

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Caracterización de las propiedades mecánicas de madera
natural y clonada de “*Tectona grandis*” para el uso en el sector
de construcción en Guatemala**

Trabajo de graduación presentado por Jackeline Marie Juárez Cruz para
optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Civil

Guatemala

2020

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Caracterización de las propiedades mecánicas de madera natural y clonada de “*Tectona grandis*” para el uso en el sector de construcción en Guatemala

Trabajo de graduación presentado por Jackeline Marie Juárez Cruz para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería Civil

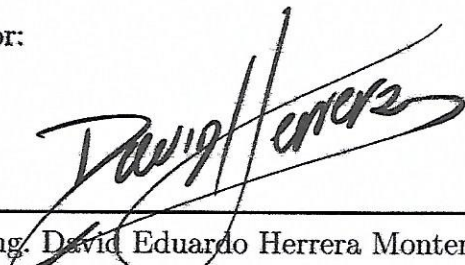
Guatemala


2020

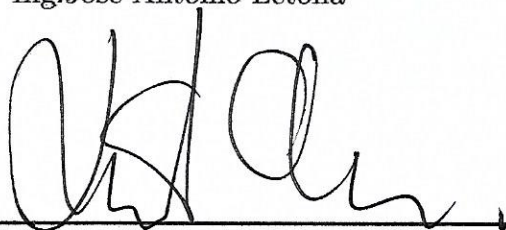
Vo.Bo.:

(f) 
Ing. David Eduardo Herrera Monterroso

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. David Eduardo Herrera Monterroso

(f) 
Ing. José Antonio Letona

(f) 
MSc. Roberto Godo Levensen

Fecha de aprobación: Guatemala, 19 de NOVIEMBRE de 2020.

La elaboración de esta tesis ha sido posible gracias al apoyo del departamento de Ingeniería Civil de la Universidad del Valle de Guatemala.

Quiero agradecer, en primer lugar, al personal de laboratorio de ingeniería civil, el señor Jairo Noé Reyes Herrera por su tiempo, asesoría y apoyo en los laboratorios de materiales I y II. En segundo lugar al Ing. David Herrera quien estuvo como guía durante el proceso de la elaboración de tesis y asesoramiento en la misma. En tercer lugar agradecer a MBA. Ing. Roberto Godo por una oportunidad tan única de trabajar con madera y apoyar proyectos que tengan impacto.

En el plano personal, quisiera agradecer a aquellas personas que me han acompañado durante todo este tiempo. Mis padres, Sonia y Oscar, quienes hicieron este sueño posible, gracias a su arduo esfuerzo y el acompañarme hasta el final; en segundo lugar a mi hermana, por esos consejos y desvelos durante el proceso de tesis; y finalmente a mis amigos, a lo largo de nuestras carreras, cada día, a Laura, Kelly, Nolan, Zenia, Yasmin e Isabel, por estar a mi lado durante la universidad y a la distancia durante el proceso de la tesis.

Prefacio	v
Lista de figuras	XII
Lista de cuadros	XIII
Resumen	XV
Abstract	XVII
1. Introducción	1
2. Justificación	3
3. Objetivos	5
3.1. Objetivo general	5
3.2. Objetivos específicos	5
4. Marco teórico	7
4.1. Madera	7
4.1.1. Características de la madera	7
4.1.2. Uso de la madera	11
4.1.3. Tipos de maderas	13
4.1.4. Propiedades físicas de la madera	14
4.1.5. Propiedades mecánicas de la madera	16
4.1.6. Factores externos que afectan las propiedades de la madera	17
4.1.7. Control de envejecimiento de la madera	18
4.1.8. Tratamientos químicos	20
4.1.9. Tratamientos térmicos	21
4.2. Madera Teca	22
4.2.1. Tratamientos para madera Teca	24
4.2.2. Cultivos de Teca en Guatemala	25
4.2.3. Demanda de Teca a nivel mundial	26

4.3. Pino Candelillo Guatemalteco	27
4.4. Pino Amarillo Americano	29
4.5. Clonación de maderas	30
4.5.1. Clonación de madera Teca	30
4.6. Marco tectónico de Guatemala	31
4.7. Manejo forestal sostenible	32
4.8. Madera como material sostenible	33
4.8.1. Captura y almacenamiento de carbono	33
4.8.2. Bajo uso de energía	34
4.8.3. Renovable	34
4.8.4. Mantenimiento fácil y durable	34
4.8.5. Belleza estética y gran versatilidad	34
4.8.6. Simple y rápido armado	34
4.8.7. Aislamiento térmico	35
4.8.8. Es reciclable	35
4.8.9. No tóxica	35
4.8.10. Hábitats preciosos	35
4.9. Ensayo de madera	36
4.9.1. Planos de corte	36
4.9.2. Ensayo de flexión estática	37
4.9.3. Ensayo de compresión paralela al grano	38
4.9.4. Ensayo de compresión perpendicular al grano	39
4.9.5. Ensayo de dureza	39
4.9.6. Ensayo de corte paralelo al grano	40
4.9.7. Ensayo de tensión paralelo al grano	40
4.9.8. Normativa europea	40
5. Marco metodológico	43
5.1. Etapa de recopilación de información	43
5.2. Etapa de creación de muestras	43
5.3. Etapa de ensayos de muestras	44
5.3.1. Prueba de flexión estática	44
5.3.2. Prueba de compresión paralela al grano	46
5.3.3. Prueba de compresión perpendicular al grano	48
5.3.4. Prueba de dureza	49
5.3.5. Prueba de tracción paralela al grano	52
5.3.6. Prueba de corte	53
5.3.7. Prueba de densidad	55
6. Resultados	57
6.1. Resultados promedio de las pruebas de laboratorio para madera <i>Tectona Grandis</i>	57
6.2. Resultados percentil 5 de las pruebas de laboratorio para madera <i>Tectona Grandis</i>	59
6.3. Diseño de tabla para propiedades mecánicas de la madera natural y clonada de <i>Tectona Grandis</i>	59
6.4. Cuadro comparativo de madera Teca contra maderas del mercado	60

Lista de figuras

1. Árbol de " <i>Tectona Grandis</i> "	23
2. Mapa de distribución de plantaciones de " <i>Tectona Grandis</i> " en Guatemala	26
3. Placas tectónicas de Guatemala	32
4. Planos y caras de la madera	36
5. Tipo de fallas en flexión estática	37
6. Tipo de fallas en compresión paralela al grano	38
7. Tabla 1.3: Propiedades de resistencia y rigidez, valores de densidad para clases de resistencia de madera estructural (de acuerdo con la tabla 1 de BS EN 338:2003)	42
8. Medidas de prueba a flexión (sin escala)	44
9. Montaje de prueba a flexión	44
10. Viga a flexión sobre dos soportes y una carga puntual	46
11. Medidas de prueba a compresión paralela al grano (sin escala)	46
12. Montaje de prueba a compresión paralela al grano	47
13. Medidas de prueba a compresión perpendicular al grano (sin escala)	48
14. Montaje de prueba a compresión perpendicular al grano	48
15. Medidas de prueba a dureza (sin escala)	50
16. Montaje de prueba de dureza	50
17. Parámetros para el cálculo de L	51
18. Medidas de prueba a tensión paralelo al grano (sin escala)	52
19. Montaje de prueba de tracción paralela al grano	53
20. Medidas de prueba a corte (sin escala)	54
21. Montaje de prueba de corte	54
22. Montaje de prueba de densidad	56
23. Falla prueba a flexión Teca natural muestras 1 a 5	77
24. Falla prueba a flexión Teca natural muestras 6 a 10	77
25. Falla prueba a flexión Teca clonada muestras 1 a 5	78
26. Falla prueba a flexión Teca clonada muestras 6 a 10	78
27. Falla prueba a compresión paralela Teca natural muestras 1 a 5	78
28. Falla prueba a compresión paralela Teca natural muestras 6 a 10	79
29. Falla prueba a compresión paralela Teca clonada muestras 1 a 5	79

30. Falla prueba a compresión paralela Teca clonada muestras 6 a 10	79
31. Falla prueba a corte cara radial Teca natural	80
32. Falla prueba a corte cara tangencial Teca natural	80
33. Falla prueba a corte cara radial Teca clonada	80
34. Falla prueba a corte cara tangencial Teca clonada	80
35. Falla prueba dureza en cara transversal, radial y tangencial de Teca natural	81
36. Falla prueba dureza en cara transversal, radial y tangencial de Teca clonada	81
37. Falla prueba tracción paralela al grano de Teca natural vista frontal	82
38. Falla prueba tracción paralela al grano de Teca natural vista trasera	82
39. Falla prueba tracción paralela al grano de Teca clonada vista frontal	83
40. Falla prueba tracción paralela al grano de Teca clonada vista trasera	83
41. Gráfica de carga y deformación pruebas a flexión	125
42. Gráfica de módulo de elasticidad a flexión	126
43. Gráfica de carga y deformación pruebas a compresión paralela a la fibra	127
44. Gráfica de módulo de elasticidad a compresión paralela a la fibra	127
45. Gráfica de carga y deformación pruebas a compresión perpendicular a la fibra	128
46. Gráfica de módulo de elasticidad 90° a compresión perpendicular a la fibra	129
47. Gráfica de dureza promedio	129
48. Gráfica de corte promedio	130
49. Gráfica de densidad característica promedio	131
50. Comparación entre madera <i>Tectona grandis</i> natural contra coníferas del Eurocódigo 5	133
51. Comparación entre madera <i>Tectona grandis</i> natural contra caducifolias del Eurocódigo 5	133
52. Comparación entre madera <i>Tectona grandis</i> clonada contra coníferas del Eurocódigo 5	134
53. Comparación entre madera <i>Tectona grandis</i> clonada vs caducifolias del Eurocódigo 5	134

Lista de cuadros

1. Área bajo plantaciones de Teca en el mundo	27
2. Volúmenes de Teca en troza desembarcado en puerto de Kandla, India (2009-2010)	27
3. Propiedades mecánicas del Pino Candelillo Guatemalteco	28
4. Propiedades mecánicas del Southern Pine según BS EN 4978:1996	29
5. Clasificación de la madera según su dureza	39
6. Promedio de datos prueba a flexión para madera natural y clonada	57
7. Promedio de datos prueba a compresión paralela al grano para madera natural y clonada	57
8. Promedio de prueba a compresión perpendicular al grano para madera natural y clonada	57
9. Promedio de datos prueba dureza para madera natural y clonada	58
10. Promedio de datos pruebas a corte para madera natural y clonada	58
11. Promedio de datos prueba densidad para madera natural y clonada	58
12. Promedio de datos prueba tracción paralela al grano para madera natural y clonada	58
13. Percentil 5 para pruebas de madera natural y clonada	59
14. Propiedades mecánicas de la madera <i>Tectona Grandis</i> natural	59
15. Propiedades mecánicas de la madera <i>Tectona Grandis</i> clonada	60
16. Comparación de propiedades mecánicas para maderas comerciales	60
17. Datos promedio prueba a flexión para madera natural y clonada	125
18. Datos promedio prueba a compresión paralela al grano para madera natural y clonada	126
19. Promedio pruebas a compresión perpendicular al grano para madera natural y clonada	128
20. Datos prueba a corte para madera natural y clonada	130
21. Datos promedio pruebas a tracción paralela al grano para madera natural y clonada	131
22. Resultados por pruebas de laboratorio vs fórmulas Eurocódigo madera natural	132
23. Resultados por pruebas de laboratorio vs fórmulas Eurocódigo madera clonada	132

El presente trabajo de graduación tiene como objeto realizar una clasificación de las propiedades de la madera natural y clonada de "*Tectona grandis*" proveniente de los bosques de Petén. Para cumplir dicho objetivo se realizaron ensayos de laboratorio, según la normativa ASTM D143-14 para obtener las propiedades mecánicas de la madera natural y clonada. Las pruebas mecánicas se realizaron en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad del Valle de Guatemala. Las variables de respuesta fueron: densidad, dureza, esfuerzo de compresión paralela y perpendicular a la fibra, flexión estática y esfuerzo a corte. Según los resultados obtenidos se realizó una comparación entre la madera de Pino Amarillo del Sur de Estados Unidos y el Pino maximinoi H.E Moore de Guatemala; y se catalogó la madera natural con respecto a la clase resistente según la clasificación del eurocódigo. Se concluye que la madera clonada tiene valores característicos de resistencia mayores a la natural, pero menores en rigidez y densidad. Sin embargo se debe de tomar el tiempo de crecimiento de ambas maderas ya que influye en los valores de rigidez y densidad. Además que entre la comparativa de maderas, la Teca tiene mejores valores de resistencia, se adecua de mejor forma ante factores bióticos y abióticos lo que le da una ventaja por encima de ambos pinos, tanto en resistencia como en durabilidad.

This research aims to classify the properties of the natural and cloned wood of *Tectona grandis* from the forest in Peten. To complete this objective it is necessary to carry out laboratory testing in accordance with ASTM D143-14 to be able to obtain the mechanical properties of these types of wood. The testing were performed in the Materials Resistance Laboratory of the Civil Engineering Department at the Universidad del Valle de Guatemala. The variables were: density, hardness, parallel and perpendicular compression stress with the grain, static flex and shear stress. With the results a comparison was made between the wood of Southern Yellow Pine of the United States and the Maximinoi H.E. Moore Pine of Guatemala; and the natural wood was cataloged according to the resistance class in the Eurocode classification. In conclusion the clonated Teak wood has better characteristic strength properties than natural Teak wood, but lower stiffness properties and density. However, the growth time of both woods must be taken in to consideration since this influences the density and stiffness properties. In addition to the fact that among the comparative woods, Teak has better strength properties, it's better adapted to biotic and abiotic factors which gives it an advantage over both pines, in terms of resistance and durability.

Guatemala está ubicada en una zona tropical, llena de bosques y localizada entre tres diferentes placas tectónicas. Actualmente, se emplea mampostería, concreto y acero en el campo de la construcción, debido a que se conocen sus propiedades y su comportamiento sísmico. Sin embargo, son materiales contaminantes que pueden reemplazarse por opciones más amigables con el medio ambiente, como la madera. La madera "*Tectona grandis*", también conocida como "Teca", es una de las maderas exóticas más cultivadas en el país para venta de la misma, posee excelentes propiedades para la construcción y resistencia a cambios climáticos. En el país se maneja Teca natural y la madera Teca que ha sufrido modificaciones genéticas y/o adaptaciones en semilla.

El presente trabajo de graduación busca realizar una clasificación de las propiedades mecánicas de la madera natural y clonada de "*Tectona grandis*" proveniente de Guatemala, con la finalidad de que se emplee en el ámbito de la construcción. Así como, realizar una catalogación para la madera con respecto al código europeo 5 (Eurocódigo 5), para clasificarla dentro de una categoría de las maderas tipo caducifolias, según sus propiedades. Además, se realiza una comparación entre las propiedades mecánicas de la madera "*Tectona grandis*" contra otras maderas como pino amarillo estadounidense y pino guatemalteco, para compararla con maderas industrializadas y utilizadas en construcciones.

Se realizaron las muestras según las especificaciones de la normativa ASTM D143-14, para las piezas a flexión, compresión y densidad; para las otras pruebas se adecuaron los tamaños según el equipo de laboratorio de materiales. Luego se realizaron ensayos de laboratorio, acorde a la normativa ASTM D143-14, para obtener las propiedades mecánicas de la madera natural y clonada. Se seleccionaron los ensayos a realizarse, los cuales fueron ensayo a flexión, corte, dureza, densidad, tracción paralela, compresión paralela y perpendicular al grano. Además, por medio de las pruebas de laboratorio se obtuvo la carga y la deformación de cada prueba, para ser procesado y obtener los esfuerzos, módulos de elasticidad, módulo cortante y densidad de la madera.

Se realizó la clasificación de las propiedades de la madera natural y clonada de "*Tectona grandis*" proveniente de bosques de Petén. Gracias a valores obtenidos de las pruebas de

laboratorio, se catalogó la madera natural de "*Tectona grandis*" como tipo D50 según su clase de resistencia, la cual sobrepasa algunos valores del mismo respecto al Eurocódigo 5, sin embargo los valores de rigidez son 1.5 veces menores. Así mismo, se realizó la comparación entre las propiedades mecánicas de la madera "*Tectona grandis*" natural contra el pino candelillo y pino amarillo del sur y se obtuvo como resultado que, la madera Teca, tiene propiedades de resistencia y densidad mayores a la de los pinos, pero el módulo de elasticidad paralelo y quinto percentil es menor a ambos pinos.

Guatemala está ubicada en una zona tropical, llena de bosques lo que le proporciona un clima extraordinario y abundantes recursos hídricos. Actualmente, la industria de la producción de madera ha aumentado en el país. De enero a septiembre de 2018 se llegaron a vender alrededor de 45 millones de dólares solo en exportación de maderas y sus manufacturas (C. A. Data, 2019).

A pesar del aumento de ventas en la exportación de madera, es raro que en Guatemala se construya en madera debido a la poca investigación de la misma. El sector de la construcción se encuentra regido por materiales con propiedades que no varían drásticamente y que tienen pruebas que los respaldan en su resistencia, pero que son muy contaminantes al medio ambiente. Es por esto que, con una mayor investigación de productos naturales como la madera, podría brindar comodidad a los ingenieros y arquitectos para que los mismos puedan llegar a realizar construcciones más verdes, donde la huella de carbono llegue a ser casi nula, ayudando así al ambiente.

El país cuenta con las condiciones necesarias para el desarrollo de especies forestales nativas y especies exóticas, con el fin de la comercialización de las mismas a precios razonables (I. N. de Bosques, 2014). Sin embargo, hay diferentes tipos de madera en el mercado guatemalteco y muchas de las mismas no tienen una investigación propia de sus propiedades. Adicionalmente, si se realizan investigaciones muchas veces no son publicadas, lo cual dificulta el traslado de información.

La “*Tectona grandis*”, también conocida como “Teca”, es una de las maderas cultivadas en el país para venta de la misma, con buenas propiedades para la construcción y resistencia a cambios climáticos. Por tanto, la presente investigación busca el realizar una clasificación de las propiedades mecánicas de la madera natural y clonada de “*Tectona grandis*” proveniente de Guatemala, la cual pueda ser utilizada por diferentes personas en el ámbito de la construcción. Además de realizar una catalogación para la madera con respecto al código europeo y una comparación con otras maderas del mercado como pino amarillo estadounidense y pino guatemalteco.

3.1. Objetivo general

Realizar una clasificación de las propiedades de la madera natural y clonada de “*Tectona grandis*” proveniente de los bosques de Petén.

3.2. Objetivos específicos

- Realizar ensayos de laboratorio para conocer las propiedades mecánicas de la madera natural y clonada para la clasificación de las mismas según normativa europea.
- Diseñar una tabla de valores característicos para ambas maderas tomando como base las tablas de propiedades mecánicas según Eurocódigo 5.
- Catalogar la madera natural de “*Tectona grandis*” con respecto a la clase resistente según clasificación de Eurocódigo.
- Realizar una comparación entre las propiedades mecánicas de la madera “*Tectona grandis*” contra otras maderas como pino amarillo estadounidense y pino guatemalteco.

4.1. Madera

Esta se puede obtener de los troncos de los árboles debajo de la corteza del mismo, también se puede obtener de arbustos. La madera es uno de los materiales más viejos utilizados por el ser humano. Tiene diferentes usos como fabricación de armas, calzado, construcción, energía, muebles, entre otros (Sánchez, J., 2018).

Para obtener la madera, de primero se debe seleccionar el árbol a utilizar, dependiendo de la dureza que se necesite de la misma. Después, se tala el árbol, se cortan las ramas del mismo y pasa por un proceso de corte de la corteza. Luego de esto el tronco se corta en diferentes piezas y se trocea, una vez terminado, se extrae la madera para poder tratarla por medio de químicos según el uso que se le vaya a dar (Sánchez, J., 2018).

La madera es uno de los materiales más verdes en la construcción, ya que es una alternativa que ayuda al ambiente, por medio de su reducción de consumo de energía. La madera es eficiente, duradera y servible para diferentes campos de la construcción, desde la creación de casas y estructuras, hasta la aplicación en acabados y muebles. Además de que esta tiene la huella de carbono más baja en los materiales de construcción, gracias a que los árboles durante el proceso de crecimiento generan aire y al momento de ser utilizados para construir tienen CO₂ atrapado en el árbol por lo que no es liberado a la atmósfera (F. P. Laboratory, 2010).

4.1.1. Características de la madera

Debido a que la madera es un material variable en su estructura y tiene varias características naturales o defectos que pueden darse durante el período de crecimiento del árbol o en el proceso de endurecimiento y maduración del mismo, puede llegar a presentar diferentes variables las cuales afectan la madera:

Nudos

Es uno de los defectos naturales más comunes en la madera ya que los nudos son las partes de las ramas que quedan rodeadas por la madera del tronco. Normalmente se presenta en nudo sano, nudo hueco y nudos arracimados. Estos defectos pueden evitarse con una tala adecuada de las ramas, que sea constante para que no generen nudos muertos o arracimados (Martin, C. y et al, 2002).

El nudo sano también conocido como nudo vivo o fijo, es una parte de la rama interconectada con el resto de la madera, la cual no se soltara o aflojara durante el proceso de secado y uso. No tiene ningún deterioro o pudrición y se forma cuando las ramas están vivas y envueltas por el material del tronco. En cambio el nudo muerto también conocido como flojo o hueco, es el nudo que se forma cuando la rama muere y queda un pedazo de corteza dentro del tejido del tronco. Este tipo de nudo puede llegar a aflojarse o caerse al momento del secado, cepillado o el uso de la madera. El nudo arracimado son dos o más nudos agrupados por la desviación de las fibras que lo rodean y alteran el grano de toda la pieza (Martin, C. y et al, 2002).

Grano

Este es la orientación de las fibras de la madera, normalmente se le puede llamar hilo o grano. Esto puede darse debido a la distribución de las fibras durante el crecimiento del árbol o al momento de ser cortado para la creación de trozos. Estas pueden tener diferentes configuraciones como grano recto, inclinado y entrecruzado (Martin, C. y et al, 2002).

El grano recto se considera una ventaja ya que hace a la madera más estable y con una variación menor de las propiedades de la misma. Este tiene el grano de forma recta respecto al eje longitudinal de la pieza de madera. El grano inclinado es considerado como un defecto ya que es una desviación del grano con respecto al eje longitudinal de la pieza. Normalmente este es constante durante el largo de la pieza y puede darse por la forma como fue aserrada o por presencia de nudos en la madera (Martin, C. y et al, 2002).

El grano entrecruzado también es considerado un defecto, esta se da cuando el grano tiene un crecimiento en forma de espiral respecto al eje del árbol. Alternando la dirección de la espiral en las diferentes capas de la madera, ya que en alguna puede presentar orientación hacia la izquierda y en el otro hacia la derecha. Se puede determinar la inclinación del grano por medio de la observación de la cara tangencial y los cantos radiales (Martin, C. y et al, 2002).

Madera de reacción

Es aquella madera que se encuentra en árboles afectados por el aire o la zona donde se encuentran. Depende del tipo de madera así es como se le llama a la reacción. En maderas blandas se le conoce como madera a compresión y en maderas duras como madera a tensión.

La madera a compresión se forma en la parte inferior de las ramas de la madera que se inclina y llega a contener más lignina de la normal. Mientras que la madera a tensión

es formada por los lados superiores de las maderas duras inclinadas y que contienen más celulosa de la normal. Este tipo de madera es más densa que la normal por un 35% en madera a compresión y un 7% en madera a tensión (Porteous, J. y Kermani, A., 2007).

Madera joven o juvenil

Esta madera es la primera madera formada del árbol, donde son los anillos más cercanos a la médula, normalmente son los primeros 5 a 20 anillos del tronco. En las maderas blandas se puede observar una mayor creación de traqueidas axiales, lo que genera un mayor ángulo de la microfibrilla en la capa de la pared. Esto puede ocasionar que al momento de secar la madera se deforme, ahueque o no se tenga control sobre la misma (F. P. Laboratory, 2010).

La morfología de las células puede ser alterada para la resistencia que se le quiere dar, ya que algunas células en vez de ser largas y rectas, pueden ser más cortas o anguladas, dobladas o retorcidas. Las funciones de la madera juvenil en el árbol vivo todavía no se comprenden por completo, pero se cree que brindan cierta ventaja mecánica (F. P. Laboratory, 2010). En general la madera joven tiene una menor resistencia y rigidez que la madera madura.

Densidad y ancho de los anillos anuales

La densidad es una de las características físicas más importantes de la madera que puede llegar a afectar las propiedades de resistencia de la misma. Esta puede reducirse debido a la presencia de resina, extractos o goma que pueden afectar la madera. Sin embargo la densidad es un buen indicador para las propiedades mecánicas de la madera, ya que si la madera tiene una buena densidad, es más probable que la madera sea más resistente y tenga mejores propiedades mecánicas.

Así mismo, el ancho anual del anillo también afecta las propiedades de la resistencia. Un ancho mínimo indica que la madera es más dura, densa y con mejores propiedades debido a la falta de espacios vacíos. Un ancho excesivo en los anillos puede reducir la densidad de la madera, debido al espaciado en los mismos. Es necesario realizar pruebas mecánicas a la madera, para conocer los datos verdaderos de la densidad (Porteous, J. y Kermani, A., 2007).

Conversión de madera

Es la forma en cómo se cortará el tronco para aprovechar la mayor cantidad del mismo. Esto se puede hacer por medio de cálculos computacionales o programas especiales que generan información acerca de cómo cortar el tronco del árbol para aprovechar al máximo el mismo. Dependiendo de la forma y piezas que se quieran, así será el corte del tronco para aprovechar las piezas necesarias.

Luego de esta examinación del tronco, se procede a cortar una de las caras para que la manipulación del mismo sea más sencilla. Luego se corta el tronco con respecto a los cálculos computacionales o el escaneo previo y se dividen las piezas según su tamaño, forma,

área donde se encontraba, entre otros. Se debe de tener en cuenta que éste es un paso muy importante, ya que dependiendo del tipo de corte, así será la resistencia, o problemas que pueda tener la madera (Porteous, J. y Kermani, A., 2007).

Secado

Este es un proceso donde se reduce el contenido de humedad de la madera para que se adecue al porcentaje necesario para el fabricante o vendedor, según su uso o área a utilizar. Existen dos métodos principales los cuales son el secado al aire libre y el secado al horno. Otras técnicas que no son muy comunes incluyen la técnica solar y de microondas. Todos los métodos necesitan que la madera se apile uniformemente, separada alrededor de 25mm para que circule aire entre ellos.

Normalmente, en los extremos de los troncos, se les puede colocar una cubierta o sellador, el cual ayuda a que los extremos no se agrieten rápidamente. Se debe de tomar en cuenta que el secado por aire no permite un contenido de humedad menor al 16-17% en el Reino Unido. En Guatemala, se utiliza el método de hornos y de secado de aire, gracias al clima que se tiene en el país.

El secado en horno se trata de meter la madera o trozos de madera en un ambiente controlado donde circula aire y con un control de humedad para que la madera no llegue a rajarse. Se debe de tomar en cuenta la cantidad a ingresar al horno, la duración del aire, el calor y la humedad según la especie que se esté utilizando, los tamaños de trozas, la cantidad, entre otros aspectos (Porteous, J. y Kermani, A., 2007).

En Guatemala el proceso de secado empieza desde que la madera es transportada al aserradero. En el proceso de secado al aire, se coloca la madera en secciones diferentes debido a su tamaño de grosor del tronco, luego estos se dejan secando al sol durante un mes y medio a dos meses, reduciendo su porcentaje de humedad. Durante este tiempo se les rocía agua para que no se rajen los troncos y se fumigan cada 15 días para evitar plagas de gorgojos. Luego de esto, los troncos son cortados en piezas de diferentes tamaños para aprovechar al máximo el tronco.

Estas piezas son llevadas al horno, por lo que se empieza el proceso de secado a horno. En éste se calienta agua y se vuelve vapor, el cual es distribuido por medio de tuberías a lo largo del horno, ésta agua es tratada con sal de sílice. Los hornos son hechos de block debido a las altas temperaturas a las que están expuestas. Dentro del horno hay ventiladores que expulsan vapor en una dirección, cada 4 horas cambian y trabajan en el sentido opuesto. Dentro de los hornos hay intercambiadores de calor, aspersores, ventilas, sondas y sensores de tiempo real que son controlados desde un programa especializado.

Defectos del secado

Si la madera es secada de forma abrupta, puede llegar a afectar los tablones, ya que estos pueden rajarse de las puntas o en áreas intermedias de las mismas. Además de que la calidad de la madera puede llegar a ser afectada o la madera puede sufrir de quemarse o no sacar todo el limen que contiene la misma. Todos estos defectos pueden llegar a afectar la

resistencia estructural de la pieza, además de la fijación, estabilidad, durabilidad y apariencia terminada.

Grietas y fisuras

Causado por la separación de la fibra a lo largo del grano formando grietas o fisuras que aparecen en una de las caras o al final del grano pero no es necesario que se encuentre en todo el tronco. Esto puede ser una señal de descomposición o pudrimiento de la madera (Porteous, J. y Kermani, A., 2007).

Descomposición por hongos

La pudrición de la madera por hongos puede llegar a debilitar la misma y provocar fracturas en los árboles. Esta es una de las enfermedades más comunes, se le considera una enfermedad debido al deterioro progresivo que le hace a la madera. Robert Harting demostró en 1874 que la pudrición de la madera en árboles vivos es causada por hongos.

Se debe de tomar en cuenta que no todos los hongos degradan de igual forma la madera. Existen tres tipos básicos de pudrición los cuales son blanca, marrón y pudrición blanda. El ataque del hongo debilita la madera, degradando la celulosa y la lignina de las paredes celulares y quitando la lignina entre las células. Se debe de tomar en cuenta que cualquier madera afectada por hongos no puede ser utilizada para construcciones (Luley y Christopher, 2006).

4.1.2. Uso de la madera

Desde la construcción hasta la generación de energía, la madera se utiliza para diferentes aspectos de la vida humana y es de suma importancia para el hombre. En la era del homo sapiens, la madera y troncos de árboles, se utilizaba para la creación de armas, fogatas y refugios. Poco a poco fue creciendo el campo de la misma, ya que hace unos 50 mil años atrás en poblaciones de Nueva Guinea se utilizaba la madera para la fabricación de balsas y barcos. A finales del siglo XIX, la madera fue utilizada para la creación del primer planeador, y a principios del siglo XIX aparecen los primeros aviones creados de madera (Ravira, C., 2012).

Actualmente el uso de la madera es muy variado, ya que cuenta con diferentes áreas donde se emplea la misma; en la construcción sirve para la creación de puentes, casas y muelles. El uso de madera para construcción es principalmente en países desarrollados donde se tiene una mejor información del material. Se debe de tomar en cuenta que la madera también se puede utilizar para la fabricación de zapatos, instrumentos musicales, decoraciones, papel, tableros de madera, herramientas de construcción, encofrados, muebles, pérgolas, uso de leña, para la creación de energía a través de la quema de la misma, entre otros.

Historia de la madera en la construcción

El uso de la madera empezó de la mano con la evolución del hombre, ya que se utilizaba para la fabricación de armas y la creación del fuego. Pero al momento de hablar de construcciones de madera, se encuentran las primeras casas de madera con 10,000 años de antigüedad, hallada en Gran Bretaña, se cataloga como la casa grande mesolítica. Conforme el hombre fue asentándose en un sólo lugar para empezar a cultivar y criar animales, fue cuando se empezaron a dar los crecimientos de villas residenciales. Para el año 8,000 a.C se empiezan a ver las construcciones de madera con ramas y atados de paja (Arquiplus, 2016).

En la Edad de hierro (800 a.C al 450 a.C), el principal material de construcción fue el ladrillo de barro, sin embargo en esta época se vio una mayor cantidad de avances en el uso de la madera para la construcción que en ninguna otra era. Gracias al acero se mejoraron las herramientas existentes de la época y se desarrolló la garlopa manual, con la cual ya se podía cepillar la madera y darle una textura diferente a la misma. En esta época se inventaron la vela de navegar, el arado para sembrar, la grúa y todas estas fueron diseñadas en madera.

Sobre el año 25 a.C el arquitecto e ingeniero romano, Marco Viturbio escribió un tratado de arquitectura y técnicas de construcción donde se puede recoger las primeras descripciones de la composición, cualidades y uso de la madera durante esa época. En las civilizaciones antiguas (griegos, romanos, egipcios, persas) las casas familiares estaban formadas de madera sin tratar. Debido a que la madera no tenía un tratamiento, se provocaban incendios que poco a poco hicieron que se perdiera la confianza al material y se empezaran a implementar las casas de adobe, arcilla, piedra y mármol (Borrás, X., 2010).

En la Edad Media (siglo V al XV) surge el florecimiento del uso de la madera como material estructural a nivel mundial, tanto en Europa como en Norteamérica se convierte en el principal material de construcción para las viviendas, mientras que en Inglaterra, la madera llegó al máximo refinamiento artesanal y artístico. En esta era, proliferan los aserraderos en Europa, se realizan revestimientos de madera, además de techos de iglesias completos y esculpidos a mano. Mientras que en China y Japón, las pagodas se construían con un marco de madera, sobre una base de piedra. El templo Nanchan que data del año 782, es la construcción más antigua de madera en China (Arquiplus, 2016).

En la Edad Moderna (1492 a 1789) la madera tuvo un gran desarrollo gracias a carpinteros y ebanistas que construyeron mobiliario para la realeza, la madera y la arquitectura iban de la mano, sin embargo lentamente la madera fue perdiendo su auge en la construcción, debido a la revolución industrial. La capitalización, la actividad y economía humana empezaron a calcularse por patrones de costo beneficio, entonces el ámbito de la construcción empezó a producir más productos manufacturados como el concreto y dejaron a un lado la madera. **Griegos** Sin embargo, se seguía utilizando en bajas cantidades en áreas como el norte de Europa, Asia, Rusia, Estados Unidos y Canadá, debido a las propiedades de la madera, su conductividad térmica, su dureza y textura. Se empezó a utilizar más la madera para la fabricación de pisos, muebles y decoración (Arquiplus, 2016).

En las últimas décadas se ha producido un redescubrimiento de la madera, principalmente en países industrializados, como una forma de proteger recursos naturales, realización de estructuras más ecológicas y disminuciones de las huellas de carbono en las construcciones. La madera sustituye al hormigón, acero y aluminio en cuanto a la sostenibilidad y gracias a las

nuevas tecnologías en creación y tratamientos para la madera, cada vez es más satisfactoria a las necesidades de los clientes. Actualmente la madera se utiliza para la realización de edificios, puentes, muelles, casas prefabricadas, prefabricados, decks, entre otros (MBesterio, 2014).

4.1.3. Tipos de maderas

Existen varios tipos diferentes de maderas en el mercado internacional, las cuales tienen diferentes características físicas y biológicas, además de la manejabilidad de las mismas. Estas son:

Maderas duras

Desde el punto de vista de la botánica, estas maderas son angiospermas, donde sus semillas están encerradas en el ovario de la flor. Suelen ser árboles de crecimiento lento, por lo que las hace difíciles de conseguir y con un precio mucho mayor al de las maderas blandas.

Anatómicamente hablando estas maderas son porosas, porque contienen elementos vasculares. Estos son como tubos que ayudan a conducir el agua o la savia del árbol por todo el tronco y ramas. Además de que las hojas de los árboles de la misma tienen una forma ancha (F.P. Laboratory, 2010).

Gracias a esta estructura es que la madera es más densa, tiene un mayor soporte y se necesitan menor cantidad de preservantes para tratarla. Adicional a esto, son difíciles de trabajar debido a su aspecto externo que es irregular. Estas maderas son menos lisas que las maderas blandas (Porteous, J. y Kermani, A., 2007).

Maderas blandas

Desde el punto de vista de la botánica estas maderas son gimnospermas o coníferas, donde sus semillas no se encuentran encerradas en el ovario de la flor. Suelen ser árboles de crecimiento rápido o acelerado. Anatómicamente hablando estas no son porosas, por lo que significa que no contienen vasos que distribuyan la savia por todo el tronco, ni tienen la estructura que las hace más robustas. Debido a esto es que esta madera es fácil de trabajarla y es dúctil (F.P. Laboratory, 2010).

Las hojas de los árboles donde se obtiene esta madera suelen ser en forma de aguja o escama. No se debe asociar con que son frágiles este tipo de maderas, ya que pueden llegar a ser muy resistentes según el tipo de árbol del que provenga. La madera puede ser ligera, barata y fácil de encontrar, pero tiene menor durabilidad que las maderas duras, además de que es menos atractiva estéticamente y se astillan con facilidad. Es por esto que estas maderas son tratadas con ciertos químicos para mejorarlas estéticamente y darles un parecido a las maderas duras.

Se debe de tomar en cuenta que el nombre puede ser algo capcioso, ya que algunas maderas duras pueden ser menos resistentes que las maderas blandas y viceversa.

Madera laminada encolada

La madera laminada encolada (MLE) es un producto de madera mejorado por la industria. Se considera un producto de aplicación estructural, compuesto por varias láminas de madera. Estas láminas se colocan una encima de la otra y se le agrega pegamento entre cada cara de la lámina y en sentido paralelo a las fibras. Debe de tener como mínimo tres láminas de madera, lo que ayuda a que se mejore la clasificación de la materia prima en función de su solidez, la homogeneización de sus propiedades mecánicas, evitar corrosión, defectos por deflexión y mejorar estabilidad dimensional (Austria, P., 2013).

Se debe de tomar en cuenta que para garantizar buenas propiedades de esta madera se deben determinar tres factores importantes: la madera aserrada, la formación de lámina continua mediante uniones dentadas de testa y el encolado o pegamento entre las láminas. Para esto, se deben seguir las normativas de cada país, en el caso de Guatemala, se pueden tomar las normativas españolas para su fabricación (EN 14080 y EN 386) y su clasificación (EN 1194). La MLE puede fabricarse en casi cualquier tamaño y con las curvaturas que se deseen, se puede usar para realizar vigas de 50 metros, siempre y cuando sea posible la transportación de la misma, la fabricación se puede industrializar, lo cual mejora los precios del mismo (Austria, P., 2013).

Madera microlaminada

La madera microlaminada (LVL) es un material compuesto por un mínimo de cinco láminas de madera de 6mm de grosor, las cuales se obtienen del desenrollado de un tronco, encolada a una lámina en la misma dirección, sin embargo, hay casos donde se pueden poner algunas láminas en perpendicular a la fibra, pero no debe de superar el 20% del número de chapas. El LVL se utiliza en áreas estructurales debido a la alta resistencia a flexión, la uniformidad de sus propiedades, la posibilidad de curvar la pieza y su poco peso (Maderea, 2017).

Esta madera surgió como una tendencia tecnológica para homogeneizar las propiedades y conseguir realizar mayores dimensiones en los productos de la madera. La aplicación de esta madera es muy variada, ya que se usa para mobiliario, tableros para contracción, andamios, infraestructuras como puentes, puentes provisionales, refuerzo para estructuras viejas, vigas, viguetas, entre otros. Las dimensiones frecuentes son de 27mm a 75mm de espesor, 200mm hasta 600mm de ancho y la longitud máxima está limitada al sistema de transporte. En España se clasifican en LVL/1 para aplicación en ambientes secos, LVL/2 para aplicaciones en ambientes húmedos y LVL/3 para aplicaciones en exterior a la intemperie (Maderea, 2017).

4.1.4. Propiedades físicas de la madera

Son aquellas propiedades que se basan principalmente de la estructura de la madera, la cual es visible y medible. En la madera se pueden encontrar diferentes propiedades físicas, las cuales son:

Contenido de humedad

La madera es un material que absorbe el agua ya que es higroscópica. El agua puede penetrar a la madera en forma líquida, vapor o mediante difusión molecular. El contenido de agua de la madera es la relación entre la masa de agua que contiene y la masa de madera sin agua. El contenido de humedad de una madera verde puede llegar a ser de 40 a 200 % mientras que en una madera de uso normal, el contenido de humedad se encuentra entre el 8 % al 25 % según la humedad del aire (F. P. Laboratory, 2010).

Peso específico o Densidad

El peso específico de la madera es una división entre el peso de la pieza de madera dividido el volumen de la misma. En el caso de la madera el peso y el volumen se ven influenciados por el contenido de humedad, por lo que es importante establecer los contenidos de humedad en los que se realizaran las mediciones para conocer con exactitud el peso específico de la madera. **AITIM** Se trata de medir la densidad cuando la humedad del objeto se encuentra en 12 %. La densidad varía dependiendo el tipo de árbol y esta es la que nos ayuda a clasificar las maderas en ligera, pesada o semi pesada (Vasco, G., 2016).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

donde:

ρ = densidad. (kg/m^3)

m = masa. (kg)

V = volumen. (m^3)

Dureza

La dureza es la dificultad que tiene la madera para que se introduzcan cualquier partícula en ella. Debido a que la madera es un material blando, comparado con otros materiales utilizados en la construcción, dando la ventaja de que esta sea fácil de trabajar y usar. Hay tres formas de medir la dureza, por medio de ensayo de Brinell, Janka y Monnin o Chalais-Meudon. En la normativa europea se utiliza el ensayo de Monnin para el cálculo de la dureza. La dureza va de la mano con la densidad, ya que mientras mayor sea la dureza de la madera, mayor será la densidad de la misma (Vasco, G., 2016).

La dureza representa la resistencia que tiene la madera respecto a la destrucción y hundimiento. Spavento menciona que la dureza determina la resistencia que ofrece la madera a la penetración de cuerpos de mayor solidez y consistencia. Esta característica depende de la cohesión de las fibras y la estructura de la madera. Se observa en la dificultad que pone la madera al momento de ser penetrada por otros materiales como tornillos, clavos, piedras, entre otros o al momento de ser trabajada (Spavento, E., Keil, G y Monteoliva, S., 2008).

Flexibilidad

La flexibilidad es la propiedad principalmente de maderas jóvenes, verdes y húmedas que permiten ser curvadas en el sentido longitudinal de la pieza sin romperse ni deformarse. Ya que son elásticas, estas pueden recuperar su forma original cuando se les aplica fuerza o presión (Godínez, R. y Mario, O., 2010).

4.1.5. Propiedades mecánicas de la madera

Las propiedades mecánicas de la madera son aquellas que dan la capacidad y aptitud para resistir cargas externas, excluyendo esfuerzos por tensiones internas a cambios de humedad. Estas se agrupan según el comportamiento de la madera hacia la carga que se le aplica y según el plano de corte del mismo (Spavento, E., Keil, G y Monteoliva, S., 2008).

La estructura de la madera presenta anisotropía, es decir, sus propiedades mecánicas varían dependiendo de la dirección perpendicular o paralela de la fibra. Por lo que se comporta diferente al hormigón y aceros, ya que estos se comportan de igual forma en todos los sentidos. Las resistencias y módulos de elasticidad son mayores cuando se encuentra paralelo a la fibra que cuando es en dirección perpendicular (Infomadera, 2018)

Módulo de elasticidad

La elasticidad es la deformación que se produce por una fuerza baja, donde el material puede regresar a su forma original cuando se le quita la carga. Cuando se le aplica una carga mayor llega a existir la deformación elástica o falla la pieza (F. P. Laboratory, 2010).

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2)$$

donde:

E = Módulo de elasticidad. (kN/mm^2)

σ = Fuerza uniaxial. (N/mm^2)

ϵ = Deformación. (*adimensional*)

Flexión

La flexión es cuando una pieza está sometida a una carga en dirección perpendicular a la fibra, lo que hace que las fibras superiores de la pieza se acorten mientras que las fibras inferiores se alarga (Calleros, H., 2012).

Resistencia a tracción

La resistencia a tracción es lo que una pieza de madera soporta cuando se le aplican dos fuerzas en los extremos de la misma. Estas fuerzas están a tensión, haciendo que la pieza se estire, por lo que la sección transversal se disminuye y aumenta la longitud de la pieza. Normalmente esta es de suma importancia para elementos de madera estructural (Calleros, H., 2012).

Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión es una propiedad que tiene la madera en donde la madera aplica una fuerza contra tensiones que se le agreguen haciendo que la madera se aplaste. El aplastamiento es mayor cuando la fibra va en sentido perpendicular, en cambio en sentido paralelo el aplastamiento es menor. Esta propiedad puede verse afectada por la humedad de la misma, ya que mientras mayor sea el grado de humedad, menor es la resistencia a compresión que soporta (Calleros, H., 2012).

4.1.6. Factores externos que afectan las propiedades de la madera

Debido a que la madera es un material de origen orgánico, esta puede ser susceptible al ataque de diferentes agentes, los cuales pueden llegar a afectar las propiedades físicas y mecánicas de las mismas

Radiación ultravioleta y cambios climáticos

La madera puede llegar a reaccionar con los rayos ultravioleta procedentes del sol y los cambios climáticos de donde se encuentra. Principalmente la madera que se encuentra en contacto directo con los mismos factores. Los rayos ultravioleta crean una reacción, la cual empieza a cambiarle el color a gris. Si la madera se deja sin protección especial estos rayos UV pueden dañar las fibras de la madera, lo cual puede hacer menos resistente a la misma y con más probabilidades de que se agriete la madera. Si a este fenómeno le adicionamos los cambios climáticos como lluvias, nieves, entre otros, estos pueden llegar a causar deformaciones, agrietamiento y formación de ventosas, las cuales pueden llegar a destruir la madera (Calone, M., 2013).

Agentes xilófagos

Los principales agentes bióticos que afectan la madera pertenecen al reino animal y vegetal. Se da principalmente en maderas poco densas, las cuales pueden ser afectadas con mayor rapidez cuando se encuentran en contacto con alguno de estos agentes. La acción de los hongos xilófagos se origina principalmente en la madera que se encuentra en contacto con el suelo o madera húmeda por errores constructivos. Mientras que los insectos xilófagos

se pueden producir en diferentes situaciones y contenidos de humedad de la madera. Estos se pueden clasificar según su ciclo de vida y forma de ataque (Calone, M., 2013).

Fuego

Este factor varía dependiendo del tipo de especie, ya que depende de la densidad de la madera, el volumen y las irregularidades de la misma. Cuando la madera se calienta, el calor puede llegar a consumirla rápidamente debido a la reacción endotérmica que produce, cuando alcanza los 250°C, se inicia la reacción exotérmica, la cual ayuda a la combustión y formación de gases. La madera, debido a que está formada por carbono, es un producto combustible y susceptible a degradarse con el fuego. Esta degradación se produce por reacciones químicas que disminuyen la sección resistente y pueden provocar la destrucción. A pesar de que la madera sea inflamable a temperaturas bajas, la baja conductividad térmica que tiene la misma, ayuda a que la superficie sea carbonizada, pero el centro permanezca intacto. Por lo que no se debe rechazar la madera como material constructivo; si se utiliza de manera adecuada, su comportamiento al fuego comparada con otros materiales puede ofrecer condiciones de seguridad superiores a estos.

4.1.7. Control de envejecimiento de la madera

Como se había mencionado, la madera es un material orgánico susceptible a ataques de distintos agentes destructores, pero estos se pueden prevenir por medio de la utilización de sustancias químicas.

Preservantes

Son protectores de la madera que sirven como su nombre lo indica, para proteger a la madera de los diferentes agentes que pueden dañarla y preservarla. Para que estos sean buenos deben de cumplir con la mayor cantidad de características como ser inhibidor o repulsivo de organismos xilófagos y agentes abióticos, poder introducirlo a la madera con procedimientos sencillos, ser inocuo, no aumentar la inflamabilidad de la madera, no producir daños a las personas o animales, que no sea afectado por barnices o pinturas, dar colores aceptables para la madera o ningún color en absoluto, tener estabilidad química, resistencia a la evaporación y deslavado. Estos se pueden dar en diferentes clasificaciones las cuales son:

- Acción protectora
 - Insecticidas: Tratamiento químico u orgánico que soluciona o previene que la madera contraiga insectos como carcomas o termitas, los cuales pueden ser daños para la estructura, ya que pueden debilitar sus propiedades físicas y mecánicas.
 - Fungicidas: Tratamiento químico u orgánico que soluciona o previene que la madera contraiga hongos parásitos que puedan causar daños en la madera tanto de color como de humedad.

- Ignífugos o retardadores del fuego: Es un tratamiento de acción protectora. Su función, como su nombre lo indica, es retrasar la combustión ante posible fuego o incendios.
 - Protectores solares: Son tratamientos que protegen a la madera de los efectos nocivos de los rayos UV solares, generando una barrera para la madera. Esto hace que se comporte como un filtro solar y evitar el ataque a la lignina. Pueden ser a base de solvente o agua, con diferentes brillos o satinados y pueden ser transparentes o pigmentados. Se puede ver en presentación de Barniz, Laca, Lasur, Protector o Stain (Wood, 2016).
 - Protectores climáticos: Son tratamientos que protegen del desgaste y daño ante agentes abióticos que puedan afectar la madera. Normalmente, estos protectores vienen de la mano con los protectores solares, ya que ambos cubren factores abióticos (Blatem, 2018).
- Tipo de preservante
 - Protectores hidrosolubles: Están realizados a base de sales minerales disueltas en una solución acuosa con cierta concentración. Esta concentración varía dependiendo del tipo de protección, el grado de protección, método de tratamiento y especie de madera. Las sales tienen propiedades fijadoras, las cuales aseguran la fijación en el interior de la madera, esto impide la eliminación por lavado o calor. Se utiliza más en protección preventiva, pero algunas veces puede utilizarse en protección curativa. La madera tratada por estos protectores tiende a adquirir un color verde o amarillo, por la oxidación (A. de investigación técnica de las industrias de la madera, 2015).
 - Protectores orgánicos naturales: Los más conocidos son los creosotas, que se obtienen al destilar alquitrán de hulla o de pirólisis del petróleo. Solo se usa para tratamientos de postes, traviesas de ferrocarriles, vallados agrícolas, zonas portuarias y navegables. Es un producto normalizado y conocido. La madera tratada por estos protectores tienen una coloración oscura que se aclara con el tiempo, con un secado lento y sin poder hacer acabados inmediatos (A. de investigación técnica de las industrias de la madera, 2015).
 - Protectores orgánicos: Son protectores con formulaciones complejas, las cuales tienen materias activas, solventes y coadyuvantes. Las materias activas por lo general son productos de síntesis, el solvente suele ser una fracción de destilación de petróleo, los coadyuvantes aseguran la estabilidad del producto y fijación de las materias activas. Las materias activas son eficaces, con una buena química moderna, tiene cualidades fungicidas e insecticidas. Este protector se puede aplicar mediante pulverización, pincelado o autoclave, dependiendo del uso que se le vaya a dar a la madera (Solís, J., 2012).
 - Protectores naturales: Son protectores con materiales procedentes de la naturaleza, sin modificación química artificial. Estos productos tienen un auge, ya que en el mundo se intenta regresar a productos completamente naturales y sin químicos. Lo único negativo de estos protectores es que no se conoce con exactitud la eficacia y viabilidad de los mismos (A. de investigación técnica de las industrias de la madera, 2015).

- Protectores mixtos: Son protectores cuyos principios activos mezclan sales minerales con productos de síntesis. Son los más recientes y es por esto que se tiene poca información de los mismos; sin embargo, demuestran una evolución y mejora de los protectores y el avance tecnológico que se manejan en estos (A. de investigación técnica de las industrias de la madera, 2015).
- Tipo de protección que se desea lograr
 - Permanente: Este tipo de protección es aquella que se mantiene en la madera durante todo el tiempo que se use la misma.
 - Temporal: Este tipo de protección, como su nombre lo indica, protege a la madera por un tiempo determinado, el cual depende de lo que especifique el fabricante, tipo de madera y exposición de la madera.
 - Protección curativa: Este tipo de protección consiste en introducir productos químicos en la madera y que estos eliminen la presencia de agentes degradadores e impedir que vuelvan a la madera. Cada tratamiento es de acuerdo con la función que se quiere cumplir. Esta protección cubre en el instante y conforme al tiempo sigue protegiendo (A. de investigación técnica de las industrias de la madera, 2014).

4.1.8. Tratamientos químicos

Son procesos donde a la madera se le introducen productos químicos buscando el eliminar la presencia de los insectos y/u hongos, e impedir que vuelvan a atacar la pieza de madera. Existen diferentes tipos de tratamientos químicos y es por esto que se debe de utilizar un producto específico en función del objetivo que se quiere lograr. Generalmente se sugiere una aplicación de tratamiento preventivo para evitar el riesgo de infestación en la madera (A. de investigación técnica de las industrias de la madera, 2014).

Existen diferentes tratamientos químicos los cuales son:

- Arseniato de cobre cromado: También conocido como CCA, es un conservante de la madera empleado desde 1930. Es una mezcla de cobre, cromo y arsénico formulado como óxidos o sales. Este conserva a la madera de insectos, hongos por pudrición; y mejora la resistencia de la madera tratada además de ayudar con la adhesión de pintura (Lenin, M., 2015).
- Creosota: Esta se ha utilizado desde 1948 como conservante de madera resistente. Se obtiene de la destilación del alquitrán de hulla y los pesticidas con este componente activo se utilizan para proteger la madera de termitas, ácaros, hongos y otras plagas que puedan amenazar la integridad de la madera. En Estados Unidos solo se utiliza en el exterior debido a sus componente y su toxicidad alta; se usa exclusivamente para postes de servicios públicos o lazos de ferrocarril (USEP Agency, 2019).
- Pentaclorofenol: También conocido como PCP es un conservante de la madera resistente empleado desde 1950. Este fue muy popular en los años de 1987 en Estados Unidos. En este país, el uso de este químico es restringido y solo se utiliza con fines

comerciales por medio de tratamiento térmico y de presión. Se utiliza en postes de luz pública, amarres de ferrocarril, pilotes de muelles (USEP Agency, 2019).

- Propiconazol: Es un fungicida de triazol que fue registrado en 1981. Este se utiliza para preservar la madera utilizada en carpintería, tejas, cobertizos, revestimiento, madera contrachapada, madera estructural y materiales compuestos que se utilizan si están en contacto con el suelo. Este componente por si solo no protege a la madera de daño por insectos (USEP Agency, 2019).
- Triadimefon: Este es un fungicida de triazol registrado en 2009. El triadimefon puede ser aplicado a la madera por medio de inmersión o tratamiento a presión. Preserva productos compuestos a base de madera y productos de madera destinados a estar en el suelo o en contacto directo con este. Este se utiliza en cubiertas de madera, muebles de patio, carpintería, barandillas, postes de servicio eléctrico, pilotes de cimiento, cercas, entre otros (USEP Agency, 2019).
- Cuaternario de cobre alcalino: También llamado ACQ, es un conservante de madera a base de agua que previene la descomposición por hongos e insectos. Este presenta riesgos a la salud relativamente bajos debido a su componente de óxido de cobre y compuestos de amonio cuaternario. Gracias a que es un conservante a base de agua, deja la superficie seca y pintable. Este se utiliza en madera, vigas, corbatas de paisajismo, poste de cercas, postes de construcción y servicios públicos, postes sobre tierra, agua dulce y salada, muros de mar, diques, cubiertas, tejas de madera, entre otras (USEP Agency, 2019).
- Tetraborato de octaborato de sodio: También conocido como DOT, es un conservante de madera a base de agua, registrado en Asia, América del Norte y Europa. Sus aplicaciones más comunes son inmobiliario y construcción interior como revestimiento, armazones, viguetas, armaduras, entre otras (USEP Agency, 2019).

4.1.9. Tratamientos térmicos

Son procesos donde la madera se calienta en un horno cerrado, este alcanza una temperatura de 56°C en el centro. Se mantiene por lo menos 30 minutos para que se mueran los patógenos como insectos, microorganismos y hongos. Es diferente del secado al horno, ya que este solo disminuye cierto contenido de humedad mientras que el tratamiento al horno, especifica una temperatura central en la madera por un tiempo determinado. La diferencia es significativa ya que el tratamiento térmico se puede lograr sin secar la madera, mientras que el secado al horno no (Burean, P., 2017).

El proceso de este tratamiento se divide en tres pasos, primero el período de alza en la temperatura, donde se ingresa la madera al horno, este se precalienta a 100°C, luego se ajusta el horno seco entre 100-150°C y por último se aumenta nuevamente la temperatura a 150°C hasta 48 horas, durante este periodo es importante saber que el contenido de humedad de la madera sea menor al 10 % para que el tratamiento no afecte el color o produzca divisiones en las mismas. En el segundo paso es el tratamiento térmico real donde la temperatura oscila entre 150 a 240°C y se deja de 0.5 a 4 horas, en este paso el tiempo y la temperatura pueden afectar a la calidad del tratamiento térmico en la madera.. Y el tercer paso es el

enfriamiento de la madera y la estabilización de la misma, el cual puede durar hasta 24 horas, es importante que durante este periodo la temperatura de la madera y el aire sean parecidas, ya que si la diferencia es muy alta puede llegar a afectar la calidad del tratamiento. Es importante que haya agua evaporada en el horno durante todo el proceso del tratamiento térmico, ya que esto ayuda a que el material no se quemé (Rapp, A., 2001).

Se debe de tomar en cuenta que este tipo de tratamiento altera las propiedades físicas y químicas de la madera de forma permanente. Este oscurece el color de la madera, reduce la contracción de la misma y mejora el equilibrio del contenido de humedad, las propiedades de la resistencia comienzan a debilitarse, mejora la resistencia a la pudrición y reduce la susceptibilidad a la descomposición de hongos. Sin embargo las características mejoradas de la madera tratada con este proceso ofrecen a la industria el potencial y atractivo de nuevas oportunidades, ya que las maderas que no tienen tanto valor comercial pueden ser mejoradas con este proceso (Rapp, A., 2001).

4.2. Madera Teca

La madera con nombre científico de "*Tectona Grandis*" también conocida como Teca es proveniente de la India, Tailandia, Myanmar y la República Democrática Popular Lao. La Teca es conocida por su color claro, durabilidad, excelente fibra, resistencia y utilidad. Actualmente esta se ha cosechado en zonas tropicales de Asia, África, Australia, algunas islas del Pacífico, América Latina y el Caribe. Es un árbol de hoja caduca con una copa redondeada y gran tamaño, pueden llegar a crecer más de 25 metros. En la base es normal la hinchazón de raíces, mientras que el fuste es cilíndrico y limpio. Las hojas son elípticas y tienen una longitud entre 30 a 60cm (Pandey, D. y Brown, C., 2000).

La Teca se da en bosques húmedos y secos, lugares con precipitaciones entre 1250 a 3750 mm, con temperaturas mínimas entre 13 a 17 °C y máximas de 37 a 40 °C. Los bosques naturales de estos, se dan en áreas montañosas y onduladas, donde la tierra está conformada de basalto, granito, caliza y arenilla. Mientras más drenado sea la tierra del terreno, es más fácil para la Teca sobrevivir en el mismo (Pandey, D. y Brown, C., 2000).

Este árbol es una especie que necesita luz, por lo cual durante todo su proceso debe de recibirla y no estar en áreas con sombra. A los 20 años de ser sembrada, produce semillas para su reproducción y luego de esto las genera cada año. Si la Teca está en plantaciones se debe de mezclar con otras especies para ser menos susceptible a plagas y enfermedades (Pandey, D. y Brown, C., 2000).

En la Figura 1 se puede observar, de izquierda a derecha, diferentes fotografías del árbol de "*Tectona Grandis*". En la primera se puede observar un árbol de Teca de gran tamaño, como se había mencionado anteriormente estos pueden crecer de 25 metros en condiciones regulares y hasta 40 metros en condiciones ideales. En la segunda se observa la corteza del árbol, el cual tiene un color grisáceo, es blanda y tiene fisuras longitudinales que tienden a ser poco profundas. En la tercera se puede ver cómo son las hojas y los frutos del árbol.



Figura 1: Árbol de "*Tectona Grandis*"

Fuente: (Luley y Christopher, 2006).

La Teca es una de las especies más plantadas a nivel mundial, con un aproximado de 74 % del total de las plantaciones de maderas duras. Es una de las maderas cultivadas desde 150 años en 50 países, en los países principales donde se cultiva, las plantaciones son de 2.3 millones de hectáreas hasta 6.4 millones. La Teca por sus excelentes propiedades, alta calidad y belleza natural es una de las maderas más valiosas, compitiendo con el cedro y la caoba. Es por esto que las reservas naturales originales son cada vez menores y se implementan nuevas formas para la cultivación en países extranjeros con climas tropicales para una cultivación sostenible de esta madera (Keogh, R., 2009).

Algunos usos para esta madera son:

- Fabricación de mobiliario de alta calidad.
- Embarcaciones: Debido a su increíble resistencia a humedad e insectos y su peso ligero.
- Chapas de madera.
- Fabricación de muebles de laboratorio: Debido a su alta resistencia ante los químicos.
- Carpintería de exterior e interior: Suelos, revestimiento, ventanearía, tejados.
- Infraestructura portuaria y de puentes: Inclusive en elementos en contacto directo con el agua.
- Elementos estructurales.
- Revestimiento de fachadas.
- Barandas de escaleras.
- Toneles para licores.

- Mobiliario de exterior.
- Saunas o decks de piscinas: Debido a que el agua no la afecta y sirve para ambientes húmedos. (Maderame, 2018).

Esta madera tiene una excelente demanda debido a la calidad del duramen, a su alto valor para el uso en primera línea y alta resistencia al agua. Es una de las más cultivadas en el mundo y a pesar de ser cultivada como especie exótica en varios países, esta no es invasora. Si se cultiva por medio de buenas prácticas de manejo, la erosión al suelo es mínima. La silvicultura de la misma es fácil de entender. Entre algunas de las razones por las cuales es bastante usada en plantaciones son: la fácil propagación, establecimiento y manejo, además de la excelente calidad de la madera (Camino, R. y Morales, J. 2013).

La reputación de la Teca se debe a las propiedades de su madera: fuerte, liviana, durable, no se corroe al contacto con metales, buena trabajabilidad, dureza, resistente a termitas, productos químicos, hongos, intemperie y que la madera posee estabilidad dimensional.

4.2.1. Tratamientos para madera Teca

La Teca es una de las maderas más duras, durables y resistentes de las maderas clasificadas como duras o macizas, haciéndola el material perfecto para durar a la intemperie. Se usa para la creación de barcos desde la Edad Media y se continua usando hoy en día para la construcción de embarcaciones y acabados finos para yates y barcos. En Estados Unidos es bastante popular su uso en mobiliario para intemperie (Warehouse, T., 2010).

Los constructores, arquitectos y diseñadores con frecuencia recurren a la Teca gracias a su atractivo de alta gama, su facilidad de trabajo y su habilidad para sobresalir en lugares de alta afluencia. Con una relación de contracción extremadamente baja, la madera Teca no es propensa a deformarse o pandearse, como otras maderas. Además de ser altamente resistente a plagas, descomposición, no se oxida con el metal y resistente al clima, lo que la hace perfecta para cualquier aplicación y adaptable para cualquier lugar.

Esta es una de pocas maderas en el mundo que contiene aceites naturales que repelen el agua, evitando que se deforme, agriete o se vuelva quebradiza. Estos mismos aceites y resinas son las que protegen a la Teca de los ataques de insectos, como termitas, pestes, hongos. Es por esto que para la madera Teca no se requiere utilizar tratamientos o protecciones adicionales como en otras maderas.

La madera Teca no requiere de pintura ni barniz, sus tonalidades de colores desde rubio suave hasta ámbar dorado y marrón oscuro son bellos ante la vista, con el tiempo la madera envejece naturalmente y se convierte en un elegante gris pátina. Sin embargo si se quisiera conservar el color natural de la madera, se debe de aplicar un sellador para evitar el color grisáceo que obtiene conforme al tiempo (Warehouse, T., 2010).

La madera Teca nunca se oxida, en comparación con otras madera que al contacto con metales se empiezan a oxidar, la Teca es una de las pocas que no lo hace. Esta es otra cualidad asombrosa de la madera, ya que puede ser unida con soportes y pernos de metal, sin que sea afectada (Warehouse, T., 2010).

A pesar de que la Teca no necesita ningún tipo de tratamiento o protección adicional; si la persona desea agregarle algún tipo de producto final, por simple estética, lo puede hacer. En el mercado existen diferentes tipos de productos para aplicación:

- Productos para oscurecimiento: Sirve para darle un color más oscuro a la madera de forma inmediata, sin tener que esperar a que el proceso de secado al sol sea el que le cambie de color a la madera.
- Laca: Sirve para darle un buen acabado brillante a la madera. Es mas clara que otros acabados como la goma laca, barniz o poliuretano; penetra mejor, fácil de trabajar con el y el tiempo de secado es menor.
- Aceites: Producto de acabado que funciona como un recubrimiento a la superficies, al igual que la laca o el barniz. No proporciona una superficie vidriosa como la laca o barniz, pero resiste mas ante la luz solar y el clima.
- Barnices marinos: Este producto también contiene aceites penetrantes de una variedad de resinas de arboles, agentes secantes y solventes, combinados para crear una formula resistente, duradera y parecida al plástico, la cual se le puede aplicar a la Teca. Se utiliza sobre todo en cubiertas y botes. Es de secado lento pero una vez seco, tiñe correctamente y produce un acabado brillante y duro que resiste al agua.
- Selladores: Este tipo de producto sirve, como su nombre lo indica, para sellar la madera expuesta a derrames de comida o bebidas. Crea una capa protectora que funciona como barrera, lo que dificulta que la comida o bebida se filtre en la Teca, por lo que se puede limpiar con mayor facilidad. También ayudan a mantener el color de la madera.
- Protectores de Teca: Estos sirven para eliminar manchas creadas con el tiempo o por productos calientes puestos sobre la misma. Se utiliza cuando se quiere limpiar la Teca (Ravira, C., 2012).

Tomando en cuenta lo anterior, se conoce que no es bueno pintar o barnizar la Teca, debido a que el aceite natural que produce la teca llega a la superficie de la madera y evita que la pintura o barniz se adhieran a la misma. Además que en un periodo de tiempo corto la pintura o el barniz se astillara y pelara, creando una apariencia desagradable. También el uso de aceites no es necesario debido al aceite natural de la Teca y si se le llegara a aplicar aceite de Teca, esto ocasiona que la madera se acostumbre a la aplicación del aceite y se vuelva mas vulnerable si no se le sigue aplicando (Hardware, S., 2015).

4.2.2. Cultivos de Teca en Guatemala

La Teca es la especie exótica más plantada en Guatemala, por medio del programa de incentivo forestal (PINFOR), debido al incremento de la demanda durante el paso de los años y que su precio de venta hace que sea rentable la plantación de la misma. Para el aprovechamiento de la misma se busca la optimización de la producción empleando las mejores semillas, seleccionando las zonas adecuadas y el manejo silvicultural adecuado.

Según el informe de las plantaciones de Teca en América latina, realizado por la FAO, menciona que en Guatemala se tenía una superficie de producción de Teca en 1995 la cual era de 1,710 ha, mientras que en 2010 se tenía una superficie de 3,000 ha. Esto nos da un aumento de superficie de producción de Teca en hectáreas del 75.44% en 15 años. Este aumento de plantaciones se ha dado en el departamento de Petén (Camino, R. y Morales, J. 2013).

En la Figura 2 se puede observar un mapa del territorio de Guatemala con unos puntos de colores. Los departamentos donde se siembra madera Teca, son lugares lluviosos, con un clima y suelo que se adecuan a las necesidades del árbol. Los puntos color verde indican las plantaciones de Teca natural, mientras que los puntos rojos son de Teca clonada.

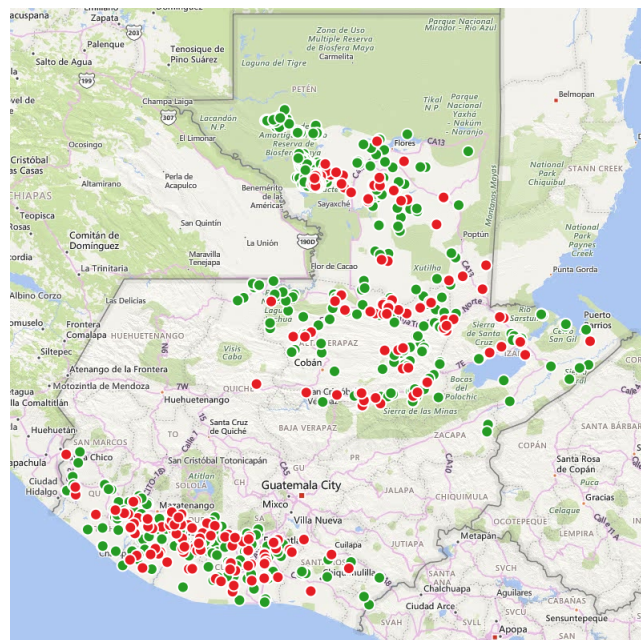


Figura 2: Mapa de distribución de plantaciones de "*Tectona Grandis*" en Guatemala

Fuente: (INAB, 2019).

4.2.3. Demanda de Teca a nivel mundial

Se prevé que la demanda de Teca sobrepase la oferta sostenible a menos que se creen nuevas fuentes de producción. Esto significa que hay una oportunidad para invertir en este producto, para satisfacer las necesidades actuales y futuras de la población. Tomando en cuenta las preocupaciones por el cambio climático y el creciente interés de la población por impulsar acciones positivas el uso de mecanismos reguladores y de incentivos por bajas emisiones de carbono y uso de tecnologías limpias. Esto ayuda a mejorar el atractivo del uso de la madera en los consumidores, lo cual incrementaría el uso de Teca por ser una madera de larga duración.

En el Cuadro No. 1 se puede observar las áreas bajo plantaciones de Teca en el mundo

y el total por región. Esto sirve para conocer qué cantidades se producen específicamente en América Latina comparado con otras áreas del mundo. Por medio del cuadro se puede conocer que en América Latina solo se tiene el 4.57 % del área total de plantaciones de Teca a nivel mundial.

Continente	Área (ha)
Asia	2,684,00
África	290,210
América Latina	142,440
Total	3,116,650

Cuadro 1: Área bajo plantaciones de Teca en el mundo

Fuente: (Camino, R. y Morales, J. 2013).

Se conoce que el mercado de la Teca es muy grande, por lo que no hay problema para vender trozas y madera aserrada de la misma. Es más probable que el mercado pierda Teca a que la Teca ya no sea necesitada. Esto expresa la cantidad de demanda insatisfecha, la cual es difícil de cuantificar. En el Cuadro No. 2 se puede observar los volúmenes de Teca en troza que se desembarcaron en el puerto de Kandla, India entre el 2009 al 2010. Se puede ver como Guatemala en ese tiempo vendía una cantidad de 4,344 metros cúbicos de madera Teca.

América Latina		África		Asia	
País	Volumen (m^3)	País	Volumen (m^3)	País	Volumen (m^3)
Brasil	1,031	Benin	17,930	Myanmar	30,528
Costa Rica	13,334	Costa de Marfil	84,759	Islas Solomon	6,600
Ecuador	43,943	Ghana	65,040	Otros	4,005
El Salvador	4,253	Guinea	1,418		
Guatemala	4,344	Nigeria	8,919		
Panamá	13,353	Sudan	7,989		
Uruguay	2,254	Tanzania	10,761		
Total	82,512	Total	179,095	Total	41,133

Cuadro 2: Volúmenes de Teca en troza desembarcado en puerto de Kandla, India (2009-2010)

Fuente: (Camino, R. y Morales, J. 2013).

4.3. Pino Candelillo Guatemalteco

Su nombre científico es *Pinus Maximinoi* H.E Moore, aunque en Guatemala se le conoce comúnmente como Pino Candelillo, Pino rojo o Pino hembra. Este árbol llega a crecer de 35 m a 50 m de altura, su fuste llega a medir entre 40 a 90 cm de diámetro. La copa es densa y en forma de domo, las ramas son gruesas y en ángulo de 90°. La corteza es de color gris oscuro y se le forman fisuras irregulares. Cerca de la copa, la corteza tiene un color grisáceo

café. Mientras más joven es el árbol, más delgada y suave es la corteza. Tiene cinco tipos de hojas por fascículo de 20 a 35 cm de largo y posee vaina en la base de color verde a café de 15 a 25 mm de largo. Tiene conos o frutos, llamados estróbilos, los cuales tienen forma de huevo y tienen de 5 a 9 cm de largo y de 4 a 7 cm de ancho (Arquiplus, 2016).

Es una de las maderas más utilizadas en la industria forestal, así como material de aserrío gracias a la existencia y características de trabajabilidad. Se utiliza la especie para la fabricación de postes, artesanías, carpintería en general, construcciones livianas, ebanistería, juguetes, muebles, plataformas, puertas, revestimientos, sistemas estructurales tejamanil, entre otros. En Guatemala esta especie se encuentra en los departamentos de Guatemala, Baja Verapaz, Alta Verapaz, Quiché, Huehuetenango, Sololá, Sacatepéquez, Santa Rosa, El Progreso, Jutiapa y Jalapa (Arquiplus, 2016).

En el Cuadro No. 3 se pueden observar las propiedades mecánicas de la madera del Pino Candelillo Guatemalteco, proveniente de los bosques de Alta Verapaz. Este pino es una de las especies de coníferas prioritarias por el INAB. Se debe de tomar en cuenta que estas plantaciones proveen una gran cantidad de madera al mercado, entre 1999 a 2004, se tenía un volumen de 3.4 millones de metros cúbicos de los cuales el 63 % se utilizó para la industria forestal nacional. Se conoce que la dureza de esta madera, según la prueba de laboratorio de Janka, es de 393.45 kg, haciéndola una madera blanda.

Madera Pino Candelillo Guatemalteco	
Valores característicos de resistencia (N/mm^2)	
Flexión	37.03
Tracción paralela	22.22
Tracción perpendicular	0.6
Compresión paralela	21.37
Compresión perpendicular	7.21
Cortante	6.58
Valores característicos de rigidez (kN/mm^2)	
Módulo de elasticidad	
paralelo promedio	9.00
perpendicular promedio	0.3
percentil 5	6.03
Módulo de cortante medio	0.56
Valores característicos de densidad (kg/m^3)	
Densidad característica	804
Densidad media	680

Cuadro 3: Propiedades mecánicas del Pino Candelillo Guatemalteco

Fuente: (Borrás, X., 2010).

4.4. Pino Amarillo Americano

Su nombre científico es *Pinus Taeda L*, también conocido como pino amarillo del sur, procedente del sur de los Estados Unidos, también puede encontrarse en España y Argentina. La madera de esta especie se caracteriza por el color blanco amarillento de su albura y rojizo del duramen. Esta madera tiene sus fibras derechas, grano medio, anillos definidos, y defectos como nudos y bolsas de resinas (MBesterio, 2014).

Esta madera es susceptible a hongos, termitas y larvas por lo cual se le deben de aplicar tratamientos químicos especiales. Esta madera se utiliza en acabados, muebles o carpintería de interiores debido a su susceptibilidad. Por otro lado el pino amarillo es fácil de trabajar, ya que tiene un aserrado, cepillado, fresado, torneado y encolado fácil, además de que es fácil de clavar o atornillar en él (MBesterio, 2014).

El Pino amarillo del sur también llamado Southern Pine es proveniente de Estados Unidos, y se encuentra clasificada en diferentes códigos. En este trabajo de investigación se seleccionara la clasificación que le da el código "BS EN 4978:1996", el cual es de C18.

Madera clase C18	
Valores característicos de resistencia (N/mm^2)	
Flexión	18
Tracción paralela	11
Tracción perpendicular	0.5
Compresión paralela	18
Compresión perpendicular	2.2
Cortante	2
Valores característicos de rigidez (kN/mm^2)	
Módulo de elasticidad	
Paralelo promedio	9
Perpendicular promedio	0.3
Percentil 5	6
Módulo de cortante medio	0.56
Valores característicos de densidad (kg/m^3)	
Densidad característica	320.00
Densidad media	380.00

Cuadro 4: Propiedades mecánicas del Southern Pine según BS EN 4978:1996

Fuente: (Sánchez, J., 2018).

En el Cuadro No. 4 se puede observar las propiedades mecánicas del pino amarillo del sur según la clasificación dada por el BS EN 4978:1996. Se toma en cuenta esta clasificación, debido a que se utilizarán códigos y normativas europeas para clasificación de la madera. Se conoce que la dureza de esta madera, según la prueba de laboratorio de Janka, es de 312.98 kg, haciéndola una madera blanda (Austria, P., 2013).

4.5. Clonación de maderas

La madera clonada procede de la clonación vegetativa, la cual es una clonación de tejidos de plantas utilizando biotecnología. Para la creación de estos se utiliza el proceso *in vitro* para poder replicar, a partir de una sola célula del vegetal, para crear miles o millones de plantas en espacios reducidos. Primero se seleccionan los mejores árboles de las plantaciones que se tengan, los más fuertes, gruesos, altos, entre otras características. Luego se llevan a cabo investigaciones biotecnológicas que permiten dividir a un individuo en sus bloques constituyentes, sus órganos, tejidos, células, de tal manera que se pueda cultivar las raíces, tallos de manera aséptica *in vitro*. Luego de esto se pasa a la cámara de incubación donde se aplican reguladores de temperatura, iluminación, entre otros, cuando las raíces y tallos crecen lo suficiente estas se ponen en el invernadero para un crecimiento mejor (Maderea, 2017).

La clonación de árboles abarca todo el potencial genético de los individuos seleccionados, con el objetivo de hacerlos adecuados para la explotación de los mismos, según la demanda que se pida. Este tipo de plantaciones forestales pueden ser una gran ayuda para evitar la deforestación de las zonas tropicales, debido a que evitan la explotación de plantaciones naturales. Se debe de tomar en cuenta que la madera clonada puede llegar a presentar mejores características como mayores grosores de tallo, un crecimiento mayor y rápido, adaptación a diferentes climas, entre otros (AITM, 2015). La biotecnología está teniendo un impacto cada vez mayor en el sector forestal, principalmente en el establecimiento de plantaciones productivas, industria de árboles ornamentales y forestación urbana.

4.5.1. Clonación de madera Teca

Algunas de las mejoras de las plantaciones de Teca por medio de genética son:

- Hábitos de crecimiento del fuste (ramificaciones, grano espiral, grosor de la corteza, rectitud del fuste).
- Resistencia al viento, especialmente en los primeros años de plantación.
- Productividad (crecimiento y rendimiento, diámetro, altura, volumen, área basal).
- Color de la madera.
- Gravedad específica y formación del duramen.
- Crecimiento en suelos marginales (fertilidad, acidez y degradación).
- Tolerancia a hongos, insectos y enfermedades. (Vasco, G., 2016).

Se tienen tres principios en la silvicultura moderna, 1) la calidad, preparación y nutrición del sitio; 2) la calidad del material genético, ya sea semilla, estaca o clones y 3) la gestión de la plantación (punto de vista técnico y económico)

En América Latina se desarrollaron programas de mejoramiento y conservaciones genética de Teca, a pesar de que la diversidad genética no es muy amplia, el germoplasma

introducido dio resultados satisfactorios en términos de productividad como tasa de crecimiento, rectitud y calidad de fuste, inclusive en las propiedades mecánicas de la madera. Los primeros mejoramientos genéticos se realizaron en 1980 en Costa Rica. En países como Colombia, Ecuador y Brasil se realizaron selección de árboles plus. Mientras que en otros países se seleccionaron y clonaron más de 400 árboles plus de Teca. En Guatemala se introdujeron semillas de Summit Garden entre los años 1943-1947 (Vasco, G., 2016).

En América Latina la Teca ha sido propagada principalmente por semilla, cuando se iniciaron las plantaciones clonales a escala comercial. La propagación de Teca por semilla tiene ciertas desventajas, las cuales son:

- Se limita la producción de semillas y a cierta época del año.
- Los individuos con mayor tasa de crecimiento florecen tarde.
- Se reportan que la mayoría de los mejores genotipos tienden a producir semilla con baja tasa de germinación.
- Las plantas por semilla producen individuos altamente variables, lo cual puede afectar la tasa de crecimiento y calidad de madera.
- Se tiene poco conocimiento genético preciso sobre la heredabilidad de los rasgos con importancia económica y cualitativa.
- La heredabilidad y ganancia genética es significativamente inferior al uso del clon. (Vasco, G., 2016).

Las tecnologías de producción masiva de clones permiten una producción constante de material de plantación en cualquier época del año y sin limitaciones en la cantidad de individuos. La propagación vegetativa es beneficiosa y aplicada en cualquier individuo. Además de que se pueden usar diferentes técnicas como la del injerto, micro propagación *in vitro*, entre otras (Vasco, 2016).

4.6. Marco tectónico de Guatemala

Guatemala se encuentra localizado entre tres diferentes placas tectónicas las cuales son Placa de Norteamérica, Caribe y Cocos. Como se puede observar en la Figura No.3 la placa de Caribe y Norteamérica cruzan a Guatemala por el centro, desde Izabal hasta San Marcos, mientras que la placa de Cocos se encuentra en el mar Pacífico. Los movimientos entre estas tres placas son los que hacen que la topografía de Guatemala sea montañosa, con volcanes, terrenos planos, valles y fallas.

El contacto entre la placa de Norteamérica y Caribe es de tipo transcurrente, lo que crea las fallas de Chixoy-Polochic y Motagua. Mientras que la falla de Cocos y Caribe es de tipo convergente, la placa de Cocos se mete por debajo de la placa del Caribe lo que genera la mayor cantidad de temblores y la formación de volcanes. Esta también crea fallas secundarias como Jalpatagua, Mixco y Santa Catarina Pinula (Spavento, E., Keil, G. y Monteoliva, S., 2008).

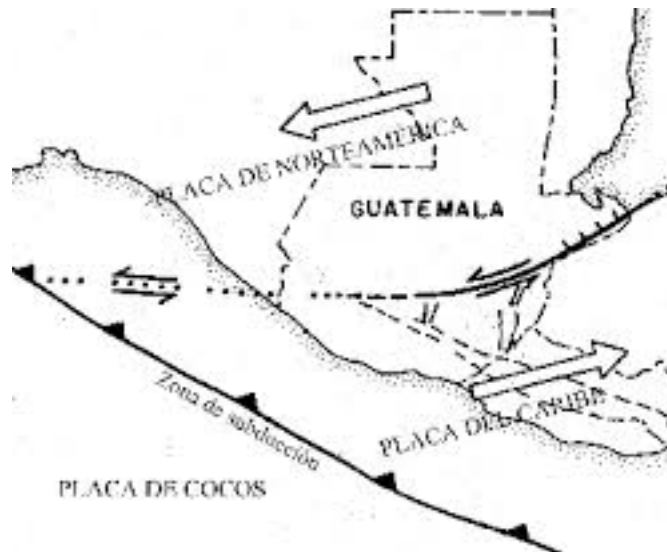


Figura 3: Placas tectónicas de Guatemala

Fuente: (Plano Madera, 2016).

4.7. Manejo forestal sostenible

Los seres humanos siempre han dependido de la naturaleza, sin embargo con el paso de los años se ha perdido el respeto por los recursos naturales y se han explotado los mismos. El manejo forestal sostenible es un proceso que lleva tiempo, paciencia, esfuerzo y pensar en el futuro de los bosques.

El manejo forestal sostenible es el proceso de administrar la tierra forestal y de lograr uno o más objetivos claramente especificados, para alcanzar un flujo continuo de bienes y de servicios deseados del bosque, sin reducir de forma indebida los recursos actuales y futuros y sin efectos dañinos para el ambiente físico y social (Godínez y Mario, 2010). El manejo forestal se puede calificar como un proceso, en la primera etapa es el establecimiento de plantas forestales también conocido como la forestación o reforestación. En la segunda etapa es el mantenimiento de plantaciones y el manejo de bosques naturales, esto embarca las limpias, rondas, control de plagas y enfermedades, la tercera etapa son las cortas intermedias de mejoramiento como podas, raleos y entresagues, por último la cuarta etapa que es la corta final o la tala rasa (Infomadera, 2018).

Los bosques nos ayudan a formar oxígeno, agua, materia prima y son fuente de vida para albergar flora y fauna en el espacio. Es por esto que se debe de tener un buen manejo forestal para poder utilizar plantaciones de árboles para recursos naturales, sin llegar a acabar con los bosques naturales y protegidos de un país. En Guatemala existen dos instituciones gubernamentales que velan por las actividades forestales, las áreas protegidas son responsabilidad del Consejo Nacional de Áreas protegidas(CONAP) y para el resto del territorio nacional es el Instituto Nacional de Bosques(INAB) (Godínez, R. y Mario, O., 2010).

Se debe de tener un buen manejo forestal para evitar la deforestación de bosques guatemaltecos protegidos y que esto agrave el cambio climático que se vive en el mundo. Sin embargo el manejo forestal solo es posible si todas las personas participan en esta hazaña. En Guatemala se tienen diferentes sectores sociales los cuales ayudan a la reforestación, a pesar de que la reforestación es el primer proceso de un buen manejo forestal, no es el único que se debe de implementar. En Guatemala hay varios programas que solo se centran en la reforestación pero no en los otros procesos, ya que no hay tantos incentivos para comunidades a lo largo del proceso de mantenimiento y cosecha (Infomadera, 2018).

Se debe de ver que el establecimiento, recuperación, mantenimiento y protección de un bosque tiene costos que implican desembolsos económicos los cuales deben de ser cubiertos de alguna forma, puede ser por medio de incentivos o ayudas comunitarias o gubernamentales. Adicional a esto está el problema de los activistas quienes están en contra de la tala, pero se debe de tomar en cuenta que para que el proceso sea sostenible, se debe de realizar la etapa de tala rasa para que el dinero recaudado por la misma ayude a iniciar con el proceso de reforestación (Infomadera, 2018).

4.8. Madera como material sostenible

La madera es uno de los productos de construcción más populares mundialmente, sin embargo con la preocupación de la deforestación en los países, la duda es si se debería de seguir usando. La madera proveniente de un manejo forestal sostenible ayuda a la reforestación de zonas específicas y a la activación de la economía para empresas y comunidades, siempre teniendo en cuenta el lado sostenible.

4.8.1. Captura y almacenamiento de carbono

Una de las razones por las cuales la madera sostenible es buena para la construcción es debido a la captura y almacenamiento de carbono, los árboles cuando están en crecimiento absorben tres veces más carbono que cuando llegan a una edad madura, ya que conforme a los años absorben menos carbono. Gracias a la fotosíntesis los árboles absorben carbono y liberan oxígeno, en un bosque los árboles llegan a pudrirse haciendo que ese carbono se libere al ambiente, esto es lo mismo que pasa cuando la madera se utiliza para leña o carbón. Sin embargo cuando la madera se usa para la fabricación de construcciones este carbono se queda concentrado y guardado en la misma, haciendo que no sea liberada al ambiente.

Se conoce que en un metro cúbico de madera se puede tener alrededor de una tonelada de carbono guardado. Debido a que la madera viene de bosques sostenibles significa que los árboles deben de ser reemplazados por otros, haciendo de esto una manera más efectiva para la captura de carbono, mejor que los bosques protegidos (Calleros, H., 2012).

4.8.2. Bajo uso de energía

Otra razón es que la madera sostenible tiene el menor uso de energía incorporada (energía usada en su proceso, producción y transporte, desde ser árbol hasta llegar a su consumidor), comparado contra otros materiales como el acero, concreto o aluminio. Para la madera se requiere un procesamiento menor en comparación a los otros materiales. El carbono incorporado en un edificio promedio puede representar entre el 30 a 50 % de la huella de carbono total, esto causa un gran impacto. El procesamiento de la madera emite menor cantidad de dióxido de azufre, monóxido de carbono, hidrocarburos y compuestos orgánicos volátiles en comparación a otros materiales (Calleros, H., 2012).

4.8.3. Renovable

La madera es un material completamente renovable. Un árbol puede crecer hasta tener un tamaño de cosecha, de 25 a 80 años, lo cual es un tiempo finito, mientras que los materiales como ladrillo, concreto, acero y plásticos solo se renuevan con el tiempo geológico, miles de años.

4.8.4. Mantenimiento fácil y durable

La madera es durable y de fácil mantenimiento. Estructuras bien hechas con madera pueden durar siglos, son fáciles y baratas de mantener en comparación con otros materiales, especialmente si no importa el cambio de color de la madera. Es un material muy fuerte con buenas propiedades estructurales, lo cual lo hace adecuado para estructuras de hasta 8 pisos. Adicional a esto, la madera es resistente a el fuego, debido a que se quema de una forma más predecible; comparado con el acero el cual puede llegar a colapsar drásticamente luego de alcanzar su punto de inflamación (Calleros, H., 2012).

4.8.5. Belleza estética y gran versatilidad

La madera es popular por sus colores, formas y apariencia, da una sensación de calor y confort. Por ser un material natural, ayuda a las estructuras a combinarse con el paisaje, principalmente en áreas rurales. Además de ser naturalmente bella, la madera es extremadamente versátil. Diferentes especies de árboles producen maderas de diferentes colores, texturas y calidades diferentes. La madera compite con el plástico en los múltiples rangos de aplicación, desde marcos estructurales hasta revestimientos exteriores y ebanistería, también en acabados decorativos, muebles, entre otros (Arquiplus, 2016).

4.8.6. Simple y rápido armado

En Estados Unidos, Canadá y la Unión Europea, el costo y tiempo de construcciones en madera es mucho menor que el de otros materiales, debido a que construir en acero o concreto, llevan un mayor tiempo, más personal y equipo especializado. Mientras que los

edificios con madera laminada o micro laminada, es mucho más rápido de poner en pie el edificio, tiene un tiempo de construcción menor lo que ahorra tiempo y dinero. Además de que requiere menos especialización y costo, ya que los carpinteros son más accesibles que los albañiles.

En Guatemala sería otro caso, ya que los albañiles son más accesibles, pero el tiempo de construcción si sería menor al de un edificio de concreto o acero. Además de que los albañiles tienen experiencia con todo tipo de materiales, lo cual les llevaría pocas capacitaciones para armar en madera laminada o micro laminada. Además que el material es menos costoso.

4.8.7. Aislamiento térmico

La madera tiene propiedades aislantes térmicas naturales, pero las construcciones en madera sostenible permiten más espacio para aislamiento. Una casa mejor aislada requiere menos energía para calentar o enfriar, lo que disminuye el uso de combustibles fósiles para los ocupantes de la casa trayéndoles un beneficio económico. Esto actúa como una reducción indirecta en las emisiones de carbono, ya que se ahorran materiales de combustión. El aislamiento se utiliza principalmente en áreas donde las temperaturas son bajas o fluctuantes.

4.8.8. Es reciclable

Mientras el 35 a 45 % del tronco de un árbol se puede utilizar para piezas de grandes dimensiones, la otra madera se puede utilizar para realizar productos de menor tamaño. Los paneles de madera micro laminada o la madera de construcción se puede recuperar de edificaciones demolidas y reutilizarse, manteniendo el carbono almacenado encerrado por más tiempo. Si no es posible darle otro uso, la madera se puede compostar de manera segura o quemarse como combustible. La última opción no es la más adecuada ya que se libera el carbono almacenado a la atmósfera, sin embargo este es menos dañino que utilizar combustibles fósiles (Calleros, H., 2012).

4.8.9. No tóxica

A pesar que la madera puede ser tratada con preservantes tóxicos, los cuales pueden desprender gases y evitar que la madera se quemé o composte de manera segura, no es estrictamente necesario; y en su estado natural la madera no es toxica. Con especificaciones de la duración de la madera, esta a menudo se puede usar sin tratamiento. También los avances en la química verde significa que se desarrollan más pegamentos y conservantes no tóxicos para las personas. Incluso los tratamientos químicos convencionales se han mejorado en las últimas décadas, por lo que la emisión de gases es menor (Calleros, H., 2012).

4.8.10. Hábitats preciosos

Se conoce que los bosques son hábitats invaluables e increíbles para la vida silvestre, incluso para especies en peligro de extinción. La demanda de madera sostenible significa más

demanda de bosques sostenibles bien administrados por lo que habría más vida silvestre.

La alianza Rainforest dice que las certificaciones de sostenibilidad para la gestión de bosques siempre promueve prácticas amigables con la biodiversidad y no permite la destrucción desenfundada de la tala convencional. Sin embargo no se puede esperar que sea igual de buena la vida silvestre en estos bosques como lo es en los bosques no perturbados.

Los investigadores sostienen que los bosques gestionados de manera sostenible podrían ser mejores para la vida silvestre, que dejar intactos los pequeños focos de bosque fragmentado, ya que garantiza un equilibrio de los tipos de paisajes y se vinculan con los corredores de vida silvestre, mientras se utiliza el proceso de poda o adelgazamiento para producir productos de madera.

Los bosques también son espacios para la recreación basada en la naturaleza para las personas. Entonces los bosques gestionados puede ser accesible al público, para proporcionar beneficios de ocio y bienestar a la población (Calleros, H., 2012).

4.9. Ensayo de madera

4.9.1. Planos de corte

Al momento de cortar una pieza, se obtienen diferentes planos de corte y con estos, diferentes caras para cada pieza. Además se debe de tomar en cuenta la dirección del grano respecto al corte, para saber el tipo de plano en el que se trabaja. Cuando se hacen cortes de forma perpendicular al grano se puede decir que son cortes en el plano transversal, ya que el grano de la madera se forma en el eje longitudinal. Cuando nos referimos a paralela al grano nos referimos al plano radial y tangencial, la diferencia entre estos es que en el plano tangencial se ven los anillos de crecimiento del árbol mientras que en el radial solo se ven las fibras o granos de forma longitudinal.

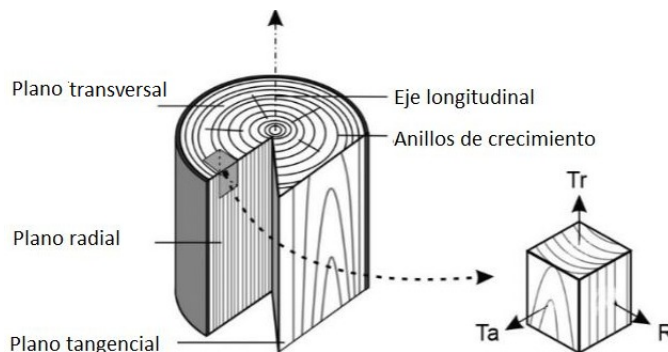


Figura 4: Planos y caras de la madera

Fuente: (WOOD, 2016).

En la Figura No. 4 se puede observar a un costado un cubo el cual está dividido en las

tres caras principales de la madera. La cara tangencial es la que se encuentra en el plano tangencial (Ta), donde se tienen los anillos de crecimiento en forma longitudinal y perpendicular a los radios. La cara radial se encuentra en el plano radial (R), esta se encuentra paralelo a los radios y perpendicular a los anillos de crecimiento. La cara transversal se encuentra en el plano transversal (Tr), el cual es la sección resultante de cortar una pieza de madera en dirección perpendicular al eje longitudinal del tronco (Calone, M., 2013).

4.9.2. Ensayo de flexión estática

La muestra debe tener un tamaño de 2x2x30" (50x50x760cm aprox). Usar la carga central y la longitud de aspa de 28in. Esto se establece para mantener una relación mínima de alcance profundidad de radio de 14. Ambos bordes de soporte deben tener placas de apoyo y rodillos de un espesor, donde la distancia del punto de soporte al plano central no sea mayor que la profundidad de la muestra (Blatem, 2018).

Se aplica una fuerza constante en la cara tangencial de la probeta a una velocidad de movimiento de 0.10in/min (2.5mm/min) y se mide la deformación con respecto de la fuerza aplicada. Se deben de hacer mediciones en el mínimo y máximo de la deformación para obtener la tabla de deformación de la misma y se clasificaran las fallas según la Figura No. 5 (Blatem, 2018).

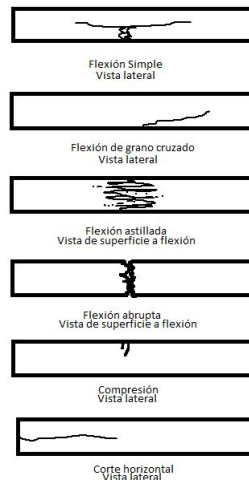


Figura 5: Tipo de fallas en flexión estática

Fuente: (Blatem, 2018).

La falla a flexión simple es la falla ideal para resultados de laboratorio, ya que se comporta según lo esperado. La falla de flexión de grano cruzado, pasa debido a que la madera no tiene el grano de forma recta o en algún punto de la viga tiene el grano de forma cruzada, esto puede ser debido a nudos tanto internos como externos. Este tipo de fallas se reconocen debido a que tienden a generar una inclinada. La presencia de grano cruzado con una pendiente que se desvía más de 1 de cada 20 de los bordes longitudinales de la muestra será motivo para descartar la prueba. La falla por compresión y por corte horizontal son

las fallas que se dan con menos frecuencia, a menos que las probetas no se hayan realizado como se especifica en el código (Blatem, 2018).

4.9.3. Ensayo de compresión paralela al grano

Para la prueba de compresión paralela al grano, la muestra debe tener un tamaño de 2x2x8" (50x50x200mm aprox.). Se debe de asegurar que la superficie de grano final van paralelas entre sí y en el ángulo correcto con respecto al eje longitudinal. Una platina de la maquina debe tener un rodamiento esférico para una distribución uniforme de la carga sobre los extremos de la muestra (Blatem, 2018).

Se aplica una fuerza constante, con una velocidad de movimiento de 0.003in/min de la muestra nominal. Las curvas de carga-compresión se deben de tomar sobre una longitud que no exceda las 6in. Se toman las medidas hasta que el límite proporcional es pasado. Las fallas de esta prueba pueden clasificarse con respecto a la apariencia de la superficie fracturada, como se observa en la Figura No. 6

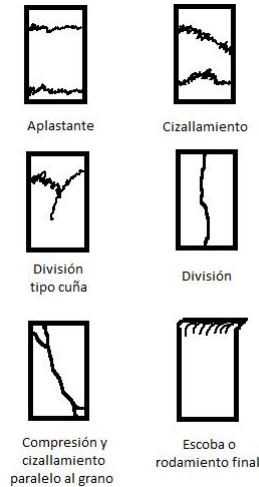


Figura 6: Tipo de fallas en compresión paralela al grano

Fuente: (Blatem, 2018).

La falla aplastante es aquella donde el plano de ruptura es aproximadamente horizontal. La división tipo cuña se observa la dirección de la ruptura y se determina si es radial o tangencial. La falla de cizallamiento es cuando la ruptura forme un ángulo mayor a 45° con la parte superior de la prueba.

La falla por compresión y cizallamiento paralelo al grano es cuando la ruptura ocurre en piezas con granos cruzados y se descarta la pieza. La falla división es la que ocurre generalmente en probetas que tienen defectos internos antes de las pruebas y se puede descartar la pieza.

La falla de escoba o rodamiento final ocurre cuando la muestra tiene un alto contenido

de humedad en los extremos de la misma o se realiza un corte incorrecto, en algunos casos ambas. Esta no es una falla aceptable y se asocia con una carga reducida. Se debe de considerar hacer las correcciones para que no vuelva a ocurrir en ninguna muestra (Blatem, 2018).

4.9.4. Ensayo de compresión perpendicular al grano

Para esta prueba se deben de hacer muestras de 2x2x6" (50x50x150mm aprox.). La carga se debe de aplicar por medio de una placa de cojinete de metal de 2" de ancho. La probeta se debe de colocar al centro de la placa metálica y que la carga se aplique a través de la superficie radial. Esta carga tiene que ser constante y debe tener una velocidad de movimiento de 0.012in/min. Se toman las curvas de compresión de carga hasta 0.1in, luego de esto se suspende la medición (Blatem, 2018).

4.9.5. Ensayo de dureza

Existen diferentes tipos de ensayo que se pueden realizar para llegar a conocer la dureza de un material, entre las cuales se encuentran la prueba de Brinell, Janka, Stamer, Krippel, Monnin, Hoeffgen, Busgen, Hoppler, Doyle Walker y Meyer Wegelin. Entre estos ensayos hay unos que miden el área de contacto y otros miden la fuerza necesaria para una penetración determinada en la madera. Entre todas estas pruebas las más utilizadas y estudiadas son las de Brinell, Janka, Monnin y Krippel (A. de Investigación técnica de las industrias de la madera, 2015).

Para la ASTM D143 la prueba de dureza puede variar, en el código recomiendan la prueba de Janka, la cual consiste en determinar la fuerza necesaria para que en la madera penetre una esfera de acero. La bola tiene un diámetro de 11.28mm y las probetas son de 2x2x2" (50x50x50mm). En este ensayo la dureza se expresa en unidades de fuerza. Sin embargo en esta tesis se utilizara una combinación entre el ensayo de Janka y el método de Monnin.

En el Cuadro No. 5 se muestra la clasificación de la madera según su dureza:

Clasificación	Dureza Janka [N/mm^2]
Muy blanda	<29.42
Blanda	29.43-49.03
Semidura	49.04-68.65
Dura	68.66-98.07
Muy dura	>98.07

Cuadro 5: Clasificación de la madera según su dureza

Fuente: (Solís, J., 2012).

4.9.6. Ensayo de corte paralelo al grano

Para esta prueba se deben de hacer probetas de 2"x2"x2" (50x50x50mm aprox.), a la muestra se le debe de aplicar un corte de 1"x1" para que quede con una forma de L, tanto en la cara radial como en la tangencial. Esta sección es el área de corte, a la cual se le aplicara la carga mediante una placa de acero. Se utiliza una máquina compresora universal, anillos de fuerza, base para colocar la muestra y un deformímetro para conocer la fuerza aplicada y deformación. La carga se aplica de forma continua a una velocidad de 0.024 in. (0.6mm)/min. La falla se debe de marcar y realizar un dibujo o fotografía para ver la forma de la falla.

4.9.7. Ensayo de tensión paralelo al grano

Esta prueba requiere de medidas específicas para la muestra, según lo descrito en la Figura No. 18. La muestra debe de estar en posición según la dirección del grano, ya que estos deben de quedar de forma vertical en la muestra. Se debe de tomar la medida del centro (medida mínima) de la muestra. Se debe de ajustar la muestra con mordazas en ambos extremos y se le debe de aplicar la carga y medir la deformación a la muestra. Se utiliza una compresora universal para la aplicación de la carga. La velocidad de la carga debe de ser aplicada de forma continua a una velocidad no mayor de 0.05 in (1mm)/min. La falla debe de ser fotografiada o ilustrada. Esta prueba se puede realizar de diferentes formas, según lo descrito en la norma. Sin embargo en el presente trabajo se utiliza esta técnica.

Ensayo de densidad

Para el siguiente ensayo se utilizan muestra de 2"x2"x2" (50x50x50mm aprox.), esta debe de ser pesada a su 12% de porcentaje de humedad. Una vez pesada, se le aplica a la muestra una capa delgada de parafina y se vuelve a pesar la muestra. Se determina el volumen de la muestra por medio de una probeta graduada, se le agrega agua a un nivel exacto y se introduce en ella la muestra con parafina, se hunde la misma con algún objeto delgado que no afecte la medición. Una vez sumergido, se observa el nivel nuevamente; se debe de tomar en cuenta que con los valores obtenidos se deben de sacar el nivel real de agua sin la capa de parafina para usar la masa de la muestra sin parafina y el volumen de la misma sin parafina. se obtienen los valores de densidad a partir de la ecuación 33 (A. de Investigación técnica de las industrias de la madera, 2014).

4.9.8. Normativa europea

Cada país tiene su propia normativa; sin embargo, la Unión Europea tiene los Eurocódigos, estos son una colección de normas europeas para la ingeniería que pretenden unificar criterios y normativas en los diseños, cálculos y dimensionamientos de estructuras y elementos para la fabricación de construcciones. El Eurocódigo 5 es el código que se encarga del diseño de estructuras de madera y datos de la misma.

En la normativa BS EN 1995-1-1:2004 se pueden encontrar tablas las cuales trata las

propiedades de la madera y define los parámetros de resistencia y rigidez, las relaciones de tensión-deformación y proporciona valores para los factores de modificación de resistencia y la deformación en varias clases de servicio y/o duración de carga. El Eurocódigo 5 (EC5), en común con otros Eurocódigos, no contiene los valores de las propiedades del material, pero esta información se proporciona en normas de soporte como la BS EN 338:2033 (Sánchez, J., 2018).

El BS EN 338:2003 enumera las ecuaciones que forman las relaciones de algunos valores característicos dados por la Tabla No. 1 para propiedades distintas a la resistencias a flexión, el módulo medio de elasticidad a la flexión, el módulo de elasticidad y densidad. Las relaciones entre las propiedades características de resistencia y rigidez son dadas de la siguiente manera:

- Resistencia a la tracción paralela al grano

$$f_{t,0,k} = 0.6 * f_{m,k} \quad (3)$$

- Resistencia a la compresión paralela al grano

$$f_{c,0,k} = 5(f_{m,k})^{0.45} \quad (4)$$

- Resistencia al corte

$$f_{v,k} = \min((3.8), (0.2(f_{m,k})^{0.8})) \quad (5)$$

- Resistencia a la tracción perpendicular al grano

$$f_{t,90,k} = \min((0.6), (0.0015\rho_k)) \quad (6)$$

- Resistencia a la compresión perpendicular al grano
para maderas blandas

$$f_{c,90,k} = 0.007\rho_k \quad (7)$$

para maderas duras

$$f_{c,90,k} = 0.015\rho_k \quad (8)$$

- Módulo de elasticidad paralelo al grano
para maderas blandas

$$E_{0.05} = 0.67 * E_{0,mean} \quad (9)$$

para maderas duras

$$E_{0.05} = 0.84 * E_{0,mean} \quad (10)$$

- Módulo medio de elasticidad perpendicular al grano
para maderas blandas

$$E_{90,mean} = \frac{E_{0,mean}}{30} \quad (11)$$

para maderas duras

$$E_{90,mean} = \frac{E_{0,mean}}{15} \quad (12)$$

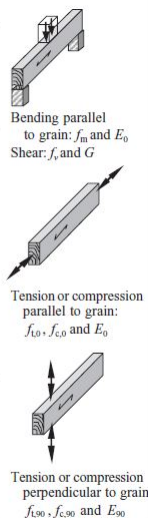
- Módulo de corte medio

$$G_{mean} = \frac{E_{0,mean}}{16} \quad (13)$$

Por medio de estas ecuaciones (Porteus, J. y Kermany, A., 2007) se pueden obtener valores para cualquier clase de madera y se puede clasificar según su resistencia. Además, Porteous indica que en ensayos se obtienen los módulos de elasticidad y las pruebas según la dirección de la fibra y aplicación de la fuerza. Esto se puede observar en la Figura No. 7 o en la Tabla No. 1 del BS EN 338:2003.

En la tabla 1.3 del BS EN 338:2003 se tiene una clasificación de 18 tipos de resistencia, 12 son maderas blandas y 6 maderas duras. La letra C se refiere a las especies de Coníferas (Coniferous en inglés) y D se refiere a las especies de Caducifolio (Deciduous en inglés). En otras palabras la clasificación europea para maderas tipo C es dada para todas aquellas maderas proveniente de coníferas, clasificada como madera blanda y se conocen como gymnospermas, ya que producen sus semillas por medio de conos; y la D para las maderas provenientes de caducifolias, clasificadas como maderas duras y son aquellos árboles que pierden sus hojas durante una parte del año (Sánchez, J., 2018).

Tomando en cuenta las normativas europeas, el pino amarillo del sur se clasifica como una madera tipo C18, por su resistencia a flexión de 18 N/mm^2 . En el código europeo, la clasificación de los pinos puede variar, desde un C18 hasta un C30. En el caso del *Pinus maximinoi* H.E Moore, también conocido como pino candelillo, debido a su resistencia a flexión es de clase C35, sin embargo las propiedades de densidad y rigidez no concuerdan con la clasificación. En rigidez presenta una clasificación de C18 y en densidad una de C50. La clasificación de la *Tectona grandis*, procedente de África y Asia, según el código europeo es la D40 (Lenin, M., 2015).

Strength class	Characteristic strength properties (N/mm ²)						Stiffness properties (kN/mm ²)				Density (kg/m ³)			
	Bending	Tension 0	Tension 90	Compression 0	Compression 90	Shear	Mean modulus of elasticity 0	5% modulus of elasticity 0	Mean modulus of elasticity 90	Mean shear modulus	Density	Mean density		
	($f_{m,k}$)	($f_{t,0,k}$)	($f_{t,90,k}$)	($f_{c,0,k}$)	($f_{c,90,k}$)	($f_{v,k}$)	($E_{0,mean}$)	($E_{0,05}$)	($E_{90,mean}$)	(G_{mean})	(ρ_k)	(ρ_{mean})		
Softwood and poplar species	C14	14	8	0.4	16	2.0	1.7	7.0	4.7	0.23	0.44	290	350	Bending parallel to grain: f_m and E_0 Shear: f_v and G Tension or compression parallel to grain: $f_{t,0}$, $f_{c,0}$ and E_0 Tension or compression perpendicular to grain: $f_{t,90}$, $f_{c,90}$ and E_{90}
	C16	16	10	0.5	17	2.2	1.8	8.0	5.4	0.27	0.50	310	370	
	C18	18	11	0.5	18	2.2	2.0	9.0	6.0	0.30	0.56	320	380	
	C20	20	12	0.5	19	2.3	2.2	9.5	6.4	0.32	0.59	330	390	
	C22	22	13	0.5	20	2.4	2.4	10.0	6.7	0.33	0.63	340	410	
	C24	24	14	0.5	21	2.5	2.5	11.0	7.4	0.37	0.69	350	420	
	C27	27	16	0.6	22	2.6	2.8	11.5	7.7	0.38	0.72	370	450	
	C30	30	18	0.6	23	2.7	3.0	12.0	8.0	0.40	0.75	380	460	
	C35	35	21	0.6	25	2.8	3.4	13.0	8.7	0.43	0.81	400	480	
	C40	40	24	0.6	26	2.9	3.8	14.0	9.4	0.47	0.88	420	500	
Hardwood species	D30	30	18	0.6	23	8.0	3.0	10.0	8.0	0.64	0.60	530	640	
	D35	35	21	0.6	25	8.4	3.4	10.0	8.7	0.69	0.65	560	670	
	D40	40	24	0.6	26	8.8	3.8	11.0	9.4	0.75	0.70	590	700	
	D50	50	30	0.6	29	9.7	4.6	14.0	11.8	0.93	0.88	650	780	
	D60	60	36	0.6	32	10.5	5.3	17.0	14.3	1.13	1.06	700	840	
	D70	70	42	0.6	34	13.5	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.

Figura 7: Tabla 1.3: Propiedades de resistencia y rigidez, valores de densidad para clases de resistencia de madera estructural (de acuerdo con la tabla 1 de BS EN 338:2003)

Fuente: (Sánchez, J., 2018).

5.1. Etapa de recopilación de información

Esta etapa consistió en la realización de una investigación bibliográfica para desarrollar conceptos necesarios para la clasificación de las propiedades mecánicas de la madera. Así como, el aprendizaje de los ensayos de la ASTM D143 - 14 para especímenes pequeños de madera.

5.2. Etapa de creación de muestras

La Universidad del Valle de Guatemala proporcionó la madera "*Tectona Grandis*" de natural (semilla) y clonada proveniente de Petén, para la realización de las muestras. No obstante, las piezas venían entre un 40 % a 45 % de contenido de humedad, de modo que, se requirió de un secado al horno para que alcanzarán un 12 % de contenido humedad.

Luego, se hizo uso del Laboratorio de Materiales II, donde se inició clasificando los tabloncillos con menos defectos, nudos, grietas y médula; con la finalidad de utilizar la mejor madera para la creación de muestras. Seguidamente, se cortaron las piezas de mayor tamaño, siendo estas de 31" de largo, para luego cantearlas de dos caras y cepillarlas de las caras faltantes. Después, se cortaron las muestras de 2"x2"x2", 2"x2"x6", 2"x2"x8", 1"x3/16"x Finalmente, se tomaron las muestras de 2"x2"x2z se les realizaron una zanja en forma de "L" 1"x1"x2.ª las muestras de corte, mientras que a las muestras de tensión se cortaron según la Figura No. [18](#).

5.3. Etapa de ensayos de muestras

Esta etapa consistió en ensayar las muestras elaboradas para determinar sus propiedades mecánicas, estas pruebas se realizaron en el Laboratorio de Materiales I de la Universidad del Valle de Guatemala.

5.3.1. Prueba de flexión estática

Para esta prueba se necesitaron 10 muestras de madera tipo natural (semilla) y clon, con un tamaño de 2"x2"x30" (50x50x760cm aprox), las cuales fueron pesadas y se verificaron sus medidas. Se colocaron apoyos en los extremos de la muestra y se procedió a utilizar la compresora universal, la cual ejerce una fuerza constante que se aplica a la cara tangencial de la muestra. Igualmente, se utilizó un deformímetro digital para la deformación, esta mide con respecto de la fuerza aplicada.

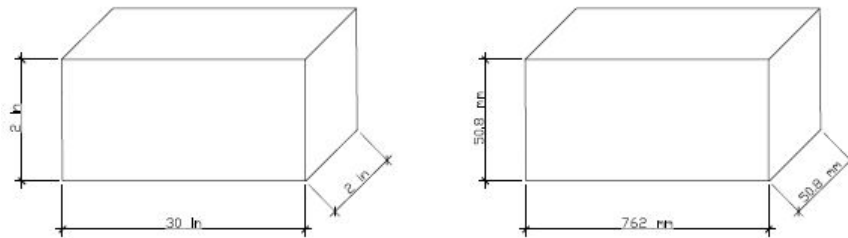


Figura 8: Medidas de prueba a flexión (sin escala)

Fuente: Elaboración propia

Se tomaron mediciones de la deformación cada 100 lbf hasta llegar a la falla de la muestra. La clasificación de las fallas se realiza de forma visual acorde a la Figura No. 5, las cuales pueden ser flexión simple, compresión, flexión de grano cruzado o abrupta. El montaje se puede observar en la siguiente figura.



Figura 9: Montaje de prueba a flexión

Fuente: Elaboración propia

Para obtener el esfuerzo a flexión se utiliza la siguiente ecuación:

$$f_{m,k} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (14)$$

donde:

$f_{m,k}$ = esfuerzo a flexión. (N/mm^2)

P = fuerza aplicada. (N)

L = longitud libre. (mm)

b = base. (mm)

h = altura. (mm)

Para obtener el módulo de elasticidad en esta prueba se utiliza la siguiente ecuación:

$$E_0 = \frac{PL^3}{48\Delta I} \quad (15)$$

donde:

E_0 = módulo de elasticidad. (kN/mm^2)

P = fuerza aplicada. (N)

L = longitud libre. (mm)

Δ = deformación. (mm)

I = inercia. (mm^4)

Se obtiene la deformación por medio de la siguiente ecuación:

$$Delta = \Delta_f - \Delta_i \quad (16)$$

donde:

Δ = deformación (mm)

Δ_f = deformación final. (mm)

Δ_i = deformación inicial. (mm)

Y se conoce que la inercia de una viga cuadrada u objeto cuadrado es de:

$$I = \frac{1}{12}bh^3 \quad (17)$$

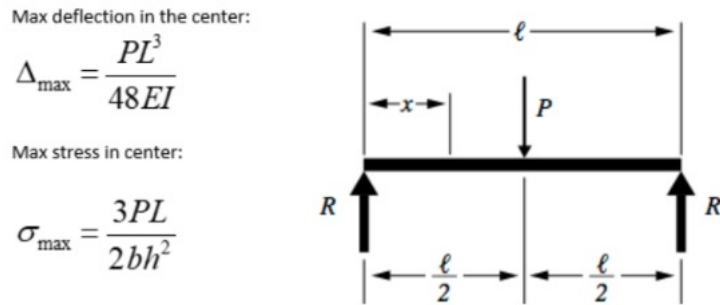


Figura 10: Viga a flexión sobre dos soportes y una carga puntual

Fuente: (Porteous, J. y Kermani, A., 2007).

5.3.2. Prueba de compresión paralela al grano

En esta prueba se utilizaron 10 muestras de madera tipo natural (semilla) y clon, con un tamaño de 2"x2"x8", las cuales, fueron pesadas y se verificaron sus medidas. Se inició identificando la dirección del grano en cada una de las muestras. Luego se utilizó la compresora universal, donde se colocó una de las muestras paralelas al grano y sobre ella una plancha de acero que sirve para uniformizar la distribución de la fuerza que se está aplicando. Igualmente, se utilizó un deformímetro digital para la deformación, esta se mide respecto a la fuerza aplicada.

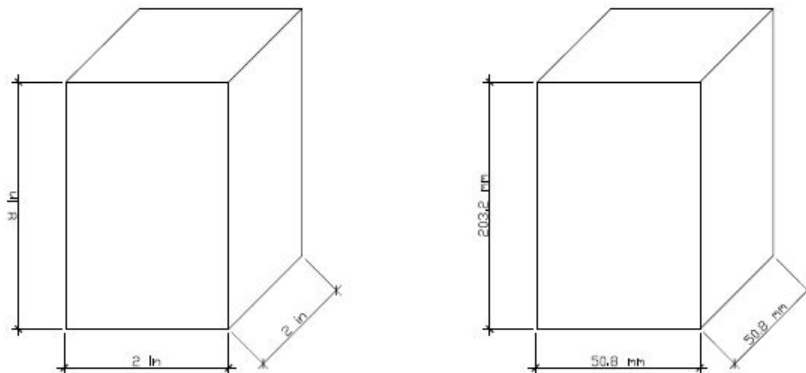


Figura 11: Medidas de prueba a compresión paralela al grano (sin escala)

Fuente: Elaboración propia

Se tomaron mediciones de la deformación a cada 2000 lbf hasta llegar a la falla de la muestra. La clasificación de las fallas se realiza de forma visual acorde a la Figura No. 6, las cuales pueden ser división tipo cuña, división, aplastante, cizallamiento, escoba o compresión y cizallamiento paralelo al grano. En la siguiente figura se puede observar una fotografía del

montaje de la prueba.



Figura 12: Montaje de prueba a compresión paralela al grano

Fuente: Elaboración propia

Para obtener el esfuerzo a compresión paralela al grano se utiliza la siguiente ecuación:

$$f_{c,0,k} = \frac{P}{A} \quad (18)$$

donde:

$f_{c,0,k}$ = esfuerzo a compresión paralela al grano. (N/mm^2)

P = fuerza aplicada. (N)

A = Área donde se aplica la fuerza. (mm^2)

Para obtener el módulo de elasticidad en esta prueba se utiliza la siguiente ecuación:

$$E_0 = \frac{PL}{A\Delta} \quad (19)$$

P = fuerza aplicada. (N)

L = longitud efectiva. (mm)

A = Área donde se aplica la fuerza. (mm^2)

Δ = Deformación final menos inicial. (mm)

Δ se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$\Delta = \Delta_f - \Delta_i \quad (20)$$

5.3.3. Prueba de compresión perpendicular al grano

En esta prueba se utilizaron 10 muestras de madera tipo natural (semilla) y clon, con un tamaño de 2"x2"x6", las cuales fueron pesadas y se verificaron sus medidas. Se inició identificando la dirección del grano en cada una de las muestras, para asegurar que las muestras se encuentran en la dirección necesaria. Se utilizó la compresora hidráulica, donde se colocó la muestra de forma horizontal asentada sobre la cara radial y sobre esta una plancha metálica la cual distribuyó uniformemente la carga.

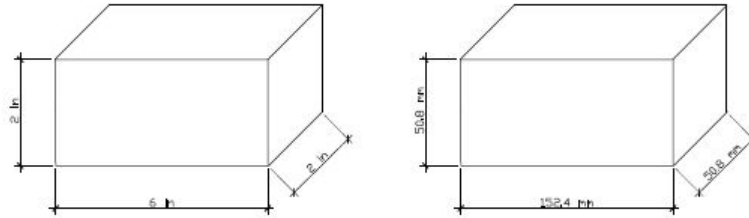


Figura 13: Medidas de prueba a compresión perpendicular al grano (sin escala)

Fuente: Elaboración propia

Igualmente, se utilizó un deformímetro análogo, el cual tiene mediciones respecto a la fuerza aplicada en pulgadas. Se tomaron mediciones de la deformación a cada 2000lbf hasta llegar a la falla de la muestra. En la siguiente figura se puede observar una fotografía del montaje de la prueba.



Figura 14: Montaje de prueba a compresión perpendicular al grano

Fuente: Elaboración propia

Para obtener el esfuerzo a compresión perpendicular al grano se utiliza la siguiente

ecuación:

$$f_{c,90,k} = \frac{P}{A} \quad (21)$$

donde:

$f_{c,90,k}$ = esfuerzo a compresión paralela al grano. (N/mm^2)

P = fuerza aplicada. (N)

A = Área donde se aplica la fuerza. (mm^2)

Para obtener el módulo de elasticidad a 90 en esta prueba se utiliza la siguiente ecuación:

$$E_{90} = \frac{PLe}{A\Delta} \quad (22)$$

P = fuerza aplicada. (N)

Le = longitud efectiva. (mm)

A = Área donde se aplica la fuerza. (mm^2)

Δ = Deformación final menos inicial. (mm)

Δ se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$\Delta = \Delta_f - \Delta_i \quad (23)$$

5.3.4. Prueba de dureza

En esta prueba se utilizaron 10 muestras de madera tipo natural (semilla) y clon, con un tamaño de 2"x2"x2", las cuales fueron pesadas y se verificaron sus medidas. Se empleó la compresora manual, donde se colocó una herramienta especial llamada "anillo medidor de fuerza", el cual mide la deformación del mismo y esto equivale la fuerza aplicada. Se debe resaltar que el anillo tiene un deformímetro, el cual al completar una vuelta aplica una fuerza de 730lbf.

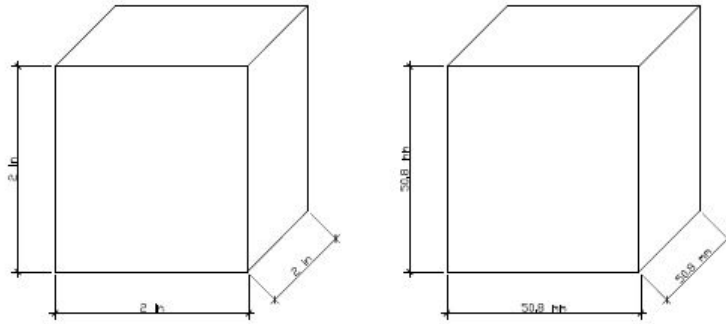


Figura 15: Medidas de prueba a dureza (sin escala)

Fuente: Propia

Esta prueba se realizó en las caras tangenciales y radiales; además de la cara superior e inferior. La fuerza se aplica por medio de una bala de acero de 11.28mm, la cual se ubica en el centro de cada cara. Se debe de aplicar una carga constante y se toma la medición de la fuerza cuando esta presenta un cambio. En la siguiente figura se puede observar una fotografía del montaje de la prueba.



Figura 16: Montaje de prueba de dureza

Fuente: Propia

La ecuación que determina la dureza de un material es la siguiente:

$$Du = \frac{F}{S} \quad (24)$$

donde:

Du = dureza. (N/mm^2)

F = fuerza aplicada. (N)

S = superficie de la huella. (mm^2)

Para la superficie de la huella se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$S = L * B \quad (25)$$

donde:

S = superficie de la huella. (mm^2)

L = Longitud del arco de circunferencia marcado en probeta. (mm)

B = base de la probeta. (mm)

Conociendo la deformación o penetración de la bala a utilizar y el diámetro de la misma se puede obtener la longitud del arco por medio de cálculos trigonométricos. Primero se debe de conocer el ángulo α , ya que este tiene relación con la longitud X como se puede observar en la Figura No. 17 y el radio de la circunferencia (Luley y Christopher, 2006).

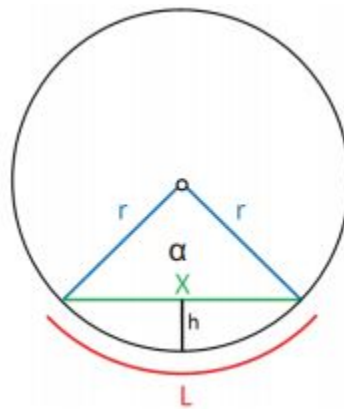


Figura 17: Parámetros para el cálculo de L

Fuente: (Luley y Christopher, 2006).

Se determina “ X ” mediante la siguiente ecuación:

$$X = 2\sqrt{(r^2) - (r - h)^2} \quad (26)$$

donde:

r = radio de la bala.(mm)

h = deformación o penetración de bala.(mm)

Se calcula α por medio de la siguiente ecuación:

$$\alpha = 2 \arcsin\left(\frac{x}{2r}\right) \quad (27)$$

Por lo tanto:

$$L = r\alpha \quad (28)$$

5.3.5. Prueba de tracción paralela al grano

En esta prueba se utilizaron 10 muestras de madera tipo natural (semilla) y clon, con un tamaño acorde a la Figura No. 18, las cuales fueron pesadas y se verificaron sus medidas. Se empleó la compresora universal y la herramienta especial de mordaza.

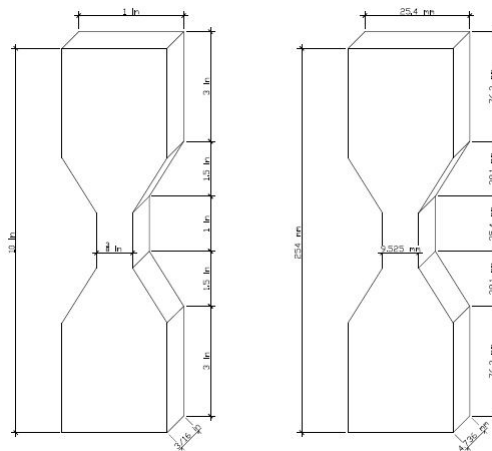


Figura 18: Medidas de prueba a tensión paralelo al grano (sin escala)

Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar que las mordazas fueron colocadas en los extremos de muestra, de forma paralela, para evitar daños en la madera y obtener mejores resultados. Se utilizó un deformímetro digital, para determinar la deformación a cada 100lbf. En la siguiente figura se puede observar una fotografía del montaje de la prueba.



Figura 19: Montaje de prueba de tracción paralela al grano

Fuente: Elaboración propia

Para obtener el esfuerzo de tracción paralela al grano se utiliza la siguiente ecuación:

$$f_{t,0,k} = \frac{P}{A} \quad (29)$$

donde:

P = fuerza aplicada. (N)

A = Área donde se aplica la fuerza. (mm^2)

5.3.6. Prueba de corte

En esta prueba se utilizaron 6 muestras con cara tangencial y otras 6 con cara radial, para cada tipo de madera, natural (semilla) y clon. Las muestras tienen un tamaño de

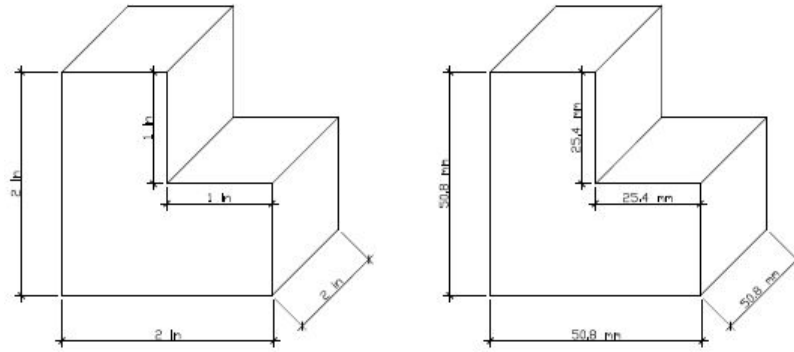


Figura 20: Medidas de prueba a corte (sin escala)

Fuente: Elaboración propia

Se utilizó una compresora mecánica con un anillo medidor de fuerza, aplicaba una fuerza equivale a 200lb por cada vuelta completa del deformímetro. Para aplicar la fuerza en el área, se utiliza una placa metálica. Se debe resaltar que, se utilizó una herramienta metálica, la cual ayuda a comprimir y evitar que la pieza se mueva de lugar. En la siguiente figura se puede observar el montaje de la muestra a ensayar.



Figura 21: Montaje de prueba de corte

Fuente: Elaboración propia

Para obtener el esfuerzo a corte paralelo al grano se utiliza la siguiente ecuación:

$$f_{V,k} = \frac{P}{A} \quad (30)$$

donde:

P = fuerza aplicada. (N)

A = Área donde se aplica la fuerza. (mm^2)

Para obtener el módulo de cortante medio se utiliza la siguiente ecuación:

$$G = \frac{f_{V,k}}{\varepsilon} \quad (31)$$

donde:

$f_{V,k}$ = Esfuerzo. (N/mm^2)

ε = deformación. (*adimensional*)

Se obtiene la deformación por medio de la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = \frac{\Delta_f - \Delta_i}{\Delta_i} \quad (32)$$

donde:

ε = deformación (*adimensional*)

Δ_f = deformación final. (mm)

Δ_i = deformación inicial. (mm)

5.3.7. Prueba de densidad

En esta prueba se utilizaron 5 muestras de madera tipo natural (semilla) y clon, con un tamaño de 2"x2"x2", las cuales fueron pesadas y se verificaron sus medidas. Luego, se le agrega una capa fina de parafina, se deja secar y se vuelven a pesar. En una probeta de 200mL se agrega agua y se sumerge la muestra, para obtener la medida de volumen.



Figura 22: Montaje de prueba de densidad

Fuente: Elaboración propia

$$\rho_k = \frac{M}{V} \quad (33)$$

donde:

ρ_k = Densidad. (kg/m^3)

M = Masa de la muestra. (kg)

V = Volumen de la muestra. (m^3)

6.1. Resultados promedio de las pruebas de laboratorio para madera *Tectona Grandis*

Promedio pruebas a flexión									
Natural					Clonada				
Carga (N)	Esfuerzo (N/mm ²)	Deformación (mm)	Deformación (adimensional)	Módulo de elasticidad (kN/mm ²)	Carga (N)	Esfuerzo (N/mm ²)	Deformación (mm)	Deformación (adimensional)	Módulo de elasticidad (kN/mm ²)
9467.79	82.55	20.58	0.027012	7.85	9468.68	82.56	23.60	0.30971	6.91

Cuadro 6: Promedio de datos prueba a flexión para madera natural y clonada

Fuente: Elaboración propia

Promedio pruebas a compresión paralela al grano									
Natural					Clonada				
Carga (N)	Esfuerzo (N/mm ²)	Deformación (mm)	Deformación (adimensional)	Módulo de elasticidad (kN/mm ²)	Carga (N)	Esfuerzo (N/mm ²)	Deformación (mm)	Deformación (adimensional)	Módulo de elasticidad (kN/mm ²)
128593.90	49.83	2.40	0.01476	4.59	113353.72	49.53	3.20	0.01476	2.87

Cuadro 7: Promedio de datos prueba a compresión paralela al grano para madera natural y clonada

Fuente: Elaboración propia

Promedio pruebas a compresión perpendicular al grano									
Natural					Clonada				
Carga (N)	Esfuerzo (N/mm ²)	Deformación (mm)	Deformación (adimensional)	Módulo de elasticidad a 90 (kN/mm ²)	Carga (N)	Esfuerzo (N/mm ²)	Deformación (mm)	Deformación (adimensional)	Módulo de elasticidad a 90 (kN/mm ²)
55713.42	7.20	1.03378	0.02035	0.36	52445.92	6.77	1.06	0.0209	0.36

Cuadro 8: Promedio de prueba a compresión perpendicular al grano para madera natural y clonada

Fuente: Elaboración propia

Promedio pruebas de dureza		
Tipo	Natural (N/mm^2)	Clon (N/mm^2)
Radial	65.38	40.83
Tangencial	68.19	48.28
Final	75.71	58.04
Promedio	69.76	49.05

Cuadro 9: Promedio de datos prueba dureza para madera natural y clonada

Fuente: Elaboración propia

Promedio pruebas de corte					
Tipo	Carga (N)	Esfuerzo (N/mm^2)	Deformación (mm)	Deformación delta (<i>adimensional</i>)	Módulo cortante (kN/mm^2)
Natural	4565.87	3.54	1.30	0.0513	0.69
Clon	3657.74	2.83	1.04	0.0411	0.69

Cuadro 10: Promedio de datos pruebas a corte para madera natural y clonada

Fuente: Elaboración propia

Promedio prueba de densidad		
Tipo	Densidad característica promedio (kg/m^3)	Densidad media (kg/m^3)
Natural	2365	2442.857
Clonada	2057.5	2012.5

Cuadro 11: Promedio de datos prueba densidad para madera natural y clonada

Fuente: Elaboración propia

Promedio pruebas a tracción paralela al grano									
Natural					Clonada				
Carga (N)	Esfuerzo (N/mm^2)	Deformación (mm)	Deformación (<i>adimensional</i>)	Módulo de elasticidad a 90 (kN/mm^2)	Carga (N)	Esfuerzo (N/mm^2)	Deformación (mm)	Deformación (<i>adimensional</i>)	Módulo de elasticidad a 90 (kN/mm^2)
7272.04	160.31	8.40	0.0432	4.83	6636.4	146.30	5.60	0.0281	6.06

Cuadro 12: Promedio de datos prueba tracción paralela al grano para madera natural y clonada

Fuente: Elaboración propia

6.2. Resultados percentil 5 de las pruebas de laboratorio para madera *Tectona Grandis*

Quintos Percentiles										
Prueba	Flexión		Comp Paralela		Comp Perpendicular		Cortante		Tracción Paralela	
	Natural	Clonada	Natural	Clonada	Natural	Clonada	Natural	Clonada	Natural	Clonada
	47.43	72.37	37.20	31.96	6.03	3.89	2.62	2.34	79.13	65.41
	66.63	73.32	43.56	36.48	6.07	4.75	3.31	2.36	79.43	109.29
	70.39	77.72	43.99	40.51	6.77	5.49	3.43	2.44	106.79	119.19
	86.02	81.17	49.25	42.50	6.85	6.81	3.52	2.53	106.84	122.08
	87.26	82.41	51.75	44.00	6.94	7.43	3.52	2.70	158.81	123.65
	87.43	82.91	53.22	44.52	7.32	7.53	3.59	2.70	179.89	138.85
	91.14	85.12	53.26	48.81	7.43	7.63	3.59	2.91	199.30	172.34
	94.49	85.12	53.87	48.95	7.69	7.94	3.72	2.99	211.41	175.28
	96.2	90.40	54.80	49.38	8.34	8.02	3.72	3.03	230.83	196.07
	98.5	95.01	57.40	52.13	8.53	8.26	3.72	3.24	250.74	240.88
	-	-	-	-	-	-	3.72	3.38	-	-
	-	-	-	-	-	-	4.00	3.39	-	-
promedio	82.55	82.56	49.83	43.92	7.20	6.77	3.54	2.83	160.32	146.30
percentil 5	56.07	72.79	40.06	33.99	6.05	4.28	3.00	2.35	79.27	85.15

Cuadro 13: Percentil 5 para pruebas de madera natural y clonada

Fuente: Elaboración propia

6.3. Diseño de tabla para propiedades mecánicas de la madera natural y clonada de *Tectona Grandis*

<i>Tectona Grandis</i> Natural	
Valores característicos de resistencia [N/mm^2]	
Flexión	56.07
Tracción paralela	33.64
Tracción perpendicular	0.60
Compresión paralela	40.06
Compresión perpendicular	6.05
Cortante	3.00
Valores característicos de rigidez [kN/mm^2]	
Módulo de elasticidad	
paralelo promedio	6.12
perpendicular promedio	0.36
percentil 5	4.83
Módulo de cortante medio	0.69
Valores característicos de densidad [kg/m^3]	
Densidad característica	2365.00
Densidad media	2442.86

Cuadro 14: Propiedades mecánicas de la madera *Tectona Grandis* natural

Fuente: Elaboración propia

<i>Tectona Grandis</i> Clonada	
Valores característicos de resistencia [N/mm^2]	
Flexión	72.79
Tracción paralela	43.68
Tracción perpendicular	0.60
Compresión paralela	33.99
Compresión perpendicular	4.28
Cortante	2.35
Valores característicos de rigidez [kN/mm^2]	
Módulo de elasticidad	
paralelo promedio	4.90
perpendicular promedio	0.36
percentil 5	2.16
Módulo de cortante medio	0.69
Valores característicos de densidad [kg/m^3]	
Densidad característica	2057.50
Densidad media	2012.50

Cuadro 15: Propiedades mecánicas de la madera *Tectona Grandis* clonada

Fuente: Elaboración propia

6.4. Cuadro comparativo de madera Teca contra maderas del mercado

Tipo	<i>Tectona grandis</i> natural	Pino Candelillo	Pino Amarillo del Sur
Valores característicos de resistencia [N/mm^2]			
Flexión	56.07	37.03	18.00
Tracción paralela	33.64	22.22	11.00
Tracción perpendicular	0.60	0.6	0.50
Compresión paralela	40.06	21.37	18.00
Compresión perpendicular	6.05	7.21	2.20
Cortante	3.00	6.58	2.00
Valores característicos de rigidez [kN/mm^2]			
Módulo de elasticidad			
paralelo promedio	6.12	9.00	9.00
perpendicular promedio	0.36	0.30	0.30
percentil 5	4.83	6.03	6.00
Módulo de cortante medio	0.69	0.56	0.56
Valores característicos de densidad [kg/m^3]			
Densidad característica	2365	804	320
Densidad media	2442.86	680	380

Cuadro 16: Comparación de propiedades mecánicas para maderas comerciales

Fuente: Elaboración propia

Las propiedades mecánicas de la madera *Tectona grandis* natural y clonada fueron obtenidas mediante pruebas de laboratorio. Gracias a estas, se logró realizar una clasificación de las mismas, respecto a la normativa europea.

Se debe tomar en cuenta que algunas muestras tenían madera del centro o médula, esto puede afectar algunos valores de resistencia debido a que es más blanda. Además, la médula de la teca era blanda como el corcho, haciendo que las muestras que contenían esto, fallaran anticipadamente. Esto puede dar errores de datos o variación de los mismos; por lo que se recomienda, para futuras pruebas, utilizar madera de la albura o duramen sin médula. Esto puede verse como una ventaja, ya que son datos reales de la madera obtenida de plantaciones guatemaltecas, y es la realidad de la calidad al momento de comprar madera *Tectona grandis* del país.

Al realizar la prueba a flexión se obtuvo un esfuerzo de 56.07 N/mm^2 para madera natural y 72.79 N/mm^2 para madera clonada. Así mismo, se determinó el módulo de elasticidad paralelo al grano, siendo de 7.85 kN/mm^2 y de 6.91 kN/mm^2 , respectivamente. Se observa que la madera natural tiene un mejor módulo de elasticidad, lo que se debe a que esta posee más tiempo de crecimiento a comparación de la clonada (Ver Cuadro No. 6). Sin embargo la madera clonada presenta un mejor esfuerzo a flexión.

De igual forma, se efectuó la prueba a compresión paralela al grano, obteniendo un esfuerzo de 40.06 N/mm^2 para madera natural y 33.99 N/mm^2 para madera clonada. También, se determinó el módulo de elasticidad paralelo al grano, para madera natural de 2.40 kN/mm^2 y para madera clonada de 2.87 kN/mm^2 (Ver Cuadro No. 7). Se nota que la madera clonada soporta mayor esfuerzo que la madera natural al igual que un mayor módulo de elasticidad, sin embargo es mínima la diferencia entre ambas.

Así mismo, se llevó a cabo el ensayo de compresión perpendicular al grano, donde se

alcanzó un esfuerzo de 6.05 N/mm^2 para madera natural y 4.28 N/mm^2 para madera clonada. Adicionalmente, se obtuvo el módulo de elasticidad perpendicular a la fibra, el cual tiene un valor de 0.36 kN/mm^2 para madera natural y clonada (Ver cuadro No. [8](#)). Se puede observar que la madera natural soporta un mayor esfuerzo.

En el Cuadro No. [9](#), se observan los valores finales para la dureza en cada cara de la muestra, dando como resultado que la cara final o transversal de ambas maderas fueran más resistentes. Se obtuvo un valor de dureza promedio de 69.75 N/mm^2 para la madera natural o de semilla y 49.05 N/mm^2 para la madera clonada. Estos valores se comparan con el Cuadro No. [5](#) para darle una clasificación "*Dura*" a la Teca natural y "*Semidura*" a la madera Teca clonada.

La prueba a corte determina la capacidad de resistencia de adherencia en las fibras, esta se realiza para el lado tangencial y radial de la muestra. En el Cuadro No. [10](#) se puede observar la carga, esfuerzo, deformación delta y el módulo cortante. Se tiene que el esfuerzo a corte para madera natural es de 3.00 N/mm^2 , mientras que la madera clonada es de 2.35 N/mm^2 . A pesar que el esfuerzo y la deformación es diferente para ambas, se tiene un módulo a cortante de 0.69 kN/mm^2 para los dos tipos de madera.

La prueba de densidad se obtiene por medio del peso y el volumen de la muestra. Se determinó que la densidad característica promedio de la madera natural es de 2365.00 kg/m^3 y la clonada de 2057.50 kg/m^3 . Así como, la densidad media de la madera natural es de 2442.86 kg/m^3 y 2012.50 kg/m^3 para clonada (Ver Cuadro No. [11](#)). Debido a que la madera clonada es madera joven, este tipo de madera normalmente presenta una disminución de las propiedades de densidad y rigidez.

Para la prueba de tracción paralela se obtienen los datos de carga, esfuerzo, deformación y módulo de elasticidad. En el Cuadro No. [12](#) se puede observar que el esfuerzo a tracción paralela para madera natural es de 79.27 N/mm^2 y de 85.15 N/mm^2 para madera clonada. Se determinó un módulo de elasticidad de 4.83 kN/mm^2 para madera natural y 6.06 kN/mm^2 para madera clonada. Esta prueba no es tan confiable debido a sus múltiples errores en la medida de las piezas, cortes extras en la misma, errores humanos y posición de la mordazas o fuerzas extras aplicadas al momento de armar el montaje.

Se decidió despreciar los datos a tensión obtenidos en el laboratorio para la tabla de valores característicos, debido a la variación de los resultados. Es por esto que se llegaron a utilizar las ecuaciones del BS EN 338:2003, para obtener la tensión paralela y perpendicular al grano. La tensión paralela al grano para madera natural de 33.64 N/mm^2 . y clonada fue de 43.68 N/mm^2 . La tensión perpendicular al grano para madera natural y clonada es de 0.6 kN/mm^2 .

Los valores característicos de rigidez para la madera comprenden el módulo de elasticidad paralelo promedio, perpendicular promedio, quinto percentil y el módulo de cortante medio. El módulo de elasticidad paralelo promedio fue de 6.12 kN/mm^2 para la madera Teca natural, mientras que la clonada tiene un 4.90 N/mm^2 . El módulo de elasticidad perpendicular promedio fue de 0.36 para madera natural y clonada. El módulo de elasticidad del quinto percentil fue de 4.83 kN/mm^2 para madera natural y 2.15 kN/mm^2 para madera clonada. El módulo a cortante medio fue de 0.69 kN/mm^2 para ambas maderas.

Se observa que la madera natural tiene un mayor módulo de elasticidad, debido a que

tiene mayor tiempo de crecimiento (25 años) que la clonada (10 años). La madera natural es madera maciza mientras que la madera clonada es madera joven. Esta última presenta una disminución de las propiedades de densidad y rigidez. Sin embargo, a pesar que la madera teca clonada es madera joven, presenta características mayores o muy parecidas a la teca natural. Por lo que, la Teca clonada podría ser un buen sustituto de la Teca natural y una inversión para los silvicultores ya que, el tiempo de tala es menor al de la teca natural. Para tener mayores datos de la madera joven, se deberían de realizar más ensayos de la misma, con diferentes plantaciones y árboles para conocer el comportamiento real de estas maderas.

Una vez obtenidos los resultados de las pruebas, se diseñó un cuadro de valores característicos con respecto a las propiedades mecánicas según el Eurocódigo 5 para ambas maderas. Esto se puede observar en el cuadro [14](#) y [15](#), donde se tiene un resumen de las propiedades de cada madera. Se tomó en consideración los valores obtenidos en las pruebas, ecuaciones, el orden y unidades utilizadas por el Eurocódigo.

Se catalogó la madera natural de Teca por medio de la resistencia a flexión y el tipo de madera a la que pertenece (Caducifolia), según lo estipulado en el Eurocódigo 5. La madera *Tectona grandis* natural se clasifica como "D50", la cual es una clasificación media para las maderas Caducifolias o maderas duras. Los valores característicos de densidad son mayores a la clasificación "D50". Sin embargo, a pesar de que la mayoría de los valores característicos de resistencia son mayores a los propuestos en por la tabla 1.3 de Porteus (Figura No. [7](#)), los valores característicos de rigidez son casi 1.5 veces menores que lo que estipula la tabla. Lo que se debe a la calidad de la madera utilizada para los laboratorios, ya que había médula en las probetas y esto disminuye la resistencia y aumenta las fallas tempranas.

Se realizó una tabla comparativa con la información de tres maderas diferentes: Madera "*Tectona grandis*" Natural, Pino Candelillo Guatemalteco y Pino Amarillo del Sur. Al observar el Cuadro No. [16](#) se detalla que la madera Teca tiene mayores valores característicos de resistencia, exceptuando el cortante que es menor al de pino candelillo pero mayor que el de pino amarillo. Se observa que los valores característicos de rigidez varían; el módulo de elasticidad (MOE) paralelo promedio de Teca es 32 % más bajo que el de ambos pinos. Mientras que, el MOE perpendicular promedio de Teca es 20 % mayor que los dos pinos. El MOE percentil 5 de la madera Teca también disminuye 20 % respecto a los pinos y para el módulo de cortante medio se tiene que la Teca es 23 % mayor al de ambos pinos. Se conoce que mientras mayor sea el módulo de elasticidad, más rígida es la madera; y estos valores pueden disminuir por los errores en muestras, cantidad de médula, fallas tempranas por nudos, termitas o desviación de fibra.

Igualmente, se observa que los valores característicos de densidad son mayores. La densidad característica de la Teca natural es 3 veces mayor a la del pino candelillo y 7.4 veces la de pino amarillo. La densidad media de la Teca es 3.5 veces mayor a la del pino candelillo y 6.4 veces mayor a la del pino amarillo.

Se realizó una comparación entre los valores obtenidos por las pruebas de laboratorio y los brindados por las ecuaciones del Eurocódigo 5 (BS EN 338:2003). Debido a que la madera teca es una madera clase D, se utilizan las respectivas ecuaciones para los resultados de la misma. Se observó que la madera teca natural y clonada (Cuadros No. [22](#) y [23](#)) tiene un aumento y disminución, utilizando las ecuaciones del Eurocódigo 5:

En la madera Teca natural, los resultados de laboratorio son mayores para tracción paralela con un 58 %, compresión paralela con un 24 % y módulo de cortante medio con 45 %, comparado a los obtenidos de las ecuaciones del Eurocódigo. Los resultados de laboratorio menores fueron la compresión perpendicular con un 487 %, cortante con 27 %, MOE perpendicular promedio con 13 %, MOE percentil 5 con un 6 % y una densidad media con 16 %.

Para la madera Teca clonada los resultados de laboratorio son mayores para tracción paralela son un 49 %, MOE perpendicular promedio con 10 % y módulo de cortante medio con 56 %, comparado a los obtenidos de las ecuaciones del Eurocódigo. Los resultados de laboratorio menores fueron la compresión paralela con un 1 %, compresión perpendicular con un 622 %, cortante con 62 %, MOE percentil 5 con un 90 % y una densidad media con 23 %.

Se realizó una tabla comparativa de la *Tectona grandis* natural y clonada con respecto a las maderas presentadas en el Eurocódigo 5. En la figura 50 se puede observar que la madera Teca Natural es igual o supera los valores característicos de flexión, tracción paralela, tracción perpendicular, compresión paralela y perpendicular, densidad característica y densidad media de todas las clasificaciones de coníferas del Eurocódigo 5. Sin embargo, para el cortante solo lo supera la clase C30, para el MOE paralelo promedio y el MOE percentil 5 hasta el C14, para el MOE perpendicular promedio hasta el C22 y para el módulo de cortante medio hasta la C24.

En la figura 51 se puede observar que la madera Teca natural es igual o supera los valores característicos de tracción perpendicular, compresión paralela, densidad característica y densidad media de todas las clasificaciones de caducifolias del Eurocódigo 5. No obstante, para la flexión y tracción paralela sólo supera hasta la D50, para el cortante solo lo supera a la clase D30 y para el módulo de cortante medio hasta la D35. Se observó que la madera Teca natural no supera ningún valor de las clasificaciones de caducifolia del Eurocódigo 5 para compresión perpendicular, MOE paralelo promedio, MOE perpendicular promedio y MOE percentil 5.

En la figura 52 se observa que la madera Teca clonada es igual o supera los valores característicos de flexión, tracción paralela, tracción perpendicular, compresión paralela, compresión perpendicular y perpendicular, densidad característica y densidad media de todas las clasificaciones de coníferas del Eurocódigo 5. Sin embargo, para el cortante solo lo supera a la clase C20, para el MOE perpendicular promedio hasta el C22 y para el módulo de cortante medio hasta la C24. Se observó que la madera Teca clonada no supera ningún valor de las clasificaciones de coníferas del Eurocódigo 5 para MOE paralelo promedio y MOE percentil 5.

En la figura 53 se visualiza que la madera Teca clonada es igual o supera los valores característicos de flexión, tracción paralela, tracción perpendicular, densidad característica y densidad media de todas las clasificaciones de caducifolias del Eurocódigo 5. No obstante, para la compresión paralela sólo supera hasta la D60 y para el módulo de cortante medio hasta la D35. Se observó que la madera Teca clonada no supera ningún valor de las clasificaciones de caducifolia del Eurocódigo 5 para compresión perpendicular, cortante, MOE paralelo promedio, MOE perpendicular promedio y MOE percentil 5.

Se debe de tomar en cuenta que la madera de Teca clonada, podría llegar a superar los valores de la madera Teca natural si se realizaran los mismos estudios comparando estas maderas con los mismos años de crecimiento. Por lo que, podría ser algo interesante para realizarlo en otra fase o llegar a investigar y ensayar. Se recomienda darle un seguimiento a este tipo de estudios, ya que pueden beneficiar a los silvicultores y se puede llegar a observar qué valores característicos se pueden mejorar a futuro para estas plantaciones.

La madera Teca, gracias a sus aceites naturales y resinas, es altamente resistente a plagas, descomposición, no se oxida al contacto con metales, repele el agua y es resistente al clima, haciendo que no requiera de tratamientos. Además esta madera tiene un gran atractivo por su color, alta gama, facilidad de trabajo. dureza para resistir áreas de alta afluencia, una contracción baja, no es propensa a deformaciones, rajaduras o pandeos; por lo que la hace ideal para sustitución del pino al momento de construir en madera.

Conclusiones

- Se realizó la clasificación de las propiedades de la madera natural y clonada de *Tectona grandis* proveniente de bosques de Petén, obteniendo una clasificación de resistencia y densidad congruentes con la madera tipo D50 del Eurocódigo 5; sin embargo los valores de resistencia de compresión perpendicular al grano y cortante, son menores a los del Eurocódigo.
- Se realizaron ensayos de laboratorio para obtener las propiedades mecánicas de la madera natural y clonada, los cuales fueron ensayo a flexión, corte, dureza, densidad, tracción paralela, compresión paralela y perpendicular al grano; para la clasificación de la madera según la normativa europea.
- Se diseñó una tabla de valores característicos para la madera natural y clonada, tomando como base las tablas del Eurocódigo 5, donde se observó que la madera natural tiene valores de densidad y resistencia a compresión y cortante mayores a la clonada. No obstante, debe considerarse el tiempo de crecimiento de ambas maderas.
- Se catalogó la madera natural de *Tectona grandis* como tipo D50 según su clase de resistencia, la cual sobrepasa o iguala los valores de flexión, tracción paralela y perpendicular, compresión paralela, densidad característica y media respecto al Eurocódigo 5; sin embargo los valores de rigidez son 1.5 veces menores.
- Se realizó la comparación entre las propiedades mecánicas de la madera *Tectona grandis* natural contra el pino candelillo y pino amarillo del sur, obteniendo que la madera Teca tiene propiedades de resistencia y densidad mayores a los dos pinos, a excepción de la compresión perpendicular y cortante del pino candelillo. Sin embargo, el módulo de elasticidad paralelo y quinto percentil es menor comparado contra ambos pinos; a pesar de esto la madera Teca es resistente hacia químicos, termitas, hongos xilófagos, cambios climáticos extremos y repele agua y químicos.

- Se determinó que la madera *Tectona grandis* no necesita tratamientos químicos como otras maderas, además que requiere de un menor cuidado comparado contra otros pinos, haciendo que esta madera tenga un costo-beneficio mayor.
- Se observó que la madera *Tectona grandis* clonada a pesar de tener sólo 10 años de crecimiento presenta resistencia a flexión, tracción paralela y tracción perpendicular igual o mayor a la *Tectona grandis* natural con 25 años de crecimiento.
- Se apreció que la madera *Tectona grandis* clonada tiene un gran potencial como madera para construcción, ya que esta madera presenta valores característicos muy similares a la *Tectona grandis* natural.

Recomendaciones para ensayos de laboratorio

- Se recomienda utilizar madera proveniente de diferentes áreas del país para poder mejorar la clasificación de las especies con respecto a su área de producción.
- Se sugiere realizar más pruebas de laboratorio para tener una mayor cantidad de datos y que estos valores sirvan para tener una gráfica más precisa.
- Aplicar de manera uniforme la parafina al momento de realizar los ensayos de densidad.
- Asegurar de tener una madera de diferentes partes del árbol, ya que se puede obtener resultados más precisos del comportamiento mecánico de la misma.
- Se recomienda llevar un orden en los detalles de las roturas en las diferentes pruebas que se desean realizar.
- Se recomienda utilizar deformímetros mecánicos para poder tomar medidas exactas en la lectura de deformación para la muestras.
- Se recomiendan los deformímetros digitales solo si tienen más de 3 decimales, para una mayor precisión en cuanto a la toma de deformaciones.

Recomendaciones para uso de Teca en diseño de estructuras en madera

- Se recomienda el uso de madera teca para edificaciones duraderas, ya que resisten cambios climáticos, sol, terminas, hongos y repele agua y químicos.
- Se recomienda el uso de selladores para teca solo cuando se quiera preservar el color original de la misma.
- Se recomienda no usar ningún tipo de barniz, aceite o pintura para la madera Teca, ya que la misma cuenta con su propio aceite que la protege.

- Se recomienda el uso de Teca para estructuras a intemperie ya que tiene buenas propiedades mecánicas y de resistencia.
- Se recomienda el uso de madera Teca para realizar estructuras mas sostenibles y con una menor huella de carbono, además del acabado único y belleza natural de la madera.

Recomendaciones para productores de Teca

- Se recomienda realizar más estudios a las maderas clonadas, ya que son maderas con un gran potencial para explotar y beneficiar a los silvicultores.
- Se sugiere que los diferentes aserraderos del país realicen una normativa de madera unificada, con la información y características de las maderas nacionales, para motivar a la población guatemalteca a consumir sus productos y asegurar la calidad de los mismos.
- Se sugiere que el instituto nacional de bosques (INAB) apoye con iniciativas para llegar a una clasificación de madera, basándose con clasificaciones internacionales, para poder exportar una madera de mejor calidad.

Recomendaciones para departamento de ingeniería civil

- Realizar más estudios como este con diferentes maderas, para lograr un manual o clasificación de las maderas provenientes de Guatemala, para un mejor valor y control de la misma.
- Realizar más estudios con respecto a las diferentes maderas clonadas que se trabajan en el país, para conocer los beneficios de los mismos.
- Apoyar a silvicultores interesados en este tipo de estudios para sus plantaciones y unificar los datos obtenidos.

Recomendaciones para la realización de una segunda fase

- Se recomienda a futuro realizar una comparativa de las propiedades de la madera Teca natural y Teca clonada, con la misma cantidad de años de crecimiento, para tener una comparativa justa entre ambas maderas.
- Continuar con el estudio de la madera Teca natural y clonada, ya que puede beneficiar a los silvicultores y se puede encontrar valores característicos para modificarlos en futuras plantaciones.
- Se sugiere realizar los mismos ensayos para el caso de la madera Teca natural y clonada expuesta a rayos ultravioleta y lluvia, para determinar el comportamiento de las propiedades de la madera deteriorada por la intemperie.

- A. de investigación técnica de las industrias de la madera. (2015). *Protectores preventivos frente a agentes xilófagos*, dirección: https://infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_284_Protectores%5C%20Preventivos%5C%20agentes%5C%20xilof_agos_28.01.2015.pdf
- A. de investigación técnica de las industrias de la madera. (2014). *Tratamientos curativos*, dirección: https://www.cscae.com/area_tecnica/aitim/enlaces/documentos/AITIM_Pr_oteccion_curativa_madera_01.09.14.pdf.
- ASTM International. (2014). *ASTM D2395-14 Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials*. ASTM International:USA
- ASTM International. (2014). *ASTM D143-14 Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber*. ASTM International: USA
- AITIM. (2015). *Propiedades físicas de la madera peso específico*, dirección: https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_877_16765.pdf.
- Andina, M. (2020). *La madera de pino amarillo: usos y propiedades*, dirección: <https://maderera-andina.com/la-madera-de-pino-amarillo-usos-y-propiedades/>.
- Arquiplus. (2016). *Historia de la madera en la construcción*, dirección: <https://www.arkiplus.com/historia-de-la-madera/>.
- Austria, P. (2013). *Madera laminada encolada*, dirección: [https://www.interempresas.net/Madera/Articulos/106945-Madera-laminada-encolada-\(MLE\).html](https://www.interempresas.net/Madera/Articulos/106945-Madera-laminada-encolada-(MLE).html).
- Blatem. (2018). *Tratamientos protectores de madera para una buena conservación*, dirección: <https://www.blatem.coms/actualidad/noticias/tratamientos-protectores-de-madera-para-una-buenaconservacion>.
- Borrás, X. (2010). *Breve historia de la madera como material de construcción*, dirección:

<https://www.interempresas.net/Madera/Articulos/44265-Breve-historia-de-la-madera-como-material-deconstruccion.html>.

Bureau, P. (2017). *Heat Treatment Certification Services*, dirección: <http://www.plib.org/services/heat-treatment-ht/.70>

C. A. Data. (2019). *Madera: Ventas regionales por 206 millones de dólares*, dirección: https://www.centralamericadata.com/es/article/home/Madera_Ventas_regionales_por_206_millones.

Calleros, H. (2012). *Propiedades de la madera*, dirección: <https://sites.google.com/site/tecnologiadelamadera/propiedades-fisicas>.

Calone, M. (2013). *Preservación de la madera*, dirección: <http://www.fadu.edu.uy/tesinas/files/2015/12/PRESERVACI%C3%93N-DE-LA-MADERA-ENTREGA-FINALCIANCIARULO-LLAMB%C3%8DAS.pdf>.

Camino, R. y Morales, J. (Enero de 2013). *Las Plantaciones de Teca en América Latina: Mitos y Realidades*. Isbn: 978-9977-57-620-6.

de la Calle Grande, J. (2013). *Análisis comparativo de diferentes métodos para la determinación de dureza en maderas*, dirección: <http://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/2938/TFM-L55.pdf;jsessionid=8D2083BED088F42EFD64A8449BF57E22?sequence=1>.

EFE. (2018). *La clonación de plantas, un contrataque a la extinción de las especies*, dirección: <https://www.efe.com/efe/america/mexico/la-clonacion-de-plantas-un-contrataque-a-extincion-las-especies/50000545-3592732>.

Feijoo, F., Emiliano, C., Ramón D., Armijos y Pucha Cofrep. (Oct. de 2018). *GUÍA PARA CORTES ANATÓMICOS DE LA MADERA*. Isbn: 978-9978-355-37-4.

F. P. Laboratory. (2010). *Wood handbook-Wood as an engineering materia*. Department of agriculture, forest service, forest products laboratory.

Godínez, R. y Mario, O. (2010). *Propiedades físicas de la madera*, dirección: http://132.248.9.195/ptd2013/enero/0688067/0688067_A6.pdf.

Hardware, S. (2015). *How to Care for Teak Furniture*, dirección: <https://www.signaturehardware.com/lchow-to-care-for-teak>.

INAB. (2019). *Información relevante a la especie Tectona grandis, de las plantaciones inscritas en registro Nacional Forestal*, dirección: <https://mangomap.com/inab-industriaycomercio/maps/99587/teca-tectona-grandis-#>.

INAB, (2017). *“Pino Candelillo (Pinus maximinoi H.E. Moore”*, Instituto Nacional de Bosques, informe final, pág. 37.

I. N. de Bosques. (2014). *Dinámica de crecimiento y productividad de 28 especies en plantaciones forestales de Guatemala*, dirección: http://ppm.inab.gob.gt/docs/dinamica_28_especies_en_plantaciones_vf.pdf.

Infomadera. (2018). *Propiedades mecánicas de la madera estructural*, dirección: <https://>

infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_40_mecanica_Estructural.pdf.

INSIVUMEH. (2016). *Sismología en Guatemala*, dirección: http://www.insivumeh.gob.gt/folletos/folleto_sismo-1.pdf.

K. Architects. (2015). *13 reasons sustainable timber is the best construction material*, dirección: <http://www.koruarchitects.co.uk/choosesustainabletimber/#:~:ext=Sustainable%20timber%5C%20has%5C%20the%5C%20lowest,processing%5C%20compared%5C%20to%5C%20other%5C%20materials>.

Keogh, R. (2009). *The future of Teak and the high-grade tropical hardwood sector: Solving the tropical Hardwood Crisis with emphasis on Teak*, dirección: <http://www.fao.org/3/k6549e/k6549e00.pdf>.

Lenin, M. (2015). *Arseniato de cobre cromatado*, dirección: <https://www.scribd.com/doc/268290879/Arseniato-de-Cobre-Cromatado>.

Luley y Christopher. (2006). *Identificación del tipo de pudrición de la madera y hongos xilófagos en árboles urbanos*, dirección: <http://www.dbbe.fcen.uba.ar/contenido/objetos/Identifictipodepudric.pdf>.

Maderame. (2018). *Madera de Teca: Características y Principales Usos*, dirección: <https://maderame.com/madera-teca/>.

Maderea. (2017). *Madera microlaminada o LVL*, dirección: <https://www.maderea.es/madera-microlaminada-o-lvl-descripcion-usos-y-caracteristicas-beneficios-e-inconvenientes/>.

Martin, C. y et al. (2002). “*Los defectos naturales en la madera aserrada*”, Ingeniería: pág. 29-38.

MBesterio. (2014). *Evolución de la construcción con madera*, dirección: <https://mbesteiro.com/blog/evolucion-de-la-construccion-con-madera/.69>

N.A. (2015). *Tectonia grandis*, dirección: <http://jblancetilla.org/Teca>

P. Guatemala. (2016). *Manejo forestal sostenible, una actividad que conocemos a medias*, dirección: https://www.gt.undp.org/content/guatemala/es/home/ourperspective/ourperspective_articles/2016/07/07/manejo-forestal-sostenible_una-actividad-que-conocemos-a-medias.html.

Pandey, D. y Brown, C. (2000). *La teca: una visión global*, dirección: <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/X4565S/X4565s02.PDF>.

Porteous, J. y Kermani, A. (2007). *Structural timber design to eurocode 5*. Blackwell publishing.

Puertas, P. y Salnicov, C. y Linares, M. (2013). *Manual de transformación de la madera*, dirección: http://www.itto.int/files/itto_project_db_input/2929/Technical/Technical%5C%20report%5C%20%5C%20Manual%5C%20de%5C%20transformacion%5C%20de%5C%20la%5C%20madera.pdf.

Rapp, A. (2001). *Heat Treatment of wood*, dirección: http://www.westwoodcorporation.com/worldwide/review_heat.pdf.

Ravira, C. (2012). *La madera en la historia de la aviación*, dirección: <http://blog.cesda.com/2012/08/15/la-madera-en-la-historia-de-la-aviacion>.

Sánchez, J. (2018). *Tipos de madera: características y clasificación*, dirección: <https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-madera-caracteristicasyclasificacion1223.html>

S. F. P. Association. (2013). *Southern Pine Reference Design Values*, dirección: http://www.southernpine.com/app/uploads/TABLES_1-2_USE.pdf.

Shaddy, W. (2012). *Teak Wood Finishing Products*, dirección: <https://homeguides.sfgate.com/teak-wood-finishing-products-99597.html>.

SIFGUA. (2010). *Manejo forestal*, dirección: <http://www.sifgua.org.gt/ManejoIndex.aspx.71>

Solís, J. (2012). *Los protectores de la madera*, dirección: <https://www.interempresas.net/Madera/Articulos/69971-Los-protectores-de-la-madera.html>.

Spavento, E., Keil, G. y Monteoliva, S. (2008). *Propiedades Mecánicas de la Madera*, dirección: http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/1725/mod_resource/content/0/APUNTES_PROPIEDADES_MECANICAS_2008.pdf.

Studie, C. (2016). *Structure sizing a beam using deflection and stress equations: A simply supported wooden Beam is loaded in the center*, dirección: https://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/_structures-sizing-_beamusing-deflection-stress-equations-simply-supported-wooden-beam-loadq43553649.

Universidad politécnica de Madrid. (2006). *Documento básico SE-M*, dirección: http://www.aq.upm.es/Departamentos/Estructuras/e96-50/textos_comunes/_CODIGO%5C_%20TECNICO%5C%20MADERA.pdf.

Universo, E. (2011). *Clonación de árboles, futuro de plantaciones forestales y nuevos fármacos*, dirección: <https://www.eluniverso.com/2011/11/26/1/1430/clonacion-arboles-futuro-plantaciones-forestales-nuevos-farmacos.html>.

USEP Agency. (2019). *Overview of Wood Preservative Chemicals*, dirección: <https://www.epa.gov/ingredientsusedpesticideproducts/overviewwoodpreservativechemicals>

Vasco, G. (2016). *Manual técnico de formación para la caracterización de madera de uso estructural*, dirección: <http://normadera.tknika.net/es/content/densidad>.

Warehouse, T (2010). *Five Reasons Why Teak is the Best Wood for Outdoor Furniture*, dirección: <https://teakwarehouse.com/fivereasonsteakbestwoodforoutdoorfurniture/>

Wellmann, C. (2015). *Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera de Pinus maximinoi H.E. Moore*; Cobán, Alta Verapaz. dirección: <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2015/06/22/Campos-Christian.pdf>.

WOOD. (2016). *Protecciones y acabados para la madera*, dirección: <http://woodsrl.com>.

[com.ar/protecciones-y-acabados-para-la-madera/.](http://com.ar/protecciones-y-acabados-para-la-madera/)

11.1. Fotografías



Figura 23: Falla prueba a flexión Teca natural muestras 1 a 5

Fuente: Elaboración propia



Figura 24: Falla prueba a flexión Teca natural muestras 6 a 10

Fuente: Elaboración propia



Figura 25: Falla prueba a flexión Teca clonada muestras 1 a 5

Fuente: Elaboración propia



Figura 26: Falla prueba a flexión Teca clonada muestras 6 a 10

Fuente: Elaboración propia



Figura 27: Falla prueba a compresión paralela Teca natural muestras 1 a 5

Fuente: Elaboración propia

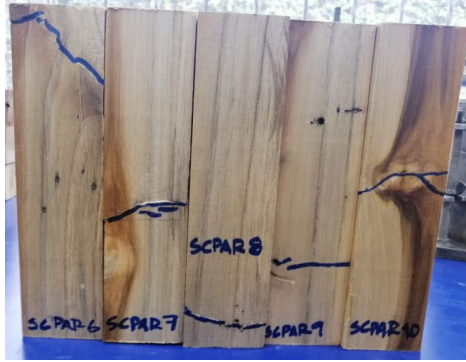


Figura 28: Falla prueba a compresión paralela Teca natural muestras 6 a 10

Fuente: Elaboración propia



Figura 29: Falla prueba a compresión paralela Teca clonada muestras 1 a 5

Fuente: Elaboración propia



Figura 30: Falla prueba a compresión paralela Teca clonada muestras 6 a 10

Fuente: Elaboración propia



Figura 31: Falla prueba a corte cara radial Teca natural

Fuente: Elaboración propia



Figura 32: Falla prueba a corte cara tangencial Teca natural

Fuente: Elaboración propia



Figura 33: Falla prueba a corte cara radial Teca clonada

Fuente: Elaboración propia



Figura 34: Falla prueba a corte cara tangencial Teca clonada

Fuente: Elaboración propia



Figura 35: Falla prueba dureza en cara transversal, radial y tangencial de Teca natural

Fuente: Elaboración propia

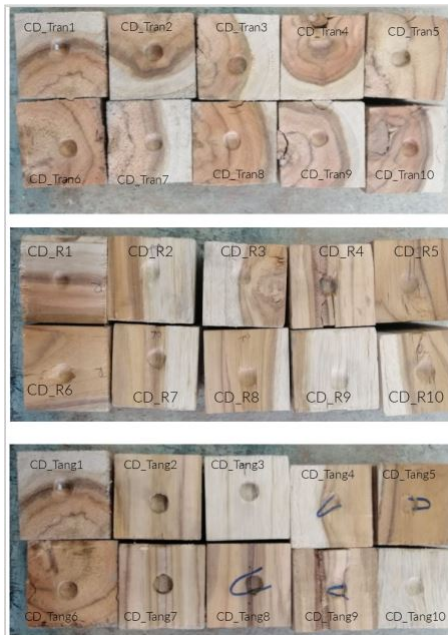


Figura 36: Falla prueba dureza en cara transversal, radial y tangencial de Teca clonada

Fuente: Elaboración propia



Figura 37: Falla prueba tracción paralela al grano de Teca natural vista frontal

Fuente: Elaboración propia



Figura 38: Falla prueba tracción paralela al grano de Teca natural vista trasera

Fuente: Elaboración propia



Figura 39: Falla prueba tracción paralela al grano de Teca clonada vista frontal

Fuente: Elaboración propia



Figura 40: Falla prueba tracción paralela al grano de Teca clonada vista trasera

Fuente: Elaboración propia

11.2. Memoria de cálculos

Prueba a Flexión Teca Natural 1 a 3																						
PESO	SF1						SF2						SF3									
	1441.0						1360.0						1452.0									
	carga (lbf)	Carga (N)	Esfuerzo (lbf/in ²)	Esfuerzo (N/mm ²)	Def Real (in)	Def Real (mm)	Def Deformimetro (mm)	carga (lbf)	Carga (N)	Esfuerzo (lbf/in ²)	Esfuerzo (N/mm ²)	Def Real (in)	Def Real (mm)	Def Deformimetr (mm)	carga (lbf)	Carga (N)	Esfuerzo (lbf/in ²)	Esfuerzo (N/mm ²)	Def Real (in)	Def Real (mm)	Def Deformimetr (mm)	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	61.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	61.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	62.00
100.00	444.80	562.50	3.88	0.04	1.00	62.00	100.00	444.80	562.50	3.88	0.08	2.00	63.00	100.00	444.80	562.50	3.88	0.04	1.00	63.00	100.00	63.00
200.00	889.60	1125.00	7.76	0.08	2.00	63.00	200.00	889.60	1125.00	7.76	0.08	2.00	63.00	200.00	889.60	1125.00	7.76	0.08	2.00	64.00	200.00	64.00
300.00	1334.40	1687.50	11.63	0.12	3.00	64.00	300.00	1334.40	1687.50	11.63	0.12	3.00	64.00	300.00	1334.40	1687.50	11.63	0.12	3.00	65.00	300.00	65.00
400.00	1779.20	2250.00	15.51	0.16	4.00	65.00	400.00	1779.20	2250.00	15.51	0.16	4.00	65.00	400.00	1779.20	2250.00	15.51	0.16	4.00	66.00	400.00	66.00
500.00	2224.00	2812.50	19.39	0.16	4.00	65.00	500.00	2224.00	2812.50	19.39	0.16	4.00	65.00	500.00	2224.00	2812.50	19.39	0.16	4.00	66.00	500.00	66.00
600.00	2668.80	3375.00	23.27	0.20	5.00	66.00	600.00	2668.80	3375.00	23.27	0.20	5.00	66.00	600.00	2668.80	3375.00	23.27	0.16	4.00	66.00	600.00	66.00
700.00	3113.60	3937.50	27.15	0.24	6.00	67.00	700.00	3113.60	3937.50	27.15	0.24	6.00	67.00	700.00	3113.60	3937.50	27.15	0.20	5.00	67.00	700.00	67.00
800.00	3558.40	4500.00	31.02	0.24	6.00	67.00	800.00	3558.40	4500.00	31.02	0.24	6.00	67.00	800.00	3558.40	4500.00	31.02	0.24	6.00	68.00	800.00	68.00
900.00	4003.20	5062.50	34.90	0.28	7.00	68.00	900.00	4003.20	5062.50	34.90	0.28	7.00	68.00	900.00	4003.20	5062.50	34.90	0.24	6.00	68.00	900.00	68.00
1000.00	4448.00	5625.00	38.78	0.31	8.00	69.00	1000.00	4448.00	5625.00	38.78	0.28	7.00	68.00	1000.00	4448.00	5625.00	38.78	0.28	7.00	69.00	1000.00	69.00
1100.00	4892.80	6187.50	42.66	0.31	8.00	69.00	1100.00	4892.80	6187.50	42.66	0.31	8.00	69.00	1100.00	4892.80	6187.50	42.66	0.31	8.00	70.00	1100.00	70.00
1200.00	5337.60	6750.00	46.54	0.35	9.00	70.00	1200.00	5337.60	6750.00	46.54	0.35	9.00	70.00	1200.00	5337.60	6750.00	46.54	0.31	8.00	70.00	1200.00	70.00
1300.00	5782.40	7312.50	50.42	0.39	10.00	71.00	1300.00	5782.40	7312.50	50.42	0.35	9.00	70.00	1300.00	5782.40	7312.50	50.42	0.35	9.00	71.00	1300.00	71.00
1400.00	6227.20	7875.00	54.29	0.39	10.00	71.00	1400.00	6227.20	7875.00	54.29	0.39	10.00	71.00	1400.00	6227.20	7875.00	54.29	0.39	10.00	72.00	1400.00	72.00
1500.00	6672.00	8437.50	58.17	0.43	11.00	72.00	1500.00	6672.00	8437.50	58.17	0.43	11.00	72.00	1500.00	6672.00	8437.50	58.17	0.39	10.00	72.00	1500.00	72.00
1600.00	7116.80	9000.00	62.05	0.47	12.00	73.00	1600.00	7116.80	9000.00	62.05	0.47	12.00	73.00	1600.00	7116.80	9000.00	62.05	0.43	11.00	73.00	1600.00	73.00
1700.00	7561.60	9562.50	65.93	0.51	13.00	74.00	1700.00	7561.60	9562.50	65.93	0.47	12.00	73.00	1700.00	7561.60	9562.50	65.93	0.47	12.00	74.00	1700.00	74.00
1800.00	8006.40	10125.00	69.81	0.51	13.00	74.00	1800.00	8006.40	10125.00	69.81	0.51	13.00	74.00	1800.00	8006.40	10125.00	69.81	0.47	12.00	74.00	1800.00	74.00
1900.00	8451.20	10687.50	73.68	0.55	14.00	75.00	1900.00	8451.20	10687.50	73.68	0.55	14.00	75.00	1900.00	8451.20	10687.50	73.68	0.51	13.00	75.00	1900.00	75.00
2000.00	8896.00	11250.00	77.56	0.59	15.00	76.00	2000.00	8896.00	11250.00	77.56	0.59	15.00	76.00	2000.00	8896.00	11250.00	77.56	0.55	14.00	76.00	2000.00	76.00
2100.00	9340.80	11812.50	81.44	0.63	16.00	77.00	2100.00	9340.80	11812.50	81.44	0.63	16.00	77.00	2100.00	9340.80	11812.50	81.44	0.59	15.00	77.00	2100.00	77.00
2200.00	9785.60	12375.00	85.32	0.71	18.00	79.00	2200.00	9785.60	12375.00	85.32	0.67	17.00	78.00	2200.00	9785.60	12375.00	85.32	0.63	16.00	78.00	2200.00	78.00
2300.00	10230.40	12937.50	89.20	0.75	19.00	80.00	2300.00	10230.40	12937.50	89.20	0.71	18.00	79.00	2300.00	10230.40	12937.50	89.20	0.67	17.00	79.00	2300.00	79.00
2400.00	10675.20	13500.00	93.07	0.83	21.00	82.00	2400.00	10675.20	13500.00	93.07	0.75	19.00	80.00	2400.00	10675.20	13500.00	93.07	0.71	18.00	80.00	2400.00	80.00
2480.50	11033.26	13952.81	96.20	0.94	24.00	85.00	2436.50	10837.55	13705.31	94.49	0.79	20.00	81.00									
carga máxima (lbf)	2480.50						2436.50							2350.00								
Carga máxima (N)	11033.26						10837.55							10452.80								
Esfuerzo a flexión (lbf/in ²)			13952.81						13705.31								13218.75					
Esfuerzo a flexión (N/mm ²)				96.20						94.49								91.14				
deformación (mm)							24.00															18.00
deformación (in)					0.94							0.79								0.71		
modulo de elasticidad (lbf/in ²)		1107504.49							1305431.02								1398984.38					
modulo de elasticidad (kN/mm ²)							7.64							9.00								9.65
TPO DE FALLA	FLEXION SIMPLE Y COMPRESION						FLEXION SIMPLE						FLEXION DE GRANO CRUZADO									

SF1

Linear (SF1)

SF2

Linear (SF2)

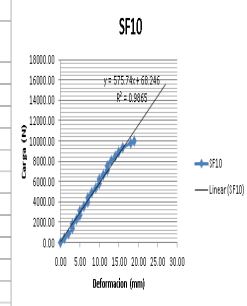
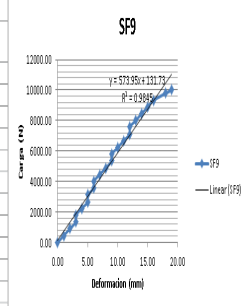
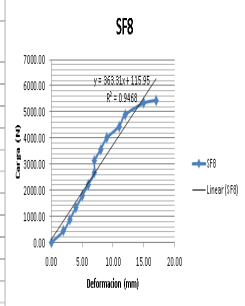
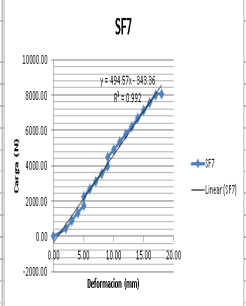
SF3

Linear (SF3)

Prueba a Flexión Teca Natural 7 a 10

SF7						SF8						SF9						SF10									
151.70						151.0						138.5						140.0									
carga (kgf)	Carga (N)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (N/mm ²)	Def Real (mm)	def Defoimimetr (mm)	carga (kgf)	Carga (N)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (N/mm ²)	Def Real (mm)	def Defoimimetr (mm)	carga (kgf)	Carga (N)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (N/mm ²)	Def Real (mm)	def Defoimimetr (mm)	carga (kgf)	Carga (N)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (N/mm ²)	Def Real (mm)	def Defoimimetr (mm)				
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
100.00	444.80	562.50	3.88	0.08	2.00	64.00	100.00	444.80	562.50	3.88	0.08	2.00	65.00	100.00	444.80	562.50	3.88	0.04	1.00	66.00	100.00	444.80	562.50	3.88	0.04	1.00	64.00
200.00	889.60	1125.00	7.76	0.12	3.00	65.00	200.00	889.60	1125.00	7.76	0.12	3.00	66.00	200.00	889.60	1125.00	7.76	0.08	2.00	67.00	200.00	889.60	1125.00	7.76	0.08	2.00	65.00
300.00	1334.40	1687.50	11.63	0.16	4.00	66.00	300.00	1334.40	1687.50	11.63	0.16	4.00	67.00	300.00	1334.40	1687.50	11.63	0.12	3.00	68.00	300.00	1334.40	1687.50	11.63	0.12	3.00	66.00
400.00	1779.20	2250.00	15.51	0.20	5.00	67.00	400.00	1779.20	2250.00	15.51	0.20	5.00	68.00	400.00	1779.20	2250.00	15.51	0.12	3.00	68.00	400.00	1779.20	2250.00	15.51	0.12	3.00	66.00
500.00	2224.00	2812.50	19.39	0.20	5.00	67.00	500.00	2224.00	2812.50	19.39	0.14	6.00	69.00	500.00	2224.00	2812.50	19.39	0.16	4.00	69.00	500.00	2224.00	2812.50	19.39	0.16	4.00	67.00
600.00	2668.80	3375.00	23.27	0.24	6.00	68.00	600.00	2668.80	3375.00	23.27	0.28	7.00	70.00	600.00	2668.80	3375.00	23.27	0.20	5.00	70.00	600.00	2668.80	3375.00	23.27	0.20	5.00	68.00
700.00	3113.60	3937.50	27.15	0.28	7.00	69.00	700.00	3113.60	3937.50	27.15	0.28	7.00	70.00	700.00	3113.60	3937.50	27.15	0.20	5.00	70.00	700.00	3113.60	3937.50	27.15	0.20	5.00	68.00
800.00	3558.40	4500.00	31.02	0.31	8.00	70.00	800.00	3558.40	4500.00	31.02	0.31	8.00	72.00	800.00	3558.40	4500.00	31.02	0.24	6.00	72.00	800.00	3558.40	4500.00	31.02	0.24	6.00	69.00
900.00	4003.20	5062.50	34.90	0.35	9.00	71.00	900.00	4003.20	5062.50	34.90	0.35	9.00	72.00	900.00	4003.20	5062.50	34.90	0.24	6.00	72.00	900.00	4003.20	5062.50	34.90	0.28	7.00	70.00
1000.00	4448.00	5625.00	38.78	0.35	9.00	71.00	1000.00	4448.00	5625.00	38.78	0.43	11.00	74.00	1000.00	4448.00	5625.00	38.78	0.28	7.00	72.00	1000.00	4448.00	5625.00	38.78	0.28	7.00	70.00
1100.00	4892.80	6187.50	42.66	0.39	10.00	72.00	1100.00	4892.80	6187.50	42.66	0.47	12.00	75.00	1100.00	4892.80	6187.50	42.66	0.31	8.00	73.00	1100.00	4892.80	6187.50	42.66	0.31	8.00	71.00
1200.00	5337.60	6750.00	46.54	0.43	11.00	73.00	1200.00	5337.60	6750.00	46.54	0.59	15.00	78.00	1200.00	5337.60	6750.00	46.54	0.35	9.00	74.00	1200.00	5337.60	6750.00	46.54	0.35	9.00	72.00
1300.00	5782.40	7312.50	50.42	0.47	12.00	74.00	1300.00	5782.40	7312.50	50.42	0.67	17.00	80.00	1300.00	5782.40	7312.50	50.42	0.35	9.00	74.00	1300.00	5782.40	7312.50	50.42	0.39	10.00	73.00
1400.00	6227.20	7875.00	54.29	0.51	13.00	75.00							1400.00	6227.20	7875.00	54.29	0.39	10.00	75.00	1400.00	6227.20	7875.00	54.29	0.39	10.00	73.00	
1500.00	6672.00	8437.50	58.17	0.55	14.00	76.00							1500.00	6672.00	8437.50	58.17	0.43	11.00	76.00	1500.00	6672.00	8437.50	58.17	0.43	11.00	74.00	
1600.00	7116.80	9000.00	62.05	0.59	15.00	77.00							1600.00	7116.80	9000.00	62.05	0.47	12.00	77.00	1600.00	7116.80	9000.00	62.05	0.47	12.00	75.00	
1700.00	7561.60	9562.50	65.93	0.63	16.00	78.00							1700.00	7561.60	9562.50	65.93	0.47	12.00	77.00	1700.00	7561.60	9562.50	65.93	0.47	12.00	75.00	
1800.00	8006.40	10125.00	69.81	0.67	17.00	79.00							1800.00	8006.40	10125.00	69.81	0.51	13.00	78.00	1800.00	8006.40	10125.00	69.81	0.51	13.00	76.00	
1915.00	8073.12	10209.38	70.39	0.71	18.00	80.00							1915.00	8073.12	10209.38	70.39	0.55	14.00	79.00	1915.00	8073.12	10209.38	70.39	0.55	14.00	77.00	
														2000.00	8896.00	11250.00	77.56	0.59	15.00	80.00	2000.00	8896.00	11250.00	77.56	0.59	15.00	78.00
														2100.00	9340.80	11812.50	81.44	0.63	16.00	81.00	2100.00	9340.80	11812.50	81.44	0.63	16.00	79.00
														2200.00	9785.60	12375.00	85.32	0.71	18.00	83.00	2200.00	9785.60	12375.00	85.32	0.71	18.00	81.00
														2250.00	10008.00	12656.25	87.26	0.75	19.00	84.00	2300.00	10230.40	12937.50	89.20	0.75	19.00	82.00
																				2400.00	10675.20	13500.00	93.07	0.87	22.00	85.00	
																				2500.00	11120.00	14062.50	96.95	0.94	24.00	87.00	
																				2540.00	11297.92	14207.50	98.50	1.06	27.00	90.00	

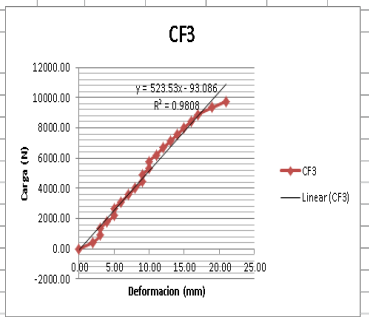
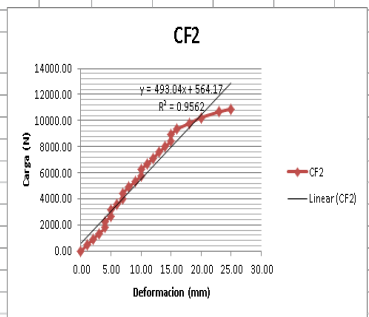
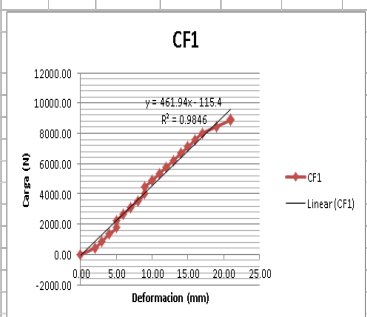
1815.00	6073.12	10209.38	70.39	0.71	18.00	108042.19	77084.67	126095.59	108062.50														
1229.00	5429.91	6878.38	47.43	0.67	17.00	7.45	5.31	8.75	6.35														
2250.00	10008.00	12656.25	87.26	0.75	19.00																		
2540.00	11297.92	14207.50	98.50	1.06	27.00																		
FLEXION DE GRABO CRUZADO						FLEXION ABRUPTA						FLEXION SIMPLE						FLEXION SIMPLE					



Prueba a Flexión Teca clonada 1 a 3

PESO	CF1							CF2							CF3								
	1358.5							1337.0							1321.5								
	carga (lbf)	Carga (N)	Esfuerzo (lbf/in ²)	Esfuerzo (N/mm ²)	Def Real (in)	Def Real (mm)	def Deformi metro(m)	carga (lbf)	Carga (N)	Esfuerzo (lbf/in ²)	Esfuerzo (N/mm ²)	Def Real (in)	Def Real (mm)	def Deformi metro(m)	carga (lbf)	Carga (N)	Esfuerzo (lbf/in ²)	Esfuerzo (N/mm ²)	Def Real (in)	Def Real (mm)	def Deformi metro(m)		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	62.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	63.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	62.00	
100.00	444.80	562.50	3.88	0.08	2.00	64.00	100.00	444.80	562.50	3.88	0.04	1.00	64.00	100.00	444.80	562.50	3.88	0.08	2.00	64.00	100.00	444.80	
200.00	889.60	1125.00	7.76	0.12	3.00	65.00	200.00	889.60	1125.00	7.76	0.08	2.00	65.00	200.00	889.60	1125.00	7.76	0.12	3.00	65.00	200.00	889.60	
300.00	1334.40	1687.50	11.63	0.16	4.00	66.00	300.00	1334.40	1687.50	11.63	0.12	3.00	66.00	300.00	1334.40	1687.50	11.63	0.12	3.00	65.00	300.00	1334.40	
400.00	1779.20	2250.00	15.51	0.20	5.00	67.00	400.00	1779.20	2250.00	15.51	0.16	4.00	67.00	400.00	1779.20	2250.00	15.51	0.16	4.00	66.00	400.00	1779.20	
500.00	2224.00	2812.50	19.39	0.20	5.00	67.00	500.00	2224.00	2812.50	19.39	0.16	4.00	67.00	500.00	2224.00	2812.50	19.39	0.20	5.00	67.00	500.00	2224.00	
600.00	2668.80	3375.00	23.27	0.24	6.00	68.00	600.00	2668.80	3375.00	23.27	0.20	5.00	68.00	600.00	2668.80	3375.00	23.27	0.20	5.00	67.00	600.00	2668.80	
700.00	3113.60	3937.50	27.15	0.28	7.00	69.00	700.00	3113.60	3937.50	27.15	0.20	5.00	68.00	700.00	3113.60	3937.50	27.15	0.24	6.00	68.00	700.00	3113.60	
800.00	3558.40	4500.00	31.02	0.31	8.00	70.00	800.00	3558.40	4500.00	31.02	0.24	6.00	69.00	800.00	3558.40	4500.00	31.02	0.28	7.00	69.00	800.00	3558.40	
900.00	4003.20	5062.50	34.90	0.35	9.00	71.00	900.00	4003.20	5062.50	34.90	0.28	7.00	70.00	900.00	4003.20	5062.50	34.90	0.31	8.00	70.00	900.00	4003.20	
1000.00	4448.00	5625.00	38.78	0.35	9.00	71.00	1000.00	4448.00	5625.00	38.78	0.28	7.00	70.00	1000.00	4448.00	5625.00	38.78	0.35	9.00	71.00	1000.00	4448.00	
1100.00	4892.80	6187.50	42.66	0.39	10.00	72.00	1100.00	4892.80	6187.50	42.66	0.31	8.00	71.00	1100.00	4892.80	6187.50	42.66	0.35	9.00	71.00	1100.00	4892.80	
1200.00	5337.60	6750.00	46.54	0.43	11.00	73.00	1200.00	5337.60	6750.00	46.54	0.35	9.00	72.00	1200.00	5337.60	6750.00	46.54	0.39	10.00	72.00	1200.00	5337.60	
1300.00	5782.40	7312.50	50.42	0.47	12.00	74.00	1300.00	5782.40	7312.50	50.42	0.39	10.00	73.00	1300.00	5782.40	7312.50	50.42	0.39	10.00	72.00	1300.00	5782.40	
1400.00	6227.20	7875.00	54.29	0.51	13.00	75.00	1400.00	6227.20	7875.00	54.29	0.39	10.00	73.00	1400.00	6227.20	7875.00	54.29	0.43	11.00	73.00	1400.00	6227.20	
1500.00	6672.00	8437.50	58.17	0.55	14.00	76.00	1500.00	6672.00	8437.50	58.17	0.43	11.00	74.00	1500.00	6672.00	8437.50	58.17	0.47	12.00	74.00	1500.00	6672.00	
1600.00	7116.80	9000.00	62.05	0.59	15.00	77.00	1600.00	7116.80	9000.00	62.05	0.47	12.00	75.00	1600.00	7116.80	9000.00	62.05	0.51	13.00	75.00	1600.00	7116.80	
1700.00	7561.60	9562.50	65.93	0.63	16.00	78.00	1700.00	7561.60	9562.50	65.93	0.51	13.00	76.00	1700.00	7561.60	9562.50	65.93	0.55	14.00	76.00	1700.00	7561.60	
1800.00	8006.40	10125.00	69.81	0.67	17.00	79.00	1800.00	8006.40	10125.00	69.81	0.55	14.00	77.00	1800.00	8006.40	10125.00	69.81	0.59	15.00	77.00	1800.00	8006.40	
1900.00	8451.20	10687.50	73.68	0.75	19.00	81.00	1900.00	8451.20	10687.50	73.68	0.59	15.00	78.00	1900.00	8451.20	10687.50	73.68	0.63	16.00	78.00	1900.00	8451.20	
2000.00	8896.00	11250.00	77.56	0.83	21.00	83.00	2000.00	8896.00	11250.00	77.56	0.59	15.00	78.00	2000.00	8896.00	11250.00	77.56	0.67	17.00	79.00	2000.00	8896.00	
2004.00	8913.79	11272.50	77.72	0.83	21.00	83.00	2100.00	9340.80	11812.50	81.44	0.63	16.00	79.00	2100.00	9340.80	11812.50	81.44	0.75	19.00	81.00	2100.00	9340.80	
								2200.00	9785.60	12375.00	85.32	0.71	18.00	81.00	2195.00	9763.36	12346.88	85.12	0.83	21.00	83.00	2100.00	9340.80
								2300.00	10230.40	12937.50	89.20	0.79	20.00	83.00									
								2400.00	10675.20	13500.00	93.07	0.91	23.00	86.00									
								2450.00	10897.60	13781.25	95.01	0.98	25.00	88.00									
carga máxima (lbf)	2004.00						2450.00							2195.00									
Carga máxima (N)		8913.79						10897.60							9763.36								
Esfuerzo a flexión (lbf/in ²)			11272.50						13781.25							12346.88							
Esfuerzo a flexión (N/mm ²)				77.72						95.01							85.12						
deformación (mm)						21.00							25.00									21.00	
deformación (in)				0.83							0.98								0.83				
modulo de elasticidad (lbf/in ²)		1022576.79							1050131.25							1120037.95							
modulo de elasticidad (kN/mm ²)						7.05							7.24									7.72	

TIPO DE FALLA	FLEXION DE GRANO CRUZADO							FLEXION SIMPLE							FLEXION DE GRANO CRUZADO										

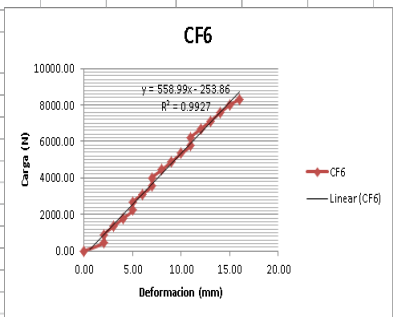
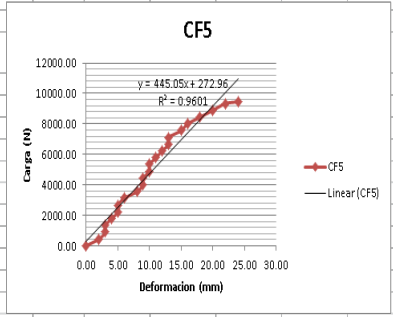
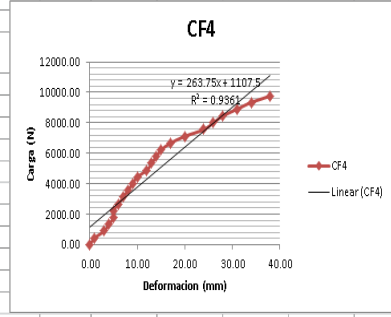


Prueba a Flexión Teca clonada 4 a 6

CF4							CF5							CF6							
1295.5							1313.5							1347.0							
carga (lbf)	Carga (N)	Esfuerzo (lbf/in ²)	Esfuerzo (N/mm ²)	Def Real (in)	Def Real (mm)	def Deformi metro(m)	carga (lbf)	Carga (N)	Esfuerzo (lbf/in ²)	Esfuerzo (N/mm ²)	Def Real (in)	Def Real (mm)	def Deformi metro(m)	carga (lbf)	Carga (N)	Esfuerzo (lbf/in ²)	Esfuerzo (N/mm ²)	Def Real (in)	Def Real (mm)	def Deformi metro(m)	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	64.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	63.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	62.00
100.00	444.80	562.50	3.88	0.04	1.00	65.00	100.00	444.80	562.50	3.88	0.08	2.00	65.00	100.00	444.80	562.50	3.88	0.08	2.00	64.00	64.00
200.00	889.60	1125.00	7.76	0.12	3.00	67.00	200.00	889.60	1125.00	7.76	0.12	3.00	66.00	200.00	889.60	1125.00	7.76	0.08	2.00	64.00	64.00
300.00	1334.40	1687.50	11.63	0.16	4.00	68.00	300.00	1334.40	1687.50	11.63	0.12	3.00	66.00	300.00	1334.40	1687.50	11.63	0.12	3.00	65.00	65.00
400.00	1779.20	2250.00	15.51	0.20	5.00	69.00	400.00	1779.20	2250.00	15.51	0.16	4.00	67.00	400.00	1779.20	2250.00	15.51	0.16	4.00	66.00	66.00
500.00	2224.00	2812.50	19.39	0.20	5.00	69.00	500.00	2224.00	2812.50	19.39	0.20	5.00	68.00	500.00	2224.00	2812.50	19.39	0.20	5.00	67.00	67.00
600.00	2668.80	3375.00	23.27	0.24	6.00	70.00	600.00	2668.80	3375.00	23.27	0.20	5.00	68.00	600.00	2668.80	3375.00	23.27	0.20	5.00	67.00	67.00
700.00	3113.60	3937.50	27.15	0.28	7.00	71.00	700.00	3113.60	3937.50	27.15	0.24	6.00	69.00	700.00	3113.60	3937.50	27.15	0.24	6.00	68.00	68.00
800.00	3558.40	4500.00	31.02	0.31	8.00	72.00	800.00	3558.40	4500.00	31.02	0.31	8.00	71.00	800.00	3558.40	4500.00	31.02	0.28	7.00	69.00	69.00
900.00	4003.20	5062.50	34.90	0.35	9.00	73.00	900.00	4003.20	5062.50	34.90	0.35	9.00	72.00	900.00	4003.20	5062.50	34.90	0.28	7.00	69.00	69.00
1000.00	4448.00	5625.00	38.78	0.39	10.00	74.00	1000.00	4448.00	5625.00	38.78	0.35	9.00	72.00	1000.00	4448.00	5625.00	38.78	0.31	8.00	70.00	70.00
1100.00	4892.80	6187.50	42.66	0.47	12.00	76.00	1100.00	4892.80	6187.50	42.66	0.39	10.00	73.00	1100.00	4892.80	6187.50	42.66	0.35	9.00	71.00	71.00
1200.00	5337.60	6750.00	46.54	0.51	13.00	77.00	1200.00	5337.60	6750.00	46.54	0.39	10.00	73.00	1200.00	5337.60	6750.00	46.54	0.39	10.00	72.00	72.00
1300.00	5782.40	7312.50	50.42	0.55	14.00	78.00	1300.00	5782.40	7312.50	50.42	0.43	11.00	74.00	1300.00	5782.40	7312.50	50.42	0.43	11.00	73.00	73.00
1400.00	6227.20	7875.00	54.29	0.59	15.00	79.00	1400.00	6227.20	7875.00	54.29	0.47	12.00	75.00	1400.00	6227.20	7875.00	54.29	0.43	11.00	73.00	73.00
1500.00	6672.00	8437.50	58.17	0.67	17.00	81.00	1500.00	6672.00	8437.50	58.17	0.51	13.00	76.00	1500.00	6672.00	8437.50	58.17	0.47	12.00	74.00	74.00
1600.00	7116.80	9000.00	62.05	0.79	20.00	84.00	1600.00	7116.80	9000.00	62.05	0.51	13.00	76.00	1600.00	7116.80	9000.00	62.05	0.51	13.00	75.00	75.00
1700.00	7561.60	9562.50	65.93	0.94	24.00	88.00	1700.00	7561.60	9562.50	65.93	0.59	15.00	78.00	1700.00	7561.60	9562.50	65.93	0.55	14.00	76.00	76.00
1800.00	8006.40	10125.00	69.81	1.02	26.00	90.00	1800.00	8006.40	10125.00	69.81	0.63	16.00	79.00	1800.00	8006.40	10125.00	69.81	0.59	15.00	77.00	77.00
1900.00	8451.20	10687.50	73.68	1.10	28.00	92.00	1900.00	8451.20	10687.50	73.68	0.71	18.00	81.00	1866.00	8299.97	10496.25	72.37	0.63	16.00	78.00	78.00
2000.00	8896.00	11250.00	77.56	1.22	31.00	95.00	2000.00	8896.00	11250.00	77.56	0.79	20.00	83.00								
2100.00	9340.80	11812.50	81.44	1.34	34.00	98.00	2100.00	9340.80	11812.50	81.44	0.87	22.00	85.00								
2195.00	9763.36	12346.88	85.12	1.50	38.00	102.00	2125.00	9452.00	11953.13	82.41	0.94	24.00	87.00								

2195.00	9763.36						2125.00	9452.00						1866.00								
		12346.88							11953.13						8299.97							
			85.12							82.41									72.37			
						38.00							24.00									16.00
				1.50						0.94									0.63			
	618968.34								948779.30													
						4.27							6.54									8.62

FLEXION SIMPLE	VISTA SUPERFICIE A FLEXION: FLEXION ABRUPTA. VISTA LATERAL:FLEXION GRANO CRUZADO	FLEXION SIMPLE
----------------	--	----------------



Valores promedio flexión madera Teca natural				Valores promedio flexión madera Teca clonada			
PROM FUERZA	2148.80763 lbf	9467.79 N		PROM FUERZA	2128.75 lbf	9468.68 N	
PROM ESFUERZO	12087.04 lbf/in ²	82.55 N/mm ²		PROM ESFUERZO	11974.22 lbf/in ²	82.56 N/mm ²	
PROM DEF	0.81037 in	20.58 mm		PROM DEF	0.92913 in	23.60 mm	
PROM MCE	1139129.2 lbf/in ²	7.85 N/mm ²		PROM MCE	1002467.77 lbf/in ²	6.91 N/mm ²	
PROM PESO	1407.7 gr			PROM PESO	1320.0 gr		
1N/mm ²	=	145.037739 lbf/in ²	lbf/in ²				
1N/mm ²	=	145037.7377 lbf/in ²	lbf/in ²				

Distribución de valores prueba a flexión

Natural

Modulo elasticidad N/mm ²	Modulo elasticidad N/mm ²	Dist Normal	Esfuerzo esfuerzo	Dist Normal	
7.64	5.31	0.0532440	96.20	47.43	0.0023274
9.00	6.35	0.1591993	94.49	66.63	0.0151944
9.65	6.95	0.2393293	91.14	70.39	0.0196008
6.35	7.45	0.2769075	66.63	86.02	0.0241262
9.25	7.64	0.2854601	87.43	87.26	0.0235618
8.19	8.19	0.2804340	86.02	87.43	0.0235661
7.45	8.75	0.2342289	70.39	91.14	0.0214368
5.31	9.00	0.2046392	47.43	94.49	0.0187882
8.75	9.25	0.1728535	87.26	96.20	0.0172810
6.95	9.65	0.1244601	96.50	96.50	0.0151620
media aritmetica		7.85	media aritmetica		82.55
desviacion estandar		1.38021208	desviacion estandar		16.1589567

Distribución normal de módulo de elasticidad flexión semilla

Distribución normal de esfuerzo flexión semilla

Clon

Modulo elasticidad N/mm ²	Modulo elasticidad N/mm ²	Dist Normal	Esfuerzo esfuerzo	Dist Normal	
7.05	4.27	0.0247363	77.72	72.37	0.0196448
7.24	6.08	0.2662225	95.01	73.32	0.0239216
7.72	6.54	0.3292406	85.12	77.72	0.0447878
4.27	6.89	0.3466566	85.12	81.17	0.0556662
6.54	7.05	0.3442182	82.41	82.41	0.0567476
8.62	7.24	0.3328638	72.37	82.91	0.0566859
6.89	7.35	0.3223398	90.40	85.12	0.0530915
7.35	7.36	0.3210067	73.32	85.12	0.0530915
7.36	7.72	0.2705309	81.17	90.40	0.0304526
6.08	8.62	0.1157164	82.91	95.01	0.0117976
media aritmetica		6.911427937	media aritmetica		82.5521886
desviacion estandar		1.15097635	desviacion estandar		7.02861339

Distribución normal de módulo de elasticidad flexión clon

Distribución normal de esfuerzo flexión clon

Prueba a compresión paralela a la fibra Teca natural 1 a 3

PESO	SC_PAR1							SC_PAR2							SC_PAR3						
	362.0							376.5							352.0						
	carga (lbf)	Carga (N)	Esfuerzo (lbf/in²)	Esfuerzo (N/mm²)	Def Real (in)	Def real (mm)	deformacion deformimetro (mm)	carga (lbf)	Carga (N)	Esfuerzo (lbf/in²)	Esfuerzo (N/mm²)	Def Real (in)	Def real (mm)	deformacion deformimetro (mm)	carga (lbf)	Carga (N)	Esfuerzo (lbf/in²)	Esfuerzo (N/mm²)	Def Real (in)	Def real (mm)	deformacion deformimetro (mm)
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	91.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90.00
	2000.00	8896.00	500.00	3.45	0.04	1.00	92.00	2000.00	8896.00	500.00	3.45	0.04	1.00	90.00	2000.00	8896.00	500.00	3.45	0.04	1.00	91.00
	4000.00	17792.00	1000.00	6.89	0.04	1.00	92.00	4000.00	17792.00	1000.00	6.89	0.04	1.00	91.00	4000.00	17792.00	1000.00	6.89	0.04	1.00	91.00
	6000.00	26688.00	1500.00	10.34	0.04	1.00	92.00	6000.00	26688.00	1500.00	10.34	0.04	1.00	91.00	6000.00	26688.00	1500.00	10.34	0.08	2.00	92.00
	8000.00	35584.00	2000.00	13.79	0.04	1.00	92.00	8000.00	35584.00	2000.00	13.79	0.04	1.00	91.00	8000.00	35584.00	2000.00	13.79	0.08	2.00	92.00
	10000.00	44480.00	2500.00	17.24	0.04	1.00	92.00	10000.00	44480.00	2500.00	17.24	0.04	1.00	91.00	10000.00	44480.00	2500.00	17.24	0.08	2.00	92.00
	12000.00	53376.00	3000.00	20.68	0.04	1.00	92.00	12000.00	53376.00	3000.00	20.68	0.04	1.00	91.00	12000.00	53376.00	3000.00	20.68	0.08	2.00	92.00
	14000.00	62272.00	3500.00	24.13	0.04	1.00	92.00	14000.00	62272.00	3500.00	24.13	0.04	1.00	91.00	14000.00	62272.00	3500.00	24.13	0.08	2.00	92.00
	16000.00	71168.00	4000.00	27.58	0.04	1.00	92.00	16000.00	71168.00	4000.00	27.58	0.04	1.00	91.00	16000.00	71168.00	4000.00	27.58	0.08	2.00	92.00
	18000.00	80064.00	4500.00	31.02	0.08	2.00	93.00	18000.00	80064.00	4500.00	31.02	0.04	1.00	91.00	18000.00	80064.00	4500.00	31.02	0.08	2.00	92.00
	20000.00	88960.00	5000.00	34.47	0.08	2.00	93.00	20000.00	88960.00	5000.00	34.47	0.04	1.00	91.00	20000.00	88960.00	5000.00	34.47	0.08	2.00	92.00
	22000.00	97856.00	5500.00	37.92	0.08	2.00	93.00	22000.00	97856.00	5500.00	37.92	0.04	1.00	91.00	22000.00	97856.00	5500.00	37.92	0.08	2.00	92.00
	24000.00	106752.00	6000.00	41.37	0.08	2.00	93.00	24000.00	106752.00	6000.00	41.37	0.04	1.00	91.00	24000.00	106752.00	6000.00	41.37	0.08	2.00	92.00
	26000.00	115648.00	6500.00	44.81	0.08	2.00	93.00	26000.00	115648.00	6500.00	44.81	0.08	2.00	92.00	26000.00	115648.00	6500.00	44.81	0.08	2.00	92.00
	28000.00	124544.00	7000.00	48.26	0.08	2.00	93.00	28000.00	124544.00	7000.00	48.26	0.08	2.00	92.00	28000.00	124544.00	7000.00	48.26	0.12	3.00	93.00
	30000.00	133440.00	7500.00	51.71	0.08	2.00	93.00	30000.00	133440.00	7500.00	51.71	0.08	2.00	92.00	30000.00	133440.00	7500.00	51.71	0.12	3.00	93.00
	32000.00	142336.00	8000.00	55.16	0.08	2.00	93.00	31793.50	141417.49	7948.38	54.80	0.08	2.00	92.00	30874.50	137329.78	7718.63	53.22	0.12	3.00	93.00
	33300.00	148118.40	8325.00	57.40	0.12	3.00	94.00														
Carga maxima (lbf)	33300.00							31793.50						30874.50							
Carga maxima (N)		148118.40						141417.49						137329.78							
Esfuerzo a compresión paralela a la fibra (lbf/in²)			8325.00						7948.38							7718.63					
Esfuerzo a compresión paralela a la fibra (N/mm²)				57.40						54.80							53.22				
Def F-Def J (mm)						3.00						2.00							3.00		
Def F-Def J (in)					0.12						0.08							0.12			
Long. Efectiva					7.86	200.20					7.92	201.20						7.86	200.20		
Modulo elasticidad paralelo a la fibra lbf/in²			563880.00						607554.90							522808.20					
Modulo elasticidad paralelo a la fibra kN/mm²				3.89						5.57							3.60				
TIPO DE FALLA			DIVISION							APLASTANTE											OZALLAMIENTO

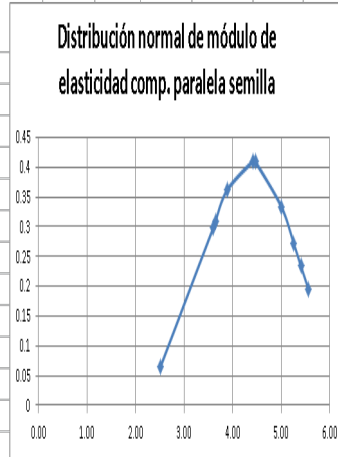
Valores promedio comp. paralela madera Teca natural		
PROM CARGA	28910.50 lbf	128593.90 N
PROM Esfuerzo	7227.63 lbf/in ²	49.83 N/mm ²
PROM Deformacion	0.09 in	2.40 mm
Prom Modulo de elasticidad paralelo a la fibra	636259.93 lbf/in ²	4.59 N/mm ²
PROM PESO	363.7 gr	
	l1=24.5mm	
	D=0.225lbf	

Valores promedio comp. paralela madera Teca clonada		
PROM CARGA	25484.20 lbf	113353.72 N
PROM Esfuerzo	6371.05 lbf/in ²	43.32 N/mm ²
PROM Deformacion	0.13 in	3.20 mm
Prom Modulo de elasticidad paralelo a la fibra	418447.86 lbf/in ²	2.87 N/mm ²
PROM PESO	351.3 gr	

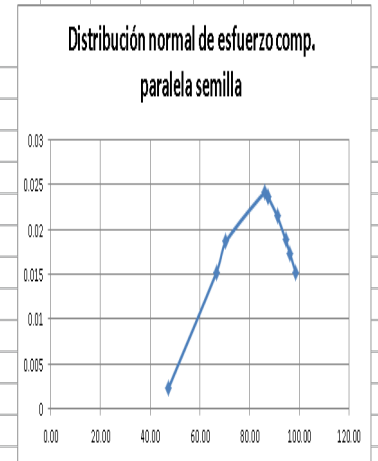
Distribución de valores prueba a compresión paralela al grano

Semilla

Modulo elasticidad N/mm ²	Modulo elasticidad N/mm ²	Dist Normal
3.89	2.52	0.06555989
5.57	3.60	0.2987141
3.60	3.65	0.30944687
5.00	3.89	0.36133548
4.47	4.43	0.41038438
4.43	4.47	0.40908758
5.41	5.00	0.33418597
3.65	5.26	0.2728561
5.26	5.41	0.2336255
2.52	5.57	0.18440749
media aritmetica		4.38
desviacion estandar		0.97100678



Esfuerzo	esfuerzo	Dist Normal
57.40	47.43	0.002327357
54.80	66.63	0.01519437
53.22	70.39	0.018600811
49.25	86.02	0.024126215
43.99	87.26	0.023661822
43.56	87.43	0.023586878
53.26	91.14	0.021496816
53.87	94.49	0.018788191
51.75	96.20	0.017281003
37.20	98.50	0.015162032
media aritmetica		82.55
desviacion estandar		16.1588567

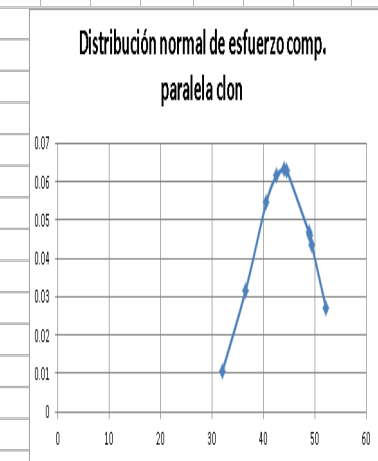


Clon

Modulo elasticidad N/mm ²	Modulo elasticidad N/mm ²	Dist Normal
2.49	2.05811937	0.28363353
2.48	2.16481008	0.33571809
3.53	2.47074142	0.478549
2.16	2.47945354	0.48205267
2.99	2.4868085	0.48497196
2.06	2.98010163	0.56496639
4.32	3.01570899	0.56034829
2.47	3.3449894	0.45936056
3.34	3.53073134	0.37242226
3.02	4.31886236	0.06397275
media aritmetica		2.88495266
desviacion estandar		0.63963449

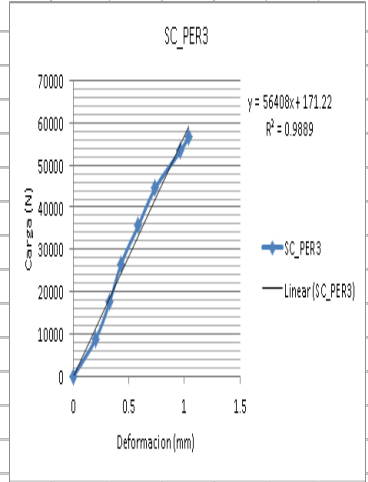
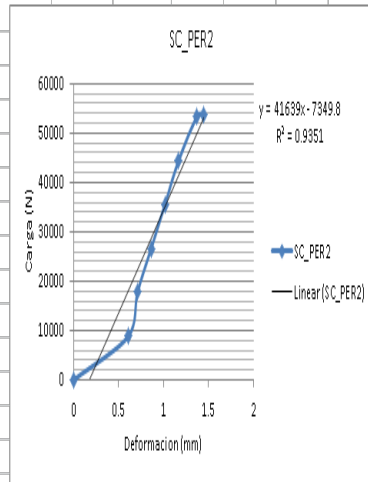
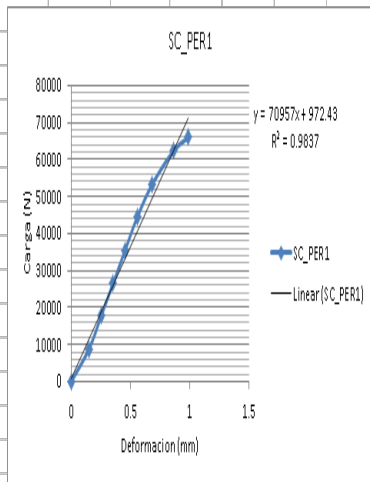


Esfuerzo	esfuerzo	Dist Normal
48.95	31.9687787	0.010496316
48.81	36.4774816	0.031515966
52.13	40.5141608	0.054685154
31.96	42.5086138	0.061593981
44.00	43.9975634	0.063176057
40.51	44.5223624	0.062896397
42.50	48.8081406	0.04684865
36.48	48.9529233	0.046012095
49.38	49.384686	0.043472875
44.52	52.1269391	0.027175151
media aritmetica		43.92465497
desviacion estandar		6.314348215



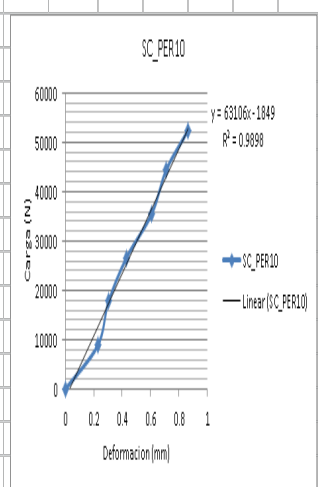
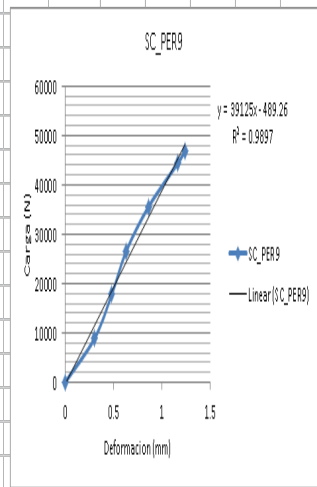
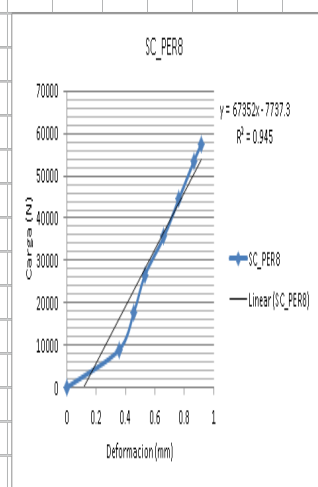
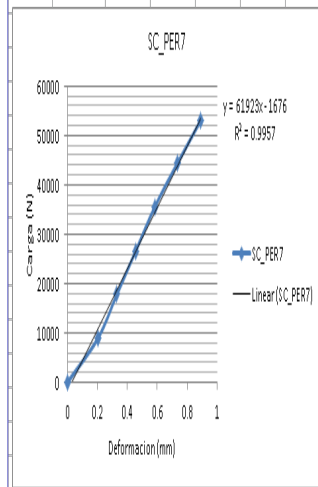
Prueba a compresión perpendicular a la fibra Teca natural 1 a 3

	SC_PER1							SC_PER2							SC_PER3													
PESO	273.5							264.5							280.5													
	carga (lbf)	carga (N)	Fuerza (lbf/in ²)	Fuerza (N/mm ²)	vueltas	deformim	deformaci	deformaci	carga (lbf)	carga (N)	Fuerza (lbf/in ²)	Fuerza (N/mm ²)	deformim	deformaci	deformaci	carga (lbf)	carga (N)	Fuerza (lbf/in ²)	Fuerza (N/mm ²)	deformim	deformaci	deformaci						
	etro	on (mm)	(in)	etro	on (mm)	(in)	etro	on (mm)	(in)	etro	on (mm)	(in)	etro	on (mm)	(in)	etro	on (mm)	(in)	etro	on (mm)	(in)	etro	on (mm)	(in)				
	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0					
	2000	8896	166.67	1.15	6	0.1524	0.006	2000	8896	166.67	1.15	24	0.6096	0.024	2000	8896	166.67	1.15	8	0.2032	0.008	2000	8896	166.67	1.15	8	0.2032	0.008
	4000	17792	333.33	2.30	10	0.254	0.01	4000	17792	333.33	2.30	28	0.7112	0.028	4000	17792	333.33	2.30	13	0.3302	0.013	4000	17792	333.33	2.30	13	0.3302	0.013
	6000	26688	500.00	3.45	14	0.3556	0.014	6000	26688	500.00	3.45	34	0.8636	0.034	6000	26688	500.00	3.45	17	0.4818	0.017	6000	26688	500.00	3.45	17	0.4818	0.017
	8000	35584	666.67	4.60	18	0.4572	0.018	8000	35584	666.67	4.60	40	1.016	0.04	8000	35584	666.67	4.60	23	0.5842	0.023	8000	35584	666.67	4.60	23	0.5842	0.023
	10000	44480	833.33	5.75	22	0.5588	0.022	10000	44480	833.33	5.75	46	1.1684	0.046	10000	44480	833.33	5.75	29	0.7366	0.029	10000	44480	833.33	5.75	29	0.7366	0.029
	12000	53376	1000.00	6.89	27	0.6858	0.027	12000	53376	1000.00	6.89	54	1.3716	0.054	12000	53376	1000.00	6.89	38	0.9652	0.038	12000	53376	1000.00	6.89	38	0.9652	0.038
	14000	62272	1166.67	8.04	34	0.8636	0.034	12072	53696.256	1006.00	6.94	57	1.4478	0.057	12745	56689.76	1062.08	7.32	41	1.0414	0.041	12745	56689.76	1062.08	7.32	41	1.0414	0.041
	14851	66057.248	1237.58333	8.53	39	0.9906	0.039																					
Carga maxima (lbf)	14851							12072							12745													
Carga maxima (N)	66057.25							53696.26							56689.76													
Esfuerzo a compresión perpendicular (lbf/in ²)	1237.58							1006.00							1062.08													
Esfuerzo a compresión perpendicular (N/mm ²)	8.53							6.94							7.32													
Deformación (in)								0.039							0.057													
Deformación (mm)								0.9906							1.4478													
DELTA								0.0195							0.0285													
Modulo transversal medio (lbf/in ²)	62228.2286							34292.2456							50746.86													
Modulo transversal medio (N/mm ²)	0.4290485							0.2364367							0.3498873													
	0.02035																											



Prueba a compresión perpendicular a la fibra Teca natural 7 a 10

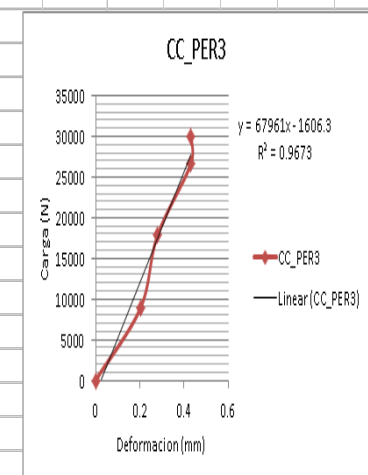
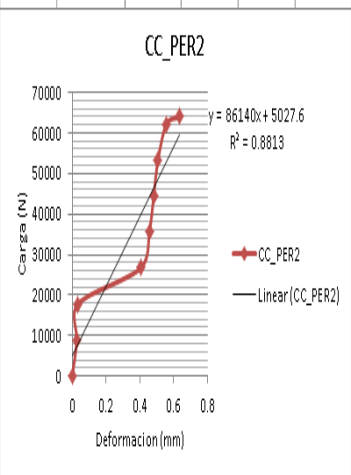
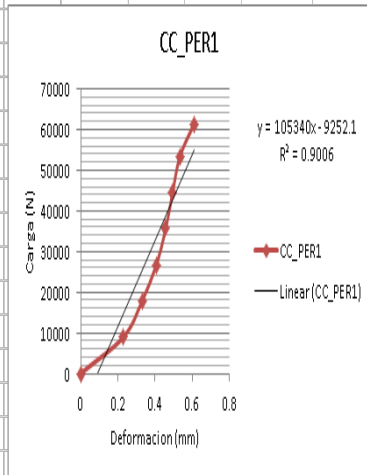
SC_PER7						SC_PER8						SC_PER9						SC_PER10										
270.5						293.0						245.0						291.5										
carga (lbf)	carga (N)	Fuerza (lbf/in ²)	Fuerza (N/mm ²)	vueltas	deformación (mm)	deformación (in)	carga (lbf)	carga (N)	Fuerza (lbf/in ²)	Fuerza (N/mm ²)	vueltas	deformación (mm)	deformación (in)	carga (lbf)	carga (N)	Fuerza (lbf/in ²)	Fuerza (N/mm ²)	vueltas	deformación (mm)	deformación (in)	carga (lbf)	carga (N)	Fuerza (lbf/in ²)	Fuerza (N/mm ²)	vueltas	deformación (mm)	deformación (in)	
0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0
2000	8896	166.67	1.15	8	0.2032	0.008	2000	8896	166.67	1.15	14	0.3556	0.014	2000	8896	166.67	1.15	12	0.3048	0.012	2000	8896	166.67	1.15	9	0.2286	0.009	
4000	17792	333.33	2.30	13	0.3302	0.013	4000	17792	333.33	2.30	18	0.4572	0.018	4000	17792	333.33	2.30	19	0.4826	0.019	4000	17792	333.33	2.30	12	0.3048	0.012	
6000	26688	500.00	3.45	18	0.4572	0.018	6000	26688	500.00	3.45	21	0.5334	0.021	6000	26688	500.00	3.45	25	0.635	0.025	6000	26688	500.00	3.45	17	0.4318	0.017	
8000	35584	666.67	4.60	23	0.5842	0.023	8000	35584	666.67	4.60	26	0.6604	0.026	8000	35584	666.67	4.60	34	0.8636	0.034	8000	35584	666.67	4.60	24	0.6096	0.024	
10000	44480	833.33	5.75	29	0.7366	0.029	10000	44480	833.33	5.75	30	0.762	0.03	10000	44480	833.33	5.75	46	1.1684	0.046	10000	44480	833.33	5.75	28	0.7112	0.028	
11917	53006.816	993.08	6.85	35	0.889	0.035	12000	53376	1000.00	6.89	34	0.8636	0.034	10563	46984.224	880.25	6.07	49	1.2446	0.049	11775	52375.2	981.25	6.77	34	0.8636	0.034	
							12929	57508.192	1077.42	7.49	36	0.9144	0.036															
11917							12929							10563														
	53006.82							57508.19							46984.22													
		993.08							1077.42							880.25												
			6.85							7.49							6.07											
						0.035							0.036														0.034	
					0.889							0.9144							1.2446							0.8636		
					0.0175							0.018							0.0245							0.017		
	55754.536							58779.065							35048.321													
		0.384414							0.4052674							0.2416497											0.391204	



Prueba a compresión perpendicular a la fibra Teca clonada 1 a 3

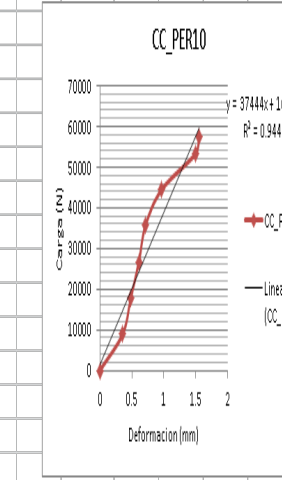
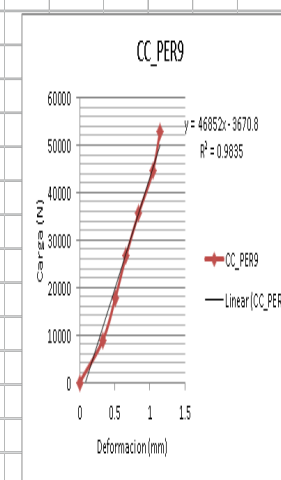
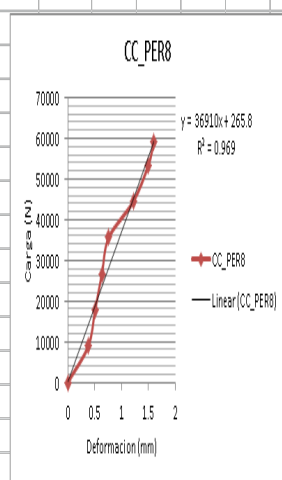
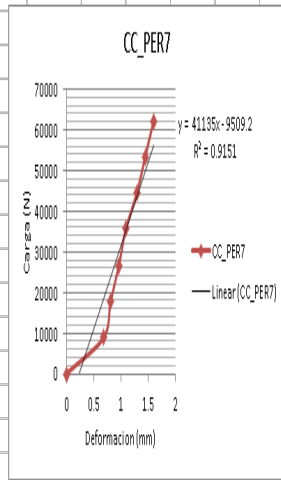
	CC_PER1						CC_PER2						CC_PER3						
PESO (g)	256.0						260.0						271.0						
	carga (lbf)	carga (N)	Fuerza (lbf/in ²)	Fuerza (N/mm ²)	deformación (mm)	deformación (in)	carga (lbf)	carga (N)	Fuerza (lbf/in ²)	Fuerza (N/mm ²)	deformación (mm)	deformación (in)	carga (lbf)	carga (N)	Fuerza (lbf/in ²)	Fuerza (N/mm ²)	vuelatas (metro)	deformación (mm)	deformación (in)
	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0
	2000	8896	166.67	1.15	0.2286	0.009	2000	8896	166.67	1.15	0.02794	0.0011	2000	8896	166.67	1.15	8	0.2032	0.008
	4000	17792	333.33	2.30	0.3302	0.013	4000	17792	333.33	2.30	0.03302	0.0013	4000	17792	333.33	2.30	11	0.2794	0.011
	6000	26688	500.00	3.45	0.4064	0.016	6000	26688	500.00	3.45	0.4064	0.016	6000	26688	500.00	3.45	17	0.4318	0.017
	8000	35584	666.67	4.60	0.4572	0.018	8000	35584	666.67	4.60	0.4572	0.018	6763	30081.824	563.58	3.89	17	0.4318	0.017
	10000	44480	833.33	5.75	0.4940808	0.019	10000	44480	833.33	5.75	0.4826	0.019							
	12000	53376	1000.00	6.89	0.5334	0.021	12000	53376	1000.00	6.89	0.508	0.02							
	13816	61453.568	1151.33	7.94	0.6096	0.024	14000	62272	1166.67	8.04	0.5588	0.022							
							14381	63966.688	1198.417	8.26	0.635	0.025							
Carga maxima (lbf)	13816						14000						6763						
Carga maxima (N)	61453.57						63966.69						30081.82						
Esfuerzo a compresión perpendicular (lbf/in ²)	1151.33						1198.42						563.58						
Esfuerzo a compresión perpendicular (N/mm ²)	7.94						8.26						3.89						
Deformación (in)	0.024						0.025						0.017						
Deformación (mm)	0.6096						0.635						0.4318						
	0.012						0.0125						0.0085						
Modulo transversal medio (lbf/in ²)	94793.11						92166.67						65740.34						
Modulo transversal medio (N/mm ²)	0.653575						0.635467						0.453264						

0.0209



Prueba a compresión perpendicular a la fibra Teca clonada 7 a 10

CC_PER7						CC_PER8						CC_PER9						CC_PER10										
246.0						252.0						241.0						242.0										
carga (lbf)	carga (N)	Fuerza (lbf/in ²)	Fuerza (N/mm ²)	vueltas metro	deformacion (mm)	deformacion (in)	carga (lbf)	carga (N)	Fuerza (lbf/in ²)	Fuerza (N/mm ²)	vueltas metro	deformacion (mm)	deformacion (in)	carga (lbf)	carga (N)	Fuerza (lbf/in ²)	Fuerza (N/mm ²)	vueltas metro	deformacion (mm)	deformacion (in)	carga (lbf)	carga (N)	Fuerza (lbf/in ²)	Fuerza (N/mm ²)	vueltas metro	deformacion (mm)	deformacion (in)	
0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0	0	0
2000	8896	166.67	1.15	27	0.6858	0.027	2000	8896	166.67	1.15	15	0.381	0.015	2000	8896	166.67	1.15	13	0.3902	0.013	2000	8896	166.67	1.15	14	0.3556	0.014	
4000	17792	333.33	2.30	32	0.8128	0.032	4000	17792	333.33	2.30	20	0.508	0.020	4000	17792	333.33	2.30	20	0.508	0.020	4000	17792	333.33	2.30	19	0.4826	0.019	
6000	26688	500.00	3.45	38	0.9652	0.038	6000	26688	500.00	3.45	25	0.635	0.025	6000	26688	500.00	3.45	26	0.6604	0.026	6000	26688	500.00	3.45	24	0.6096	0.024	
8000	35584	666.67	4.60	43	1.0922	0.043	8000	35584	666.67	4.60	30	0.762	0.030	8000	35584	666.67	4.60	33	0.8382	0.033	8000	35584	666.67	4.60	28	0.7112	0.028	
10000	44480	833.33	5.75	51	1.2954	0.051	10000	44480	833.33	5.75	48	1.2192	0.048	10000	44480	833.33	5.75	41	1.0414	0.041	10000	44480	833.33	5.75	38	0.9652	0.038	
12000	53376	1000.00	6.90	57	1.4478	0.057	12000	53376	1000.00	6.90	59	1.4986	0.059	11846	52691.008	987.17	6.81	45	1.143	0.045	12000	53376	1000.00	6.89	59	1.4986	0.059	
13951	62054.048	1162.58	8.02	63	1.6002	0.063	13279	59064.992	1106.58	7.63	63	1.6002	0.063	11846	52691.01	987.17	6.81				12934	57530.432	1077.83	7.43	61	1.5494	0.061	
	62054.05							59064.99							52691.01													
		1162.58							1106.58							987.17												
			8.02							7.63							6.81											
						0.063							0.063														0.061	
					1.6002								1.6002														1.5494	
						0.0315							0.0315														0.0305	
		35744.82							34023.05							42886.91											34260.96	
			0.246452							0.234581							0.295695										0.236221	



Valores promedio comp. perpendicular madera Teca natural		
PROM FUERZA	12525.5 lbf	55713.42 N
PROM ESFUERZO	1043.7917 lbf/in ²	7.20 N/mm ²
PROM DEF	0.0407 in	1.03378 mm
PROM Modulo transversal medio	52301.505 lbf/in ²	0.36060618 kN/mm ²
PROM PESO	270.0 gr	

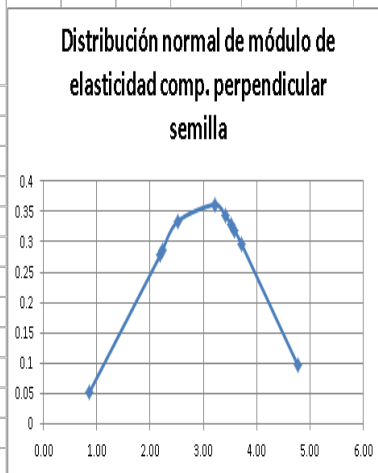
Valores promedio comp. perpendicular madera Teca clonada		
PROM FUERZA	11752.8 lbf	52445.92
PROM ESFUERZO	982.575 lbf/in ²	6.77 N/mm ²
PROM DEF	0.0418 in	1.06172 mm
PROM Modulo transversal medio	52626.408 lbf/in ²	0.36 kN/mm ²
PROM PESO	255.2 gr	

N/mm ²	=	1.45037738	lbf/in ²
kN/mm ²	=	1.45037.738	lbf/in ²
ccdemsa			
unimasa			

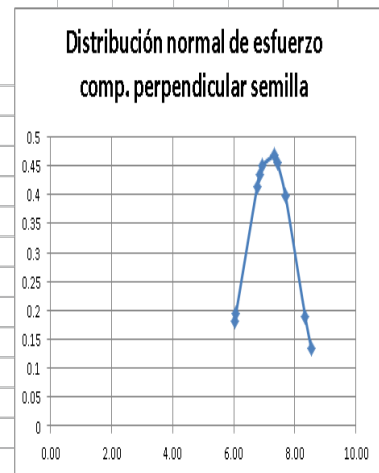
Distribución de valores prueba a compresión perpendicular al grano

Semilla

Modulo elasticidad N/mm ²	Modulo elasticidad N/mm ²	Dist Normal
0.43	0.86	0.0518731
0.24	2.19	0.27815482
0.35	2.23	0.28560461
0.37	2.52	0.33422398
0.52	3.21	0.36139137
0.27	3.41	0.34294495
0.38	3.52	0.32842972
0.41	3.58	0.31926975
0.24	3.71	0.29679375
0.39	4.78	0.09636831
media aritmetica		3.00
desviacion estandar		1.08281745

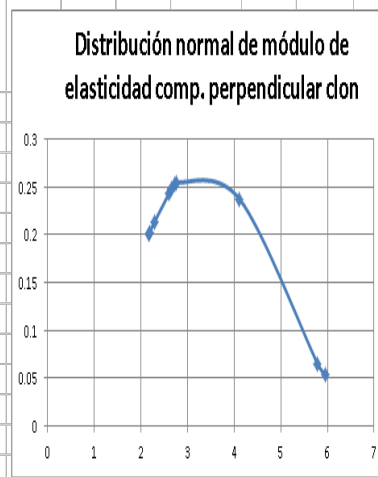


Esfuerzo	esfuerzo	Dist Normal
8.53	6.03	0.181954
6.94	6.07	0.1937526
7.32	6.77	0.4146483
8.34	6.85	0.4335834
7.69	6.94	0.4504168
6.03	7.32	0.4671326
6.85	7.43	0.4549049
7.43	7.69	0.3971957
6.07	8.34	0.1886794
6.77	8.53	0.1351536
media aritmetica		7.20
desviacion estandar		0.8445554

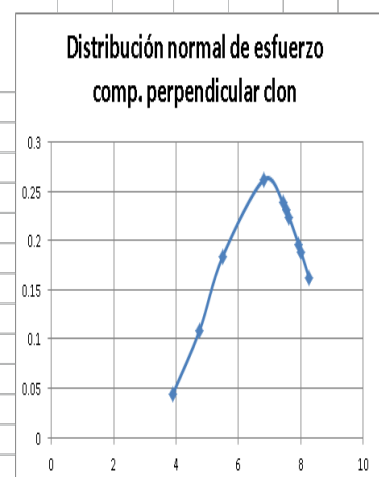


Clon

Modulo elasticidad N/mm ²	Modulo elasticidad N/mm ²	Dist Normal
0.65	2.1788924	0.20125356
0.64	2.1928719	0.20267421
0.45	2.2902085	0.21310793
0.30	2.6005029	0.24268408
0.28	2.6593484	0.24745872
0.29	2.7225098	0.25222569
0.25	2.759015	0.25480215
0.23	4.114345	0.23732428
0.30	5.7915961	0.0648763
0.24	5.9536229	0.0533225
media aritmetica		3.32639131
desviacion estandar		1.45036016



Esfuerzo	esfuerzo	Dist Normal
7.94	3.8855767	0.0435157
8.26	4.7514002	0.1085439
3.89	5.4896771	0.1834599
4.8	6.8059355	0.2615094
5.49	7.481029	0.2384069
7.53	7.5344452	0.2310152
8.02	7.6292434	0.2235364
7.63	7.9377684	0.1955319
6.81	8.0153306	0.1878488
7.43	8.2623804	0.1625066
media aritmetica		6.7742786
desviacion estandar		1.5252083



Nombre de probeta	Dimensiones (in)	peso (gr)	Prueba de dureza Teca natural cara radial									
			Carga superficial radial (lbf)	Deformacion superficie radial (mm)	X (mm)	α	L (mm)	Base (mm)	S (mm ²)	Dureza (N/mm ²)		
SD1	2X2X2	81.00		1094.00	1.45	7.82	1.53	11.97	50.80	608.21	38.12	
				1148.55	1.52	7.98	1.57	12.56	50.80	637.90	39.19	
			promedio	1121.27	1.48225							38.66
			promedio carga tangencial y radial	1272.41								
SD2	2X2X2	95.50		1743.68	2.34	9.49	2.00	18.98	50.80	964.05	50.05	
				1589.82	2.12	9.14	1.89	17.25	50.80	876.26	47.41	
			promedio	1666.75	2.23195							48.73
			promedio carga tangencial y radial	1850.66								
SD3	2X2X2	101.00		1955.44	2.62	9.88	2.14	21.10	50.80	1071.86	53.91	
				1480.54	1.97	8.88	1.81	16.09	50.80	817.57	45.42	
			promedio	1717.99	2.29688							49.67
			promedio carga tangencial y radial	1893.43								
SD4	2X2X2	95.50		1299.40	0.44	4.51	0.82	3.71	50.80	188.39	78.51	
				1284.80	0.43	4.48	0.82	3.67	50.80	186.30	78.05	
			promedio	1292.10	0.43365							78.28
			promedio carga tangencial y radial	1293.93								
SD5	2X2X2	88.50		1022.00	0.34	4.02	0.73	2.92	50.80	148.53	69.33	
				1043.90	0.35	4.06	0.74	2.99	50.80	151.68	70.09	
			promedio	1032.95	0.34668							69.71
			promedio carga tangencial y radial	1208.15								
SD6	2X2X2	76.00		817.60	0.27	3.60	0.65	2.34	50.80	119.03	61.81	
				854.10	0.29	3.68	0.66	2.45	50.80	124.31	63.21	
			promedio	835.85	0.28053							62.51
			promedio carga tangencial y radial	946.03								
SD7	2X2X2	92.00		1292.10	0.43	4.50	0.82	3.69	50.80	187.35	78.28	
				1000.10	0.34	3.97	0.72	2.86	50.80	145.37	68.56	
			promedio	1146.10	0.38465							73.42
			promedio carga tangencial y radial	1100.48								
SD8	2X2X2	90.50		1233.70	0.41	4.40	0.80	3.52	50.80	178.97	76.42	
				1138.80	0.38	4.23	0.77	3.25	50.80	165.34	73.31	
			promedio	1186.25	0.39813							74.87
			promedio carga tangencial y radial	1153.40								
SD9	2X2X2	79.00		1058.50	0.36	4.08	0.74	3.03	50.80	153.78	70.59	
				1204.50	0.40	4.35	0.79	3.44	50.80	174.78	75.47	
			promedio	1131.50	0.37975							73.03
			promedio carga tangencial y radial	1073.10								
SD10	2X2X2	98.50		1817.70	0.61	5.29	0.98	5.16	50.80	262.36	93.61	
				1226.40	0.41	4.39	0.80	3.50	50.80	177.92	76.18	
			promedio	1522.05	0.51083							84.89
			promedio carga tangencial y radial	1850.55								

Prueba de dureza Teca natural cara tangencial							
Carga superficial tangencial (lbf)	Deformacion superficie tangencial (mm)						Dureza (N/mm ²)
		X (mm)	α	L (mm)	Base (mm)	S (mm ²)	
1573.64	2.10	9.10	1.88	17.08	50.80	867.62	47.11
1273.45	1.69	8.34	1.67	13.89	50.80	705.76	41.58
1423.55	1.89263						44.35
1958.95	2.63	9.89	2.14	21.14	50.80	1073.74	53.97
2110.18	2.84	10.15	2.24	22.73	50.80	1154.63	56.63
2034.56	2.73420						55.30
2011.79	2.70	9.98	2.17	21.69	50.80	1101.98	54.90
2125.96	2.86	10.18	2.25	22.90	50.80	1163.09	56.91
2068.88	2.78198						55.90
1576.80	0.53	4.95	0.91	4.49	50.80	228.06	86.85
1014.70	0.34	4.00	0.73	2.90	50.80	147.48	69.07
1295.75	0.43488						77.96
1817.70	0.61	5.29	0.98	5.16	50.80	262.36	93.61
949.00	0.32	3.87	0.70	2.72	50.80	138.00	66.73
1383.35	0.46428						80.17
915.22	1.22	7.25	1.40	10.13	50.80	514.48	34.38
1197.20	0.40	4.33	0.79	3.42	50.80	173.73	75.24
1056.21	0.80858						54.81
956.30	0.32	3.89	0.70	2.74	50.80	139.06	66.99
1153.40	0.39	4.26	0.77	3.30	50.80	167.43	73.80
1054.85	0.35403						70.40
627.80	0.21	3.17	0.57	1.80	50.80	91.55	54.01
1613.30	0.54	5.00	0.92	4.59	50.80	233.27	87.90
1120.55	0.37608						70.96
1124.20	0.38	4.21	0.76	3.21	50.80	163.24	72.82
905.20	0.30	3.79	0.68	2.59	50.80	131.68	65.13
1014.70	0.34055						68.98
2058.60	0.69	5.61	1.04	5.84	50.80	296.51	100.00
2299.50	0.77	5.90	1.10	6.51	50.80	330.51	106.09
2179.05	0.73133						103.04

Prueba de dureza Teca natural cara transversal									OBSERVACIONES
Carga superficial transversal (lbf)	Deformacion superficie transversal (mm)	X (mm)	α	L (mm)	Base (mm)	S (mm ²)	Dureza (N/mm ²)		
1094.00	1.45	7.82	1.53	11.97	50.80	608.21	38.12		
1036.60	0.35	4.04	0.73	2.97	50.80	150.63	69.84		
1065.30	0.90						53.98		
1607.68	2.14	9.18	1.90	17.44	50.80	885.84	47.73		
1854.20	0.62	5.34	0.99	5.27	50.80	267.54	94.60		
1730.94	1.38						71.16		
2516.80	2.37	9.53	2.01	19.18	50.80	974.49	71.94		
2277.60	0.76	5.88	1.10	6.45	50.80	327.42	105.55		
2397.20	1.57						88.74		
1087.70	0.37	4.14	0.75	3.11	50.80	157.99	71.59		
1160.70	0.39	4.27	0.78	3.32	50.80	168.48	74.04		
1124.20	0.38						72.82		
1365.10	0.46	4.62	0.84	3.89	50.80	197.81	80.55		
1299.40	0.44	4.51	0.82	3.71	50.80	188.39	78.51		
1332.25	0.45						79.53		
1043.90	0.35	4.06	0.74	2.99	50.80	151.68	70.09		
1277.50	0.43	4.47	0.82	3.65	50.80	185.25	77.82		
1160.70	0.39						73.95		
1350.50	0.45	4.59	0.84	3.85	50.80	195.71	80.10		
1306.70	0.44	4.52	0.82	3.73	50.80	189.44	78.73		
1328.60	0.45						79.42		
1241.00	0.42	4.41	0.80	3.54	50.80	180.02	76.65		
1277.50	0.43	4.47	0.82	3.65	50.80	185.25	77.82		
1259.25	0.42						77.23		
								FALLO ANTES POR CENTRO	
1073.10	0.36	4.11	0.75	3.07	50.80	155.89	71.09		
1197.20	0.40	4.33	0.79	3.42	50.80	173.73	75.24		
1135.15	0.38						73.17		
1657.10	0.56	5.06	0.93	4.71	50.80	239.51	89.15		
1518.40	0.51	4.86	0.89	4.33	50.80	219.73	85.15		
1587.75	0.53						87.15		

Nombre de probeta	Dimensiones (in)	peso (gr)	Prueba de dureza Teca clonada cara radial									
			Carga superficial radial (lbf)	Deformación superficie radial (mm)	X (mm)	α	L (mm)	Base (mm)	S (mm ²)	Dureza (N/mm ²)		
CD1	2X2X2	89.50		639.07	0.84	6.13	1.15	7.05	50.80	358.22	28.39	
				705.64	0.93	6.42	1.21	7.78	50.80	395.02	29.94	
			promedio	672.36	0.88200							29.16
			promedio carga tangencial y radial	907.18								
CD2	2X2X2	85.50		1121.27	1.48	7.90	1.55	12.27	50.80	623.07	38.66	
				1325.82	1.76	8.49	1.70	14.45	50.80	734.11	42.56	
			promedio	1223.55	1.62068							40.61
			promedio carga tangencial y radial	1202.11								
CD3	2X2X2	83.00		1406.91	1.87	8.70	1.76	15.31	50.80	777.89	44.07	
				1141.27	1.51	7.96	1.57	12.48	50.80	633.95	39.05	
			promedio	1274.09	1.68928							41.56
			promedio carga tangencial y radial	1232.14								
CD4	2X2X2	102.00		1406.91	1.87	8.70	1.76	15.31	50.80	777.89	44.07	
				1602.32	2.14	9.16	1.90	17.38	50.80	882.97	47.63	
			promedio	1504.62	2.00288							45.85
			promedio carga tangencial y radial	1528.29								
CD5	2X2X2	80.00		1453.57	1.93	8.81	1.79	15.81	50.80	803.07	44.93	
				940.74	1.24	7.32	1.41	10.32	50.80	524.45	35.03	
			promedio	1197.16	1.58638							39.98
			promedio carga tangencial y radial	1150.58								
CD6	2X2X2	85.00		1144.91	1.51	7.97	1.57	12.52	50.80	635.93	39.12	
				1002.91	1.32	7.53	1.46	10.99	50.80	558.46	36.30	
			promedio	1073.91	1.41855							37.71
			promedio carga tangencial y radial	1117.05								
CD7	2X2X2	78.50		1152.18	1.52	7.99	1.58	12.60	50.80	639.88	39.26	
				1202.91	1.59	8.14	1.61	13.14	50.80	667.48	40.24	
			promedio	1177.55	1.55820							39.75
			promedio carga tangencial y radial	1155.59								
CD8	2X2X2	84.00		1239.09	1.64	8.25	1.64	13.53	50.80	687.14	40.93	
				1195.64	1.58	8.12	1.61	13.06	50.80	663.54	40.10	
			promedio	1217.36	1.61210							40.51
			promedio carga tangencial y radial	1283.31								
CD9	2X2X2	87.50		1121.27	1.48	7.90	1.55	12.27	50.80	623.07	38.66	
				1296.96	1.72	8.41	1.68	14.14	50.80	718.48	42.02	
			promedio	1209.12	1.60108							40.34
			promedio carga tangencial y radial	1127.72								
CD10	2X2X2	99.00		1966.07	2.64	9.90	2.14	21.21	50.80	1077.51	54.10	
				1824.64	2.44	9.63	2.05	19.72	50.80	1001.98	51.60	
			promedio	1895.36	2.54065							52.85
			promedio carga tangencial y radial	1552.68								

Prueba de dureza Teca clonada cara tangencial							
Carga superficial tangencial (lbf)	Deformacion superficie tangencial (mm)	X (mm)	α	L (mm)	Base (mm)	S (mm ²)	Dureza (N/mm ²)
1400.00	0.17	2.86	0.51	1.47	50.80	74.59	133.26
1142.00	0.13990						119.43
1336.61	1.77	8.51	1.71	14.57	50.80	739.96	42.77
1024.73	1.35	7.60	1.48	11.23	50.80	570.43	36.74
1180.67	1.56310						39.75
1188.36	1.57	8.10	1.60	12.98	50.80	659.60	39.96
1192.00	1.58	8.11	1.61	13.02	50.80	661.57	40.03
1190.18	1.57535						39.99
1458.93	1.94	8.83	1.80	15.87	50.80	805.97	45.03
1645.00	2.20	9.26	1.93	17.83	50.80	905.93	48.40
1551.96	2.06780						46.71
1077.64	1.42	7.77	1.52	11.80	50.80	599.28	37.80
1130.36	1.49	7.93	1.56	12.36	50.80	628.02	38.84
1104.00	1.45898						38.32
1248.18	1.65	8.27	1.65	13.62	50.80	692.04	41.10
1072.18	1.42	7.75	1.51	11.74	50.80	596.30	37.69
1160.18	1.53493						39.40
1275.27	1.69	8.35	1.67	13.91	50.80	706.74	41.61
992.00	1.31	7.49	1.45	10.88	50.80	552.47	36.08
1133.64	1.49940						38.85
1345.64	1.79	8.54	1.72	14.66	50.80	744.83	42.93
1352.86	1.80	8.56	1.72	14.74	50.80	748.73	43.07
1349.25	1.79095						43.00
1307.82	1.73	8.44	1.69	14.26	50.80	724.34	42.23
784.81	1.03	6.74	1.28	8.64	50.80	438.74	31.71
1046.32	1.38303						36.97
1119.45	1.48	7.90	1.55	12.25	50.80	622.08	38.62
1300.55	1.72	8.42	1.68	14.18	50.80	720.44	42.09
1210.00	1.60230						40.36

Prueba de dureza Teca clonada cara transversal								OBSERVACIONES
Carga superficial transversal (lbf)	Deformacion superficie transversal (mm)	X (mm)	α	L (mm)	Base (mm)	S (mm ²)	Dureza (N/mm ²)	
1351.07	1.79	8.55	1.72	14.72	50.80	747.75	43.04	
1350.50	0.45	4.59	0.84	3.85	50.80	195.71	80.10	
1350.79	1.12333						61.57	
1516.55	2.02	8.97	1.84	16.47	50.80	836.86	46.08	
1036.60	0.35	4.04	0.73	2.97	50.80	150.63	69.84	
1276.57	1.18335						57.96	
1130.36	1.49	7.93	1.56	12.36	50.80	628.02	38.84	
1116.90	0.37	4.19	0.76	3.19	50.80	162.19	72.58	
1123.63	0.93468						55.71	
1604.11	2.14	9.17	1.90	17.40	50.80	883.92	47.66	
1868.80	0.63	5.36	0.99	5.31	50.80	269.61	94.99	
1736.45	1.38303						71.33	
935.27	1.23	7.30	1.41	10.26	50.80	521.44	34.92	
963.60	0.32	3.90	0.71	2.76	50.80	140.11	67.26	
949.44	0.77788						51.09	
1081.27	1.43	7.78	1.52	11.84	50.80	601.26	37.87	
751.90	0.25	3.46	0.62	2.16	50.80	109.53	59.22	
916.59	0.84035						48.55	
1239.09	1.64	8.25	1.64	13.53	50.80	687.14	40.93	
1087.70	0.37	4.14	0.75	3.11	50.80	157.99	71.59	
1163.40	1.00328						56.26	
1021.09	1.35	7.59	1.48	11.19	50.80	568.44	36.67	
1014.70	0.34	4.00	0.73	2.90	50.80	147.48	69.07	
1017.90	0.84403						52.87	
1103.09	1.46	7.85	1.54	12.07	50.80	613.17	38.30	
1138.80	0.38	4.23	0.77	3.25	50.80	165.34	73.31	
1120.95	0.91998						55.81	
1698.57	2.27	9.38	1.96	18.40	50.80	934.56	49.36	
1657.10	0.56	5.06	0.93	4.71	50.80	239.51	89.15	
1677.84	1.41243						69.25	

Ensayo de corte Teca natural 1 a 3

	SCORTE_R1					SCORTE_R2					SCORTE_R3				
PESO (g)	73.5					73.0					73.5				
	VUELTAS	Área de corte	carga (N)	deformacion (mm)	Esfuerzo de corte (N/mm ²)	VUELTAS	Área de corte	carga (N)	deformacion (mm)	Esfuerzo de corte (N/mm ²)	VUELTAS	Área de corte	carga (N)	deformacion (mm)	Esfuerzo de corte (N/mm ²)
	4.98	24.5 X 50.8	4430.208	1.26492	3.43	5.4	24.5 X 50.8	4803.84	1.3716	3.72	5.1	24.5 X 50.8	4536.96	1.2954	3.52
	SCORTE_T1					SCORTE_T2					SCORTE_T3				
PESO (g)	73.5					73.5					73.0				
	VUELTAS	Área de corte	carga (N)	deformacion (mm)	Esfuerzo de corte (N/mm ²)	VUELTAS	Área de corte	carga (N)	deformacion (mm)	Esfuerzo de corte (N/mm ²)	VUELTAS	Área de corte	carga (N)	deformacion (mm)	Esfuerzo de corte (N/mm ²)
	5.1	24.5 X 50.8	4536.96	1.2954	3.52	3.8	24.5 X 50.8	3380.48	0.9652	2.62	5.21	24.5 X 50.8	4634.816	1.32334	3.59

Ensayo de corte Teca clonada 1 a 3

	CCORTE_R1					CCORTE_R2					CCORTE_R3				
PESO (g)	64.0					60.0					61.0				
	VUELTAS	Área de corte	carga (N)	deformacion (mm)	Esfuerzo de corte (N/mm ²)	VUELTAS	Área de corte	carga (N)	deformacion (mm)	Esfuerzo de corte (N/mm ²)	VUELTAS	Área de corte	carga (N)	deformacion (mm)	Esfuerzo de corte (N/mm ²)
	3.67	24.5 X 50.8	3264.832	0.93218	2.53	3.92	24.5 X 50.8	3487.23	0.99568	2.70	3.42	24.5 X 50.8	3042.432	0.86868	2.36
	CCORTE_T1					CCORTE_T2					CCORTE_T3				
PESO (g)	77.5					70.5					74.0				
	VUELTAS	Área de corte	carga (N)	deformacion (mm)	Esfuerzo de corte (N/mm ²)	VUELTAS	Área de corte	carga (N)	deformacion (mm)	Esfuerzo de corte (N/mm ²)	VUELTAS	Área de corte	carga (N)	deformacion (mm)	Esfuerzo de corte (N/mm ²)
	3.4	24.5 X 50.8	3024.64	0.8636	2.34	4.9	24.5 X 50.8	4359.04	1.2446	3.38	4.4	24.5 X 50.8	3914.24	1.1176	3.03

Ensayo de corte Teca natural 4 a 6

SCORTE_R4					SCORTE_R5					SCORTE_R6				
79.0					80.5					71.5				
VUELTAS	Área de corte	carga (N)	deformacion (mm)	Esfuerzo de corte (N/mm ²)	VUELTAS	Área de corte	carga (N)	deformacion (mm)	Esfuerzo de corte (N/mm ²)	VUELTAS	Área de corte	carga (N)	deformacion (mm)	Esfuerzo de corte (N/mm ²)
5.4	24.5 X 50.8	4803.84	1.3716	3.72	5.2	24.5 X 50.8	4625.92	1.3208	3.59	5.4	24.5 X 50.8	4803.84	1.3716	3.72
SCORTE_T4					SCORTE_T5					SCORTE_T6				
79.0					80.5					71.0				
VUELTAS	Área de corte	carga (N)	deformacion (mm)	Esfuerzo de corte (N/mm ²)	VUELTAS	Área de corte	carga (N)	deformacion (mm)	Esfuerzo de corte (N/mm ²)	VUELTAS	Área de corte	carga (N)	deformacion (mm)	Esfuerzo de corte (N/mm ²)
5.8	24.5 X 50.8	5159.68	1.4732	4.00	5.4	24.5 X 50.8	4803.84	1.3716	3.72	4.8	24.5 X 50.8	4270.08	1.2192	3.31

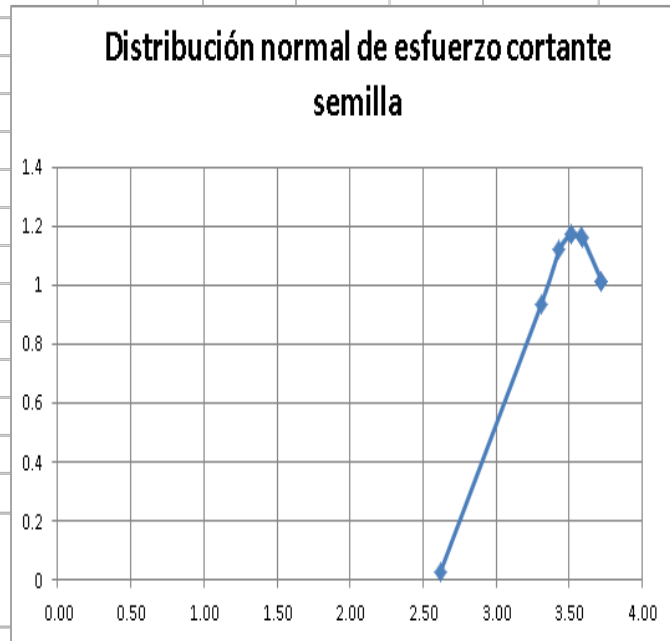
Ensayo de corte Teca clonada 4 a 6

CCORTE_R4					CCORTE_R5					CCORTE_R6				
61.0					63.0					65.0				
VUELTAS	Área de corte	carga (N)	deformacion (mm)	Esfuerzo de corte (N/mm ²)	VUELTAS	Área de corte	carga (N)	deformacion (mm)	Esfuerzo de corte (N/mm ²)	VUELTAS	Área de corte	carga (N)	deformacion (mm)	Esfuerzo de corte (N/mm ²)
3.54	24.5 X 50.8	3149.184	0.89916	2.44	3.92	24.5 X 50.8	3487.232	0.99568	2.70	4.22	24.5 X 50.8	3754.112	1.07188	2.91
CCORTE_T4					CCORTE_T5					CCORTE_T6				
72.5					74.0					74.5				
VUELTAS	Área de corte	carga (N)	deformacion (mm)	Esfuerzo de corte (N/mm ²)	VUELTAS	Área de corte	carga (N)	deformacion (mm)	Esfuerzo de corte (N/mm ²)	VUELTAS	Área de corte	carga (N)	deformacion (mm)	Esfuerzo de corte (N/mm ²)
4.7	24.5 X 50.8	4181.12	1.1938	3.24	4.33	24.5 X 50.8	3851.968	1.09982	2.99	4.92	24.5 X 50.8	4376.832	1.24968	3.39

Distribución de valores prueba a corte

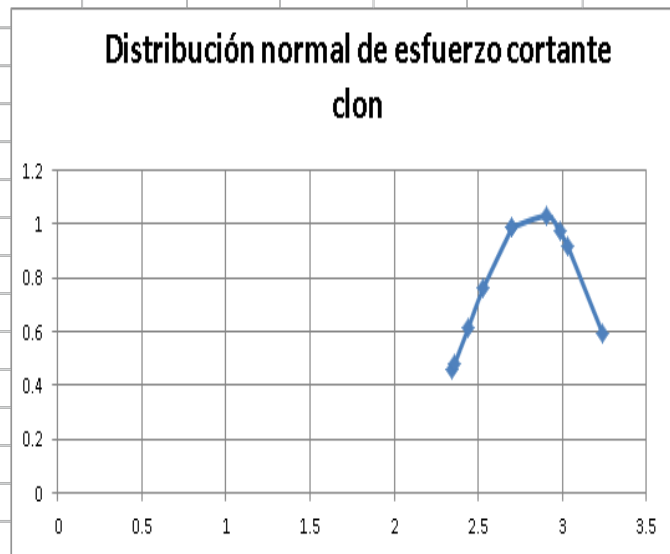
Semilla

esfuerzo	Dist Normal
2.62	0.029718859
3.30948349	0.936792232
3.43	1.122584673
3.52	1.175440338
3.52	1.175440338
3.59	1.166944917
3.59	1.163443399
3.72	1.015654236
3.72	1.015654236
3.72	1.015654236
3.72316893	1.015654236
4.00	0.467865389
media aritmetica	3.54
desviacion estandar	0.338656

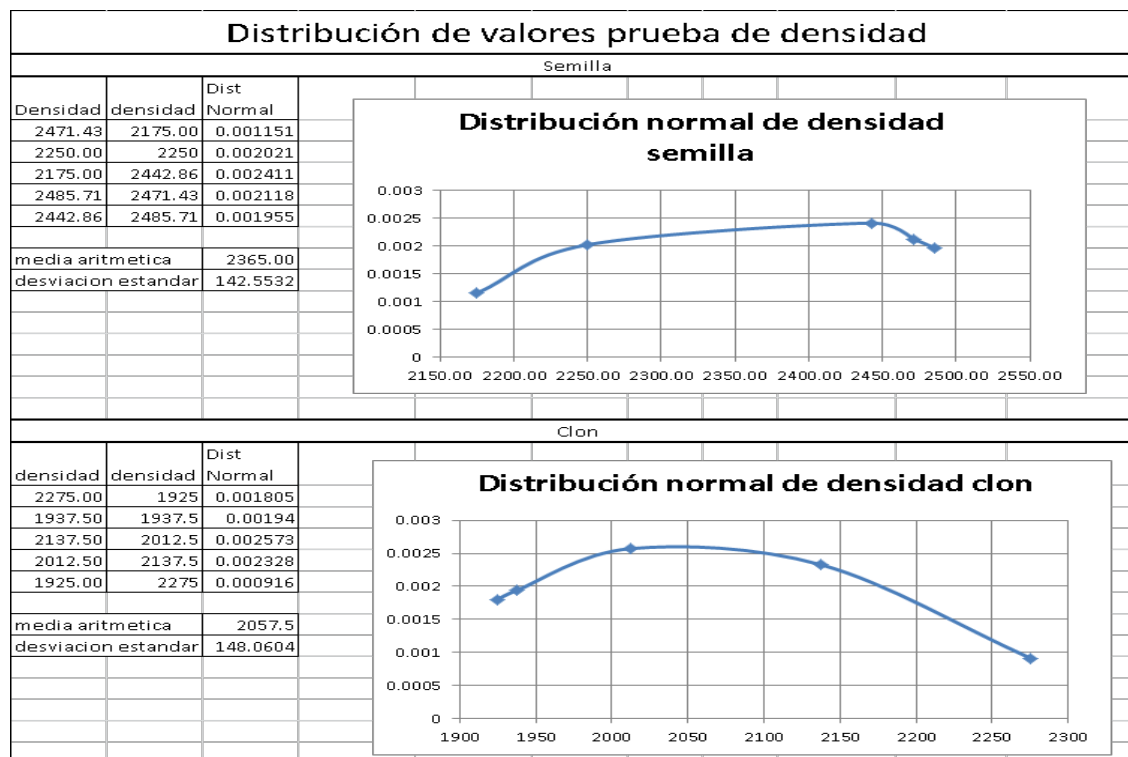


Clon

Esfuerzo	Dist Normal
2.34421748	0.45621862
2.35800699	0.477773909
2.44074408	0.613081042
2.53037592	0.761415285
2.70274485	0.987931889
2.70274485	0.987931889
2.90958757	1.029403768
2.9854299	0.970324009
3.0336932	0.91533731
3.24053592	0.593891515
3.37843107	0.377591978
3.39222058	0.35827061
media aritmetica	2.83489437
desviacion estandar	0.38013742



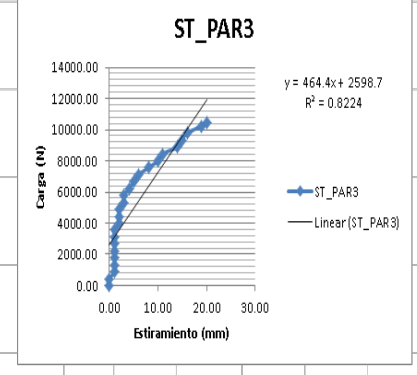
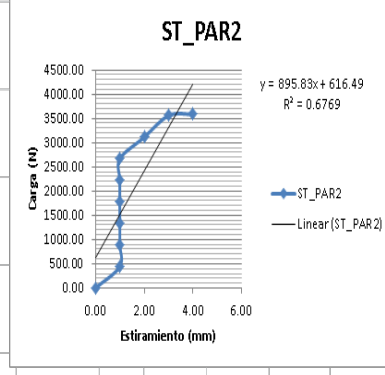
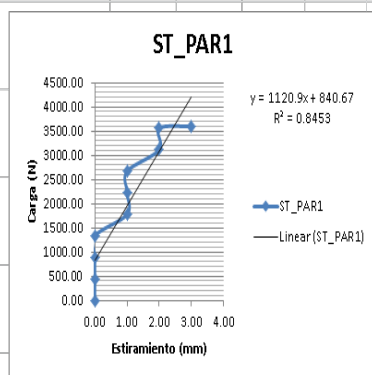
PRUEBA DE DENSIDAD													
tipo de Madera	No. muestra	peso (g)		mL inicial	mL final	mL total	diferencia de peso	mL de diferencia	mL reales sin parafina	mL a m3	densidad (kg/m ³)	densidad característica promedio (kg/m ³)	densidad media (kg/m ³)
		sin parafina	con parafina										
Natural	1	84.5	86.5	100	135	35	2	0.81	34.19	3.42E-05	2471.43	2365.00	2442.86
	2	88	90	100	140	40	2	0.89	39.11	3.91E-05	2250.00		
	3	85.5	87	100	140	40	1.5	0.69	39.31	3.93E-05	2175.00		
	4	85.5	87	100	135	35	1.5	0.60	34.40	3.44E-05	2485.71		
	5	84	85.5	100	135	35	1.5	0.61	34.39	3.44E-05	2442.86		
Clonada	1	89	91	100	140	40	2	0.88	39.12	3.91E-05	2275.00	2057.50	2012.50
	2	75	77.5	100	140	40	2.5	1.29	38.71	3.87E-05	1937.50		
	3	84.5	85.5	100	140	40	1	0.47	39.53	3.95E-05	2137.50		
	4	78.5	80.5	100	140	40	2	0.99	39.01	3.90E-05	2012.50		
	5	74.5	77	100	140	40	2.5	1.30	38.70	3.87E-05	1925.00		



Prueba a tracción paralela a la fibra Teca natural 1 a 3

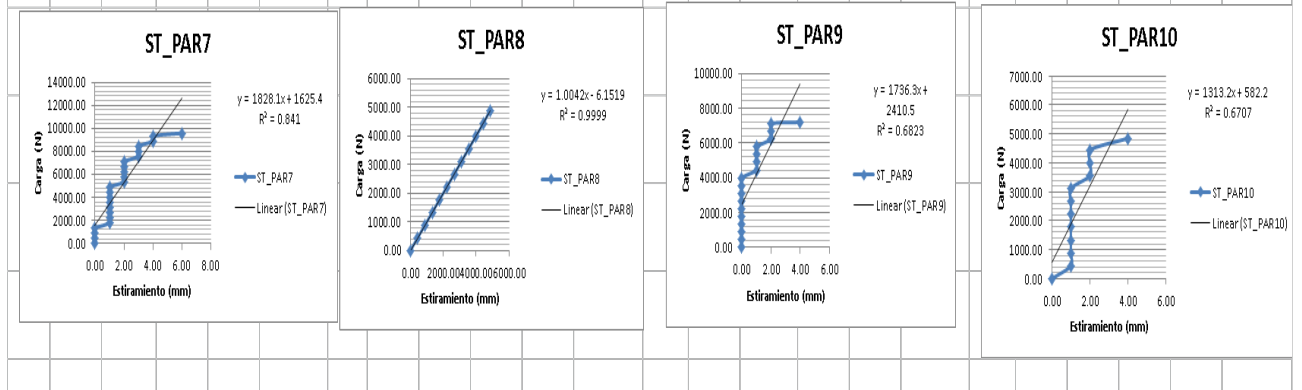
PESO	ST_PAR1						ST_PAR2						ST_PAR3						
	362.0						376.5						352.0						
	carga (lbf)	carga (N)	Fuerza (lbf/in ²)	Fuerza (N/mm ²)	Deformacion real	deformacion (mm)	carga (lbf)	carga (N)	Fuerza (lbf/in ²)	Fuerza (N/mm ²)	Deformacion real	deformacion (mm)	carga (lbf)	carga (N)	Fuerza (lbf/in ²)	Fuerza (N/mm ²)	Deformacion real	deformacion (mm)	
	0	0.00	0.00	0.00	0.00	188	0	0.00	0.00	0.00	0.00	192	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	195
	100	444.80	1422.22	9.81	0.00	188	100	444.80	1422.22	9.81	1.00	193	100	444.80	1422.22	9.81	0.00	0.00	195
	200	889.60	2844.44	19.61	0.00	188	200	889.60	2844.44	19.61	1.00	193	200	889.60	2844.44	19.61	1.00	1.00	196
	300	1334.40	4266.67	29.42	0.00	188	300	1334.40	4266.67	29.42	1.00	193	300	1334.40	4266.67	29.42	1.00	1.00	196
	400	1779.20	5688.89	39.22	1.00	189	400	1779.20	5688.89	39.22	1.00	193	400	1779.20	5688.89	39.22	1.00	1.00	196
	500	2224.00	7111.11	49.03	1.00	189	500	2224.00	7111.11	49.03	1.00	193	500	2224.00	7111.11	49.03	1.00	1.00	196
	600	2668.80	8533.33	58.84	1.00	189	600	2668.80	8533.33	58.84	1.00	193	600	2668.80	8533.33	58.84	1.00	1.00	196
	700	3113.60	9955.56	68.64	2.00	190	700	3113.60	9955.56	68.64	2.00	194	700	3113.60	9955.56	68.64	1.00	1.00	196
	800	3558.40	11377.78	78.45	2.00	190	800	3558.40	11377.78	78.45	3.00	195	800	3558.40	11377.78	78.45	1.00	1.00	196
	810	3602.88	11520.00	79.43	3.00	191	807	3589.54	11477.33	79.13	4.00	196	900	4003.20	12800.00	88.25	2.00	197	
													1000	4448.00	14222.22	98.06	2.00	197	
													1100	4892.80	15644.44	107.86	2.00	197	
													1200	5337.60	17066.67	117.67	3.00	198	
													1300	5782.40	18488.89	127.48	3.00	198	
													1400	6227.20	19911.11	137.28	4.00	199	
													1500	6672.00	21333.33	147.09	5.00	200	
													1600	7116.80	22755.56	156.89	6.00	201	
													1700	7561.60	24177.78	166.70	8.00	203	
													1800	8006.40	25600.00	176.51	10.00	205	
													1900	8451.20	27022.22	186.31	11.00	206	
													2000	8896.00	28444.44	196.12	14.00	209	
													2100	9340.80	29866.67	205.92	15.00	210	
													2200	9785.60	31288.89	215.73	16.00	211	
													2300	10230.40	32711.11	225.54	19.00	214	
													2354	10470.59	33479.11	230.83	20.00	215	

CARGA (lbf)	810					807						2354							
CARGA (N)	3602.88					3589.536						10470.592							
DEF (mm)						3						4							
Def (in)						0.118110236						0.157480315							0.787401575
Deformacion delta						0.015957447						0.020833333							0.102564103
Esfuerzo (lbf/in ²)		11520						11477.333						33479.111					
ESFUERZO (N/mm ²)			79.4276					79.13343							230.83035				
Modulo de elasticidad (lbf/in ²)		721920						550912						326421.33					
Modulo de elasticidad (kN/mm ²)			4.98					3.80							2.25				



Prueba a tracción paralela a la fibra Teca natural 7 a 10

ST_PAR7						ST_PAR8						ST_PAR9						ST_PAR10					
349.0						356.0						359.0						389.0					
carga (lbf)	carga (N)	Fuerza (lbf/in ²)	Fuerza (N/mm ²)	Deformación real	deformación (mm)	carga (lbf)	carga (N)	Fuerza (lbf/in ²)	Fuerza (N/mm ²)	Deformación real	deformación (mm)	carga (lbf)	carga (N)	Fuerza (lbf/in ²)	Fuerza (N/mm ²)	Deformación real	deformación (mm)	carga (lbf)	carga (N)	Fuerza (lbf/in ²)	Fuerza (N/mm ²)	Deformación real	deformación (mm)
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	197	0	0.00	0.00	0.00	0.00	200	0	0.00	0.00	0.00	0.00
100	444.80	1422.22	9.81	0.00	196	100	444.80	1422.22	9.81	0.00	197	100	444.80	1422.22	9.81	0.00	200	100	444.80	1422.22	9.81	1.00	199
200	889.60	2844.44	19.61	0.00	196	200	889.60	2844.44	19.61	0.00	197	200	889.60	2844.44	19.61	0.00	200	200	889.60	2844.44	19.61	1.00	199
300	1334.40	4266.67	29.42	0.00	196	300	1334.40	4266.67	29.42	0.00	197	300	1334.40	4266.67	29.42	0.00	200	300	1334.40	4266.67	29.42	1.00	199
400	1779.20	5688.89	39.22	1.00	197	400	1779.20	5688.89	39.22	1.00	198	400	1779.20	5688.89	39.22	0.00	200	400	1779.20	5688.89	39.22	1.00	199
500	2224.00	7111.11	49.03	1.00	197	500	2224.00	7111.11	49.03	1.00	198	500	2224.00	7111.11	49.03	0.00	200	500	2224.00	7111.11	49.03	1.00	199
600	2668.80	8533.33	58.84	1.00	197	600	2668.80	8533.33	58.84	2.00	199	600	2668.80	8533.33	58.84	0.00	200	600	2668.80	8533.33	58.84	1.00	199
700	3113.60	9955.56	68.64	1.00	197	700	3113.60	9955.56	68.64	2.00	199	700	3113.60	9955.56	68.64	0.00	200	700	3113.60	9955.56	68.64	1.00	199
800	3558.40	11377.78	78.45	1.00	197	800	3558.40	11377.78	78.45	2.00	199	800	3558.40	11377.78	78.45	0.00	200	800	3558.40	11377.78	78.45	2.00	200
900	4003.20	12800.00	88.25	1.00	197	900	4003.20	12800.00	88.25	2.00	199	900	4003.20	12800.00	88.25	0.00	200	900	4003.20	12800.00	88.25	2.00	200
1000	4448.00	14222.22	98.06	1.00	197	1000	4448.00	14222.22	98.06	2.00	199	1000	4448.00	14222.22	98.06	1.00	201	1000	4448.00	14222.22	98.06	2.00	200
1100	4892.80	15644.44	107.86	1.00	197	1089	4843.87	15488.00	106.79	3.00	200	1100	4892.80	15644.44	107.86	1.00	201	1089.5	4846.10	15495.11	106.84	4.00	202
1200	5337.60	17066.67	117.67	2.00	198							1200	5337.60	17066.67	117.67	1.00	201						
1300	5782.40	18488.89	127.48	2.00	198							1300	5782.40	18488.89	127.48	1.00	201						
1400	6227.20	19911.11	137.28	2.00	198							1400	6227.20	19911.11	137.28	2.00	202						
1500	6672.00	21333.33	147.09	2.00	198							1500	6672.00	21333.33	147.09	2.00	202						
1600	7116.80	22755.56	156.89	2.00	198							1600	7116.80	22755.56	156.89	2.00	202						
1700	7561.60	24177.78	166.70	3.00	199							1619.5	7203.54	23032.89	158.81	4.00	204						
1800	8006.40	25600.00	176.51	3.00	199																		
1900	8451.20	27022.22	186.31	3.00	199																		
2000	8896.00	28444.44	196.12	4.00	200																		
2100	9340.80	29866.67	205.92	4.00	200																		
2156	9589.89	30663.11	211.41	6.00	202																		



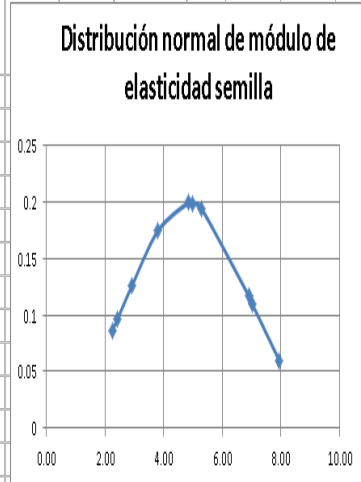
Valores promedio tracción paralela madera		
Teca natural		
PROM FUERZA	1634.9 lbf	7272.0352 N
PROM DEF	0.3307087 in	8.4 mm
Prom Def Delta	0.0431583	
Prom Esfuerzo	23251.911 lbf/in ²	160.31628 N/mm ²
Prom MOE	538758.56 lbf/in ²	4.8347078 kN/mm ²
PROM PESO	363.7 gr	

Valores promedio tracción paralela madera Teca clonada		
PROM FUERZA	1492 lbf	6636.416 N
PROM DEF	0.2204724 in	5.6 mm
Prom Def Delta	0.0281267	
Prom Esfuerzo	21219.556 lbf/in ²	146.30363 N/mm ²
Prom MOE	754427.93 lbf/in ²	6.0590462 kN/mm ²
PROM PESO	351.3 gr	

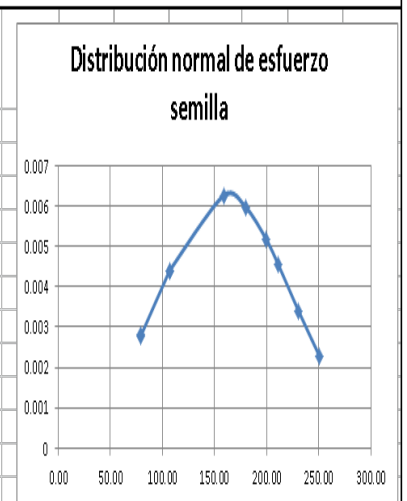
Distribución de valores prueba a tracción paralela al grano

Semilla

Modulo elasticidad N/mm ²	Modulo elasticidad N/mm ²	Dist Normal
4.98	2.25	0.0866824
3.798404523	2.43	0.097026
2.250595864	2.91	0.1254113
2.432141872	3.80	0.1741674
4.833132923	4.83	0.1990866
6.906213813	4.98	0.1985821
2.908202492	5.29	0.1940503
7.012280716	6.91	0.1166775
7.940308918	7.01	0.11031
5.288333992	7.94	0.0599067
media aritmetica	4.8347078	
desviacion estandar	2.0038624	

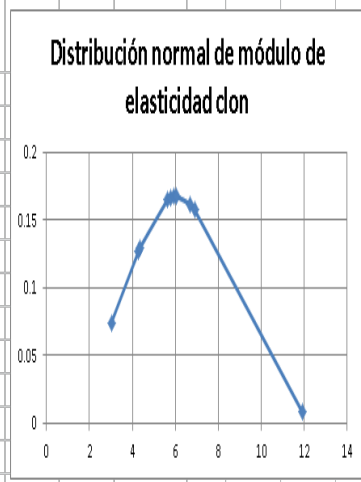


Esfuerzo	Esfuerzo	Dist Normal
79.43	79.13	0.00278
79.133428	79.43	0.0028
230.83035	106.79	0.0044
250.73628	106.84	0.0044
199.30445	158.81	0.00626
179.88881	179.89	0.00597
211.41471	199.30	0.00519
106.786	211.41	0.00454
158.80618	230.83	0.00339
106.83503	250.74	0.00229
media aritmetica	160.32	
desviacion estandar	63.7041	

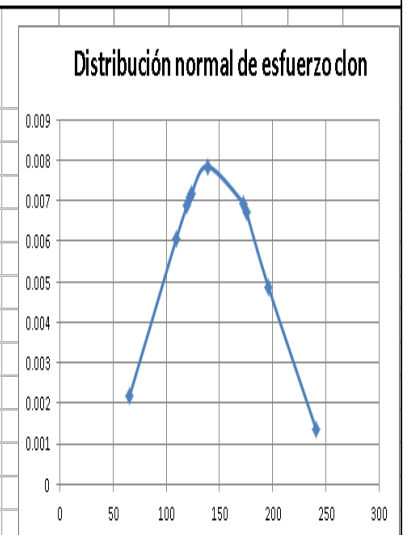


Clon

Modulo elasticidad N/mm ²	Modulo elasticidad N/mm ²	Dist Normal
3.03	3.0260722	0.0744207
6.69900746	4.2949415	0.1273582
4.349602676	4.3496027	0.1295106
11.91904352	5.6297174	0.1649144
5.629717429	5.7842417	0.1665058
5.784241708	5.9210337	0.1673378
6.058953352	6.0589534	0.1676194
5.921033692	6.6990075	0.1616682
4.294941449	6.9078481	0.1572918
6.907848126	11.919044	0.0080901
media aritmetica	6.0590462	
desviacion estandar	2.3800482	



Esfuerzo	Esfuerzo	Dist Normal
240.88137	65.40519973	0.00217
196.06851	109.2864994	0.00605
109.2865	119.1904352	0.00686
119.19044	122.0831689	0.00707
172.33829	123.6521092	0.00717
175.28005	138.8512186	0.00785
123.65211	172.3382886	0.00694
122.08317	175.2800517	0.00672
65.4052	196.068511	0.00486
138.85122	240.881369	0.00135
media aritmetica	146.304	
desviacion estandar	50.2705	



Quintos Percentiles										
Prueba	Flexión		Comp Paralela		Comp Perpendicular		Cortante		Tracción Paralela	
	Natural	Clonada	Natural	Clonada	Natural	Clonada	Natural	Clonada	Natural	Clonada
	47.43	72.37	37.20	31.96	6.03	3.89	2.62	2.34	79.13	65.41
	66.63	73.32	43.56	36.48	6.07	4.75	3.31	2.36	79.43	109.29
	70.39	77.72	43.99	40.51	6.77	5.49	3.43	2.44	106.79	119.19
	86.02	81.17	49.25	42.50	6.85	6.81	3.52	2.53	106.84	122.08
	87.26	82.41	51.75	44.00	6.94	7.43	3.52	2.70	158.81	123.65
	87.43	82.91	53.22	44.52	7.32	7.53	3.59	2.70	179.89	138.85
	91.14	85.12	53.26	48.81	7.43	7.63	3.59	2.91	199.30	172.34
	94.49	85.12	53.87	48.95	7.69	7.94	3.72	2.99	211.41	175.28
	96.2	90.40	54.80	49.38	8.34	8.02	3.72	3.03	230.83	196.07
	98.5	95.01	57.40	52.13	8.53	8.26	3.72	3.24	250.74	240.88
							3.72	3.38		
							4.00	3.39		
promedio	82.55	82.56	49.83	43.92	7.20	6.77	3.54	2.83	160.32	146.30
percentil 5	56.07	72.79	40.06	33.99	6.05	4.28	3.00	2.35	79.27	85.15

Madera Tectona Grandis Natural				Madera Tectona Grandis Clon o Modificada			
Valores característicos de resistencia [N/mm ²]				Valores característicos de resistencia [N/mm ²]			
	Flexión	$f_{m,k}$	56.07		Flexión	$f_{m,k}$	72.79
	Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	79.27		Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	85.15
	Tracción perpendicular	$f_{t,90,k}$	0.60		Tracción perpendicular	$f_{t,90,k}$	0.60
	Compresión Paralela	$f_{c,0,k}$	40.06		Compresión Paralela	$f_{c,0,k}$	33.99
	Compresión Perpendicular	$f_{c,90,k}$	6.05		Compresión Perpendicular	$f_{c,90,k}$	4.28
	Cortante	$f_{v,k}$	3.00		Cortante	$f_{v,k}$	2.35
Valores característicos de rigidez [kN/mm ²]				Valores característicos de rigidez [kN/mm ²]			
	Módulo de elasticidad				Módulo de elasticidad		
	paralelo promedio	$E_{0,mean}$	6.12		paralelo promedio	$E_{0,mean}$	4.90
	perpendicular promedio	$E_{90,mean}$	0.36		perpendicular promedio	$E_{90,mean}$	0.36
	percentil 5	$E_{0,05}$	4.83		percentil 5	$E_{0,05}$	2.16
	Módulo de cortante medio	G_{mean}	0.69		Módulo de cortante medio	G_{mean}	0.69
Valores característicos de densidad [kg/m ³]				Valores característicos de densidad [kg/m ³]			
	Densidad característica	ρ_k	2365.00		Densidad característica	ρ_k	2057.50
	Densidad media	ρ_{mean}	2442.86		Densidad media	ρ_{mean}	2012.50

Madera Tectona Grandis Natural		Laboratorio	BS EN 338:2003	Variación Lab/BS EN	%	% real diferencia	Madera Tectona Grandis Clon		Laboratorio	BS EN 338:2003	Variación Lab/BS EN	%	% real diferencia
Valores característicos de resistencia [N/mm ²]		Valores característicos de resistencia [N/mm ²]		Valores característicos de resistencia [N/mm ²]		Valores característicos de resistencia [N/mm ²]		Valores característicos de resistencia [N/mm ²]		Valores característicos de resistencia [N/mm ²]		Valores característicos de resistencia [N/mm ²]	
Flexión	$f_{m,k}$	56.07	56.07	1.00	100%	0%	Flexión	$f_{m,k}$	72.79	72.79	1.00	100%	0%
Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	79.27	33.64	2.36	42%	58%	Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	85.15	43.68	1.95	51%	49%
Tracción perpendicular	$f_{t,90,k}$	0.60	0.60	1.00	100%	0%	Tracción perpendicular	$f_{t,90,k}$	0.60	0.60	1.00	100%	0%
Compresión Paralela	$f_{c,0,k}$	40.06	30.61	1.31	76%	24%	Compresión Paralela	$f_{c,0,k}$	33.99	34.43	0.99	101%	-1%
Compresión Perpendicular	$f_{c,90,k}$	6.05	35.48	0.17	587%	-487%	Compresión Perpendicular	$f_{c,90,k}$	4.28	30.86	0.14	722%	-622%
Cortante	$f_{v,k}$	3.00	3.80	0.79	127%	-27%	Cortante	$f_{v,k}$	2.35	3.80	0.62	162%	-62%
Valores característicos de rigidez [kN/mm ²]		Valores característicos de rigidez [kN/mm ²]		Valores característicos de rigidez [kN/mm ²]		Valores característicos de rigidez [kN/mm ²]		Valores característicos de rigidez [kN/mm ²]		Valores característicos de rigidez [kN/mm ²]		Valores característicos de rigidez [kN/mm ²]	
Módulo de elasticidad		Módulo de elasticidad		Módulo de elasticidad		Módulo de elasticidad		Módulo de elasticidad		Módulo de elasticidad		Módulo de elasticidad	
paralelo promedio	$E_{0,mean}$	6.12	6.12	1.00	100%	0%	paralelo promedio	$E_{0,mean}$	4.90	4.90	1.00	100%	0%
perpendicular promedio	$E_{90,mean}$	0.36	0.41	0.88	113%	-13%	perpendicular promedio	$E_{90,mean}$	0.36	0.33	1.11	90%	10%
percentil 5	$E_{0,05}$	4.83	5.14	0.94	106%	-6%	percentil 5	$E_{0,05}$	2.16	4.11	0.53	190%	-90%
Módulo de cortante medio	G_{mean}	0.69	0.38	1.80	55%	45%	Módulo de cortante medio	G_{mean}	0.69	0.31	2.25	44%	56%
Valores característicos de densidad [kg/m ³]		Valores característicos de densidad [kg/m ³]		Valores característicos de densidad [kg/m ³]		Valores característicos de densidad [kg/m ³]		Valores característicos de densidad [kg/m ³]		Valores característicos de densidad [kg/m ³]		Valores característicos de densidad [kg/m ³]	
Densidad característica	ρ_k	2365.00	2365	1.00	100%	0%	Densidad característica	ρ_k	2057.50	2057.5	1.00	100%	0%
Densidad media	ρ_{mean}	2442.86	2838	0.86	116%	-16%	Densidad media	ρ_{mean}	2012.50	2469	0.82	123%	-23%

Tipo de Madera	Tectona Grandis Natural	Pino Candelillo	Pino amarillo del sur		variacion Teca/candelillo	variacion Teca/pino amarillo	% Teca/candelillo	% Teca/pino amarillo
Valores característicos de resistencia [N/mm ²]								
Flexion	56.07	37.03	18		1.51	3.12	51%	212%
Tracción paralela	33.64	22.22	11		1.51	3.06	51%	206%
Tracción perpendicular	0.60	0.6	0.5		1.00	1.20	0%	20%
Compresión paralela	40.06	21.37	18		1.87	2.23	87%	123%
Compresión perpendicular	6.05	7.21	2.2		0.84	2.75	-16%	175%
Cortante	3.00	6.58	2		0.46	1.50	-54%	50%
Valores característicos de rigidez [kN/mm ²]								
MOE paralelo promedio	6.12	9	9		0.68	0.68	-32%	-32%
MOE perpendicular promedio	0.36	0.3	0.3		1.20	1.20	20%	20%
MOE perentil 5	4.83	6.03	6		0.80	0.81	-20%	-20%
Modulo de cortante medio	0.69	0.56	0.56		1.23	1.23	23%	23%
Valores característicos de densidad[kg/m ³]								
Densidad caracteristica	2365	804	320		2.94	7.39	194%	639%
Densidad media	2442.886	680	380		3.59	6.43	259%	543%

11.3. Tablas y gráficas

11.3.1. Flexión

Datos promedio prueba a flexión							
Natural				Clonada			
Carga (N)	Esfuerzo (N/mm ²)	Deformación (mm)	Deformación Delta (adimensional)	Carga (N)	Esfuerzo (N/mm ²)	Deformación (mm)	Deformación Delta (adimensional)
0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.0000
444.80	3.88	1.70	0.0022	444.80	3.88	1.70	0.0022
889.60	7.76	2.40	0.0031	889.60	7.76	2.60	0.0034
1334.40	11.63	3.40	0.0045	1334.40	11.63	3.30	0.0043
1779.20	15.51	4.00	0.0052	1779.20	15.51	4.00	0.0052
2224.00	19.39	4.50	0.0059	2224.00	19.39	4.70	0.0062
2668.80	23.27	5.40	0.0071	2668.80	23.27	5.20	0.0068
3113.60	27.15	6.00	0.0079	3113.60	27.15	6.00	0.0079
3558.40	31.02	6.70	0.0088	3558.40	31.02	6.90	0.0091
4003.20	34.90	7.40	0.0097	4003.20	34.90	7.80	0.0102
4448.00	38.78	8.10	0.0106	4448.00	38.78	8.50	0.0112
4892.80	42.66	8.90	0.0117	4892.80	42.66	9.30	0.0122
5337.60	46.54	9.90	0.0130	5337.60	46.54	10.10	0.0133
5748.15	50.12	10.70	0.0140	5782.40	50.42	11.10	0.0146
6227.20	54.29	10.78	0.0141	6227.20	54.29	11.70	0.0154
6672.00	58.17	11.56	0.0152	6672.00	58.17	12.80	0.0168
7116.80	62.05	12.67	0.0166	7116.80	62.05	13.90	0.0182
7561.60	65.93	13.33	0.0175	7561.60	65.93	15.30	0.0201
7965.87	69.45	14.33	0.0188	8006.40	69.81	16.80	0.0220
8403.94	73.27	14.63	0.0192	8431.85	73.52	18.10	0.0238
8896.00	77.56	15.00	0.0197	8896.00	77.56	19.88	0.0261
9340.80	81.44	16.00	0.0210	9283.53	80.94	21.63	0.0284
9785.60	85.32	17.43	0.0229	9676.62	84.37	24.50	0.0322
10117.61	88.21	18.57	0.0244	10230.40	89.20	21.50	0.0282
10619.60	92.59	20.00	0.0262	10521.74	91.74	24.00	0.0315
10996.94	95.88	22.67	0.0297	10897.60	95.01	25.00	0.0328
11297.92	98.50	27.00	0.0354				

Cuadro 17: Datos promedio prueba a flexión para madera natural y clonada

Fuente: Elaboración propia

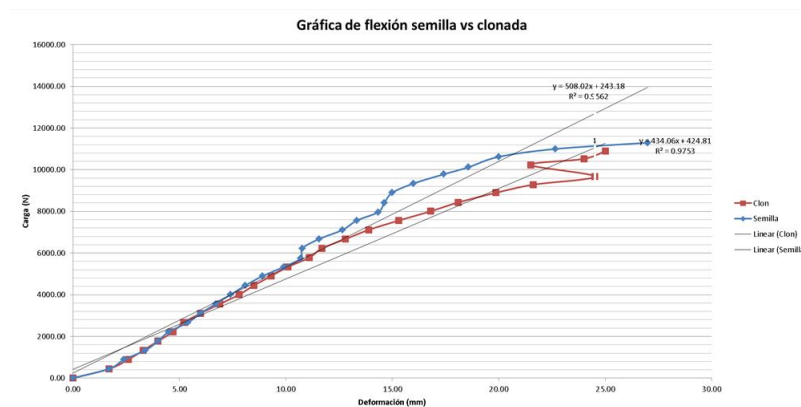


Figura 41: Gráfica de carga y deformación pruebas a flexión

Fuente: Elaboración propia

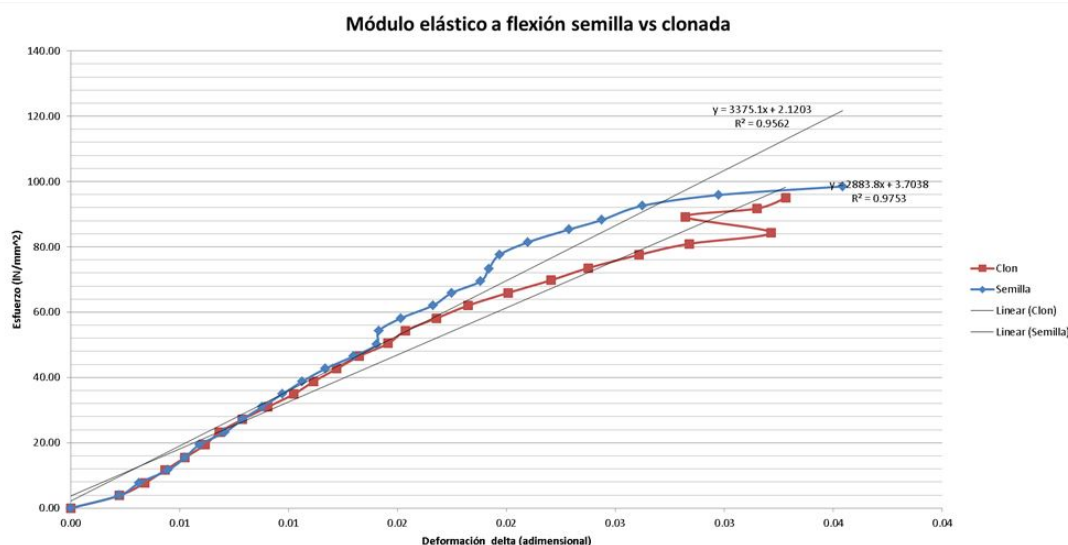


Figura 42: Gráfica de módulo de elasticidad a flexión

Fuente: Elaboración propia

11.3.2. Compresión paralela al grano

Datos promedio pruebas a compresión paralela al grano							
Natural				Clonada			
Carga (N)	Esfuerzo (N/mm ²)	Deformación (mm)	Deformación delta (adimensional)	Carga (N)	Esfuerzo (N/mm ²)	Deformación (mm)	Deformación delta (adimensional)
0	0	0	0.0000	0	0	0	0.0000
61.34	3.45	0.70	0.0034	61.34	3.45	1.20	0.0059
122.67	6.89	0.90	0.0044	122.67	6.89	1.40	0.0069
184.01	10.34	1.20	0.0059	184.01	10.34	1.40	0.0069
245.34	13.79	1.20	0.0059	245.34	13.79	1.60	0.0079
306.68	17.24	1.20	0.0059	306.68	17.24	1.70	0.0084
368.01	20.68	1.20	0.0059	368.01	20.68	1.70	0.0084
429.35	24.13	1.30	0.0064	429.35	24.13	1.90	0.0094
490.69	27.58	1.40	0.0069	490.69	27.58	2.10	0.0103
552.02	31.02	1.60	0.0079	552.02	31.02	2.20	0.0108
613.36	34.47	1.70	0.0084	608.89	34.22	2.30	0.0113
673.41	37.85	2.00	0.0098	671.84	37.76	2.67	0.0131
736.03	41.37	1.89	0.0093	734.13	41.26	2.75	0.0135
793.28	44.58	2.00	0.0098	788.67	44.33	2.57	0.0127
858.70	48.26	2.29	0.0112	861.13	48.40	3.00	0.0148
913.79	51.36	2.29	0.0112	889.92	50.02	3.00	0.0148
955.05	53.68	2.33	0.0115	927.49	52.13	3.00	0.0148
1021.24	57.40	3.00	0.0148				

Cuadro 18: Datos promedio prueba a compresión paralela al grano para madera natural y clonada

Fuente: Elaboración propia

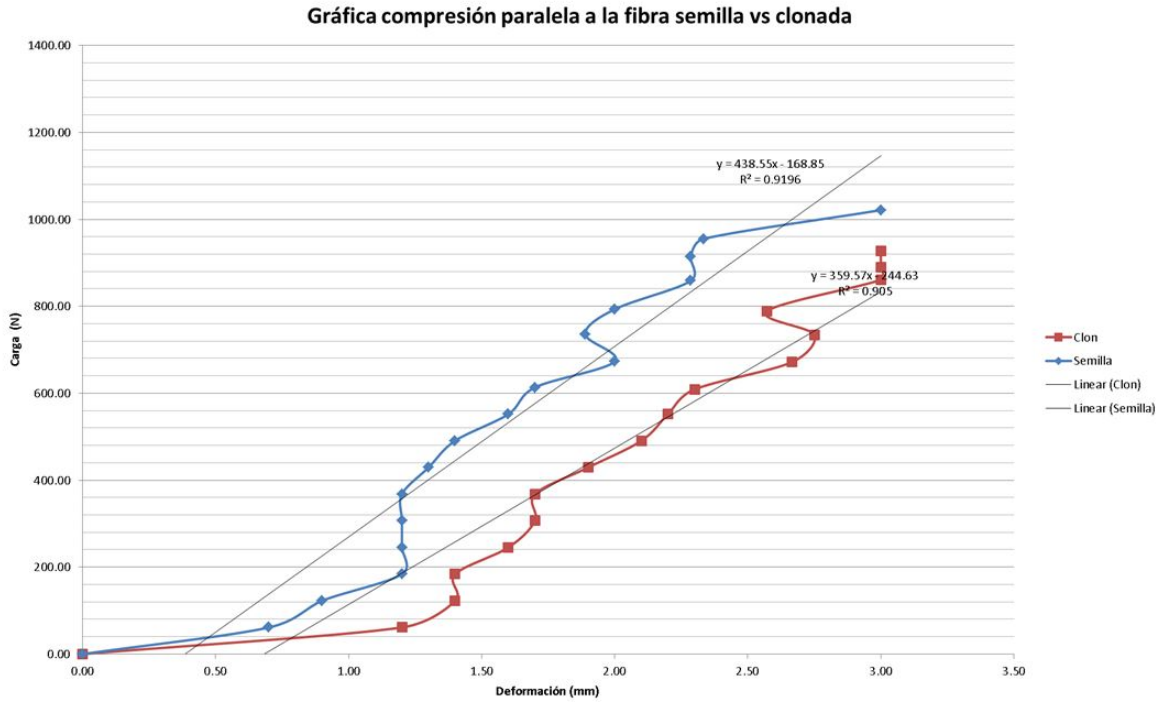


Figura 43: Gráfica de carga y deformación pruebas a compresión paralela a la fibra

Fuente: Elaboración propia

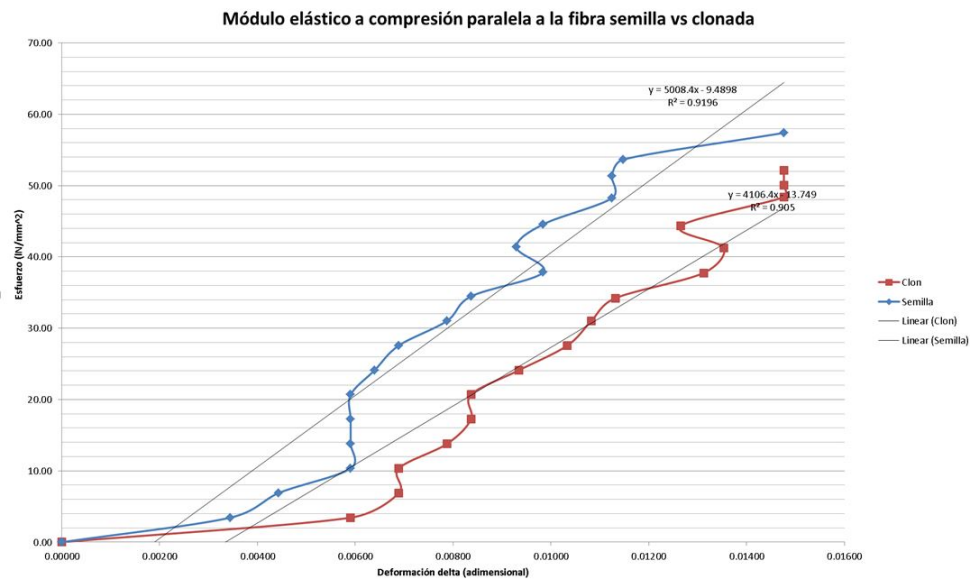


Figura 44: Gráfica de módulo de elasticidad a compresión paralela a la fibra

Fuente: Elaboración propia

11.3.3. Compresión perpendicular al grano

Datos promedio pruebas a compresión perpendicular al grano							
Natural				Clonada			
Carga (N)	Esfuerzo (N/mm ²)	Deformación (mm)	Deformación delta (adimensional)	Carga (N)	Esfuerzo (N/mm ²)	Deformación (mm)	Deformación delta (adimensional)
0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.0000
61.34	1.15	0.29	0.0058	61.34	1.15	0.34	0.0066
122.67	2.30	0.41	0.0082	122.67	2.30	0.45	0.0089
184.01	3.45	0.52	0.0103	184.01	3.45	0.59	0.0117
245.34	4.60	0.66	0.0131	241.55	4.53	0.71	0.0139
306.68	5.75	0.82	0.0161	299.27	5.61	0.90	0.0176
358.05	6.71	0.94	0.0186	367.34	6.88	1.10	0.0216
404.49	7.58	1.01	0.0199	414.50	7.77	1.20	0.0237
450.33	8.44	1.05	0.0208	441.03	8.26	0.64	0.0125

Cuadro 19: Promedio pruebas a compresión perpendicular al grano para madera natural y clonada

Fuente: Elaboración propia

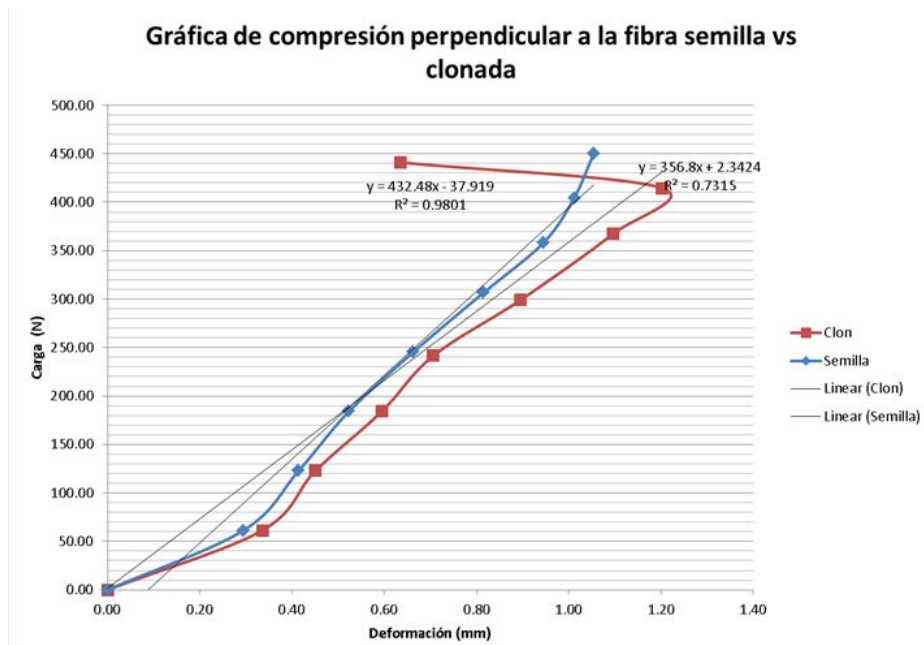


Figura 45: Gráfica de carga y deformación pruebas a compresión perpendicular a la fibra

Fuente: Elaboración propia

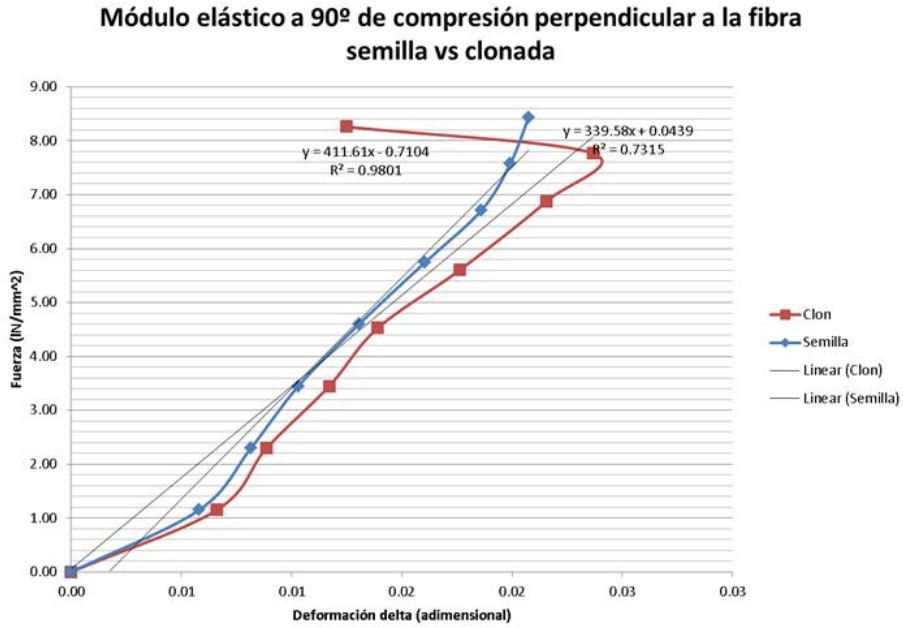


Figura 46: Gráfica de módulo de elasticidad 90º a compresión perpendicular a la fibra

Fuente: Elaboración propia

11.3.4. Dureza

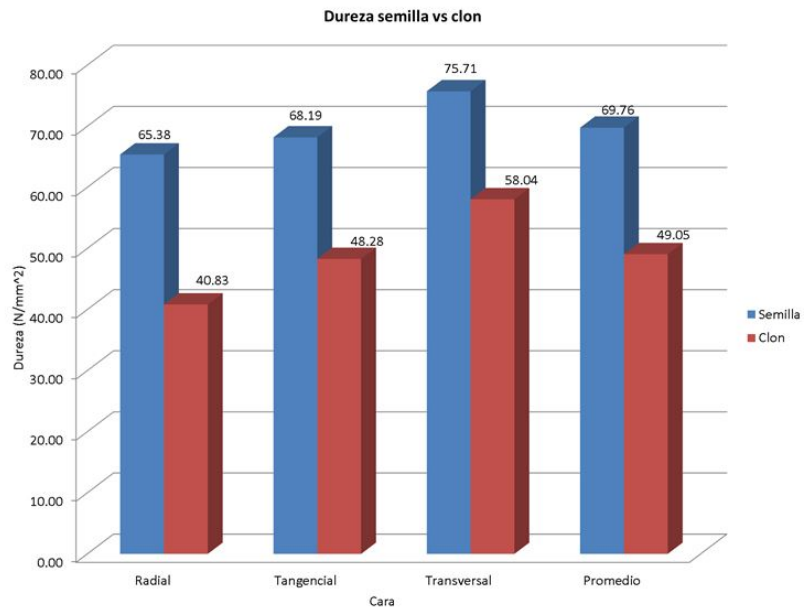


Figura 47: Gráfica de dureza promedio

Fuente: Elaboración propia

11.3.5. Corte

Datos prueba a corte para madera natural y clonada										
Teca	Natural					Clonada				
Cara	Carga (N)	Esfuerzo de corte (N/mm^2)	Deformación (mm)	Deformación delta (adimensional)	Módulo cortante (kN/mm^2)	Carga (N)	Esfuerzo de corte (N/mm^2)	Deformación (mm)	Deformación delta (adimensional)	Módulo cortante (kN/mm^2)
Radial	4430.21	3.43	1.2649	0.0498	0.69	3264.83	2.53	0.9322	0.0367	0.69
	4803.84	3.72	1.3716	0.0540		3487.23	2.70	0.9957	0.0392	
	4536.96	3.52	1.2954	0.0510		3042.43	2.36	0.8687	0.0342	
	4803.84	3.72	1.3716	0.0540		3149.18	2.44	0.8992	0.0354	
	4625.92	3.59	1.3208	0.0520		3487.23	2.70	0.9957	0.0392	
	4803.84	3.72	1.3716	0.0540		3754.11	2.91	1.0719	0.0422	
Tangencial	4536.96	3.52	1.2954	0.0510		3024.64	2.34	0.8636	0.0340	
	3380.48	2.62	0.9652	0.0380		4359.04	3.38	1.2446	0.0490	
	4634.82	3.59	1.3233	0.0521		3914.24	3.03	1.1176	0.0440	
	5159.68	4.00	1.4732	0.0580		4181.12	3.21	1.1938	0.0470	
	4803.84	3.72	1.3716	0.0540		3851.97	2.99	1.0998	0.0433	
	4270.08	3.31	1.2192	0.0480		4376.83	3.39	1.2497	0.0492	

Cuadro 20: Datos prueba a corte para madera natural y clonada

Fuente: Elaboración propia

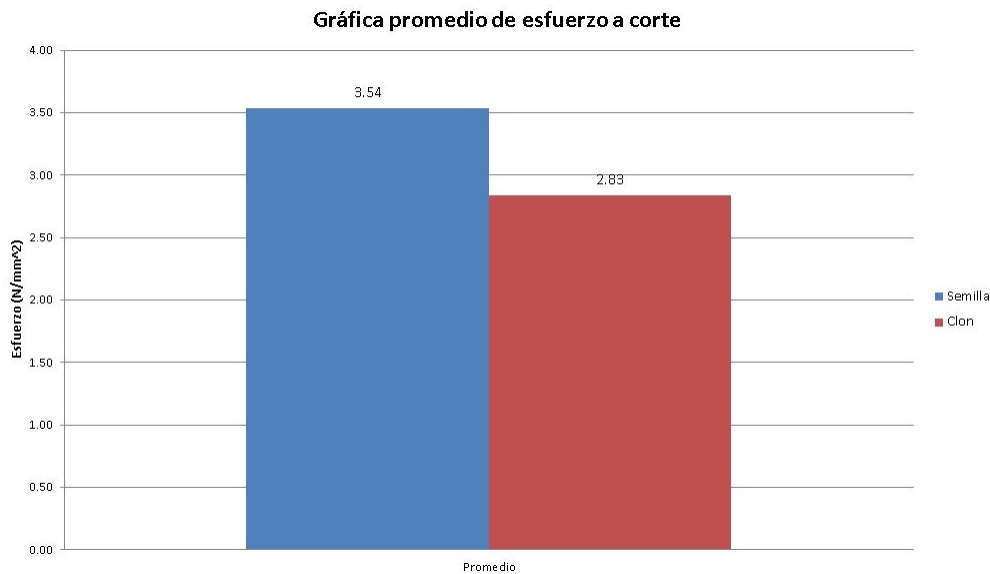


Figura 48: Gráfica de corte promedio

Fuente: Elaboración propia

11.3.6. Densidad

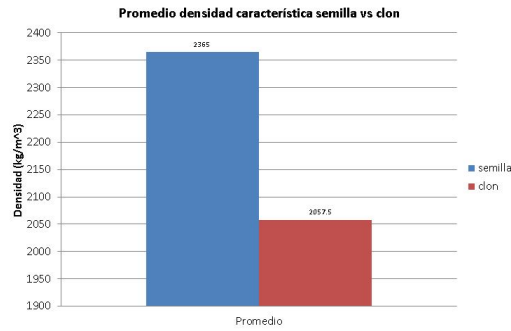


Figura 49: Gráfica de densidad característica promedio

Fuente: Elaboración propia

11.3.7. Tracción paralela al grano

Datos promedio pruebas a tracción paralela al grano							
Natural				Clonada			
Carga (N)	Esfuerzo (N/mm ²)	Deformación (mm)	Deformación (adimensional)	Carga (N)	Esfuerzo (N/mm ²)	Deformación (mm)	Deformación (adimensional)
0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00	0.00	0.00	0.00000
3.07	9.81	0.30	0.00015	3.07	9.81	0.10	0.00005
6.13	19.61	0.40	0.00020	6.13	19.61	0.20	0.00010
9.20	29.42	0.40	0.00020	9.20	29.42	0.60	0.00029
12.27	39.22	0.70	0.00034	12.27	39.22	0.70	0.00034
15.33	49.03	0.70	0.00034	15.33	49.03	0.80	0.00039
18.40	58.84	0.80	0.00039	18.40	58.84	0.90	0.00044
21.47	68.64	1.20	0.00059	21.37	68.32	1.20	0.00059
24.53	78.45	1.40	0.00068	24.53	78.45	1.22	0.00060
27.04	86.46	1.80	0.00088	27.60	88.25	1.33	0.00065
30.67	98.06	1.50	0.00073	30.67	98.06	1.67	0.00081
33.65	107.60	1.88	0.00091	33.73	107.86	1.89	0.00092
36.80	117.67	1.83	0.00089	36.51	116.74	2.44	0.00119
39.87	127.48	2.00	0.00098	39.18	125.29	2.75	0.00134
42.94	137.28	2.67	0.00130	42.94	137.28	2.80	0.00137
46.00	147.09	3.33	0.00163	45.49	145.44	3.60	0.00176
49.07	156.89	3.83	0.00187	49.07	156.89	4.00	0.00195
51.72	165.38	5.00	0.00244	52.14	166.70	4.75	0.00232
55.20	176.51	6.60	0.00322	54.78	175.16	6.50	0.00317
57.87	185.03	7.80	0.00380	58.27	186.31	8.00	0.00390
61.34	196.12	8.25	0.00402	61.33	196.09	9.00	0.00439
63.89	204.27	9.75	0.00476	64.40	205.92	14.00	0.00683
67.02	214.29	11.67	0.00569	67.47	215.73	14.00	0.00683
70.54	225.54	16.50	0.00805	70.54	225.54	16.00	0.00780
72.90	233.09	18.00	0.00878	73.60	235.34	16.00	0.00780
76.67	245.15	17.00	0.00829	75.34	240.88	16.00	0.00780
78.42	250.74	20.00	0.00976				

Cuadro 21: Datos promedio pruebas a tracción paralela al grano para madera natural y clonada

Fuente: Elaboración propia

11.3.8. Tablas comparativas formulas Eurocódigo

Madera <i>Tectona grandis</i> Natural	Pruebas Laboratorio	BS EN 338:2003
Valores característicos de resistencia (N/mm^2)		
Flexión	56.07	56.07
Tracción paralela	79.27	33.64
Tracción perpendicular	0.60	0.60
Compresión paralela	40.06	30.61
Compresión perpendicular	6.05	35.48
Cortante	3.00	3.80
Valores característicos de rigidez (kN/mm^2)		
Módulo de elasticidad		
Paralelo promedio	6.12	6.12
Perpendicular promedio	0.36	0.41
percentil 5	4.83	5.14
Módulo cortante medio	0.69	0.38
Valores característicos de densidad (kg/m^3)		
Densidad característica	2365.00	2365.00
Densidad media	2442.86	2838.00

Cuadro 22: Resultados por pruebas de laboratorio vs fórmulas Eurocódigo madera natural

Fuente: Elaboración propia

Madera <i>Tectona grandis</i> Clonada	Pruebas Laboratorio	BS EN 338:2003
Valores característicos de resistencia (N/mm^2)		
Flexión	72.79	72.79
Tracción paralela	85.15	43.68
Tracción perpendicular	0.60	0.60
Compresión paralela	33.99	34.43
Compresión perpendicular	4.28	30.86
Cortante	2.35	3.80
Valores característicos de rigidez (kN/mm^2)		
Módulo de elasticidad		
Paralelo promedio	4.90	4.90
Perpendicular promedio	0.36	0.33
percentil 5	2.16	4.11
Módulo cortante medio	0.69	0.31
Valores característicos de densidad (kg/m^3)		
Densidad característica	2057.50	2057.50
Densidad media	2012.50	2469.00

Cuadro 23: Resultados por pruebas de laboratorio vs fórmulas Eurocódigo madera clonada

Fuente: Elaboración propia

11.3.9. Tablas comparativas de madera *Tectona grandis* contra las maderas del Eurocódigo 5

Madera *Tectona grandis* natural

Tipo de Madera	Tectona Grandis Natural	Coníferas												
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	
Valores característicos de resistencia [N/mm²]														
Flexión	56.07	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	
Tracción paralela	33.64	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	
Tracción perpendicular	0.60	0.40	0.50	0.50	0.5	0.50	0.50	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	
Compresión paralela	40.06	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	
Compresión perpendicular	6.05	2.0	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2	
Cortante	3.00	1.7	1.8	2.0	2.2	2.4	2.5	2.8	3.0	3.4	3.8	3.8	3.8	
Valores característicos de rigidez [kN/mm²]														
MOE paralelo promedio	6.12	7	8	9	9.5	10.0	11.0	11.5	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	
MOE perpendicular promedio	0.36	0.23	0.27	0.3	0.32	0.33	0.37	0.38	0.40	0.43	0.47	0.50	0.53	
MOE perentil 5	4.83	4.7	5.4	6	6.4	6.7	7.4	7.7	8.0	8.7	9.4	10.0	10.7	
Modulo de cortante medio	0.69	0.44	0.50	0.56	0.59	0.63	0.69	0.72	0.75	0.81	0.88	0.94	1.00	
Valores característicos de densidad[kg/m³]														
Densidad característica	2365	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	
Densidad media	2442.886	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	

Figura 50: Comparación entre madera *Tectona grandis* natural contra coníferas del Eurocódigo 5

Fuente: Elaboración propia

Tipo de Madera	Tectona Grandis Natural	Caducifolios					
		D30	D35	D40	D50	D60	D70
Valores característicos de resistencia [N/mm²]							
Flexión	56.07	30	35	40	50	60	70
Tracción paralela	33.64	18	21	24	30	36	42
Tracción perpendicular	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Compresión paralela	40.06	23	25	26	29	32	34
Compresión perpendicular	6.05	8.0	8.4	8.8	9.7	10.5	13.5
Cortante	3.00	3.0	3.4	3.8	4.6	5.3	6.0
Valores característicos de rigidez [kN/mm²]							
MOE paralelo promedio	6.12	10.0	10.0	11.0	14.0	17.0	20.0
MOE perpendicular promedio	0.36	0.64	0.69	0.75	0.93	1.13	1.33
MOE perentil 5	4.83	8.0	8.7	9.4	11.8	14.3	16.8
Modulo de cortante medio	0.69	0.60	0.65	0.70	0.88	1.06	1.25
Valores característicos de densidad[kg/m³]							
Densidad característica	2365	530	560	590	650	700	900
Densidad media	2442.886	640	670	700	780	840	1080

Figura 51: Comparación entre madera *Tectona grandis* natural contra caducifolias del Eurocódigo 5

Fuente: Elaboración propia

Madera *Tectona grandis* clonada

Tipo de Madera	Tectona Grandis Clonada	Coníferas											
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Valores característicos de resistencia [N/mm²]													
Flexión	72.79	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Tracción paralela	43.68	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Tracción perpendicular	0.60	0.40	0.50	0.50	0.5	0.50	0.50	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Compresión paralela	33.99	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
Compresión perpendicular	4.28	2.0	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2
Cortante	2.35	1.7	1.8	2.0	2.2	2.4	2.5	2.8	3.0	3.4	3.8	3.8	3.8
Valores característicos de rigidez [kN/mm²]													
MOE paralelo promedio	4.9	7	8	9	9.5	10.0	11.0	11.5	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0
MOE perpendicular promedio	0.36	0.23	0.27	0.3	0.32	0.33	0.37	0.38	0.40	0.43	0.47	0.50	0.53
MOE perentil 5	2.16	4.7	5.4	6.0	6.4	6.7	7.4	7.7	8.0	8.7	9.4	10.0	10.7
Modulo de cortante medio	0.69	0.44	0.50	0.56	0.59	0.63	0.69	0.72	0.75	0.81	0.88	0.94	1.00
Valores característicos de densidad[kg/m³]													
Densidad característica	2057.5	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
Densidad media	2012.5	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Figura 52: Comparación entre madera *Tectona grandis* clonada contra coníferas del Eurocódigo 5

Fuente: Elaboración propia

Tipo de Madera	Tectona Grandis Clonada	Caducifolios					
		D30	D35	D40	D50	D60	D70
Valores característicos de resistencia [N/mm²]							
Flexión	72.79	30	35	40	50	60	70
Tracción paralela	43.68	18	21	24	30	36	42
Tracción perpendicular	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Compresión paralela	33.99	23	25	26	29	32	34
Compresión perpendicular	4.28	8.0	8.4	8.8	9.7	10.5	13.5
Cortante	2.35	3.0	3.4	3.8	4.6	5.3	6.0
Valores característicos de rigidez [kN/mm²]							
MOE paralelo promedio	4.9	10.0	10.0	11.0	14.0	17.0	20.0
MOE perpendicular promedio	0.36	0.64	0.69	0.75	0.93	1.13	1.33
MOE perentil 5	2.16	8.0	8.7	9.4	11.8	14.3	16.8
Modulo de cortante medio	0.69	0.60	0.65	0.70	0.88	1.06	1.25
Valores característicos de densidad[kg/m³]							
Densidad característica	2057.5	530	560	590	650	700	900
Densidad media	2012.5	640	670	700	780	840	1080

Figura 53: Comparación entre madera *Tectona grandis* clonada vs caducifolias del Eurocódigo 5

Fuente: Elaboración propia

