5	11.3
11B	53.0	47.5	5.5	11.6
12A	56.0	49.5	6.5	13.1
12B	58.5	52.0	6.5	12.5
13A	55.5	49.5	6.0	12.1
13B	54.5	48.0	6.5	13.5

Cuadro N° 9: Contenidos de humedad en cada ensayo

Ensayos	peso húmedo	Peso seco	Ph-Ps	humedad
1	54.3	48.8	5.5	11.3
2	54.8	49.0	5.8	11.7
3	56.0	50.0	6.0	12.0
4	54.0	48.5	5.5	11.3
5	55.0	49.3	5.8	11.7
6	58.3	51.8	6.5	12.6
7	55.3	49.8	5.5	11.1
8	58.0	51.8	6.3	12.1
9	53.8	47.5	6.3	13.2
10	56.8	50.8	6.0	11.8
11	53.5	48.0	5.5	11.5
12	57.3	50.8	6.5	12.8
13	55.0	48.8	6.3	12.8

El contenido de humedad promedio de la madera es 12%

CAPITULO V

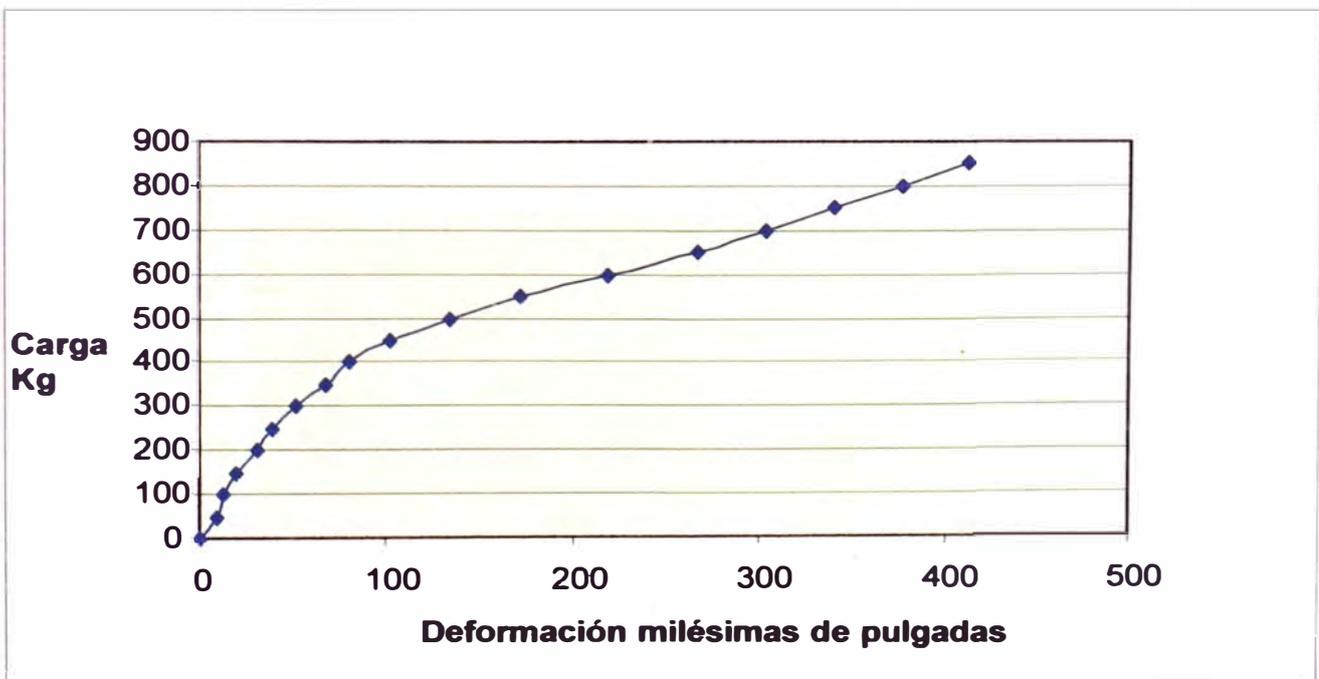
RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 Resultados

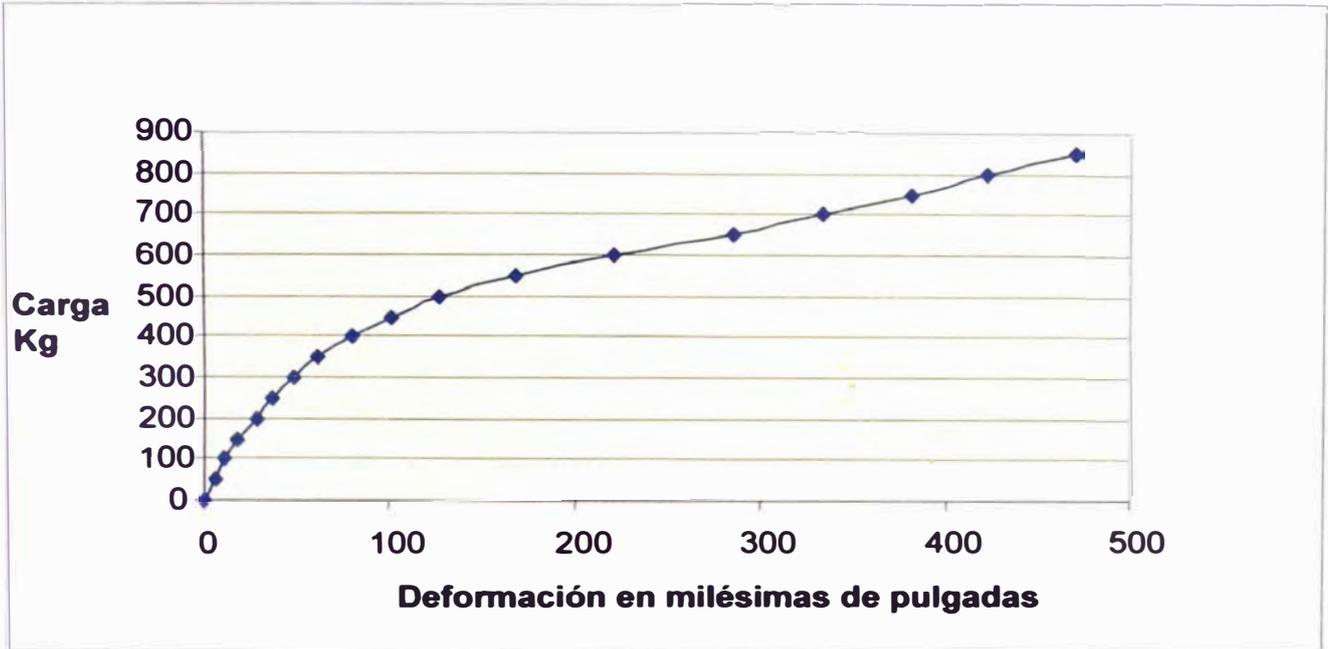
- a) Para el ensayo de extracción lateral en cizallamiento simple con carga paralela a la fibra se ubicaron de forma grafica las cargas admisibles para cada repetición, siguiendo la teoría mencionada anteriormente, sugerida para el Limite proporcional en la NDS Commentary – American Forest & Paper Association.

A continuación las graficas típicas correspondientes a cada ensayo.

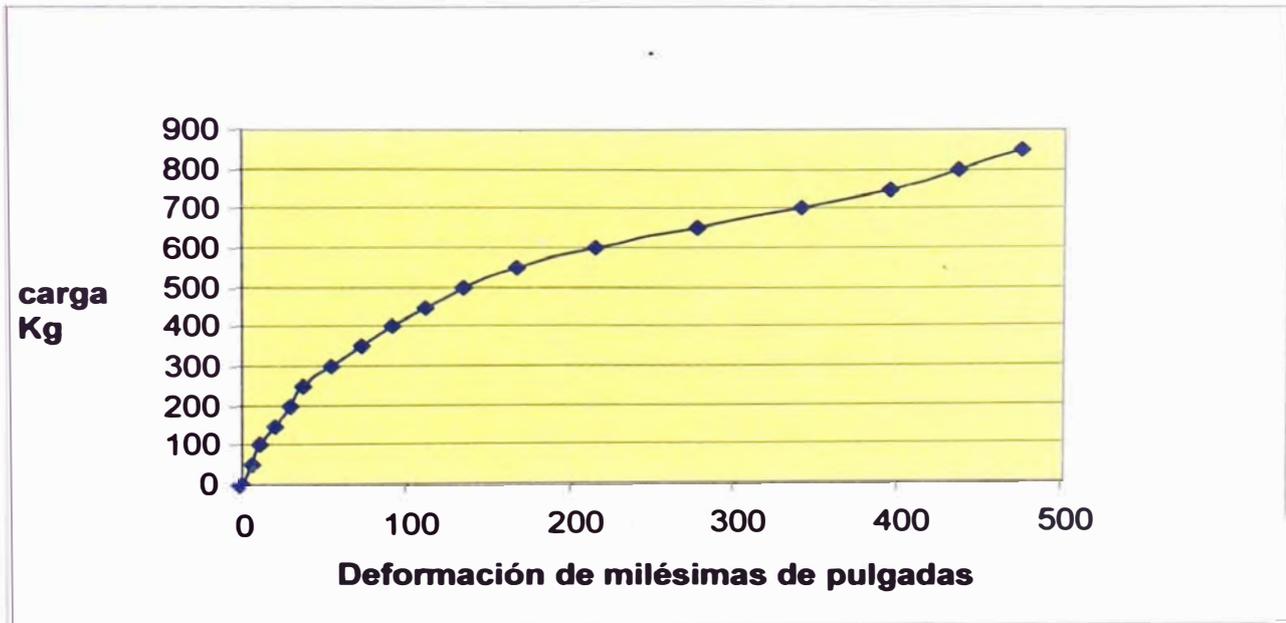
Gráfica N° 1. Ensayo típico número 1



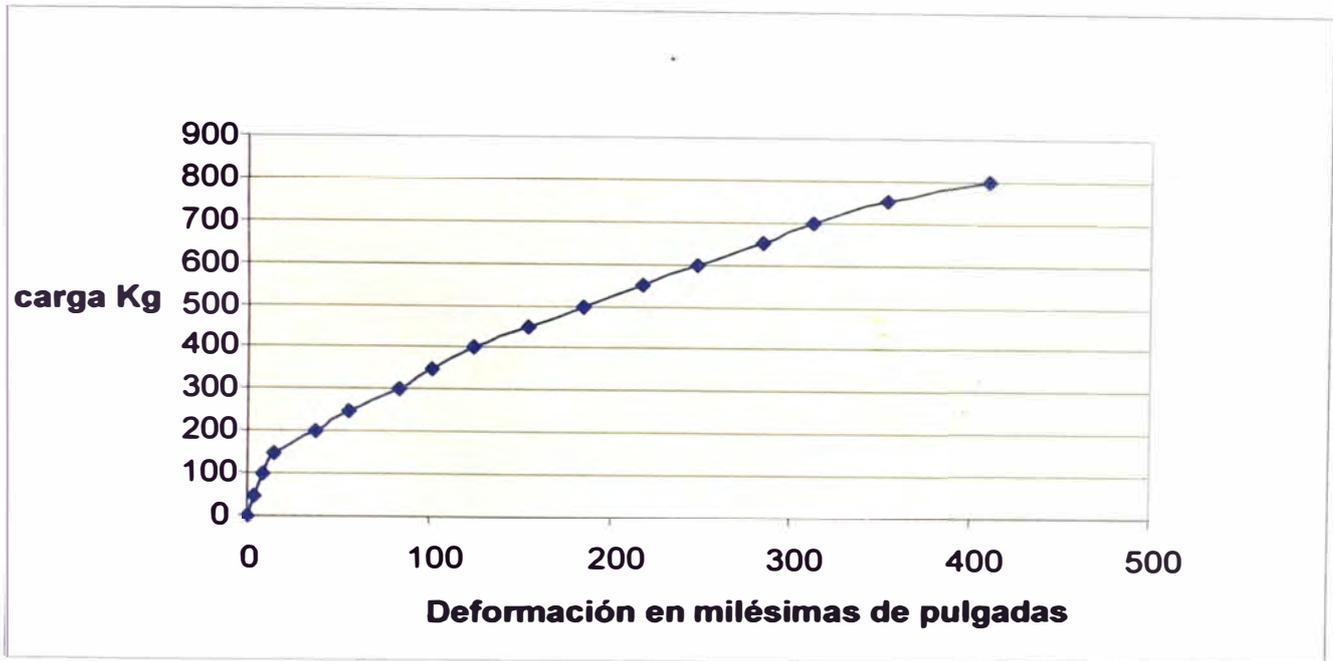
Gráfica N° 2. Ensayo típico número 2



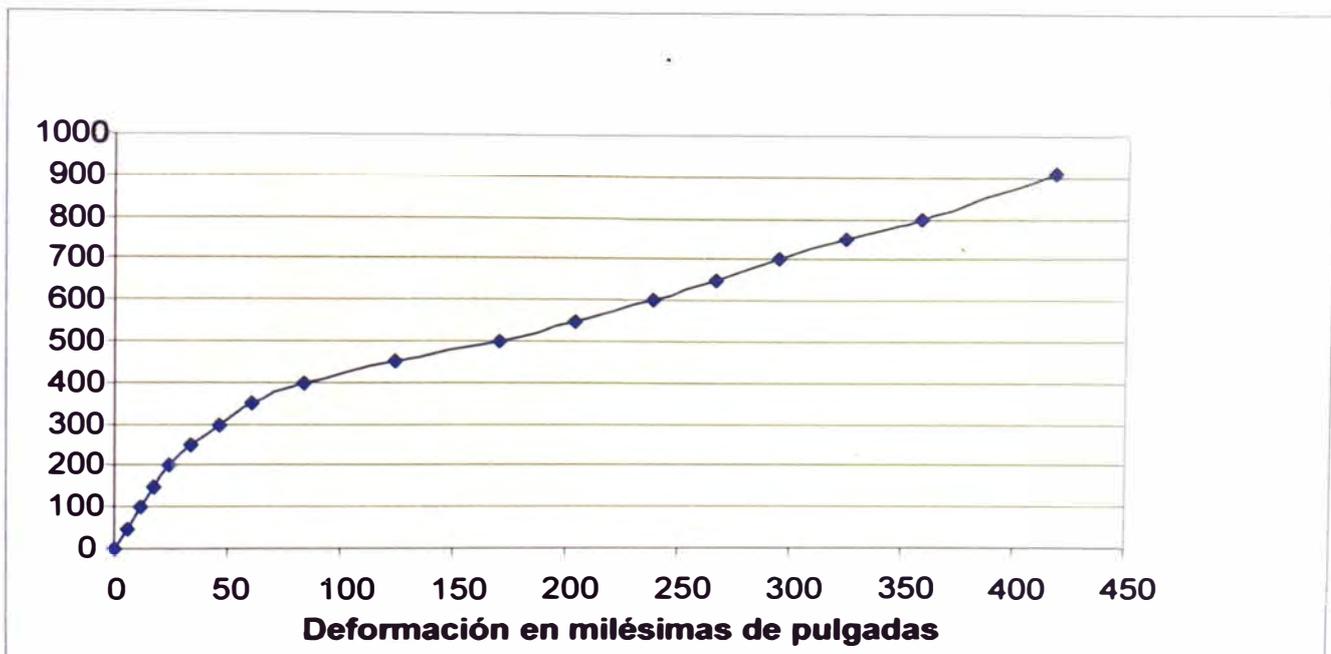
Gráfica N° 3. Ensayo típico número 3



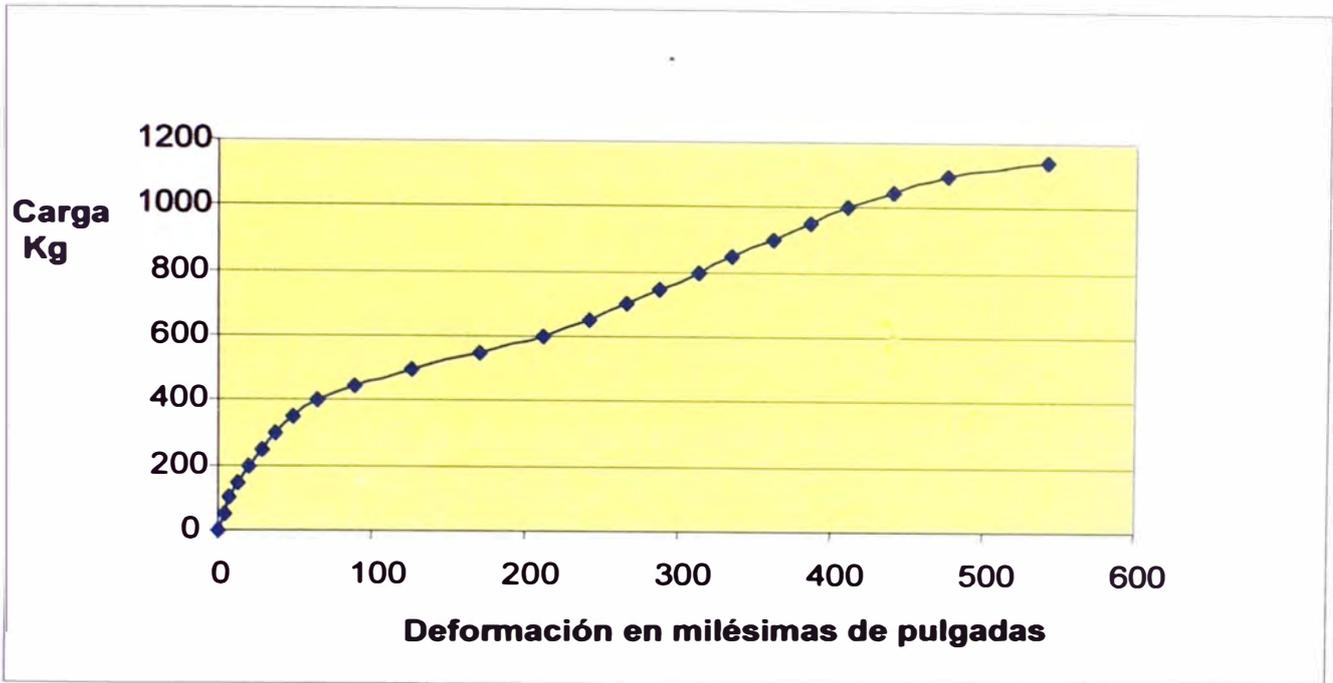
Gráfica N° 4. Ensayo típico número 4



Gráfica N° 5. Ensayo típico número 5



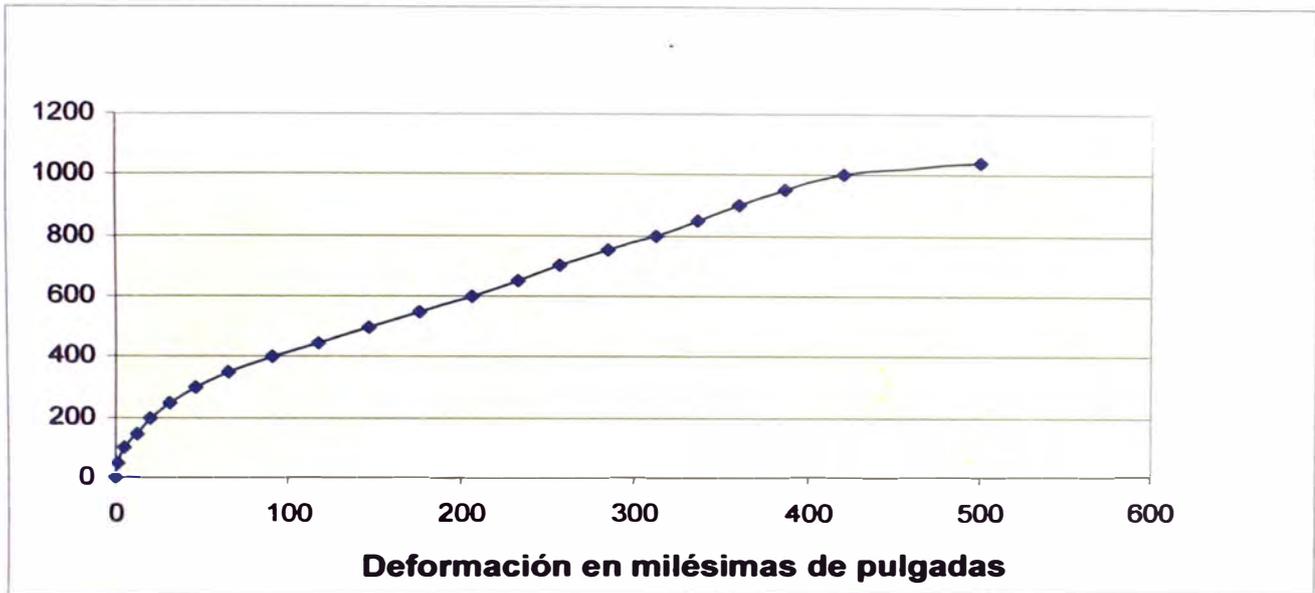
Gráfica N° 6. Ensayo típico número 6



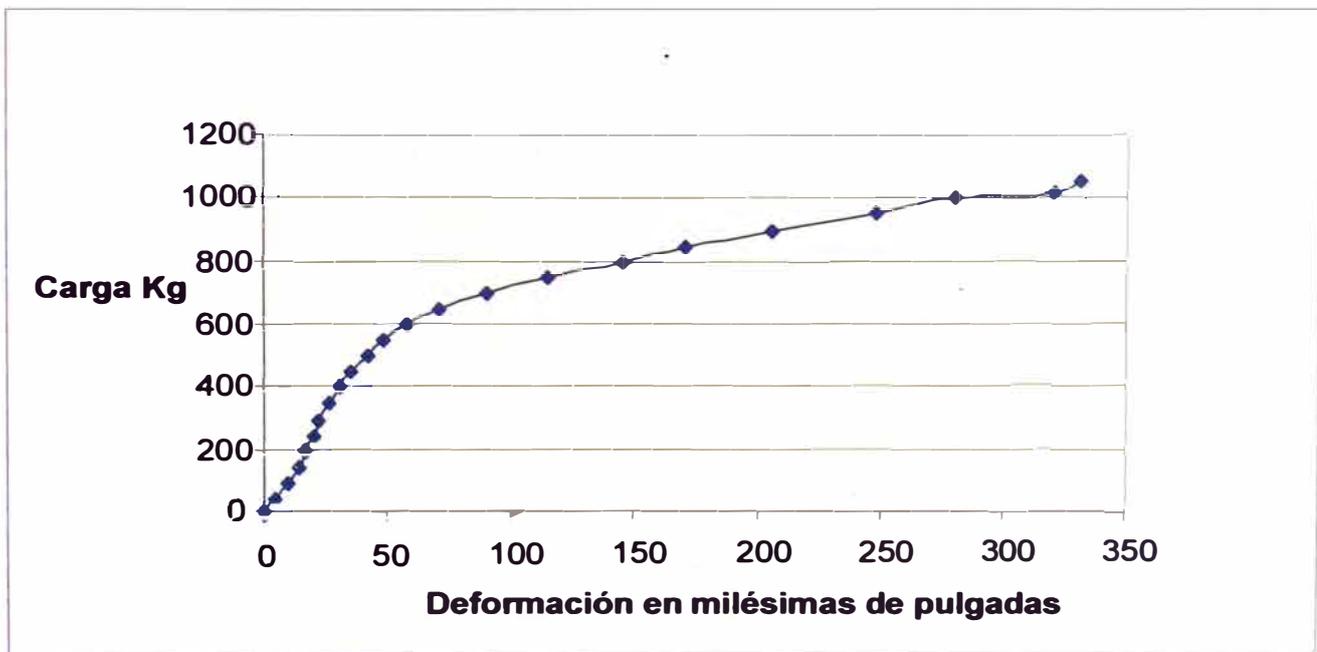
Gráfica N° 7. Ensayo típico número 7



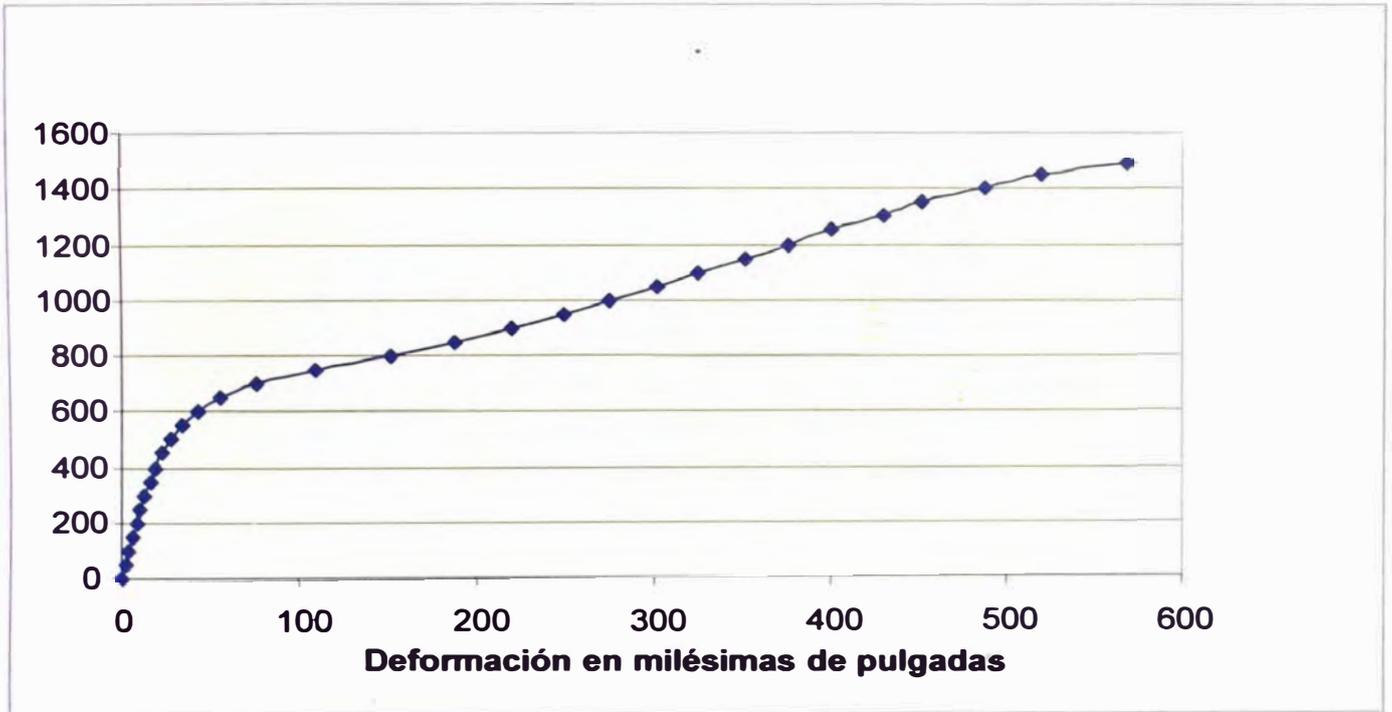
Gráfica N° 8. Ensayo típico número 8



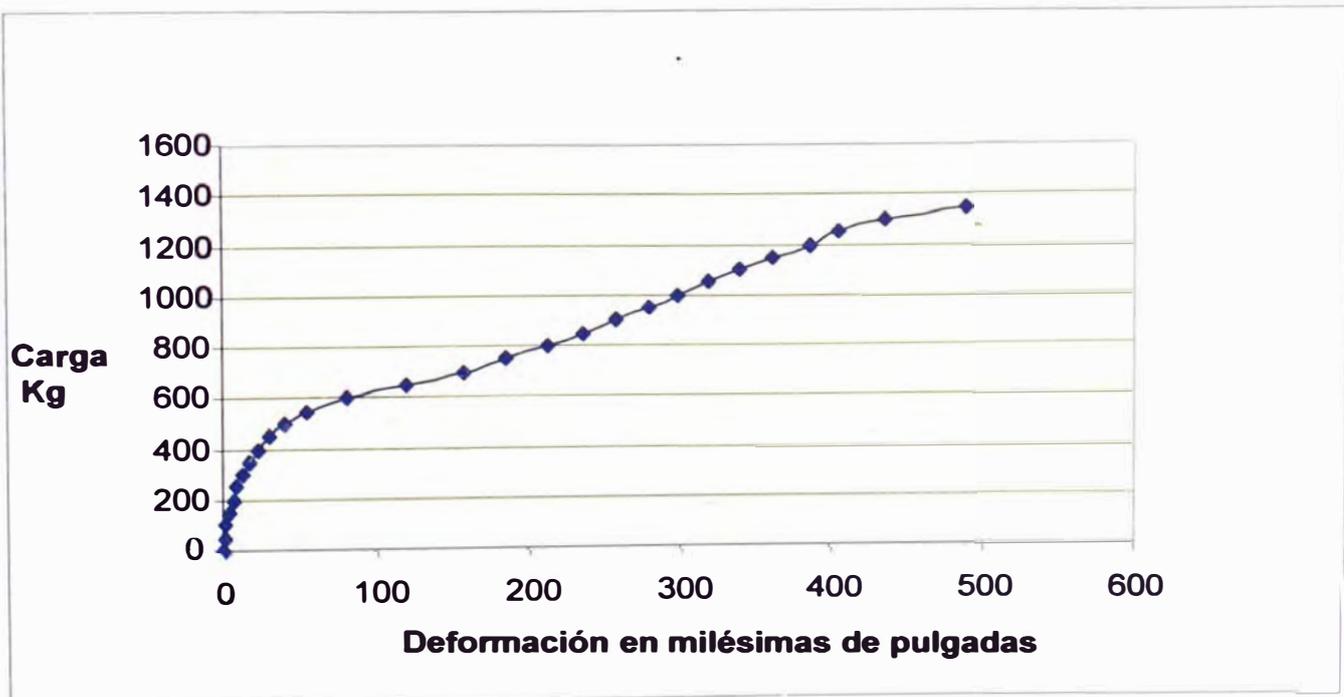
Gráfica N° 9. Ensayo típico número 9



Gráfica N° 10. Ensayo típico número 10



Gráfica N° 11. Ensayo típico número 11



- b) Del ensayo de extracción lateral en 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 de tirafón (pijas o tirafondos) (Referir a la figura N° 14. – NDS – Pág. N° 57):

Cuadro N° 10: valores de cargas y deformaciones en el limite proporcional y al 5% del diámetro para cada ensayo y cada repetición.

		Limite proporcional		5% línea paralela	
		deformación milésimas de pulgadas	carga kg LP	deformación milésimas de pulgadas	carga kg YIELD
ensayo 1	Repetición 1	27	150	73	350
	Repetición 2	19	150	51	300
	Repetición 3	15	100	73	300
	Repetición 4	19	100	52	200
	Repetición 5	42	150	105	300
	Repetición 6	24	100	82	300
	Repetición 7	22	100	56	200
	Repetición 8	26	150	77	375
	Repetición 9	25	150	69	350
	Repetición 10	26	150	72	350
	promedio simple	25	130	71	303
ensayo 2	Repetición 1	28	200	65	360
	Repetición 2	13	150	35	280
	Repetición 3	25	200	56	300
	Repetición 4	24	150	61	330
	Repetición 5	30	190	62	340
	Repetición 6	37	200	76	350
	Repetición 7	24	200	59	350
	Repetición 8	13	200	39	340
	Repetición 9	31	200	73	380
	Repetición 10	33	200	72	370
	promedio simple	26	189	60	340

Cuadro N° 10: valores de cargas y deformaciones en el limite proporcional y al 5% del diámetro para cada ensayo y cada repetición.

ensayo 3	Repetición 1	37	250	72	350
	Repetición 2	27	200	57	290
	Repetición 3	33	200	65	320
	Repetición 4	49	250	80	350
	Repetición 5	55	250	75	300
	Repetición 6	55	260	84	350
	Repetición 7	30	210	50	280
	Repetición 8	47	220	63	300
	Repetición 9	62	300	87	380
	Repetición 10	60	300	81	350
	promedio simple	46	244	71	327
ensayo 4	Repetición 1	18	150	30	181
	Repetición 2	11	140	25	185
	Repetición 3	13	100	31	180
	Repetición 4	12	100	31	170
	Repetición 5	22	150	31	180
	Repetición 6	24	150	30	185
	Repetición 7	22	150	30	180
	Repetición 8	18	120	31	190
	Repetición 9	13	120	30	200
	Repetición 10	12	100	30	200
	promedio simple	17	128	30	185
ensayo 5	Repetición 1	17	150	39	280
	Repetición 2	8	130	29	230
	Repetición 3	10	170	29	285
	Repetición 4	10	100	30	200
	Repetición 5	8	140	29	275
	Repetición 6	27	150	40	220
	Repetición 7	30	150	40	200
	Repetición 8	12	150	29	240
	Repetición 9	16	150	31	220
	Repetición 10	12	150	30	230
	promedio simple	15	144	33	238

Cuadro N° 10: valores de cargas y deformaciones en el limite proporcional y al 5% del diámetro para cada ensayo y cada repetición.

ensayo 6	Repetición 1	13	150	37	300
	Repetición 2	13	150	39	300
	Repetición 3	15	150	38	300
	Repetición 4	30	160	45	270
	Repetición 5	28	150	61	300
	Repetición 6	23	200	42	320
	Repetición 7	25	200	46	280
	Repetición 8	22	200	40	320
	Repetición 9	25	200	41	270
	Repetición 10	15	150	42	320
	promedio simple	21	171	43	298
ensayo 7	Repetición 1	16	150	41	250
	Repetición 2	29	250	49	330
	Repetición 3	37	250	62	350
	Repetición 4	22	170	52	300
	Repetición 5	32	165	77	350
	Repetición 6	22	165	45	250
	Repetición 7	24	150	55	280
	Repetición 8	24	200	50	350
	Repetición 9	21	150	49	300
	Repetición 10	23	170	50	300
	promedio simple	25	182	53	306
ensayo 8	Repetición 1	11	250	27	320
	Repetición 2	15	160	35	260
	Repetición 3	21	150	40	200
	Repetición 4	30	150	64	250
	Repetición 5	17	150	40	250
	Repetición 6	30	150	50	200
	Repetición 7	15	120	38	180
	Repetición 8	28	165	53	235
	Repetición 9	50	200	71	250
	Repetición 10	18	135	30	180
	promedio simple	24	163	45	233

Cuadro N° 10: valores de cargas y deformaciones en el limite proporcional y al 5% del diámetro para cada ensayo y cada repetición.

ensayo 9	Repetición 1	32	350	60	500
	Repetición 2	29	355	57	510
	Repetición 3	28	352	58	600
	Repetición 4	51	450	77	545
	Repetición 5	57	400	80	500
	Repetición 6	52	400	79	504
	Repetición 7	36	350	74	560
	Repetición 8	49	400	81	550
	Repetición 9	55	400	79	500
	Repetición 10	47	350	81	508
	promedio simple	44	381	73	528
ensayo 10	Repetición 1	13	300	40	560
	Repetición 2	23	460	40	605
	Repetición 3	25	370	45	505
	Repetición 4	37	350	60	490
	Repetición 5	34	350	60	495
	Repetición 6	29	400	60	640
	Repetición 7	27	350	60	550
	Repetición 8	29	320	57	480
	Repetición 9	24	310	59	605
	Repetición 10	28	350	55	505
	promedio simple	27	356	54	544
ensayo 11	Repetición 1	28	400	57	570
	Repetición 2	30	360	55	500
	Repetición 3	23	400	48	540
	Repetición 4	28	450	55	555
	Repetición 5	43	400	68	500
	Repetición 6	20	400	45	550
	Repetición 7	28	350	58	490
	Repetición 8	37	400	61	500
	Repetición 9	31	360	55	460
	Repetición 10	37	400	68	530
	promedio simple	31	392	57	520

Cuadro N° 10: valores de cargas y deformaciones en el limite proporcional y al 5% del diámetro para cada ensayo y cada repetición.

Ensayo 12	Repetición 1	36	550	64	720
	Repetición 2	38	550	62	680
	Repetición 3	30	550	58	705
	Repetición 4	25	475	54	650
	Repetición 5	40	550	60	680
	Repetición 6	32	400	59	595
	Repetición 7	46	700	69	860
	Repetición 8	56	650	74	755
	Repetición 9	35	500	63	660
	Repetición 10	38	600	65	820
	promedio simple	38	553	63	713
Ensayo 13	Repetición 1	39	550	62	710
	Repetición 2	33	450	59	580
	Repetición 3	20	400	48	575
	Repetición 4	35	550	58	660
	Repetición 5	44	550	62	640
	Repetición 6	35	400	62	550
	Repetición 7	43	400	69	580
	Repetición 8	45	450	78	630
	Repetición 9	29	300	63	540
	Repetición 10	36	350	61	540
	promedio simple	36	440	62	601

Cuadro N° 11. Resumen resultado promedio

	Limite proporcional		5% línea paralela	
	deformación milésimas de pulgadas	carga kg LP	deformación milésimas de pulgadas	carga kg YIELD
Ensayo 1	25	130	71	303
Ensayo 2	26	189	60	340
Ensayo 3	46	244	71	327
Ensayo 4	17	128	30	185
Ensayo 5	15	144	33	238
Ensayo 6	21	171	43	298
Ensayo 7	25	182	53	306
Ensayo 8	24	163	45	233
Ensayo 9	44	381	73	528
Ensayo 10	27	356	54	544
Ensayo 11	31	392	57	520
Ensayo 12	38	553	63	713
Ensayo 13	36	440	62	601

Cuadro N° 12. Cuadro resumen.

Variables de ensayo	Número de serie	DATOS DE CADA ENSAYO				Limite proporcional		5% línea paralela Limite proporcional	
		e_L/D	L	Φ	Número de ensayo	deformación mm	carga kg LP	deformación mm	carga kg YIELD
VARIACION DE DIAMETRO	SERIE 1	2	4	1/4	3	46	244	71	327
		2	4	5/16	9	44	381	73	528
		2	4	3/8	12	38	553	63	713
	SERIE 2	3	4	1/4	6	21	171	43	298
		3	4	5/16	10	27	356	54	544
		3	4	3/8	13	36	440	62	601
VARIACION DE RELACION e_L/D	SERIE 1	3	4	1/4	6	21	171	43	298
		4	4	1/4	7	25	182	53	306
		6	4	1/4	8	24	163	45	233
	SERIE 2	2	4	5/16	9	44	381	73	528
		3	4	5/16	10	27	356	54	544
		4	4	5/16	11	31	392	57	520
VARIACION DE LONGITUD DE TIRAFON	SERIE 1	2	2.5	1/4	1	25	130	71	303
		2	3	1/4	2	26	189	60	340
		2	4	1/4	3	46	244	71	327
	SERIE 2	3	2.5	1/4	4	17	128	30	185
		3	3	1/4	5	15	144	33	238
		3	4	1/4	6	21	171	43	298

Cuadro N° 12. Cuadro resumen.

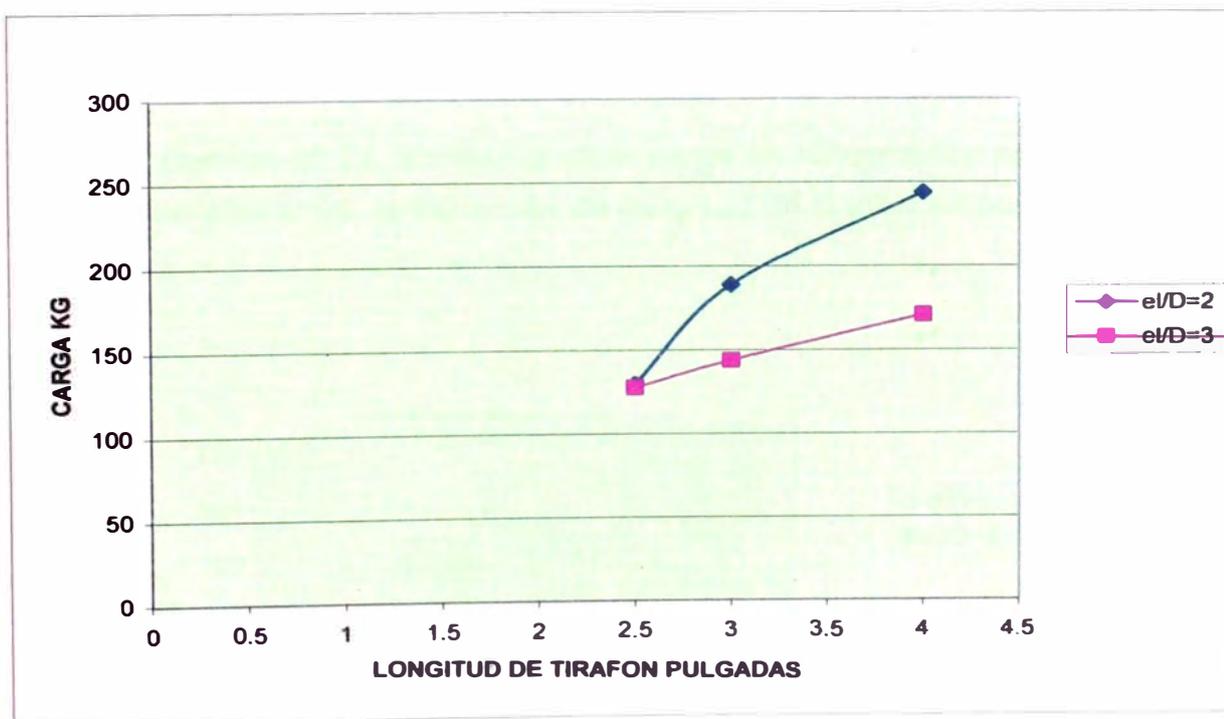
Variables de ensayo	Número de serie	DATOS DE CADA ENSAYO				Limite proporcional		5% línea paralela Límite proporcional	
		e_L/D	L	Φ	Número de ensayo	deformación mm	carga kg LP	deformación mm	carga kg YIELD
VARIACION DE DIAMETRO	SERIE 1	2	4	1/4	3	46	244	71	327
		2	4	5/16	9	44	381	73	528
		2	4	3/8	12	38	553	63	713
	SERIE 2	3	4	1/4	6	21	171	43	298
		3	4	5/16	10	27	356	54	544
		3	4	3/8	13	36	440	62	601
VARIACION DE RELACION e_L/D	SERIE 1	3	4	1/4	6	21	171	43	298
		4	4	1/4	7	25	182	53	306
		6	4	1/4	8	24	163	45	233
	SERIE 2	2	4	5/16	9	44	381	73	528
		3	4	5/16	10	27	356	54	544
		4	4	5/16	11	31	392	57	520
VARIACION DE LONGITUD DE TIRAFON	SERIE 1	2	2.5	1/4	1	25	130	71	303
		2	3	1/4	2	26	189	60	340
		2	4	1/4	3	46	244	71	327
	SERIE 2	3	2.5	1/4	4	17	128	30	185
		3	3	1/4	5	15	144	33	238
		3	4	1/4	6	21	171	43	298

Para el ensayo de extracción lateral en cizallamiento simple con carga paralela a la fibra y con los datos del cuadro número 13 (Pág. 79), se realizaron los gráficos números 14, 15, 16, 17, 18 y 19 de variación de carga en función a la variación de Longitud de tirafón, diámetro de tirafón y relación e_L/D , para el límite proporcional y al 5% del diámetro con la teoría mencionada anteriormente (Referir a la figura N° 14. – NDS – Pág. 57).

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° 1, N° 2 (Pág. 46) y N° 3 (Pág. 47) y en el cuadro N° 13 (Pág. 79).

- c) Variación de la carga en Kilogramos en el Limite proporcional vs. la variación de longitud de tirafón en pulgadas en dos series distintas (referir a la tabla N° 3. Pág. N° 47)

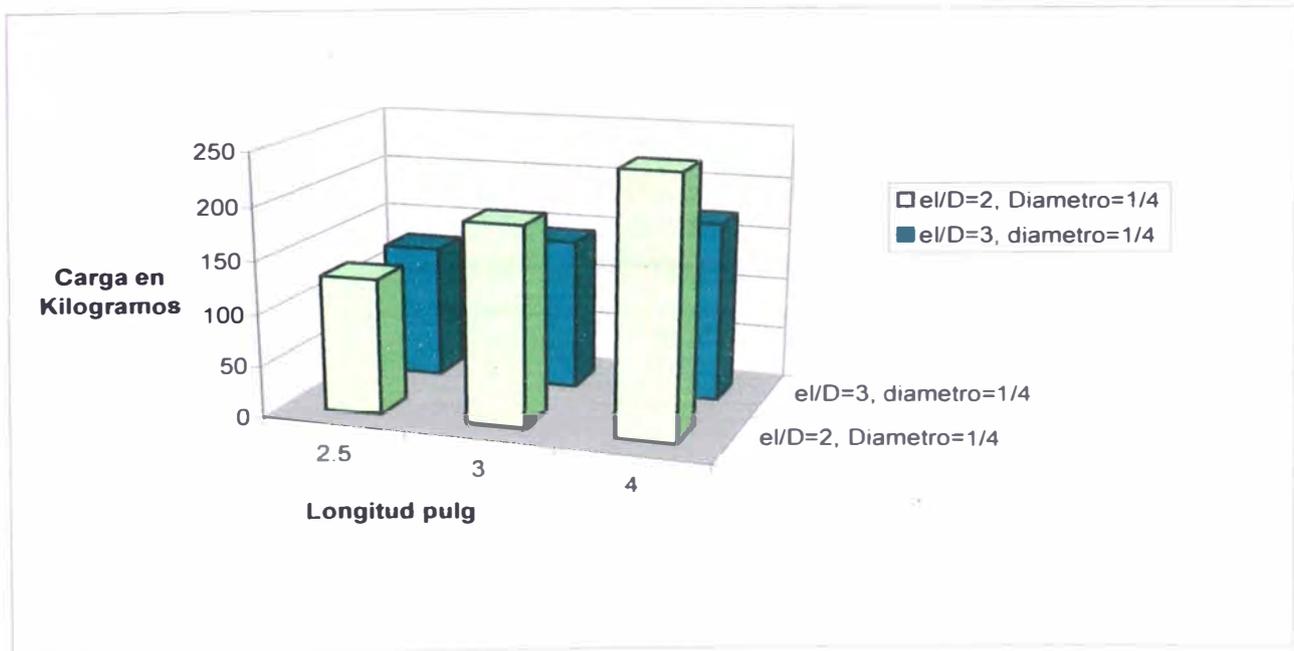
Gráfica N° 14. Variación de la carga en Kilogramos en el Limite proporcional vs. la variación de longitud de tirafón en pulgadas.



Cuadro N° 15. Variación de longitud de tirafón

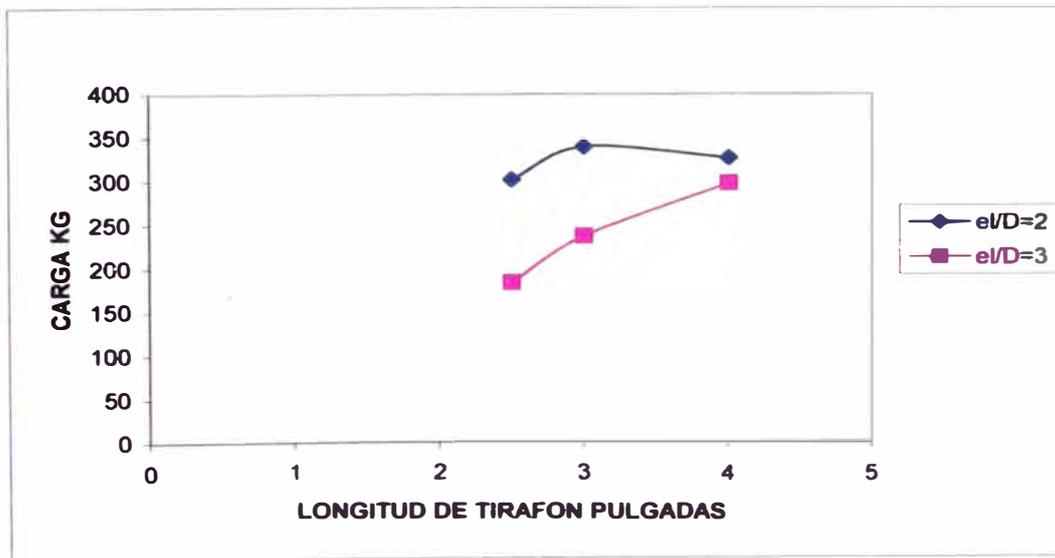
Variables de ensayo	Número de serie	DATOS DE CADA ENSAYO				carga kg LP
		e_L/d	L pulg	Φ pul	Número de ensayo	
VARIACION DE LONGITUD DE TIRAFON	SERIE 1	2	2.5	1/4	1	130
		2	3	1/4	2	189
		2	4	1/4	3	244
	SERIE 2	3	2.5	1/4	4	128
		3	3	1/4	5	144
		3	4	1/4	6	171

Gráfica N° 21. Variación de la carga en Kilogramos en el Limite proporcional vs. la variación de longitud de tirafón en pulgadas.



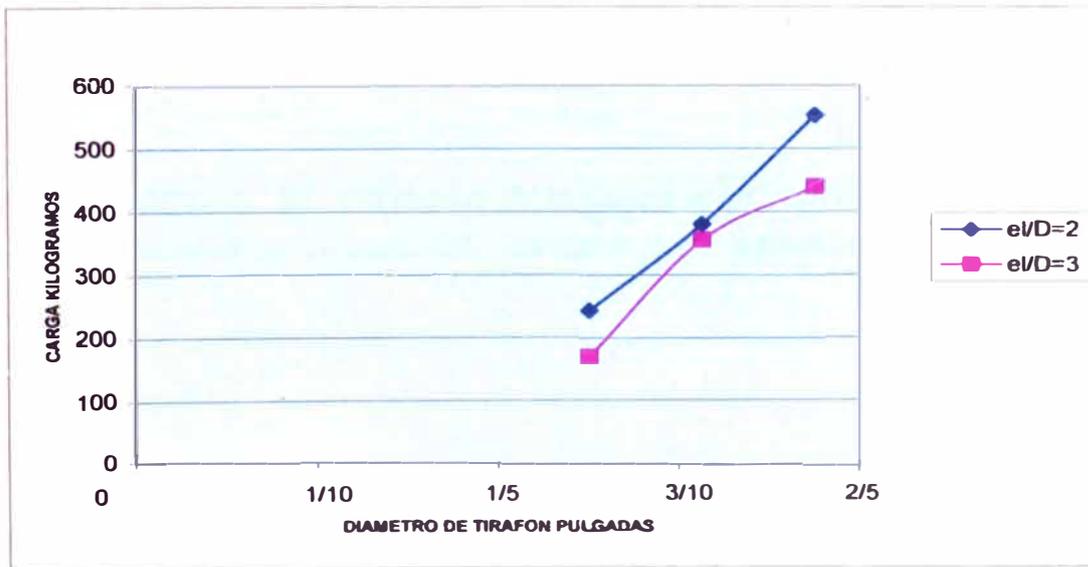
- d) Variación de la carga en Kilogramos al 5% del diámetro de tirafón con una línea paralela a la parte proporcional de deformación vs. la variación de longitud de tirafón en pulgadas en dos series distintas. (referir a la tabla N° 3 Pág. N° 47)

Gráfica N° 15. Variación de la carga en Kilogramos al 5% del diámetro de tirafón con una línea paralela a la parte proporcional de deformación vs. la variación de longitud de tirafón en pulgadas.



- e) Variación de la carga en Kilogramos en el limite proporcional vs. la variación de diámetro de tirafón en pulgadas en dos series distintas. (referir a la tabla N° 1 Pág. 46).

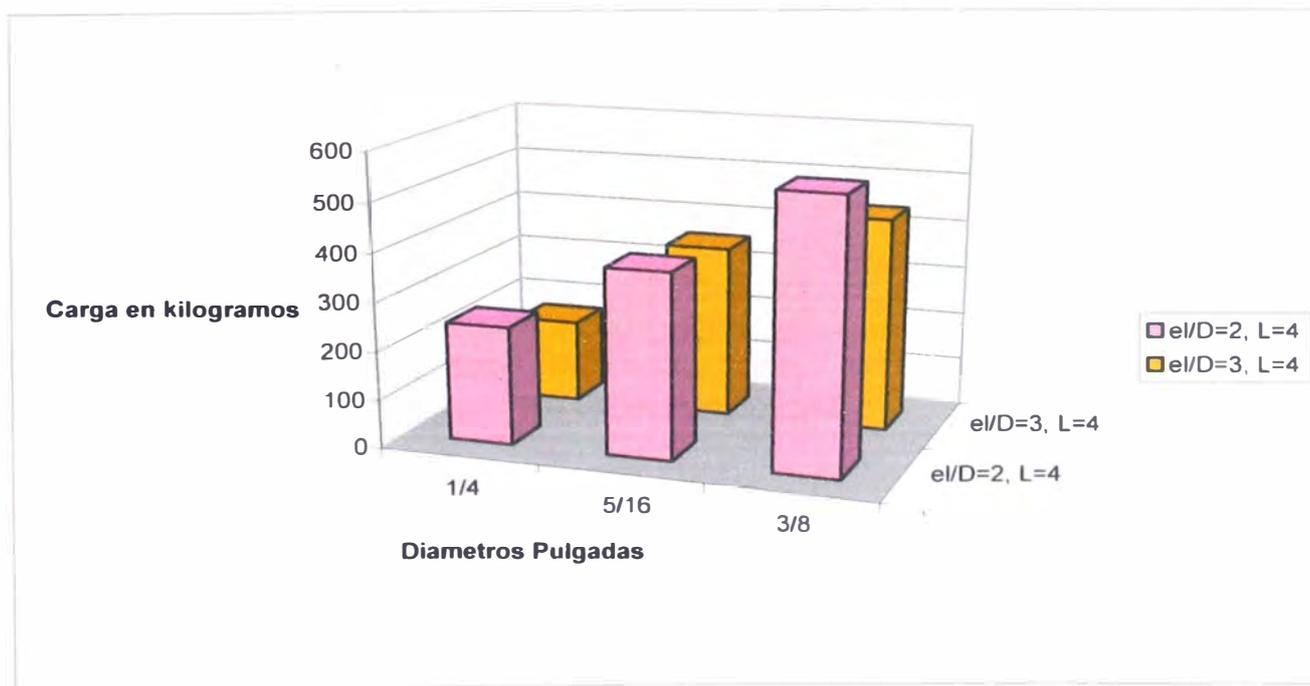
Gráfica N° 16. Variación de la carga en Kilogramos en el limite proporcional vs. la variación de diámetro de tirafón en pulgadas.



Cuadro N° 16. Variación de diámetro de tirafón.

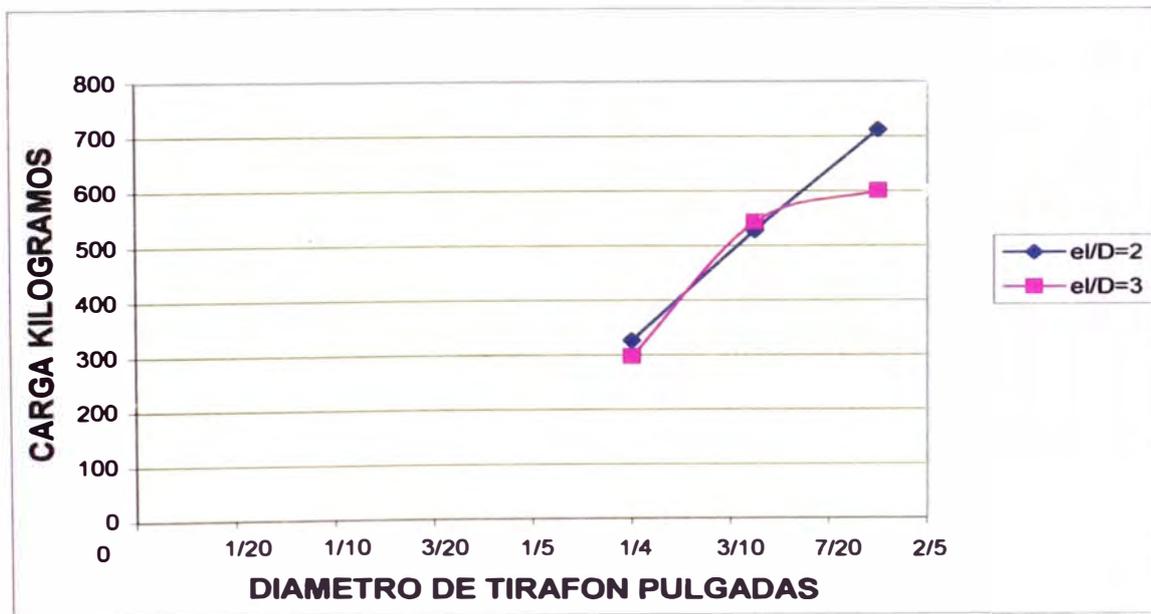
Variables de ensayo	Número de serie	DATOS DE CADA ENSAYO				Carga kg LP
		e_l/D	L pulg	Φ pul	Número de ensayo	
VARIACION DE DIAMETRO	SERIE 1	2	4	1/4	3	244
		2	4	5/16	9	381
		2	4	3/8	12	553
	SERIE 2	3	4	1/4	6	171
		3	4	5/16	10	356
		3	4	3/8	13	440

Gráfica N° 22. Variación de la carga en Kilogramos en el Limite proporcional vs. la variación de diámetro de tirafón en pulgadas.



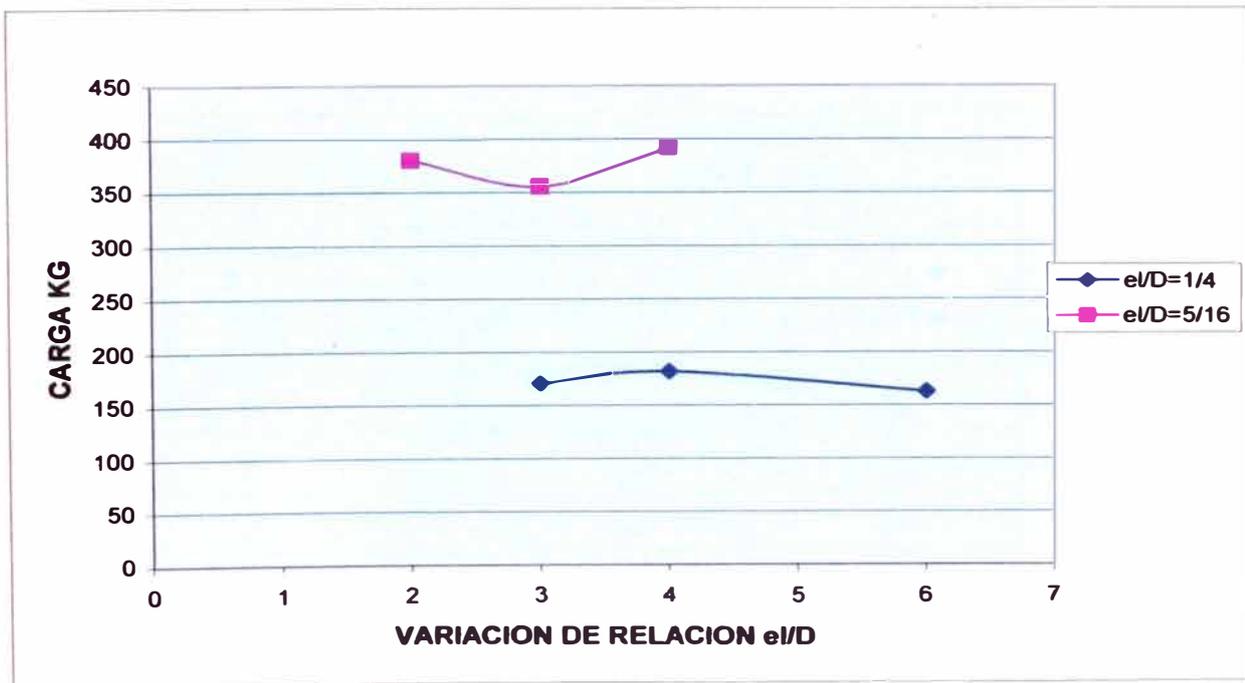
- f) Variación de la carga en Kilogramos al 5% del diámetro de tirafón con una línea paralela a la parte proporcional de deformación vs. la variación de diámetro de tirafón en pulgadas en dos series distintas. (referir a la tabla N°1 Pág. 46).

Gráfica N° 17. Variación de la carga en Kilogramos al 5% del diámetro de tirafón con una línea paralela a la parte proporcional de deformación vs. la variación de diámetro de tirafón en pulgadas.



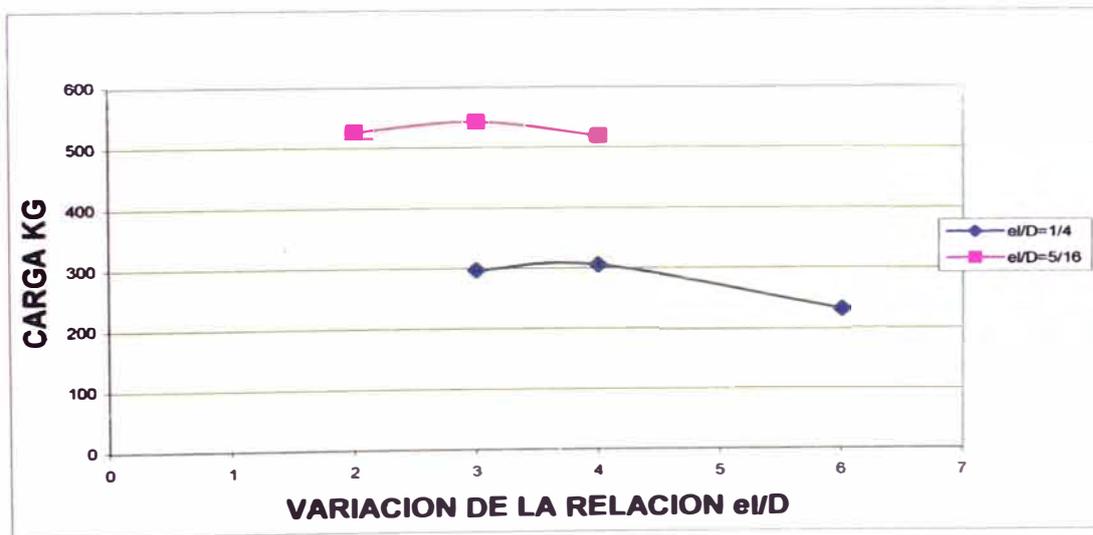
- g) Variación de carga en Kilogramos en el límite proporcional con respecto a las variaciones de la relación e_L/D en dos series distintas. (referir a la tabla N° 2 Pág. 46).

Grafica N° 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 Kilogramos al 5% del diámetro de tirafón con una línea paralela a la parte proporcional de deformación vs. la variación de la relación e_l/D en dos series distintas. (referir a la tabla N° 2 Pág. 46).

Gráfica N° 19. Variación de la carga en Kilogramos al 5% del diámetro de 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 para madera en estado ambiente y seco:

Densidad en estado ambiente

Se ensayaron dos muestras de cada ensayo como se menciono anteriormente (referir a ensayos realizados - Cuadro N° 5 Pág. 60).

La densidad promedio en estado ambiente es 0.87 gr/cm³

Densidad en estado seco

Asimismo, se realizaron dos ensayos para densidad en estado seco (referir a ensayos realizados - Cuadro N° 7 Pág. 62).

La densidad seca promedio es 0.84 gr/cm³

- j) Para el ensayo de humedad se realizaron dos muestras de cada ensayo (referir a ensayos realizados Cuadro N° 9 Pág. 65) de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

El contenido de humedad promedio de la madera es 12%

5.2 Discusión

- a) En los resultados mostrados en la parte a) de RESULTADOS (5.1), se aprecian tendencias similares en las curvas de carga versus deformaciones para los trece ensayos realizados. Las curvas presentan una parte proporcional (Ley de Hook) al inicio terminando en una curva de tipo exponencial al final, como se espera en Teoría.
- b) De la gráfica N° 14 (Pág. 81) de variación de la carga en Kilogramos en el Límite proporcional versus la variación de longitud de tirafón en pulgadas, se aprecia una tendencia creciente en las dos series en

comparación, tendencia también observada en la grafica N° 21 (Pág. 82).

Según la teoría mencionada en el presente estudio en capítulos anteriores, al incrementar la longitud de tirafón se incrementa la carga en el límite proporcional para la unión estructural. De esta forma se confirma experimentalmente el supuesto teórico planteado inicialmente para la variable Longitud de tirafón.

- c) De la gráfica N° 15 (Pág. 83) variación de la carga en Kilogramos al 5% del diámetro del tirafón con una línea paralela a la parte proporcional de deformación versus la variación de longitud de tirafón en pulgadas, se aprecia también una tendencia creciente en las dos series en comparación.

De la misma forma para la variable longitud de tirafón se esperaba teóricamente una tendencia de este tipo, confirmándolo así de manera experimental.

- d) De la grafica N° 16 (Pág. 84) variación de la carga en Kilogramos en el Límite proporcional versus la variación de diámetro de tirafón en pulgadas, se aprecia una tendencia creciente más pronunciada en las dos series en comparación, Lo cual puede ser también apreciado en la gráfica N° 22 (Pág. 85).

La teoría sugiere que la carga es afectada por el diámetro de tirafón de manera directa, con este ensayo se confirma de manea experimental lo esperado teóricamente.

- e) De la gráfica N° 17 (Pág. 86) de variación de la carga en Kilogramos al 5% de diámetro de tirafón con una línea paralela a la parte proporcional de deformación versus la variación de diámetro de tirafón en pulgadas, se aprecia una tendencia creciente pronunciada en las dos series en comparación. De la misma forma que el punto anterior se confirma experimentalmente el supuesto teórico.

- f) De la gráfica N° 18 (Pág. 87) de variación de la carga en Kilogramos en el Límite proporcional versus la variación de e_L/D , se aprecia una tendencia incierta que podría tomarse como paralela a la horizontal. Sin embargo, la teoría sigue una tendencia creciente directamente proporcional entre ambas variables.

Con respecto a esta discrepancia podemos mencionar la cercanía de los puntos con respecto a la carga en cada ensayo. La dispersión no es muy grande como para tener una tendencia marcada entre los puntos de la gráfica.

- g) De la gráfica N° 19 (Pág. 88) de variación de la carga en Kilogramos al 5% de diámetro de tirafón con una línea paralela a la parte proporcional de deformación versus la variación de relación e_L/D presenta una tendencia muy similar a la gráfica N° 18 (Pág. 87). La teoría mencionada refiere una tendencia creciente mientras que la grafica proveniente del ensayo experimental muestra una tendencia diferente.

De la misma forma podemos asociar esta discrepancia a la cercanía entre los puntos de la gráfica, los cuales no permiten apreciar una tendencia marcada.

Finalmente se debe de mencionar que la variable "longitud roscada", no fue claramente definida al momento de los ensayos, pudiendo esta haber causado alguna alteración en los resultados

- h) Por otro lado, los resultados obtenidos no pueden ser totalmente comparados con los obtenidos en la tesis encontrada en la Universidad Nacional de Ingeniería realizada en Uniones estructurales con tirafones con la especie de madera Quinilla Colorada *Manilkara Bidentada*, debido a que no se encontró un patrón de comparación similar al utilizado en la presente tesis.

Asimismo, debemos resaltar que esta tesis se basa principalmente en tres variables que afectan el comportamiento de los tirafones como son: **diámetro de tirafón, longitud de tirafón y relación e_L/D con respecto a la resistencia** (carga en Kilogramos), para lo cual se enfoco el análisis en la variación de cada una de estas variables manteniendo constante el resto en cada caso.

Cuadro N° 13. Resultados de la tesis: Uniones estructurales con tirafones con la especie Quinilla Colorada Manilkana Bidentada.

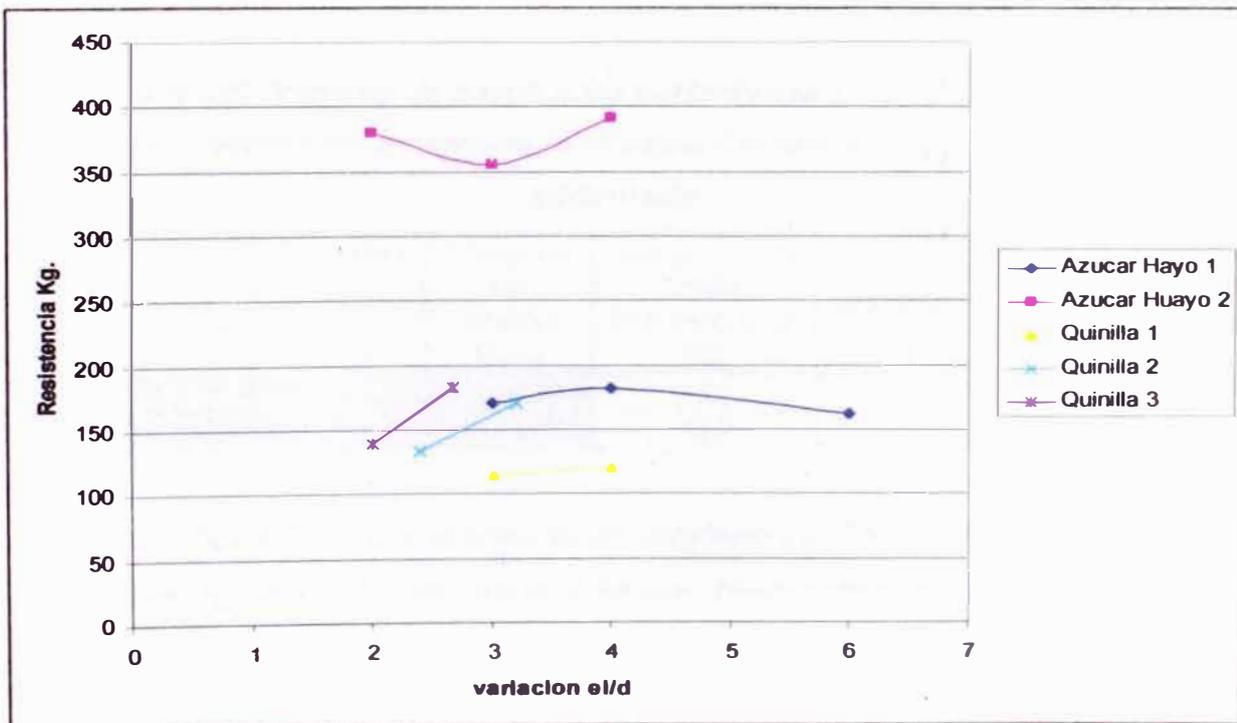
Diámetro	e_L/D	Longitud de tirafón	A	Carga Kg.		Deformaciones mm pulgadas	
				En el limite proporcional	Máxima	En el limite proporcional	Máxima (al 5%)
1/4	2	1.5	1	110.40	359.04	44	447
	3	2.0	2	115.20	323.52	34	516
	4	2.0	3	121.92	321.6	35	298
	6	2.5	4	147.36	341.76	45	442
5/16	1.60	1.5	1	128.35	348.48	35	322
	2.40	2.0	2	133.92	329.76	39	293
	3.20	2.0	3	170.69	435.84	37	359
	4.80	2.5	4	169.9	439.68	39	347
3/8	1.33	1.5	1	149.28	355.68	36	294
	2.00	2.0	2	139.68	358.08	37	160
	2.67	2.0	3	183.36	410.88	49	343
	4.00	2.5	4	192.96	479.04	53	378

Cuadro N° 14. Resultados obtenidos en la presente tesis

Diámetro	e_L/D	Longitud de tirafón	numero ensayo	Carga Kg.		Deformaciones	
				En el limite proporcional	Máxima	En el limite proporcional	Máxima (al 5%)
1/4	2	2.5	1	130	303	25	71
	2	3	2	189	340	26	60
	2	4	3	244	327	46	71
	3	2.5	4	128	185	17	30
	3	3	5	144	238	15	33
	3	4	6	171	298	21	43
	4	4	7	182	306	25	53
	6	4	8	163	233	24	45
5/16	2	4	9	381	528	44	73
	3	4	10	356	544	27	54
	4	4	11	392	520	31	57
3/8	2	4	12	553	713	38	63
	3	4	13	440	601	36	62

- i) Con respecto a la tesis en *Quinilla Colorada*, podemos comentar que fue una tesis que analizo características y factores que afectan a los tirafones en una forma más amplia, de la cual solo se pudo observar con mayor precisión la variación que existe con la variable e_L/D , en el ensayo de Cizallamiento lateral paralelo a la carga.

Grafica N° 20. Variación de la carga en Kilogramos en el limite proporcional vs. La relación e_L/d con los valores obtenidos en la tesis con *Quinilla Colorada Manilkana Bidentada* y los valores obtenidos en la tesis con *madera Azúcar Huayo*



- j) En la gráfica N° 20 (Pág. 93) notamos una tendencia creciente con los resultados obtenidos en la tesis con la madera *Quinilla Colorada*, esta relación directa con la resistencia en una unión estructural, no puede ser claramente establecida (como ya se menciona antes) en la presente tesis debido la dispersión que se observa en esta gráfica.

k) De la misma manera podemos comparar los valores de carga obtenidos para variaciones e_L/D utilizando distintos diámetros de la siguiente forma:

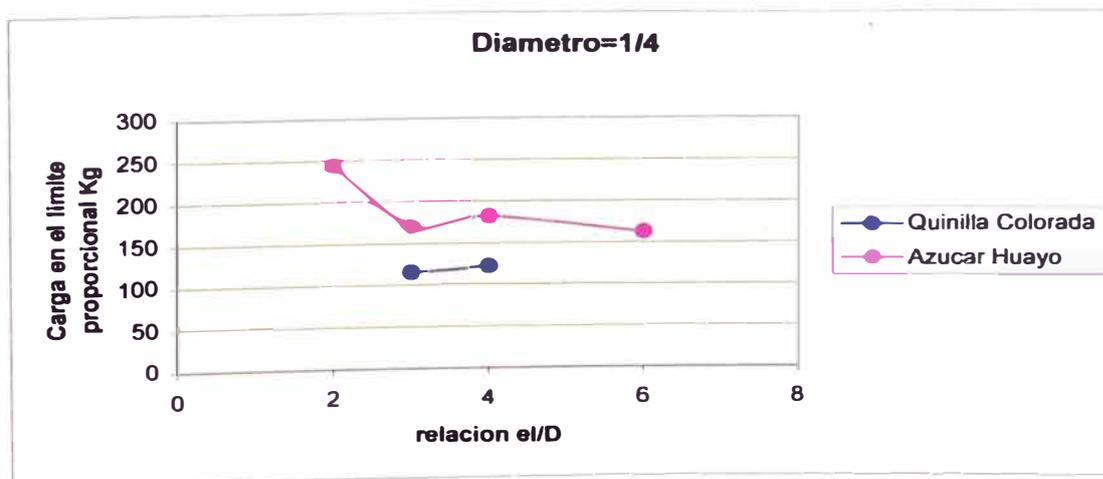
Cuadro N° 17. Valores de carga para variaciones de e_L/d con diámetro y longitud constante utilizando la madera Azúcar Huayo-Hymenaea Courbaril

e_L/D	Diámetro de tirafón pulg	Longitud de tirafón Pulg	Carga en el limite Proporcional Kg	Carga Máxima Kg	Número de ensayo
2	¼	4	244	327	3
3			171	298	6
4			182	306	7
6			163	233	8

Cuadro N° 18. 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 de tirafón pulg	Longitud de tirafón Pulg	Carga en el limite Proporcional Kg	Carga Máxima Kg	Número de ensayo
3	¼	2	115	324	1
4			122	322	2

Gráfica N° 23. Comparación de tendencias al variar la relación e_L/d utilizando las especies de madera Azúcar Huayo-Hymenaea Courbaril y Quinilla Colorada Manilkana Bidentada



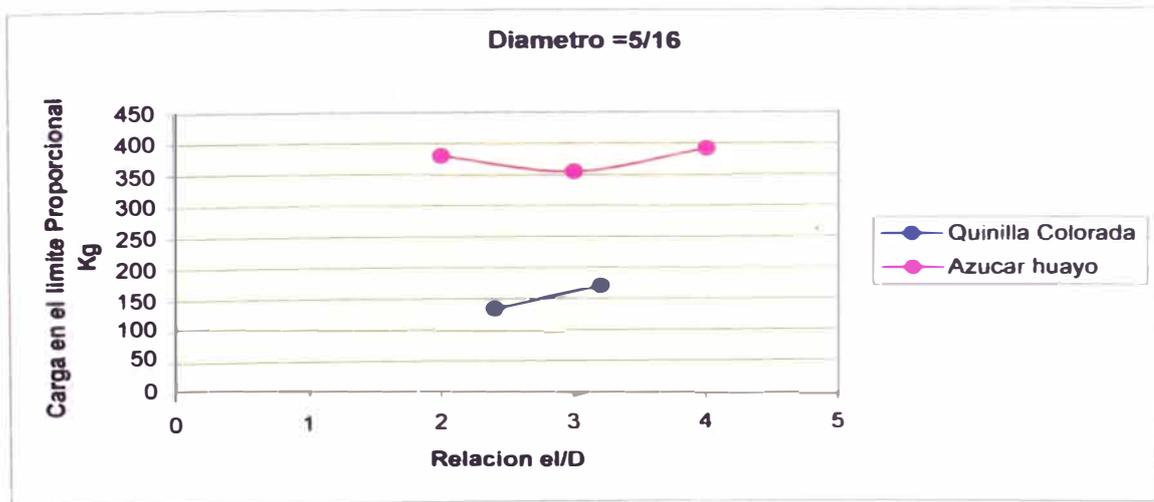
Cuadro N° 19. Valores de carga para variaciones de e_L/D con diámetro y longitud constante utilizando la madera Azúcar Huayo-Hymenaea Courbaril

e_L/D	Diámetro de tirafón pulg	Longitud de tirafón Pulg	Carga en el limite 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° 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 de tirafón pulg	Longitud de tirafón Pulg	Carga en el limite Proporcional Kg	Carga Máxima Kg	Número de ensayo
2.4	5/16	2	134	330	2
3.2			171	436	3

Gráfica N° 24. Comparación de tendencias al variar la relación e_L/D utilizando las especies de madera Azúcar Huayo-Hymenaea Courbaril y Quinilla Colorada Manilkana Bidentada



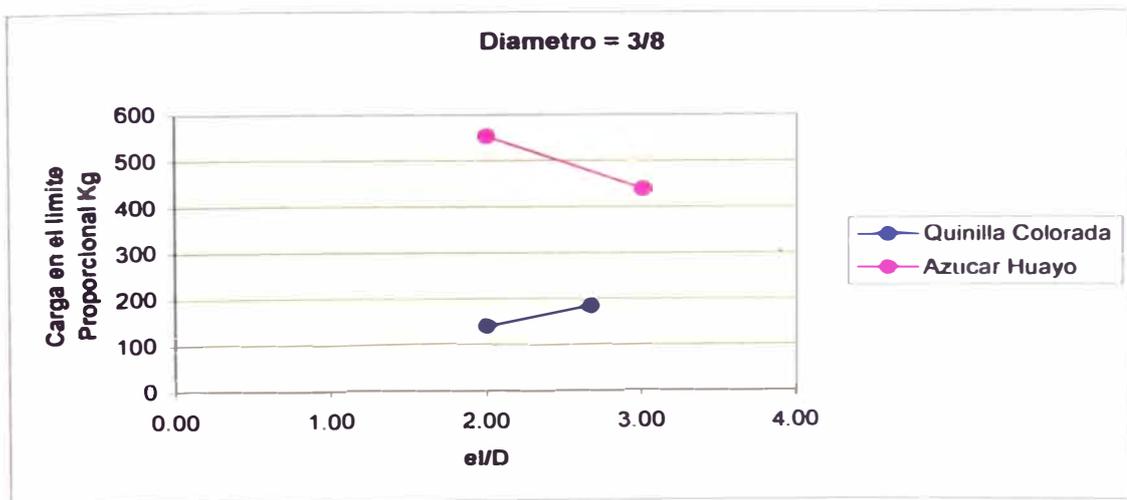
Cuadro N° 21. Valores de carga para variaciones de e_L/D con diámetro y longitud constante utilizando la madera Azúcar Huayo-Hymenaea Courbaril

e_L/D	Diámetro de tirafón pulg	Longitud de tirafón Pulg	Carga en el límite Proporcional Kg	Carga Máxima Kg	Número de ensayo
2	3/8	4	553	713	12
3			440	601	13

Cuadro N° 22. 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 de tirafón pulg	Longitud de tirafón Pulg	Carga en el límite Proporcional Kg	Carga Máxima Kg	Numero de ensayo
2.00	3/8	2	140	358	2
2.67			183	411	3

Grafica N° 25. Comparación de tendencias al variar la relación e_L/D utilizando las especies de madera Azúcar Huayo-Hymenaea Courbaril y Quinilla Colorada Manilkana Bidentada



- l) En la gráfica N° 23 (Pág. 94) se observa una tendencia irregular de la curva e_L/D versus carga en madera Azúcar Huayo la cual presenta solo un tramo con comportamiento directamente proporcional a la relación e_L/D , en contraste con lo encontrado para los tirafones en madera *Quinilla Colorada Manilkana Bidentada* la cual tiene un crecimiento directamente proporcional en toda la curva.
- m) En la gráfica N° 24 (Pág. 95) el ensayo en madera Azúcar Huayo presenta un tendencia que podría ser considerada creciente, lo cual seguiría el patrón encontrado en la tesis de uniones estructurales con tirafones en madera *Quinilla Colorada Manilkana Bidentada*.
- n) La gráfica N° 25 (Pág. 96) muestra una tendencia totalmente opuesta en la relación e_L/D para uniones estructurales con tirafones con el uso de maderas Azúcar Huayo y *Quinilla Colorada Manilkana Bidentada*.
- o) En síntesis, esta variedad en resultados entre tendencias para cada tipo de madera, como ya se menciono anteriormente, sugiere la investigación de la variable e_L/D con una dispersión de datos mayor.

5.3 Análisis costo – beneficio

Para un análisis costo beneficio, es necesario determinar en primera instancia las variables en comparación, como el presente estudio refiere al uso de tirafones (pijas o tirafondos) en uniones estructurales, la materia en comparación, deberían ser los sujetadores, tal es el caso de clavos, pernos y tirafones entre otros.

En la actualidad en nuestro medio, el elemento mas usado en el sector construcción es el perno seguidamente del clavo. El perno como se menciona en capitulos anteriores, presenta un mejor comportamiento en comparación a los clavos, debido a la tuerca que asegura la conexión en ambos extremos. Además, debido al comportamiento que presentan los pernos en las uniones estructurales, los tirafones no pueden ser

totalmente comparados con ellos. Sin embargo, los tirafones son una buena opción, en comparación con los pernos, en casos en los que estos no se puedan o deban utilizar, ya sea por especificaciones arquitectónicas o por procesos constructivos en los cuales el proceso de montaje no permita el uso de pernos que atraviesen las piezas a ser unidas.

Por otro lado, el uso de tirafones es una ventaja justificada cuando la unión estructural es de un espesor considerable y el uso de un perno resultaría en uno de gran longitud, en este caso por motivos económicos debido a la cantidad de pernos a utilizar y/o la disponibilidad de estos en el mercado, el uso de tirafones seria una buena solución.

Con respecto a los precios de tirafones, en el mercado peruano se cuenta con distintos precios que varían en función del proveedor y de la calidad del perno. Un productor confiable en el mercado encontrado durante esta investigación es la empresa Pernos Corona S.A.

En conclusión para hacer un análisis costo - beneficio comparando tirafones con los demás sujetadores existentes en el mercado, se debe tener un escenario más específico dependiendo del proyecto a ser desarrollado, pero por otro lado se puede apreciar que existe muchas ventajas en el uso de tirafones para casos específicos.

CONCLUSIONES

- Los tirafones, pijas o tirafondos se usan en uniones estructurales que deben resistir cargas de corte y extracción, su comportamiento es básicamente similar al de un clavo pero con mayor resistencia y rigidez debido a la restricción impuesta por la rosca al penetrar en la madera.
- Las gráficas de carga – deformación para todos los ensayos realizados presentan dos zonas claramente definidas. La primera con una variación lineal y la segunda con un crecimiento no lineal.
- Al aumentar la longitud de tirafón en una unión estructural se incrementan los valores de resistencia (carga) en el límite proporcional y a la deformación correspondiente al 5% del diámetro del tirafón.
- Al aumentar el diámetro de tirafón en una unión estructural se incrementan los valores de resistencia (carga) en el límite proporcional y a la deformación correspondiente al 5% del diámetro del tirafón.
- Con respecto a la variación de resistencia en función a la relación e_L/D , concluimos que se necesitan mayores números de datos para analizar la tendencia con mayor claridad.
- La densidad promedio, en equilibrio con el ambiente, de la madera Azúcar Huayo - *Hymenaea Courbaril* utilizada para este estudio al momento del ensayo fue de 0.87 gr/cm^3 .
- La densidad promedio en estado seco de la madera Azúcar Huayo utilizada para este estudio fue de 0.84 gr/cm^3 .
- El contenido de humedad de la madera Azúcar- *Hymenaea Courbaril* Huayo al momento de ensayo fue de 12%.

- Toda madera húmeda puede causar problemas de corrosión en tirafones que no tengan recubrimiento adecuado.
- Uno de los factores más importantes que afecta a la resistencia en las uniones estructurales es la madera y específicamente su densidad.
- La madera Azúcar- *Hymenaea Courbaril* Huayo presentó un comportamiento mecánico bueno al momento de ensayo, el cual podría ser extendido a maderas de similares características.
- Las uniones con tirafones, pijas o tirafondos de diámetros pequeños fallaron por rotura del tirafón, mientras que las uniones con tirafones de diámetros mayores fallaron por rotura de la madera.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda incluir la variable “longitud de vástago de tirafón en la pieza principal” en futuros ensayos, para analizar así el comportamiento de otras variables con mayor exactitud y para establecer una relación numérica fundamentada experimentalmente.
- Se recomienda realizar ensayos con la variable “profundidad de penetración” la cual, para este estudio (como se menciono al inicio) fue de siete veces el diámetro de tirafón ($7D$), asociado a maderas densas.
- Para analizar la variación de relación e_L/D con respecto a la carga en kg se recomienda ensayar más puntos para definir una tendencia.
- Se recomienda, para el ensayo de cizallamiento simple con carga paralela a la fibra, encontrar una mejor manera de mantener fijo el deformímetro durante el ensayo, para evitar su desplazamiento, y así obtener una lectura de deformación mas precisa.
- Se recomienda hacer ensayos de resistencia en probetas con tirafones atornillados con una llave especial y untarlas con ceras o lubricantes, y verificar si no altera la resistencia final de la unión estructural.
- Es necesario atornillar los tirafones, pijas o tirafondos de manera constante y con un torquimetro o una llave adecuada, nunca hincarlos o golpearlos con martillo, porque se pueden quebrar por dentro.
- Es recomendable asegurar una velocidad de aplicación de carga constante durante los ensayos.
- Se recomienda un mayor número de repeticiones para cada ensayo y realizar más de dos series comparativas del mismo ensayo, para poder de esa forma visualizar las tendencias con mayor precisión.

- Se recomienda realizar ensayos con distintas maderas procedentes de nuestra amazonía, para seguir incorporándolas al mercado (Sector construcción).
- Se recomienda seguir investigando el comportamiento de los tirafones, pijas o tirafondos en uniones estructurales, el cual presenta una variedad de opciones de ensayos como ya se mencionó hasta el momento.
- Se recomienda hacer una selección de tirafones, pijas o tirafondos de iguales dimensiones y características mecánicas para futuros ensayos, debido a la gran variedad de proveedores que existen actualmente en el mercado peruano.

BIBLIOGRAFIA

1. ARRUE GARDELLA, Hugo. "Uniones Empernadas de Madera Tornillo *cedrelinga catanaeformis duke*". 1969. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería Civil - UNI
2. CANALES MONTES, Juan Abdón. "Resistencia Lateral en Uniones Clavadas de la Especie Forestal Cumala Blanca (*Virola Sp*) y Copaiba (*Copaifera* o *Officinalis*)". 1976. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería Civil - UNI
3. JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA. Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino". 1984. Cuarta edición. Lima
4. LA ROSA MUTANTE, Manuel R. "Uniones Estructurales con Tirafones en Madera Tornillo. *cedrelinga catanaeformis duke*)". 1984. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina.
5. MCLAIN, T. E.; SOLTIS L.; POLLOCK, D. "LRFD for Engineered Wood Structures Connection Behavioral Equations".
6. MOSS, P. "Multiple – Bolted Joints in Wood Members". United States Department of Agriculture. Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin.
7. SOLARI RUIZ, C.; VELÁSQUEZ LEÓN A. "Estudio del Comportamiento Físico – Mecánico y de Uniones Empernadas de la Madera *aspidosperma apocynaceae* (*Quillobordon*) ".1971. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería Civil - UNI

8. American Standard Test Method "Standard Test Methods for Mechanical Fasteners in Wood". 1761-1995.
9. Universidad de Santiago de Chile. Informe N° 24 "Las Uniones en la madera Estructural"- segunda parte. 1989.
10. Trayer, G. "Uniones Empernadas hechas con Pino Oregon, Pino Amarillo Serrano, Abeto Sitlca, Roble y Arce". Estados Unidos de America. 1980
11. Universidad de Santiago de Chile. Uniones en la Madera Estructural Clavos y Tirafondos. Informe Técnico N° 120. Chile. 1989

ANEXOS

	Pág.
A. RELACION DE FIGURAS	
Figura 1: Estructura de la madera	12
Figura 2: Estructura anatómica de la madera latifoliada	14
Figura 3: Estructura anatómica de la madera conífera	14
Figura 4: Tipos de corte en maderas	17
Figura 5: Formas de cubicación de la madera	19
Figura 6: Dirección ortogonal de la madera	24
Figura 7: Curva esfuerzo-deformación para maderas latifoliadas	26
Figura 8: Esquema del tirafón	30
Figura 9: Influencia del espesor de la pieza lateral sobre la resistencia de una unión con tirafón	38
Figura 10: Influencia de la penetración del vástago del tirafón en la pieza principal sobre la resistencia	40
Figura 11: Influencia del contenido de humedad en la resistencia	41
Figura 12: Esquema de probeta de ensayo en cizallamiento simple con carga paralela a la fibra	43
Figura 13 Dimensiones de la probeta de ensayo	51
Figura 14: Curva carga – deformación – Fuente: NDS COMMENTARY AMERICAN FOREST & PAPER ASOCIATION	57
B. RELACION DE FOTOS	
Foto 1: Madera Azúcar Huayo-- <i>Hymenaea Courbaril</i>	44
Foto 2: Tirafones	28
Foto 3: Listones de madera Azúcar Huayo- <i>Hymenaea Courbaril</i>	48
Foto 4: Selección de listones para cortado	49
Foto 5: Cortado de madera en medidas requeridas	49
Foto 6: Madera cortada para elaboración de probetas	50
Foto 7: Perforación de la pieza principal	51
Foto 8: Perforación de la pieza lateral	52
<i>Uso de tirafones en uniones estructurales con la especie de madera tropical Azúcar Huayo - Hymenaea Courbaril. Alvaro Ernesto Perez Chapiroan</i>	105

Foto 9: Piezas perforadas con agujeros guías	52
Foto 10: Atornillado de piezas	53
Foto 11: Maquina universal AMSLER	53
Foto 12: Deformimetro utilizado en los ensayos	54
Foto 13: Preparación de abrazaderas	54
Foto 14: Abrazaderas	55
Foto 15: Probetas de ensayo con abrazadera en la pieza lateral	55
Foto 16: Pieza que restringe movimientos laterales	56
Foto 17: Muestras para ensayos de densidad	58
Foto 18: Muestras de 4 cm x 4 cm x 4 cm	58
Foto 19: Peso de muestras en el laboratorio	59
Foto 20: Secado de muestras al horno	59
Foto 21: Muestras para ensayo de contenido de humedad	64

C. RELACION DE TABLAS

Tabla 1: Variación de diámetros de tirafones	46
Tabla 2: Variación de relación e_L/D	46
Tabla 3: Variación de longitud del tirafón	47

D. RELACION DE CUADROS

Cuadro 1: Clasificación de las maderas en función a sus densidades básicas	18
Cuadro 2: Variación de las propiedades mecánicas para una variación unitaria en el contenido de humedad	42
Cuadro 3: Dimensión de las probetas de ensayo	47
Cuadro 4: Valores para ensayo de densidad en estado ambiente	60
Cuadro 5: Densidades en estado ambiente en cada ensayo	61
Cuadro 6: Valores de ensayos para hallar la densidad seca	62
Cuadro 7: Valores de densidad seca en cada ensayo	63
Cuadro 8: Datos de ensayo para contenido de humedad	65
Cuadro 9: Contenidos de humedad en cada ensayo	65

Cuadro 10: Valores de cargas y deformaciones en el límite proporcional y al 5% del diámetro para cada ensayo en cada repetición	73, 74, 75, 76, 77
Cuadro 11: Cuadro resumen resultado promedio	78
Cuadro 12: Cuadro resumen	79
Cuadro 13: Resultados de la tesis: Uniones estructurales con tirafones con la especie <i>Quinilla Colorada Manilkana Bidentada</i>	92
Cuadro 14: Resultados obtenidos de la presente tesis	92
Cuadro 15: Variación de longitud en tirafón	82
Cuadro 16: Variación de diámetro de tirafón	85
Cuadro 17: Valores de carga para variaciones de e_L/D con diámetro y longitud constante utilizando la madera Azúcar Huayo	94
Cuadro 18: Valores de carga para variaciones de e_L/D con diámetro y longitud constante utilizando la madera <i>Quinilla Colorada Manilkana Bidentada</i>	94
Cuadro 19: Valores de carga para variaciones de e_L/D con diámetro y longitud constante utilizando la madera Azúcar Huayo	95
Cuadro 20: Valores de carga para variaciones de e_L/D con diámetro y longitud constante utilizando la madera <i>Quinilla Colorada Manilkana Bidentada</i>	95
Cuadro 21: Valores de carga para variaciones de e_L/D con diámetro y longitud constante utilizando la madera Azúcar Huayo	96
Cuadro 22: Valores de carga para variaciones de e_L/D con diámetro y longitud constante utilizando la madera <i>Quinilla Colorada Manilkana Bidentada</i>	96

E. RELACION DE GRAFICAS

Grafica 1: Ensayo típico número 1	66
Grafica 2: Ensayo típico número 2	67
Grafica 3: Ensayo típico número 3	67
Grafica 4: Ensayo típico número 4	68
Grafica 5: Ensayo típico número 5	68
Grafica 6: Ensayo típico número 6	69
Grafica 7: Ensayo típico número 7	69

Grafica 8: Ensayo típico número 8	70
Grafica 9: Ensayo típico número 9	70
Grafica 10: Ensayo típico número 10	71
Grafica 11: Ensayo típico número 11	71
Grafica 12: Ensayo típico número 12	72
Grafica 13: Ensayo típico número 13	72
Grafica 14: Variación de la carga en Kilogramos en el Limite proporcional versus la variación de longitud de tirafón en pulgadas	79
Grafica 15: Variación de la carga en Kilogramos al 5% del diámetro desde el limite proporcional versus la variación de longitud de tirafón en pulgadas	83
Grafica 16: Variación de la carga en Kilogramos en el limite proporcional versus la variación de diámetro de tirafón en pulgadas	84
Grafica 17: Variación de la carga en Kilogramos al 5% del diámetro de tirafón desde el limite proporcional versus la variación de diámetro de tirafón en pulgadas	86
Grafica 18: Variación de la carga en Kilogramos en el limite proporcional versus la variación de la relación e_L/D	87
Grafica 19: Variación de la carga en Kilogramos al 5% del diámetro de tirafón con una línea paralela a la parte proporcional de deformación versus la variación de la relación e_L/D	88
Grafica 20. Variación de la carga en Kilogramos en el limite proporcional versus la relación e/d con los valores obtenidos en la tesis con <i>Quinilla Colorada Manilkana Bidentada</i> y los valores obtenidos en la tesis con madera Azúcar Huayo	93
Gráfica 21: Variación de la carga en Kilogramos en el limite proporcional versus la variación de longitud de tirafón en pulgadas	82
Gráfica 22: Variación de la carga en Kilogramos en el límite proporcional versus la variación de diámetro de tirafón en pulgadas	85
Gráfica 23: Comparación de tendencias al variar la relación e/d utilizando las especies de madera Azúcar Huayo y <i>Quinilla Colorada Manilkana Bidentada</i>	94
Gráfica 24: Comparación de tendencias al variar la relación e_L/D utilizando las especies de madera Azúcar Huayo y <i>Quinilla Colorada Manilkana Bidentada</i>	95

Gráfica 25: Comparación de tendencias al variar la relación e_L/D utilizando las especies de madera Azúcar Huayo y *Quinilla Colorada*
Manilkana Bidentada

96

F. TABLAS DE DATOS DE CADA ENSAYOS DE CIZALLAMIENTO SIMPLE

ENSAYO N° 1	110
ENSAYO N° 2	111
ENSAYO N° 3	112
ENSAYO N° 4	113
ENSAYO N° 5	114
ENSAYO N° 6	115
ENSAYO N° 7	116
ENSAYO N° 8	117
ENSAYO N° 9	118
ENSAYO N° 10	119
ENSAYO N° 11	120
ENSAYO N° 12	121
ENSAYO N° 13	122

F. TABLAS DE DATOS DE CADA ENSAYOS DE CIZALLAMIENTO SIMPLE

ENSAYO NUMERO 1								
PIEZA PRINCIPAL			PIEZA LATERAL			TIRAFON		e _L /D
LARGO cm	ANCHO cm	ESPESOR cm	LARGO cm	ANCHO cm	ESPESOR cm	DIAMETRO pulgadas	LONGITUD pulgadas	2
30	6.5	4	30	1.3	4	1/4	2.5	

CARGA Kg	DEFORMACIONES PARA CADA REPETICION									
	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	10	9	9	9	19	13	12	9	10	9
100	18	13	15	19	31	24	22	18	19	18
150	27	19		35	42	41	37	26	25	26
200	38	31	42	56	65	55	56	37	36	37
250	40	39	55	69	84	66	72	46	45	41
300	56	51	73	85	105	82	88	56	57	55
350	73	67	94	107	134	100	111	67	69	72
400	94	80	110	126	175	119	137	87	89	91
450	120	102	159	150	225	136	174	113	111	118
500	150	134	200	193	279	161	216	148	151	160
550	166	172	236	252	333	187	257	182	184	179
600	218	219	272	290	382	225	292	215	217	210
650	255	267	312	329	465	282	336	264	260	255
700	302	303	341	370		326	378	318	322	318
750	333	340	377	405		377			366	
800	369	377	418	455		436				
850	411	412	446	502						
900			461							
950			480							
1000										
Carga final Kg	850	850	870	850	650	800	700	700	720	690

ENSAYO NUMERO 2								
PIEZA PRINCIPAL			PIEZA LATERAL			TIRAFON		e_L/D
LARGO cm	ANCHO cm	ESPESOR cm	LARGO cm	ANCHO cm	ESPESOR cm	DIAMETRO pulgadas	LONGITUD pulgadas	2
30	7.5	4	30	1.3	4	1/4	3	

CARGA kg	DEFORMACIONES PARA CADA REPETICION									
	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	6	3	5	11	8	9	6	3	6	9
100	11	6	9	18	16	18	10	5	14	17
150	17	13	16	24	23	27	14	8	22	25
200	28	21	25	33	35	37	24	13	31	33
250	36	28	37	43	42	47	36	19	41	43
300	48	40	56	54	51	60	47	27	52	54
350	61	54	74	65	65	76	59	40	63	65
400	80	74	101	86	82	93	81	55	79	82
450	101	101	136	106	101	117	111	78	103	109
500	126	137	183	134	137	149	162	111	132	138
550	168	195	253	180	188	194	221	157	179	183
600	220	306	328	244	254	242	275	207	250	266
650	285		405	291		314	348	252	298	303
700	333		505	337		390		302		
750	381			382				333		
800	422			435						
850	469			498						
900										
950										
1000										
carga kg	850	600	690	830	600	680	650	750	630	640

ENSAYO NUMERO 3								
PIEZA PRINCIPAL			PIEZA LATERAL			TIRAFON		e _L /D
LARGO cm	ANCHO cm	ESPESOR cm	LARGO cm	ANCHO cm	ESPESOR cm	DIAMETRO pulgadas	LONGITUD pulgadas	2
30	10	4	30	1.3	4	1/4	4	

CARGA kg	DEFORMACIONES PARA CADA REPETICION									
	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	6	7	10	12	13	12	6	9	11	9
100	11	12	17	21	22	24	11	16	19	18
150	20	18	25	29	32	34	17	23	30	31
200	29	27	33	39	43	42	29	32	41	39
250	37	39	44	49	55	51	43	45	53	51
300	54	60	58	62	75	66	59	63	62	60
350	72	85	83	80	99	84	77	88	79	81
400	91	114	116	107	123	104	101	112	101	104
450	111	149	159	147	161	129	140	145	131	129
500	135	184	215	205	210	161	200	189	158	156
550	166	234	279	315	266	204	252	246	199	203
600	214	295				249	299		238	240
650	277	365				300	344		302	298
700	340	422					380			
750	393	475					420			
800	435						475			
850	473									
900										
950										
1000										
carga kg	850	750	550	540	550	630	800	550	650	640

ENSAYO NUMERO 4								
PIEZA PRINCIPAL			PIEZA LATERAL			TIRAFON		e_L/D
LARGO cm	ANCHO cm	ESPEJOR cm	LARGO cm	ANCHO cm	ESPEJOR cm	DIAMETRO pulgadas	LONGITUD pulgadas	3
30	6	4	30	1.9	4	1/4	2.5	

CARGA kg	DEFORMACIONES PARA CADA REPETICION									
	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	4	1	6	3	6	8	6	5	7	6
100	8	3	13	12	11	17	13	12	11	12
150	15	12	21	25	22	24	22	23	19	24
200	38	33	33	53	35	36	33	35	31	32
250	55	66	41	83	44	46	43	43	40	41
300	83	86	57	107	54	56	55	55	53	51
350	102	115	68	148	65	69	66	66	63	67
400	124	159	79	180	78	83	79	80	77	81
450	155	194	102	214	95	101	95	98	90	101
500	185	241	119	252	118	131	121	124	127	122
550	217	296	152	293	154	163	156	157	160	160
600	248	378	201	325	185	190	191	199	200	201
650	284	452	235	377	214	220	221	237	229	239
700	312	527	259		239	244	251	266	260	259
750	353		292		262	267	279	296	280	294
800	410		339		287	294	306	345	300	340
850			379		309	317	335	381	329	
900					338		367			
950										
1000										
carga kg	800	660	745	670	870	850	860	880	830	810

ENSAYO NUMERO 5								
PIEZA PRINCIPAL			PIEZA LATERAL			TIRAFON		e _L /D
LARGO cm	ANCHO cm	ESPEJOR cm	LARGO cm	ANCHO cm	ESPEJOR cm	DIAMETRO pulgadas	LONGITUD pulgadas	3
30	7.5	4	30	1.9	4	1/4	3	

CARGA kg	DEFORMACIONES PARA CADA REPETICION									
	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	5.10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	6	1	2	3	2	10	8	5	5	7
100	12	3	3.5	10	4	17	19	8	9	10
150	17	9	7	22	11	27	30	12	16	12
200	24	19	13	36	19	38	49	22	28	19
250	34	35	20	50	26	49	57	29	39	28
300	46	54	31	68	35	64	76	46	49	44
350	61	72	44	93	50	76	102	59	63	60
400	84	90	54	136	70	97	134	75	81	72
450	124	114	68	181	89	133	170	94	107	96
500	170	142	92	213	131	178	204	129	145	127
550	204	172	134	243	172	219	237	168	177	170
600	238	202	181	281	205	246	270	201	210	206
650	266	228	203	311	239	275	303	229	236	230
700	294	253	239	345	263	303	342	252	254	251
750	324	276		388	287	336	379	277	275	275
800	358	302	285	456	315	369	415	298	300	295
850	417	324	309	496	338	419	461	322	323	319
900		355	334		363	470	521	355	341	360
950		396	360		394			416	381	410
1000		419	390		432				414	
1050			425		492					
1100			458							
1150			498							
carga kg	910	960	1150	850	1050	900	900	960	1000	970

ENSAYO NUMERO 6								
PIEZA PRINCIPAL			PIEZA LATERAL			TIRAFON		e _L /D
LARGO cm	ANCHO cm	ESPESOR cm	LARGO cm	ANCHO cm	ESPESOR cm	DIAMETRO pulgadas	LONGITUD pulgadas	3
30	9.5	4	30	1.9	4	1/4	4	

CARGA kg	DEFORMACIONES PARA CADA REPETICION									
	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	6.10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	4	3	5	9	9	6	6	5	5	6
100	7	7	8	19	20	10	12	9	11	10
150	13	13	15	28	28	15	19	15	21	15
200	20	24	24	41	42	23	27	22	25	23
250	28	26	30	46	49	31	39	29	40	31
300	37	34	39	58	58	39	54	36	56	37
350	49	44	52	74	72	48	68	48	66	50
400	64	58	67	90	86	62	87	60	85	59
450	89	75	90	118	107	81	117	83	115	86
500	125	103	137	179	146	120	171	111	169	115
550	170	144	180	221	196	161	211	152	210	159
600	211	187	211	259	230	196	243	191	240	195
650	242	221	243	295	264	226	279	236	281	233
700	265	254	269	320	290	250	314	273	311	277
750	287	277	296	351	319	273	350	307	355	302
800	313	300	324	378	352	296	387	339	388	341
850	335	324	352	405	380	318	424	373	420	371
900	362	352	378	436	418	341	457	408	450	402
950	386	382	403	468	457	366	497	449	501	451
1000	410	411	429	504	492	392	564	492	566	501
1050	440	455	465	550	540	419	610		606	
1100	476	475		592	582	451				
1150	542			642	628	493				
1200										
CARGA kg	1140	1050	1050	1130	1130	1140	1050	1000	1040	1100

ENSAYO NUMERO 7								
PIEZA PRINCIPAL			PIEZA LATERAL			TIRAFON		e _L /D
LARGO cm	ANCHO cm	ESPEJOR cm	LARGO cm	ANCHO cm	ESPEJOR cm	DIAMETRO pulgadas	LONGITUD pulgadas	4
30	9	4	30	2.6	4	1/4	4	

CARGA kg	DEFORMACIONES PARA CADA REPETICION									
	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	7.10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	2	4	4	3	8	4	6	5	3	5
100	6	9	13	11	19	11	16	11	12	10
150	16	15	22	17	29	19	24	17	21	17
200	27	23	31	31	42	31	34	24	31	30
250	41	29	37	41	53	45	47	31	39	40
300	56	40	48	52	65	62	64	39	49	50
350	74	54	62	72	77	91	87	50	65	73
400	96	77	79	101	96	132	121	63	81	103
450	128	102	102	134	136	160	156	77	105	133
500	155	135	134	169	189	192	182	95	137	170
550	186	169	172	195	228	218	204	126	175	199
600	208	202	196	219	255	242	222	159	197	220
650	227	224	225	240	278	269	244	195	222	243
700	246	250	248	259	300	295	264	221	250	261
750	268	273	270	281	319	322	286	243	271	283
800	295	294	292	306	339	352	312	261	299	309
850	316	317	319	332	361	391		278	321	333
900	339	344	338	364	379			296	340	368
950	373	371	370	402	401			313	372	401
1000	408	415	395	430	423			331	401	437
1050			438		446			349	441	
1100					469			377		
1150								402		
1200								432		
1250								457		
1300								492		
Carga kg	1000	1000	1050	960	1100	850	800	1300	1050	1040

ENSAYO NUMERO 8								
PIEZA PRINCIPAL			PIEZA LATERAL			TIRAFON		e _L /D
LARGO cm	ANCHO cm	ESPESOR cm	LARGO cm	ANCHO cm	ESPESOR cm	DIAMETRO pulgadas	LONGITUD pulgadas	6
30	7.5	4	30	3.8	4	1/4	4	

CARGA kg	DEFORMACIONES PARA CADA REPETICION									
	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8	8.9	8.10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	3	1	1	4	2	6	6	8	9	3
100	5	5	8	15	8	14	11	14	21	7
150	6	12	21	30	17	30	24	25	34	19
200	8	20	40	50	31	50	44	42	50	39
250	11	31	65	64	40	69	59	67	71	63
300	23	47	96	84	61	108	80	97	102	92
350	47	66	141	103	84	153	106	141	146	139
400	68	91	179	137	109	182	136	178	174	177
450	93	118	205	162	133	202	185	211	200	199
500	119	147	230	188	156	219	229	226	221	229
550	146	176	253	215	179	235	321	243	237	251
600	171	206	280	238	201	253	357	257	252	279
650	191	232	307	259	224	273		273	267	302
700	210	256	329	281	247	289		287	281	327
750	230	284	349	316	266	320		301	294	344
800	249	312	386	351	286	344		315	308	385
850	268	336	418	384	309	371		331	320	416
900	292	360	472	420	334			349	335	470
950	314	386	531	460	362			372	352	529
1000	344	420	564	503	390			405	369	562
1050	382	500	606	565	423				391	602
1100			624		455				413	619
1150			663						436	
1200									461	
1250									489	
carga kg	1060	1040	1050	1060	1100	850	600	1000	1250	1080

ENSAYO NUMERO 9								
PIEZA PRINCIPAL			PIEZA LATERAL			TIRAFON		e _L /D
LARGO cm	ANCHO cm	ESPEJOR cm	LARGO cm	ANCHO cm	ESPEJOR cm	DIAMETRO pulgadas	LONGITUD pulgadas	2
30	10	4	30	1.6	4	5/16	4	

CARGA kg	DEFORMACIONES PARA CADA REPETICION									
	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	9.10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	4	6	4	6	10	9	6	9	11	10
100	7	10	10	11	19	18	12	14	20	17
150	12	13	14	18	25	26	18	21	24	24
200	18	16	17	26	31	33	24	26	30	31
250	23	19	20	31	39	38	28	31	38	37
300	27	22	22	35	43	42	32	37	45	44
350	32	26	26	40	50	46	36	42	51	47
400	39	31	31	46	57	52	41	49	55	51
450	47	38	35	51	67	62	47	56	66	63
500	57	46	42	61	82	75	56	67	80	74
550	82	64	48	75	104	94	66	81	101	96
600	127	94	58	94	145	112	80	100	144	109
650	184	132	71	114	202	141	102	130	199	139
700	233	150	90		238	203	139	154	239	200
750	295		115		281	259	176	180	280	249
800			145		322			210	319	
850			171		381			246	378	
900			206					293		
950			248					327		
1000			280					367		
1050			320					407		
1100			331					470		
1150								525		
carga kg	750	650	1050	610	850	750	750	1150	840	750

ENSAYO NUMERO 10								
PIEZA PRINCIPAL			PIEZA LATERAL			TIRAFON		e_L/D
LARGO cm	ANCHO cm	ESPEJOR cm	LARGO cm	ANCHO cm	ESPEJOR cm	DIAMETRO pulgadas	LONGITUD pulgadas	3
30	9	4	30	2.4	4	5/16	4	

CARGA kg	DEFORMACIONES PARA CADA REPETICION									
	10.1	10.2	10.3	10.4	10.5	10.6	10.7	10.8	10.9	10.10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	2	3	3	3	4	3	4.5	4	4	3
100	4	5	5	9	10	7	8	7	8	7
150	6	7	8	15	17	11	11	10	11	10
200	9	9	12	23	22	14	15	15	15	13
250	10.5	10	14	26	26	17	19	19	18	20
300	13	12	18	31	29	20	24	24	21	25
350	16.5	13	22	37	34	24	27	31	25	28
400	19	15	28	46	39	29	33	36	31	32
450	23	18	35	55	48	35	40	48	36	41
500	28	21	44	69	61	39	51	62	41	50
550	35	27	61	86	77	42	60	84	43	61
600	44	34	85	115	98	51	73	107	52	72
650	56	46	119	252	125	62	98	146	61	99
700	77	65	165	298	171	82	127	191	81	126
750	110	105	201	334	209	117	174	226	118	175
800	152	162	235	367	253	163	208	265	169	206
850	189	191	266	398	287	201	243	293	201	240
900	221	223	291	426	320	236	273	323	235	269
950	250	249	315	455	347	265	302	345	267	299
1000	275	275	338	484	377	294	328	373	299	325
1050	302	302	365	514	413	319	385	394	321	338
1100	326	329	392	545	442	339	412	419	340	411
1150	353	355	427	579	474	365	442	446	368	441
1200	377	382	447	618	501	390	478	479	391	475
1250	401	405	478	659		412	517	511	410	515
1300	431	531	508			436			433	
1350	453	566								
1400	489									
1450	521									
1500	569									
carga kg	1490	1350	1300	1250	1200	1300	1250	1250	1280	1250

ENSAYO NUMERO 11								
PIEZA PRINCIPAL			PIEZA LATERAL			TIRAFON		e _L /D
LARGO cm	ANCHO cm	ESPELOR cm	LARGO cm	ANCHO cm	ESPELOR cm	DIAMETRO pulgadas	LONGITUD pulgadas	4
30	8.5	4	30	3.2	4	5/16	4	

CARGA kg	DEFORMACIONES PARA CADA REPETICION									
	11.1	11.2	11.3	11.4	11.5	11.6	11.7	11.8	11.9	11.10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	2	2	1	2	4	1	3	2	3	2
100	4	6	2	4	9	3	6	4	6	4
150	9	10	4	6	13	6	9.5	9	9.5	9
200	14	14	7	10	19	8	14	14	14	14
250	17	18	9	11	23	10	17	18	17	18
300	20	23	13	14	28	11	21	23	21	23
350	24	27	18	17	35	15	28	29	28	29
400	28	35	23	22	43	20	39	37	39	37
450	34	43	30	28	55	28	51	47	51	47
500	41	55	40	37	68	36	67	61	67	61
550	51	73	55	49	84	45	85	80	85	80
600	65	100	82	68	106	64	115	100	115	100
650	88	132	121	102	136	89	152	127	152	127
700	118	162	159	135	165	124	177	148	177	148
750	152	192	186	172	196	162	201	169	201	169
800	179	219	213	204	226	199	223	189	223	189
850	203	240	237	225	248	226	245	209	245	209
900	225	259	259	251	266	249	262	230	262	230
950	249	277	280	272	288	269	279	246	279	246
1000	269	297	299	297	303	287	295	265	295	265
1050	292	317	319	312	317	306	311	283	311	283
1100		332	340	334	331	319	327	303	327	303
1150			362	358	348	335	340	326	340	326
1200			386	376	361	352	357	361	357	361
1250			405	398	377	373	371	385	371	385
1300			436	422	397	388	396	413	396	413
1350			489	448	411	408	416	448	416	448
1400				477	432	425	436	479	436	479
1450						447		519		519
1500						465				
1550						489				
1600						530				
carga kg	1050	1100	1350	1400	1400	1600	1400	1450	1400	1450

ENSAYO NUMERO 12								
PIEZA PRINCIPAL			PIEZA LATERAL			TIRAFON		e _L /D
LARGO cm	ANCHO cm	ESPEJOR cm	LARGO cm	ANCHO cm	ESPEJOR cm	DIAMETRO pulgadas	LONGITUD pulgadas	2
30	9.5	4	30	1.9	4	3/8	4	

CARGA kg	DEFORMACIONES PARA CADA REPETICION									
	12.1	12.2	12.3	12.4	12.5	12.6	12.7	12.8	12.9	12.10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	4	4	3	3	1	5	6	9	1	6
100	7	7	5	5	7	8	11	15	7	11
150	11	10	7	7	11	12	14	19	11	14
200	14	13	9	9	15	16	16	24	15	16
250	16	16	11	11	18	19	19	27	18	19
300	20	19	14	14	20	22	21	29	20	21
350	23	22	17	16	23	26	23	32	23	23
400	25	25	19	19	26	32	26	35	26	26
450	29	28	22	23	29	39	29	37	29	29
500	33	32	26	28	35	47	32	40	35	32
550	36	38	30	35	40	57	35	45	40	35
600	44	47	36	43	48	68	38	49	48	38
650	49	57	43	54	57	84	42	56	57	42
700	58	69	52	67	72	108	46	63	72	46
750	69	83	62	86	89	130	51	73	89	51
800	81	98	73	106	107	149	58	86	107	58
850	99	115	86	128	131	168	66	100	131	66
900	120	137	100	159	156	188	74	116	156	74
950		164	116	189	188	208	87	135	188	87
1000		194	132	227	218	229	100	159	218	100
1050		228	153		244	250	119	185	244	119
1100		264	172		268	273	141	214	268	141
1150		315	194		291	300	174	261	291	174
1200		373	221		327	326	213		327	213
1250			243		382	364	261		382	261
1300			274		403	378	301		403	301
1350			302		478	408			478	
1400			341			480				
1450			354							
1500										
carga kg	900	1200	1400	1000	1300	1400	1270	1150	1350	1300

ENSAYO NUMERO 13								
PIEZA PRINCIPAL			PIEZA LATERAL			TIRAFON		e _L /D
LARGO cm	ANCHO cm	ESPEJOR cm	LARGO cm	ANCHO cm	ESPEJOR cm	DIAMETRO pulgadas	LONGITUD pulgadas	3
30	9	4	30	2.9	4	3/8	4	

CARGA kg	DEFORMACIONES PARA CADA REPETICION									
	13.1	13.2	13.3	13.4	13.5	13.6	13.7	13.8	13.9	13.10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	3	2	1	3	5	4	5	3	4	5
100	6	5	2	4	9	8	10	5	9	11
150	9	7	4	6	12	12	14	6	13	13
200	12	10	7	9	15	16	20	9	19	19
250	15	13	10	11	18	20	25	12	24	24
300	18	17	12	13	20	25	30	13	29	31
350	22	21	16	16	24	30	37	17	38	36
400	26	27	20	19	27	35	43	19	45	44
450	30	33	25	24	32	42	51	23	52	54
500	34	43	31	28	38	52	57	27	58	59
550	39	55	44	35	44	62	66	34	67	67
600	45	68	55	46	54	73	72	45	73	73
650	51	83	66	57	68	84	79	56	81	81
700	60	100	78	68	81	95	87	67	88	88
750	72	116	93	80	94	107	96	79	99	96
800	89	138	107	92	110	125	107	90	109	109
850	99	166	122	106	125	142	121	108	122	122
900	116	204	141	124	143	162	137	126	139	139
950	137	238	169	139	164	184	156	141	158	160
1000	164	274	200	162	189	210	180	163	181	181
1050	196	311	240	188	219	236	206	190	209	208
1100	227	348		215	246	264	237	217	241	240
1150	258	394		245	275	302	270	148	269	275
1200	287	434		266	301	341	304	169	301	306
1250	320	492		297	327	391	331	300	333	335
1300	349	576		319	354	416	364	321	366	369
1350	384	655		346	377	451	399	345	402	407
1400	418	700		374	403		437	375	439	444
1450	452			401	434		492	403	499	502
1500	490			430	459		533	429	539	537
1550	528			460	491		617	465	621	629
1600	594			500	527			502		
1650					591					
1700					629					
1750					670					
carga kg	1600	1360	1050	1600	1700	1350	1550	1600	1550	1550