

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de tres especies maderables de Petén: Danto (*Vatairea Lundelli* (Standl).), Cola de Coche (*Cojoba Arborea* Britt.) y Guaciban (*Pithecellobium Leucocalyx* (Britton & Rose) Standl) para evaluar su potencial en el sector de la construcción

Trabajo de graduación presentado por Diego Eduardo Aguilar Matta para optar el grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala

2017

Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de tres especies maderables de Petén: Danto (*Vatairea Lundelli* (Standl).), Cola de Coche (*Cojoba Arborea* Britt.) y Guaciban (*Pithecellobium Leucocalyx* (Britton & Rose) Standl) para evaluar su potencial en el sector de la construcción

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Análisis de las propiedades físicas y mecánicas de tres especies maderables de Petén: Danto (*Vatairea Lundelli* (Standl).), Cola de Coche (*Cojoba arborea* Britt.) y Guaciban (*Pithecellobium Leucocalyx* (Britton & Rose) Standl) para evaluar su potencial en el sector de la construcción

Trabajo de graduación presentado por Diego Eduardo Aguilar Matta para optar el grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala

2017

Vo. Bo.

(f): 
Ing. Ana Lucia Solano Garrido

Tribunal examinador:

(f): 
Ing. Roberto Godo Levensen

(f): 
Ing. David Eduardo Herrera Monterroso

(f): 
Ing. Ana Lucia Solano Garrido

Fecha de Aprobación: Guatemala 16 de junio del 2017 ✓

Abreviaturas

AENOR	Asociación Española de Normalización y Certificación.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
CH	Contenido de Humedad.
CTET	Centro Técnico de Evaluación Forestal.
CEN	Centro Técnico de Normalización Europeo.
CLT	Cross Laminated Timber
EC-5	EUROCÓDIGO 5.
KN/mm ²	Kilonewton por milímetro cuadrado.
Kg/cm ²	Kilogramo por centímetro cuadrado.
MPa	Megapascal.
PINFOR	Programa de Incentivos Forestales.
PROECEN	Proyecto de Estudio de Comportamiento de Especies Maderables Nativas.
PT	Pie Tablar.
RBM	Reserva de la Biosfera Maya
UN	Unión Europea.

PREFACIO

Este trabajo profesional quiero dedicárselo a mis padres, Eduardo Aguilar y Margarita Matta por todo el apoyo que me han dado durante toda mi vida y por los sacrificios que ellos han hecho en beneficio mío.

Quiero agradecerles a mis hermanos, a mis compañeros de carrera, mis catedráticos, a la facultad de Ingeniería Civil y a la Universidad del valle de Guatemala por todo el apoyo que me han brindado a lo largo de toda mi carrera.

Le agradezco también a mi asesora, Ing. Ana Lucia Solano, al Ing. Roberto Godo, Ing. Luis Díaz, al Ing. David Herrera y al aserradero Productos del Petén por su valioso aporte en esta investigación que espero beneficie y ayude potencializar el campo de la madera en Guatemala.

Y agradecerle principalmente a Dios por todas las oportunidades y apoyo que me ha dado a lo largo de mi vida y ahora.

CONTENIDO

PREFACIO	vii
LISTA DE ILUSTRACIONES.....	x
LISTA DE TABLAS	xi
LISTA DE ECUACIONES.....	xii
RESUMEN	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
III. OBJETIVOS	5
A. General	5
B. Específicos	5
IV. MARCO TEÓRICO	6
A. La madera.....	6
B. Posibles usos de la madera.....	7
C. Propiedades físicas de la madera.....	10
D. Propiedades mecánicas de la madera	18
E. Análisis estadísticos	25
F. Determinación de esfuerzos básicos	27
G. Normas ASTM.....	30
H. Eurocódigo 5	31
I. Descripción de las especies forestales evaluadas en este trabajo	31
V. METODOLOGÍA.....	38
A. Obtención de las muestras.....	38
B. Determinación de las propiedades físicas	39
C. Determinación de las propiedades mecánicas	40
D. Determinación de los valores de diseño	45
VI. RESULTADOS	46

A.	Danto	46
B.	Cola de coche (Cajoba Arborea Britt).....	49
C.	Guacibán.....	52
D.	Peso específico	55
E.	Distribución de las especies en el territorio guatemalteco.	55
VII.	DISCUSIÓN	58
VIII.	CONCLUSIONES	61
IX.	RECOMENDACIONES	63
X.	BIBLIOGRAFÍA	64
XI.	ANEXOS	66
A.	Fotografías de las muestras	66
B.	Resultados de ensayos	67
C.	Anexo 2: Tabla 1-3 del Eurocódigo – 5	76
D.	Sección D 143-94 del ASTM.....	77
E.	Sección E Tabla de Referencia para el uso del deformímetro SICK modelo UP56-211	89
F.	Sección F. Tabla 2.4 del Eurocódigo 5	91
G.	Sección F. Tabla 2.4 del Eurocódigo 5	91

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración	Página
Ilustración 1 –Escuadría a secciones preferenciales para el corte de madera.....	9
Ilustración 2 – Planos y direcciones de la madera	11
Ilustración 3 – Escala de colores del código de Munsell	12
Ilustración 4 – Árbol de Danto.....	33
Ilustración 5 Muestra de Danto.....	34
Ilustración 6 - Muestra de Madera de Cola de Coche.....	36
Ilustración 7 Muestra de madera de Guacibán.....	37
Ilustración 8 – Prueba de compresión perpendicular a la fibra.....	40
Ilustración 9-compresora hidráulica marca Versa Tester Soiltest para la prueba de compresión perpendicular a la fibra.....	41
Ilustración 10- Prueba de compresión perpendicular a la fibra.	42
Ilustración 11- Compresora hidráulica marca Versa Tester Soiltest realizando prueba de compresión paralela a la fibra.	42
Ilustración 12- Prueba de compresión perpendicular a la fibra.	44
Ilustración 13 – Georreferenciación de especies maderables identificadas en la republica de Guatemala	57

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
Tabla 1 – Conductividad para diferentes tipos de materiales en.	16
Tabla 2 – Velocidad de propagación de las ondas compresionales en distintos materiales	18
Tabla 3 – Factores que deben de emplearse para corregir los esfuerzos de la madera.....	30
Tabla 4- Características climáticas de la zona de adquisición de las especies.	38
Tabla 5 - Características topográficas de la zona de adquisición de las especies.	39
Tabla 6- resultados para ensayos de compresión perpendicular a la fibra.....	46
Tabla 7- Resultados para ensayos de compresión paralela a la fibra.....	46
Tabla 8 - Resultados para ensayos a flexión.....	46
Tabla 9 - Resultados para ensayos de corte radial	47
Tabla 10 – Resultados para ensayos de dureza	47
Tabla 11– Comparación de las propiedades mecánicas del Danto con una clase del EC-5	48
Tabla 12 – Características físicas de Danto	48
Tabla 13 - Resultados para ensayos de compresión perpendicular a la fibra.	49
Tabla 14 - Resultados para ensayos de compresión paralela a la fibra.....	49
Tabla 15 - Resultados para ensayos a flexión.....	49
Tabla 16 - Resultados para ensayos de corte radial	50
Tabla 17 - Resultados para ensayos de dureza.....	50
Tabla 18 - Comparación de las propiedades mecánicas del Cola de Coche con una clase del EC-5	51
Tabla 19 - Características físicas de Cola de Coche.	51
Tabla 20 - Resultados para ensayos de compresión perpendicular a la fibra.	52
Tabla 21 - resultados para ensayos de compresión paralela a la fibra	52
Tabla 22 - Resultados para ensayos a flexión.....	52
Tabla 23 - Resultados para ensayos de corte radial	53
Tabla 24 - Resultados para ensayos de dureza.....	53
Tabla 25 - Comparación de las propiedades mecánicas del Guacibán con una clase del EC-5	54
Tabla 26 - Características físicas de Guacibán.	54
Tabla 27 - Peso específico para todas las especies	55
Tabla 28 – Tabla de volúmenes registrados en concesiones forestales de la biósfera Maya	55

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación	Página
Ecuación 1 – Contenido de humedad.....	15
Ecuación 2 – Velocidad de propagación de las ondas compresionales	17
Ecuación 3 – Fórmula de Hankison	22
Ecuación 4 – Ecuación para esfuerzos de flexión.....	23
Ecuación 5 – Ecuación para obtener el MOE	24
Ecuación 6 – Ecuación de MOR.....	24
Ecuación 7 – Desviación estándar	26
Ecuación 8 – Varianza	26
Ecuación 9 – Intervalos de Confianza	27
Ecuación 10 – Ecuación para cálculo de factor de corrección.....	28
Ecuación 11 – Peso específico.....	40
Ecuación 12 – Esfuerzo último de compresión.....	40
Ecuación 13 – Esfuerzo de compresión	41

RESUMEN

Guatemala cuenta con una gran riqueza de especies forestales nativas de las zonas tropicales, muchos de estos árboles proveen madera de excelente calidad y tienen un lugar especial en el mercado de las maderas preciosas y semipreciosas. Sin embargo, aún hay varias especies nativas que son poco conocidas, esto ha limitado su manejo silvicultural en el bosque natural o en plantaciones forestales, provocando su subutilización y de alguna manera poniendo en riesgo su existencia.

La información más importante que se necesita conocer para hacer un uso adecuado de la madera son sus características físicas y mecánicas. Esta información es muy valiosa en la industria forestal, especialmente en el sector de la construcción. Pero actualmente se tienen pocos estudios de las características físicas y mecánicas de las especies latifoliadas de Guatemala, la mayoría de estudios se han realizado en coníferas.

Por las razones anteriormente mencionadas, esta investigación tiene como objetivo principal analizar las características físicas y mecánicas de tres especies de árboles maderables del departamento de El Petén: Danto, Guaciban, y Cola de Coche, para evaluar su potencial uso, principalmente en el área de la construcción estructural.

Para realizar este análisis se hizo una revisión bibliográfica, y se trabajaron 120 muestras de madera para cada especie, 50 x 50 mm de sección neta y longitudes variables al 12% de humedad, las muestras se prepararon en el taller de carpintería de la Universidad Del Valle de Guatemala y los ensayos se trabajaron en el laboratorio de resistencia de materiales de dicha Universidad.

Las características físicas analizadas fueron: características organolépticas y densidad. Para el análisis de las propiedades mecánicas se utilizaron los parámetros para ensayos de la norma ASTM, sección D 142 – 94, las pruebas realizadas fueron: Compresión paralela

a la fibra, compresión perpendicular a la fibra, flexión perpendicular a la fibra, corte y dureza.

Posteriormente, se determinaron los esfuerzos nominales, los factores de corrección, los esfuerzos básicos, los intervalos de confianza y por último se compararon los valores del Código Europeo para una primera clasificación de las especies según sus propiedades mecánicas.

Los resultados obtenidos demuestran que las especies se ubican dentro de las clases D-50, en el caso del Danto y Cola de Coche, y D-30 para el caso del Guacibán. Las clases D indican que son especies latifoliadas según su sigla en inglés (deciduous) y el valor que lo acompaña es su característica de resistencia a flexión. La clasificación del eurocódigo facilita el uso de la madera para diseños estructurales ya que establece valores característicos de los diferentes esfuerzos sometidos en una estructura. A partir de estos sabemos que tanto el Danto como el Cola de Coche presentan mejores características para utilizarlos como cimentaciones, mientras que el Guacibán demostró mejores características de resistencia a corte, por lo que se puede utilizar como materia prima en conglomerados como el CLT.

A pesar de que las especies tienen buenas características para el mercado de la construcción existe poca información acerca de los volúmenes existentes y no se puede saber con certeza si tienen la capacidad de poder cubrir la demanda de madera que hoy en día suplen las coníferas. Esto evidencia la falta de un manejo forestal adecuado y la subvaloración de estas especies. En futuras investigaciones se recomienda ahondar en el tema del manejo forestal, desde la reproducción de la especie, su manejo silvicultural en el bosque natural así como la tecnología apropiada para su transformación.

Para mejorar los resultados en este tipo de investigaciones se recomienda observar las condiciones de la madera sin secar, y si es posible evaluar las condiciones del árbol del cual se obtendrán las muestras.

I. INTRODUCCIÓN

Más de la mitad del territorio de Guatemala es apto para el aprovechamiento forestal sostenible¹. Actualmente se considera que el 37% del territorio, aproximadamente 40 mil km², está aún cubierto por bosques de diversas especies, los cuales pueden clasificarse en latifoliados (80%) y en bosques de coníferas 20%. (Robles y Valle 2000). El 70% de los bosques tropicales y subtropicales de Guatemala se encuentran al norte del país, en el departamento de El Petén. (Lima, 2003).

Lamentablemente la explotación insostenible de los bosques ha provocado una acelerada deforestación, ya sea por el comercio de la madera o por el cambio de uso del suelo, pasando de bosque a cultivos agrícolas o urbanizaciones, teniendo como consecuencia la erosión del suelo, la pérdida de biodiversidad y una desertificación difícilmente reversible. Una de las mejores alternativas para buscar un equilibrio entre el uso de los recursos naturales y su conservación es el manejo sostenible del bosque, tal como se realiza en otros países del mundo como por ejemplo en Alemania, Finlandia, Suiza y Canadá desde hace varios siglos. Sin embargo, esto es posible solo si existe un genuino interés de conservación por todos los sectores involucrados en el manejo de los bosques, y esto empieza desde el conocimiento de las especies desde el punto de vista ecológico, dasonómico² industrial y de mercado.

A pesar de la eminente vocación forestal del país, la contribución de este sector al producto interno bruto es bastante baja comparada con otros países que tienen una producción forestal importante como por ejemplo Honduras. Para 1997 se estimó 2,59% en el aporte al PIB por el Banco de Guatemala y un 1,77%, por el Clúster Forestal (1999). De la misma manera existe un 26.3% adicional de esa extensión nacional que tiene vocación para áreas protegidas. (Urquijo, 2003)

¹ Se refiere a que la explotación forestal se realiza permitiendo la regeneración del bosque, ya sea natural o inducida por actividades de reforestación, y la continuidad permanente de su aprovechamiento económico, sin llegar a eliminación o deterioro total o irreversible.

² Propio de la dasonomía o disciplinas que estudian los bosques y su manejo.

Actualmente del total del aprovechamiento de madera del país, únicamente el 3% es destinado a la industria. Cerca de la mitad de la madera (46.2%) se pierde por tumba y quema y un 46.3% es consumido en forma de leña. Adicionalmente, un 4.2% de la madera es consumido en la producción de carbón y un 0.3% es utilizado en otros productos como postes, tutores, vivienda rural, etc. (MAGA 1999).

Por otro lado la tecnología en la industria de la madera es limitada, debido al poco conocimiento de las características físicas y mecánicas de ciertas especies, principalmente especies nativas que actualmente no tienen un mercado definido, como por ejemplo las tres especies que se trabajaron en este estudio. Otra de las limitaciones es que no existe un manual para clasificar las especies maderables según su resistencia a esfuerzos básicos y el tipo de uso que se le puede dar en función de su ubicación geográfica. A falta de este manual actualmente se utiliza el Código Europeo para clasificar a las especies nativas, comparando los valores de resistencia a esfuerzos básicos alcanzados en pruebas estandarizadas internacionales con los valores del código.

Este trabajo pretende generar nueva información que ayude a llenar estos vacíos en el sector forestal y en el sector de la construcción. Para esto se eligieron tres especies latifoliadas que se encuentran principalmente en el departamento de El Petén: Danto, Guacibán y Cola de Coche, para evaluar su potencial uso en el sector de la construcción. En el cual se está buscando promover el uso de materiales amigables con el ambiente, como la madera.

Para esto se realizaron pruebas en el laboratorio de resistencia de materiales y el taller de carpintería de la Universidad del Valle de Guatemala. La madera venía desde El Petén en tablones, entonces se tuvo que cantar y escuadrar las piezas para cortarlas en reglones con una sección transversal de 2"x 2". Luego se procedió a cortar los reglones para obtener 20 probetas para cada ensayo a su longitud respectiva. Y al finalizar se utilizó equipo del laboratorio de materiales para fallar las probetas y tomar los datos.

Actualmente la normas de estandarización y las utilizadas en esta trabajo para la medición de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales son las normas ASTM (American Society of Testing Materials), siendo esta una de la organizaciones más grande

del mundo que reúne productores, usuarios y consumidores de todo el mundo para crear normas de consenso voluntaria, fundada desde 1898. (International, 2016)

Los resultados obtenidos demuestran los valores de esfuerzos últimos y esfuerzos básicos alcanzados para los ensayos de compresión perpendicular a la fibra, compresión paralela a fibra, corte radial, flexión o módulo de ruptura, dureza para las tres diferentes caras de la madera, la densidad y las características organolépticas para cada una de las especies. También se presenta una tabla comparativa donde se puede observar la clase del EC-5 que más se asemeja a la especie evaluada, y se comparan los valores característicos de la clase con los esfuerzos básicos obtenidos y se verifica que estén dentro de un intervalo de confianza del 95% de la media. En el caso del Danto y Cola de Coche se ubican dentro de las clases D-50, y D-30 para el caso del Guacibán.

Satisfactoriamente todas las especies evaluadas se pueden ubicar dentro de las clases características de la Tabla 1.3 del eurocódigo, lo que indica que son especies que se pueden utilizar dentro del ámbito constructivo y se pueden utilizar los valores de esfuerzos y rigidez que se muestran en la tabla para el diseño estructural.

Siendo especies nativas, la reproducción y crecimiento de las tres especies en Guatemala es bueno. Sin embargo, su volumen existente no es certero y se asume por la información manejada en las concesiones forestales que es poco. Por lo se recomienda investigar más sobre sus aspectos ecológicos, su adecuada transformación y su potencial económico.

II. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Guatemala tiene una gran riqueza en especies forestales de uso maderable. Aun así se ha dedicado cada vez más al uso principalmente de especies de coníferas, dejando por un lado a las especies latifoliadas. Por consiguiente, uno de los motivos de esta investigación es ampliar la información sobre las especies latifoliadas para hacerlas más atractivas para el mercado interno y externo de la madera.

Para las especies latifoliadas más comunes a nivel mundial, existe información acerca de su resistencia: tensión paralela, comprensión perpendicular al grano y la resistencia al corte. Pero no existe mayor información para especies latifoliadas nativas del país aun ocupando el 70% por ciento de los bosques. Por otro lado, es importante destacar que la falta de sistematización de esta información es una limitante principalmente en la industria forestal, por lo que es necesario ir desarrollando un manual de diseño con las características mecánicas de las maderas de Guatemala por optimizar su utilización en diferentes sectores.

La elaboración de esta investigación aportaría información valiosa para la realización de este manual. Teniendo un manual de construcción con maderas de Guatemala aumentaría el uso de este material en la construcción y bajaría la dependencia casi del 80% hacia concreto lo cual impulsaría la construcción con materiales más amigables con el ambiente, más proyectos de reforestación y un mejor manejo forestal.

III. OBJETIVOS

A. General

Aplicar ensayos físico-mecánicos de las especies de madera Danto (*Vatairea lundelli* (Standl).), Cola de Coche (*Cojoba arborea* Britt.) y Guacibán (*Pithecellobium leucocalyx* (Britton & Rose) Standl) para evaluar su potencial comercial en la elaboración de estructuras en la construcción.

B. Específicos

- Determinar las propiedades mecánicas de: compresión paralela, compresión perpendicular, módulo de ruptura, módulo de elasticidad, corte y dureza de 3 diferentes especímenes de madera latifoliada de El Petén.
- Determinar las propiedades físicas como: la densidad, y las características organolépticas para tres especímenes de madera latifoliada de la Aldea el Naranjo, Flores, Petén.
- Definir los parámetros de corrección según el Eurocódigo 5 para la utilización de las tablas de resultados para análisis estructurales.
- Comparar los esfuerzos últimos alcanzados en un intervalo de confianza del 95% de la media con los valores característicos de las clases presentadas en el Eurocódigo 5 Para clasificar las especies dentro una de ellas.

IV. MARCO TEÓRICO

A. La madera

La madera es un polímero de origen natural y es el material más antiguo empleado en la construcción, “desde inicios de la humanidad la madera ha sido utilizado para albergar al hombre, desde el uso de los árboles y sus ramas para cobijares, luego con el uso de solo ramas usadas como tendales cubiertas con pieles, seguido para hacer chozas y así sucesivamente su empleo ha servido para dar albergue, incluso antes de que se utilizó la piedra” (Ortiz, 2008). Y así se ha mantenido como uno de los materiales más populares en la construcción de edificaciones, especialmente en los casos de países “altamente desarrollados” como en Canadá, Alemania, Noruega, entre otros.

La madera, según su estructura molecular, se divide en dos grupos: las maderas blandas y las duras. Las maderas blandas proceden de árboles de las familias de coníferas, que en su mayoría presentan una madera estructuralmente más sencilla, de tejido prosenquimatoso, donde más del 90% de sus células se conforman por células fusiformes, que se caracterizan por células alargadas verticalmente. Las maderas duras por lo regular se presentan en los árboles frondosos³ o latifoliados, de un crecimiento más lento que las coníferas y una estructura más complicada, de tejido parenquimatoso, ya que su pared celular tiene en su mayoría células radiales, las cuales son células alargadas radialmente. Esencialmente ambos tipos de células son semejantes pero la células parenquimatosas no desarrollan la gruesa pared secundaria. Las coníferas sólo presentan traqueidas⁴, mientras que las frondosas presentan vasos conductores lo que constituye una propiedad fundamental desde el punto de vista funcional. (Garcia, 2014).

De la posición de las células en la madera blanda o dura suele hablarse de tres caras: la transversal, la radial y la tangencial. La cara transversal es la superficie que queda a la vista al cortar a lo ancho el tronco de un árbol, y es donde se aprecian los anillos de crecimiento o anuales. Tanto la corteza como la madera se producen a partir de una capa de células

³ Abundante en hojas y ramas.

⁴ tipo de célula conductora del xilema, por donde circula la savia bruta. Las traqueidas son unicelulares y muy alargadas.

vivas llamadas cambium. La cara radial o células de rayos por la forma en que están o donde se almacena el material nutritivo y su función es la de unir las diferentes partes del tronco, la dimensión longitudinal de las células radiales se extiende en sentido horizontal del tronco de un árbol. Cara tangencial se puede ver la vista terminal o extremo de los radios.

Desde el punto de vista de la madera como elemento estructural se destacan ventajas y desventajas donde se pueden mencionar las siguientes.

Ventajas: Su bajo peso influye favorablemente en su comportamiento ante fuerzas sísmicas, los métodos de uniones tradicionales son más sencillos, reduce el costo de transporte de los materiales y sus componentes, el tiempo de construcción es menor comparado con la de una edificación tradicional de concreto, se conoce como un material bastante aislante y así entre otras ventajas.

Desventajas: Se debe de anticipar una coordinación modular para disminuir los desperdicios, en la mayoría de casos la madera debe de ser tratada para aumentar su vida útil ya que se trata de un material orgánico, y de los más influyente al nivel de diseño es que por sus defectos naturales y de las variaciones propias de la madera no es posible darle esfuerzos unitarios de trabajo con el grado de precisión como la que se hace con el acero o el concreto.

B. Posibles usos de la madera

1. Madera de construcción no estructural: A continuación, se describen sus y recomendaciones que se pueden aplicar en madera que no cumple como una parte estructural de una edificación ni que requiera de requisitos apropiados a su función.

La madera de uso no estructural puede presentarse básicamente en dos formas dentro de la construcción; madera de vista y madera cubierta o no vista. Madera de vista, cuyas características de calidad son muy exigentes, de buena apariencia, en general libre de defectos y donde sus acabados son transparentes o al natural. La madera cubierta es aquella

que es pintada o cubierta por barnices opacos, pintura u otros materiales como maderas y enchapes, por regular es madera de menor calidad que puede (Piqué, 1984)

2. Usos según densidades: Para este tipo de madera, sus usos están directamente relacionados con la densidad de cada especie. Estas pueden clasificarse según su densidad en tres grupos descritos a continuación:

a. Madera dura o pesada: comprende a las maderas pesadas y muy pesadas con densidades entre 0.8 gr/cm^3 y 1.12 gr/cm^3 al 15 por ciento de contenido humedad. Durabilidad natural alta (excepto albura). No necesitan tratamiento perseverante.

Generalmente estas maderas se usan como pisos (entablado, paquetería, machihembrado, etc.), como pasos de escaleras, elementos torneados (balaustrada y pasamanos) y en forma de láminas como enchapes.

b. Madera medianamente dura: incluye a las maderas medianas o medianamente pesadas que tienen densidades en 0.72 gr/cm^3 a 0.88 gr/cm^3 . Algunas se pueden considerar pesadas pero su durabilidad naturales y es buenas en condiciones húmedas o tropicales.

Se utilizan generalmente en carpintería de obra como marcos de puertas y ventanas; como forros para cielos, paredes; como molduras de barandas y pasamanos, tapamarcos, rodones, zócalos y contra zócalos.

c. Maderas blandas: incluyen las especies relativamente poco densas o livianas comprendidas entre densidades de 0.4 a 0.72 al 15 por ciento de humedad, son denominadas de utilidad general, pues pueden ser utilizadas también como madera de carpintería, mueblería, decorativas, etc.

3. Se utilizan en forma impresa como moldaduras, rodones, zócalos, tapamarcos, marquesinas, etc., y las que sean poco más densas son utilizadas en puertas cotraplacadas y ventanas utilitarias.

La madera de construcción no estructural debe de trabajarse en términos generales, seca con un contenido de humedad cerca al de equilibrio o equivalente al clima normal.

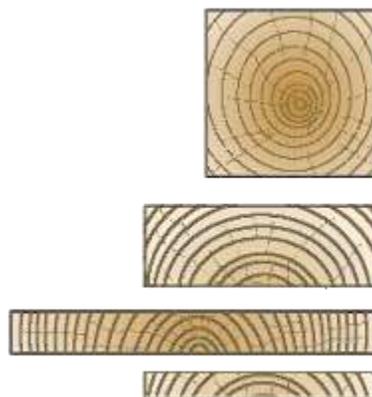
Para la comercialización de este tipo de madera se recomienda tener un contenido de humedad no mayor al 20 por ciento.

4. Madera de construcción: La madera de esta clasificación es aquella madera que constituye el armazón estructural de la edificación. Es decir, forma la parte resistente de componentes como muros o paredes, pisos, techos, tales como: pie derecho, columnas, vigas, cerchas, entre otros. La característica común a todos estos elementos en su función básicamente resistente.

Los requisitos principales según *El manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino* (Piqué, 1984), son los siguientes:

- Debe ser material clasificado como de calidad estructural para lo cual debe cumplir con la Norma de Clasificación Visual por Defectos.
- Debe ser madera proveniente de especies forestales consideradas como adecuadas para construir.
- Deben ser piezas de madera dimensionadas de acuerdo a las escuadrías o secciones preferenciales como se muestran en la Ilustración 1

Ilustración 1 –Escuadría a secciones preferenciales para el corte de madera



C. Propiedades físicas de la madera

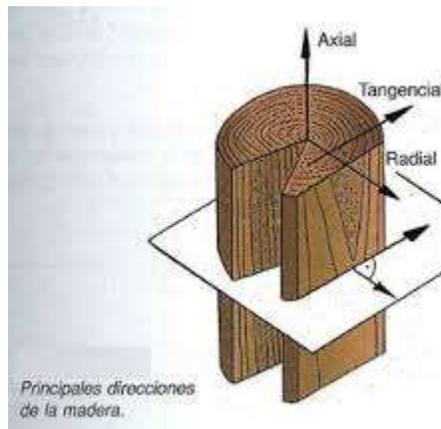
1. Anisotropía: La madera no es un material homogéneo, sino un material diferente según el plano de dirección que se considere. El resultado de esa configuración anatómico no homogénea es la variación de comportamiento ante distintas tareas según el plano en que sean aplicadas. (Vignote, 1996)

La estructura anisotrópica de la madera hace evidente los cambios de las diferentes dimensiones a través de los tres ejes, las cuales afecta en la resistencia de la madera. Los tres ejes son mutuamente perpendiculares en dirección longitudinal, radial y tangencial. (Gurfinkel, 1981)

La madera resiste de entre 20 a 200 veces más en el sentido del eje del árbol (axial o longitudinal), que en sentido transversal (Radial y Tangencial). Este comportamiento desigual hace importante diferenciar los planos y direcciones de la madera considerando los siguientes:

- Dirección Axial: en dirección al eje longitudinal del árbol.
- Dirección Radial: es la que va en dirección a los radios, perpendicular al eje longitudinal del árbol.
- Dirección Tangencial: es la que va en dirección tangente a los anillos en la sección transversal del árbol. Perpendicular al eje longitudinal del árbol (Vignote, 1996).

Ilustración 2 – Planos y direcciones de la madera



2. Higroscopicidad: En la madera se encuentran poros en el lumen⁵ celular, entre las microfibrillas⁶ elementales. Los poros en el lumen celular son relativamente grandes, por lo que la fuerza capilar que genera no es suficiente para absorber agua de la atmósfera, lo que hace que solo se puede llenar de agua cuando se sumerge en ella (Vignote, 1996).

Por otro lado los poro que se encuentran entre las microfibrillas elementales son tan pequeños que originan fuerzas de Van der Waal, capilaridad y adhesión superficial suficientes como para captar agua de la atmósfera que le rodea. También, ya que la atmósfera tiene una fuerza descendente, dependiente de la temperatura, humedad relativa y la presión a la que se encuentra, es capaz de captar agua de la pared celular de la madera. Dependiendo de la fuerza de uno u otro, la madera cede o capta agua (Vignote, 1996).

3. Polaridad: La madera tiene un carácter polar y por lo tanto tiene afinidad con los productos polares como pueden ser el agua, los pegamentos de carácter polar, los barnices.

⁵ Espacio interior de una estructura tubular. Por extensión, el lumen puede ser también el espacio interno de un componente o estructura celular.

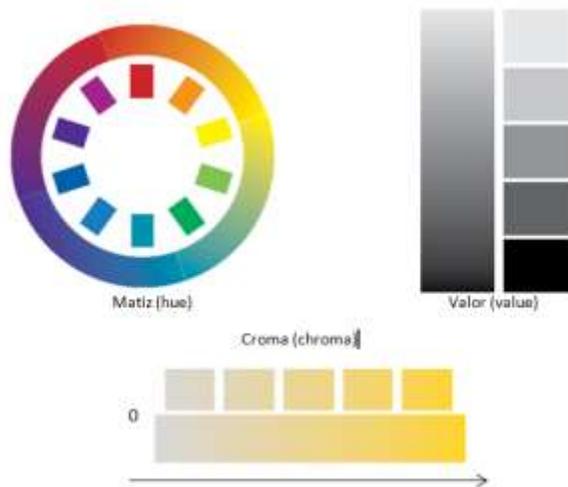
⁶ Estructuras cristalinas formadas por cadenas lineales de celulosa con un diámetro de entre 20 y 30 nm y formadas por unas 2000 moléculas de celulosa entre las que se establecen enlaces de hidrógeno.

4. Características organolépticas: Son aquellas que se determinan a través de la observación, la degustación y el olfato, con la finalidad de identificación y recomendación, tanto en el campo a la hora del aserrado y secado. A la madera se le puede determinar su olor, sabor, color, textura y grano. (Lima, 2003)

a. Olor: Durante el corte de los árboles, su manejo y su aserrado, es posible detectar el olor que la madera pueda desprender. Este olor es producido por diferentes sustancias volátiles contenidas en las maderas. Para fines prácticos, el olor de la madera puede ser ausente o no distintivo, aromático o desagradable (Benitez, 1988).

b. Color: Para la determinación del color, es necesario referirse a una escala específica, de tal forma que se eviten confusiones. El código Munsell, como se puede observar en la Ilustración 3, bajo cada color en la tabla de colores, es una notación universal que describe el color. El primer conjunto de números y letras presentan el matiz, que es la posición del color en la rueda de colores (Y=amarillo, R=Rojo, B=azul, YR=amarillo-rojo, RY=rojo-amarillo). El número que sigue es el calor, que indica la claridad del color. El rango de colores va desde cero para negro puro hasta diez para blanco. El último número se conoce como el croma que describe la intensidad del color (UCAR/ CSU , 2003).

Ilustración 3 – Escala de colores del código de Munsell



c. Sabor: El sabor es el efecto que se genera en el sentido del gusto donde se producen algunas sustancias contenidas en las células de la madera. De la misma manera que el olor, el sabor de la madera puede apreciarse se degusta el aserrín de la misma. Debe tener mucho cuidado con aquellas que presentan olor desagradable, ya que puede tener sustancias tóxicas. El sabor puede definirse como ausente o no distintivo, amargo, dulce, saldo o picante, aunque depende mucho del criterio del observador (Benitez, 1988)

d. Grano: El grano es la dirección o alineamiento que tienen en un plano longitudinal leñoso, sus elementos constitutivos, en especial los alargados verticalmente; como son las fibras y los vasos en las latifoliadas y las traqueidas en las coníferas. Este puede ser principalmente (Benitez, 1988):

- Recto: Cuando la dirección de los elementos es sensiblemente paralelo al eje del árbol.
- Oblicuo: cuando la dirección de los elementos se desvía de la dirección del eje del árbol, formando con él, ángulos agudos.
- Espiralado: Cuando el hilo forma una espiral a través del eje.

e. Textura: Se refiere al tamaño de los elementos constitutivos del leño⁷(xilema), especialmente los parenquimáticos, vasculares y fibrosos. La textura puede ser (Benitez, 1988):

- Gruesa: elementos constitutivos amplios, fibras con diámetros tangenciales grande de más de 250 micras, radios leñosos grandes y parénquima grande.

⁷ Es la sección del tronco que constituye la madera propiamente dicha, se compone de madera joven llamada albura y madera que ha llegado a su desarrollo completo llamado duramen.

- Fina. Elementos constitutivos pequeños. Fibras menores de 150 micras de diámetro tangencial, peráquima escaso y abundante tejido fibroso.
- Mediana: término medio entre las dos anteriores
- Homogénea uniforme: cuando los elementos constitutivos del leño son grandes o pequeños, no presentan grandes variedades en todas las superficies longitudinales del leño.
- Heterogénea: cuando las variaciones entre los elementos constitutivos del leño son grandes. (madera tardía y temprana diferenciada).

5. Contenido de humedad: La madera contiene agua bajo tres formas: agua libre, agua higroscópica y agua de constitución. El libre se encuentra llenando las cavidades celulares. El agua higroscópica se encuentra contenida en las paredes celulares. El agua de constitución se encuentra formando parte integrante de la estructura molecular (Piqué, 1984).

La madera empieza a perder agua cuando se inicia el proceso de secado, cuando se expone al medio ambiente. En el transcurso del secado se empieza a perder el agua libre y después el agua higroscópica, el agua de constitución no se pierda a menos que sea por medio de combustión misma de la madera. En función de la cantidad de agua que contenga la madera pueden presentarse tres estados: verde, seco y anhidro. Se dice que la madera es verde cuando ha perdido únicamente parte de su agua libre, madera seca cuando ha perdido su totalidad de agua libre y parte de su agua de constitución, finalmente se le dice madera anhidra cuando ha perdido toda su agua libre y agua higroscópica (Piqué, 1984).

El contenido de humedad (CH) es el porcentaje en peso, que tiene el agua libre más el agua higroscópica con respecto al peso de la madera anhidra. Para una muestra de madera el CH es igual a lo siguiente (Piqué, 1984):

Ecuación 1 – Contenido de humedad

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

El peso anhidro es conseguido mediante el uso de un horno a 103 ± 2 °C que también se le conoce por el nombre de peso seco al horno (Piqué, 1984).

Existen dos valores del CH que son particularmente importantes, al primero se le llama Punto de Saturación de las Fibras⁸ (PSF) y es el CH que tiene la madera cuando ha perdido la totalidad del agua libre y empieza a perder el agua higroscópica. Al segundo se le conoce como contenido de Humedad de Equilibrio (CHE) que es cuando la madera expuesta al aire, pierde parte del agua higroscópica hasta alcanzar un CH en equilibrio con la humedad relativa del aire (Piqué, 1984).

El PSF varía de 25 – 35 % mientras. Cuando el CH es menor que el PSF la madera sufre cambios dimensionales y también varían sus propiedades mecánicas (Piqué, 1984).

6. Peso específico y densidad: La relación que existe entre la masa y el volumen de un cuerpo se llama densidad. Cuando se usa el sistema métrico se toma la masa como el peso del cuerpo. El peso de la madera es la suma del peso de la parte sólida más el peso del agua. El volumen de la madera es constante cuando está en el estado verde, el volumen disminuye cuando el CH es menor que el PSF y vuelve a ser constante cuando ha alcanzado el estado anhidro o seco al horno. Se pueden distinguir en consecuencia cuatro densidades para una misma muestra. (Piqué, 1984)

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

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

La densidad anhidra (DA) la relación entre el peso seco al horno (PSH) y el volumen seco al horno (VSH).

⁸ Máxima absorción de agua posible de las fibras.

La densidad básica (DB) la relación entre el peso seco al horno (PSH) y el volumen verde (VV). La cual es la menor de la cuatro. (Piqué, 1984)

El peso específico (Pe) de la madera es la relación entre el peso de la madera, a un determinado contenido de humedad, y el peso del volumen de agua desplazado por el volumen de la madera. Considerando que el agua tiene densidad igual a 1 puede decidirse que, la relación entre la densidad de la madera dividida entre la densidad del agua, igualan su peso específico. En el sistema métrico la densidad y el peso específico tienen el mismo valor con la diferencia que este último no tiene unidades. (Piqué, 1984)

7. Conducción térmica y expansión: La medida de la cantidad de calor que fluye de un material sometido a un gradiente de temperatura se llama conductividad térmica, este calor se expresa comúnmente en kilocalorías por metro por hora y por grado centígrado. En la Tabla 1 se presenta valores de la conductividad de la madera que es solo una fracción de la conductividad de otros materiales. La madera es, por lo tanto, un material aislante por excelencia debido a su naturaleza porosa. (Piqué, 1984)

Tabla 1 – Conductividad para diferentes tipos de materiales en.

Material	Conductividad en Kcal/hora-m-°C
Aire	0.02
Lana Mineral	0.03
Madera Anhidra (DA=0.4)	0.03
Madera Anhidra (DA=0.8)	0.12
Corcho	0.08
Mortero de Yeso	0.30
Ladrillo	0.50-0.80
Concreto	1.15-1.40
Acero	35.00-50.00
Cobre	350.00

La conductividad térmica de la madera es directamente proporcional al contenido de humedad y a la densidad, es además de 2 a 2.8 veces mayor en la dirección longitudinal que en la dirección radial o tangencial. Para una madera de densidad básica 0.8 g/cm³ y un CH del 30%, el valor de la conductividad térmica alcanza a 0.2 Kcal/hora-m-°C. (Piqué, 1984)

La madera cambia de dimensiones cuando sufre variaciones de temperatura. La madera como material anisotrópico posee valores diferentes de dilatación térmica en sus tres direcciones anatómicas. La dilatación tangencial radial aumenta con la densidad de la madera siendo la tangencial mayor que la radial. La dilatación longitudinal no depende de la densidad pero varía entre las especies. Valores típicos de la dilatación tangencial se encuentran entre $3 \text{ y } 4 \times 10^{-6}$ por $^{\circ}\text{C}$. La dilatación tangencial varía entre 25 a más de 20×10^{-6} por $^{\circ}\text{C}$. (Piqué, 1984)

8. Transmisión del sonido: Una de las principales ventajas de la madera es su capacidad para absorber vibraciones producidas por las ondas sonoras. Esta propiedad está íntimamente relacionada con su estructura fibrovascular, su naturaleza, elastoplástica y su densidad. La capacidad que tiene un cuerpo de absorber ondas es directamente proporcional a su densidad. La velocidad con la que se propagan las ondas compresionales en un material elástico es:

Ecuación 2 – Velocidad de propagación de las ondas compresionales

$$v = \sqrt{\frac{MOE}{\rho}}$$

en donde:

v = Velocidad de las ondas.

MOE = Módulo de elasticidad.

ρ = Densidad.

En la Tabla 2 se da la velocidad de propagación de las ondas compresionales en diferentes materiales. (Piqué, 1984)

Tabla 2 – Velocidad de propagación de las ondas compresionales en distintos materiales

Material	Densidad	Velocidad en m/seg
Corcho	0.25	430-530
Madera	0.52	4760
Madera	0.69	4300
Agua	1	1435
Vidrio	2.5	5000-6000
Acero	7.85	5000

9. Conductividad eléctrica: La resistencia de la madera es muy sensible a cambios según su contenido de humedad, variando exponencialmente entre resistencias tan altas como 10,000 Megaohms, contenidos de humedad del orden del 5 por ciento, hasta resistencias de menos de 1 Megaohm en el punto de saturación de la fibra. Sin embargo, bajo condiciones normales de uso, la madera secada al aire se comporta como un material aislante debido a que su resistencia eléctrica es aproximadamente 500 Megaohms. (Piqué, 1984)

La conductividad de la madera varía según las tres direcciones anatómicas de la madera. La conducción paralela a las fibras es doble que la conductividad en el sentido transversal. Entre la conductividad en el sentido tangencial y radial existe una diferencia del 10 % siendo la conductividad en el sentido radial la mayor de las dos. (Piqué, 1984)

D. Propiedades mecánicas de la madera

1. Conceptos básicos

a. Condiciones de ensayos: Además de las condiciones de cargas, es necesario tomar en cuenta a la hora que querer ensayar la madera la condición natural del material y las condiciones ambientales, si ellas afectan los resultados del ensayo. Las propiedades mecánicas de algunos materiales resultan afectadas por las condiciones de humedad. Los ensayos de madera pueden hacerse en probetas en condición verde o atmosféricamente seca, pero el contenido de humedad del ensayo siempre se determina.

Estas arbitrarias condiciones de humedad se requieren para un ensayo normal para que los resultados de los ensayos obtenidos por operadores diferentes sean comparables.

b. Esfuerzo y deformación: Las cargas se aplican y se miden por medio de máquinas de ensayo. Estas cargas usualmente se especifican en unidades de fuerza, tales como las libras, aunque en ciertos ensayos como los de torsión, la carga puede expresarse en término de momentos como por ejemplo, libras-pulgadas (lb-plg) (Davis, 1982).

Existen tres clases básicas de esfuerzo: tensivo, comprensivo y corte. Se acostumbra computar los esfuerzos sobre la base de las dimensiones del corte transversal de una pieza antes de la aplicación de la carga, usualmente llamadas dimensiones originales. En los ensayos de tensión y compresión simples, en las cuales la probeta es sometida a un esfuerzo uniformemente distribuido, el esfuerzo se computa dividiendo la carga (conocida) por la mínima área seccional original. En aquellos casos en los que la distribución no es uniforme, el esfuerzo en puntos específicos puede determinarse por métodos indirectos. En los ensayos de flexión y torsión, dentro de los límites elásticos, los esfuerzos se computan por medio de relaciones teóricas. Dentro del rango elástico, los esfuerzos pueden evaluarse de las deformaciones medidas, mediante el uso del módulo de elasticidad (Davis, 1982).

El término deformación indica el cambio de la forma de un cuerpo; puede deberse al esfuerzo, al cambio de humedad o a otras causas. En conjunción con el esfuerzo, la deformación usualmente se supone como un cambio lineal y se mide en unidades de longitudes. En los ensayos de flexión, la deformación puede expresarse en términos de la deflexión de algún punto especificado de una viga de su posición original (Davis, 1982).

La deformación, entonces es definida como el cambio por unidad de longitud en una dimensión lineal de un cuerpo, el cual va acompañado por un cambio de esfuerzo. Es una deformación unitaria debida al esfuerzo. Es una razón, o un número no dimensional bajo esfuerzo tensivo o comprensivo, la deformación por corte se computa con respecto a la medición perpendicular a la dirección de la fuerza; por lo tanto, la deformación por corte es un ángulo expresado en radianes (Davis, 1982).

La deformación permanente es la deformación o deformación unitaria restante en un cuerpo previamente esforzado después del retiro de la carga. Si un cuerpo es sometido a esfuerzo tensivo o compresivo en una dirección dada, no solo ocurre deformación en esa dirección (deformación axial) sino también deformaciones unitarias en direcciones perpendiculares a ella (deformación lateral) (Davis, 1982).

Las deformaciones volumétricas se determinan ocasionalmente. En el caso de los cuerpo porosos o sumamente deformables, el cambio volumétrico en forma ocasional se determina mediante el desplazamiento de un fluido (Davis, 1982).

c. Relaciones existentes entre esfuerzo y deformación: La relación entre el esfuerzo y la deformación comúnmente se muestra por medio de un diagrama de esfuerzo y deformación, el cual es trazado con valores de esfuerzo como coordenadas y valores de deformación como abscisas. El procedimiento usual para obtener un diagrama de esfuerzo y deformación, consiste en tomar los datos de una serie de lecturas de un deformímetro. (Davis, 1982).

d. Elasticidad: La elasticidad es aquella propiedad de un material por virtud de la cual, las deformaciones causadas por el esfuerzo desaparecen al removérsele. Algunas sustancias únicamente poseen elasticidad volumétrica, como los gases, pero los sólidos, además, pueden poseer elasticidad de forma. Un cuerpo perfectamente elástico se concibe como uno que recobra completamente su forma y sus dimensiones originales de la carga. Un índice de la elasticidad es el esfuerzo que marca el límite (efectivo) del comportamiento elástico) (Davis, 1982).

e. Medidas de resistencia elástica: El límite elástico, se define como el mayor esfuerzo que un material es capaz de desarrollar sin que ocurra la deformación permanente al retirar el esfuerzo. El límite proporcional se define como el mayor esfuerzo que un material es capaz de desarrollar sin desviarse de la proporcionalidad rectilínea entre el esfuerzo y la deformación. Se ha observado que la mayoría de los materiales exhiben esta relación lineal entre el esfuerzo y la deformación dentro del rango elástico. Las operaciones involucradas en la determinación del límite proporcional son relativamente simples; por lo tanto es frecuentemente usado como una medida del límite elástico (Davis, 1982).

f. Medidas de resistencia última: El término resistencia última está relacionado con el esfuerzo máximo que un material puede desarrollar, se computa con base en la máxima carga soportada por una pieza de ensayo y las dimensiones seccionales originales. La resistencia a la compresión es el máximo esfuerzo de compresión que un material es capaz de desarrollar. Con un material quebradizo que falla en compresión por rotura, la resistencia a la compresión posee un valor definido (Davis, 1982).

g. Rigidez: La rigidez se relaciona con la deformabilidad relativa de un material bajo una carga que se mide por a través de la velocidad del esfuerzo con respecto a la deformación. A mayor esfuerzo aplicado para una cierta deformación, mayor es la rigidez del material (Davis, 1982).

Bajo un esfuerzo simple dentro del rango proporcional, la razón entre el esfuerzo y la deformación correspondiente es denominada módulo de elasticidad, el módulo en tensión, compresión, y cortante. Bajo corte simple, la rigidez es algunas veces llamada módulo de rigidez (Davis, 1982).

h. Falla: En relación con los ensayos hasta la falla de los materiales y las partes o los miembros estructurales, es importante observar y conseguir el tipo de falla de las características de la fractura. Aunque la observaciones de la falla son necesariamente cualitativas, mucho puede aprenderse de un estudio de las fallas, y con la experiencia resulta posible reconocer por una fractura la clase de esfuerzo que causó la falta y algo acerca de la clase y condición del material (Davis, 1982).

2. Compresión:

a. Compresión paralela a la fibra: La madera presenta gran resistencia a los esfuerzos de compresión paralela a sus fibras. Esta proviene del hecho que las fibras están orientadas con su eje longitudinal en esa dirección y que a su vez coincide, o está muy cerca de la orientación de las microfibrillas que constituyen la capa media de la pared celular. Esta es la capa de mayor espesor de las fibras (Piqué, 1984).

La capacidad está limitada por el pandeo de las fibras más que por su propia resistencia al aplastamiento. Cuando se trata de elementos a escala natural como columnas, solamente aquellas de una relación de esbeltez (longitud/ancho) menor que 10 desarrollan

toda su resistencia al esforzar la sección a su máxima capacidad. Para elementos más esbeltos, que son los más comunes, la resistencia está determinada por su capacidad a resistir pandeo latera, que depende mayormente de la geometría de la pieza más que de la capacidad resistente de la madera que la constituyente. La resistencia a la compresión paralela a las fibras en la madera es aproximadamente la mitad que su resistencia a tracción (Piqué, 1984).

Valores del esfuerzo de rotura en compresión paralela a las fibras para ensayos con probetas de laboratorio varían entre 10 y 90 MPa para maderas tropicales. Esta variación es función de la densidad (entre 0.2 y 0.8 de D.B.). el esfuerzo en el límite proporcional es aproximadamente el 75 por ciento del esfuerzo máximo y la deformación es del orden del 60 por ciento de la máxima (Piqué, 1984).

b. Compresión perpendicular a la fibra: Bajo este tipo de carga las fibras están sometidas a un esfuerzo perpendicular a su eje y que tiende a comprimir las pequeñas cavidades contenidas en ellas. Esto permite que puede cargar la madera sin que ocurra una falla claramente distinguible. Al incrementarse la magnitud de la carga, la pieza se va comprimiendo (aplastando los pequeños cilindros que semejan las fibras), aumentando su densidad y también su misma capacidad para resistir mayor carga (Piqué, 1984).

La resistencia está caracterizada por el esfuerzo al límite proporcional. Este varía entre $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{5}$ del esfuerzo al límite proporcional en compresión paralela (Piqué, 1984).

Cuando las fibras reciben la carga a un ángulo intermedio entre 0 (paralelo a la fibra) y 90 (perpendicular a la fibras) la resistencia alcanza valores intermedios que siguen aproximadamente la fórmula de Hankison que se muestra a continuación (Piqué, 1984).

Ecuación 3 – Fórmula de Hankison

$$N = \frac{PQ}{P\sin^2 + Q\cos^2}$$

Resultados de prueba muestran que el esfuerzo en las fibras en el límite proporcional es aproximadamente 50 veces mayor cuando se aplica una sección de la probeta de 2X2X6 pulgadas. Que en un cubo de 2X2 pulgadas. (Gurfinkel, 1981).

3. Flexión: El esfuerzo de la madera cuando una fuerza es aplicada transversalmente es una de las propiedades más importante por su alta demanda y uso en el campo de la construcción para elementos flexión como techos y pisos para edificaciones, y tirante y vigas para puentes (Gurfinkel, 1981).

Los ensayos para este tipo de pruebas se realizan con probetas de 2X2X30 pulgadas, utilizando una luz real de 28 pulgadas. Por lo regular los resultados se presentan como se ve en la ecuación 4 donde se grafica una curva que muestra la carga aplicada transversalmente a la mitad de la luz en relación a la deflexión (δ) (Gurfinkel, 1981) .

Se puede observar también que al comienzo de la prueba la relación se comporta de una manera lineal. El límite proporcional marca el final de la relación lineal, que se puede identificar como P' en donde el esfuerzo alcanzado en el límite proporcional se puede obtener por la ecuación 4 en donde b y d son el ancho y la altura de la sección, respectivamente y L el largo del elemento (Gurfinkel, 1981).

Ecuación 4 – Ecuación para esfuerzos de flexión

$$\frac{\frac{P'L}{4}}{\frac{bd^2}{6}}$$

a. Módulo de elasticidad: El módulo de elasticidad aparente, E o MOE, en flexión se puede determinar utilizando la relación elástica entre P' y δ' , donde el primero refleja valores del límite proporcional. Para la prueba estándar para una carga aplicada a la mitad de la luz en un espécimen de 2X2X30 pulgadas, se puede obtener el MOE a través de la siguiente ecuación:

Ecuación 5 – Ecuación para obtener el MOE

$$MOE = \frac{P'L^3}{48I\delta'}$$

Donde $I=bd^3/12$ es el momento de inercia de la sección. El valor de MOE obtenido por la ecuación 5 es menor al valor verdadero ya que δ' es afectado por deflexiones debido a corte, pero no son influyentes para el cálculo de vigas en madera. Al contrario, mejoran su factor de seguridad (Gurfinkel, 1981).

b. Módulo de ruptura: El módulo de ruptura, MOR, es obtenido por la siguiente ecuación:

Ecuación 6 – Ecuación de MOR

$$MOR = \frac{\frac{P_u L}{4}}{\frac{bd^2}{6}}$$

Donde MOR, es el resultado del esfuerzo último alcanzado previo a la ruptura del elemento y se toma como un dato ficticio ya que el comportamiento de la parte descendiente de la curva es inestable ya que la relación entre el cambio de fuerza aplicada respecto a la deformación es negativa, i.e., $dP/d\delta < 0$. Sin embargo, el dato es tomado como un valor de esfuerzo aceptable (Gurfinkel, 1981).

Estructuras bajo cargas gravitacionales en estado normal fallaría cuando llegara al valor de carga máximo (Gurfinkel, 1981).

4. Pruebas a corte: Un esfuerzo de corte actúa paralelamente a un plano, para cargas que producen las condiciones de corte de interés principal en el ensayo de materiales son las siguientes:

- Las resultantes de fuerzas paralelas, pero opuestas, actúan a través de los centroides de secciones espaciada a distancias infinitesimales entre sí. Es concebible, en tales casos, que los esfuerzos de corte sobre secciones sean uniformes y exista un estado de corte

directo puro. Es posible acercarse a esta condición, pero nunca alcanzarla prácticamente (Davis, 1982).

- Las fuerzas opuestas aplicadas son paralelas, actúan normalmente a un eje longitudinal del cuerpo, pero están espaciadas a distancias finitas entre sí. Entonces, además de los esfuerzos cortantes producidos, se establecen esfuerzos flexionantes. En el caso de una viga rectangular sometida a cargas transversales, los esfuerzos cortantes sobre cualquier sección transversal varían en intensidad desde cero en las superficies superior e inferior de la viga hasta un máximo en el eje neutro (Davis, 1982).

- Las fuerzas aplicadas son paralelas y opuestas, pero no yacen en un plano que contenga el eje longitudinal del cuerpo; aquí se establece un par que produce una torsión alrededor de un eje longitudinal (Davis, 1982).

5. Dureza: La dureza es una propiedad de la madera que indica la facilidad de penetración de un material en otro. La madera, en relación con otros materiales como el acero o el concreto, se puede definir como blanda, que aunque en algunos aspectos se puede interpretar como negativo (facilidad de ser rayado y por tanto denigrar su aspecto físico) tiene como ventaja, su facilidad en su procesamiento e industrialización (Vignote, 1996).

E. Análisis estadísticos

El análisis estadístico para la interpretación de los resultados, se entiende que para el tipo de datos obtenidos estos están sujetos a variar. Tal y como se menciona en el libro “Ensayo e inspección de los materiales de ingeniería” (Davis, 1982), los resultados de un ensayo simple involucran mediciones sujetas a variación. Los resultados de un ensayo sobre una serie de muestras similares, muestran variación entre éstas.

De esta manera, luego de haber realizado los ensayos y tabulado los datos, se procede a la evaluación de los siguientes parámetros estadísticos para cada una de las especies evaluadas y para cada una de las pruebas.

Media aritmética: Este parámetro, uno de los más usados y comunes en cualquier investigación científica y en de ingeniería, constituye el promedio del lenguaje ordinario. Es un promedio calculado y es afectado por cada valor el cual puede ser distorsionado considerablemente por los altos valores extremos. (Davis, 1982)

Desviación estándar: Esta es la medida de dispersión más usada y constituye un arreglo especial de la desviación promedio. Los estudios de estadística han demostrado que cuando el número de muestras es pequeño (menor a 25) es más aceptable utilizar como divisorio de grados de libertad a $(n - 1)$, en lugar del número total de valores (n) . (Davis, 1982).

Ecuación 7- Desviación estándar

$$S = \frac{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{n(n - 1)}$$

Varianza: Este parámetro debe se determinar para poder utilizarse como valores significativos de comparaciones. Por lo común, se utiliza la desviación estándar con base en un porcentaje designándolo en este caso como v , el coeficiente de variación. Este valor se calculó con la siguiente ecuación:

Ecuación 8 - Varianza

$$v = \frac{S}{X}$$

Donde:

S=Desviación estándar

X=Promedio Aritmético

Intervalos de Confianza: El cálculo de intervalos de confianza para la estimación de parámetros son técnicas que permiten hacer declaraciones sobre qué valores podemos esperar para un parámetro.

El intervalo de confianza calculado dependerá de:

- Lo estimado en la muestra (porcentaje, media, desviación estándar, etc.). El intervalo de confianza está formado por valores ligeramente menores y mayores que la aproximación ofrecida por la muestra.
- El tamaño de la muestra, cuanto más datos hayan participado en el cálculo, más pequeño se espera que sea la diferencia entre el valor estimado y el valor real desconocido.
- La probabilidad (nivel de confianza) con la que el método dará una respuesta correcta que habitualmente para intervalos de confianza son el 95% y 99%.

Para la construcción de un intervalo de confianza dada una variable aleatoria con distribución normal y varianza conocida se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 9-Intervalos de Confianza

$$\mu = X \pm Z_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Donde:

S = Desviación estándar

X = Promedio aritmético

α = Nivel de significancia = 1-nivel de confianza

Z = Constante obtenida de la tabla de distribución normal.

F. Determinación de esfuerzos básicos

Se entiende por esfuerzos básicos como la resistencia permisible de la madera que no tenga defectos como nudos y sana. Estos esfuerzos se obtienen a partir de factores de correcciones que se aplican a los resultados obtenidos de los ensayos. Los factores de corrección que se toman en cuenta son:

- La variabilidad de la resistencia de la madera

- La disminución de la resistencia de la madera por efecto de carga permanente durante un periodo de tiempo prolongado.
- El grado de sazónamiento
- El factor de seguridad que toma en cuenta la posibilidad de sobrecargas accidentales y la influencia de otros factores no previstos. (CTEF, 1972)

Se reconoce que algunos esfuerzos, principalmente los de compresión paralela y de flexión, se incrementan al secar la madera (ensayos de piezas pequeñas), pero no es recomendable incrementar los esfuerzos básicos para madera seca (piezas mayores de 10 cm. de grosor) porque se considera que buena parte de la madera utilizada en construcción, se coloca verde o poco sazónada y aunque se pusiera seca antes de utilizarla, la pérdida de humedad va acompañada de agrietamientos y combamiento, defectos que contrarrestan el incremento de resistencia debido al secado (CTEF, 1972).

1. Factor de corrección por variabilidad: Para calcular el factor de corrección por variabilidad se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 10 – Ecuación para cálculo de factor de corrección

$$V = 1 - C \left(\frac{v}{100} \right)$$

Donde:

v = Coeficiente de variación

C = Coeficiente con valor de 1.0 a 1.5 dependiendo de la dispersión de los valores obtenidos y su forma de distribución. Para el caso de esta investigación se utilizó 1.0.

2. Factor de corrección de esfuerzo por disminución de la resistencia: Observaciones realizadas en otros países han señalado que la resistencia de la madera sujeta a cargas durante períodos largos de tiempo, sufre una disminución que llega hasta el 40% de su

resistencia inicial, por lo que se ha adoptado un factor de corrección con un valor de 2/3. (CTEF 1972)

$$T = 0.67$$

3. Factor de corrección por grado de sazónamiento: Los incrementos de resistencia son detectados al disminuir la humedad en la madera, bajo su punto de saturación de las fibras. El límite de saturación es del 30% de humedad aproximadamente. Debido a los factores de compensación que existen entre la resistencia de madera verde y resistencia de madera seca, que hacen sus resistencias bastante similares para maderas cuyo contenido de humedad sea mayor o igual al 30%, el factor de corrección por grado de sazónamiento es igual a 1. Para cada especie debe calcularse según su contenido de humedad (CTEF 1972).

4. Factor de seguridad: En esta forma se intenta cubrir el efecto de otros factores que afectan las propiedades mecánicas y que no pueden evaluarse; así como también el riesgo de sobre cargas accidentales no previstas. El factor de seguridad debe ser 1/2 para efectos conservadores. (CTEF 1972).

$$S = 1/2 = 0.5$$

5. Resumen de correcciones para obtener esfuerzos básicos

- Esfuerzo básico = (X)(V)(T)(S)(H)
- Esfuerzo básico = (X)(V)(0.67)(0.5)(H)
- Esfuerzo básico = (X)(V)(H)(0.335)

Donde

X = promedio aritmético de los resultados de los ensayos.

V = corrección por variabilidad

T = corrección por disminución de resistencia en madera cargada por largo tiempo = 0.67

S = factor de seguridad = 0.5

H = corrección para adaptar los esfuerzos básicos corregidos según el contenido de humedad (CTEF 1972).

6. Factores que deben de emplearse para corregir los esfuerzos de la madera

Tabla 3 – Factores que deben de emplearse para corregir los esfuerzos de la madera

Tipo de ensayo	Tipo de muestra	Esfuerzos que deben ser corregidos por:			
		Defectos por variación	Peso, edad, crecimiento	Sazonamiento y riesgo de pudrición	Tipo y duración de carga
Corte	Todo tipo de piezas	Sí	No	Sí	Sí
Compresión perpendicular a la fibra	Todo tipo de piezas	No	Sí	Sí	Sí
Compresión paralela a la fibra	Todo tipo de piezas	Sí	Sí	Sí	Sí
Módulo de elasticidad	Todo tipo de piezas	No	No	No	No

G. Normas ASTM

Las normas ASTM (American Society for Testing and Materials) es una de las organizaciones internacionales de desarrollo de normas más grandes del mundo. En ASTM se unen productores, usuarios y consumidores, entre otros, de todo el mundo, para crear normas de consenso voluntarias. (ASTM, 2016). Las normas ASTM tienen estandarizadas áreas como metales, pinturas, textiles, petróleo, construcción, energía, medio ambiente, productos de consumo, servicios médicos, dispositivos y productos electrónicos (ASTM, 2016).

La sección D 142 – 94 fue creada para evaluar las propiedades mecánicas y físicas de pequeños especímenes de madera para clasificar ya que existe una gran variedad de tipos de madera con factores que pueden afectar los resultados de las pruebas.

H. Eurocódigo 5

Los EUROCÓDIGO 5 estructurales comprenden un grupo de normas europeas de carácter voluntario que recogen métodos comunes en todos los Estados Miembro de la UE para el cálculo y dimensionado de estructuras, y que se agrupan en los siguientes paquetes normativos:

- EUROCÓDIGO 0: Bases de cálculo de estructuras.
- EUROCÓDIGO 1: Acciones en estructuras.
- EUROCÓDIGO 2: Proyecto de estructuras en hormigón.
- EUROCÓDIGO 3: Proyecto de estructuras de acero.
- EUROCÓDIGO 4: Proyecto de estructuras mixtas de hormigón y acero.
- EUROCÓDIGO 5: Proyecto de estructuras de madera.
- EUROCÓDIGO 6: Proyecto de estructuras de fábrica (albañilería)
- EUROCÓDIGO 7: Proyecto geotécnico.
- EUROCÓDIGO 8: Proyecto para resistencia al sismo de las estructuras.
- EUROCÓDIGO 9: Proyecto de estructuras de aleación de aluminio.

Todas estas normas se desarrollan dentro del Comité Técnico de Normalización europeo CEN/TC 250, cuyo comité espejo nacional es el AEN/CTN 140 y en el que participa ANDECE.

I. Descripción de las especies forestales evaluadas en este trabajo

1. Danto

a. Descripción botánica

- **Nombre científico:** *Vatairea lundellii* (Standl.)

- **Nombre común:** Danto, Palo de Zope, Palo negro, Guacamayo.
- **Forma:** Árbol muy grande, a veces de 30 metros de alto con un diámetro de hasta un metro o más. A menudo con gambas estrechas de hasta 2 metros de alto o menos, que le sirven de soporte.
- **Corteza:** De textura bastante suave, de color café oscuro o rojizo, algunas veces pueden observarse de color gris claro. La corteza interna es de color rosado profundo. Hojas: de 11 a 15 hojas alternadas, pecioladas, elípticas u oblongo-elípticas, de 2.5 a 5 cm. De largo, de 1.5 a 2 cm. de ancho, algo estrechas o con el ápice ampliamente extirpado, redondeadas u obtusas en la base, gruesas, de color verde, lisas por encima, ligeramente pálidas por debajo.
- **Flores:** Panículas largas y abiertas, con muchas flores, las ramas son de color café y pubescentes, las flores tienen fragancia; el cáliz es turbinado de 6 mm. de largo y de color café; pétalos blancos con un poco de morado pálido, de 1.5 cm. de largo.
- **Frutos:** Legumbre corta-estipitada de 10 a 13 cm. de largo, con semillas aladas. Los espacios en donde se encuentra cada semilla es de paredes gruesas, de 1.5 cm. de ancho, el ala de la semilla mide 2.5 a 3 cm. de ancho, es delgada y lisa.
- **Ecología y distribución:** Se encuentra en sabanas o sobre pendientes con formación kárstica, a veces en planicies aluviales con poca cobertura boscosa, a 200 metros sobre el nivel del mar o menos. Puede crecer en suelos que tienden a inundarse o en suelos bien drenados. Se encuentra en el departamento de Petén, Izabal y Retalhuleu; en México y Honduras.
- **Usos:** En México es empleado para la construcción, para la elaboración de postes y canoas (Standley & Steyermark, 1946-1977).

Ilustración 4 – Árbol de Danto



(Aguilar, 2014)

b. Silvicultura del Danto: Desde el punto de vista silvícola la especie muestra un comportamiento similar a la caoba, pero difiere en que el danto presenta un hábito gregario bajo condiciones de bosque secundario, a nivel de bosque de galería (Lobo, 2000).

Las plántulas⁹ tienen la capacidad de tolerar cierta sombra. Sin embargo, su mejor crecimiento se produce en claros del bosque. Por otro lado, el crecimiento en bosques naturales es, presumiblemente lento (Lobo, 2000).

Los árboles crecen normalmente en tierras bajas de la región de la costa atlántica, con altitud menor a 1,000 msnm. Según el estudio generado en Honduras (Lobo, 2000), Dentro de este rango altitudinal el Danto no muestra diferencia significativa en su diámetro DAP y en la altura total promedio por clase de elevación menor a 650 - 700 msnm, sin embargo, incrementos de altitud, a partir de esta 700 msnm, se presenta un menor potencial de crecimiento de la especie bajo condiciones naturales.

⁹ Estadio del desarrollo del esporofito que comienza cuando la semilla rompe su caparazón y germina, y termina cuando el esporofito desarrolla sus primeras hojas no cotiledonares maduras.

Ilustración 5 Muestra de Danto



(Aguilar, 2014)

2. Cola de Coche

a. Descripción botánica

- **Nombre científico:** *Cojoba arborea* L. (Britton and Rose)
- **Nombre común:** Plumillo, Quebracho, Cola de mico, Cola de marrano o de coche.
- **Sinonimia:** *Mimosa arborea* L., *Pithecellobium arboreum* (Linn) Urban, *Acacia arborea* (L.) Willd., *Pithecolobium arboreum* (L.) Urban.
- **Forma:** se puede observar como un árbol mediano o muy grande, a veces de 35 metros de alto. La copa es amplia y dispersa, a veces redondeada. El tronco frecuentemente tiene un metro de diámetro. A menudo con gambas altas y estrechas que le sirven de soporte.
- **Corteza:** de color café oscuro o gris-café claro, escamosa o bastante suave.
- **Hojas:** ramillas, raquis y pedúnculos densamente pubescentes con pelos cortos de color café. Las hojas a menudo son largas, pineadas de 8-16 pares, con una pequeña glándula de color café en el raquis, entre cada par. 20-40 pares de láminas, lineales, de 8-12 cm. de largo, agudas, palmati-venadas en la base, glabras, pálidas por debajo.

- **Flores:** las flores se encuentran en densas cabezas globosas de color blanco; el cáliz es de 2 mm. de largo, glabro; la corola es tubular de 6-8 mm. de largo, glabra.
- **Frutos:** legumbre, carnosas, brillante de color rojo oscuro, 18 cm. de largo, 1 cm. de diámetro, puberulenta o glabra, dehiscente tardíamente. Semillas largas, ovaladas de color negro.
- **Ecología y distribución:** se encuentra en bosques húmedos, a veces en áreas de formación kárstica, a 1500 metros sobre el nivel del mar o menos. Se ubica en los departamentos de Petén, Alta Verapaz, Izabal. En el sur de México, Honduras, Costa Rica y las Antillas. (Standley & Steyermark, 1946-1977).

b. Silvicultura del Cola de Coche: Preparación de terreno: Para el establecimiento de plantaciones con la especie Cola de Coche, se debe limpiar las malezas del sitio dos meses antes del inicio del período de lluvia (invierno); las malezas eliminadas deben apilarse en carriles con el objetivo que ésta se incorpore al suelo. (PROECEN, 2003). Un año antes de la plantación, se recomienda el establecimiento de cobertores vegetales que incorporen nitrógeno al suelo, logrando de esta forma enriquecer el sitio con humus y nitrógeno, contribuyendo así al éxito de la plantación (PROECEN, 2003).

El espaciamiento en plantaciones puras se ha establecido a un distanciamiento inicial de 3X3 m, sin embargo, a la edad de 57 meses la copa de los árboles presenta un alto grado de competencia, por lo que se recomienda podar al primer año y ejecutar al menos dos raleos antes de la corta final. (PROECEN, 2003)

Los cuidados en las plantaciones los primeros tres años: En la plantación deben evitarse actividades de pastoreo, ya que los animales podrían causar daños a las plántulas (PROECEN, 2003).

La reposición de plantas muertas y dañadas debe realizarse, como máximo dos meses después de la plantación y de esta forma obtener en el futuro un rodal homogéneo (PROECEN, 2003).

Son indispensables las supervisiones constantes al sitio de plantación para detectar, prevenir y controlar cualquier ataque de plagas o enfermedades que se presenten, así como identificar las necesidades de podas (PROECEN, 2003).

El Cola de Coche es una especie que presenta múltiples ramificaciones desde la parte baja del fuste, con ramas de grosor considerable (PROECEN, 2003). La poda natural de la especie no se desarrolla en una forma adecuada, por lo que se hace necesario intervenir la especie (podas) a partir de los seis meses de edad, eliminando además todos aquellos ejes que puedan desarrollarse en algunos ejemplares. Las podas siguientes deben realizarse anualmente hasta lograr obtener un fuste limpio, libre de ramas, de hasta 20 m de altura. (PROECEN, 2003)

Ilustración 6 - Muestra de Madera de Cola de Coche



Fuente: (PROECEN, 2003)

3. Guacibán

a. Descripción botánica

- **Nombre científico:** *Pithecolobium leucocalyx* (Britton & Rose) Standl.
- **Nombre común:** Guacibán, Tamarindo salvaje.
- **Sinonimia:** *Samanea leucocalyx* Britt. & Rose., *Pithecellobium leucocalyx* (Britton & Rose) Standl.
- **Forma:** árbol de forma irregular de 15 metros de alto, con un tronco de 45 a 60 cm. de diámetro.
- **Hojas:** hojas de 4 a 6 pares, ampliamente oblongas a obtusas o rómbicas, de 2 a 5 cm. de largo, redondeadas u obtusas en el ápice, muy desiguales en la base, de

color verde profundo por encima, glabras y lustrosas, pálidas por debajo, puberulentas en los nervios o casi glabras.

- **Flores:** de color blanco, en densas umbelas, los pedicelos de 6 mm de largo más cortos; el cáliz de 3 mm. de largo, densamente seríceo; corola de 7 mm de largo, tomento de color blanco; estambres de 3 a 4 cm. de largo.
- **Frutos:** legumbre de 6 a 9 cm. de largo, 2.5 cm. de ancho, fuertemente comprimida, castaña, glabra, oblicua redondeada en el ápice, redondeada en la base, las valvas son delgadas pero duras.
- **Ecología y distribución:** usualmente se encuentra a la orilla de los ríos a 200 metros sobre el nivel del mar o menos. Se ubica en Petén. En México (Tabasco) y en Honduras.

b. Silvicultura: De las tres especies trabajadas el Guacibán es de la que menos información se tiene en relación a su manejo silvicultural. Es una especie que crece en bosques naturales no sé tienen datos de ensayos en plantaciones puras. Pero al igual que el Danto y la Cola de Coche es una especie de crecimiento lento, que crece de forma gregaria, tiende a ramificarse a temprana edad por lo que se requiere de podas dirigidas para aprovechar al máximo la madera del fuste.

Ilustración 7 Muestra de madera de Guacibán.



Fuente: (*Sostenibles Maderas, 2008*)

V. METODOLOGÍA

A. Obtención de las muestras

1. Lugar de recolección: Las muestras de madera fueron proporcionadas por el aserradero Productos del Petén, ubicado en el Km.38 Ruta a Melchor de Mencos, Aldea El Naranja, Flores, Peten. El aserradero se encuentra dentro de la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera Maya.

2. Zona de vida: Está comprendida por un bosque húmedo sub-tropical cálido característico del norte del país. Forma parte de los bosques latifoliados húmedos tropicales y subtropicales y en el país presenta una extensión de 47,876 km² y se le puede identificar en las regiones fisiográficas tierras calizas bajas del norte (90%) y tierras calizas altas del norte (10%). Esta ecorregión es propia del clima tropical húmeda, con lluvias durante siete meses al año. Se considera que esta ecorregión es la masa boscosa tropical más extensa en Norteamérica y el límite natural de las comunidades de vegetación tropical. (FIPA, 2002).

3. Clima: El clima presentado en el área de donde se obtuvieron las diferentes especies estudiadas fue analizado por el Ing. Julio Francisco Javier Penados Betancourt dentro plan de manejo Forestal con fine de producción por medio del Programa de Incentivos Forestales (PINFOR).

Tabla 4- características climáticas de la zona de adquisición de las especies.

Altitud	100 msnm	
Temperatura Anual (°C)	Mínima: 19.8	Máxima: 31.5
Precipitación pluvial anual (mm)	Mínima: 27	Máxima: 3030
Vientos	8 km/h	
Humedad	80%	

(Penados, 2015)

4. Relieve y topografía: A continuación, se presentan las elevaciones mínimas, máximas y promedio que se encuentran en la zona donde se obtuvieron las muestras.

Tabla 5 - Características topográficas de la zona de adquisición de las especies.

Mínima: 200 msnm	Promedio: 250 msnm	Máxima: 300 msnm
------------------	--------------------	------------------

(Penados, 2015)

5. Suelo: Los suelos son poco profundos, con muy buen drenaje, desarrollados sobre rocas calcáreas suaves. En relieve ondulado con cerros cónicos de poca altura. Son fértiles y pueden ser productivos cabe la posibilidad cultivos como granos, frutas y pastos.

B. Determinación de las propiedades físicas

1. Características organolépticas:

- Olor. Ausente o no distintivo, aromático, desagradable.
- Sabor: Ausente o no distintivo, amargo, dulce, picante.
- Color: Para esta propiedad se utilizó la escala de Munsell para determinar el color específico de la madera y así no permitir interpretaciones arraigadas únicamente al observador.
- Grano: Recto, Oblicuo, entrecruzado o espiralado.
- Textura: Gruesa, fina, mediana; homogénea uniforme o heterogénea.

2. Peso específico en estado seco: Para esta propiedad se analizaron 20 muestras de cada una de las especies con un porcentaje de humedad entre el 12-16% secado al aire. Para ello se pesaron cada una de las probetas de 2”X2”X2” con una pesa y luego se cubrieron con parafina para poder sumergirlas en un Vernier lleno de agua y así conocer el volumen de cada una de las muestras. Para ello se aplicó la siguiente fórmula:

Ecuación 11 – Peso específico

$$Pe = \frac{\text{Peso en estado seco}}{\text{Volumen en estado seco}}$$

C. Determinación de las propiedades mecánicas

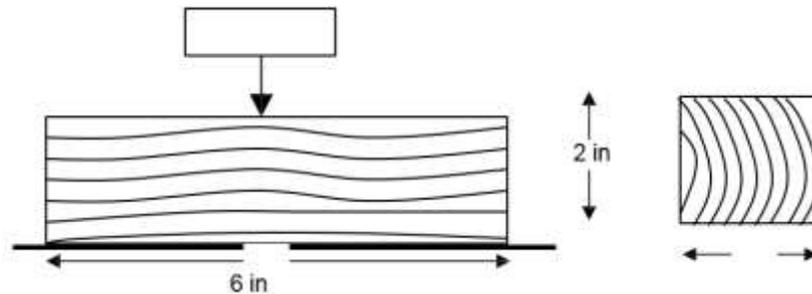
1. Compresión perpendicular a la fibra: Para este tipo de prueba se utilizaron 20 probetas de 2”X2”X6” de cada una de las especies a las cuales se les aplicó una carga perpendicular al eje axial como se puede observar en la ilustración 6, hasta que la pieza de madera llegara al momento de la falla. La prueba se efectuó en una compresora hidráulica marca Versa Tester Soiltest, número de serie 153. Para esta prueba se anotaron únicamente las cargas últimas de cada probeta. A partir de este ensayo, fue posible determinar el esfuerzo último de compresión paralela a la fibra a través de la siguiente fórmula:

Ecuación 12 – Esfuerzo último de compresión

$$\sigma_{per} = \frac{F}{A}$$

Donde: σ_{per} = Esfuerzo último de compresión perpendicular a la fibra, F = La fuerza aplicada en lb o kg, A = es el área donde se aplicó la fuerza en in² o cm².

Ilustración 8 – Prueba de compresión perpendicular a la fibra



(Lima, 2003)

Ilustración 9-compresora hidráulica marca Versa Tester Soiltest para la prueba de compresión perpendicular a la fibra.



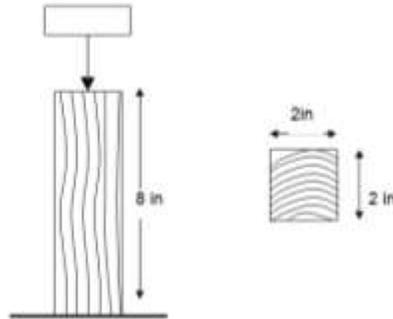
2. Compresión paralela a la fibra: Para este tipo de prueba se han utilizado 20 probetas de 2"x2"x8" de cada una de las especies a las cuales se les aplicó una carga paralela al eje axial, hasta que la pieza llegara a su momento de la falla. La prueba se efectuó en una compresora hidráulica marca Versa Tester Soiltest, número de serie 153. Cuando se realizó la prueba se anotaron las cargas, las deformaciones y las formas de la falla. Para las deformaciones se utilizó un deformímetro 1C-8 con una carrera de 1". A partir de este ensayo, fue posible determinar el esfuerzo último de compresión paralela a la fibra a través de la siguiente formula:

Ecuación 13 – Esfuerzo de compresión

$$\sigma_{par} = \frac{F}{A}$$

Donde: σ_{par} = Esfuerzo último de compresión paralela a la fibra, F = La fuerza aplicada en lb o kg, A =es el área donde se aplicó la fuerza en in² o cm²

Ilustración 10- Prueba de compresión perpendicular a la fibra.



(Penados, 2015)

Ilustración 11- Compresora hidráulica marca Versa Tester Soiltest realizando prueba de compresión paralela a la fibra.



3. Flexión estática: Para este tipo de prueba se han utilizado veinte probetas de dimensiones de 1"x 1"x 16" a las cuales se les aplicó una carga en la cara tangencial. La prueba se efectuó en una compresora hidráulica marca Versa Tester Soiltest, Número de Serie 153. Cuando se realizó la prueba, se agregaron discos de acero bajo la plancha de soporte de la probeta. Con los datos anotados se calculó: esfuerzo máximo en flexión o módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidad (MOE).

Para calcular el módulo de ruptura, se utilizó la carga última registrada hasta la falla y se aplicó la siguiente ecuación:

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

Donde: P = carga al momento de rotura, L = distancia entre soportes, B = ancho de la muestra en el punto de rotura, H = espesor de la muestra en el punto de rotura.

Para calcular el módulo de elasticidad, se aplicó la siguiente ecuación:

$$MOE = \frac{Pa}{24\Delta I} * (3L^2 - 4a^2)$$

(Lima, 2003)

Donde: P = Carga en el límite proporcional, Δ = Deformación última en la lectura del deformímetro, a = Distancia entre los apoyos, L= Largo total de la viga, I= Momento de Inercia de la sección transversal = b(base) * h(altura)³ /12.

4. Prueba de corte: En el caso de esta prueba la medida de probetas que se utilizó fue de 2”X2”X2” al cual se le cortó un bocado dejando una superficie de 2”x3/4” aproximadamente en donde se aplicó la fuerza. Para esta prueba se utilizó un dispositivo diseñado especialmente para inducir el corte. Las piezas de cada especie son colocadas dentro de un molde como el que se puede observar en la ilustración 10, el cual fue previamente medido para que las piezas cupieran, de lo contrario las piezas podrían quedar sueltas dentro del molde o no podrían ingresarse al molde en el caso de que sean muy grandes. Al realizar la prueba se obtiene la carga a la cual la grada dela pieza colapsa.

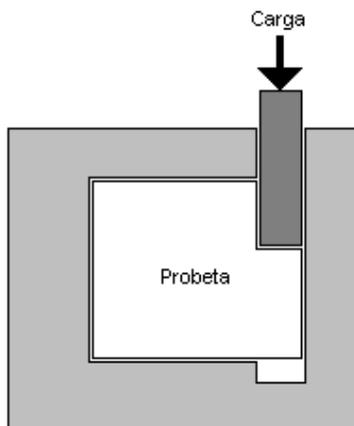
La fuerza se aplicó utilizando un deformímetro Soiltest LC-2 y una compresora manual , marca Soiltest, modelo CN-472 y, Serie 192. Seguidamente, se tomó la lectura de deformación del anillo en la compresora manual en vueltas en el momento que la muestra falló.

Luego se calculó la fuerza equivalente en libras a partir del número de vueltas utilizando la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{1000(\text{No. vueltas del deformímetro})}{1.33}$$

Donde: Q = Carga (lb)

Ilustración 12- Prueba de compresión perpendicular a la fibra.



(Lima, 2003)

5. Prueba de dureza: Para este tipo de prueba se han utilizado veinte probetas de dimensiones de 2"x 2"x 2" a estas probetas se les aplicó la carga necesaria para que una bala de acero de 0.44" penetrará dentro de la probeta, hasta llegar a la mitad de su diámetro. En el caso de esta prueba se utilizaron dos tipos de máquinas para determinar la dureza. Para las especies de *Vatairea Lundelli* (Standl) (Danto) y *Pithecellobium Leucocalyx* (Britton & Rose) Standl se utilizó una compresora eléctrica marca SoilTest y el deformímetro Soiltets LC-2 en donde se anota la deformación cuando se llega a la profundidad anteriormente indicada. La lectura del deformímetro se utiliza para determinar la carga mediante la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{1000(\text{No. vueltas del deformímetro})}{1.33}$$

Donde: Q = Carga (lb)

Para el caso de la especie *Cojoba Arborea* Britt (Cola de Coche) la prueba se efectuó en una compresora manual, marca Soiltest, modelo CN-472 y, Serie 192 con un deformímetro marca SICK modelo UP56-211. Para este caso la carga se determina a través de una tabla adjunta de la compresora en donde se compara el valor de la deformación obtenido en la tabla para asignarle la carga. La tabla se puede observar en el anexo E.

D. Determinación de los valores de diseño

Para obtener los valores de diseño se utilizó de referencia la norma española UNE-EN 1995-1-1, donde se encuentra la ecuación 2.17, resistencias de cálculo, R_d :

$$R_d = k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M}$$

Donde:

k_{mod} = es un factor de modificación que tiene en cuenta el efecto de la duración de la carga y el contenido de humedad.

R_k = es el valor característico de la capacidad de carga.

γ_M = es el coeficiente parcial para la propiedad del material

El factor de modificación, k_{mod} , se puede obtener en la Tabla 2.4 des Structural Timber Design to Eurocode 5. En el apartado 2.2.20.2 del mismo se especifica las diferentes clases de servicio a tomar en cuenta y en base a ellas se aplica el factor de modificación para obtener un esfuerzo básico de diseño dependiendo del periodo de uso. La tabla se puede observar en el anexo F. Para el caso de las maderas utilizadas en este trabajo la clase de servicio que corresponde es la clase 1 y se optó por aplicar un factor de corrección, k_{mod} , para un periodo de larga duración de 0.7.

Los valores característicos hacen referencia al valor del 5to percentil de los valores obtenidos en las pruebas realizadas como se puede observar en el apartado 1.5.3.1 del Structural Timber Design to Eurocode 5

En el caso del coeficiente parcial para la propiedad del material se obtuvo de la Tabla 2.3 de la norma española UNE-EN 1995-1-1. Para el caso del presente estudio se utilizó el coeficiente de la combinación fundamental de madera maciza de 1.3. (Comité técnico AEN/CTN 140 Eurocódigos Estructurales, 2006)

VI. RESULTADOS

A. Danto

1. Compresión perpendicular a la fibra

Tabla 6- resultados para ensayos de compresión perpendicular a la fibra.

Compresión perpendicular a la fibra (Danto)			
Fuerza máxima aplicada (lb)	Valor característico (Mpa)	Valor de diseño (MPA)	Coefficiente de variación
19000	9.30	5.01	6.06%

En la figura anterior se presentan los valores obtenidos para los ensayos de compresión perpendicular a la fibra en 20 muestra de 2"x2"x6" de Danto.

2. Compresión paralela a la fibra

Tabla 7- Resultados para ensayos de compresión paralela a la fibra.

Compresión paralela a la fibra (Danto)			
Fuerza máxima aplicada (lb)	Valor característico (Mpa)	Valor de diseño (MPA)	Coefficiente de variación
36500	36.27	19.53	4.23%

En la figura anterior se presentan los valores obtenidos para los ensayos de compresión paralela a la fibra en 20 muestra de 2"x8" de Danto.

3. Flexión

Tabla 8 - Resultados para ensayos a flexión.

Flexión (Módulo de Ruptura y Módulo de elasticidad) (Danto)				
Tipo	Fuerza máxima aplicada (lb)	Valor característico (Mpa)	Valor de diseño (MPA)	Coefficiente de variación
MOR	4000.00	31.13	16.76	27.24%
MOE	4000.00	0.17	0.09	21.01%

En la figura anterior se presentan los valores obtenidos para los ensayos de flexión en 20 muestras de 2"x2"x16" de Danto.

4. Corte radial

Tabla 9 - Resultados para ensayos de corte radial

Corte radial (Danto)			
Fuerza máxima aplicada (lb)	Valor característico (Mpa)	Valor de diseño (MPA)	Coefficiente de variación
1090.91	3.27	1.76	14.74%

En la figura anterior se presentan los valores obtenidos para los ensayos de corte radial en 20 muestras de Danto.

5. Dureza radial, tangencial y axial

Tabla 10 – Resultados para ensayos de dureza

Dureza (Danto)				
Tipo	Fuerza máxima aplicada (lb)	Valor característico (Mpa)	Valor de diseño (MPA)	Coefficiente de variación
Radial	910.00	4.95	2.66	17.36%
Tangencial	910.00	4.96	2.67	16.34%
Axial	1150.00	7.20	3.88	9.26%

En la figura anterior se presentan los valores obtenidos para los ensayos de dureza radial, dureza tangencial y dureza axial en 20 muestras de Danto para cada uno de los ensayos.

6. Comparación con las clases de la Tabla 1.3 del EC-5 para el Danto

Tabla 11– Comparación de las propiedades mecánicas del Danto con una clase del EC-5

Comparación con la Tabla 1.3 de EC-5 (Danto)			
Esfuerzos alcanzados	Clase seleccionada D-30	Valor característico (MPa),5%	Valores de diseño (MPa)
$f_{m,k}$ (Mpa)	30	31.13	16.76
$f_{c,0,k}$ (Mpa)	23	36.27	19.53
$f_{c,90,k}$ (Mpa)	8	9.30	5.01
$f_{v,k}$ (Mpa)	3	3.27	1.76
E_{90} (Mpa)	0.64	0.17	0.09

Donde: $f_{m,k}$ =Esfuerzo de Flexión, $f_{c,0,k}$ = Esfuerzo de compresión paralela a la fibre, $f_{c,90,k}$ = Esfuerzo de compresión perpendicular a la fibra, $f_{v,k}$ = Esfuerzo de corte y E_{90} = Módulo de elasticidad

En la Tabla 11 se puede observar que se seleccionó la clase D-30, que corresponde una madera dura (hardwood) de nivel intermedio, que es la clase más semejante al valor del esfuerzo flexionante alcanzado en el caso del Danto y que para el resto de los esfuerzos se asimilan de igual forma.

7. Características físicas del Danto

Tabla 12 – Características físicas de Danto

Características	Descripción
Color	YR 2.2/2 hasta 5YR 6/6
Olor	Altamente permisible, desagradable
Sabor	Amargo
Grano/ Veteado	Suavemente entrecruzado
Textura	Homogénea uniforme
Pesos específicos en estado seco	0.76 gr/cm ³

B. Cola de coche (Cajoba Arborea Britt)

1. Compresión perpendicular a la fibra

Tabla 13 - Resultados para ensayos de compresión perpendicular a la fibra.

Compresión perpendicular a la fibra (Cola de Coche)			
Fuerza máxima aplicada (lb)	Valor característico (Mpa)	Valor de diseño (MPA)	Coefficiente de variación
23000	6.97	3.75	16.72%

En la figura anterior se presentan los valores obtenidos para los ensayos de compresión perpendicular a la fibra en 20 muestra de 2"x2"x6" de Cola de Coche.

2. Compresión paralela a la fibra

Tabla 14 - Resultados para ensayos de compresión paralela a la fibra.

Compresión paralela a la fibra (Cola de Coche)			
Fuerza máxima aplicada (lb)	Valor característico (Mpa)	Valor de diseño (MPA)	Coefficiente de variación
32000	38.09	20.51	10.68%

En la figura anterior se presentan los valores obtenidos para los ensayos de compresión paralela a la fibra en 20 muestra de 2"x8" de Cola de Coche.

3. Flexión

Tabla 15 - Resultados para ensayos a flexión.

Flexión (Módulo de ruptura y módulo de elasticidad) (Cola de Coche)				
Tipo	Fuerza máxima aplicada (lb)	Valor característico (Mpa)	Valor de diseño (MPA)	Coefficiente de variación
MOR	3800.00	36.38	19.59	20.65%
MOE	3800.00	0.20	0.11	19.10%

En la figura anterior se presentan los valores obtenidos para los ensayos de flexión en 20 muestras de 2"x2"x16" de Cola de Coche.

4. Corte radial

Tabla 16 - Resultados para ensayos de corte radial

Corte radial (Cola de Coche)			
Fuerza máxima aplicada (lb)	Valor característico (Mpa)	Valor de diseño (MPA)	Coefficiente de variación
730.00	1.51	0.81	23.16%

En la figura anterior se presentan los valores obtenidos para los ensayos de corte radial en 20 muestras de Cola de Coche.

5. Dureza radial, tangencial y axial

Tabla 17 - Resultados para ensayos de dureza.

Dureza (Cola de Coche)				
Tipo	Fuerza máxima aplicada (lb)	Valor característico (Mpa)	Valor de diseño (MPA)	Coefficiente de variación
Radial	1386.18	6.93	3.73	17.84%
Tangencial	1550.00	7.80	4.20	20.89%
Axial	1690.00	10.20	5.49	14.31%

En la figura anterior se presentan los valores obtenidos para los ensayos de dureza radial, dureza tangencial y dureza axial en 20 muestras de Cola de Coche para cada uno de los ensayos.

6. Comparación con las clases de la Tabla 1.3 del EC-5 para el Cola de Coche

Tabla 18 - Comparación de las propiedades mecánicas del Cola de Coche con una clase del EC-5

Comparación con la Tabla 1.3 de EC-5 (Cola de Coche)			
Esfuerzos alcanzados	Clase seleccionada D-30	Valor característico (MPa),5%	Valores de diseño (MPa)
$f_{m,k}$ (Mpa)	30	36.38	19.59
$f_{c,0,k}$ (Mpa)	23	38.09	20.51
$f_{c,90,k}$ (Mpa)	8	6.97	3.75
$f_{v,k}$ (Mpa)	3	1.51	0.81
E_{90} (Mpa)	0.64	0.20	0.11

Donde: $f_{m,k}$ =Esfuerzo de Flexión, $f_{c,0,k}$ = Esfuerzo de compresión paralela a la fibra, $f_{c,90,k}$ = Esfuerzo de compresión perpendicular a la fibra, $f_{v,k}$ = Esfuerzo de corte y E_{90} = Módulo de elasticidad

En La Tabla 18 se puede observar que se seleccionó la clase D-30, que corresponde una madera dura (hardwood) de nivel intermedio, que es la clase más semejante al valor del esfuerzo flexionante alcanzado en el caso del Cola de Coche y que para el resto de los esfuerzos se asimilan de igual forma.

7. Características físicas de la Cola de Coche

Tabla 19 - Características físicas de Cola de Coche.

Características	Descripción
Color	La albura es castaño claro y el duramen es café claro
Olor	Ligeramente permisible
Sabor	Amargo
Grano/ Veteado	Suavemente entrecruzado
Textura	Medianamente gruesa
Peso específicos en estado seco	0.64 gr/cm ³

C. Guacibán

1. Compresión perpendicular a la fibra

Tabla 20 - Resultados para ensayos de compresión perpendicular a la fibra.

Compresión perpendicular a la fibra (Guacibán)			
Fuerza máxima aplicada (lb)	Valor característico (Mpa)	Valor de diseño (MPA)	Coefficiente de variación
19000	5.83	3.14	16.57%

En la figura anterior se presentan los valores obtenidos para los ensayos de compresión perpendicular a la fibra en 20 muestra de 2"x2"x6" de Guaciban.

2. Compresión paralela a la fibra

Tabla 21 - resultados para ensayos de compresión paralela a la fibra

Compresión paralela a la fibra (Guacibán)			
Fuerza máxima aplicada (lb)	Valor característico (Mpa)	Valor de diseño (MPA)	Coefficiente de variación
28500	26.06	14.03	4.02%

En la figura anterior se presentan los valores obtenidos para los ensayos de compresión paralela a la fibra en 20 muestra de 2"x8" de la especie Guacibán.

3. Flexión

Tabla 22 - Resultados para ensayos a flexión

Flexión (Módulo de ruptura y módulo de elasticidad) (Guacibán)				
Tipo	Fuerza máxima aplicada (lb)	Valor característico (Mpa)	Valor de diseño (MPA)	Coefficiente de variación
MOR	3500.00	20.17	10.86	31.10%
MOE	3500.00	0.12	0.07	24.51%

En la figura anterior se presentan los valores de MOR y MOE obtenidos para los ensayos de flexión en 20 muestras de 2"x2"x16" de Guacibán.

4. Corte radial

Tabla 23 - Resultados para ensayos de corte radial

Corte radial (Guaciban)			
Fuerza máxima aplicada (lb)	Valor característico (Mpa)	Valor de diseño (MPA)	Coefficiente de variación
1281.82	1.51	0.81	15.97%

En la figura anterior se presentan los valores obtenidos para los ensayos de corte radial en 20 muestras de Guacibán.

5. Dureza radial, tangencial y axial

Tabla 24 - Resultados para ensayos de dureza.

Dureza (Guacibán)				
Tipo	Fuerza máxima aplicada (lb)	Valor característico (Mpa)	Valor de diseño (MPA)	Coefficiente de variación
Radial	1363.64	9.01	2.71	7.40%
Tangencial	1363.64	8.75	2.66	6.61%
Axial	1418.18	9.23	2.82	6.14%

En la figura anterior se presentan los valores obtenidos para los ensayos de dureza radial, dureza tangencial y dureza axial en 20 muestras de Guacibán para cada uno de los ensayos.

6. Comparación con las clases de la Tabla 1.3 del EC-5 para el Guacibán

Tabla 25 - Comparación de las propiedades mecánicas del Guacibán con una clase del EC-5

Comparación con la Tabla 1.3 de EC-5 (Guacibán)			
Esfuerzos alcanzados	Clase seleccionada D-30	Valor característico (MPa),5%	Valores de diseño (MPa)
$f_{m,k}$ (Mpa)	30	20.17	10.86
$f_{c,0,k}$ (Mpa)	23	26.06	14.03
$f_{c,90,k}$ (Mpa)	8	5.83	3.14
$f_{v,k}$ (Mpa)	3	1.51	0.81
E_{90} (Mpa)	0.64	0.12	0.07

Donde: $f_{m,k}$ =Esfuerzo de Flexión, $f_{c,0,k}$ = Esfuerzo de compresión paralela a la fibre, $f_{c,90,k}$ = Esfuerzo de compresión perpendicular a la fibra, $f_{v,k}$ = Esfuerzo de corte y E_{90} = Módulo de elasticidad

En la Tabla 25 se puede observar que se comparó los esfuerzos alcanzados con el Guacibán con el de la clase D-30, que corresponde a una madera dura (hardwood) de nivel bajo, que es la clase más semejante al valor del esfuerzo de flexión sin embargo no llegan a alcanzarlos.

7. Características físicas del Guacibán

Tabla 26 - Características físicas de Guacibán.

Características	Descripción
Color	Tanto la albura como el duramen tienen un color claro
Olor	Ligeramente distintivo, desagradable
Sabor	Amargo
Grano/ Veteado	Recto
Textura	Mediana ; Homogénea uniforme
Peso Específicos en Estado Seco	0.76 gr/cm^3

D. Peso específico

Tabla 27 - Peso específico para todas las especies

Peso Específico de las Especies	
Especie	Densidad 12 % (KG/m³)
Danto	758.85
Cola de Coche	798.83
Guacibán	636.06

La figura anterior muestra el peso específico de las especies con un contenido de humedad del 12% en donde se puede observar, según sus densidades, que la especie que más pesa es Cola de Coche.

E. Distribución de las especies en el territorio guatemalteco.

Tabla 28 – Tabla de volúmenes registrados en concesiones forestales de la biósfera Maya

Tabla de volúmenes			
Nombre común	Volumen (m³)	Volumen aserrado (m³)	Volumen aserrado (PT) rendimiento
Danto	30.86	13.963	
Cola de Coche	No existe Información	No existe Información	No existe Información
Guacibán	No existe Información	No existe Información	No existe Información

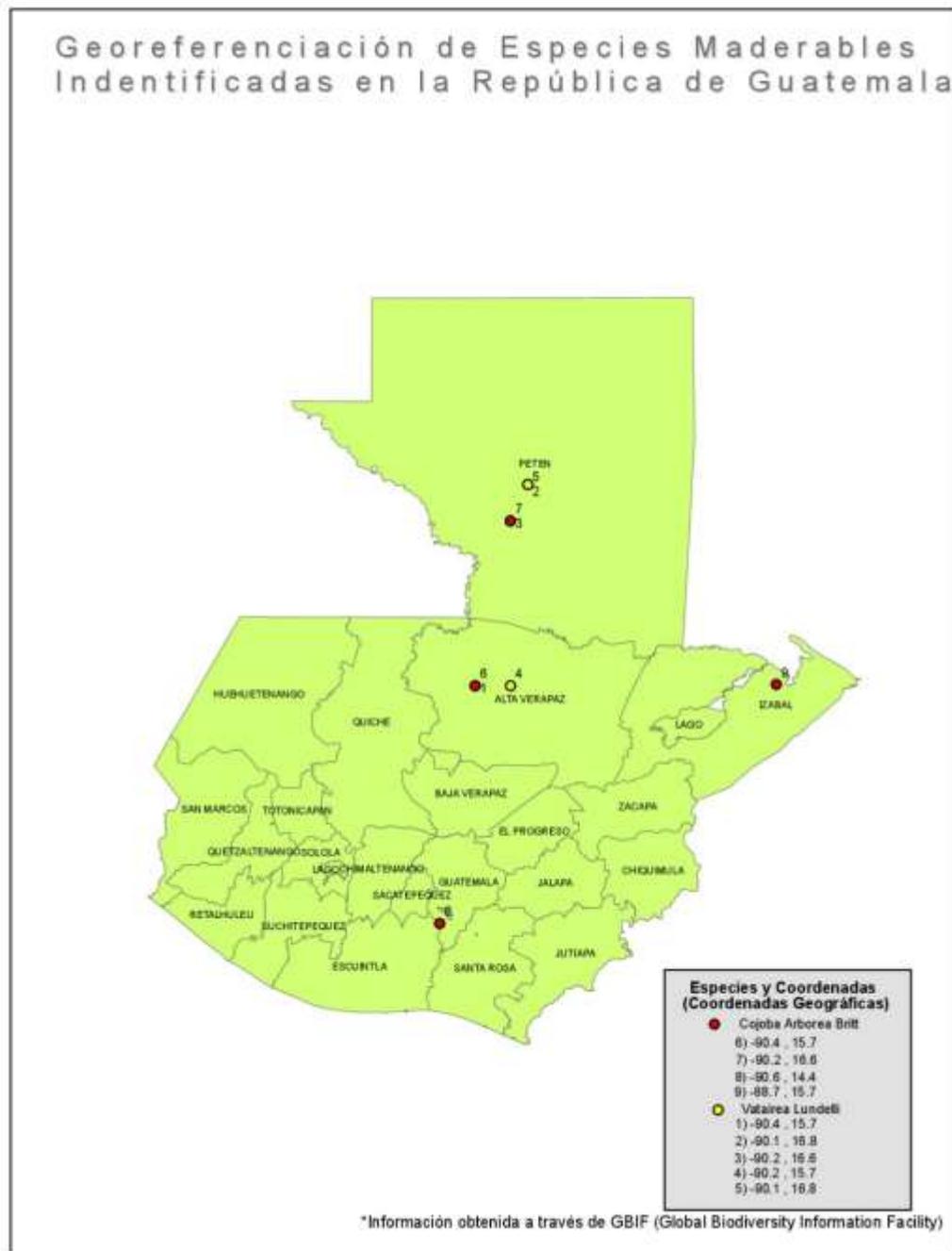
Se puede observar que únicamente se cuenta con información para el Danto, no se tienen datos de volúmenes dentro de las concesiones forestales de Petén para el Cola de Coche y el Guacibán. El volumen reportado del Danto, se refiere a los individuos que se serán aprovechados dentro de las concesiones forestales certificadas. Esto demuestra que la especie en el área norte del Petén no es abundante. Como se muestra en la Ilustración 13, la distribución natural de la especie se encuentra más en el centro de Petén y en Alta Verapaz. Para las otras dos especies no existe información disponible para ser aprovechado

ya que estas especies son nativas y se les ha dado poco comercial a pesar que como demuestran los resultados obtenidos en este trabajo, si tienen buenas propiedades para ser utilizadas en el campo de la construcción incluso en muebles y aglomerados.

En la Ilustración 13 muestra que la distribución del Cola de Coche se encuentra mas al sur de Peten, Alta Verapaz, Izabal y Escuintla.

Esta Georeferenciación se obtuvo de la Base de Datos GBIF, que cuenta con bases de datos de varias centros de investigación que han monitoreado estas especies. Sin embargo, en Guatemala, el INAB y el CONAPs, no cuentan con información a cerca de estas especies.

Ilustración 13- Georreferenciación de especies maderables identificadas en la República de Guatemala.



La Ilustración 13 muestra una distribución de puntos que representan la ubicación de dos especies que fueron registradas en la plataforma de “Global Biodiversity Information Facility”, evaluadas en esta investigación. (Global Biodiversity Information Facility, n.d.)

VII. DISCUSIÓN

Según los resultados obtenidos, las tres especies presentaron propiedades mecánicas favorables para su utilización en el campo de la construcción, aun así cabe destacar que la que presentó mejores características fueron Cola de Coche y Danto. Principalmente por ser maderas más densas y duras, su comportamiento ante fuerzas axiales y esfuerzos a flexión sobresalieron y se ubicaron como una clase D-30 según los esfuerzos característicos del EC-5.

Por otro lado el Guacibán, obteniendo menores esfuerzos últimos, con excepción del corte radial que obtuvo el valor más alto, su comportamiento fue más homogéneo, dando menores coeficientes de variación e intervalos de confianza más cortos. Esto da lugar a resultados más confiables y se determina que también por ser una madera más suave y liviana, se puede recomendar su uso como materia prima para conglomerados como plywood, madera laminada o CLT (cross laminated timber) donde se requieren de mayor resistencia corte.

Para llegar a estos resultados de la forma más confiable, se optó por utilizar madera proveniente de un solo aserradero que tuviera disponibilidad de las especies evaluadas cuya procedencia se verificó que fuera a través de una licencia de corta aprobada por el INAB.

La selección de las muestras utilizadas en los ensayos fueron adquiridas de un mismo lote de madera, buscando reducir la variación entre las muestras. En el caso de las secciones de madera para cortar las muestras, se seleccionaron las que tuvieran la menor cantidad de nudos posibles y que se encontraran en condiciones sanas.

Para la determinación de las propiedades físicas se logró identificar a las especies según sus características. Para el caso de esta investigación se analizaron especies con características físicas muy diferentes entre ellas, variando casi en todos sus aspectos organolépticos, e incluso desde su fisionomía.

Es importante mencionar que para las propiedades físicas únicamente se evaluó en sus estados secos, ya que era la única forma en que se pudo obtener la madera en el aserradero.

Para las propiedades mecánicas, como se menciona en la metodología, se utilizó el laboratorio de materiales de la Universidad del Valle de Guatemala y se siguieron los pasos descritos en las normas ASTM D 143-94. Para todos los casos se realizaron los ensayos utilizando las dimensiones así como se mencionan en las normas ASTM con la excepción del ensayo a flexión que se utilizó una probeta de 2X2X16 pulgadas en vez de 2X2X30 pulgadas o 1X1X16 pulgadas que son las medidas que se recomiendan en las normas ASTM.

Se tomó la decisión de realizarlo de esta manera por dos razones específicamente; primero, no existía madera suficiente para realizar la prueba con probetas de 2X2X30 pulgadas y segundo, en el caso de la probeta de 1X1X16 pulgadas, no había disponibilidad de una máquina que tomara lecturas suficientemente bajas y que se adecuara al montaje de la prueba.

Se optó por una probeta de 2X2X16 pulgada ya que ha sido utilizada comúnmente en pruebas anteriores a flexión realizadas en el mismo laboratorio.

Los resultados al final se compararon con la tabla 1.3 del Eurocódigo 5, donde se clasifican las maderas según sus propiedades mecánicas. Como se puede observar en los resultados, los valores se compararon con distintos esfuerzos establecidos. Se elaboró una tabla donde se presentaron los valores a los que se llegaron en los ensayos con un intervalo de confianza del 95% como se hace comúnmente en la región europea. En la tabla también se presenta el valor del esfuerzo básico para una carga permanente obtenido a partir del Structural Timber Design to Eurocode 5 en la tabla 2.4, valor del k_{mod} . La selección de la clase se hizo en base a los esfuerzos que se encontraran dentro de los intervalos de confianza, únicamente utilizando el esfuerzo a flexión o módulo de ruptura. Posteriormente al analizar los demás esfuerzos, los valores de esfuerzo a compresión paralela a la fibra y compresión perpendicular a la fibra se asemejan bastante a los valores de la clase seleccionada. en cambio para el caso del corte es menor, y, para el caso del MOE, los valores se alejan mucho más. Esta variación se cree que existe ya que en el caso de la tabla a la cual se hace referencia, utiliza una clasificación de especies británicas, lo que varía por mucho a las especies evaluadas ya que son provenientes de un ambiente de clima tropical o subtropical mientras que las especies británicas provienen de un clima templado oceánico

formadas en su mayoría por especies de repoblación rápida como Pinos, Alerces, Abetos, etc. Y otras especies nativas igualmente abundantes como el Roble, Tilos, Fresnos y Abudeles (Comunidad de Madrid, 2010).

La poca información disponible a cerca de estas especies fue obtenida a través los reportes que se entregan de parte de las concesiones forestales donde especifican la cantidad de especímenes que cuentan para aprovecharse como madera, y únicamente se encontró información sobre el Danto. Por otro lado, a través de la plataforma de Global Biodiversity Facility se pudieron identificar en la historia, la georreferenciación de especímenes del Danto y del Cola de Coche, con lo que se pudo obtener su distribución geográfica. Donde se puede observar que la distribución del Cola de Coche se encuentra más al sur de Petén, Alta Verapaz, Izabal y Escuintla, mientras que en el caso del Danto, la distribución natural de la especie se encuentra más en el centro de Petén y en Alta Verapaz.

Por la falta de información acerca de su manejo forestal y por la baja representatividad en concesiones forestal no se puede afirmar si tiene o no un potencial comercial, sin embargo vale la pena fomentar el uso y la siembra de estas especies por sus condiciones climatológicas favorables y por sus propiedades tanto mecánicas como las físicas.

VIII. CONCLUSIONES

1. Las tres especies evaluadas en esta investigación presentaron características físicas diferentes entre cada una de ellas. Las tres especies varían en su color, donde el Cola de Coche presentó una apariencia estéticamente más atractiva por semejarse al color de la Caoba. Tanto el Cola de Coche como el Guacibán tienen un olor casi neutro mientras que el Danto tiene un olor fuerte y no agradable.
2. Para las pruebas de compresión perpendicular a la fibra y compresión paralela a la fibra, las especies se clasificaron como maderas de las más duras según la Tabla 1.3 del Eurocódigo 5.
3. De las tres especies evaluadas, el Guacibán fue la especie menos pesada, aun así presentó los mayores valores de resistencia para las pruebas de corte radial y dureza, exceptuando la dureza axial en el caso del Cola de Coche.
4. Las tres especies evaluadas presentan buenas cualidades estructurales, para el caso del Danto y el Cola de Coche, presentan buenas características para utilizarse en caso de cimentaciones para estructuras livianas, o como elementos a compresión principalmente. Mientras que en el caso del Guacibán este presentó mejores características para usas como materia prima para aglomerados como plywood, madera laminada o CLT (Cross laminated timber) donde se requieren de mayor resistencia corte.
5. El Cola de Coche presentó características físicas parecidas al caoba, principalmente en su color y textura, lo que indica que puede utilizarse también como un material decorativo para interiores de edificaciones.
6. Los esfuerzos básicos obtenidos tuvieron mayor variación entre especies y la misma prueba, aunque al principio hayan tenido valores de esfuerzo último parecidos. Esto da a razón ya que para algunas especies los coeficientes de variación para una prueba específica eran bajos (entre 1%-10%) mientras que en otras se encontraban con coeficientes de variación mayores (entre 11% o más) como lo es en el caso del Danto y el Cola de Coche para la prueba de compresión paralela a la fibra.

7. La reproducción y crecimiento de las tres especies en Guatemala es bueno debido a que son especies nativas de los bosques húmedos-tropicales. Sin embargo, existe un volumen reducido de estas especies porque su valor comercial no es muy alto comparado con maderas preciosas o semipreciosas como la Caoba o la Santa María, este hecho ha restado también su valor ecológico y por ende el interés en su manejo en el bosque natural. Aunque la información que se tiene sobre el volumen es un estimado de lo que se maneja en las concesiones forestales, se desconoce el volumen real de las tres especies en el departamento de Petén y en el resto de Guatemala.
8. Actualmente la madera de estas especies es subutilizada como leña, para fabricación de cercos, postes, entre otras cosas que tienen poco valor agregado.
9. En general, existe poca información sobre las tres especies en varios aspectos: en lo ecológico, en su silvicultura, en lo económico, en su adecuada transformación y potencial uso.

IX. RECOMENDACIONES

1. Para una mayor aportación para la elaboración de un manual de construcción con madera en Guatemala se debería de seguir analizando la extensa variedad de especies maderables que existen en Guatemala, específicamente en el área del departamento de El Petén.
2. Para futuras investigaciones es recomendable conocer previamente la temporada de tala para que de esta forma se pueda conocer físicamente el árbol antes de ser talado y ver las características y el estado del mismo.
3. Las muestras deben de analizarse y medirse en campo para obtener datos más precisos, ampliar las propiedades analizadas y poder medir de forma efectiva la propiedad de contracción de las especies. Se recomienda solicitar previamente a la empresa o industria que provee el material que se pueda estar presente en el corte de las trozas.
4. Es importante hacer una revisión minuciosa para detectar nudos o defectos en las muestras antes de realizar los ensayos y descartar cualquier muestra invalida para no incurrir con ruidos dentro del análisis.
5. Se debe de tener un conocimiento técnico del uso de la maquinaria para realizar los ensayos o permitir únicamente que lo manejen personal capacitado para evitar accidentes y errores en las lecturas.
6. Se debe de utilizar equipo de seguridad, gafas protectoras, protección auditiva y guantes, para realizar los ensayos.
7. Para una mayor certeza en los datos obtenidos se debe de realizar ensayos con un número más grande de muestras para cada una de las especies. Es decir se recomienda tener un lote de mayor volumen antes de iniciar un estudio de propiedades mecánicas.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Benitez, R. &. (1988). *catálogo de 100 especies forestales de Honduras: distribución, propiedades y usos*. Siguatepeque, Honduras: Escuela Nacional de Ciencias Forestales -ESNACIFOR.
- Comité técnico AEN/CTN 140 Eurocódigos Estructurales. (2006). *UNE-EN 1995-1-1*. Madrid: AENOR.
- Comunidad de Madrid, E. D. (2010). Reino Unido. *Satellite*, 2.
- CTEF, (. T. (1972). *Estudio de las propiedades Físico Mecánicas y Estructura Anatómica de 7 Especies de Pino de Guatemala*. Guatemala.
- Davis, H. G. (1982). *Ensayo e Inspección de los Materiales en Ingeniería*. México D.F.: C.A. Editorial Continental S.A.
- Garcia, C. (2014). *Ecología Forestal: Estructura, Funcionamiento y Producción de las masas forestales*. .
- Global Biodiversity Information Facility. (s.f.). *Global Biodiversity Information Facility*. Obtenido de <https://www.gbif.org/>
- Gurfinkel, G. (1981). *Wood Engineering*. Iowa: Kendal/Hunt Publishing Company.
- International, A. (2016). Recuperado el 25 de 02 de 2017, de www.astm.org
- Lima, L. (2003). *Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas de 5 especies de árboles tropicales*. Guatemala: Tesis Ing. Forestal.
- Lobo, N. (2000). *Estudio ecológico, silvícola y de utilización del Amargoso, Vatairea lundellii (Standl.) Killip ex Record, en bosques latifoliados de Honduras*. Tegucigalpa: Zamorano.
- Ortiz, L. (2008). *Vigas de Madera Horizontales para Proyectos Habitacionales, en Arquitectura*. Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala.
- Penados, J. (2015). *Plan de manejo forestal con fines de producción programa de incentivos forestales*. Guatemala: PINFOR.
- Piqué, J. (1984). *Manual de Diseño para Madera del Grupo Andino*. Lima, Perú: Junta del Acuerdo de Cartagena.
- Porteous, J., & Kermani, A. (2007). *Structural Timber Design to Eurocode 5*. Cornwall: Blackwell Publishing.
- Sostenibles Maderas. (2008). *Maderas sostenibles*. Obtenido de Maderas sostenibles:
http://maderassostenibles.com/esp/hardwood_timber_products/bitter-angelim.shtml

Standley, P., & Steyermark, J. (1946-1977). *Flora of Guatemala*. Chicago, EEUU: History Museum.

UCAR/ CSU . (2003). *Globe*. Obtenido de Soil Investigation. Soil Characterization: <http://www.globe.gov/hq/trr/spanish/1>

Urquijo, J. (2003). Recursos Forestales. Usos y Aprovechamiento. En J. Urquijo, *Seguridad Alimentaria y Desarrollo Sostenibles en Zonas Marginadas de Guatemala*. Guatemala: ETSI Agrónomos UPM.

Vignote, S. y. (1996). *Tecnología de la Madera*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

XI. ANEXOS

A. Fotografías de las muestras

Muestras para el peso específico de las tres especies evaluadas.



Traslado de las muestras del Taller de Carpintería al Taller de Materiales



B. Resultados de ensayos

Ensayos de compresión perpendicular

Guaciban				
# de Muestra	Fuerza	E (PSI)	MPa	Varianza
1	13000	1083.33	7.58	2296.01
2	13000	1083.33	7.58	2296.01
3	13500	1125.00	7.88	39.06
4	15000	1250.00	8.75	14101.56
5	19000	1583.33	11.08	204379.34
6	16000	1333.33	9.33	40837.67
7	13500	1125.00	7.88	39.06
8	15000	1250.00	8.75	14101.56
9	14000	1166.67	8.17	1254.34
10	14000	1166.67	8.17	1254.34
11	10000	833.33	5.83	88754.34
12	17000	1416.67	9.92	81462.67
13	14000	1166.67	8.17	1254.34
14	10500	875.00	6.13	65664.06
15	11000	916.67	6.42	46046.01
16	14000	1166.67	8.17	1254.34
17	10000	833.33	5.83	88754.34
18	15000	1250.00	8.75	14101.56
19	12000	1000.00	7.00	17226.56
20	12000	1000.00	7.00	17226.56
Promedio:	13575	1131.25	7.92	35117.19
		Desviación Estandar		187.3958
		Coefficiente de Variació		16.57%
		Intervalo de Confianza		82.13

Cola de coche				
# de Muestra	Fuerza	E		Varianza
1	21000	1750	12.25	38350.694
2	22000	1833.3333	12.83	77934.028
3	23000	1916.6667	13.42	131406.25
4	11000	916.66667	6.42	406406.25
5	15000	1250	8.75	92517.361
6	20000	1666.6667	11.67	12656.25
7	20000	1666.6667	11.67	12656.25
8	17000	1416.6667	9.92	18906.25
9	17000	1416.6667	9.92	18906.25
10	20000	1666.6667	11.67	12656.25
11	20000	1666.6667	11.67	12656.25
12	18000	1500	10.50	2934.0278
13	22000	1833.3333	12.83	77934.028
14	19000	1583.3333	11.08	850.69444
15	21000	1750	12.25	38350.694
16	17000	1416.6667	9.92	18906.25
17	20000	1666.6667	11.67	12656.25
18	12000	1000	7.00	307100.69
19	21000	1750	12.25	38350.694
20	17000	1416.6667	9.92	18906.25
Promedio:	18650	1554.1667	10.88	67552.083
		Desviación Estandar		259.90784
		Coefficiente de Variació		16.72%
		Intervalo de Confianza		113.91

Danto				
# de Muestra	Fuerza	E	E(MPa)	Varianza
1	19000	1583.3333	11.08	23129.34
2	18000	1500	10.50	4726.5625
3	17000	1416.6667	9.92	212.67361
4	17000	1416.6667	9.92	212.67361
5	18000	1500	10.50	4726.5625
6	17000	1416.6667	9.92	212.67361
7	17000	1416.6667	9.92	212.67361
8	17000	1416.6667	9.92	212.67361
9	19000	1583.3333	11.08	23129.34
10	16000	1333.3333	9.33	9587.6736
11	16000	1333.3333	9.33	9587.6736
12	17000	1416.6667	9.92	212.67361
13	15000	1250	8.75	32851.563
14	17000	1416.6667	9.92	212.67361
15	19000	1583.3333	11.08	23129.34
16	16000	1333.3333	9.33	9587.6736
17	17000	1416.6667	9.92	212.67361
18	17000	1416.6667	9.92	212.67361
19	18000	1500	10.50	4726.5625
20	16500	1375	9.63	3164.0625
Promedio:	17175	1431.25	10.02	7513.0208
		Desviación Estandar		86.677684
		Coefficiente de Variació		6.06%
		Intervalo de Confianza		37.99

Ensayo a compresión Paralela

Cola de coche								
#muestra	Pmax(lb)	Pmax(kg)	Peso (Kg)	Area (cm2)	Esuferzo Ultimo (Kg/c (Mpa)		Desviación media	Varianza
1	20000	9090.91	0.38	25	363.64	36.36	95.91	9198.55
2	26000	11818.18	0.36	25	472.73	47.27	13.18	173.76
3	26000	11818.18	0.38	25	472.73	47.27	13.18	173.76
4	21000	9545.45	0.36	25	381.82	38.18	77.73	6041.53
5	32000	14545.45	0.42	25	581.82	58.18	122.27	14950.62
6	26500	12045.45	0.4	25	481.82	48.18	22.27	496.07
7	25500	11590.91	0.46	25	463.64	46.36	4.09	16.74
8	23000	10454.55	0.34	25	418.18	41.82	41.36	1710.95
9	28500	12954.55	0.4	25	518.18	51.82	58.64	3438.22
10	27000	12272.73	0.4	25	490.91	49.09	31.36	983.68
11	27500	12500.00	0.46	25	500.00	50.00	40.45	1636.57
12	24500	11136.36	0.4	25	445.45	44.55	14.09	198.55
13	24000	10909.09	0.38	25	436.36	43.64	23.18	537.40
14	23000	10454.55	0.32	25	418.18	41.82	41.36	1710.95
15	23000	10454.55	0.36	25	418.18	41.82	41.36	1710.95
16	28000	12727.27	0.4	25	509.09	50.91	49.55	2454.75
17	27000	12272.73	0.34	25	490.91	49.09	31.36	983.68
18	23000	10454.55	0.36	25	418.18	41.82	41.36	1710.95
19	25000	11363.64	0.4	25	454.55	45.45	5.00	25.00
20	25000	11363.64	0.36	25	454.55	45.45	5.00	25.00
Promedio	25275	11488.64	0.384	25	459.55	45.95		2408.88

Guacibán								
#muestra	Pmax(lb)	Pmax(kg)	Peso (Kg)	Area (cm2)	Esuferzo Ultimo (Kg/c (Mpa)		Desviación media	Varianza
1	16000	7272.73	0.26	25	290.91	29.09	98.82	290.91
2	22000	10000.00	0.28	25	400.00	40.00	10.27	379.45
3	23000	10454.55	0.3	25	418.18	41.82	28.45	361.27
4	1700	772.73	0.28	25	30.91	3.09	358.82	30.91
5	22000	10000.00	0.26	25	400.00	40.00	10.27	379.45
6	23000	10454.55	0.3	25	418.18	41.82	28.45	361.27
7	27000	12272.73	0.36	25	490.91	49.09	101.18	288.55
8	16000	7272.73	0.28	25	290.91	29.09	98.82	290.91
9	22000	10000.00	0.3	25	400.00	40.00	10.27	379.45
10	23000	10454.55	0.32	25	418.18	41.82	28.45	361.27
11	28000	12727.27	0.36	25	509.09	50.91	119.36	270.36
12	28500	12954.55	0.34	25	518.18	51.82	128.45	261.27
13	18500	8409.09	0.3	25	336.36	33.64	53.36	336.36
14	15000	6818.18	0.28	25	272.73	27.27	117.00	272.73
15	24000	10909.09	0.32	25	436.36	43.64	46.64	343.09
16	28000	12727.27	0.34	25	509.09	50.91	119.36	270.36
17	24000	10909.09	0.28	25	436.36	43.64	46.64	343.09
18	22000	10000.00	0.26	25	400.00	40.00	10.27	379.45
19	20500	9318.18	0.3	25	372.73	37.27	17.00	372.73
20	24500	11136.36	0.32	25	445.45	44.55	55.73	334.00
Promedio	21435	9743.18	0.302	25	389.73	38.97		315.35
							Desviación estandar	17.758
							Coficiente de variaci	4.56%

Danto									
#muestra	Pmax(lb)	Pmax(kg)	Peso (Kg)	Area (cm2)	Esuferzo Ultimo (Kg/c (Mpa)		Desviación media	Varianza	
1	22000	10000.00	0.38	25	400.00		40.00	83.18	400.00
2	21500	9772.73	0.4	25	390.91		39.09	92.27	390.91
3	30500	13863.64	0.36	25	554.55		55.45	71.36	411.82
4	21500	9772.73	0.38	25	390.91		39.09	92.27	390.91
5	31000	14090.91	0.38	25	563.64		56.36	80.45	402.73
6	36500	16590.91	0.38	25	663.64		66.36	180.45	302.73
7	28000	12727.27	0.38	25	509.09		50.91	25.91	457.27
8	25000	11363.64	0.36	25	454.55		45.45	28.64	454.55
9	26000	11818.18	0.38	25	472.73		47.27	10.45	472.73
10	32000	14545.45	0.4	25	581.82		58.18	98.64	384.55
11	27500	12500.00	0.36	25	500.00		50.00	16.82	466.36
12	20000	9090.91	0.36	25	363.64		36.36	119.55	363.64
13	28500	12954.55	0.38	25	518.18		51.82	35.00	448.18
14	28000	12727.27	0.4	25	509.09		50.91	25.91	457.27
15	25000	11363.64	0.38	25	454.55		45.45	28.64	454.55
16	28000	12727.27	0.36	25	509.09		50.91	25.91	457.27
17	27500	12500.00	0.36	25	500.00		50.00	16.82	466.36
18	31000	14090.91	0.38	25	563.64		56.36	80.45	402.73
19	23000	10454.55	0.4	25	418.18		41.82	65.00	418.18
20	19000	8636.36	0.36	25	345.45		34.55	137.73	345.45
Promedio	26575	12079.55	0.377	25	483.18		48.32		417.41
								Desviación estandar	20.431
								Cofeciente de variaci	4.23%

Ensayo a flexión

Guaciban											
	Delta (mm)	Pmax(lb)	Peso (kg)	MOE	MOE (Gpa)	Desviación media	Varianza	MOR	MOR (Gpa)	Desviación media	Varianza
1	13	1800	0.96	24680.16194	0.170	1022.54	1045582.08	4736.84	33.16	802.63	644217.45
2	19	2100	1.1	19700.83102	0.136	6001.87	36022419.47	5526.32	38.68	13.16	173.13019
3	10	1000	0.78	17824.5614	0.123	7878.14	62065052.36	2631.58	18.42	2907.89	8455851.8
4	23	1800	0.96	13949.65675	0.096	11753.04	138134002.67	4736.84	33.16	802.63	644217.45
5	15	2000	0.78	23766.08187	0.164	1936.62	3750485.99	5263.16	36.84	276.32	76350.416
6	16	2000	0.98	22280.70175	0.154	3422.00	11710065.31	5263.16	36.84	276.32	76350.416
7	10	1500	1.02	26736.84211	0.184	1034.14	1069451.91	3947.37	27.63	1592.11	2534799.2
8	9	1100	0.88	21785.57505	0.150	3917.12	15343860.23	2894.74	20.26	2644.74	6994633
9	17	2500	1.04	26212.5903	0.181	509.89	259989.11	6578.95	46.05	1039.47	1080505.5
10	6	1500	0.96	44561.40351	0.307	18858.70	355650734.86	3947.37	27.63	1592.11	2534799.2
11	25	3000	0.8	21389.47368	0.147	4313.23	18603912.83	7894.74	55.26	2355.26	5547264.5
12	17	2500	0.94	26212.5903	0.181	509.89	259989.11	6578.95	46.05	1039.47	1080505.5
13	23	3500	1.04	27124.33257	0.187	1421.63	2021041.94	9210.53	64.47	3671.05	13476627
14	14	2000	0.94	25463.65915	0.176	239.04	57140.06	5263.16	36.84	276.32	76350.416
15	19	2800	0.82	26267.7747	0.181	565.08	319310.52	7368.42	51.58	1828.95	3345048.5
16	8	1500	0.96	33421.05263	0.230	7718.35	59572982.42	3947.37	27.63	1592.11	2534799.2
17	14	2500	0.78	31829.57393	0.219	6126.87	37538596.18	6578.95	46.05	1039.47	1080505.5
18	24	3000	1.06	22280.70175	0.154	3422.00	11710065.31	7894.74	55.26	2355.26	5547264.5
19	10	1500	0.76	26736.84211	0.184	1034.14	1069451.91	3947.37	27.63	1592.11	2534799.2
20	14	2500	0.81	31829.57393	0.219	6126.87	37538596.18	6578.95	46.05	1039.47	1080505.5
	15.3	2105	0.92	25702.69902	0.18		39687136.52	5539.47	38.78		2967278.4
				MOE₉₀	0.22	Desviación Estand	6299.72736			Desviación Estandar	1722.579
						Cofeciente de Va	24.51%			Cofeciente de Varia	31.10%

Cola de Coche											
	Delta (mm)	Pmax(lb)	Peso (kg)	MOE	MOE (Gpa)	Desviación media	Varianza	MOR	MOR (Gpa)	Desviación media	Varianza
1	15	2800	1.2	33272.51462	0.229	7291.26	53162461.18	7368.42	51.58	210.53	44321.33
2	18	3800	1.22	37629.62963	0.259	2934.14	8609202.31	10000.00	70.00	2421.05	5861495.8
3	10	2500	1.06	44561.40351	0.307	3997.63	15981042.88	6578.95	46.05	1000.00	1000000
4	21	3500	1.06	29707.60234	0.205	10856.17	117856459.90	9210.53	64.47	1631.58	2662049.9
5	16	3000	0.94	33421.05263	0.230	7142.72	51018466.42	7894.74	55.26	315.79	99722.992
6	12	3500	1.4	51988.30409	0.358	11424.53	130519891.25	9210.53	64.47	1631.58	2662049.9
7	13	3200	1.4	43875.84345	0.303	3312.07	10969805.06	8421.05	58.95	842.11	709141.27
8	14	2500	1.18	31829.57393	0.219	8734.20	76286248.18	6578.95	46.05	1000.00	1000000
9	14	2000	1.16	25463.65915	0.176	15100.11	228013464.06	5263.16	36.84	2315.79	5362880.9
10	13	2500	1.22	34278.0027	0.236	6285.77	39510918.98	6578.95	46.05	1000.00	1000000
11	13	3000	1.1	41133.60324	0.284	569.83	324705.53	7894.74	55.26	315.79	99722.992
12	9	2500	1.18	49512.67057	0.341	8948.90	80082752.40	6578.95	46.05	1000.00	1000000
13	8	2500	1.34	55701.75439	0.384	15137.98	229158454.66	6578.95	46.05	1000.00	1000000
14	11	2500	1.26	40510.36683	0.279	53.41	2852.31	6578.95	46.05	1000.00	1000000
15	16	3800	1.22	42333.33333	0.292	1769.56	3131340.76	10000.00	70.00	2421.05	5861495.8
16	17	3500	1.32	36697.62642	0.253	3866.15	14947095.97	9210.53	64.47	1631.58	2662049.9
17	10	2500	1.24	44561.40351	0.307	3997.63	15981042.88	6578.95	46.05	1000.00	1000000
18	11	3000	1.26	48612.44019	0.335	8048.67	64781029.85	7894.74	55.26	315.79	99722.992
19	7	1500	1.14	38195.48872	0.263	2368.29	5608774.46	3947.37	27.63	3631.58	13188366
20	13	3500	1.34	47989.20378	0.331	7425.43	55137009.60	9210.53	64.47	1631.58	2662049.9
	13.05	2880	1.21	40563.77385	0.280		60054150.93	7578.95	53.05		2448753.5
				MOE ₉₀	0.34	Desviación Estand	7749.461332			Desviación Estand	1564.8493
						Coefficiente de Va	19.10%			Coefficiente de Varia	20.65%

Danto											
	Delta (mm)	Pmax(lb)	Peso (kg)	MOE	MOE (Gpa)	Desviación media	Varianza	MOR	MOR (Gpa)	Desviación media	Varianza
1	17	3000	1.26	31455.10836	0.217	3715.38	13804017.92	7894.74	55.26	618.42	382444.6
2	15	3000	1.3	35649.12281	0.246	478.64	229094.88	7894.74	55.26	618.42	382444.6
3	14	3000	1.18	38195.48872	0.263	3025.00	9150652.13	7894.74	55.26	618.42	382444.6
4	9	2000	1.16	39610.13645	0.273	4439.65	19710511.79	5263.16	36.84	2013.16	4052804.7
5	18	3800	1.14	37629.62963	0.259	2459.15	6047396.06	10000.00	70.00	2723.68	7418455.7
6	12	3000	1.26	44561.40351	0.307	9390.92	88189364.76	7894.74	55.26	618.42	382444.6
7	16	3500	1.1	38991.22807	0.269	3820.74	14598083.44	9210.53	64.47	1934.21	3741170.4
8	14	2000	1.12	25463.65915	0.176	9706.83	94222453.32	5263.16	36.84	2013.16	4052804.7
9	12	1700	1.2	25251.46199	0.174	9919.02	98387002.38	4473.68	31.32	2802.63	7854743.8
10	21	3500	1.14	29707.60234	0.205	5462.88	29843078.63	9210.53	64.47	1934.21	3741170.4
11	14	2500	1.16	31829.57393	0.219	3340.91	11161681.65	6578.95	46.05	697.37	486322.71
12	12	2800	1.14	41590.64327	0.287	6420.16	41218442.07	7368.42	51.58	92.11	8483.3795
13	14	2000	1.16	25463.65915	0.176	9706.83	94222453.32	5263.16	36.84	2013.16	4052804.7
14	15	2500	1.2	29707.60234	0.205	5462.88	29843078.63	6578.95	46.05	697.37	486322.71
15	29	4000	1.38	24585.60194	0.170	10584.88	112039733.34	10526.32	73.68	3250.00	10562500
16	17	3800	1.16	39843.13725	0.275	4672.65	21833686.22	10000.00	70.00	2723.68	7418455.7
17	7	1700	1.16	43288.22055	0.298	8117.74	65897642.86	4473.68	31.32	2802.63	7854743.8
18	13	2500	1.2	34278.0027	0.236	892.48	796523.30	6578.95	46.05	697.37	486322.71
19	5	1500	1.14	53473.68421	0.369	18303.20	335007129.26	3947.37	27.63	3328.95	11081891
20	19	3500	1.34	32834.71837	0.226	2335.77	5455802.16	9210.53	64.47	1934.21	3741170.4
	14.65	2765	1.20	35170.48424	0.243		54582891.41	7276.32	50.93		3928497.2
				MOE ₉₀	0.30	Desviación Estand	7388.023511			Desviación Estand	1982.0437
						Coefficiente de Va	21.01%			Coefficiente de Varia	27.24%

Ensayos a Corte

Guaciban					Danto						
# Muestra	Vueltas	Fuerza Aplicada (Esfuerzo (lb/in ²))	Varianza		# Muestra	Vueltas	Fuerza Aplicada (Esfuerzo (lb/in ² Esfuerzo en (Mp:Varianza				
1	4.65	1268.18	422.73	2.96	8140.96	1	3.1	845.45	281.82	1.97	185.95
2	3.3	900.00	300.00	2.10	1056.25	2	2.9	790.91	263.64	1.85	1012.40
3	4.7	1281.82	427.27	2.99	8981.87	3	2.8	763.64	254.55	1.78	1673.55
4	4.4	1200.00	400.00	2.80	4556.25	4	3.5	954.55	318.18	2.23	516.53
5	3.7	1009.09	336.36	2.35	14.93	5	3.9	1063.64	354.55	2.48	3491.74
6	3.4	927.27	309.09	2.16	547.99	6	2.7	736.36	245.45	1.72	2500.00
7	2.7	736.36	245.45	1.72	7576.91	7	4	1090.91	363.64	2.55	4648.76
8	3.8	1036.36	345.45	2.42	167.82	8	2.8	763.64	254.55	1.78	1673.55
9	3.3	900.00	300.00	2.10	1056.25	9	3.8	1036.36	345.45	2.42	2500.00
10	2.7	736.36	245.45	1.72	7576.91	10	3	818.18	272.73	1.91	516.53
11	3.4	927.27	309.09	2.16	547.99	11	3.5	954.55	318.18	2.23	516.53
12	3.5	954.55	318.18	2.23	205.01	12	2.8	763.64	254.55	1.78	1673.55
13	3.8	1036.36	345.45	2.42	167.82	13	3.6	981.82	327.27	2.29	1012.40
14	4.5	1227.27	409.09	2.86	5866.17	14	2.6	709.09	236.36	1.65	3491.74
15	3.6	981.82	327.27	2.29	27.32	15	3.6	981.82	327.27	2.29	1012.40
16	3.5	954.55	318.18	2.23	205.01	16	4	1090.91	363.64	2.55	4648.76
17	4	1090.91	363.64	2.55	969.47	17	2.8	763.64	254.55	1.78	1673.55
18	4.1	1118.18	372.73	2.61	1618.23	18	2.7	736.36	245.45	1.72	2500.00
19	3.3	900.00	300.00	2.10	1056.25	19	3.1	845.45	281.82	1.97	185.95
20	2.8	763.64	254.55	1.78	6076.91	20	3.8	1036.36	345.45	2.42	2500.00
Promedio:		997.50	332.50	2.33	2820.82	Promedio:		295.45	2.07	1896.69	
			Desviación Estandar	53.11				Desviación Estandar	43.55		
			Coefficiente de Variación	15.97%				Coefficiente de Variación	14.74%		

Cola de Coche					
# Muestra	Deformación (in)	Esfuerzo (ln/in ² Esfuerzo en (Mp:Varianza			
1	0.018	340.00	113.33	0.79	0.06
2	0.02	380.00	126.67	0.89	0.02
3	0.0165	310.00	103.33	0.72	0.10
4	0.0182	340.00	113.33	0.79	0.06
5	0.028	530.00	176.67	1.24	0.04
6	0.024	450.00	150.00	1.05	0.00
7	0.028	530.00	176.67	1.24	0.04
8	0.039	730.00	243.33	1.70	0.44
9	0.022	415.00	138.33	0.97	0.01
10	0.027	510.00	170.00	1.19	0.02
11	0.02	380.00	126.67	0.89	0.02
12	0.023	430.00	143.33	1.00	0.00
13	0.033	620.00	206.67	1.45	0.16
14	0.0185	340.00	113.33	0.79	0.06
15	0.0235	450.00	150.00	1.05	0.00
16	0.036	370.00	123.33	0.86	0.03
17	0.03	560.00	186.67	1.31	0.07
18	0.023	430.00	143.33	1.00	0.00
19	0.02	380.00	126.67	0.89	0.02
20	0.024	450.00	150.00	1.05	0.00
Promedio:			149.08	1.04	0.06
			Desviación Estandar	0.24	
			Coefficiente de Variación	23.16%	

Tipo muestra No. Muestra	Radial				Tangencial				Axial				
	Vueltas	Fuerza (lbf)	Esfuerzo (lbf/in ²)	Varianza	vuelatas	Fuerza (lbf)	Esfuerzo (lbf/in ²)	Varianza	nza	Vueltas	Fuerza (lbf)	Esfuerzo (lbf/in ²)	Varianza
1.00	4.300	1172.73	1204.16	6824.53	3.800	1036.36	1064.14	34679.41	34679.41	4.300	1172.73	1204.16	13182.45
2.00	4.000	1090.91	1120.14	2762.74	4.200	1145.45	1176.15	5507.06	5507.06	4.300	1172.73	1204.16	13182.45
3.00	5.000	1363.64	1400.18	12862.89	4.000	1090.91	1120.14	16956.43	16956.43	5.000	1363.64	1400.18	6595.15
4.00	4.000	1090.91	1120.14	2762.74	4.200	1145.45	1176.15	5507.06	5507.06	4.400	1200.00	1232.16	7536.19
5.00	4.700	1281.82	1316.17	864.58	4.500	1227.27	1260.16	96.06	96.06	5.200	1418.18	1456.19	18828.71
6.00	4.800	1309.09	1344.17	3295.61	4.600	1254.55	1288.17	1429.21	1429.21	4.800	1309.09	1344.17	635.20
7.00	5.000	1363.64	1400.18	12862.89	4.800	1309.09	1344.17	8800.72	8800.72	5.000	1363.64	1400.18	6595.15
8.00	4.900	1336.36	1372.18	7295.05	4.700	1281.82	1316.17	4330.76	4330.76	5.000	1363.64	1400.18	6595.15
9.00	5.000	1363.64	1400.18	12862.89	5.000	1363.64	1400.18	22445.85	22445.85	4.800	1309.09	1344.17	635.20
10.00	4.500	1227.27	1260.16	707.74	4.500	1227.27	1260.16	96.06	96.06	4.600	1254.55	1288.17	948.89
11.00	4.600	1254.55	1288.17	1.96	4.300	1172.73	1204.16	2134.99	2134.99	4.400	1200.00	1232.16	7536.19
12.00	4.700	1281.82	1316.17	864.58	4.600	1254.55	1288.17	1429.21	1429.21	4.800	1309.09	1344.17	635.20
13.00	5.000	1363.64	1400.18	12862.89	4.200	1145.45	1176.15	5507.06	5507.06	4.900	1336.36	1372.18	2830.97
14.00	4.200	1145.45	1176.15	12235.52	4.800	1309.09	1344.17	5507.06	5507.06	5.000	1363.64	1400.18	20397.12
15.00	4.800	1309.09	1344.17	3295.61	4.300	1172.73	1204.16	2134.99	2134.99	4.600	1254.55	1288.17	948.89
16.00	4.900	1336.36	1372.18	7295.05	4.800	1309.09	1344.17	8800.72	8800.72	4.300	1172.73	1204.16	13182.45
17.00	4.400	1200.00	1232.16	2981.93	4.200	1145.45	1176.15	5507.06	5507.06	4.600	1254.55	1288.17	948.89
18.00	4.600	1254.55	1288.17	1.96	4.700	1281.82	1316.17	4330.76	4330.76	4.700	1281.82	1316.17	7.84
19.00	4.500	1227.27	1260.16	707.74	4.600	1254.55	1288.17	1429.21	1429.21	5.000	1363.64	1400.18	6595.15
20.00	4.000	1090.91	1120.14	2762.74	4.500	1227.27	1260.16	96.06	96.06	4.500	1227.27	1260.16	3458.33
Media	4.620		1286.77	9055.58	4.430		1250.36	6836.29	6836.29	4.740		1319.97	6563.76
			Desviación estándar	95.16	4.465		Desviación estándar	82.68	82.68	4.710		Desviación estándar	81.02
			Coefficiente de Variación	7.40%			Coefficiente de Variación	6.61%	6.61%			Coefficiente de Variación	6.14%
	$Z_{0.95}/Nn$		Intervalo de Confianza Izq.	Intervalo de Confianza Der.	$Z_{0.95}/Nn$		Intervalo de Confianza Izq.	Intervalo de Confianza Der.	Intervalo de Confianza Der.	$Z_{0.95}/Nn$		Intervalo de Confianza Izq.	Intervalo de Confianza Der.
	41.71		1245.06	1328.47	36.24		1214.12	1286.60	1286.60	35.51		1283.46	1354.48

tipo muestra No. Muestra	Radial						Tangencial						Axial					
	Vueltas		Fuerza (lbf)		Esfuerzo (lbf/in ²)		vueltas		Fuerza (lbf)		Esfuerzo (lbf/in ²)		Vueltas		Fuerza (lbf)		Esfuerzo (lbf/in ²)	
1.00	0.033	630.00	646.88	3546.72	0.035	660.00	677.69	917.52	0.049	910.00	934.39	8827.01						
2.00	0.024	450.00	462.06	59720.74	0.024	450.00	462.06	60475.89	0.053	990.00	1016.53	139.43						
3.00	0.035	660.00	677.69	826.58	0.042	770.00	790.64	6832.24	0.050	930.00	954.92	5389.93						
4.00	0.028	530.00	544.20	26319.97	0.032	600.00	616.08	8445.34	0.055	1020.00	1047.34	360.84						
5.00	0.044	820.00	841.98	18370.42	0.040	750.00	770.10	3859.06	0.062	1150.00	1180.82	23250.07						
6.00	0.040	750.00	770.10	4052.80	0.043	800.00	821.44	12873.48	0.061	1130.00	1160.28	17409.15						
7.00	0.043	800.00	821.44	13225.35	0.029	550.00	564.74	20517.28	0.050	930.00	954.92	5389.93						
8.00	0.048	890.00	913.85	43020.36	0.047	880.00	903.58	38261.43	0.052	970.00	996.00	1046.15						
9.00	0.034	640.00	657.15	2429.15	0.044	810.00	831.71	15308.95	0.058	1080.00	1108.94	6496.97						
10.00	0.049	910.00	934.39	51960.97	0.049	910.00	934.39	51261.16	0.054	1000.00	1026.80	2.37						
11.00	0.038	710.00	729.03	510.29	0.036	670.00	687.96	400.90	0.050	930.00	954.92	5389.93						
12.00	0.030	560.00	575.01	17273.93	0.034	640.00	657.15	2583.34	0.049	910.00	934.39	8827.01						
13.00	0.035	650.00	667.42	1522.43	0.032	600.00	616.08	8445.34	0.051	950.00	975.46	2796.31						
14.00	0.040	750.00	770.10	4052.80	0.042	780.00	800.90	3859.06	0.053	990.00	1016.53	66687.93						
15.00	0.026	490.00	503.13	41333.45	0.029	540.00	554.47	23564.25	0.048	900.00	924.12	10861.84						
16.00	0.036	670.00	687.96	341.60	0.036	670.00	687.96	400.90	0.055	1020.00	1047.34	360.84						
17.00	0.035	650.00	667.42	1522.43	0.036	670.00	687.96	400.90	0.054	1000.00	1026.80	2.37						
18.00	0.042	780.00	800.90	8923.74	0.040	750.00	770.10	3859.06	0.059	1100.00	1129.48	10229.25						
19.00	0.039	730.00	749.56	1859.82	0.036	670.00	687.96	400.90	0.056	1040.00	1067.87	1562.76						
20.00	0.037	690.00	708.49	4.22	0.033	620.00	636.62	5092.62	0.058	1080.00	1108.94	6496.97						
Media	0.037		706.44	15040.89	0.036		707.98	13387.98		1000.00	1028.34	9076.35						
			Desviación estándar	122.64			Desviación estándar	115.71			Desviación estándar	95.27						
			Coefficiente de Variación	17.36%			Coefficiente de Variación	16.34%			Coefficiente de Variación	9.26%						
		Z_{0.975}/h	Inter valo de Confianza Izq.	Intervalo de Confianza Der.		Z_{0.975}/h	Inter valo de Confianza Izq.	Intervalo de Confianza Der.		Z_{0.975}/h	Inter valo de Confianza Izq.	Intervalo de Confianza Der.						
		53.75	652.69	760.19		50.71	657.27	758.69		41.75	986.59	1070.09						

tipo muestra No. Muestra	Radial				Tangencial				Axial			
	Vueltas	Fuerza (lbf)	Esfuerzo (lbf/m ²)	Varianza	vuelitas	Fuerza (lbf)	Esfuerzo (lbf/m ²)	Varianza	Vueltas	Fuerza (lbf)	Esfuerzo (lbf/m ²)	Varianza
1.00	0.035	660.00	677.69	97756.55	0.049	910.00	934.39	32473.23	0.065	1200.00	1232.16	50797.26
2.00	0.053	990.00	1016.53	685.57	0.032	600.00	616.08	248513.36	0.067	1240.00	1273.23	3970.36
3.00	0.073	1350.00	1386.18	156682.33	0.084	1550.00	1591.54	227479.73	0.092	1690.00	1735.29	77144.65
4.00	0.042	780.00	800.90	35889.22	0.051	950.00	975.46	19357.53	0.073	1350.00	1386.18	5092.62
5.00	0.072	1330.00	1365.64	140846.49	0.082	1510.00	1550.47	189988.21	0.088	1620.00	1663.42	42383.81
6.00	0.050	930.00	954.92	1254.90	0.066	1220.00	1252.70	19072.86	0.091	1670.00	1714.76	66158.66
7.00	0.040	750.00	770.10	48509.40	0.050	930.00	954.92	25493.65	0.079	1460.00	1499.13	1729.34
8.00	0.042	780.00	800.90	35889.22	0.035	650.00	667.42	199962.05	0.066	1220.00	1252.70	41962.09
9.00	0.045	840.00	862.51	16342.18	0.065	1200.00	1232.16	13822.36	0.070	1290.00	1324.57	17681.16
10.00	0.048	890.00	913.85	5851.72	0.051	950.00	975.46	19357.53	0.061	1130.00	1160.28	88362.58
11.00	0.052	970.00	996.00	31.89	0.056	1040.00	1067.87	2182.70	0.082	1510.00	1550.47	8635.12
12.00	0.056	1040.00	1067.87	6009.87	0.060	1110.00	1139.75	632.85	0.091	1670.00	1714.76	66158.66
13.00	0.064	1180.00	1211.62	48962.75	0.067	1240.00	1273.23	25166.81	0.075	1380.00	1416.98	1645.00
14.00	0.056	1040.00	1067.87	6009.87	0.062	1150.00	1180.82	2182.70	0.088	1620.00	1663.42	151843.02
15.00	0.051	950.00	975.46	221.67	0.058	1080.00	1108.94	31.89	0.069	1280.00	1314.30	20517.28
16.00	0.049	910.00	934.39	3131.59	0.056	1040.00	1067.87	2182.70	0.070	1290.00	1324.57	17681.16
17.00	0.058	1080.00	1108.94	14064.85	0.055	1020.00	1047.34	4523.28	0.063	1170.00	1201.36	65631.51
18.00	0.054	990.00	1016.53	685.57	0.063	1170.00	1201.36	7528.09	0.086	1580.00	1622.34	27159.47
19.00	0.048	900.00	924.12	4386.22	0.059	1100.00	1129.48	221.67	0.072	1330.00	1365.64	8445.34
20.00	0.050	930.00	954.92	1254.90	0.070	1290.00	1324.57	44091.81	0.092	1690.00	1735.29	77144.65
Medis	0.052		990.35	31223.34	0.059		1114.59	54213.25	0.079		1457.54	43507.19
			Desviación estándar	176.70	0.059		Desviación estándar	232.84	0.077		Desviación estándar	208.58
			Coefficiente de Variación	17.84%			Coefficiente de Variación	20.89%			Coefficiente de Variación	14.31%
	Z_{0.95}/N		Intervalo de Confianza Izq.	Intervalo de Confianza Der.	Z_{0.95}/N		Intervalo de Confianza Izq.	Intervalo de Confianza Der.	Z_{0.95}/N		Intervalo de Confianza Izq.	Intervalo de Confianza Der.
	77.44		912.91	1067.79	302.05		1012.55	1216.64	91.42		1366.13	1548.96

C. Anexo 2: Tabla 1-3 del Eurocódigo – 5

Table 1.3 Strength and stiffness properties and density values for structural timber strength classes, (in accordance with **Table 1**, of BS EN 338: 2003

Strength class	Characteristic strength properties (N/mm ²)				Stiffness properties (kN/mm ²)				Density (kg/m ³)		 Bending parallel to grain: f_m and E_0 Shear: f_v and G
	Bending 0 $(f_{m,k})$	Tension 90 $(f_{t,90,k})$	Compression 0 $(f_{c,0,k})$	Compression 90 $(f_{c,90,k})$	Shear $(f_{v,k})$	Mean modulus of elasticity 0 $(E_{0,mean})$	5% modulus of elasticity 0 $(E_{0,05})$	Mean modulus of elasticity 90 $(E_{90,mean})$	Mean shear modulus (G_{mean})	Density (ρ_k)	
Softwood and poplar species											
C14	14	8	0.4	16	1.7	7.0	4.7	0.23	0.44	290	350
C16	16	10	0.5	17	1.8	8.0	5.4	0.27	0.50	310	370
C18	18	11	0.5	18	2.0	9.0	6.0	0.30	0.56	320	380
C20	20	12	0.5	19	2.2	9.5	6.4	0.32	0.59	330	390
C22	22	13	0.5	20	2.4	10.0	6.7	0.33	0.63	340	410
C24	24	14	0.5	21	2.5	11.0	7.4	0.37	0.69	350	420
C27	27	16	0.6	22	2.6	11.5	7.7	0.38	0.72	370	450
C30	30	18	0.6	23	2.7	12.0	8.0	0.40	0.75	380	460
C35	35	21	0.6	25	2.8	13.0	8.7	0.43	0.81	400	480
C40	40	24	0.6	26	2.9	14.0	9.4	0.47	0.88	420	500
C45	45	27	0.6	27	3.1	15.0	10.0	0.50	0.94	440	520
C50	50	30	0.6	29	3.2	16.0	10.7	0.53	1.00	460	550
Hardwood species											
D30	30	18	0.6	23	3.0	10.0	8.0	0.64	0.60	530	640
D35	35	21	0.6	25	3.4	10.0	8.7	0.69	0.65	560	670
D40	40	24	0.6	26	3.8	11.0	9.4	0.75	0.70	590	700
D50	50	30	0.6	29	4.6	14.0	11.8	0.93	0.88	650	780
D60	60	36	0.6	32	5.3	17.0	14.3	1.13	1.06	700	840
D70	70	42	0.6	34	6.0	20.0	16.8	1.33	1.25	900	1080

Subscripts used are: 0, direction parallel to grain; 90, direction perpendicular to grain; m, bending; t, tension; c, compression; v, shear; k, characteristic.



Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber¹

This standard is issued under the fixed designation D 143; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

¹ Note—Keywords were added in April 2000.

INTRODUCTION

The need to classify wood species by evaluating the physical and mechanical properties of small clear specimens has always existed. Because of the great variety of species, variability of the material, continually changing conditions of supply, many factors affecting test results, and ease of comparing variables, the need will undoubtedly continue to exist.

In the preparation of these methods for testing small clear specimens, consideration was given both to the desirability of adopting methods that would yield results comparable to those already available and to the possibility of embodying such improvements as experience has shown desirable. In view of the many thousands of tests made under a single comprehensive plan by the U.S. Forest Service, the former Forest Products Laboratories of Canada (now Forintek Canada Corp.), and other similar organizations, the methods naturally conform closely to the methods used by these institutions. These methods are the outgrowth of a study of both American and European experience and methods. The general adoption of these methods will tend toward a world-wide unification of results, permitting an interchange and correlation of data, and establishing the basis for a cumulative body of fundamental information on the timber species of the world.

Descriptions of some of the strength tests refer to primary methods and secondary methods. Primary methods provide for specimens of 2 by 2-in. (50 by 50-mm) cross-section. This size of specimen has been extensively used for the evaluation of various mechanical and physical properties of different species of wood, and a large number of data based on this primary method have been obtained and published.

The 2 by 2-in. (50 by 50-mm) size has the advantage in that it embraces a number of growth rings, is less influenced by earlywood and latewood differences than smaller size specimens, and is large enough to represent a considerable portion of the sampled material. It is advisable to use primary method specimens wherever possible. There are circumstances, however, when it is difficult or impossible to obtain clear specimens of 2 by 2-in. cross section having the required 30 in. (760 mm) length for static bending tests. With the increasing incidence of smaller second growth trees, and the desirability in certain situations to evaluate a material which is too small to provide a 2 by 2-in. cross-section, a secondary method which utilizes a 1 by 1-in. (25 by 25-mm) cross section has been included. This cross section is established for compression parallel to grain and static bending tests, while the 2 by 2-in. cross-section is retained for impact bending, compression perpendicular to grain, hardness, shear parallel to grain, cleavage, and tension perpendicular to grain. Toughness and tension parallel to grain are special tests using specimens of smaller cross section.

The user is cautioned that test results between two different sizes of specimens are not necessarily directly comparable. Guidance on the effect of specimen size on a property being evaluated is beyond the scope of these methods, and should be sought elsewhere.

Where the application, measurement, or recording of load and deflection can be accomplished using electronic equipment and computerized apparatus, such devices are encouraged, providing they do not lower the standard of accuracy and reliability available with basic mechanical equipment.

1. Scope

1.1 These methods cover the determination of various strength and related properties of wood by testing small clear specimens.

1.1.1 These methods represent procedures for evaluating the different mechanical and physical properties, controlling factors such as specimen size, moisture content, temperature, and rate of loading.

1.1.2 Sampling and collection of material is discussed in Practice D 5536. Sample data, computation sheets, and cards have been incorporated, which were of assistance to the investigator in systematizing records.

1.1.3 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The SI values are given in parentheses and are provided for information only. When a weight is prescribed, the basic inch-pound unit of weight (lbf) and the basic SI unit of mass (Kg) are cited.

1.2 The procedures for the various tests appear in the following order:

	Sections
Photographs of Specimens	5
Control of Moisture Content and Temperature	6
Record of Heartwood and Sapwood	7
Static Bending	8
Compression Parallel to Grain	9
Impact Bending	10
Toughness	11
Compression Perpendicular to Grain	12
Hardness	13
Shear Parallel to Grain	14
Cleavage	15
Tension Parallel to Grain	16
Tension Perpendicular to Grain	17
Nail Withdrawal	18
Specific Gravity and Shrinkage in Volume	19
Radial and Tangential Shrinkage	20
Moisture Determination	21
Permissible Variations	22
Calibration	23

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 198 Methods for Static Tests of Timbers in Structural Sizes²
- D 2395 Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Base Materials²
- D 3043 Methods of Testing Structural Panels in Flexure²
- D 3500 Test Method for Structural Panels in Tension²
- D 4442 Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials²

¹ These methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D7 on Wood and are the direct responsibility of Subcommittee D07.01 on Fundamental Test Methods and Properties.

Current edition approved May 15, 1994. Published July 1994. Originally published as D 143-22 T. Last previous edition D 143-83.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.10.

D 4761 Test Method for Mechanical Properties of Lumber and Wood-Base Structural Material²

D 5536 Practice for Sampling the Forest Trees for Determination of Clear Wood Properties²

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines³

3. Summary of Methods

3.1 The mechanical tests are static bending, compression parallel to grain, impact bending toughness, compression perpendicular to grain, hardness, shear parallel to grain (Note 1), cleavage, tension parallel to grain, tension-perpendicular-to-grain, and nail-withdrawal tests. These tests may be made on both green and air-dry material as specified in these methods. In addition, methods for evaluating such physical properties as specific gravity, shrinkage in volume, radial shrinkage, and tangential shrinkage are presented.

Note 1—The test for shearing strength perpendicular to the grain (sometimes termed "vertical shear") is not included as one of the principal mechanical tests since in such a test the strength is limited by the shearing resistance parallel to the grain.

4. Significance and Use

4.1 These methods cover tests on small clear specimens of wood that are made to provide the following:

4.1.1 Data for comparing the mechanical properties of various species,

4.1.2 Data for the establishment of correct strength functions, which in conjunction with results of tests of timbers in structural sizes (see Methods D 198 and Test Method D 4761), afford a basis for establishing allowable stresses, and

4.1.3 Data to determine the influence on the mechanical properties of such factors as density, locality of growth, position in cross section, height of timber in the tree, change of properties with seasoning or treatment with chemicals, and change from sapwood to heartwood.

5. Photographs of Specimens

5.1 Four of the static bending specimens from each species shall be selected for photographing, as follows: two average growth, one fast growth, and one slow growth. These specimens shall be photographed in cross section and on the radial and tangential surfaces. Fig. 1 is a typical photograph of a cross section of 2 by 2-in. (50 by 50-mm) test specimens, and Fig. 2 is the tangential surface of such specimens.

6. Control of Moisture Content and Temperature

6.1 In recognition of the significant influence of temperature and moisture content on the strength of wood, it is highly desirable that these factors be controlled to ensure comparable test results.

6.2 *Control of Moisture Content*—Specimens for the test in the air-dry condition shall be dried to approximately constant weight before test. Should any changes in moisture content occur during final preparation of specimens, the specimens shall be reconditioned to constant weight before test. Tests shall be carried out in such manner that large changes in

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

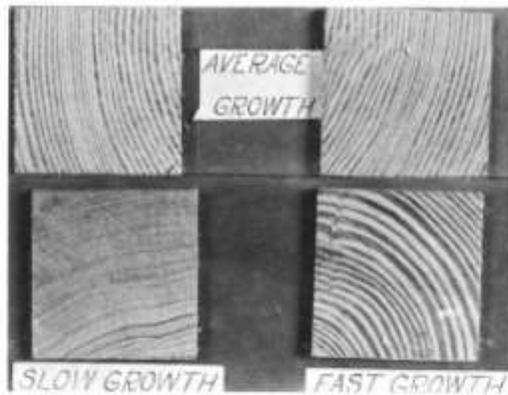


FIG. 1 Cross Sections of Bending Specimens Showing Different Rates of Growth of Longleaf Pine (2 by 2-in. (50 by 50-mm) Specimens)



FIG. 2 Tangential Surfaces of Bending Specimens of Different Rates of Growth of Jeffrey Pine 2 by 2-in. (50 by 50 by 760-mm) Specimens

moisture content will not occur. To prevent such changes, it is desirable that the testing room and rooms for preparation of test specimens have some means of humidity control.

6.3 *Control of Temperature*—Temperature and relative humidity together affect wood strength by fixing its equilibrium moisture content. The mechanical properties of wood are also affected by temperature alone. When tested, the specimens shall be at a temperature of $68 \pm 6^\circ\text{F}$ ($20 \pm 3^\circ\text{C}$). The temperature at the time of test shall in all instances be recorded as a specific part of the test record.

7. Record of Heartwood and Sapwood

7.1 *Proportion of Sapwood*—The estimated proportion of sapwood present should be recorded for each test specimen.

8. Static Bending

8.1 *Size of Specimens*—The static bending tests shall be made on 2 by 2 by 30 in. (50 by 50 by 760 mm) primary

method specimens or 1 by 1 by 16 in. (25 by 25 by 410 mm) secondary method specimens. The actual height and width at the center and the length shall be measured (see 22.2).

8.2 *Loading Span and Supports*—Use center loading and a span length of 28 in. (710 mm) for the primary method and 14 in. (360 mm) for the secondary method. These spans were established in order to maintain a minimum span-to-depth ratio of 14. Both supporting knife edges shall be provided with bearing plates and rollers of such thickness that the distance from the point of support to the central plane is not greater than the depth of the specimen (Fig. 3). The knife edges shall be adjustable laterally to permit adjustment for slight twist in the specimen (Note 2).

Note 2—Details of laterally adjustable supports may be found in Fig. 1 of Methods D 3043.

8.3 *Bearing Block*—A bearing block of the form and size of that shown in Fig. 4 shall be used for applying the load for

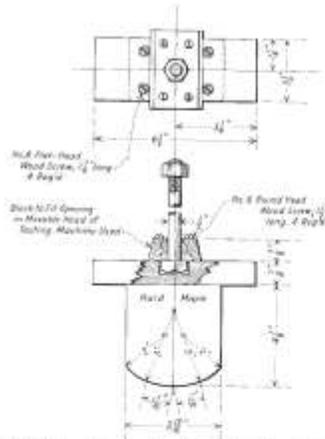


FIG. 4 Details of Bearing Block for Static Bending Tests

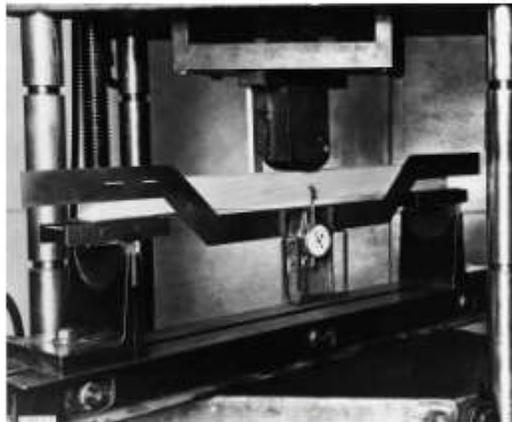


FIG. 3 Static Bending Test Assembly Showing Method of Load Application, Specimen Supported on Rollers and Laterally Adjustable Knife Edges, and Method of Measuring Deflection at Neutral Axis by Means of Yoke and Dial Attachment (Adjustable scale mounted on loading head is used to measure increments of deformation beyond the dial capacity.)

crosshead of 0.10 in. (2.5 mm)/min (see 22.3), for primary method specimens, and at a rate of 0.05 in. (1.3 mm)/min for secondary method specimens.

8.6 Load-Deflection Curves:

8.6.1 Load-deflection curves shall be recorded to or beyond the maximum load for all static bending tests. The curves shall be continued to a 6 in. (150 mm) deflection, or until the specimen fails to support a load of 200 lbf (890 N) for primary method specimens and to a 3 in. (76 mm) deflection or until the specimen fails to support a load of 50 lbf (220 N) for secondary method specimens.

8.6.2 Deflections of the neutral plane at the center of the length shall be taken with respect to points in the neutral plane above the supports. Alternatively, deflection may be taken relative to the tension surface at midspan. However, take care to ensure that vertical displacements which may occur at the reactions are accounted for.

8.6.3 Within the proportional limit, deflection readings shall be taken to 0.001 in. (0.02 mm). After the proportional limit is reached, less refinement is necessary in observing deflections, but it is convenient to read them by means of the dial gage (Fig. 3) until it reaches the limit of its capacity, normally approxi-

primary method specimens. A block having a radius of 1 1/2 in. (38 mm) for a chord length of not less than 2 in. (50 mm) shall be used for secondary method specimens.

8.4 Placement of Growth Rings—The specimen shall be placed so that the load will be applied through the bearing block to the tangential surface nearest the pith.

8.5 Speed of Testing—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable

mately 1 in. (25 mm). Where deflections beyond 1 in. are encountered, the deflections may be measured by means of the scale mounted on the loading head (Fig. 3) and a wire mounted at the neutral axis of the specimen of the side opposite the yoke. Deflections are read to the nearest 0.01 in. (0.2 mm) at 0.10 in. (2.5 mm) intervals and also after abrupt changes in load.

load, and points of sudden change shall be read and shown on the curve sheet (Note 3) although they may not occur at one of the regular load or deflection increments.

Note 3—See Fig. 5 for a sample static bending data sheet form.

roughly divided into "brash" and "fibrous", the term "brash" indicating abrupt failure and "fibrous" indicating a fracture showing splinters.

8.8 *Weight and Moisture Content*—The specimen shall be

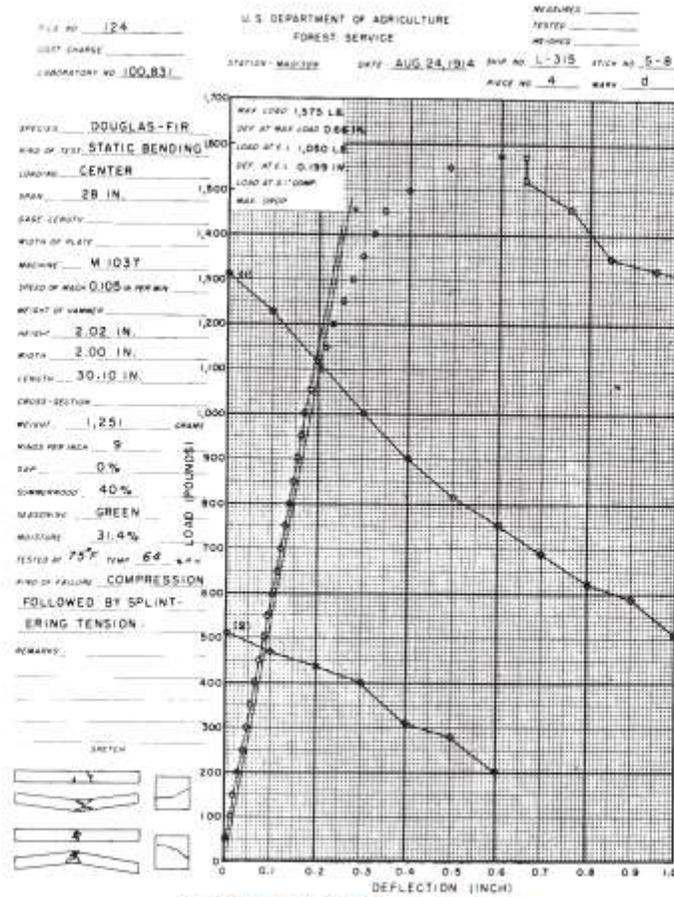
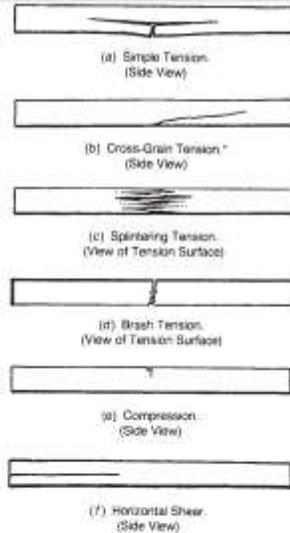


FIG. 5 Sample Data Sheet for Static Bending Test

8.7 *Description of Static Bending Failures*—Static bending (flexural) failures shall be classified in accordance with the appearance of the fractured surface and the manner in which

weighed immediately before test, and after the test a moisture section approximately 1 in. (25 mm) in length shall be cut from the specimen near the point of failure. (see 21.1 and 22.1).



NOTE 1—The term “cross grain” shall be considered to include all deviations of grain from the direction of the longitudinal axis or longitudinal edges of the specimen. It should be noted that spiral grain may be present even to a serious extent without being evident from a casual observation.

NOTE 2—The presence of cross grain have a slope that deviates more than 1 in 20 from the longitudinal edges of the specimen shall be cause for culling the test.

FIG. 6 Types of Failures in Static Bending

9. Compression Parallel to Grain

9.1 *Size of Specimens*—The compression-parallel-to-grain tests shall be made on 2 by 2 by 8 in. (50 by 50 by 200 mm) primary method specimens, or 1 by 1 by 4 in. (25 by 25 by 100 mm) secondary method specimens. The actual cross-sectional dimensions and the length shall be measured (see 22.2).

9.2 *End Surfaces Parallel*—Special care shall be used in preparing the compression-parallel-to-grain test specimens to ensure that the end grain surfaces will be parallel to each other and at right angles to the longitudinal axis. At least one platen of the testing machine shall be equipped with a spherical bearing to obtain uniform distribution of load over the ends of the specimen.

9.3 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.003 in./in. (mm/mm) of nominal specimen length/min (see 22.3).

9.4 Load-Compression Curves:

9.4.1 Load-compression curves shall be taken over a central gage length not exceeding 6 in. (150 mm) for primary method specimens, and 2 in. (50 mm) for secondary method speci-

mens. Load-compression readings shall be continued until the proportional limit is well passed, as indicated by the curve (Note 4).

NOTE 4—See Fig. 7 for a sample compression-parallel-to-grain data sheet form.

9.4.2 Deformations shall be read to 0.0001 in. (0.002 mm).

9.4.3 Figs. 8 and 9 illustrate two types of compressometers that have been found satisfactory for wood testing. Similar apparatus is available for measurements of compression over a 2 in. (50 mm) gage length.

9.5 *Position of Test Failures*—In order to obtain satisfactory and uniform results, it is necessary that the failures be made to develop in the body of the specimen. With specimens of uniform cross section, this result can best be obtained when the ends are at a very slightly lower moisture content than the body. With green material, it will usually suffice to close-pile the specimens, cover the body with a damp cloth, and expose the ends for a short time. For dry material, it may sometimes be advisable to pile the specimens in a similar manner and place them in a desiccator, should the failures in test indicate that a slight end-drying is necessary.

9.6 *Descriptions of Compression Failures*—Compression failures shall be classified in accordance with the appearance of the fractured surface (Fig. 10). In case two or more kinds of failures develop, all shall be described in the order of their occurrence; for example, shearing followed by brooming. The failure shall also be sketched in its proper position on the data sheet.

9.7 *Weight and Moisture Content*—See 8.8.

9.8 *Ring and Latewood Measurement*—When practicable, the number of rings per inch (average ring width in millimetres) and the proportion of summerwood shall be measured over a representative inch (centimetre) of cross section of the test specimen. In determining the proportion of summerwood, it is essential that the end surface be prepared so as to permit accurate latewood measurement. When the fibers are broomed over at the ends from sawing, a light sanding, planing, or similar treatment of the ends is recommended.

10. Impact Bending

10.1 *Size of Specimens*—The impact bending tests shall be made on 2 by 2 by 30 in. (50 by 50 by 760 mm) specimens. The actual height and width at the center and the length shall be measured (see 22.2).

10.2 *Loading and Span*—Use center loading and a span length of 28 in. (710 mm).

10.3 *Bearing Block*—A metal tup of curvature corresponding to the bearing block shown in Fig. 4 shall be used in applying the load.

10.4 *Placement of Growth Rings*—The specimen shall be placed so that the load will be applied through the bearing block to the tangential surface nearest the pith.

10.5 *Procedure*—Make the tests by increment drops in a Hatt-Turner or similar impact machine (see Fig. 11). The first drop shall be 1 in. (25 mm), after which increase the drops by 1 in. increments until a height of 10 in. (250 mm) is reached. Then use a 2 in. (50 mm) increment until complete failure occurs or a 6 in. (150 mm) deflection is reached.

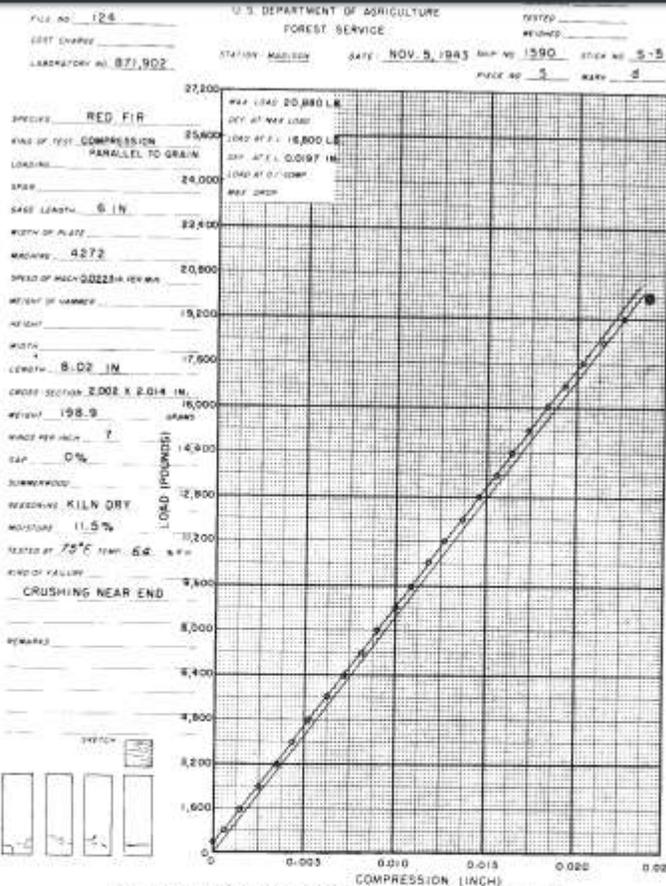


FIG. 7 Sample Data Sheet for Compression-Parallel-to-Grain Test

10.6 *Weight of Hammer*—A 50 lbf (22.5 kg) hammer shall be used when, with drops up to the capacity of the machine (about 68 in. (1.7 m) for the small Hatt-Turner impact machine), it is practically certain that complete failure or a 6 in. (150 mm) deflection will result for all specimens of a species. For all other cases, a 100 lbf (45 kg) hammer shall be used.

10.7 *Deflection Records*—When desired, graphical drum records (Note 5) giving the deflection for each drop and the set, if any, shall be made until the first failure occurs. This record will also afford data from which the exact height of drop can be scaled for at least the first four falls.

Note 5—See Fig. 12 for a sample drum record.

10.8 *Drop Causing Failure*—The height of drop causing either complete failure or a 6 in. (150 mm) deflection shall be observed for each specimen.

10.9 *Description of Failure*—The failure shall be sketched on the data sheet (Note 6) and described in accordance with the directions for static bending in 8.7.

Note 6—See Fig. 13 for a sample impact bending data sheet form. Fig. 14 shows a sample data and computation card.

10.10 *Weight and Moisture Content*—See 8.8.

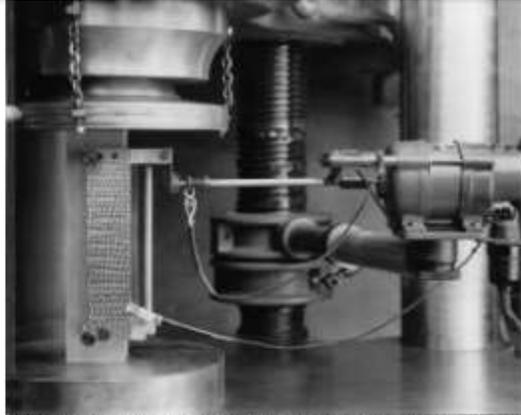


FIG. 8 Compression-Parallel-to-Grain Test Assembly Using an Automatic Type of Compressometer to Measure Deformations (The wire in the lower right-hand corner connects the compressometer with the recording unit.)



FIG. 9 Compression-Parallel-to-Grain Test Assembly Showing Method of Measuring Deformations by Means of Roller-Type Compressometer

11. Toughness

11.1 A single-blow impact test on a small specimen is recognized as a valuable and desirable test. Several types of machines such as the Toughness, Izod and Amsler have been used, but insufficient information is available to decide whether one procedure is superior to another, or whether the results by the different methods can be directly correlated. If the Toughness machine is used, the following procedure has been found

satisfactory. To aid in standardization and to facilitate comparisons, the size of the toughness specimen has been made equal to that accepted internationally.

11.2 *Size of Specimen*—The toughness tests shall be made on 0.79 by 0.79 by 11 in. (20 by 20 by 280 mm) specimens. The actual height and width at the center and the length shall be measured (see 22.2).

11.3 *Loading and Span*—Center loading and a span length of 9.47 in. (240 mm) shall be used. The load shall be applied to a radial or tangential surface on alternate specimens.

11.4 *Bearing Block*—An aluminum tup (Fig. 15) having a radius of $\frac{3}{8}$ in. (19 mm) shall be used in applying the load.

11.5 *Apparatus and Procedure*—Make the tests in a pendulum type toughness machine (Note 7) (See Fig. 15). Adjust the machine before test so that the pendulum hangs vertically, and adjust it to compensate for friction. Adjust the cable so that the load is applied to the specimen when the pendulum swings to 15° from the vertical, so as to produce complete failure by the time the downward swing is completed. Choose the weight position and initial angle (30 , 45 , or 60°) of the pendulum, so that complete failure of the specimen is obtained on one drop. Most satisfactory results are obtained when the difference between the initial and final angle is at least 10° .

Note 7—Many pendulum-type toughness machines are based on a design developed and used at the USDA Forest Products Laboratory in Madison, Wisconsin.

11.6 *Calculation*—The initial and final angle shall be read to the nearest 0.1° by means of the vernier (Fig. 15) attached to the machine (Note 8).

Note 8—See Fig. 16 for sample data and computation sheet for the toughness test.

The toughness shall then be calculated as follows:

$$T = wL(\cos A_2 - \cos A_1) \quad (1)$$

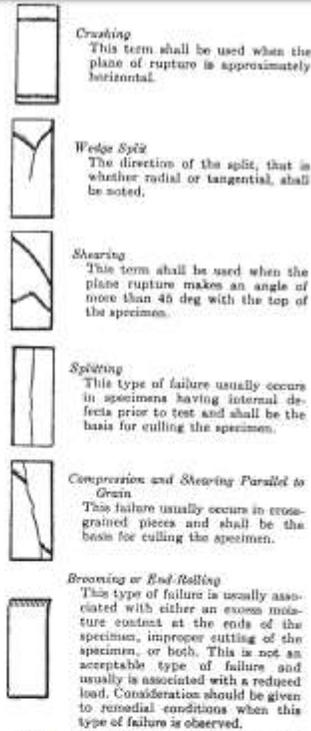


FIG. 10 Types of Failures in Compression

where:

- T = toughness (work per specimen, in. · lbf (Nm),
- w = weight of pendulum, lbf (N),
- L = distance from center of the supporting axis to center of gravity of the pendulum, in. (m),
- A_1 = initial angle (Note 9), degrees, and
- A_2 = final angle the pendulum makes with the vertical after failure of the test specimen, degrees.

NOTE 9—Since friction is compensated for in the machine adjustment, the initial angle may be regarded as exactly 30, 45, or 60°, as the case may be.

11.7 *Weight and Moisture Content*—The specimen shall be weighed immediately before test, and after test a moisture section approximately 2 in. (50 mm) in length shall be cut from the specimen near the failure (see 21.1 and 22.1).

12. Compression Perpendicular to Grain

12.1 *Size of Specimens*—The compression-perpendicular-to-grain tests shall be made on 2 by 2 by 6 in. (50 by 50 by 150 mm) specimens. The actual height, width, and length shall be measured (see 22.2).



FIG. 11 Hatt-Turner Impact Machine, Illustrating Method of Conducting Impact Bending Test



FIG. 12 Sample Drum Record of Impact Bending Test

12.2 *Loading*—The load shall be applied through a metal bearing plate 2 in. (50 mm) in width, placed across the upper surface of the specimen at equal distances from the ends and at right angles to the length (Fig. 17). The actual width of the bearing plate shall be measured (see 22.2).

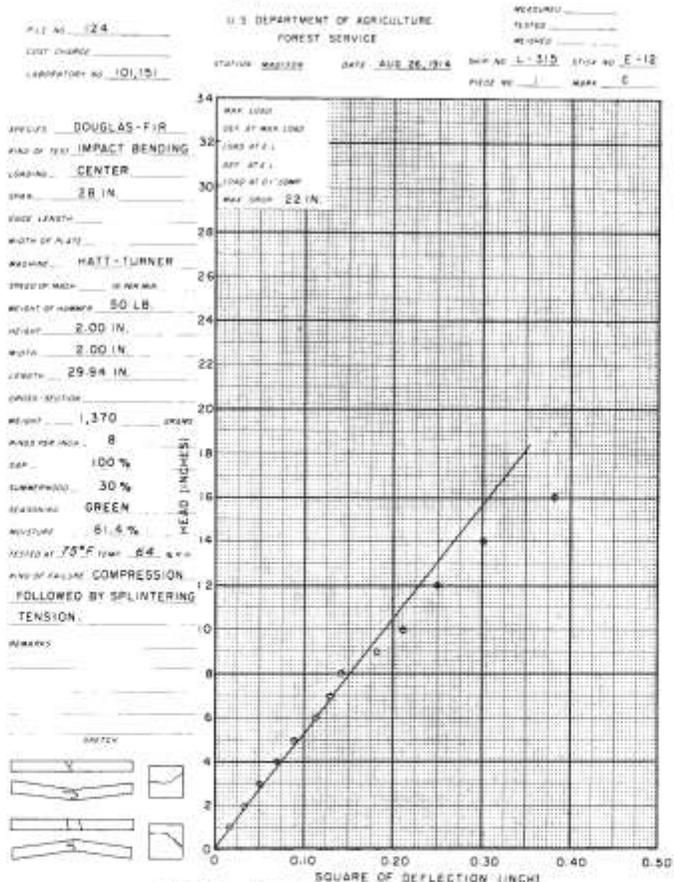


FIG. 13 Sample Data Sheet for Impact Bending Test

12.3 *Placement of Growth Rings*—The specimens shall be placed so that the load will be applied through the bearing plate to a radial surface.

12.4 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.012 in. (0.305 mm)/min (see 22.3).

12.5 *Load-Compression Curves*:
12.5.1 Load-compression curves (Note 10) shall be taken for all specimens up to 0.1 in. (2.5 mm) compression, after which the test shall be discontinued. Compression shall be measured between the loading surfaces.

Note 10—See Fig. 18 for a sample compression-perpendicular-to-grain data sheet form.

12.5.2 Deflection readings shall be taken to 0.0001 in. (0.002 mm).

12.6 *Weight and Moisture Content*—The specimen shall be weighed immediately before test, and after test a moisture section approximately 1 in. (25 mm) in length shall be cut adjacent to the part under load (see 21.1 and 22.1).

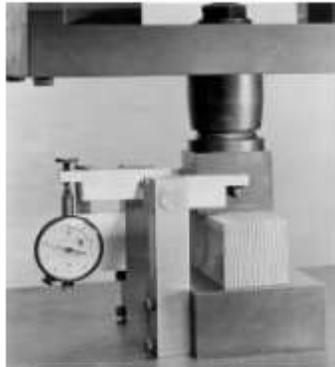


FIG. 17 Compression-Perpendicular-to-Grain Test Assembly Showing Method of Load Application and Measurement of Deformation by Means of Averaging-Type Compressometer

15. Cleavage

15.1 *Size of Specimens*—The cleavage tests shall be made on specimens of the form and size in accordance with Fig. 24. The actual width and length at minimum section shall be measured (see 22.2).

15.2 *Procedure*—The specimens shall be held during test in grips as shown in Figs. 25 and 26. Observe the maximum load only.

15.3 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.10 in. (2.5 mm)/min (see 22.3).

15.4 *Sketch of Failure*—The failure shall be sketched on the data sheet (Note 13).

NOTE 13—See Fig. 27 for a sample data and computation sheet for the cleavage test.

15.5 *Moisture Content*—One of the pieces remaining after failure, or a section split along the surface of failure, shall be used as a moisture specimen (see 21.1 and 22.1).

16. Tension Parallel to Grain

16.1 One method of determining the tension-parallel-to-grain strength of wood is given in the following procedure.

16.2 *Size of Specimens*—The tension-parallel-to-grain tests shall be made on specimens of the size and shape in accordance with Fig. 28. The specimen shall be so oriented that the direction of the annual rings at the critical section on the ends of the specimens, shall be perpendicular to the greater cross-sectional dimension. The actual cross-sectional dimensions at minimum section shall be measured (see 22.2).

16.3 *Procedure*:

16.3.1 Fasten the specimen in special grips (Fig. 29). Deformation shall be measured over a 2 in. (50 mm) central gage length on all specimens. Take load-extension readings until the proportional limit is passed.

16.3.3 Fig. 29 illustrates gripping devices and a type of extensometer that have been found satisfactory.

16.4 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.05 in (1mm)/min (see 22.3).

16.5 *Sketch of Failure*—The failure shall be sketched on the data sheet (Note 14).

NOTE 14—See Fig. 30 for a sample tension-parallel-to-grain data and computation sheet.

16.6 *Moisture Content*—A moisture section about 3 in. (76 mm) in length shall be cut from the reduced section near the failure (see 21.1 and 22.1).

17. Tension Perpendicular to Grain

17.1 *Size of Specimens*—The tension-perpendicular-to-grain tests shall be made on specimens of the size and shape in accordance with Fig. 31. The actual width and length at minimum sections shall be measured (see 22.2).

17.2 *Procedure*—Fasten the specimens during test in grips as shown in Figs. 32 and 33. Observe the maximum load only.

17.3 *Speed of Testing*—The load shall be applied continuously throughout the test at a rate of motion of the movable crosshead of 0.10 in. (2.5 mm)/min (see 22.3).

17.4 *Sketch of Failure*—The failure shall be sketched on the data sheet (Note 15).

NOTE 15—See Fig. 34 for a sample data and computation sheet for the tension-perpendicular-to-grain test.

17.5 *Moisture Content*—One of the pieces remaining after failure or a section split along the surface of failure, shall be used as a moisture specimen (see 21.1 and 22.1).

18. Nail Withdrawal

18.1 *Nails*—Nails used for withdrawal tests shall be 0.0985 in. (2.5 mm) in diameter (Note 16). Bright diamond-point nails shall be used. All nails shall be cleaned before use to remove any coating or surface film that may be present as a result of manufacturing operations. Each nail shall be used once.

NOTE 16—A fivepenny common nail meets this requirement. If difficulty is experienced with high-density woods in pulling the nails without breaking the heads, a sevenpenny cement-coated sinker nail with coating removed by use of a suitable solvent, may be used.

18.2 *Preparation of Specimens*—Nails shall be driven at right angles to the face of the specimen to a total penetration of 1¼ in. (32 mm). Two nails shall be driven on a tangential surface, two on a radial surface, and one on each end. The choice between the two radial and two tangential surfaces shall be such as to give a fair average of the piece. On radial and tangential faces, the nails shall be driven a sufficient distance from the edges and ends of the specimen to avoid splitting. In general, nails should not be driven closer than ¼ in. (19 mm) from the edge or 1½ in. (38 mm) from the end of a piece. The two nails on a radial or tangential face should not be driven in line with each other or less than 2 in. (50 mm) apart.

18.3 *Procedure*—Withdraw all six nails in a single specimen immediately after driving. Fasten the specimens during the test in grips as shown in Figs. 35 and 36. Observe the



FIG. 22 Shear-Parallel-to-Grain Test Assembly Showing Method of Load Application Through Adjustable Seat to Provide Uniform Lateral Distribution of Load

E. Sección E Tabla de Referencia para el uso del deformímetro SICK modelo UP56-211

Load Ring Calibration Certificate

Model: H-4454.020 Serial Number: 3511
 CALIBRATED USING LOAD CELL 556906 CAL. DATE 9/26/2013 | DEFLT = 0.0001 in

<u>LBF</u>	<u>DEFL</u>								
0.0	0.5	200.0	106.5	700.0	374.9	1200.0	648.4	1700.0	926.8
4.0	2.6	210.0	111.8	710.0	380.4	1210.0	653.9	1710.0	932.4
8.0	4.7	220.0	117.1	720.0	385.8	1220.0	659.4	1720.0	938.1
12.0	6.8	230.0	122.4	730.0	391.2	1230.0	665.0	1730.0	943.7
16.0	8.9	240.0	127.8	740.0	396.6	1240.0	670.5	1740.0	949.3
20.0	11.1	250.0	133.1	750.0	402.1	1250.0	676.0	1750.0	954.9
24.0	13.2	260.0	138.4	760.0	407.5	1260.0	681.5	1760.0	960.6
28.0	15.3	270.0	143.8	770.0	412.9	1270.0	687.1	1770.0	966.2
32.0	17.4	280.0	149.1	780.0	418.4	1280.0	692.6	1780.0	971.8
36.0	19.5	290.0	154.4	790.0	423.8	1290.0	698.1	1790.0	977.5
40.0	21.6	300.0	159.8	800.0	429.2	1300.0	703.7	1800.0	983.1
44.0	23.7	310.0	165.1	810.0	434.7	1310.0	709.2	1810.0	988.7
48.0	25.9	320.0	170.5	820.0	440.1	1320.0	714.8	1820.0	994.4
52.0	28.0	330.0	175.8	830.0	445.6	1330.0	720.3	1830.0	1000.0
56.0	30.1	340.0	181.1	840.0	451.0	1340.0	725.9	1840.0	1005.7
60.0	32.2	350.0	186.5	850.0	456.5	1350.0	731.4	1850.0	1011.3
64.0	34.3	360.0	191.8	860.0	461.9	1360.0	737.0	1860.0	1017.0
68.0	36.4	370.0	197.2	870.0	467.4	1370.0	742.5	1870.0	1022.6
72.0	38.6	380.0	202.6	880.0	472.8	1380.0	748.1	1880.0	1028.3
76.0	40.7	390.0	207.9	890.0	478.3	1390.0	753.6	1890.0	1033.9
80.0	42.8	400.0	213.3	900.0	483.7	1400.0	759.2	1900.0	1039.6
84.0	44.9	410.0	218.6	910.0	489.2	1410.0	764.7	1910.0	1045.3
88.0	47.0	420.0	224.0	920.0	494.7	1420.0	770.3	1920.0	1050.9
92.0	49.1	430.0	229.4	930.0	500.1	1430.0	775.9	1930.0	1056.6
96.0	51.3	440.0	234.7	940.0	505.6	1440.0	781.4	1940.0	1062.2
100.0	53.4	450.0	240.1	950.0	511.0	1450.0	787.0	1950.0	1067.9
104.0	55.5	460.0	245.5	960.0	516.5	1460.0	792.6	1960.0	1073.6
108.0	57.6	470.0	250.8	970.0	522.0	1470.0	798.1	1970.0	1079.2
112.0	59.7	480.0	256.2	980.0	527.5	1480.0	803.7	1980.0	1084.9
116.0	61.9	490.0	261.6	990.0	532.9	1490.0	809.3	1990.0	1090.6
120.0	64.0	500.0	267.0	1000.0	538.4	1500.0	814.9	2000.0	1096.3
124.0	66.1	510.0	272.3	1010.0	543.9	1510.0	820.4	2010.0	1102.0
128.0	68.2	520.0	277.7	1020.0	549.4	1520.0	826.0	2020.0	1107.6
132.0	70.4	530.0	283.1	1030.0	554.9	1530.0	831.6	2030.0	1113.3
136.0	72.5	540.0	288.5	1040.0	560.4	1540.0	837.2	2040.0	1119.0
140.0	74.6	550.0	293.9	1050.0	565.8	1550.0	842.8	2050.0	1124.7
144.0	76.7	560.0	299.3	1060.0	571.3	1560.0	848.4	2060.0	1130.4
148.0	78.8	570.0	304.7	1070.0	576.8	1570.0	854.0	2070.0	1136.1
152.0	81.0	580.0	310.1	1080.0	582.3	1580.0	859.5	2080.0	1141.8
156.0	83.1	590.0	315.5	1090.0	587.8	1590.0	865.1	2090.0	1147.5
160.0	85.2	600.0	320.9	1100.0	593.3	1600.0	870.7	2100.0	1153.2
164.0	87.3	610.0	326.3	1110.0	598.8	1610.0	876.3	2110.0	1158.9
168.0	89.5	620.0	331.7	1120.0	604.3	1620.0	881.9	2120.0	1164.6
172.0	91.6	630.0	337.1	1130.0	609.8	1630.0	887.5	2130.0	1170.3
176.0	93.7	640.0	342.5	1140.0	615.3	1640.0	893.2	2140.0	1176.0
180.0	95.8	650.0	347.9	1150.0	620.8	1650.0	898.8	2150.0	1181.7
184.0	98.0	660.0	353.3	1160.0	626.3	1660.0	904.4	2160.0	1187.4
188.0	100.1	670.0	358.7	1170.0	631.8	1670.0	910.0	2170.0	1193.1
192.0	102.2	680.0	364.1	1180.0	637.4	1680.0	915.6	2180.0	1198.8
196.0	104.4	690.0	369.5	1190.0	642.9	1690.0	921.2	2190.0	1204.5

Humboldt Mfg. Co., 3801 North 25th Ave, Schiller Park, IL 60176
 1.800.537.4183 - 1.919.832.6509 - 1.919.833.5283 (fax) - hsi@humboldtmfg.com - www.humboldtmfg.com

Certificate #: 02102014122112 Page 3 of 5

Load Ring Calibration Certificate

Model: H-4454.020 Serial Number: 3511

CALIBRATED USING LOAD CELL 556906 CAL. DATE 9/26/2013 1 DEFLT = 0.001 mm

KN	DEFL	KN	DEFL	KN	DEFL	KN	DEFL	KN	DEFL
0.000	1.2	0.889	270.5	3.111	952.4	5.334	1646.9	7.556	2354.1
0.018	6.6	0.933	284.0	3.156	966.1	5.378	1660.9	7.601	2368.4
0.036	12.0	0.978	297.5	3.200	979.9	5.423	1675.0	7.645	2382.7
0.053	17.3	1.022	311.0	3.245	993.7	5.467	1689.0	7.690	2397.0
0.071	22.7	1.067	324.5	3.289	1007.5	5.512	1703.0	7.734	2411.3
0.089	28.1	1.111	338.1	3.334	1021.3	5.556	1717.1	7.779	2425.6
0.107	33.4	1.156	351.6	3.378	1035.0	5.601	1731.1	7.823	2439.9
0.124	38.8	1.200	365.2	3.423	1048.8	5.645	1745.2	7.867	2454.2
0.142	44.2	1.245	378.7	3.467	1062.6	5.689	1759.2	7.912	2468.5
0.160	49.5	1.289	392.3	3.511	1076.5	5.734	1773.3	7.956	2482.8
0.178	54.9	1.333	405.8	3.556	1090.3	5.778	1787.4	8.001	2497.1
0.196	60.3	1.378	419.4	3.600	1104.1	5.823	1801.4	8.045	2511.4
0.213	65.7	1.422	433.0	3.645	1117.9	5.867	1815.5	8.090	2525.7
0.231	71.0	1.467	446.5	3.689	1131.7	5.912	1829.6	8.134	2540.1
0.249	76.4	1.511	460.1	3.734	1145.6	5.956	1843.7	8.179	2554.4
0.267	81.8	1.556	473.7	3.778	1159.4	6.001	1857.8	8.223	2568.8
0.284	87.2	1.600	487.3	3.823	1173.3	6.045	1871.9	8.267	2583.1
0.302	92.5	1.645	500.9	3.867	1187.1	6.089	1886.0	8.312	2597.5
0.320	97.9	1.689	514.5	3.911	1201.0	6.134	1900.1	8.356	2611.8
0.338	103.3	1.734	528.1	3.956	1214.8	6.178	1914.2	8.401	2626.2
0.356	108.7	1.778	541.7	4.000	1228.7	6.223	1928.3	8.445	2640.6
0.373	114.1	1.822	555.3	4.045	1242.5	6.267	1942.4	8.490	2654.9
0.391	119.4	1.867	568.9	4.089	1256.4	6.312	1956.5	8.534	2669.3
0.409	124.8	1.911	582.6	4.134	1270.3	6.356	1970.7	8.579	2683.7
0.427	130.2	1.956	596.2	4.178	1284.2	6.401	1984.8	8.623	2698.1
0.444	135.6	2.000	609.8	4.223	1298.1	6.445	1999.0	8.668	2712.5
0.462	141.0	2.045	623.5	4.267	1312.0	6.490	2013.1	8.712	2726.9
0.480	146.4	2.089	637.1	4.312	1325.9	6.534	2027.2	8.756	2741.3
0.498	151.8	2.134	650.8	4.356	1339.8	6.578	2041.4	8.801	2755.7
0.516	157.1	2.178	664.4	4.400	1353.7	6.623	2055.6	8.845	2770.1
0.533	162.5	2.222	678.1	4.445	1367.6	6.667	2069.7	8.890	2784.5
0.551	167.9	2.267	691.8	4.489	1381.5	6.712	2083.9	8.934	2799.0
0.569	173.3	2.311	705.4	4.534	1395.4	6.756	2098.1	8.979	2813.4
0.587	178.7	2.356	719.1	4.578	1409.4	6.801	2112.3	9.023	2827.8
0.605	184.1	2.400	732.8	4.623	1423.3	6.845	2126.5	9.068	2842.3
0.622	189.5	2.445	746.5	4.667	1437.2	6.890	2140.6	9.112	2856.7
0.640	194.9	2.489	760.2	4.712	1451.2	6.934	2154.8	9.156	2871.2
0.658	200.3	2.534	773.9	4.756	1465.1	6.978	2169.0	9.201	2885.6
0.676	205.7	2.578	787.6	4.800	1479.1	7.023	2183.3	9.245	2900.1
0.693	211.1	2.622	801.3	4.845	1493.0	7.067	2197.5	9.290	2914.5
0.711	216.5	2.667	815.0	4.889	1507.0	7.112	2211.7	9.334	2929.0
0.729	221.8	2.711	828.7	4.934	1521.0	7.156	2225.9	9.379	2943.5
0.747	227.2	2.756	842.4	4.978	1534.9	7.201	2240.1	9.423	2958.0
0.765	232.6	2.800	856.1	5.023	1548.9	7.245	2254.4	9.468	2972.5
0.782	238.0	2.845	869.9	5.067	1562.9	7.290	2268.6	9.512	2986.9
0.800	243.4	2.889	883.6	5.112	1576.9	7.334	2282.8	9.556	3001.4
0.818	248.8	2.934	897.3	5.156	1590.9	7.379	2297.1	9.601	3015.9
0.836	254.2	2.978	911.1	5.201	1604.9	7.423	2311.3	9.645	3030.4
0.853	259.7	3.023	924.8	5.245	1618.9	7.467	2325.6	9.690	3045.0
0.871	265.1	3.067	938.6	5.289	1632.9	7.512	2339.9	9.734	3059.5

Humboldt Mfg. Co., 3801 North 25th Ave, Schiller Park, IL 60176
 1.800.537.4183 - 1.919.832.6509 - 1.919.833.5283 (fax) - hsi@humboldtmfg.com - www.humboldtmfg.com

Certificate #: 0210201412 112 Page 4 of 5

F. Sección F. Tabla 2.4 del Eurocódigo 5

Table 2.4 Values of k_{mod}^*

Material – standard	Service class	Load-duration class of action				
		Permanent	Long term	Medium term	Short term	Instantaneous
Solid timber – EN 14081-1 [11]	1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
Glued-laminated timber – EN 14080 [12]	2	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
Laminated veneered lumber (LVL) – BS EN 14374 [13] or EN 14279 [14]	3	0.50	0.55	0.65	0.70	0.90
Plywood – BS EN 636						
Parts: 1 [15], 2 [16] and 3 [17]	1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
Parts: 2 [16] and 3 [17]	2	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
Part: 3 [17]	3	0.50	0.55	0.65	0.70	0.90
OSB – BS EN 300 [18], Board type:						
OSB/2	1	0.30	0.45	0.65	0.85	1.10
OSB/3 and/4	1	0.40	0.50	0.70	0.90	1.10
OSB/3 and/4	2	0.30	0.40	0.55	0.70	0.90

* Based on values given in Table 3.1 of EC5.

G. Sección F. Tabla 2.4 del Eurocódigo 5

Tabla 2.3
Coeficientes parciales recomendados γ_M para las propiedades del material y las resistencias

Combinaciones fundamentales:	
Madera maciza	1,3
Madera laminada encolada	1,25
LVL, tablero contrachapado, OSB,	1,2
Tablero de partículas	1,3
Tablero de fibras, duro	1,3
Tablero de fibras, medio	1,3
Tablero de fibras, MDF	1,3
Tablero de fibras, blando	1,3
Uniones	1,3
Herrajes de placas dentadas	1,25
Combinaciones accidentales	1,0