



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

**DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES
MECÁNICAS DE LA MADERA DE *COCOS NUCIFERA* (COCOTERO O COCO)**

Francisco Javier Gálvez Cifuentes

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, octubre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES
MECÁNICAS DE LA MADERA DE *COCOS NUCIFERA* (COCOTERO O COCO)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

FRANCISCO JAVIER GÁLVEZ CIFUENTES

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera Lopéz

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

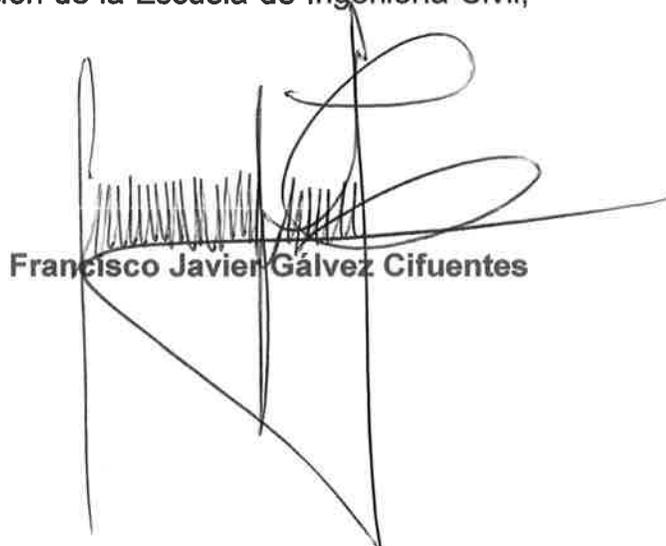
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Inga. Carmen Marina Mérida Alva
EXAMINADOR	Ing. Alan Geovani Cosillo Pinto
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE *COCOS NUCIFERA* (COCOTERO O COCO)

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 19 de septiembre de 2013.


Francisco Javier Gálvez Cifuentes



Guatemala, 28 de mayo de 2015

Ingeniero
Guillermo Francisco Melini Salguero
Área de Materiales y Construcciones Civiles
COORDINADOR

Ingeniero Melini

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación: **DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE COCOS NUCIFERA (COCOTERO O COCO)**, elaborado con el estudiante universitario Francisco Javier Gálvez Cifuentes, quien contó con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por el estudiante universitario Gálvez Cifuentes, satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

"Id y enseñad a todos"


Inga. Civil Dilma Yanet Mejicanos Jol
Col. 5947
ASESORA

Dilma Y. Mejicanos Jol
Ingeniera Civil
Col. 5947



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
02 de septiembre de 2015

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE COCOS NUCIFERA (COCOTERO O COCO), desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Francisco Javier Gálvez Cifuentes, quien contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

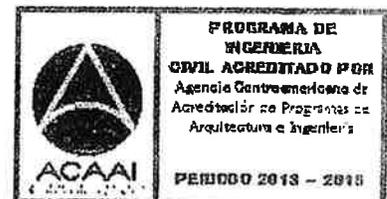

Ing. Civil José Gabriel Ordóñez Morales
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Francisco Javier Gálvez Cifuentes, titulado **DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE COCOS NUCIFERA (COCOTERO O COCO)** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Hugo Leonel Montenegro Franco
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, octubre 2015

Abdeb.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos
De Guatemala



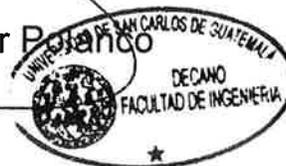
Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.537.2015

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MADERA DE COCOS NUCIFERA (COCOTERO O COCO)**, presentado por el estudiante universitario: **Francisco Javier Gálvez Cifuentes**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Pedro Antonio Aguilar
Ing. Pedro Antonio Aguilar Potanco
Decano



Guatemala, octubre de 2015

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser el dador de vida, fortaleza y perseverancia para alcanzar esta meta.
- Mis padres** Edulfo Elías Gálvez Rodríguez y Juana Gladys Cifuentes López, por haberme apoyado y amado, porque este logro es un sueño hecho realidad, porque soy lo que soy gracias a ellos.
- Mi esposa** Adriana Sofía de Gálvez, por todo tu amor, cariño, comprensión, ternura, fortaleza, por tu dedicación, por tantas alegrías y aventuras, por tu apoyo en los momentos que he necesitado desde que nos conocimos. Te amo.
- Mi hijo** Santiago Javier Gálvez Menéndez, por ser una de las mejores experiencias de mi vida.
- Mis hermanos** José Ángel, Ana Virginia y Samuel Andrés Gálvez Cifuentes, Arlem Benavente, para que no desmayen en la búsqueda de sus metas y sigan adelante.
- Mi familia** Abuelos, tíos, tías, primos y primas, porque de una u otra manera han estado pendientes de mí.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por tener el privilegio de ser parte de esta alma máter, grande entre las grandes.
Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil	Por todo el conocimiento y experiencias adquiridas en estos años.
Mis padres	Por sus oraciones, su amor, apoyo, dedicación, comprensión y enseñanzas en todo momento.
Mis hermanos	Por su apoyo y cariño en estos años.
Mi esposa	Adriana Sofía de Gálvez, porque desde el momento en que te vi sentí ese fuego en tus ojos con el cual me identifique, gracias por todos los detalles que has tenido conmigo, por tu amor, tus sonrisas, apoyo, comprensión y tantas cosas más.
Mi hijo	Santiago Javier Gálvez Menéndez, por darme una de las experiencias y aventuras más grandes y especiales de mi vida.
Carpintería y ebanistería Los Cedros	Por darme la oportunidad de preparar los especímenes para este trabajo de graduación.

Norte Estudio	Por su patrocinio para realizar este trabajo de graduación.
Mi suegra	Sonia del Carmen Escalante, por su cariño y apoyo.
Mis catedráticos	Por el conocimiento que han compartido en estos años de formación académica.
Mi asesora	Inga. Dilma Mejicanos, por su dedicación y el conocimiento brindado para que este trabajo esté concluido.
Mis amigos	Rubén Santana, Jorge Letona, Julio Santizo, Ramiro Ruiz, René Fuentes, Sato Hori, Herber Vásquez, Rubeny García, Marvin Flores, Edgar Velásquez, Luis Vaquiax, Jorge Figueroa, Estuardo Orellana, Leila Janibell, Deborah Salazar y muchos más, con quienes he compartido tantos momentos gratos y una gran amistad durante estos años.
Aserradero Don Arturo	Arturo Paiz y Marcela Bulla, por su colaboración y amistad sincera en este tiempo de conocernos.
Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería	Por su apoyo en la realización de las distintas pruebas propias de este trabajo de graduación

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VI
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Generalidades de la madera	1
1.1.1. Estructura de la madera	1
1.1.2. Características de la madera	3
1.1.2.1. Textura.....	4
1.1.2.2. Grano.....	5
1.1.2.3. Diseño.....	5
1.1.2.4. Color	7
1.1.2.5. Sabor	7
1.1.3. Propiedades físicas de la madera.....	7
1.1.3.1. Humedad	8
1.1.3.2. Densidad aparente.....	10
1.1.3.3. Retracción e hinchamiento	10
1.1.3.4. Dureza	11
1.1.3.5. Dilatación térmica	11
1.1.3.6. Conductividad térmica	12
1.1.3.7. Conductividad eléctrica.....	12
1.1.3.8. Durabilidad.....	12

1.1.4.	Propiedades mecánicas de la madera	14
1.1.4.1.	Resistencia a la compresión.....	14
1.1.4.2.	Resistencia a la tracción.....	15
1.1.4.3.	Hendibilidad.....	15
1.1.4.4.	Flexibilidad	15
1.1.4.5.	Resistencia al cizallamiento	16
1.2.	Madera de <i>Cocos nucifera</i> (cocotero o coco).....	16
1.2.1.	Historia de la madera de <i>Cocos nucifera</i>	16
1.2.2.	Generalidades de la madera de <i>Cocos nucifera</i>	18
1.2.3.	Corte de troncos y aserrado de la madera de <i>Cocos nucifera</i>	20
1.2.4.	Secado de la madera	26
1.2.5.	Procesamiento, utilización y aprovechamiento.....	28
1.2.6.	Preservación de la madera de <i>Cocos nucifera</i>	31
2.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	35
2.1.	Determinación de las características físicas.....	35
2.1.1.	Color.....	35
2.1.2.	Olor.....	36
2.1.3.	Sabor.....	36
2.1.4.	Textura	36
2.1.5.	Grano	37
2.1.6.	Diseño	38
2.2.	Propiedades mecánicas	39
2.2.1.	Preparación de material para ensayos mecánicos	39
2.2.2.	Flexión estática	44
2.2.3.	Compresión paralela a la fibra.....	48
2.2.4.	Compresión perpendicular a la fibra.....	51

2.2.5.	Dureza	54
2.2.6.	Corte paralelo a la fibra	56
2.2.7.	Clivaje	60
2.2.8.	Tensión paralela a la fibra.....	63
2.2.9.	Tensión perpendicular a la fibra.....	66
2.2.10.	Desclave.....	69
3.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	73
3.1.	Flexión estática.....	74
3.2.	Compresión paralela a la fibra	75
3.3.	Compresión perpendicular a la fibra	76
3.4.	Dureza	76
3.5.	Corte paralelo a la fibra	77
3.6.	Clivaje.....	78
3.7.	Tensión paralela a la fibra	79
3.8.	Tensión perpendicular a la fibra.....	80
3.9.	Desclave.....	81
	CONCLUSIONES	83
	RECOMENDACIONES	85
	BIBLIOGRAFÍA.....	87
	APÉNDICES	89
	ANEXOS	109

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura de la madera	3
2.	Plantación de <i>Cocos nucifera</i>	18
3.	Corte de madera método tradicional	21
4.	Aserrado de madera de <i>Cocos nucifera</i>	22
5.	Aserrado manual de madera de coco	23
6.	Color madera de <i>Cocos nucifera</i> recién aserrada	35
7.	Textura madera de <i>Cocos nucifera</i>	37
8.	Grano de la madera de <i>Cocos nucifera</i>	38
9.	Diseño de la madera de <i>Cocos nucifera</i>	39
10.	Tala de <i>Cocos nucifera</i>	40
11.	Sección marcada	41
12.	Trazo de cuadrícula	42
13.	Corte de trozas con sierra Wood-Mizeer	43
14.	Separación para el secado	43
15.	Secado madera de <i>Cocos nucifera</i>	44
16.	Probeta para ensayo de flexión estática	45
17.	Sistema armado para flexión estática	46
18.	Ensayo de flexión estática, momento de fractura	47
19.	Sistema armado para compresión paralela a la fibra	49
20.	Probeta ensayada y fallada en compresión paralela a la fibra	49
21.	Sistema armado para compresión perpendicular a la fibra	52
22.	Ensayo de dureza	55
23.	Probeta corte paralelo a la fibra	57

24.	Probeta corte paralelo a la fibra, ensayada y fallada.....	58
25.	Sistema armado con probeta para clivaje	60
26.	Probeta de clivaje ya ensayada	61
27.	Sistema armado para tensión paralela a la fibra	63
28.	Probeta fallada a tensión paralela a la fibra	64
29.	Sistema armado para tensión perpendicular a la fibra	67
30.	Probeta para desclave	69
31.	Sistema armado para ensayo de desclave	70
32.	Tabla de comparación flexión estática	74

TABLAS

I.	Diseños de la madera.....	6
II.	Datos flexión estática	47
III.	Datos compresión paralela a la fibra	50
IV.	Datos compresión perpendicular a la fibra	53
V.	Datos ensayo de dureza.....	56
VI.	Datos corte paralelo a la fibra.....	59
VII.	Datos de clivaje	62
VIII.	Datos tensión paralela a la fibra	65
IX.	Datos tensión perpendicular a la fibra	68
X.	Datos de desclave	71
XI.	Comparación de compresión paralela a la fibra	75
XII.	Comparación perpendicular a la fibra	76
XIII.	Comparación de dureza	77
XIV.	Comparación de corte paralelo a la fibra	78
XV.	Comparación de clivaje	79
XVI.	Comparación tensión paralela a la fibra	80
XVII.	Comparación de tensión perpendicular a la fibra	81

XVIII. Comparación de desclave..... 82

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
kg	Kilogramos
kg/m²	Kilogramos por metro cuadrado
m	Metro
mm	Milímetro
nm	Nanómetro

GLOSARIO

Anisotrópica	La particularidad o capacidad que tiene la madera de expandirse o contraerse en sus diversas direcciones.
Aserrar	Cortar o dividir con sierra la madera.
Caracterizar	Determinar los atributos peculiares de alguien o de algo, de modo que claramente se distinga de los demás.
Cizalla	Método de ensayo que permite clasificar los adhesivos de la madera de uso estructural y no estructural.
Clivaje	También llamado ensayo de rajadura, es un ensayo mecánico, que muestra cuál es la resistencia que ofrece la madera al rajado.
Densidad de un cuerpo	Es la cantidad de materia que tiene en relación con el espacio que ocupa.
Desclave	La resistencia a la extracción de clavos en la madera, mediante la medición de la fuerza aplicada en una superficie en paralelo a la fibra.

Grano	Término que se refiere a la forma en cómo se desarrollan las fibras de la madera a lo largo y ancho del tronco y ramas.
Impregnación	Técnica que se emplea para proteger los materiales de la acción del medio ambiente.
Tabla	Pieza de madera plana, alargada y rectangular, de caras paralelas, más larga que ancha y más ancha que alta.
Xilema	También es conocido como leña o madera, el cual se lo reconoce como un tejido vegetal lignificado de conducción que transporta líquidos de una parte a otra de las plantas vasculares.

RESUMEN

En este trabajo de graduación, el propósito ha sido determinar, caracterizar y documentar las características físicas y propiedades mecánicas de la madera de *Cocos nucifera*; se realizó tomando como referencia la Norma ASTM D143-83 en la que se especifica el proceso desde la selección de los árboles, su preparación para los distintos ensayos, forma y dimensiones de las probetas para cada ensayo respectivamente.

Posteriormente al proceso descrito, se han calculado los esfuerzos resultantes, obtenidos de la aplicación de fuerzas en cada ensayo; con toda esta información y datos ha sido posible realizar gráficas y análisis del comportamiento de la madera de *Cocos nucifera*.

La finalidad es conocer, apreciar y aprovechar las bondades de la madera de *Cocos nucifera*; recurso que hasta ahora solo ha sido aprovechado de manera empírica.

Es de gran relevancia el conocer la mayor información de este recurso para su correcta utilización, en este caso en la ingeniería civil, en la que cada día se debe innovar en los productos, materiales, técnicas y métodos constructivos que satisfagan los requerimientos estructurales, económicos, estéticos, funcionales y otros más, propios de un correcto proceder de la ingeniería civil.

OBJETIVOS

General

Determinar las características físicas y propiedades mecánicas de la madera de *Cocos nucifera*, tomando como referencia las Normas American Society for Testing and Materials (ASTM) para el estudio de la madera, específicamente: ASTM D143-83, esto mediante pruebas o ensayos de probetas estandarizadas.

Específicos

1. Caracterizar la madera de *Cocos nucifera* (cocotero o coco)
2. Verificar la homogeneidad de la estructura, para determinar la aplicación estructural de acuerdo a la ubicación de las mejores propiedades mecánicas.
3. Obtener resultados que permitan el uso adecuado de la madera, según su aplicación en el área de ingeniería civil y otras áreas de acción.
4. Analizar el aprovechamiento del árbol en su totalidad, para que se aplique en otras áreas.

INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de la humanidad, el ser humano se ha visto en la necesidad de cubrir y satisfacer sus necesidades básicas, tales como: alimentación, vestido, vivienda, transporte, entre otras; para esto ha utilizado los elementos que la naturaleza le brinda.

En el caso de la madera, el ser humano desde sus inicios la ha utilizado para hacer fuego, utilizándola como leña; también, para fabricar artefactos, iniciar construcciones y medios de transporte.

En la ingeniería, la madera tiene innumerables usos, se ha utilizado en artefactos de guerra, puentes, casas, barcos y otros; en lo referente a la ingeniería civil, se utiliza como obra falsa en distintas edificaciones, como formaleta en las estructuras de concreto, se han fabricado puentes totalmente contruidos con madera. En lo referente a los acabados es el área donde más aplicaciones se le puede dar, se fabrican puertas, ventanas, gradas, zócalos, pisos, amueblados de sala, comedor, juegos de dormitorio, cocinas, closets, pérgolas, en cada una de estas aplicaciones la madera se viste y luce, además, que hace del ambiente mucho más cálido y agradable.

La madera es parte de soluciones habitacionales y estructurales.

Debido a todos estos usos que la madera tiene, se han realizado estudios a manera de poder caracterizar la mayoría de las especies y así determinar propiedades como: dureza, resistencia a la flexión, compresión en sentido paralelo y perpendicular, tensión paralela y perpendicular, desclave, clivaje;

también características como humedad, densidad y contracción volumétrica, color, diseño, textura, grano, entre otras. Toda esta información es vital para saber el comportamiento de la madera, y así saber y decidir qué tipo de madera y con qué características se necesita para satisfacer las solicitudes a las cuales será sometida.

En el presente trabajo se procedió a estudiar las características y propiedades antes mencionadas de la madera de *Cocos nucifera*, coco o cocotero. La intención es conocer todo lo referente a esta madera que nunca ha sido utilizada y así aprovechar este recurso de la mejor manera posible.

Todo el procedimiento se realizó tomando como referencia lo establecido por la Norma ASTM D143-83, donde se detallan los pasos, procesos y especificaciones para obtener datos confiables y posteriormente realizar cálculos, análisis y gráficos que permitan conocer de manera simplificada los valores de caracterización, según al esfuerzo al que vaya a ser solicitada para su correcta utilización.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Generalidades de la madera

La madera ha sido por excelencia el material que se ha utilizado desde los inicios de la humanidad, teniendo importancia en cada una de las áreas y momentos a través de la historia; actualmente es un material que sigue proporcionando muchas formas de utilizarla y gracias a los avances científicos y tecnológicos se ha logrado aprovechar de tal manera, que prácticamente no se desperdicia tan valioso recurso.

1.1.1. Estructura de la madera

La madera del tronco, raíces y ramas de los árboles está formada por el conjunto de células que forman el tejido xilemático o xilema. Lejos de tratarse de una unidad homogénea, el xilema está formado por un conjunto de células morfológicamente muy diferentes, cuya organización varía de unas especies a otras y especialmente entre coníferas y frondosas. Antes de descender a la escala microscópica, en la sección transversal del tronco de un árbol se distinguen a simple vista, o con pocos aumentos, diversas estructuras. Comenzando por el centro, se puede distinguir la médula, un conjunto de células que recorren el tronco por su eje central (figura 1).

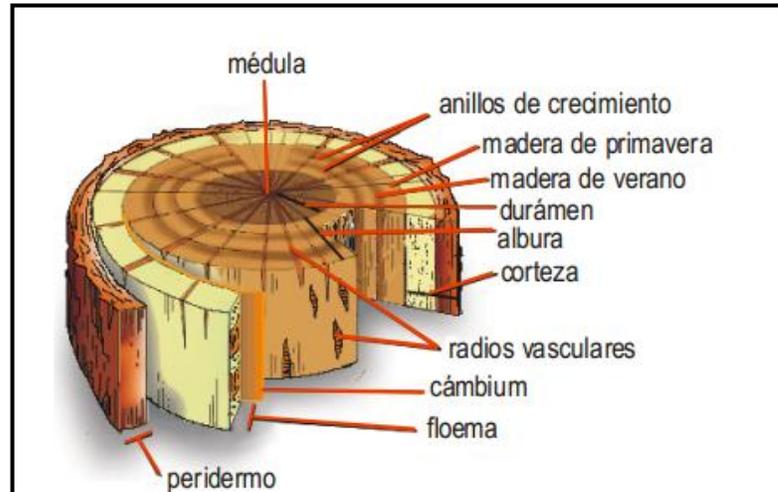
La médula, que en sección transversal tiene forma poligonal o estrellada, corresponde a la zona, por la que se produce el crecimiento en altura por el meristemo apical de la planta. Alrededor de la médula se van originando progresivamente los anillos de crecimiento; cada uno está formado por un

conjunto inicial de células que constituyen la denominada madera temprana o madera de primavera y un conjunto final de células que originan una franja más oscura y que se conoce con el nombre de madera tardía o madera de verano. Con frecuencia, y sobre todo en los árboles de cierta edad, la parte central del tronco presenta un color más oscuro. Esta región central se conoce con el nombre de duramen y se diferencia de la corona de madera más externa, generalmente de color más claro, que constituye la albura.

A continuación se detalla la estructura de la madera:

- Cambium: es la capa que sigue a la corteza y da origen a otras dos: la interior o capa de xilema, que forma la madera, y una exterior o capa de floema, que forma parte de la corteza.
- Albura: es la madera de más reciente formación y por ella viajan la mayoría de los compuestos de la savia. Las células transportan la savia, que es una sustancia azucarada con la que algunos insectos se pueden alimentar. Es una capa más blanca porque por ahí viaja más savia que por el resto del tronco.
- Duramen (o corazón): es la madera dura y consistente. Está formada por células fisiológicamente inactivas y se encuentra en el centro del árbol. Es más oscura que la albura y la savia ya no fluye por ella.
- Médula vegetal: es la zona central del tronco, que posee escasa resistencia, por lo que, generalmente no se utiliza.

Figura 1. **Estructura de la madera**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Power Point 2010.

1.1.2. **Características de la madera**

Varían según la especie del árbol, origen e incluso dentro de la misma especie por las condiciones del lugar de crecimiento. Aún así, hay algunas características cualitativas comunes a casi todas las maderas.

La madera es un material anisotrópico en muchas de sus características, por ejemplo en su resistencia o elasticidad. Si al eje coincidente con la longitud del tronco se le nombra como axial y al eje que pasa por el centro del tronco (médula vegetal) y sale perpendicular a la corteza se le llama transversal, se puede decir que la resistencia de la madera en el eje axial es de 20 a 200 mayor que en el eje transversal.

La madera es un material ortótropo, ya que su elasticidad depende de la dirección de deformación. Tiene un comportamiento higroscópico, pudiendo absorber humedad tanto del ambiente como en caso de inmersión en agua, si bien de forma y en cantidades distintas.

La polaridad de la madera, le hace afín con otros productos polares como agua, barnices, pegamentos con base de agua, entre otros. Entre las características físicas se tienen ciertos rasgos distintivos, los cuales se detallan a continuación:

1.1.2.1. Textura

Es la apariencia que le dan a la madera al tamaño de los elementos anatómicos. Puede ser:

- Gruesa: cuando los elementos de la madera son muy grandes y se ven fácilmente.
- Media: cuando pueden apreciarse, pero no son notables.
- Fina: cuando estos elementos casi no se diferencian, dando una apariencia homogénea.

1.1.2.2. Grano

Es la dirección que tienen los distintos elementos anatómicos respecto al eje del tronco, e influirá en las propiedades mecánicas de la madera y en la facilidad de trabajar con ella. Según la dirección de los elementos anatómicos se puede diferenciar distintos tipos de grano como:

- Grano recto: cuando los elementos se sitúan paralelos al eje del árbol. La madera con este tipo de grano presenta buena resistencia mecánica y facilidad de trabajo.
- Grano inclinado: los elementos forman un cierto ángulo con respecto al eje longitudinal del árbol, la madera tendrá peor resistencia mecánica y mayor dificultad para ser trabajada.
- Grano entrecruzado: los elementos se disponen formando un ángulo con respecto al eje del árbol, pero en algunas zonas están dirigidos en diferente dirección que en otras, por lo que en la superficie aparecen cruzados. Estas maderas presentan dificultades para su trabajo, especialmente el cepillado.
- Grano irregular: los elementos se disponen de forma irregular, siendo este tipo de grano el que se encuentra en los nudos, ramificaciones del tronco, zonas heridas, entre otras.

1.1.2.3. Diseño

Es el dibujo representado en la superficie de la madera al ser cortada, y cambia en dependencia del ángulo de corte y de la distribución de los

elementos anatómicos, es decir, al grano. Los nombres que reciben los diferentes tipos de diseños son muchos, pero son usuales los siguientes:

Tabla I. **Diseños de la madera**

<p>Diseño liso: es el que presentan las maderas de textura fina, y da lugar a un color casi homogéneo.</p>	
<p>Diseño rallado: es debido a las líneas formadas por los vasos leñosos cortados longitudinalmente y los canales de resina.</p>	
<p>Diseño angular: es debido al corte transversal de los anillos de crecimiento.</p>	
<p>Diseño veteado: el dibujo tiene el mismo origen que en la madera de diseño angular, pero con las franjas paralelas entre sí.</p>	
<p>Diseño jaspeado: el origen del dibujo, se debe a los cambios de color de los diferentes grupos de células cuando estas son anchos.</p>	
<p>Diseño espigado: aparece en las maderas de grano entrecruzado al cambiar en cada anillo de crecimiento la disposición de los elementos anatómicos.</p>	

Fuente: sabelotodo. <http://www.sabelotodo.org/construccion/madera.html>. Consulta: 6 de noviembre de 2013.

1.1.2.4. Color

El color de la madera es una consecuencia de las sustancias retenidas en la masa leñosa y es característico de cada especie. Esta propiedad puede ser de importancia a la hora de emplear una determinada madera con fines decorativos.

Muchas maderas oscurecen su color con el tiempo debido a la influencia de los agentes atmosféricos.

1.1.2.5. Sabor

El sabor también es consecuencia de las sustancias que impregnan la madera, y son de especial interés a la hora de emplear una determinada madera en la fabricación de recipientes de conservación o manipulación de alimentos.

1.1.3. Propiedades físicas de la madera

La característica fundamental de la madera como materia transformada es la de ser anisótropa e higroscópica. Es anisótropa porque las características físicas y en especial sus propiedades mecánicas dependen de la dirección del esfuerzo o trabajo en relación con sus fibras, y es higroscópica porque, aparte del agua que contiene, esta podrá aumentar o disminuir dependiendo de la humedad ambiente, esta propiedad hace que la madera se contraiga y se hinche.

De esta diferencia se puede sacar el promedio por especie y así se puede saber el porcentaje de agua que pueden contener las maderas según sean blandas, semiblandas o duras.

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

1.1.3.1. Humedad

La madera es un material higroscópico que siempre contiene agua, de hecho, en el árbol en pie la madera tiene como función el transporte de agua de la raíz hasta las hojas, lo que permite el proceso de crecimiento.

Para un uso adecuado de la madera, una vez cortado el árbol es necesario remover o secarla hasta un contenido de humedad, que depende de las condiciones del uso posterior de la madera, esta humedad tiene dos orígenes:

- Agua del sistema vascular

Es el agua presente en los jugos naturales de la madera, siendo máxima en el árbol recién cortado (30-50 por ciento) y cuya cantidad relativa dependerá de la naturaleza del árbol, y de la época de tala.

Cuando la madera húmeda comienza a secarse, va perdiendo peso y se contrae hasta un límite en el que no puede disminuir más su grado de humedad, para la temperatura a la que se encuentra, este grado de humedad es el aceptado comercialmente como madera seca y está entre el 15 y el 20 por ciento.

- Agua de impregnación

Es el agua que ha absorbido la madera del ambiente donde se encuentra, debido a su higroscopicidad, esta humedad es variable y depende de la humedad relativa ambiental cuando está expuesta al aire. Puede llegar a ser muy alta en la madera sumergida (hasta 300 por ciento).

La humedad de la madera está directamente relacionada con el peso, y afecta a otras propiedades físicas y mecánicas. Por eso es importante conocer el contenido de humedad de una madera para las condiciones en la que va a emplearse.

En función del grado de humedad, las maderas se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- Verde: es el material recién cortado.
- Oreada: es la que ha perdido una parte de su agua natural, pero que no ha sufrido aún contracciones ni cambio en sus propiedades mecánicas apreciables.
- Comercial: es la que tiene un contenido en humedad inferior al 20 por ciento.
- Seca: su grado de humedad está en equilibrio con la humedad relativa del aire, este estado se adquiere con varios meses de secado al aire después de haber sido aserrada en tablas.
- Desecada: es la que tiene una humedad inferior al 12 por ciento.
- Anhidra: presenta un grado de humedad en torno al 3 por ciento.

1.1.3.2. Densidad aparente

Es el peso de la unidad de volumen de la madera, y dependerá en gran medida de la humedad. Convencionalmente la densidad aparente de la madera se toma con humedad menor al 30 por ciento. Es común que esta densidad aparente este acompañada por el grado de humedad a la que fue tomada la medición.

Las maderas se clasifican por su densidad aparente en:

- Muy pesadas: densidad aparente mayor de 1 kilogramo por centímetro cúbico.
- Pesadas: si está comprendida entre 0,8 y 1 kilogramo por decímetro cúbico.
- Medianamente pesadas: si está comprendida entre 0,5 y 0,8 kilogramo por decímetro cúbico.
- Ligeras: si es menor de 0,5 kilogramos por decímetro cúbico.

1.1.3.3. Retracción e hinchamiento

La madera cambia de volumen según la humedad que contiene. Cuando pierde agua, se contrae o merma, cuando absorbe se hincha o crece. Estos cambios volumétricos dependen de la dirección asumida:

- Cambio axial: menos de 1 por ciento
- Cambio radial: de 1 a 8 por ciento
- Cambio tangencial: de 5 a 18 por ciento

Los cambios son mayores en la albura que en el duramen, originando tensiones por desecación o humedad que agrietan y alabean la madera en algunos casos.

1.1.3.4. Dureza

Es la resistencia que presenta la madera a ser penetrada por un objeto duro. Se determina midiendo la fuerza necesaria para la introducción en ella de manera forzada hasta el final una semiesfera de metal con una base de sección de 1 centímetro cuadrado.

La dureza de la madera depende, principalmente de la naturaleza del árbol que la produce y está directamente relacionada además con:

- El modo de crecimiento del árbol; para una misma madera el crecimiento más lento produce madera más dura.
- Con el clima de crecimiento; en climas cálidos se obtienen maderas más duras para la misma especie.
- Con la zona de tronco; la parte central y más antigua del duramen es más dura que las exteriores.
- El grado de humedad; la humedad alta reduce la dureza.

1.1.3.5. Dilatación térmica

Las dilataciones y contracciones originadas en las maderas por efecto de cambios en la temperatura son pequeñas y pueden, en general ser despreciadas en la mayor parte de los trabajos corrientes. Solo en casos especiales como en las reglas y patrones dimensionales se utilizan maderas especiales con grado de dilatación casi cero.

1.1.3.6. Conductividad térmica

La naturaleza porosa con aire retenido de la madera, la convierten en una pésima conductora del calor, por lo que suele emplearse como aislante térmico, aunque conforme la humedad o la densidad aumenta en esta, también aumentará la conducción térmica. Además, la conductibilidad térmica también dependerá de la dirección de transmisión, siendo mayor en la dirección longitudinal. La conductividad térmica de las maderas muy ligeras puede ser comparable con la de los mejores materiales artificiales.

1.1.3.7. Conductividad eléctrica

La madera seca es un buen aislante eléctrico, su carácter aislante disminuye con el aumento de humedad. Esta capacidad aislante, en general es menor para las maderas más duras.

1.1.3.8. Durabilidad

Es la resistencia de la madera a la acción del tiempo. Es una propiedad que depende de muchos factores diferentes. Para hacer un poco más manejable, aunque impreciso este complejo tema, la durabilidad se establece en términos generales de acuerdo a ciertas condiciones generales de uso, las más notables son:

- Durabilidad soterrada: útil para seleccionar madera para postes.
- Durabilidad a la intemperie: útil para la madera no soterrada pero usada en el exterior.

- Durabilidad en el interior: útil para la madera de uso en interiores.
- Resistencia al ataque de insectos: en algunos casos esta resistencia es notablemente diferente entre la albura y el duramen y es útil para preservar la madera de acuerdo al ambiente en que va a ser usada.
- Durabilidad sumergida: útil para determinar el uso de ciertas maderas en obras portuarias y similares.

Además, en términos generales, las maderas expuestas a fuertes alternativas de humedad y sequedad durarán menos tiempo que si alguna de estas condiciones es estable; si se empotran las maderas en el suelo, duran más si este es arcilloso y menos si es calizo. Es común, pero no generalizado que las maderas blandas duren menos que las duras.

No es apropiado establecer la durabilidad de la madera en años debido a los múltiples factores involucrados en ello, lo más común es la utilización de términos cualitativos tales como:

- Incorruptible: estas maderas aún en las peores condiciones pueden durar casi intactas cientos y hasta miles de años.
- Durable: cuando esta duración es mayor que el tiempo de vida del objetivo a que fue destinada.
- Medianamente durable: cuando la durabilidad es suficiente para satisfacer un tiempo razonablemente adecuado para el objeto a que fue utilizada.

- Poco durable: son aquellas maderas de vida corta en el ambiente a que está sometido. Su uso se restringe a la construcción de objetos y obras temporales.

La durabilidad de las maderas es muy diferente de acuerdo a las condiciones de utilización, así una madera durable a la intemperie puede ser poco durable cuando está soterrada.

1.1.4. Propiedades mecánicas de la madera

La naturaleza fibrosa, heterogénea y fuertemente anisotrópica de la madera, hace que sus propiedades mecánicas sean muy variables según la dirección en que se midan.

Como la humedad influye de manera notable en estas propiedades, convencionalmente se utilizan maderas de entre 12 y 15 por ciento de humedad al momento de la determinación de estas propiedades. La presencia de defectos y nudos cambian notablemente los valores.

Las propiedades mecánicas más importantes son:

1.1.4.1. Resistencia a la compresión

Es la dificultad que ofrece la madera a ser comprimida al aplicarle una carga, puede aplicarse en dos direcciones: paralela y perpendicular al grano, siendo máxima la resistencia para la dirección paralela y mínima para la perpendicular. El contenido de humedad no influye en la resistencia a la compresión cuando asciende desde el 30 por ciento, no obstante esta

resistencia aumenta a medida que la humedad desciende de este valor de humedad.

1.1.4.2. Resistencia a la tracción

Representa la resistencia que ofrece la madera a ser deformada por la actuación de dos fuerzas paralelas, de sentidos contrarios y coincidentes, aplicadas en los extremos a una muestra de madera. Esta resistencia es muy diferente de acuerdo a la dirección de las fuerzas y será muy pequeña si son perpendiculares a las fibras, pero mucho más elevadas si se aplican paralelos a estas. En cuanto a la influencia de la humedad, se observa que al aumentar, disminuye la resistencia.

1.1.4.3. Hendibilidad

Se conoce también como facilidad para el rajado, y representa la tendencia de la madera a romperse en el sentido longitudinal cuando se introduce en ella una cuña. Depende principalmente de la naturaleza de la madera y de su humedad, en general, las maderas húmedas tienen menos hendibilidad que las secas. Es común, pero no generalizado, que las maderas duras sean más hendibles que las blandas.

1.1.4.4. Flexibilidad

Representa la capacidad de la madera a doblarse sin romperse debido a una carga. Si el esfuerzo se aplica perpendicular a las fibras, la resistencia será máxima, mientras que si es paralelo a ellas, será mínima. No obstante, defectos estructurales en la madera pueden hacer perder resistencia, al igual que una disminución de humedad y la antigüedad de la madera, es decir, las maderas

húmedas son más flexibles que las secas y las maderas jóvenes lo son más que las viejas.

1.1.4.5. Resistencia al cizallamiento

Representa resistencia al rompimiento de la madera cuando se aplican dos fuerzas opuestas que tienden a seccionarla.

También es definida como la propiedad que le permite resistir el desplazamiento entre las partículas de la misma al ser sometida a una fuerza externa.

1.2. Madera de *Cocos nucifera* (cocotero o coco)

En la construcción, la madera de *Cocos nucifera* se emplea para la fabricación de vigas y pilares para casas, puentes y granjas; las palmas se utilizan en techos. Con la corteza también se elaboran muebles de textura única y vistosa.

1.2.1. Historia de la madera de *Cocos nucifera*

El cocotero (*Cocos nucifera*) es un género de palmeras de la familia *Arecaceae*. Es monotípica, siendo su única especie *Cocos nucifera*. Este género alguna vez tuvo muchas especies que fueron siendo independizadas de este género, algunas hacia el género *Syagrus*, taxonómicamente hablando, las especies más próximas son *Jubaeopsis caffra* de Sudáfrica y *Voanioala gerardii* de Madagascar. Crece unos 30 metros o más y su fruto es el coco.

La planta puede encontrarse en la orilla de playas tropicales arenosas del mar Caribe, océano Índico y Pacífico. Cultivada se da en otras zonas de clima caliente. Normalmente pueden crecer desde el ecuador hasta los paralelos 28 grados de ambos hemisferios, con algunas excepciones como las Islas Bermudas y Madeira en el paralelo 32 grados, o Islas Kermadec, entre los paralelos 29 y 31 grados.

El lugar de origen del coco es un tema discutido, mientras muchos consideran que proviene de Asia del Sur, concretamente del Delta del Ganges, algunos dicen que proviene del noroeste de América del Sur. Registros fósiles de Nueva Zelanda indican que plantas similares más pequeñas crecieron allí al menos hace 15 millones de años. También existen fósiles más antiguos descubiertos en Kerala, Rajastán, Thennai en Tamil Nadu a orillas del Palar, Then-pennai, Thamirabharani, Río Kaveri y laderas en la frontera de Kerala, Konaseema-Andharapradesh, Maharashtra (todo ello en la India), aunque los más antiguos conocidos provienen de Khulna, en Bangladesh.

Los cocos son mencionados en el poema Mahawamsa de Sri Lanka del siglo II al I a. C. El posterior Culawamasa dice que el rey Aggabodhi I (575–608) plantó un jardín de cocoteros de 3 yojanas (1 yojana equivale a 6,2 kilómetros aproximadamente.) de largo, probablemente la primera plantación de cocos registrada.

Figura 2. **Plantación de *Cocos nucifera***



Fuente: [olx.http://escuinapa.olx.com.mx/vendo-preciosa-huerta-de-cocotero-y-limon-iid-179672663](http://escuinapa.olx.com.mx/vendo-preciosa-huerta-de-cocotero-y-limon-iid-179672663) Consulta: 05 de noviembre de 2013.

1.2.2. Generalidades de la madera de *Cocos nucifera*

Las propiedades y las particularidades del tronco del cocotero se expusieron en el Seminario sobre la madera de coco celebrado en Zamboanga (Filipinas) en 1979.

- Los cocoteros no poseen *cambium* vascular (tejido que crece lateralmente), su diámetro no aumenta con la edad. No es frecuente encontrar un tronco de más de 0,30 metros de diámetro. Las escasas variaciones de diámetro entre un tronco y otro, o entre distintos lugares del tronco, reflejan las condiciones en que se desarrolla durante las primeras fases de su vida.

- La sangría es muy ligera (alrededor de 0,5 centímetros), y los troncos maduros de las variedades altas suelen alcanzar los 20 metros de altura, con un volumen máximo de madera por tronco de 1 metro cúbico aproximadamente.
- Para obtener un crecimiento y una producción de nueces óptimos, las coronas y las raíces deben disponer de un amplio espacio. Esto limita la densidad de troncos en una plantación a unos 100 por hectárea. Así pues, el volumen maderero de una plantación madura o vieja es de alrededor de 100 metros cúbicos por hectárea. A menudo los troncos son curvos. Esto limita la longitud del tronco aserrado y, aunque en algunas ubicaciones favorables (por ejemplo, Zamboanga), es posible obtener trozas más largas, por lo general, el máximo que puede obtenerse es una troza de una longitud aproximada de 4 metros.

Por consiguiente, la troza más grande no excederá de los 300 kilogramos, lo que supone un peso bajo en comparación con las trozas de los árboles maduros de la mayoría de las especies forestales.

- La mayor parte de las maderas duras o blandas muestran gradientes de densidad desde el centro del tallo hasta la superficie, y desde el extremo inferior hasta el extremo superior del tronco. Esto se debe a que la madera formada más tarde en cualquier sección transversal suele ser de crecimiento más lento y esta compuesta de células con paredes más gruesas.
- En los troncos del cocotero los gradientes están mucho más pronunciados, pero por diferentes motivos. La madera del tronco de la palma, consiste en un cierto número de haces vasculares dispersos

(cada uno de los cuales contiene vasos para la conducción del agua, líber para la conducción de los alimentos elaborados y fibras para el sostenimiento mecánico), fijados en una matriz de células más o menos esféricas de parénquima. Los haces vasculares son mucho más abundantes hacia el perímetro del tallo. Un tronco típico de 1 metros de altura tiene unos 10 haces por centímetro cuadrado en la porción central y unos 50 haces por centímetro cuadrado hacia la superficie.

En un tronco joven, las paredes celulares son relativamente delgadas y la densidad básica de la madera en estas dos zonas, es de unos 90 y 300 kilogramos por metro cúbico, respectivamente. Sin embargo, en los árboles normales estas células de las paredes no están muertas, y el grosor de la pared sigue aumentando de modo que cuando la palma es madura la densidad de estas dos regiones puede alcanzar incluso los 250 y 900 kilogramos por metro cúbico.

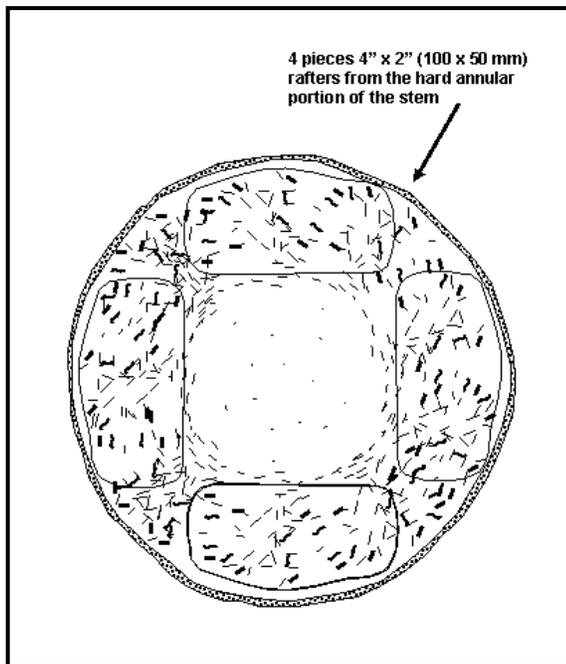
Todos los tejidos de las regiones basales de los cocoteros viejos (incluidas las células del parénquima en el suelo), tienen paredes más gruesas. En la parte superior del tronco los haces son más abundantes; se han contado hasta 175 haces por centímetro cuadrado cerca de la superficie de un tronco viejo a una altura de 19,5 metros. Sin embargo, las células de estas zonas nunca tienen paredes gruesas, y la densidad básica de la zona era de solo 250 kilogramos por metro cúbico.

1.2.3. Corte de troncos y aserrado de la madera de *Cocos nucifera*

El método tradicional sencillo de cortar los troncos y convertirlos en vigas en Sri Lanka, ha sido bien descrito. Este método involucra el uso de un hacha,

azuela y cuñas para partir tangencialmente o separar las vigas de la parte central. La manera más fácil para cortar troncos es partirlos de forma radial en tablonés usando cuñas. Se traza una línea a lo largo del tallo para marcar dónde se va a cortar. A lo largo de esta línea se meten cuñas dentro del tallo separadas 0,5 metros (Killman). Después que se parte el tronco, las porciones del centro se cortan con un hacha. Las tablas cortadas son ásperas y pueden usarse para vigas o armazones en cobertizos y construcciones sencillas. Aunque los tablonés son ásperos, hay muchas ventajas, por ejemplo: bajo costo de labor, y de equipo (hacha, cuñas y un mazo) y consume menos tiempo que serruchar a mano.

Figura 3. **Corte de madera método tradicional**

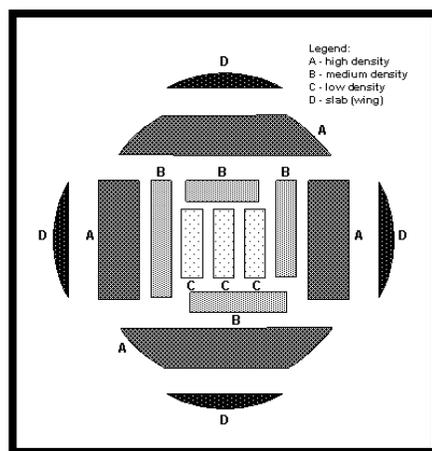


Fuente: [ecoport.http://ecoport.org/ep?26410](http://ecoport.org/ep?26410), Consulta: 06 de noviembre de 2013.

En la explotación de la madera de la palma de coco, a gran escala, el aserrado es esencial. Le da a la madera una superficie más pulida requerida para muebles, entre otros. Cuando se serrucha, las porciones duras de la epidermis y medianas endodermales, tienen que ser recuperadas. Un patrón de aserrado se usa para separar los tres grupos de densidades. El método redondo de aserrado proporciona esta separación.

El primer corte es una laja delgada para quitar la redondez, y el segundo de la porción dura anular es de 25 a 50 milímetros de espesor, dependiendo del diámetro del tronco. El tronco es después virado a 90 o 180 grados, y se sigue la misma secuencia de aserrado hasta que se recupera la porción anular dura. El espesor óptimo y ancho de la porción dura ya recuperada, es de 50 y 125 milímetros, respectivamente. La figura 4 ilustra los patrones de corte (con un viraje de 180 grados) relativo a la selección y granado (FAO, 1985). El aserrado puede hacerse usando una sierra rasgadora, una de cadena, una circular o una motosierra.

Figura 4. **Aserrado de madera de *Cocos nucifera***



Fuente: [ecoport.http://ecoport.org/ep?SearchType=pdb&PdbID=26411](http://ecoport.org/ep?SearchType=pdb&PdbID=26411), Consulta: 06 de noviembre de 2013.

El método manual de dos hombres con una sierra rasgadora ha sido aplicado en muchos países productores de palmas de coco, para rasgar pequeñas cantidades de troncos cortos. Esto se hace de la misma forma que en las maderas duras convencionales, donde la sierra corta en ambas direcciones. Este método requiere buena habilidad, usa equipo de bajo costo, es particularmente adaptable en áreas con terrenos difíciles no accesibles por tractores y genera empleos. Sin embargo, la principal desventaja es el rendimiento limitado.

Figura 5. **Aserrado manual de madera de coco**



Fuente: [ecoport.http://ecoport.org/ep?SearchType=pdb&PdbID=25245](http://ecoport.org/ep?SearchType=pdb&PdbID=25245), Consulta: 06 de noviembre de 2013.

El uso de la sierra de cadena para serruchar troncos de palmas de coco en forma de rasgado es más rápido que la rasgadora manual, pero no tan rápido como la sierra circular o la motosierra. La de cadena, también es útil cuando el número de troncos a ser cortados no es grande. Dos hombres

trabajando con una sierra de cadena pueden manejar 1 tallo de palma diario, produciendo 0,9 metros cúbicos de tablonés de 50 milímetros de espesor y anchos de 50, 75, 100 y 125 milímetros. La sierra de cadena es ampliamente usada en Filipinas para serruchar rasgando los troncos de la palma de coco.

El desperdicio de madera es mayor en relación a otros métodos, debido a que el corte es más ancho. Las ventajas son relativamente los bajos costos iniciales y que son portátiles.

La sierra circular está siendo usada con éxito para serruchar troncos de palmas de coco en muchos países. En Sri Lanka, los aserraderos (circulares) estacionarios localizados en áreas productoras de palmas de coco manejan troncos de la palma, además de maderas convencionales. Poner un aserradero estacionario solo para troncos de la palma de coco no sería económico debido a la cantidad limitada de troncos que se pueden aprovechar por hectárea.

El uso de aserraderos móviles circulares facilita el movimiento del molino a fuentes donde los tallos de las palmas de coco están disponibles después de la tala. Pueden localizarse dentro de distancias económicas de transportación mediante ruedas de las áreas de talas y así evitar los transportes de tallos por camiones. Se han usado dos tipos de aserraderos circulares móviles por la autoridad de Coco Filipina, en el Centro de Investigación de Zamboanga. Estos son: el aserradero de dimensión móvil de Oregon y la combinación de aserradero Varteg.

El aserradero de dimensión móvil de Oregon puede ser fácilmente arrastrado por un vehículo con tracción en las cuatro ruedas. Tiene un motor de gasolina de 53 caballos de fuerza que mueve la sierra a lo largo de una viga metálica de 6,5 metros de largo que tiene una hoja horizontal de sierra (320

milímetros) y una hoja vertical de corte (760 milímetros) las cuales giran simultáneamente.

El tronco es firmemente sostenido por dos retenedores de tronco, el marco con el motor y las hojas cortantes pueden elevarse o bajarse para ajustarse al grosor del corte. El movimiento lateral, también es posible para colocar el ancho del corte para que cualquier sección deseada sea cortada en una operación sin tener que volver a serruchar. El aserradero puede manejar 4 metros cúbicos de troncos redondos con una recuperación de 49 por ciento, produciendo 1,92 metros cúbicos de madera serruchada por día (814 pies de tablones).

El aserradero de combinación Varteg (tipo móvil) tiene una sierra circular de 1 120 milímetros de diámetro y una resierra de tipo de banco de 920 milímetros. El molino es mucho más pesado que el aserradero de dimensión Oregon, pero puede ser jalado por un tractor. El molino está disponible con un motor diesel de 100 caballos de fuerza que puede ser energizado por un tractor. Ambas sierras rotan simultáneamente, el tronco de la palma se fija sobre la mesa de aserrado la que mueve el tronco a través de la sierra quebradiza. Subsiguientemente, las lascas y tablas son vueltas a serruchar en el banco para producir las secciones deseadas.

El molino tiene una capacidad de 10 metros cúbicos de troncos redondos diarios con un 48 por ciento de recuperación o 4,8 metros cúbicos (2 035 pies en tablones) en madera serruchada (Palomar, 1990). Los aserraderos de banda existentes en áreas productoras de palmas de coco podrían usarse para serruchar los troncos de las palmas. Una sierra de banda de 1 300 a 1 500 milímetros energizada por un motor de 75-100 kilovatios es adecuada para este propósito. Los dientes del serrucho requieren material duro como la estelita para serruchar efectivamente madera de las palmas de coco de alta densidad.

El mantenimiento de las hojas de las sierras es un aspecto importante para serruchar madera de las palmas de coco duras, que es similar a las maderas duras tropicales convencionales. El extremo trasero del tallo es la porción más dura y las sierras convencionales fácilmente pierden filo. La corteza contiene granos de arena que también pueden causar pérdida de filo de los serruchos. Por este motivo, los dientes tienen que ser de una superficie dura. Esto se consigue, ya sea soldando pedazos de estelita sobre los dientes de la sierra o bronceando las puntas de carburo de tungsteno dentro de la superficie de los dientes. Estas puntas de carburo de tungsteno no son posibles para las sierras de banda.

Afilarse los dientes de estelita puede hacerse con ruedas moledoras, para moler en el mismo lugar, se usa el moledor de tipo jockey manual. Las puntas de carburo de tungsteno requieren ruedas de diamantes impregnadas y caras para afilar. La habilidad involucrada es más importante que para los dientes de estelita. Sin embargo, las puntas de carburo de tungsteno en buenas condiciones tienen una mayor vida de servicio comparada a las puntas de estelita.

1.2.4. Secado de la madera

Las diferencias en densidad y contenido de humedad en el tallo crean dificultades al secar madera de las palmas de coco serruchadas. Las porciones anulares externas de alta densidad desarrollan quebraduras y torceduras, mientras que las porciones suaves (usadas para propósitos que no sean para llevar cargas) tienden a colapsarse. Los métodos de secado incluyen secar por aire, por aire forzado y por horno.

El secado por aire es el método más sencillo y económico, la madera serruchada se apila en un cobertizo a la intemperie. La proporción de secado depende de la humedad, temperatura y movimiento natural del aire. Generalmente, a las tablas de 25 y 50 milímetros les lleva de 4-11 semanas y, 16-21 semanas cuando se secan por aire, respectivamente, para conseguir el equilibrio del contenido de humedad de un 17 a 19 por ciento.

Debido al movimiento lento de la humedad en secado por aire, aparecen manchas de hongos y de tierra, esto lo hace inadecuado para muebles, entre otras aplicaciones. Esto se sobrepone mojando la madera recién cortada en sustancias químicas que son quitamanchas de savia y esto se mantiene por 2 o 3 minutos. Las sustancias químicas usadas con éxito en el Centro de Investigación de Zamboanga incluyen: Basilit PN y Pentabrita con pentaclorofenato de sodio estándar; Difolatin (funguicida) con tetracloroetililo y Daconil (funguicida) con tetracloroisoptalnitrito.

Las concentraciones varían de 0,5 a 2,0 por ciento dependiendo de las condiciones ambientales. Es importante notar que algunos químicos están prohibidos en ciertos países por ser tóxicos. El secado por aire forzado con un ventilador requiere que la madera aserrada sea apilonada en un cobertizo cerrado para que el aire se descargue por el otro extremo. Secarlo de esta forma reduce el tiempo de secado a la mitad.

El tiempo de secado puede reducirse aún más si se calienta ligeramente el aire con un calefactor donde la materia de desecho pueda quemarse. En este caso, la eficiencia puede mejorarse si el aire es reciclado mientras se descarga parte de él y se compensa con aire fresco caliente. Este sistema es llamado también como secado por horno. En los 80, un aserradero comercial instalado en Dunkannawa, Sri Lanka serruchó madera de palmas de coco en un horno

calentado por el sol con secado de aire forzado en un cobertizo con un sistema de recirculación. Este aserradero portátil fue originalmente instalado en Batticoloa en la costa oriental, para explotar el gran número de palmas derribadas por un ciclón en 1978.

Las operaciones de secado con horno en el Centro de Investigación de Zamboanga demostró que los tablonés de 25 milímetros pueden secarse con un contenido de humedad de un 13 por ciento en 14 días, empleando una temperatura de bulbo inicial (DBT) de 45 grados Celsius y la temperatura de bulbo húmedo (WBT) de 35 °C a un final de DBT de 50 °C y WBT de 41 °C. Las tablas de 50 milímetros pueden ser secadas a un contenido de humedad de 16 por ciento en 19 días, con un DBT inicial de 48 °C y WBT de 39 °C a un final de DBT de 50 grados Celsius y WBT de 45 grados Celsius.

Los métodos de secado combinado han sido efectivos, particularmente con tablonés de 50 milímetros, debido a los reducidos, los costos de secado y los defectos. El secado por aire y horno es un método, el otro es el de secado en horno por aire forzado. El uso de aire a temperatura atmosférica inicialmente y la aplicación del calor en segunda etapa, facilita obtener madera de buena calidad.

1.2.5. Procesamiento, utilización y aprovechamiento

Además de lo ya expuesto en los incisos anteriores, es necesario un procesamiento secundario para la fabricación de muebles y otros productos de madera de cocotero. La madera de la palma de coco de alta densidad no es fácil de trabajar, porque las herramientas y equipo pierden filo, similar a las maderas convencionales. Para producir varias formas y tamaños, el equipo de

taller de madera requiere máquinas aserradoras, cepillos, uniones, máquinas de taladro y de muescas, tornos y lijadoras.

Todos estos procesos son operaciones estándares en la industria de talleres de madera. Palomar, 1990 da detalles técnicos del equipo usado en el Centro de Investigación de Zamboanga. Todos los muebles y productos de madera requieren terminación, para mejorar la apariencia y vida de servicio a través de la acción preservativa. Las aplicaciones disponibles incluyen laca, goma laca, cera y poliuretano, similar a la terminación de las maderas convencionales. Puesto que estas son transparentes, los tintes o manchas pueden aplicarse si la madera necesita ser más oscura.

Para fabricar los postes o pilares es necesario, en primer lugar, extraer la corteza para que se seque la madera subyacente. En la mayor parte de las especies esta operación de descortezado es relativamente sencilla, y se han ideado máquinas eficaces para ella. No obstante, en los troncos del cocotero se produce una transición gradual de la madera a la corteza. La región de la corteza que debe extraerse no está bien definida y es muy fibrosa.

Todavía no es posible efectuar el descortezado a máquina; por ahora se debe hacer a mano utilizando herramientas sencillas, como cuchillos o machetes. El tratamiento de los postes mediante el desplazamiento de la savia es una alternativa al tratamiento normal a presión, pero las profundas fisuras de la corteza hacen difícil la inserción a presión en el tronco. Además, los elementos conductores de la savia (vasos de los haces vasculares) ocupan solo del 4 al 5 por ciento aproximadamente del volumen histológico total, en comparación con el 30 o 40 por ciento en la mayoría de las maderas duras, y con el 90 por ciento de los traqueidos en las maderas blandas.

Ensayos efectuados en Filipinas y en Nueva Zelandia han demostrado que la madera del tronco del cocotero puede servir para la fabricación de pasta y papel con cualidades similares a las fabricadas con la mayoría de las maderas duras, aunque la elevada proporción de disgregaciones (de tejido parenquimal) reduce considerablemente los rendimientos globales. Estas pequeñas células parenquimales pueden causar problemas también en la fabricación de tableros de partículas.

El valor calorífico de la madera de coco (energía calórica liberada en la quema, por peso unitario de la madera seca), es similar al de otras maderas. Pero en este tipo es necesario un secado previo para que quemé fácilmente. Con objetivo de efectuar el necesario secado, el tronco se corta transversalmente en fragmentos pequeños y a continuación se parte, utilizando el equipo y las técnicas adecuadas para superar la falta de planos de debilidad en la dirección radial.

El tronco del cocotero posee varias características que lo hacen especialmente apto para la explotación maderera.

Los intentos iniciales de aprovechamiento fueron algo desalentadores, porque los resultados no eran tan buenos como los de la madera convencional, blanda o dura. Sin embargo, muchos de los problemas se debían a que se había tratado de aplicar tecnología ideada para otro material muy distinto.

En el futuro los troncos del cocotero se utilizarán como alternativa de la madera convencional en varias utilidades, en muchos casos con igual o mejor resultado.

1.2.6. Preservación de la madera de *Cocos nucifera*

La madera de la palma de coco se clasifica como no durable. Sin embargo, cuando se usa en el interior, no se requiere tratamiento excepto para el material de baja densidad. Toda la madera de la palma de coco expuesta a la intemperie requiere un tratamiento adecuado debido al ataque de insectos y al moho. La madera en contacto con el suelo requiere tratamiento para evitar el rápido deterioro. La preservación requiere una preparación propia de buena madera seleccionada después del procesamiento secundario y podría estar libre de aplicaciones de cualquier capa de acabado, la madera tiene que estar también debidamente secada.

Sin embargo, en el caso de tratamiento por procesos de difusión, la madera tiene que estar en condición, ya sea verde o recién cortada para permitir el movimiento libre de la solución preservativa en la madera.

Los preservativos para la misma son de dos tipos: mantenidos en aceite y mantenidos en agua. La cerosota, el pentaclorofenol, el cuprinol y el solignum, son para mantenidos en aceite, y el arsenato de cobre cromatado (Greensalt, Tanalith, Boliden K-33 y Wolman CCA, nombres comerciales) y el tetrahidrato de disodio octaborato (nombre comercial Timbor) son para mantenidos en agua.

El preservativo puede aplicarse en una o dos formas: el método con presión, en el que la madera se impregna en un cilindro cerrado, con alto costo de inversión, requiriendo personal especializado y el método sin presión, que es sencillo y barato, y adecuado para áreas rurales.

En el método sin presión hay varias técnicas, el más sencillo es cepillar o rociar con tres capas sobre la madera seca, con el preservativo, ya sea

mantenido en aceite o en agua. El otro método involucra humedecer la madera seca en una solución preservativa caliente o fría de 3 a 5 minutos. Este método es más efectivo que cepillar o rociar. El método de inmersión en agua requiere que la madera seca se sumerja en una solución preservativa mantenida por aceite, por varios días o semanas. Cuando la solución es mantenida por agua, este método es conocido como de empapamiento.

El método de difusión por empapado involucra la inmersión de la madera de la palma de coco verde por 2 o 3 minutos en un vehículo que contenga de 20 a 30 por ciento de timbor. Este preservante mantenido en agua difunde la concentración de la más alta a la más baja en madera verde. Después del tratamiento, la madera de la palma de coco se apila, se cubre con un paño de polietileno y se almacena de 4 a 6 semanas.

La cobertura evita la evaporación del agua durante la difusión. La doble difusión comprende dos soluciones químicas mantenidas por agua, cuando la madera verde es primeramente inmersa en una y después en la otra. Las sustancias químicas reaccionan entre sí para precipitar el compuesto el cual es el preservativo deseado. Un ejemplo es solución de sulfato de cobre y otro de dicromato sódico mezclado con pentóxido de arsénico. El tiempo de tratamiento es de 2 o 3 días para los primeros químicos y 3 días o más para el segundo compuesto.

Los métodos de baños fríos o calientes involucran calentar un preservativo mantenidos en aceite, con la madera de la palma de coco sumergida por varias horas (80 a 100 °C) y luego transferirla a un baño frío del mismo preservativo. Mientras se caliente, el aire dentro de la madera se expande y parte de él se escapa. Durante el proceso de calentamiento se absorbe una pequeña cantidad de preservativo. Cuando es sumergida en el baño frío, el aire contrae la

madera, causando la absorción de mucho más preservativo. El tiempo de tratamiento varía de 1 a 12 horas y depende de la condición de la madera seca y penetración requerida.

2. DISEÑO EXPERIMENTAL

2.1. Determinación de las características físicas

Son las características o cualidades palpables y visibles propias de un ser u objeto que lo distinguen de los demás, en el caso de la madera, estas características pueden ser: color, sabor, olor, textura, diseño, humedad, densidad, contracción volumétrica entre otras.

2.1.1. Color

El color en la madera es una característica muy singular, ya que la madera cualquiera que sea, viste de elegancia y estilo con sus coloridos diseños. En el caso de la madera de *Cocos nucifera* (cocotero o coco) su color es de tonos rojizos y tonos color piel, las fibras en tonos corintos y cafés.

Figura 6. **Color madera de *Cocos nucifera* recién aserrada**



Fuente: kilómetro 93, Masagua, Escuintla, antigua carretera al Puerto San José.

2.1.2. Olor

En la madera el olor es muy característico de cada especie, hay maderas con aromas frutales, picantes, secos, entre otros; en el caso particular de la madera de *Cocos nucifera*, tiene aroma a tierra en la parte del tronco de la palmera y aroma a coco propiamente en el resto de la palmera.

2.1.3. Sabor

Las maderas presentan múltiples sabores, las hay dulces, amargos, picantes, entre otros; es necesario determinar el uso de la madera para saber si conviene utilizar una madera dulce, amarga o picante según corresponda. La madera de *Cocos nucifera* tiene el sabor característico del agua de coco, un sabor dulce con un toque de acidez ligero, si se le deja fermentar, el sabor sigue siendo dulce, pero el toque de acidez es más acentuado.

2.1.4. Textura

Partiendo de la teoría, la madera de *Cocos nucifera* es de textura gruesa, esto debido a que fácilmente se pueden apreciar y distinguir sus componentes anatómicos a simple vista debido al tamaño que estos poseen dentro de la composición de la madera respectivamente.

Figura 7. **Textura madera de *Cocos nucifera***



Fuente: Carpintería Los Cedros, San Cristóbal, Mixco.

2.1.5. Grano

Tomando como referencia lo descrito en la teoría, la madera de *Cocos nucifera* es una madera con grano recto en la mayoría de su constitución y en ciertas secciones presenta pequeñas porciones de grano inclinado.

Figura 8. **Grano de la madera de *Cocos nucifera***



Fuente: Carpintería Los Cedros, San Cristóbal, Mixco.

2.1.6. Diseño

El diseño de la madera de *Cocos nucifera* es jaspeado, ya que las variaciones de color se deben a los diferentes grupos de células que se agrupan en la composición de esta madera.

Figura 9. **Diseño de la madera de *Cocos nucifera***



Fuente: Carpintería Los Cedros, San Cristóbal, Mixco

2.2. Propiedades mecánicas

En ingeniería, las propiedades mecánicas de los materiales son las características inherentes, que permiten diferenciar un material de otro. También se puede decir que las propiedades mecánicas son aquellas que manifiestan los sólidos cuando se aplica una fuerza. Las propiedades mecánicas de los materiales se refieren a la capacidad de los mismos de resistir acciones de cargas: las cargas o fuerzas actúan momentáneamente, tienen carácter de choque.

2.2.1. Preparación de material para ensayos mecánicos

Tomando como referencia la Norma ASTM D143-83 en su sección de métodos primarios, se prosiguió a la selección de cinco (5) árboles de *Cocos nucifera* que reunieran las características apropiadas para el procesamiento de

la madera para la obtención de los diferentes especímenes necesarios para cada ensayo a realizar. Estos árboles, o mejor dicho palmeras de *Cocos nucifera*, ya se encontraban en su período final de producción, este es el momento ideal para la extracción de madera, ya que el árbol no produce más y la madera está madura y lista para su procesamiento.

Luego de la selección de los árboles, los cuales se ubicaban en el kilómetro 93,5 carretera vieja hacia el puerto de San José, en la jurisdicción de Masagua, Escuintla; se marca el norte de cada árbol, y luego de talado, se trazan secciones de 4 pies de largo desde la base hasta la parte superior de la palmera, cada sección debe ser identificada con el norte del árbol, número de árbol y sección a la que pertenece.

Figura 10. Tala de *Cocos nucifera*



Fuente: kilómetro 93, Masagua, Escuintla, antigua ruta al Puerto San José.

Figura 11. **Sección marcada**



Fuente: kilómetro 93, Masagua, Escuintla, antigua ruta al Puerto San José.

En la figura 11 se puede apreciar la forma de identificar cada sección del árbol, en este caso, la línea roja horizontal indica que ese es el norte del árbol, el número 2 en romanos indica que es el árbol numero dos (2), y finalmente la letra C indica que es la sección C de dicho árbol, esta sección comprende la altura de 8 a 12 pies de dicho árbol.

Luego de talados y marcadas las secciones de las 5 palmeras, se debe transportar cada troza hacia el aserradero donde se desea iniciar el proceso de corte, dicho transporte se realizó en un camión con capacidad de 15 toneladas. Posterior al traslado, debe marcarse la sección de cada troza partiendo del eje norte conforme a lo especificado en la Norma ASTM D143-83.

Figura 12. Trazo de cuadrícula



Fuente: Industrias Verdumaga S.A., zona 7, Guatemala.

En la figura 12 se puede observar el trazo de la cuadrícula, la misma está realizada con sección de 2 ½ por 2 ½ pulgadas en cada cuadro partiendo del centro de cada troza, tal y como especifica la Norma ASTM D143-83; además de realizar la cuadrícula, en cada cuadro debe marcarse el punto cardinal al que pertenece, número de troza y árbol; si se toma como referencia la nomenclatura S1 2A, se está haciendo referencia al cuadro sur 1, árbol número 2, y sección A.

Luego de marcadas todas las trozas, debe iniciarse el corte de las mismas, en este caso se cortaron con una sierra para madera tipo Wood-Mizeer con el objetivo de obtener un corte más fino y preciso y con el menor desperdicio posible, por cuestiones económicas solamente se cortaron planchas de 2 ½ pulgadas de espesor y posteriormente en la empresa Carpintería y Ebanistería Los Cedros se finalizó el corte de las mismas.

Figura 13. **Corte de trozas con sierra Wood-Mizeer**



Fuente: Industrias Verdumaga S.A., zona 7, Guatemala.

Luego de cortadas todas las barras con la sección de $2 \frac{1}{2}$ por $2 \frac{1}{2}$ pulgadas por 4 pies de largo, se deben secar a la sombra, no debe existir contacto con el suelo, debe fluir el aire libremente, no debe estar expuesta al sol directo, lluvia o cualquier otra condición meteorológica; entre cada barra debe existir una separación de 0,5 pulgadas para que el aire circule libremente tal y como lo especifica la Norma ASTM D143-83.

Figura 14. **Separación para el secado**



Fuente: carpintería Los Cedros, San Cristóbal, Mixco.

Figura 15. **Secado madera de Cocos nucifera**



Fuente: carpintería Los Cedros, San Cristóbal, Mixco.

2.2.2. Flexión estática

Es la resistencia de la viga a una carga puntual, aplicada en el centro de la luz, determinando la tensión en el límite de proporcionalidad, tensión de rotura y el módulo de elasticidad. Con el ensayo de flexión estática se pueden deducir propiedades como la medida de la máxima capacidad que tiene una probeta para soportar una carga gradual aplicada en un período corto de tiempo (módulo de rotura), y por lo tanto, ya haber cuantificado la resistencia a la deflexión de la misma (módulo de elasticidad).

La ecuación para calcular el esfuerzo de flexión estática es la siguiente:

$$\sigma = 1,5 \left(\frac{L * Q}{b * h^2} \right)$$

Donde:

σ = esfuerzo en kg/cm²

L = luz entre apoyos en cm

Q = carga aplicada en kg

b = base de la probeta en cm

h² = altura de probeta al cuadrado en cm²

Las dimensiones de las probetas para este ensayo son de 2 por 2 por 30 pulgadas de largo, como lo especifica la Norma ASTM D143-83.

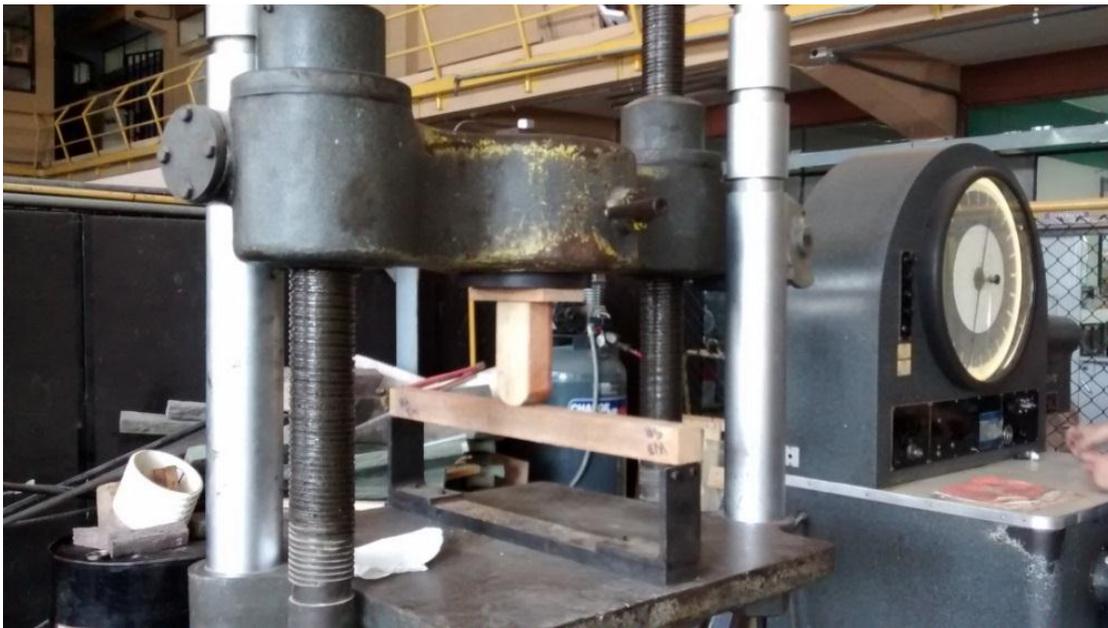
Figura 16. **Probeta para ensayo de flexión estática**



Fuente: carpintería Los Cedros, San Cristóbal, Mixco.

Previo a realizar el ensayo, cada probeta se mide en la sección con un vernier digital para tener la medida exacta, además, se marca el centro para indicar que en ese punto se aplicará la carga para dicho ensayo.

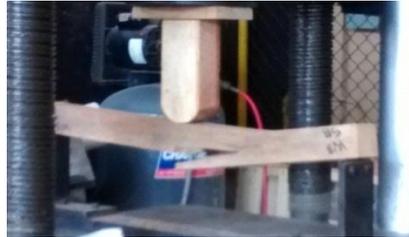
Figura 17. **Sistema armado para flexión estática**



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala.

En la figura 15 se tiene el sistema armado en la máquina universal, se observa la probeta simplemente apoyada, el cabezal que aplica la carga puntual en el centro de la probeta y el dial donde se leen los valores de las cargas aplicadas para cada probeta.

Figura 18. **Ensayo de flexión estática, momento de fractura**



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala.

Tabla II. **Datos flexión estática**

FLEXIÓN ESTÁTICA						
PROBETA	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	LUZ (cm)	ALTURA ² (cm ²)	CARGA (Kg)	MÓDULO DE RUPTURA (Kg/cm ²)
1	5,08	5,08	72,00	25,806	850,00	700,25
2	5,08	5,08	72,00	25,806	300,00	247,15
3	5,08	5,08	72,00	25,806	700,00	576,67
4	5,08	5,08	72,00	25,806	935,00	770,27
5	5,08	5,08	72,00	25,806	700,00	576,67
6	5,08	5,08	72,00	25,806	625,00	514,89
7	5,08	5,08	72,00	25,806	650,00	535,48
8	5,08	5,08	72,00	25,806	175,00	144,17
9	5,08	5,08	72,00	25,806	530,00	436,62
10	5,08	5,08	72,00	25,806	450,00	370,72
11	5,08	5,08	72,00	25,806	200,00	164,76
12	5,08	5,08	72,00	25,806	210,00	173,00
13	5,08	5,08	72,00	25,806	215,00	177,12
14	5,08	5,08	72,00	25,806	175,00	144,17
15	5,08	5,08	72,00	25,806	475,00	391,31
16	5,08	5,08	72,00	25,806	1050,00	865,01
17	5,08	5,08	72,00	25,806	200,00	164,76
18	5,08	5,08	72,00	25,806	175,00	144,17
19	5,08	5,08	72,00	25,806	675,00	556,08
20	5,08	5,08	72,00	25,806	410,00	337,77
21	5,08	5,08	72,00	25,806	660,00	543,72
22	5,08	5,08	72,00	25,806	425,00	350,12
23	5,08	5,08	72,00	25,806	135,00	111,22
24	5,08	5,08	72,00	25,806	175,00	144,17
25	5,08	5,08	72,00	25,806	250,00	205,96

Continuación de la tabla II.

MEDIANA (Kg/cm²)	350,124
PROMEDIO (Kg/cm²)	373,850
DESVIACIÓN ESTANDAR (Kg/cm²)	222,871
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0,59615

Fuente: elaboración propia.

2.2.3. Compresión paralela a la fibra

El ensayo se basa en aplicar, sobre una sección transversal extrema de la probeta, una carga continua en dirección paralela a las fibras de la madera hasta llegar al punto de falla de la probeta.

En el cálculo de los elementos comprimidos se ha de realizar la comprobación de la inestabilidad de la pieza (pandeo), en el que influye decisivamente el módulo de elasticidad. El valor relativamente bajo de este módulo reduce en la práctica la resistencia a la compresión en piezas esbeltas.

Esta propiedad resulta importante en una gran cantidad de tipos de piezas, como pilares, montantes de muros entramados, pares de cubierta, entre otras.

Las probetas para este ensayo son de las dimensiones siguientes: sección de 2 por 2 por 8 pulgadas de largo como lo dicta la Norma ASTM D143-83.

Figura 19. **Sistema armado para compresión paralela a la fibra**



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala.

Figura 20. **Probeta ensayada y fallada en compresión paralela a la fibra**



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala.

En la figura 20 se puede notar que esta probeta soportó una carga de 600 kilogramos y fallo de la manera en que se observa. La ecuación para calcular el esfuerzo de compresión paralela, es la siguiente:

$$\sigma = \frac{Q}{b * h}$$

Donde:

σ = esfuerzo en Kg/cm²

Q = carga aplicada en Kg

b = base de la probeta en cm

h = altura de la probeta en cm

Tabla III. Datos compresión paralela a la fibra

COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA							
PROBETA	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	LONGITUD	SECCIÓN (cm ²)	PESO (Kg)	CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)
1	5,208	5,237		27,274	0,375	8500	311,65
2	5,287	5,335		28,206	0,334	7400	262,35
3	5,273	5,271		27,794	0,308	2250	80,95
4	5,252	5,262		27,636	0,296	2300	83,22
5	5,303	5,225		27,708	0,592	19520	704,49
6	5,314	5,258		27,941	0,194	3220	115,24
7	5,255	5,335		28,035	0,206	1810	64,56
8	5,309	5,350		28,403	0,415	9800	345,03
9	5,282	5,274		27,857	0,408	6700	240,51
10	5,241	5,322		27,893	0,443	10120	362,82
11	5,223	5,292		27,640	0,238	700	25,33
12	5,249	5,207		27,332	0,465	11900	435,39
13	5,281	5,332		28,158	0,424	7100	252,15
14	5,315	5,300		28,170	0,227	1700	60,35
15	5,342	5,316		28,398	0,357	7500	264,10
16	5,290	5,278		27,921	0,564	18500	662,59
17	5,279	5,300		27,979	0,337	1740	62,19
18	5,281	5,282		27,894	0,304	5800	207,93
19	5,342	5,233		27,955	0,32	3500	125,20
20	5,200	5,232		27,206	0,403	6000	220,54
21	5,217	5,225		27,259	0,506	12800	469,57
22	5,245	5,336		27,987	0,276	2600	92,90
23	5,182	5,074		26,293	0,488	11900	452,58
24	5,340	5,371		28,681	0,237	1500	52,30
25	5,382	5,276		28,395	0,392	6700	235,95

Continuación de la tabla III.

MEDIANA (Kg/cm²)	235,953
PROMEDIO (Kg/cm²)	247,596
DESVIACIÓN ESTANDAR (Kg/cm²)	186,983
COEFICIENTE DE VARACIÓN	0,75519

Fuente: elaboración propia.

2.2.4. Compresión perpendicular a la fibra

Cuando una pieza de madera es sometida, las fibras que tienen forma cilíndrica sufren una exagerada deformación hasta el momento en que las paredes opuestas de los microcilindros se unen y compactan de la mejor forma llegando a aumentar su densidad, a partir de esta condición la madera se recupera y aumenta su resistencia. En este ensayo, teóricamente no se llega al esfuerzo de ruptura y la probeta falla por inestabilidad estructural o resbalamiento de una porción respecto a la otra.

El esfuerzo representativo en este caso es el esfuerzo en el límite proporcional elástico. La determinación de esta resistencia es importante en el diseño de vigas y fundamentalmente en los apoyos, ya que en ellos se da este tipo de esfuerzos.

Para este ensayo las probetas deben ser de las medidas especificadas en la Norma ASTM D143-83 y estas dimensiones son las siguientes: sección de 2 pulgadas por 2 pulgadas y largo de 6 pulgadas respectivamente.

Al igual que con las probetas para compresión paralela a la fibra, se mide la sección que resistirá las cargas con un vernier digital, se pesan y luego se procede a armar el sistema para dicho ensayo.

Figura 21. **Sistema armado para compresión perpendicular a la fibra**



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala.

En la imagen de la figura 21 se observa el sistema armado, que consta de la probeta en posición horizontal, una placa de metal que transmite la fuerza y el dial de deformaciones en milésimas de pulgada; este dial se coloca en cero y cuando este da una vuelta completa que corresponde a 100 milésimas de pulgada se anota la carga aplicada.

La ecuación para calcular el esfuerzo de compresión perpendicular a la fibra es la siguiente:

$$\sigma = \frac{Q}{b * h}$$

Donde:

σ =esfuerzo en Kg/cm²

Q=carga aplicada en Kg

b=base de la probeta en cm

h=altura que corresponde al ancho de la placa de metal en cm valor constante

Tabla IV. Datos compresión perpendicular a la fibra

COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA							
PROBETA	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	LONGITUD	SECCIÓN (cm ²)	PESO (Kg)	CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)
1	5,295	5,066		26,824	0,277	2800	104,38
2	5,223	5,066		26,460	0,262	2000	75,59
3	5,329	5,066		26,997	0,248	500	18,52
4	5,325	5,066		26,976	0,284	1775	65,80
5	5,262	5,066		26,657	0,449	13500	506,43
6	5,182	5,066		26,252	0,268	950	36,19
7	5,298	5,066		26,840	0,258	700	26,08
8	5,324	5,066		26,971	0,331	2960	109,75
9	5,249	5,066		26,591	0,306	2460	92,51
10	5,216	5,066		26,424	0,340	3400	128,67
11	5,150	5,066		26,090	0,193	175	6,71
12	5,236	5,066		26,526	0,363	4000	150,80
13	5,280	5,066		26,748	0,318	1400	52,34
14	5,290	5,066		26,799	0,150	775	28,92
15	5,293	5,066		26,814	0,330	2800	104,42
16	5,298	5,066		26,840	0,429	10750	400,53
17	5,214	5,066		26,414	0,243	1575	59,63
18	5,257	5,066		26,632	0,219	1725	64,77
19	5,306	5,066		26,880	0,232	950	35,34
20	5,220	5,066		26,445	0,297	1625	61,45
21	5,200	5,066		26,343	0,365	4050	153,74
22	5,129	5,066		25,984	0,203	650	25,02
23	5,095	5,066		25,811	0,372	6500	251,83
24	5,236	5,066		26,526	0,158	615	23,19
25	5,299	5,066		26,845	0,281	1575	58,67

Continuación de la tabla IV.

MEDIANA (Kg/cm²)	64,772
PROMEDIO (Kg/cm²)	105,650
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Kg/cm²)	119,019
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	1,12654

Fuente: elaboración propia.

2.2.5. Dureza

La dureza en la madera depende de la cohesión de las fibras y de su estructura. Se manifiesta en la dificultad que pone la madera de ser penetrada por otros cuerpos (clavos, tornillos) o a ser trabajada (cepillo, serrucho, gubia, trincheta). La dureza depende de la especie, la zona del tronco y la edad. En general suele coincidir que las más duras son las más pesadas, y que a la vez, permiten un mejor acabado. Generalmente las maderas duras son las más apreciadas.

Conocer la dureza de la madera permite en primer lugar seleccionar de forma acertada el tipo o especie de madera a utilizar en determinado proyecto teniendo en cuenta la función que realizará y en segundo lugar seleccionar procedimientos acertados para su elaboración. Por ejemplo, una madera dura presentará resistencia a la penetración de clavos o tornillos a tal extremo que puede rajarse la pieza o partirse el tornillo, por lo tanto, el operario debe determinar el procedimiento adecuado para evitar estos accidentes.

Las probetas para este ensayo tienen las dimensiones de 2 por 2 por 6 pulgadas de largo, el ensayo consiste en colocar la probeta en la máquina

universal y aplicar carga hasta que la semiesfera penetre en la madera, cuando esto sucede, se lee el valor de la carga aplicada; este procedimiento se realiza en las 4 caras y en sus dos extremos para luego realizar un promedio de estos valores para tener un dato por probeta.

Figura 22. **Ensayo de dureza**



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala.

En la figura 22 se puede observar el sistema trabajando, como se puede notar en las caras ya ha sido realizado el ensayo, por lo que se nota la penetración en la madera, ahora es el turno de los extremos como se puede observar.

Tabla V. Datos ensayo de dureza

DUREZA							
PROBETA	CARA 1 (Kg)	CARA 2 (Kg)	CARA 3 (Kg)	CARA 4 (Kg)	EXTREMO 1 (Kg)	EXTREMO 2 (Kg)	PROMEDIO (Kg)
1	515,00	625,00	700,00	875,00	500,00	500,00	619,167
2	125,00	350,00	150,00	125,00	300,00	250,00	216,667
3	250,00	400,00	650,00	625,00	600,00	700,00	537,500
4	700,00	475,00	550,00	750,00	650,00	675,00	633,333
5	300,00	350,00	550,00	675,00	575,00	600,00	508,333
6	450,00	525,00	375,00	175,00	500,00	350,00	395,833
7	250,00	325,00	375,00	375,00	400,00	450,00	362,500
8	75,00	80,00	100,00	100,00	125,00	100,00	96,667
9	425,00	400,00	175,00	275,00	375,00	325,00	329,167
10	375,00	325,00	75,00	200,00	175,00	300,00	241,667
11	100,00	75,00	135,00	150,00	125,00	100,00	114,167
12	125,00	100,00	100,00	250,00	150,00	150,00	145,833
13	175,00	225,00	75,00	75,00	125,00	210,00	147,500
14	100,00	160,00	200,00	250,00	150,00	175,00	172,500
15	200,00	400,00	450,00	250,00	450,00	475,00	370,833
16	875,00	500,00	575,00	750,00	650,00	800,00	691,667
17	135,00	100,00	100,00	75,00	150,00	200,00	126,667
18	100,00	100,00	125,00	125,00	75,00	150,00	112,500
19	675,00	450,00	200,00	675,00	550,00	525,00	512,500
20	400,00	250,00	225,00	150,00	300,00	200,00	254,167
21	575,00	500,00	175,00	125,00	300,00	550,00	370,833
22	250,00	250,00	175,00	165,00	225,00	250,00	219,167
23	75,00	100,00	125,00	75,00	125,00	150,00	108,333
24	135,00	125,00	100,00	175,00	175,00	200,00	151,667
25	125,00	125,00	275,00	325,00	225,00	200,00	212,500

MEDIANA (Kg)	241,667
PROMEDIO (Kg)	306,067
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Kg)	185,308
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0,60545

Fuente: elaboración propia.

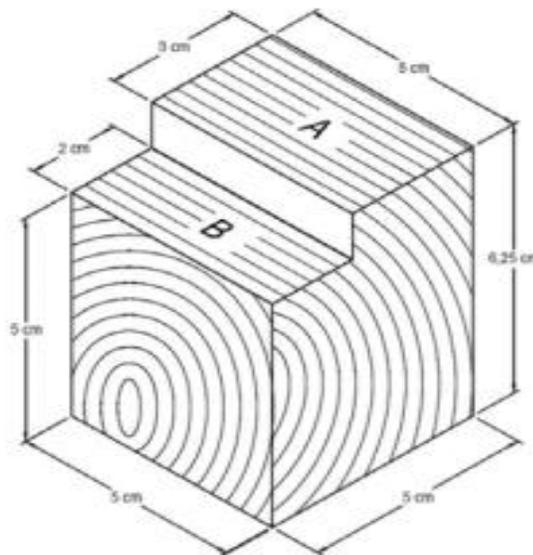
2.2.6. Corte paralelo a la fibra

El esfuerzo cortante origina tensiones tangenciales que actúan sobre las fibras de la madera según diversos modos:

- Tensiones tangenciales de cortadura: las fibras son cortadas transversalmente por el esfuerzo. El fallo se produce por aplastamiento.
- Tensiones tangenciales de deslizamiento: el fallo se produce por el deslizamiento de unas fibras con respecto a otras en la dirección longitudinal.
- Tensiones tangenciales de rodadura: el fallo se produce por rodadura de unas fibras sobre las otras.

En las piezas sometidas a flexión y a cortante, las tensiones que intervienen son conjuntamente las de cortadura y deslizamiento. Sus valores característicos (por deslizamiento) varían entre 1,7 y 3,0 Newton por milímetro cuadrado en las especies y calidades utilizadas habitualmente en la construcción.

Figura 23. **Probeta corte paralelo a la fibra**



Fuente: [bdigital.http://www.bdigital.unal.edu.co/6479/1/300357.2012.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/6479/1/300357.2012.pdf). Consulta: 08 de marzo de 2015.

Las probetas de corte paralelo a la fibra deben ser como se observa en la figura 27, con esa forma y medidas las cuales están establecidas en la Norma ASTM D143-83.

Figura 24. **Probeta corte paralelo a la fibra, ensayada y fallada**



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala.

Este ensayo consiste en armar el sistema, el cual consta de un marco de acero y de una plancha que tiene contacto en la muesca de la probeta, se aplica carga de manera que la plancha la transfiera al área de contacto hasta que esta falle, como se ve en la figura 29, y cuando esto se da, la carga que resiste es la que se anota, para posteriormente calcular el esfuerzo de corte de la misma.

Tabla VI. Datos corte paralelo a la fibra

CORTE PARALELO A LA FIBRA					
PROBETA	BASE (cm)	ALTURA (cm)	AREA (cm ²)	CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)
1	5,138	5,021	25,798	1400,00	54,268
2	5,104	5,004	25,540	900,00	35,238
3	5,119	5,107	26,143	1265,00	48,388
4	5,137	5,063	26,009	1310,00	50,368
5	5,130	4,968	25,486	1100,00	43,161
6	5,118	5,088	26,040	945,00	36,290
7	5,186	5,060	26,241	1035,00	39,442
8	5,189	5,007	25,981	530,00	20,399
9	5,084	5,003	25,435	850,00	33,418
10	5,072	4,986	25,289	1200,00	47,451
11	5,068	5,107	25,882	425,00	16,421
12	5,120	5,060	25,907	760,00	29,335
13	5,117	5,014	25,657	735,00	28,648
14	5,119	5,122	26,220	450,00	17,163
15	5,104	4,984	25,438	1000,00	39,311
16	5,100	5,005	25,526	1100,00	43,094
17	5,059	5,070	25,649	550,00	21,443
18	5,017	5,043	25,301	450,00	17,786
19	5,142	5,030	25,864	1325,00	51,229
20	5,130	5,070	26,009	1210,00	46,522
21	5,068	5,029	25,487	750,00	29,427
22	5,170	5,027	25,990	825,00	31,743
23	4,988	5,065	25,264	175,00	6,927
24	4,965	5,070	25,173	465,00	18,473
25	4,928	5,079	25,029	750,00	29,965

MEDIANA (Kg/cm²)	33,418
PROMEDIO (Kg/cm²)	33,436
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Kg/cm²)	12,924
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0,38653

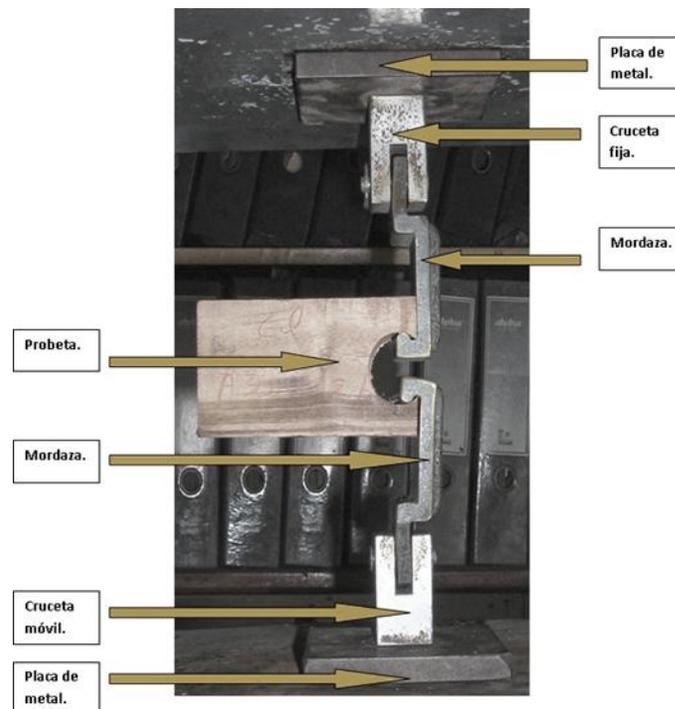
Fuente: elaboración propia.

2.2.7. Clivaje

Es la resistencia que ofrece la madera al rajamiento. Puede ser tangencial y radial, dependiendo de la ubicación de los anillos de crecimiento.

- Clivaje tangencial: el plano de falla es tangente a los anillos de crecimiento.
- Clivaje radial: es aquel en que el plano de falla es normal a los anillos de crecimiento.

Figura 25. Sistema armado con probeta para clivaje



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala.

En la figura 31 se muestra el sistema armado, las placas de metal y crucetas móviles sirven para sujetar las mordazas, dichas mordazas se introducen en la probeta como se observa y al aplicar las cargas estas van separando las fibras; cuando la probeta falle, se anota la carga con la cual esta fallo.

Figura 26. **Probeta de clivaje ya ensayada**



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala.

El ensayo consiste en medir el ancho de la probeta, dicha medida es desde el extremo recto hasta la semicircunferencia, armar el sistema, aplicar cargas; los datos son representados como una carga lineal respectivamente; y como se observa en la figura 32, ese es el tipo de falla para este ensayo.

Tabla VII. Datos de clivaje

CLIVAJE				
PROBETA	ANCHO (cm)	BASE (cm)	CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)
1	5,692	5,080	75,00	2,594
2	5,350	5,080	50,00	1,840
3	5,914	5,080	80,00	2,663
4	5,390	5,080	60,00	2,191
5	5,647	5,080	100,00	3,486
6	5,859	5,080	135,00	4,536
7	5,813	5,080	127,00	4,301
8	5,605	5,080	40,00	1,405
9	5,670	5,080	80,00	2,777
10	5,610	5,080	84,00	2,947
11	5,638	5,080	76,00	2,654
12	5,517	5,080	100,00	3,568
13	5,567	5,080	80,00	2,829
14	5,420	5,080	62,00	2,252
15	5,646	5,080	90,00	3,138
16	5,691	5,080	124,00	4,289
17	5,607	5,080	55,00	1,931
18	5,749	5,080	49,00	1,678
19	5,314	5,080	100,00	3,704
20	5,977	5,080	105,00	3,458
21	5,809	5,080	135,00	4,575
22	5,592	5,080	106,00	3,731
23	5,513	5,080	35,00	1,250
24	5,489	5,080	46,00	1,650
25	5,659	5,080	85,00	2,957
MEDIA (Kg/cm²)				2,829
PROMEDIO (Kg/cm²)				2,896
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Kg/cm²)				0,981
COEFICIENTE DE VARIACIÓN				0,33880

Fuente: elaboración propia.

2.2.8. Tensión paralela a la fibra

La resistencia a tensión paralela a la fibra es elevada. En la madera clasificada, los valores característicos oscilan entre 8 y 18 Newtons por milímetro cuadrado. Como ejemplo de piezas solicitadas a este esfuerzo se encuentran, principalmente, los tirantes y los pendolones de las cerchas.

El ensayo consiste en elaborar las probetas con la forma y dimensiones que son especificadas en la Norma ASTM D143-83, posteriormente debe medirse la sección de central de cada probeta, ya que esta área es la que será sometida al esfuerzo solicitado; el sistema de ensayo en la máquina universal está compuesto por un par de mordazas en las cuales entra la probeta, se aplican las cargas y se anota la carga en la cual la probeta falle.

Figura 27. Sistema armado para tensión paralela a la fibra



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala.

Figura 28. **Probeta fallada a tensión paralela a la fibra**



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala.

Tabla VIII. Datos tensión paralela a la fibra

TENSIÓN PARALELA A LA FIBRA					
PROBETA	BASE (cm)	ANCHO (cm)	ÁREA (cm²)	CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm²)
1	0,702	1,080	0,758	45,00	59,35
2	0,647	1,048	0,678	210,00	309,71
3	0,547	0,993	0,543	340,00	625,95
4	0,744	1,148	0,854	420,00	491,74
5	0,730	1,100	0,803	180,00	224,16
6	0,767	1,043	0,800	273,00	341,26
7	0,699	1,127	0,788	365,00	463,33
8	0,625	0,983	0,614	257,00	418,31
9	0,633	1,158	0,733	105,00	143,24
10	0,735	1,039	0,764	139,00	182,02
11	0,601	1,112	0,668	37,00	55,36
12	0,718	1,045	0,750	80,00	106,62
13	0,761	1,209	0,920	70,00	76,08
14	0,726	0,950	0,690	460,00	666,96
15	0,728	1,096	0,798	100,00	125,33
16	0,615	1,106	0,680	220,00	323,44
17	0,653	0,987	0,645	335,00	519,77
18	0,849	1,146	0,973	290,00	298,06
19	0,713	0,945	0,674	125,00	185,52
20	0,570	1,109	0,632	60,00	94,92
21	0,650	1,064	0,692	215,00	310,87
22	0,653	1,254	0,819	40,00	48,85
23	0,838	0,970	0,813	280,00	344,46
24	0,714	1,023	0,730	55,00	75,30
25	0,678	1,126	0,763	63,00	82,52

MEDIANA (Kg/cm²)	224,159
PROMEDIO (Kg/cm²)	262,926
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Kg/cm²)	186,279
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0,70849

Fuente: elaboración propia, Microsoft Excel 2010.

2.2.9. Tensión perpendicular a la fibra

Su resistencia a la tracción perpendicular a la fibra es muy baja (del orden de 30 a 70 veces menos que en la dirección paralela). Su valor característico es de 0,3 a 0,4 Newtons por milímetro cuadrado.

En la práctica y aplicado a las estructuras, esta sollicitación resulta crítica en piezas especiales de directriz curva (arcos, vigas curvas) o en zonas de cambio brusco de directriz (zonas de vértice). Estas tensiones de tracción, también se pueden producir como consecuencia de la coacción del libre movimiento transversal de la madera en soluciones constructivas incorrectas, que pueden ser evitadas fácilmente con el conocimiento del material.

El ensayo consiste en preparar las probetas según las especificaciones, medir el área de esfuerzo, la cual comprende el ancho y la medida entre los dos semicírculos de los extremos, armar el sistema con las mordazas y aplicar las cargas respectivamente.

Figura 29. **Sistema armado para tensión perpendicular a la fibra**



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala.

Tabla IX. Datos tensión perpendicular a la fibra

TENSIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA					
PROBETA	BASE (cm)	ANCHO (cm)	ÁREA (cm²)	CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm²)
1	2,139	5,204	11,131	120	10,78
2	2,448	5,216	12,769	135	10,57
3	2,660	5,173	13,760	145	10,54
4	2,526	5,181	13,087	125	9,55
5	2,130	5,024	10,701	200	18,69
6	2,323	5,215	12,114	75	6,19
7	2,305	5,136	11,838	175	14,78
8	2,530	5,116	12,943	130	10,04
9	2,127	5,155	10,965	98	8,94
10	2,301	5,029	11,572	105	9,07
11	2,570	5,157	13,253	60	4,53
12	2,441	5,106	12,464	175	14,04
13	2,524	5,162	13,029	107	8,21
14	2,546	5,015	12,768	187	14,65
15	2,166	4,963	10,750	25	2,33
16	2,160	5,149	11,122	5	0,45
17	2,797	4,880	13,649	250	18,32
18	2,225	5,092	11,330	30	2,65
19	2,431	5,253	12,770	54	4,23
20	2,498	5,082	12,695	102	8,03
21	2,319	5,107	11,843	53	4,48
22	2,007	5,033	10,101	31	3,07
23	2,171	5,071	11,009	5	0,45
24	2,634	5,161	13,594	30	2,21
25	2,576	4,991	12,857	190	14,78

MEDIANA (Kg/cm²)	8,938
PROMEDIO (Kg/cm²)	8,463
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Kg/cm²)	5,370
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0,63451

Fuente: elaboración propia.

2.2.10. Desclave

La resistencia de un vástago de clavo para su extraída de una pieza particular de madera depende de la densidad de esta; el diámetro del clavo, y la profundidad de penetración, la condición superficial del clavo en el momento de la conducción también influye en la resistencia de retirada inicial.

Este ensayo tiene la finalidad de determinar la fuerza máxima con la cual se puede extraer un clavo de la madera, este valor es importante conocerlo, ya que los clavos son el material más común para la sujeción de piezas de madera; conocer este valor permitirá determinar si el diámetro del clavo debe ser mayor, si hay que utilizar más clavos, entre otras opciones.

Figura 30. **Probeta para desclave**



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala.

Figura 31. **Sistema armado para ensayo de desclave**



Fuente: Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad Universitaria, zona 12, Guatemala.

Tabla X. Datos de desclave

DESCLAVE				
PROBETA	RADIAL (Kg)	TANGENCIAL (Kg)	EXTREMO (Kg)	PROMEDIO (Kg)
1	120	170	150	146,667
2	45	65	27	45,667
3	180	120	150	150,000
4	110	158	147	138,333
5	55	80	107	80,667
6	157	108	110	125,000
7	90		123	106,500
8	40	20	25	28,333
9	70	99	80	83,000
10	20	60	55	45,000
11	22	20	45	29,000
12	45	73	50	56,000
13	47	25	25	32,333
14	55	22	30	35,667
15	50	93	45	62,667
16	195	176	75	148,667
17	15	26	25	22,000
18	18	30	20	22,667
19	85	105	96	95,333
20	60	35	52	49,000
21	52	160	75	95,667
22	30	63	27	40,000
23	15	23	7	15,000
24	45	56	20	40,333
25	35	40	40	38,333

MEDIANA (Kg/cm ²)	49,000
PROMEDIO (Kg/cm ²)	69,273
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (Kg/cm ²)	44,412
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0,64111

Fuente: elaboración propia.

3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La madera de *Cocos Nucifera* fue seleccionada a manera de cubrir la mayor cantidad de zonas del tallo, tanto en altura como en sección transversal del mismo. La selección se realizó de la siguiente forma: de la probeta 1 a la 14 se tiene representada la altura promedio del árbol, de la probeta 15 en adelante se inició nuevamente la selección desde la base del tallo, tomando puntos transversalmente ubicados distintos a los ya seleccionados anteriormente.

La selección se definió bajo los criterios que dicta la Norma ASTM D 143-83, y adicionalmente a que la densidad varía en relación a la altura y cercanía con el corazón del tallo; la madera de la base tiene mejores propiedades por su cantidad de fibra que proporcionalmente disminuye con la altura, así también, la madera del perímetro del tallo tiene mejores propiedades que la madera del corazón del mismo.

Un claro ejemplo de esta variación se puede observar en los datos de flexión estática calculados anteriormente, en donde se puede observar que la probeta 16 tiene el valor más alto y esto es debido a que esta probeta está ubicada en la base del tallo y en el perímetro del mismo, caso contrario con la probeta 23, que tiene el valor más bajo y esto es debido a que está posicionada a mayor altura y en el corazón del tallo, región en la que la fibra es menor o escasa.

El primer ensayo realizado fue el de flexión estática, de las partes no dañadas de la probeta se obtuvieron las probetas para realizar los demás.

3.1. Flexión estática

Es la resistencia de la viga a una carga puntual, aplicada en el centro de la luz, determinando la tensión en el límite de proporcionalidad, tensión de rotura y el módulo de elasticidad.

Con el ensayo de flexión estática se pueden deducir propiedades como la medida de la máxima capacidad que tiene una probeta para soportar una carga gradual aplicada en un período corto de tiempo (módulo de rotura), y por lo tanto ya haber cuantificado la resistencia a la deflexión de la misma.

Figura 32. **Tabla de comparación flexión estática**

ESPECIE	FLEXIÓN (Kg/cm ²)
<i>Cocos Nucifera</i>	373,85
Ciprés	136,00
Caoba	136,00
Canoj	110,00
Cedro	81,00
Cenícero	110,00
Conacaste	81,00
Chichipate	178,00
Chique	206,00
Volador	140,00
Pino colorado	170,00
Pino del Petén	182,00
Otros pinos	97,00

Fuente: elaboración propia.

3.2. Compresión paralela a la fibra

Al igual que con el ensayo anterior, los valores se ven afectados por la cantidad de fibra presente en cada probeta, estas probetas fueron obtenidas de las porciones que no fueron lastimadas en el ensayo anterior.

Los valores obtenidos en este ensayo muestran que esta madera puede ser muy bien utilizada en la elaboración de pilares, postes, columnas y cualquier otro elemento vertical que soporte cargas.

A continuación se presenta el cuadro comparativo con otras especies.

Tabla XI. Comparación de compresión paralela a la fibra

ESPECIE	COMPRESIÓN PARALELA (Kg/cm ²)
<i>Cocos Nucifera</i>	247,60
Ciprés	60,00
Caoba	60,00
Canoj	60,00
Cedro	34,00
Cenícero	55,00
Conacaste	30,00
Chichipate	89,00
Chique	102,00
Volador	64,00
Pino colorado	76,00
Pino del Petén	76,00
Otros pinos	46,00

Fuente: elaboración propia.

3.3. Compresión perpendicular a la fibra

Las probetas de este ensayo se obtuvieron de la otra porción de la probeta ensayada a flexión que no sufrió daños, después de realizado dicho ensayo.

En el siguiente cuadro comparativo se podrá apreciar los valores de la madera de *Cocos Nucifera* con otras especies.

Tabla XII. **Comparación de compresión perpendicular a la fibra**

ESPECIE	COMPRESIÓN PERPENDICULAR (Kg/cm ²)
<i>Cocos Nucifera</i>	105,65
Ciprés	23,00
Caoba	45,00
Canoj	20,00
Cedro	35,00
Cenícero	45,00
Conacaste	20,00
Chichipate	55,00
Chique	60,00
Volador	35,00
Pino colorado	20,00
Pino del Petén	17,00
Otros pinos	11,00

Fuente: elaboración propia.

3.4. Dureza

Esta propiedad es muy importante, ya que da valores con los que se puede saber su resistencia a ser penetrada, perforada, bajo la acción de carga dinámica, con lo que se puede tomar en consideración para la fabricación de

elementos estructurales bajo estas condiciones y así también, instrumentos de labranza para otros usos diferentes a ingeniería.

En el siguiente cuadro se puede observar valores de dureza de varias especies de madera existentes en Guatemala y la dureza de la madera de Cocos nucifera; así mismo, la diferencia de dureza con cada madera.

Tabla XIII. **Comparación de dureza**

ESPECIE	DUREZA (Kg)	DUREZA COCO (Kg)	DIFERENCIA (Kg)
Ciprés	23,00	306,067	283,07
Caoba	45,00	306,067	261,07
Canoj	20,00	306,067	286,07
Cedro	35,00	306,067	271,07
Cenícero	45,00	306,067	261,07
Conacaste	20,00	306,067	286,07
Chichipate	55,00	306,067	251,07
Chique	60,00	306,067	246,07
Volador	35,00	306,067	271,07
Pino colorado	20,00	306,067	286,07
Pino del Petén	17,00	306,067	289,07
Otros pinos	11,00	306,067	295,07

3.5. Corte paralelo a la fibra

Al igual que las probetas de ensayos anteriores, las probetas para corte paralelo a la fibra se obtuvieron de las porciones que no sufrieron daños en dichos ensayos, en el caso de que no hubiese porción sin daño, la probeta se obtuvo de un punto cardinal adyacente con el objetivo de mantener la homogeneidad de los datos.

A continuación se muestra un cuadro comparativo de los valores de corte entre madera de *Cocos Nucifera* y otras especies.

Tabla XIV. **Comparación de corte paralelo a la fibra**

ESPECIE	CORTE PARALELO (Kg/cm ²)
<i>Cocos Nucifera</i>	33,44
Ciprés	6,00
Caoba	8,50
Canoj	8,50
Cedro	6,00
Cenícero	8,50
Conacaste	6,00
Chichipate	12,80
Chique	7,70
Volador	9,40
Pino colorado	17,00
Pino del Petén	18,70
Otros pinos	13,60

Fuente: elaboración propia.

3.6. Clivaje

Este ensayo tiene como finalidad conocer cuánta carga es necesaria para rajar la madera de *Cocos Nucifera* y el esfuerzo que esta genera, los datos de clivaje son muy bajos en relación a los otros ensayos. Este ensayo de clivaje se realizó perpendicular a la fibra de la madera.

A continuación se presenta el cuadro comparativo con otras especies.

Tabla XV. **Comparación de clivaje**

ESPECIE	CLIVAJE (Kg/cm ²)
<i>Cocos Nucifera</i>	2,90
Ciprés	6,80
Caoba	13,60
Canoj	16,20
Cedro	13,60
Cenícero	9,40
Conacaste	7,70
Chichipate	21,30
Chique	10,20
Volador	20,40
Pino colorado	
Pino del Petén	
Otros pinos	

Fuente: elaboración propia.

3.7. Tensión paralela a la fibra

En este ensayo nuevamente se puede observar valores altos; con este ensayo se puede determinar que la madera de *Cocos Nucifera* presenta condiciones muy buenas para ser utilizada en elementos como tensores, riostras y cualquier otro elemento sometido a estas condiciones o similares.

En el siguiente cuadro se muestran valores comparativos entre la madera de *Cocos Nucifera* y otras especies.

Tabla XVI. **Comparación tensión paralela a la fibra**

ESPECIE	TENSIÓN PARALELA (Kg/cm ²)
<i>Cocos Nucifera</i>	262,93
Ciprés	136,00
Caoba	106,00
Canoj	85,00
Cedro	68,00
Cenícero	85,00
Conacaste	77,00
Chichipate	136,00
Chique	200,00
Volador	132,00
Pino colorado	
Pino del Petén	
Otros pinos	

Fuente: elaboración propia.

3.8. Tensión perpendicular a la fibra

En relación al ensayo de tensión paralela a la fibra se puede observar que los valores de tensión perpendicular son muy bajos, esta información muestra que cualquier madera que pueda estar bajo tensión perpendicular a la fibra no resiste mucha carga, por lo que no es recomendable utilizarla en este sentido.

La tabla XVIII muestra los valores de distintas especies.

Tabla XVII. **Comparación de tensión perpendicular a la fibra**

ESPECIE	TENSIÓN PERPENDICULAR (Kg/cm ²)
<i>Cocos Nucifera</i>	8,43
Ciprés	6,00
Caoba	6,00
Canoj	8,50
Cedro	8,50
Cenícero	8,50
Conacaste	8,50
Chichipate	8,50
Chique	6,00
Volador	8,50
Pino colorado	
Pino del Petén	
Otros pinos	

Fuente: elaboración propia.

3.9. Desclave

Este ensayo es muy importante ya que toda la madera en ocasiones debe unirse, empalmarse, conectarse y sujetarse con otros elementos estructurales con el fin de realizar marcos rígidos, soportes, obras falsas, entre otros.

El valor de este ensayo radica en cuanta carga es necesaria para extraer un clavo de la madera, el clavo es el medio de sujeción más común y utilizado por lo que al saber esta información se puede calcular cuántos clavos son necesarios para mantener el empalme lo más rígido posible y que este soporte las cargas a las que es solicitado.

Tabla XVIII. Comparación de desclave

ESPECIE	DESCLAVE (Kg)
<i>Cocos Nucifera</i>	69,27
Ciprés	19,00
Caoba	30,00
Canoj	
Cedro	19,00
Cenícero	30,00
Conacaste	9,00
Chichipate	55,00
Chique	0,00
Volador	50,00
Pino colorado	
Pino del Petén	
Otros pinos	

Fuente: elaboración propia.

Si se analiza y se compara el comportamiento del crecimiento de la palma de *cocos nucifera* con el crecimiento de madera tradicional, se podrá observar la siguiente situación:

- Primero, en la madera de cocos nucifera su crecimiento es mayormente vertical, en cambio la madera tradicional, su crecimiento es vertical y horizontal, por lo que se pueden observar secciones de tallos de diámetros muy grandes;
- segundo, el comportamiento de la densidad es diferente, ya que en la madera tradicional la madera más densa y con mejores características y propiedades es la que está más cerca al corazón o centro del tallo, en cambio en la madera de *cocos nucifera*, la madera con mejores características y propiedades es la que se encuentra en todo el perímetro del tallo.

CONCLUSIONES

1. La caracterización de madera de *Cocos nucifera* contribuye a su uso estructural en la ingeniería civil, pues los resultados aportan estas características y propiedades, según las normas aplicadas.
2. La variación de resultados mecánicos se debe a la posición aérea y ubicación transversal de la madera en el tallo como en la troza respectivamente; los mejores valores, características y propiedades se obtienen de madera ubicada en la base del tallo y madera ubicada en el perímetro del mismo; es necesario recalcar que la densidad esta influenciada por dos factores, los cuales son: a mayor altura menor densidad y a mayor cercanía del corazón o centro del tallo menor densidad.
3. Con las tablas y gráficas, se determinan valores que pueden ser aceptados para diferentes usos y aplicaciones, según sean las necesidades.
4. La especie de *Cocos nucifera*, en su composición posee fibra que puede ser utilizada en otras áreas de ingeniería civil, esto para aprovechar casi en su totalidad el árbol.

RECOMENDACIONES

1. Las probetas para cada ensayo deben hacerse conforme a las especificaciones en la Norma ASTM D143-83 y con ayuda profesional.
2. Al momento de la tala es importante identificar muy bien cada árbol y troza de la mejor manera posible; para esto es necesario utilizar un color de pintura de diferente color para cada árbol y marcar cada sección, con lo que se tendrá un código por color para cada árbol haciendo más práctica su identificación para su manejo y proceso.
3. La madera de *Cocos nucifera* posee características físicas muy importantes, ya que cuenta con buena textura, color diseño y grano que la hacen muy atractiva y puede ser empleada en la fabricación de muebles, decoraciones, y cualquier otro uso que se le pueda imaginar; también dentro de sus características físicas cuenta con muy buena densidad en el perímetro del tallo, es una madera que absorbe fácilmente la humedad del medio ambiente, por lo que es necesario tener especial cuidado en el proceso de aserrado y secado de la misma para su posterior utilización.
4. Es importante realizar otros análisis para determinar el aprovechamiento y uso de la fibra que compone el árbol.

5. El aserrado de las barras después de marcadas es preciso que se realice en una sierra Wood- Mizeer, esto debido a que esta sierra cuenta con una hoja muy delgada, con lo que se desperdicia menos madera y las piezas son cortadas de manera uniforme.

6. Estructuralmente se puede utilizar en vigas y columnas para construir casas y puentes artesanales. El tronco sin ningún proceso puede ser utilizado como pilares. Al utilizarla en estos elementos estructurales se debe seleccionar la mejor madera, con las mejores propiedades, dicha madera se ubica en la base del tallo y en todo el perímetro del mismo.

Por ser un árbol de crecimiento vertical no desarrolla mucho ancho de tallo, por tal motivo que, al fabricar elementos estructurales de regulares dimensiones se tendrá madera con buenas propiedades y madera con propiedades no tan buenas. Debido a este fenómeno se han plasmado datos como valores promedio, mediana, desviación estándar y coeficiente de variación para obtener esfuerzos base y posteriormente esfuerzos de trabajo con los cuales se puede diseñar.

En el ámbito de la carpintería, puede utilizarse en la fabricación de muebles, marcos y cualquier otro tipo de mueble de preferencia lineal sin mucha moldura, pueden realizarse también tallas y esculturas. Por su fibra larga y colorida da una tonalidad muy vistosa tanto en acabado natural como con algún tinte en especial.

BIBLIOGRAFÍA

1. Arqhys [en línea] <http://www.arqhys.com/contenidos/madera-historia.html> [Consulta: 15 de abril de 2015].
2. Conacoco [en línea] <http://conacoco.com.mx/mx/index.php/derivados2/58-maderacoco>. [Consulta: 15 de abril de 2015].
3. Ecoport [en línea] <http://ecoport.org/ep?SearchType=earticleView&articleId=143&page=1860> [Consulta: 15 de abril de 2015].
4. FAO [en línea] <http://www.fao.org/docrep/r9400s/r9400s0a.htm> [Consulta: 15 de abril de 2015].
5. G. FROMENT. *Las Maderas de construcción*. Buenos Aires: Leru, 1954. 267 p.
6. Infomadera [en línea] http://www.infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_40_mecanicaEstructural.pdf [Consulta: 15 de abril de 2015].
7. Norma American Society for Testing Materials. *Norma ASTM D143-83*. Estados Unidos: ASTM, 1983.
8. SAMAYOA FLORES, Mario Domingo. *Estudio preliminar de las propiedades físico-mecánicas de 7 especies de pino en*

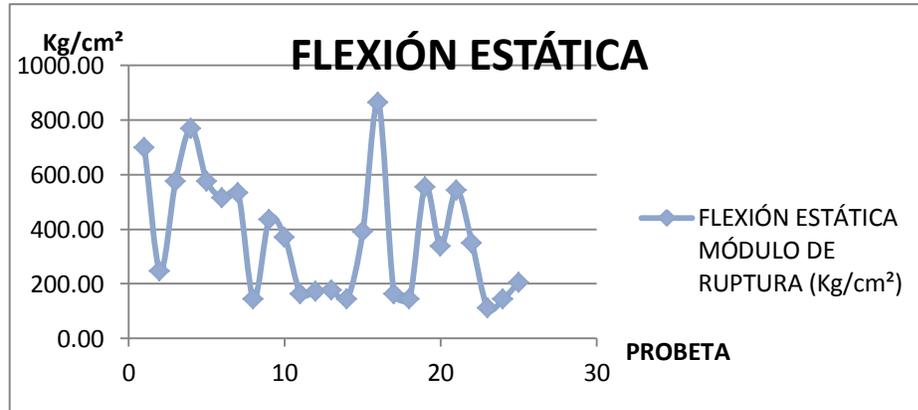
Guatemala. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1972. 120 p.

9. TOJ ATZ, Oscar David. *Caracterización física, mecánica y química de fibras de desecho de fruto del coco, para la utilización de matrices fibro reforzadas*. Guatemala. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008 150 p.

APÉNDICES

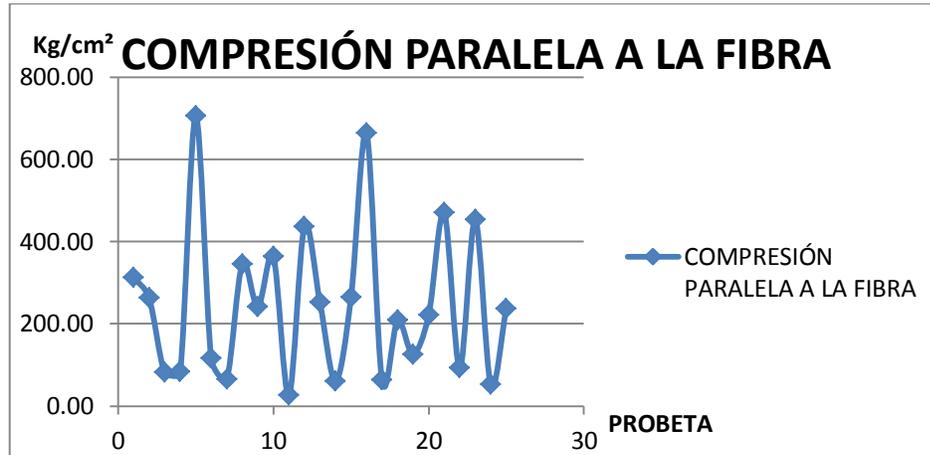
Gráficas de cada ensayo

Apéndice 1. Gráfica ensayo de flexión estática.



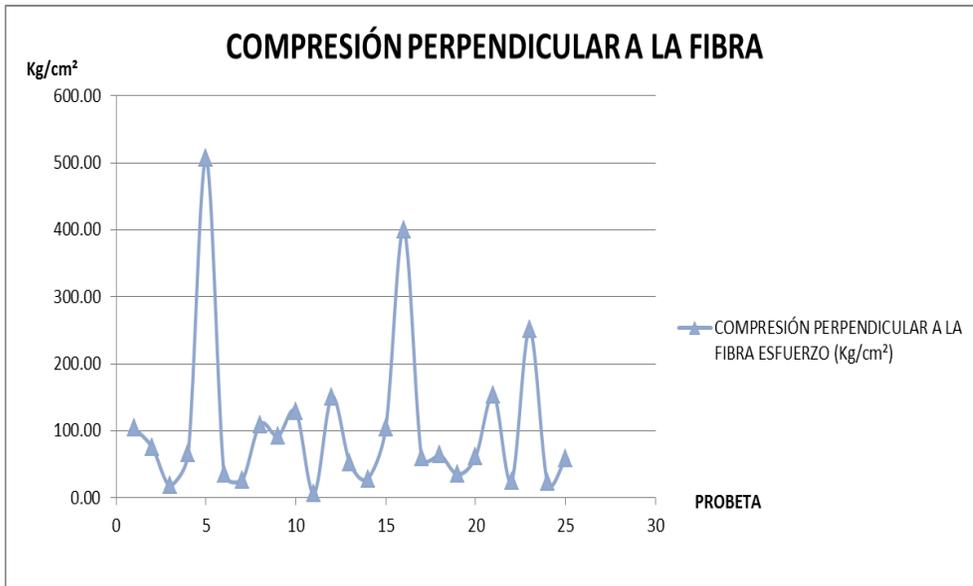
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Gráfica ensayo de compresión paralela a la fibra



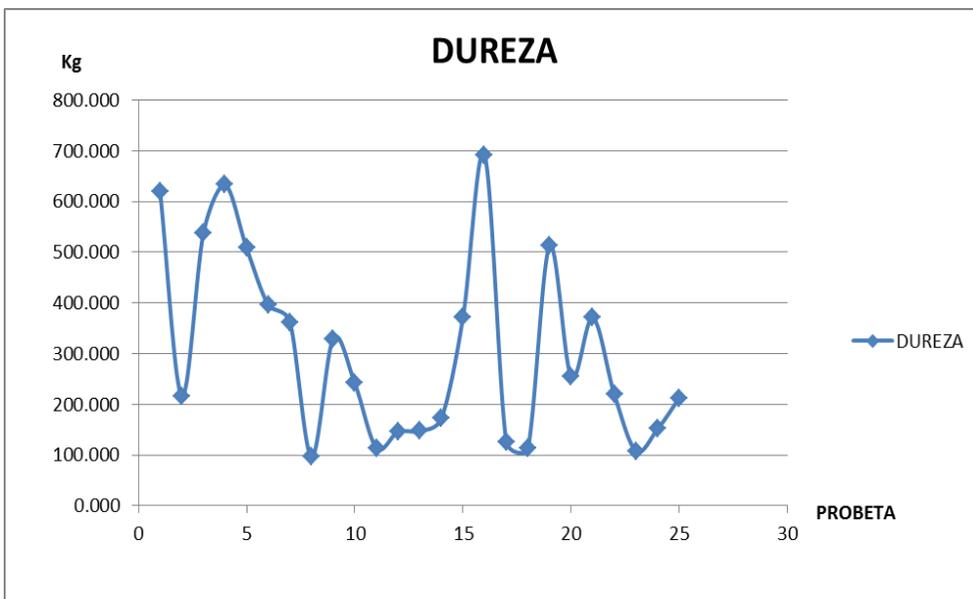
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Gráfica ensayo de compresión perpendicular a la fibra**



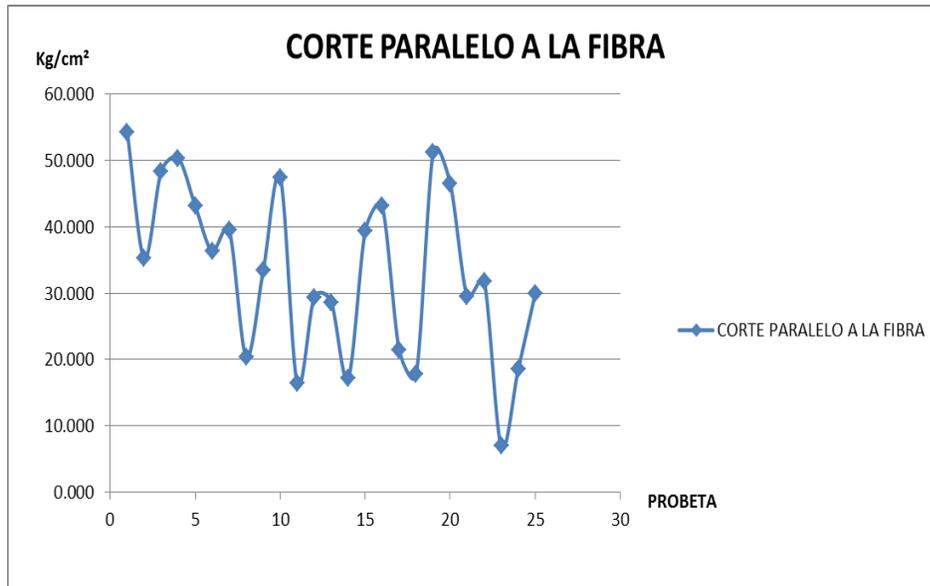
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Gráfica ensayo de dureza**



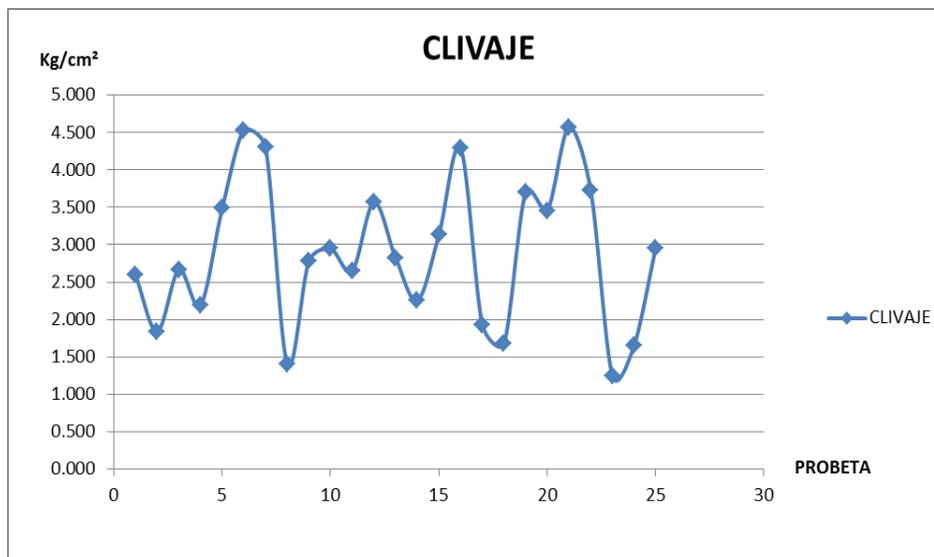
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Gráfica ensayo de corte paralelo a la fibra**



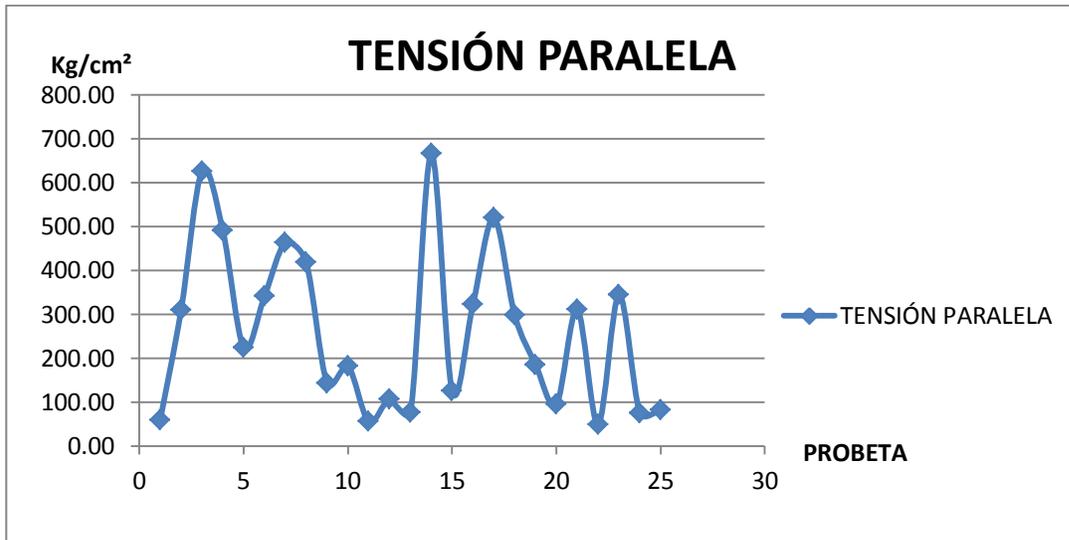
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Gráfica ensayo de clivaje**



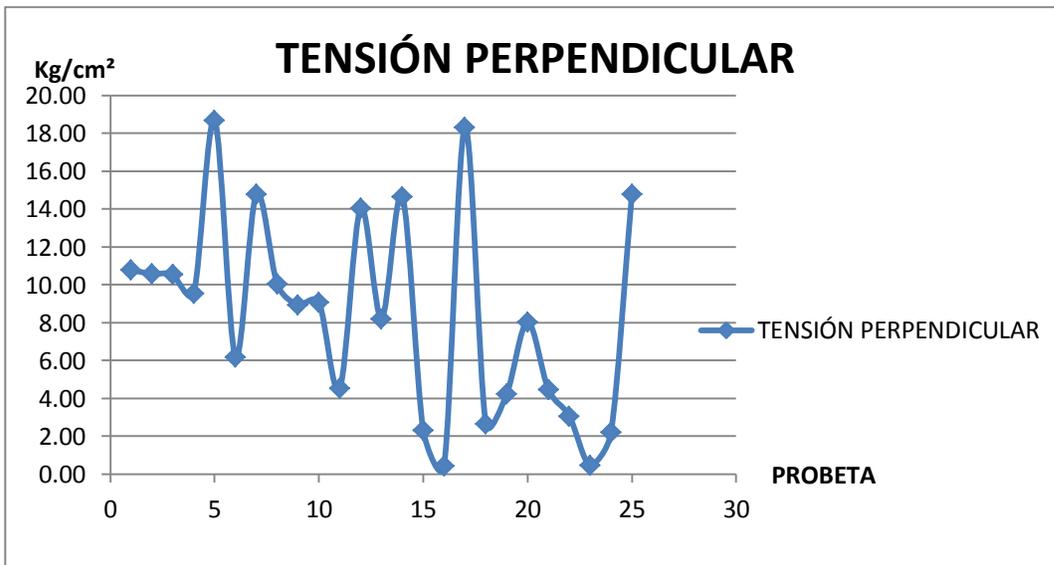
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Gráfica ensayo de tensión paralela**



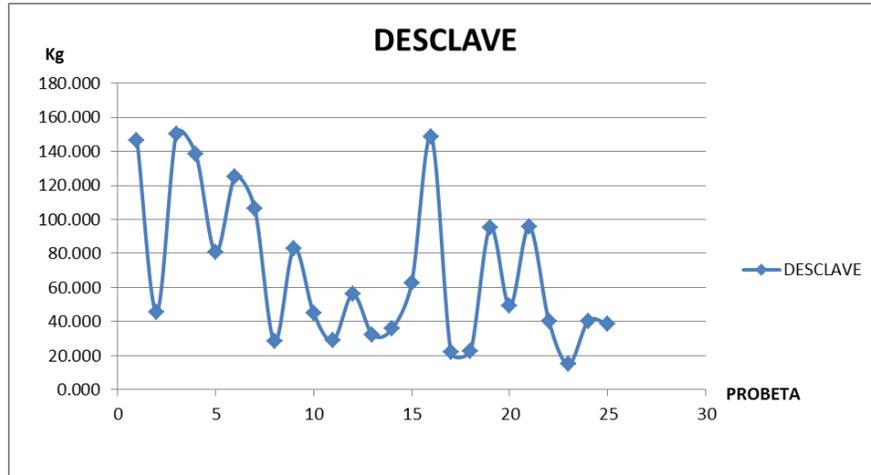
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Gráfica ensayo de tensión perpendicular**



Fuente: elaboración propia.

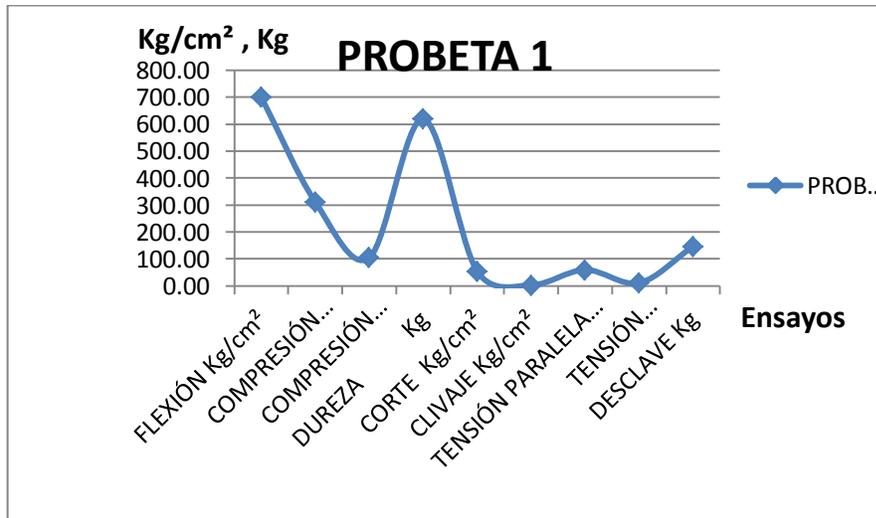
Apéndice 9. **Gráfica ensayo de desclave**



Fuente: elaboración propia.

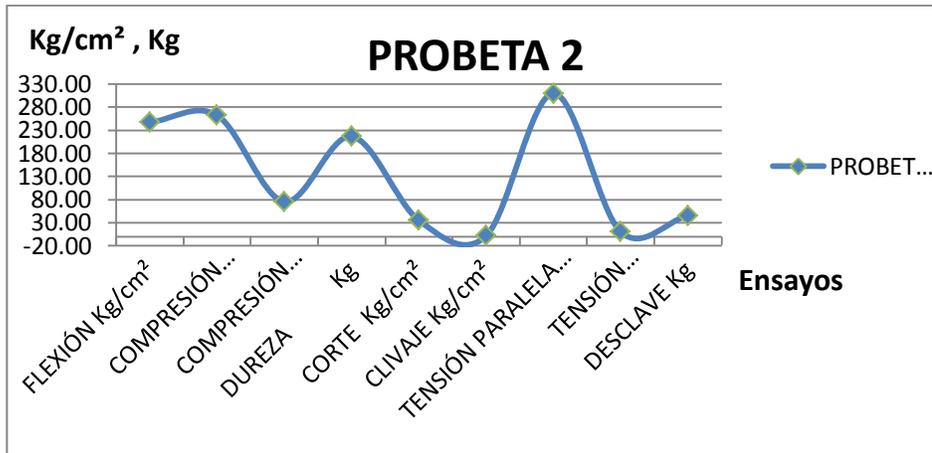
Gráficas por probeta

Apéndice 10. **Gráfica probeta 1**



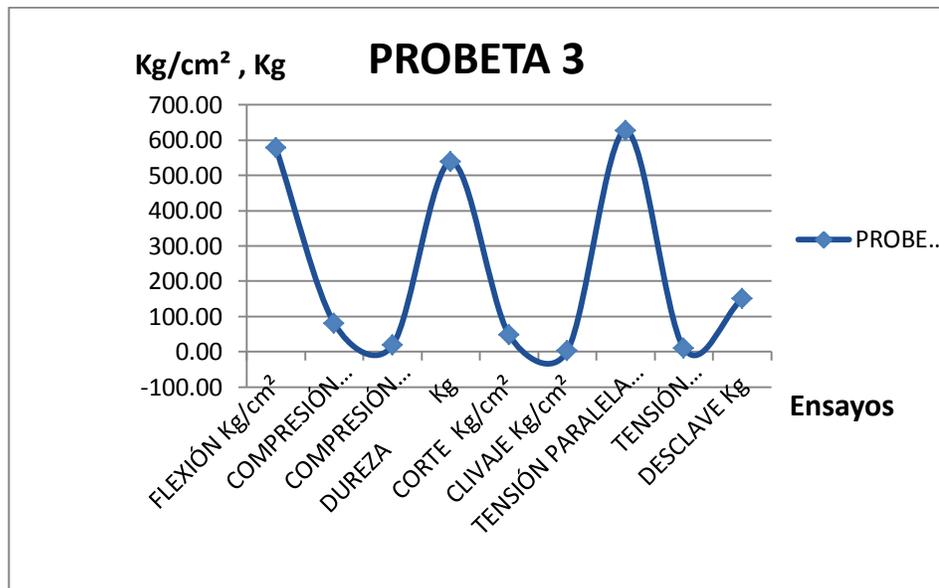
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. **Gráfica probeta 2**



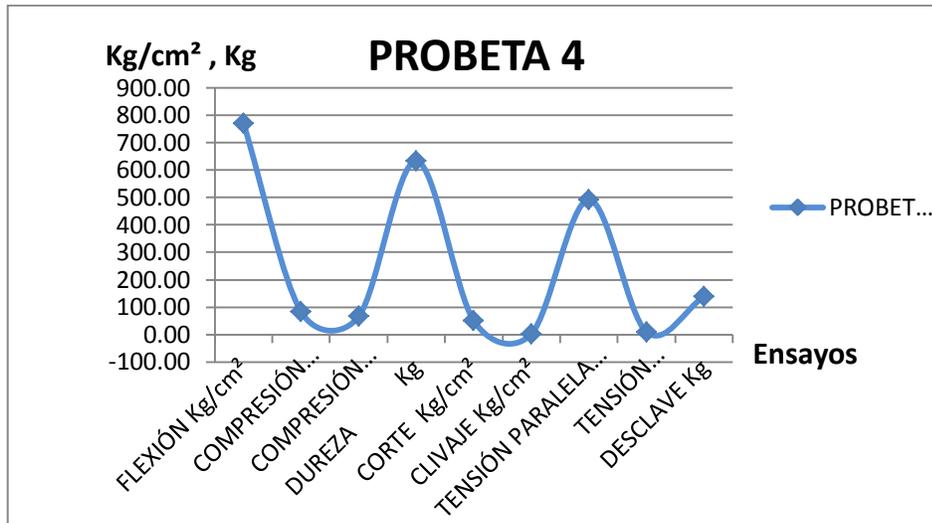
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 12. **Gráfica probeta 3**



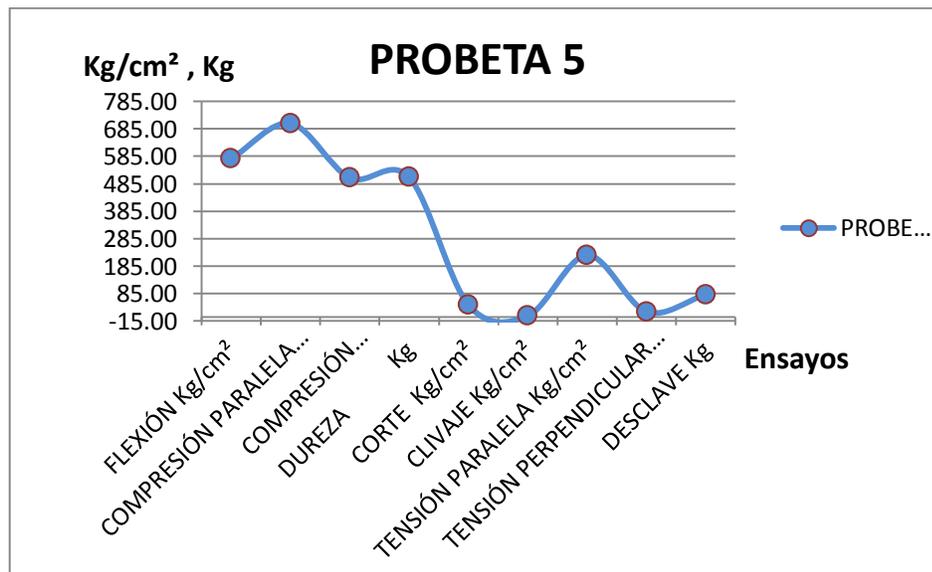
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 13. **Gráfica probeta 4**



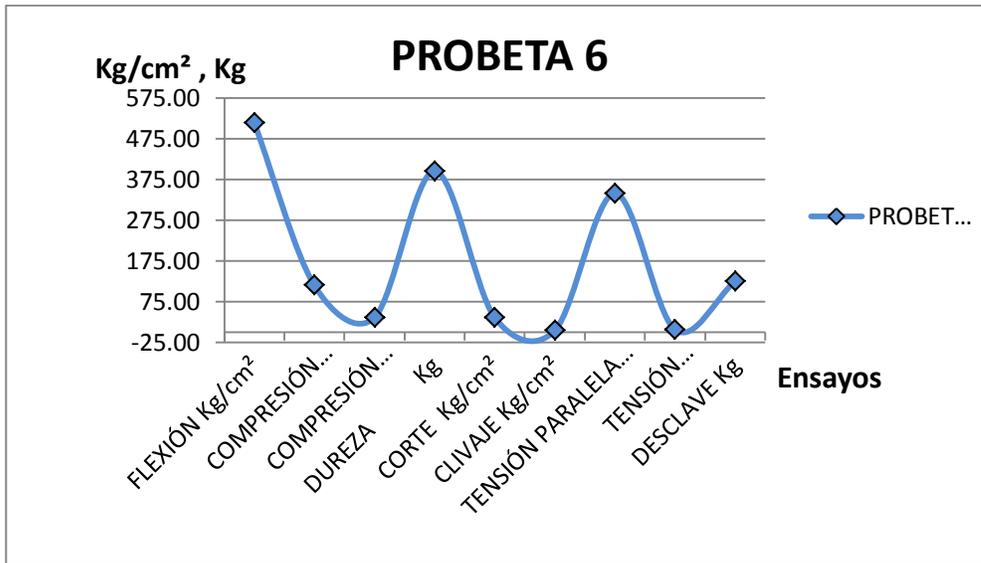
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 14. **Gráfica probeta 5**



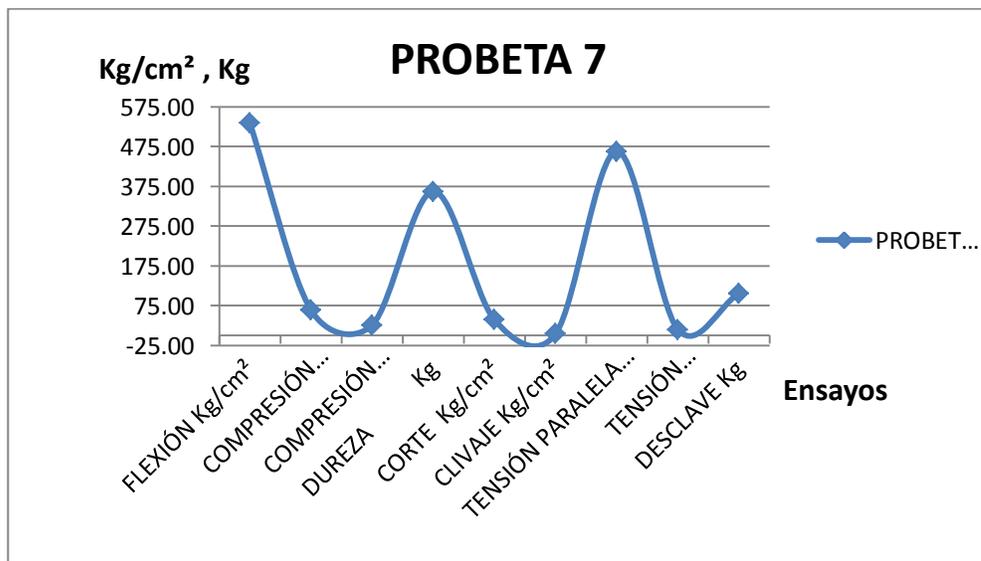
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 15. **Gráfica probeta 6**



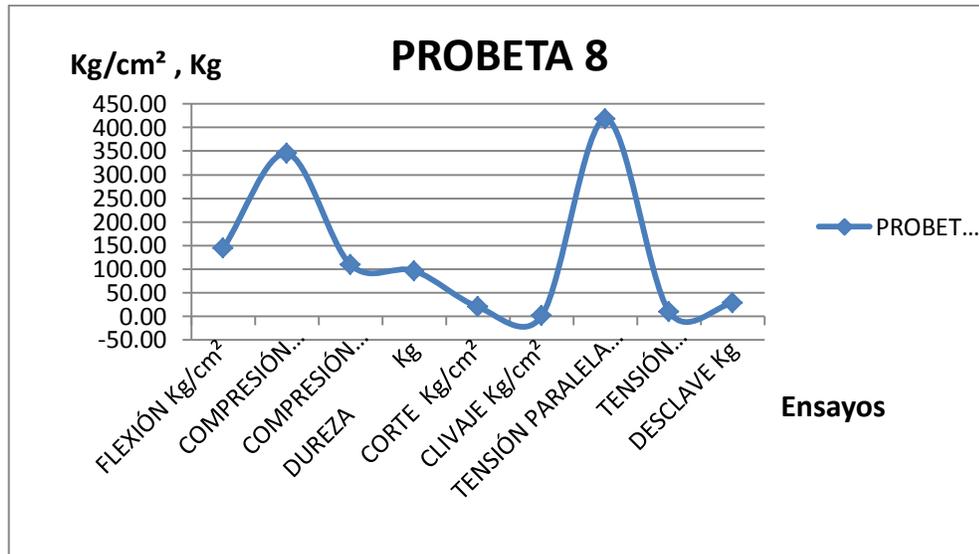
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 16. **Gráfica probeta 7**



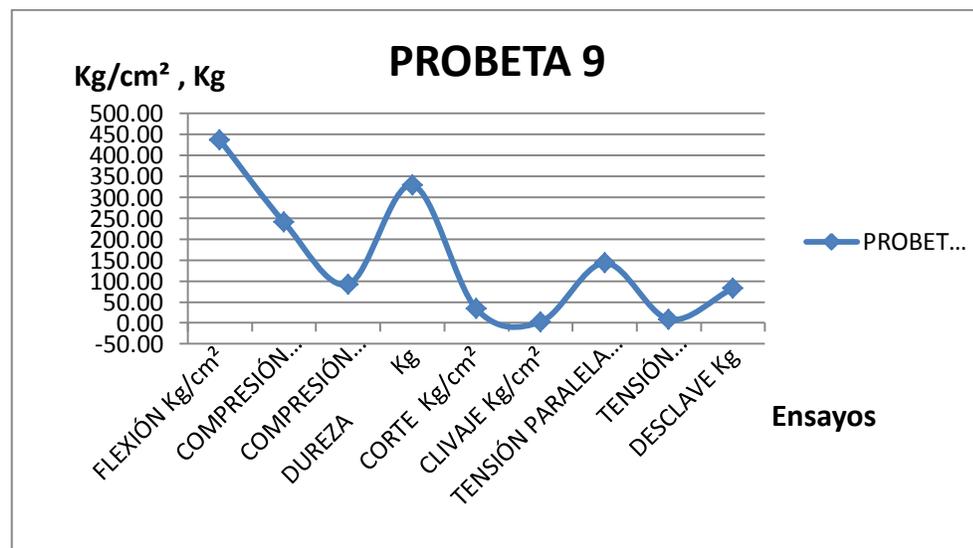
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17. **Gráfica probeta 8**



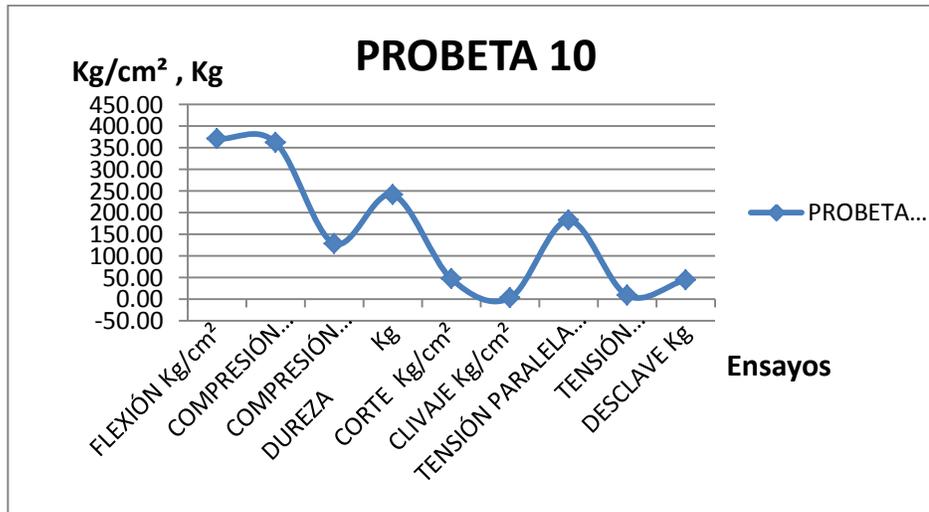
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 18. **Gráfica probeta 9**



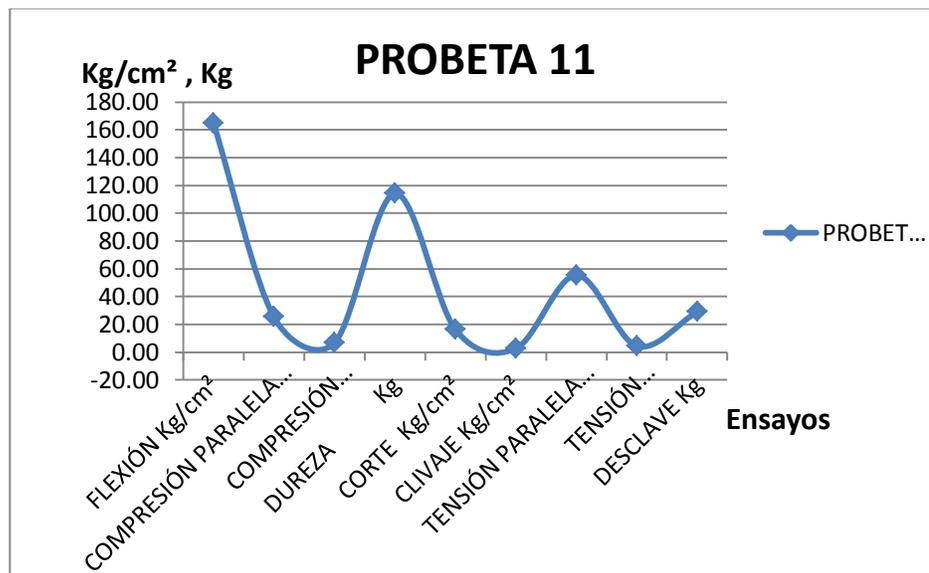
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 19. **Gráfica probeta 10**



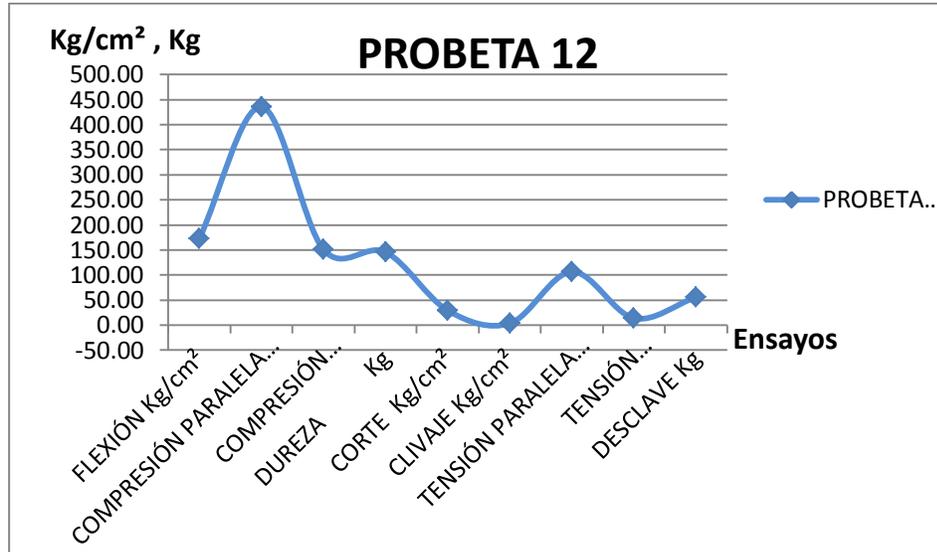
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 20. **Gráfica probeta 11**



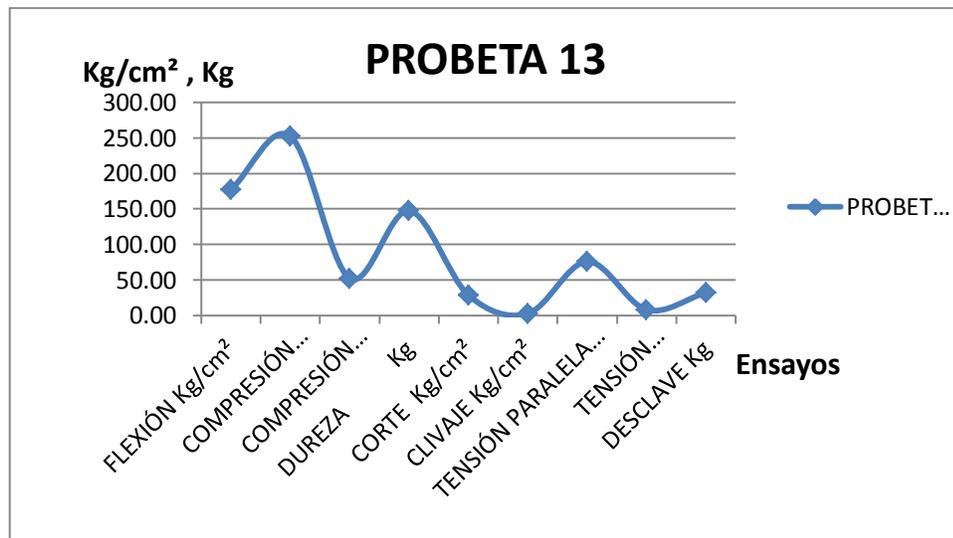
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 21. **Gráfica probeta 12**



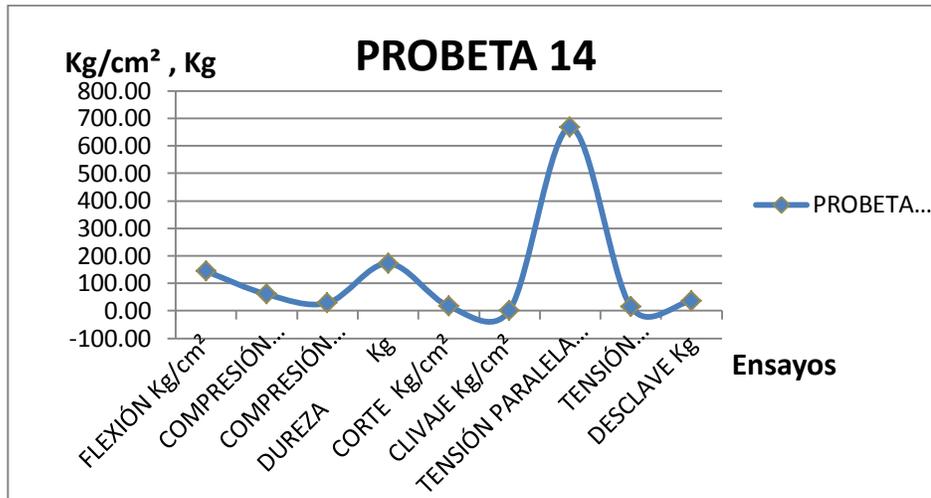
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 22. **Gráfica probeta 13**



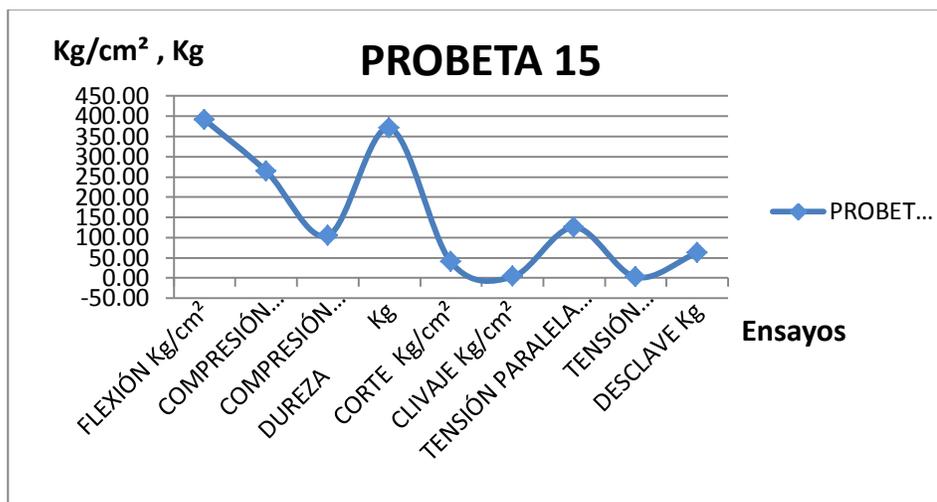
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 23. **Gráfica probeta 14**



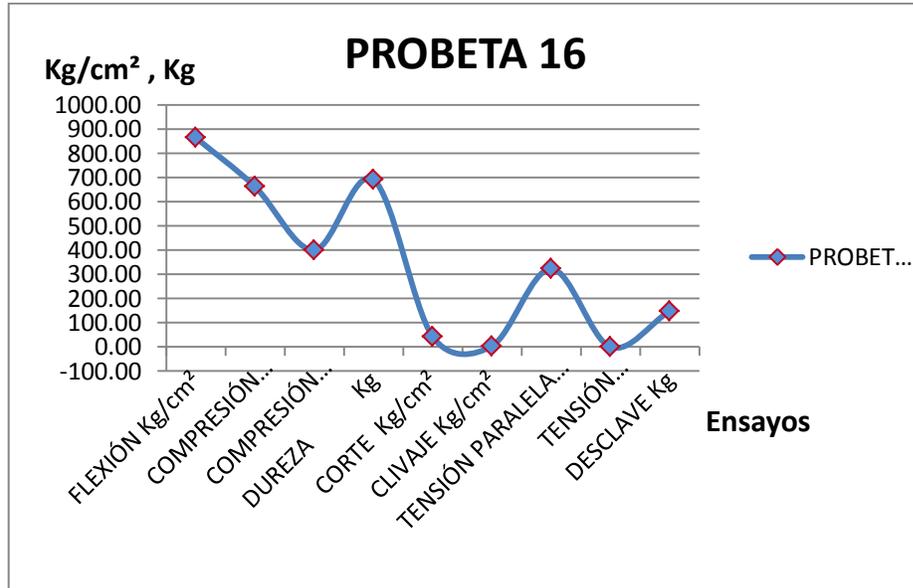
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 24. **Gráfica probeta 15**



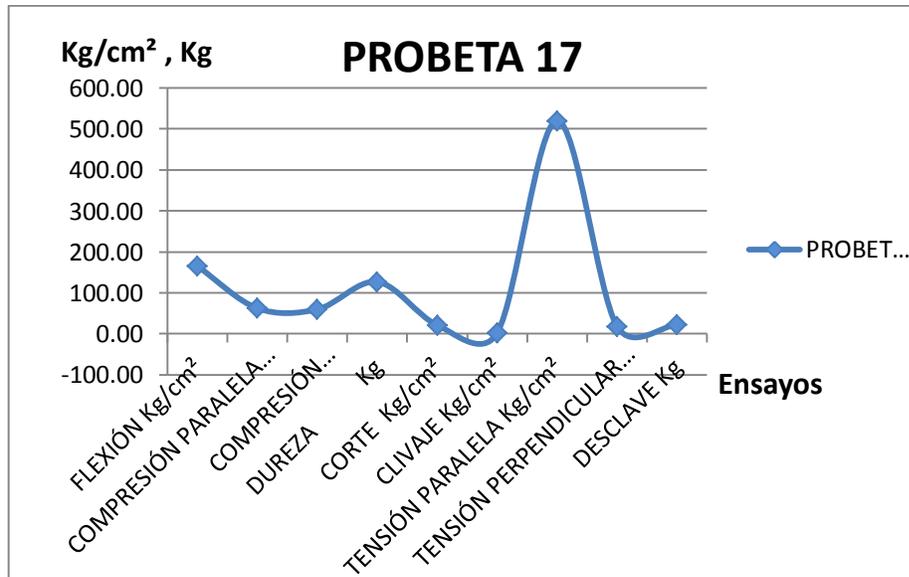
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 25. Gráfica probeta 16



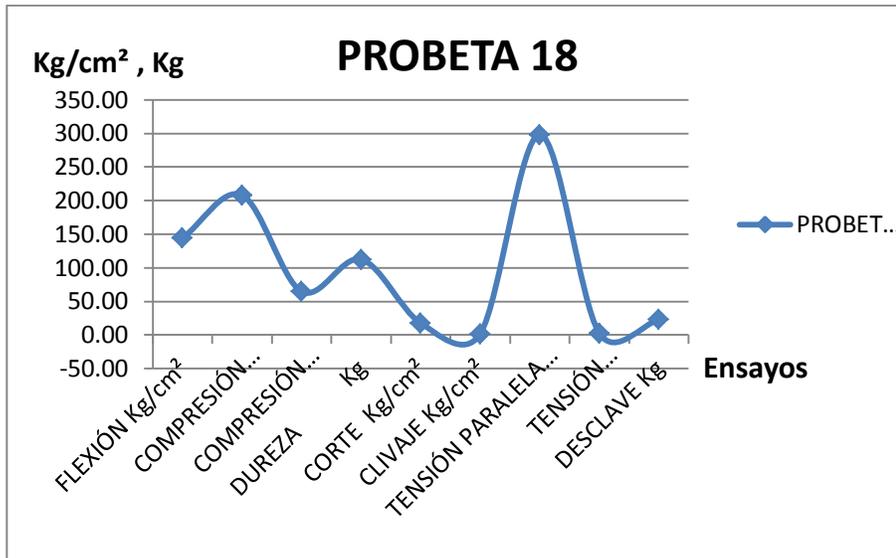
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 26. Gráfica probeta 17



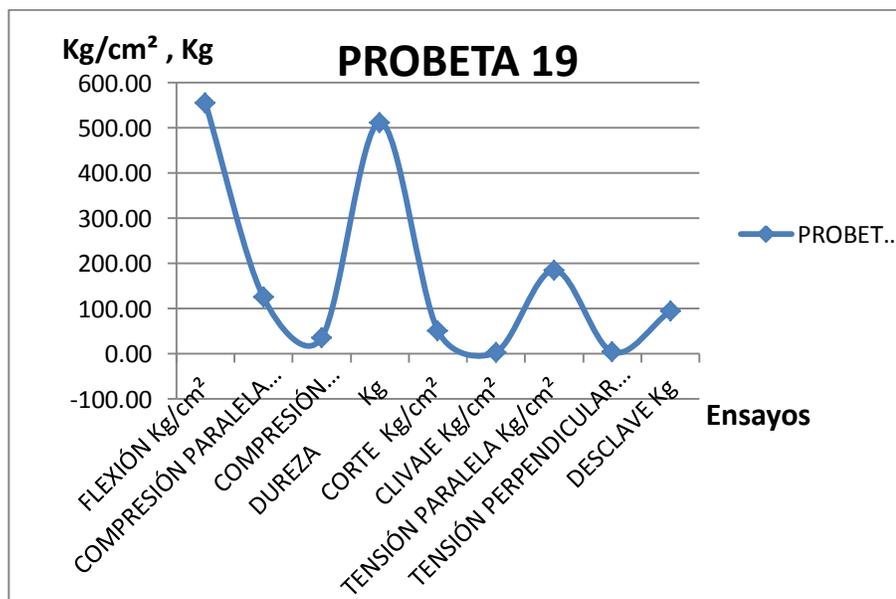
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 27. **Gráfica probeta 18**



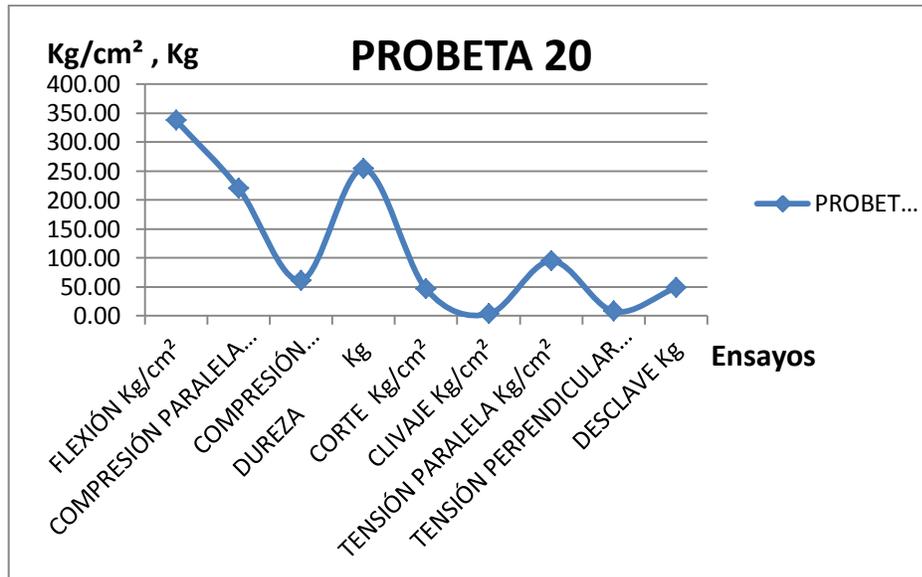
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 28. **Gráfica probeta 19**



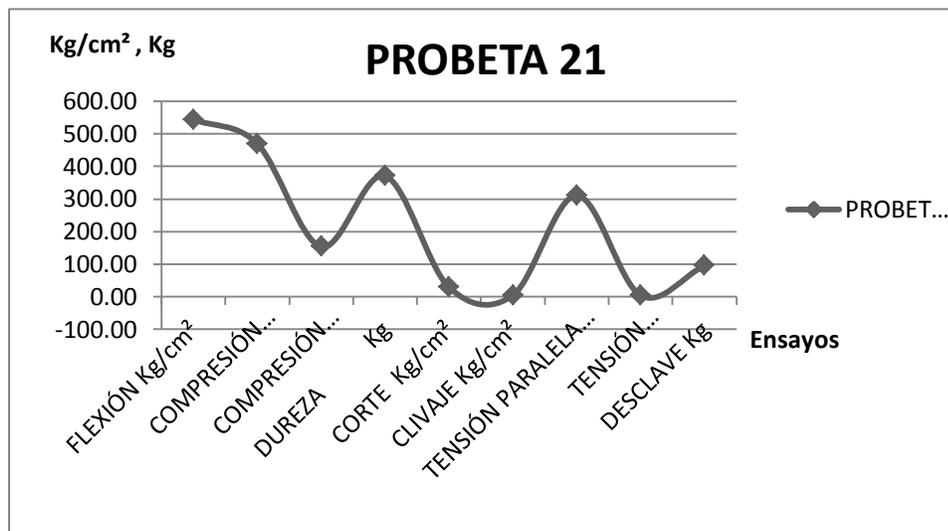
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 29. **Gráfica probeta 20**



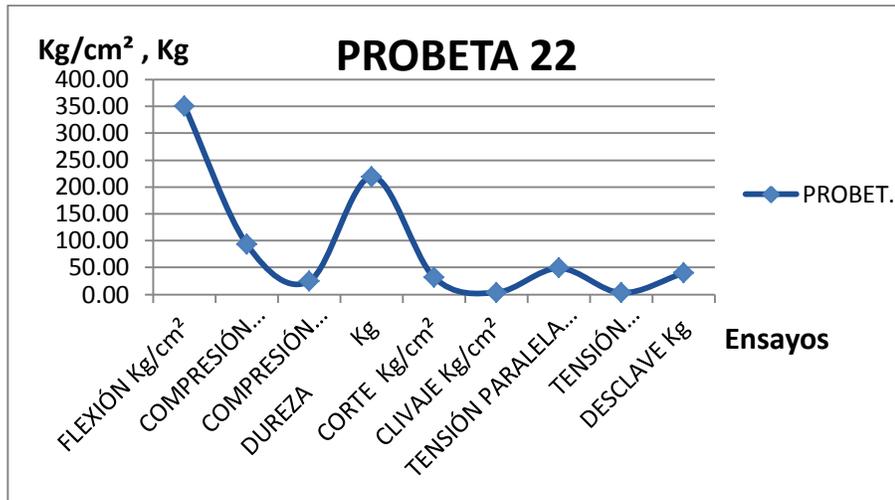
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 30. **Gráfica probeta 21**



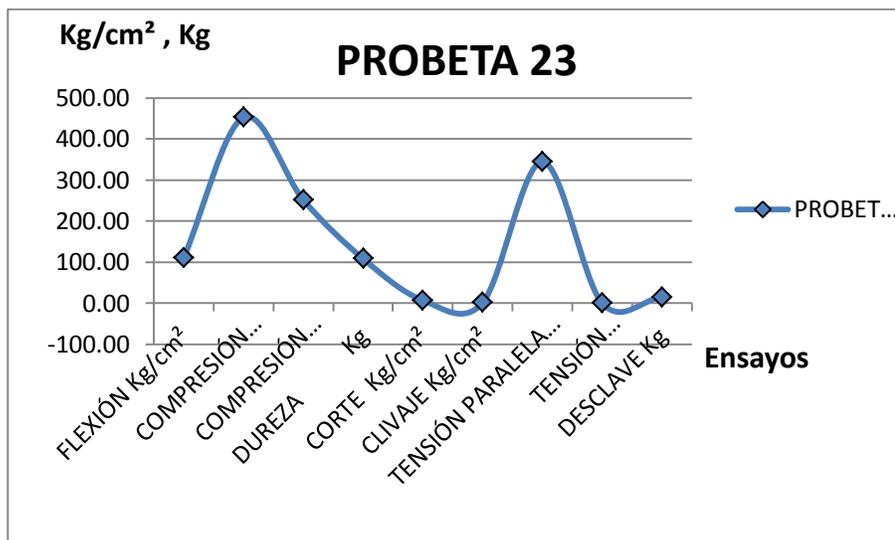
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 31. **Gráfica probeta 22**



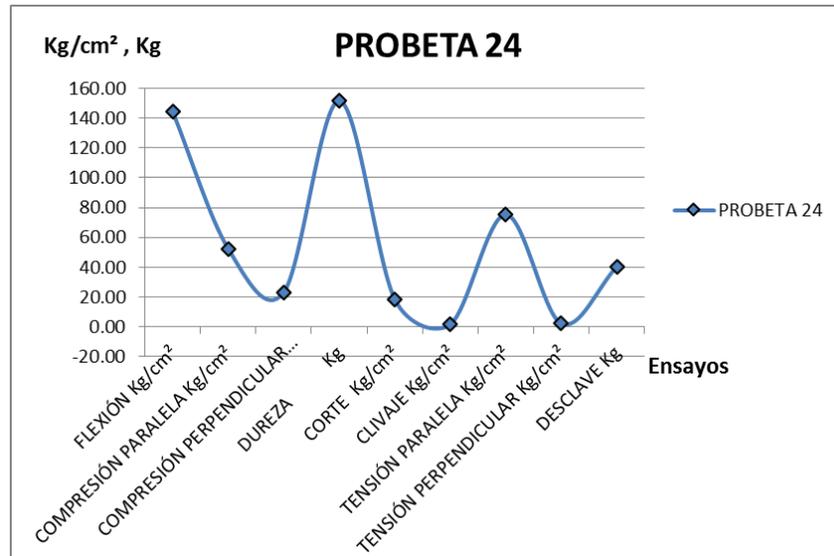
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 32. **Gráfica probeta 23**



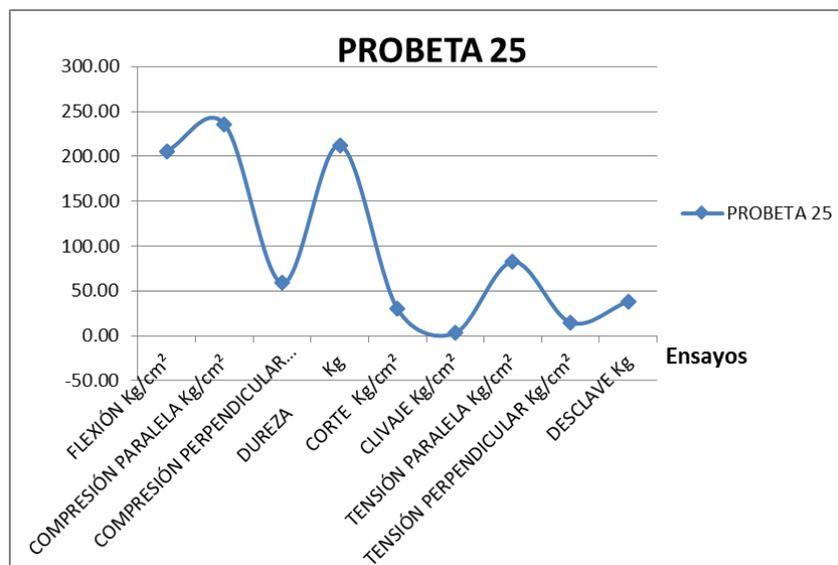
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 33. **Gráfica probeta 24**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 34. **Gráfica probeta 25**



Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

1. Informes del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala




CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

U.T. No.34334 y 34335

INFORME No.89-M

INTERESADO: FRANCISCO JAVIER GALVEZ CIFUENTES, Carne No. 200914903

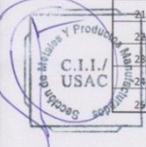
PROYECTO: TESIS "DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS DE LA MADERA DE COCOS NUCIFERA (COCOTERO O COCO).

FECHA: GUATEMALA, 02 DE MARZO DE 2015.

Antecedentes

El estudiante FRANCISCO JAVIER GALVEZ CIFUENTES de la carrera de Ingeniería Civil solicito a este Centro de Investigaciones de Ingeniería que se realizara, ensayo de Dureza, Corte paralelo, Clivaje, tensión paralela a la fibra, tensión perpendicular a la fibra y desclave en 225 pöbretas de madera de coco. Los ensayos en cuestión son parte del trabajo de tesis, "DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y PROPIEDADES MECANICAS DE LA MADERA DE COCOS NUCIFERA (COCOTERO O COCO).

DUREZA							
PROBETA	CARA 1 (Kg)	CARA 2 (Kg)	CARA 3 (Kg)	CARA 4 (Kg)	EXTREMO 1 (Kg)	EXTREMO 2 (Kg)	PROMEDIO (Kg)
1	515	625	700	875	500	500	619.167
2	125	350	150	125	300	250	216.667
3	250	400	650	625	600	700	537.500
4	700	475	550	750	650	675	633.333
5	300	350	550	675	575	600	508.333
6	450	525	375	175	500	350	395.833
7	250	325	375	375	400	450	362.500
8	75	80	100	100	125	100	96.667
9	425	400	175	275	375	325	329.167
10	375	325	75	200	175	300	241.667
11	100	75	135	150	125	100	114.167
12	125	100	100	250	150	150	145.833
13	175	225	75	75	125	210	147.500
14	100	160	200	250	150	175	172.500
15	200	400	450	250	450	475	370.833
16	875	500	575	750	650	800	691.667
17	135	100	100	75	150	200	126.667
18	100	100	125	125	75	150	112.500
19	675	450	200	675	550	525	512.500
20	400	250	225	150	300	200	254.167
21	575	500	175	125	300	550	370.833
22	250	250	175	165	225	250	219.167
23	75	100	125	75	125	150	108.333
24	135	125	100	175	175	200	151.667
25	125	125	275	325	225	200	212.500



Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII
Ciudad Universitaria, Zona 12, Edificio T5, Nivel 2
Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595

Continuación del anexo 1.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



O.T. No.34334-34335

INFORME No.89-M

INTERESADO: FRANCISCO JAVIER GALVEZ CIFUENTES, Carne No. 200914903

FLEXIÓN ESTÁTICA							
PROBETA	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	LUZ (cm)	ALTURA ² (cm ²)	CARGA (Kg)	CONSTANTE	ESFUERZO (Kg/cm ²)
1	5.08	5.08	72.00	25.806	850	1.5	700.25
2	5.08	5.08	72.00	25.806	300	1.5	247.15
3	5.08	5.08	72.00	25.806	700	1.5	576.67
4	5.08	5.08	72.00	25.806	935	1.5	770.27
5	5.08	5.08	72.00	25.806	700	1.5	576.67
6	5.08	5.08	72.00	25.806	625	1.5	514.89
7	5.08	5.08	72.00	25.806	650	1.5	535.48
8	5.08	5.08	72.00	25.806	175	1.5	144.17
9	5.08	5.08	72.00	25.806	530	1.5	436.62
10	5.08	5.08	72.00	25.806	450	1.5	370.72
11	5.08	5.08	72.00	25.806	200	1.5	164.76
12	5.08	5.08	72.00	25.806	210	1.5	173.00
13	5.08	5.08	72.00	25.806	215	1.5	177.12
14	5.08	5.08	72.00	25.806	175	1.5	144.17
15	5.08	5.08	72.00	25.806	475	1.5	391.31
16	5.08	5.08	72.00	25.806	1050	1.5	865.01
17	5.08	5.08	72.00	25.806	200	1.5	164.76
18	5.08	5.08	72.00	25.806	175	1.5	144.17
19	5.08	5.08	72.00	25.806	675	1.5	556.08
20	5.08	5.08	72.00	25.806	410	1.5	337.77
21	5.08	5.08	72.00	25.806	660	1.5	543.72
22	5.08	5.08	72.00	25.806	425	1.5	350.12
23	5.08	5.08	72.00	25.806	135	1.5	111.22
24	5.08	5.08	72.00	25.806	175	1.5	144.17
25	5.08	5.08	72.00	25.806	250	1.5	205.96



Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII
Ciudad Universitaria, Zona 12, Edificio T5, Nivel 2
Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595

Continuación del anexo 1.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



O.T. No.34334-34335

INFORME No.89-M

INTERESADO: FRANCISCO JAVIER GALVEZ CIFUENTES, Carne No. 200914903

COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA							
PROBETA	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	LONGITUD	SECCIÓN (cm ²)	PESO (Kg)	CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)
1	5.208	5.237		27.274	0.375	8500	311.65
2	5.287	5.335		28.206	0.334	7400	262.35
3	5.273	5.271		27.794	0.308	2250	80.95
4	5.252	5.262		27.636	0.296	2300	83.22
5	5.303	5.225		27.708	0.592	19520	704.49
6	5.314	5.258		27.941	0.194	3220	115.24
7	5.255	5.335		28.035	0.206	1810	64.56
8	5.309	5.350		28.403	0.415	9800	345.03
9	5.282	5.274		27.857	0.408	6700	240.51
10	5.241	5.322		27.893	0.443	10120	362.82
11	5.223	5.292		27.640	0.238	700	25.33
12	5.249	5.207		27.332	0.465	11900	435.39
13	5.281	5.332		28.158	0.424	7100	252.15
14	5.315	5.300		28.170	0.227	1700	60.35
15	5.342	5.316		28.398	0.357	7500	264.10
16	5.290	5.278		27.921	0.564	18500	662.59
17	5.279	5.300		27.979	0.337	1740	62.19
18	5.281	5.282		27.894	0.304	5800	207.93
19	5.342	5.233		27.955	0.32	3500	125.20
20	5.200	5.232		27.206	0.403	6000	220.54
21	5.217	5.225		27.259	0.506	12800	469.57
22	5.245	5.336		27.987	0.276	2600	92.90
23	5.182	5.074		26.293	0.488	11900	452.58
24	5.340	5.371		28.681	0.237	1500	52.30
25	5.382	5.276		28.395	0.392	6700	235.95



Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII
Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2
Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595

Continuación del anexo 1.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



O.T. No.34334-34335

INFORME No.89-M

INTERESADO: FRANCISCO JAVIER GALVEZ CIFUENTES, Carne No. 200914903

COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA							
PROBETA	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)	LONGITUD	SECCIÓN (cm ²)	PESO (Kg)	CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)
1	5.295	5.066		26.824	0.277	2800	104.38
2	5.223	5.066		26.460	0.262	2000	75.59
3	5.329	5.066		26.997	0.248	500	18.52
4	5.325	5.066		26.976	0.284	1775	65.80
5	5.262	5.066		26.657	0.449	13500	506.43
6	5.182	5.066		26.252	0.268	950	36.19
7	5.298	5.066		26.840	0.258	700	26.08
8	5.324	5.066		26.971	0.331	2960	109.75
9	5.249	5.066		26.591	0.306	2460	92.51
10	5.216	5.066		26.424	0.340	3400	128.67
11	5.150	5.066		26.090	0.193	175	6.71
12	5.236	5.066		26.526	0.363	4000	150.80
13	5.280	5.066		26.748	0.318	1400	52.34
14	5.290	5.066		26.799	0.150	775	28.92
15	5.293	5.066		26.814	0.330	2800	104.42
16	5.298	5.066		26.840	0.429	10750	400.53
17	5.214	5.066		26.414	0.243	1575	59.63
18	5.257	5.066		26.632	0.219	1725	64.77
19	5.306	5.066		26.880	0.232	950	35.34
20	5.220	5.066		26.445	0.297	1625	61.45
21	5.200	5.066		26.343	0.365	4050	153.74
22	5.129	5.066		25.984	0.203	650	25.02
23	5.095	5.066		25.811	0.372	6500	251.83
24	5.236	5.066		26.526	0.158	615	23.19
25	5.299	5.066		26.845	0.281	1575	58.67



Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII
Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2
Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595

Continuación del anexo 1.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

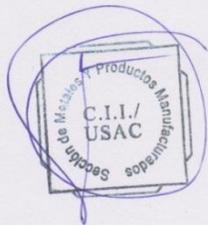


O.T. No.34334-3335

INFORME No.89-M

INTERESADO: FRANCISCO JAVIER GALVEZ CIFUENTES, Carne No. 200914903

CORTE PARALELO A LA FIBRA					
PROBETA	BASE (cm)	ALTURA (cm)	AREA (cm ²)	CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)
1	5.138	5.021	25.798	1400.0	54.268
2	5.104	5.004	25.540	900.0	35.238
3	5.119	5.107	26.143	1265.0	48.388
4	5.137	5.063	26.009	1310.0	50.368
5	5.130	4.968	25.486	1100.0	43.161
6	5.118	5.088	26.040	945.0	36.290
7	5.186	5.060	26.241	1035.0	39.442
8	5.189	5.007	25.981	530.0	20.399
9	5.084	5.003	25.435	850.0	33.418
10	5.072	4.986	25.289	1200.0	47.451
11	5.068	5.107	25.882	425.0	16.421
12	5.120	5.060	25.907	760.0	29.335
13	5.117	5.014	25.657	735.0	28.648
14	5.119	5.122	26.220	450.0	17.163
15	5.104	4.984	25.438	1000.0	39.311
16	5.100	5.005	25.526	1100.0	43.094
17	5.059	5.070	25.649	550.0	21.443
18	5.017	5.043	25.301	450.0	17.786
19	5.142	5.030	25.864	1325.0	51.229
20	5.130	5.070	26.009	1210.0	46.522
21	5.068	5.029	25.487	750.0	29.427
22	5.170	5.027	25.990	825.0	31.743
23	4.988	5.065	25.264	175.0	6.927
24	4.965	5.070	25.173	465.0	18.473
25	4.928	5.079	25.029	750.0	29.965



Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII
Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2
Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595

Continuación del anexo 1.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



O.T. No.34334-34335

INFORME No.89-M

INTERESADO: FRANCISCO JAVIER GALVEZ CIFUENTES, Carne No. 200914903

PROBETA	CLIVAJE		
	ANCHO (cm)	CARGA (Kg)	CARGA LINEAL (Kg/cm)
1	5.692	75	13.176
2	5.350	50	9.346
3	5.914	80	13.527
4	5.390	60	11.132
5	5.647	100	17.709
6	5.859	135	23.041
7	5.813	127	21.848
8	5.605	40	7.136
9	5.670	80	14.109
10	5.610	84	14.973
11	5.638	76	13.480
12	5.517	100	18.126
13	5.567	80	14.370
14	5.420	62	11.439
15	5.646	90	15.940
16	5.691	124	21.789
17	5.607	55	9.809
18	5.749	49	8.523
19	5.314	100	18.818
20	5.977	105	17.567
21	5.809	135	23.240
22	5.592	106	18.956
23	5.513	35	6.349
24	5.489	46	8.380
25	5.659	85	15.020



Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII
Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2
Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595

Continuación del anexo 1.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



O.T. No.34334-34335

INFORME No.89-M

INTERESADO: FRANCISCO JAVIER GALVEZ CIFUENTES, Carne No. 200914903

TENSION PARALELA A LA FIBRA					
PROBETA	BASE (cm)	ANCHO (cm)	AREA (cm ²)	CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)
1	0.702	1.080	0.758	45	59.354
2	0.647	1.048	0.678	210	309.709
3	0.547	0.993	0.543	340	625.954
4	0.744	1.148	0.854	420	491.739
5	0.730	1.100	0.803	180	224.159
6	0.767	1.043	0.800	273	341.258
7	0.699	1.127	0.788	365	463.331
8	0.625	0.983	0.614	257	418.311
9	0.633	1.158	0.733	105	143.244
10	0.735	1.039	0.764	139	182.017
11	0.601	1.112	0.668	37	55.363
12	0.718	1.045	0.750	80	106.623
13	0.761	1.209	0.920	70	76.083
14	0.726	0.950	0.690	460	666.957
15	0.728	1.096	0.798	100	125.331
16	0.615	1.106	0.680	220	323.439
17	0.653	0.987	0.645	335	519.774
18	0.849	1.146	0.973	290	298.061
19	0.713	0.945	0.674	125	185.519
20	0.570	1.109	0.632	60	94.917
21	0.650	1.064	0.692	215	310.873
22	0.653	1.254	0.819	40	48.848
23	0.838	0.970	0.813	280	344.463
24	0.714	1.023	0.730	55	75.299
25	0.678	1.126	0.763	63	82.523

Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII
Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2
Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595

Continuación del anexo 1.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

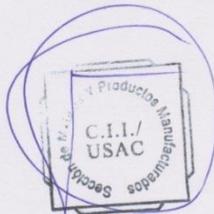


O.T. No.34334-34355

INFORME No.89-M

INTERESADO: FRANCISCO JAVIER GALVEZ CIFUENTES, Carne No. 200914903

TENSION PERPENDICULAR A LA FIBRA					
PROBETA	BASE (cm)	ANCHO (cm)	AREA (cm ²)	CARGA (Kg)	ESFUERZO (Kg/cm ²)
1	2.139	5.204	11.131	120	10.780
2	2.448	5.216	12.769	135	10.573
3	2.660	5.173	13.760	145	10.538
4	2.526	5.181	13.087	125	9.551
5	2.130	5.024	10.701	200	18.690
6	2.323	5.215	12.114	75	6.191
7	2.305	5.136	11.838	175	14.782
8	2.530	5.116	12.943	130	10.044
9	2.127	5.155	10.965	98	8.938
10	2.301	5.029	11.572	105	9.074
11	2.570	5.157	13.253	60	4.527
12	2.441	5.106	12.464	175	14.041
13	2.524	5.162	13.029	107	8.213
14	2.546	5.015	12.768	187	14.646
15	2.166	4.963	10.750	25	2.326
16	2.160	5.149	11.122	5	0.450
17	2.797	4.880	13.649	250	18.316
18	2.225	5.092	11.330	30	2.648
19	2.431	5.253	12.770	54	4.229
20	2.498	5.082	12.695	102	8.035
21	2.319	5.107	11.843	53	4.475
22	2.007	5.033	10.101	31	3.069
23	2.171	5.071	11.009	5	0.454
24	2.634	5.161	13.594	30	2.207
25	2.576	4.991	12.857	190	14.778



Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII
Ciudad Universitaria, Zona 12. Edificio T5, Nivel 2
Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595

Continuación del anexo 1.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



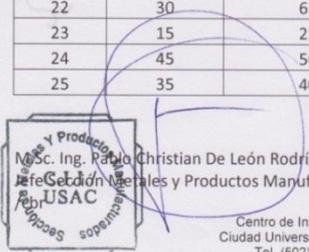
INFORME No.89-M

O.T. No.34334

INTERESADO: FRANCISCO JAVIER GALVEZ CIFUENTES, Carne No. 200914903

DESCLAVE				
PROBETA	RADIAL (Kg)	TANGENCIAL (Kg)	EXTREMO (Kg)	PROMEDIO (Kg)
1	120	170	150	146.667
2	45	65	27	45.667
3	180	120	150	150.000
4	110	158	147	138.333
5	55	80	107	80.667
6	157	108	110	125.000
7	90		123	106.500
8	40	20	25	28.333
9	70	99	80	83.000
10	20	60	55	45.000
11	22	20	45	29.000
12	45	73	50	56.000
13	47	25	25	32.333
14	55	22	30	35.667
15	50	93	45	62.667
16	195	176	75	148.667
17	15	26	25	22.000
18	18	30	20	22.667
19	85	105	96	95.333
20	60	35	52	49.000
21	52	160	75	95.667
22	30	63	27	40.000
23	15	23	7	15.000
24	45	56	20	40.333
25	35	40	40	38.333

Atentamente,



Ing. R. Christian De León Rodríguez
Jefe Sección Metales y Productos Manufacturados



Vo.Bo. Ing. Telma Maricela Cano Morales
Directora C.I.I.




Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII
Ciudad Universitaria, Zona 12, Edificio T5, Nivel 2
Tel. (502) 24189100. Extensión: 1595

Fuente: Sección de Metales y Productos Manufacturados. CII/USAC.

2. Informes de sección de Tecnología de la Madera



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Informe Tec - Madera O.T. No. 34336

INFORME
TEC - MADERA No. 01 - 2015

INTERESADO: Francisco Javier Gálvez Cifuentes
PROYECTO: Trabajo de Graduación
"Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de la madera de Cocos nucifera (cocotero o coco)"
DIRECCION: Sección de Tecnología de la Madera CII / USAC
MUESTRA: Material proporcionado por el estudiante, Madera de coco
FECHA: 02 de marzo del 2015

Los resultados para la realización del presente informe, fueron obtenidos a partir de diferentes pruebas realizadas a la madera de Cocos nucifera, en la Sección de Tecnología de Madera del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Tabla No.1

HUMEDAD				
PROBETA	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	% HUMEDAD	% HUMEDAD RELATIVA
1	5.291	4.494	15.063	17.735
2	3.730	3.301	12.324	14.056
3	4.438	3.901	12.060	13.714
4	6.689	5.789	13.455	15.547
5	5.600	4.949	11.578	13.094
6	2.979	2.682	9.970	11.074
7	2.041	1.829	10.387	11.591
8	4.500	3.896	13.403	15.477
9	1.048	0.923	11.843	13.434
10	0.495	0.435	12.121	13.793
11	1.564	1.392	10.997	13.580
12	1.050	0.942	10.286	13.530

Fuente: Informe de resultados elaborado por el estudiante de Ingeniería Civil Francisco Javier Gálvez Cifuentes en el Laboratorio Multipropósito de la Sección de Tecnología de la Madera área de prefabricados.

0403

Continuación del anexo 2.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Tabla No.2

DENSIDAD			
PROBETA	VOLUMEN (cm ³)	PESO (g)	DENSIDAD (g/cm ³)
1	9.06	5.76	0.635
2	9.31	6.07	0.651
3	8.57	3.97	0.462
4	8.46	3.78	0.446
5	9.33	4.76	0.51
6	9.08	3.74	0.411
7	9.32	7.72	0.827
8	8.93	6.84	0.765
9	9.01	5.6	0.621
10	9.34	5.53	0.591
11	8.73	3.19	0.365
12	8.97	2.83	0.315
13	8.44	2.02	0.239
14	8.83	2.33	0.263
15	9.13	5.64	0.617
16	9.3	5.43	0.583
17	8.16	5.89	0.721
18	8.05	5.73	0.711
19	7.95	3.66	0.46
20	8.45	4.1	0.484
21	7.83	7.87	1.004
22	8.05	8.25	1.024
23	8.31	5.86	0.704
24	8.1	6.3	0.776

Fuente: Informe de resultados elaborado por el estudiante de Ingeniería Civil Francisco Javier Gálvez Cifuentes en el Laboratorio Multipropósito de la Sección de Tecnología de la Madera área de prefabricados.

02/03

Continuación del anexo 2.



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



Tabla No.3

PROBETA	VOLUMEN (cm ³) ala Humedad de Equilibrio	VOLUMEN (cm ³) Saturación	VOLUMEN (cm ³) anhidro	Contracción Volumétrica	Contracción V %
29	8,879	8,934	8,537	0,04653877	4,65387695
9	8,691	8,813	8,121	0,08522048	8,522048
15	9,317	9,442	8,937	0,05655325	5,65532521
23	9,212	9,236	8,449	0,09313905	9,31390528
4	8,544	8,601	7,967	0,07956764	7,95676353
1	9,507	9,662	8,438	0,14512006	14,5120056
2	8,135	8,216	7,504	0,09479436	9,47943589
10	8,248	8,445	7,517	0,12347045	12,3470447
17	9,065	9,355	8,272	0,13097292	13,0972923
31	8,463	8,645	8,140	0,06203347	6,20334662
36	9,153	9,261	8,589	0,0782199	7,82199038
6	8,463	8,624	7,573	0,13872048	13,8720477

Fuente: Informe de resultados elaborado por el estudiante de Ingeniería Civil Francisco Javier Gálvez Cifuentes en el Laboratorio Multipropósito de la Sección de Tecnología de la Madera área de prefabricados.



Ing. Fredy Contreras Castañaza
Jefe de la Sección Tecnología de la Madera




Vo.Bo. Inga. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA CII / USAC



09103

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Sección de metales y productos manufacturados. CII/uSAC.

Oda a la madera.

Pablo Neruda.

- Poesía a la madera

“Ay, de cuanto conozco y reconozco entre todas las cosas es la madera mi mejor amiga. Yo llevo por el mundo en mi cuerpo, en mi ropa, aroma de aserradero, olor de tabla roja. Mi pecho, mis sentidos se impregnaron en mi infancia de árboles que caían de grandes bosques llenos de construcción futura.

Yo escuché cuando azotan el gigantesco alerce, el laurel alto de cuarenta metros.

El hacha y la cintura del hachero minúsculo de pronto picotean su columna arrogante, el hombre vence y cae la columna de aroma, tiembla la tierra, un trueno sordo, un sollozo negro de raíces, y entonces una ola de olores forestales inundó mis sentidos. Fue en mi infancia, fue sobre la húmeda tierra, lejos en las selvas del Sur, en los fragantes, verdes archipiélagos, conmigo fueron naciendo vigas, durmientes espesos como el hierro, tablas delgadas y sonoras.

La sierra rechinaba cantando sus amores de acero, aullaba el hilo agudo, el lamento metálico de la sierra cortando el pan del bosque como madre en el parto, y daba a luz en medio de la luz y la selva desgarrando la entraña de la naturaleza, pariendo castillos de madera, viviendas para el hombre, escuelas, ataúdes, mesas y mangos de hacha.

Todo allí en el bosque dormía bajo las hojas mojadas cuando un hombre comienza torciendo la cintura y levantando el hacha a picotear la pura solemnidad del árbol y éste cae, trueno y fragancia caen para que nazca de ellos la construcción, la forma, el edificio, de las manos del hombre.

Te conozco, te amo, te vi nacer, madera. Por eso si te toco me respondes como un cuerpo querido, me muestras tus ojos y tus fibras, tus nudos, tus lunares, tus vetas como inmóviles ríos.

Yo sé lo que ellos cantaron con la voz del viento, escucho la noche respetuosa, el galope del caballo en la selva, te toco y te abres como una rosa seca que sólo para mí resucitara dándome el aroma y el fuego que parecían muertos.

Debajo de la pintura sórdida adivino tus poros, ahogada me llamas y te escucho, siento sacudirse los árboles que asombraron mi infancia, veo salir de ti, como un vuelo de océano y palomas, las alas de los libros, el papel de mañana para el hombre, el papel puro para el hombre puro que existirá mañana y que hoy está naciendo con un ruido de sierra, con un desgarramiento de luz, sonido y sangre.

Es el aserradero del tiempo, cae la selva oscura, oscuro nace el hombre, caen las hojas negras y nos oprime el trueno, hablan al mismo tiempo la muerte y la vida, como un violín se eleva el canto o el lamento de la sierra en el bosque, y así nace y comienza a recorrer el mundo la madera, hasta ser constructora silenciosa cortada y perforada por el hierro, hasta sufrir y proteger construyendo la vivienda en donde cada día se encontrarán el hombre, la mujer y la vida.”