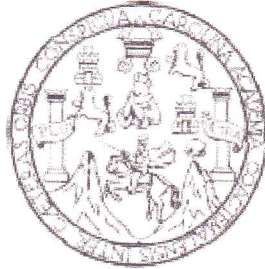


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS PARA
UN SUSTITUTO DE MADERA NATURAL ELABORADO A BASE
DE PLÁSTICOS RECICLADOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

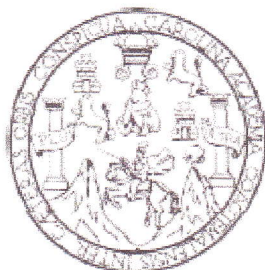
POR

EMERSON VICTOR MANUEL PÉREZ MÉNDEZ
ASESORADO POR EL ING. PABLO CHRISTIAN DE LEÓN RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|--|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| VOCAL I | Inga. Glenda Patricia García Soria |
| VOCAL II | Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola de López |
| VOCAL III | Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón |
| VOCAL IV | Br. Luis Pedro Ortiz de León |
| VOCAL V | P.A. José Alfredo Ortiz Herincx |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|-------------|------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| EXAMINADOR | Ing. Jorge Alberto Lam Lan |
| EXAMINADORA | Inga. Carmen Marina Mérida Alva |
| EXAMINADOR | Ing. Jefry Valentín Rosales Juárez |
| SECRETARIA | Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

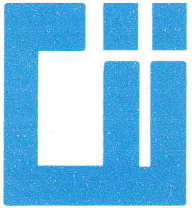
Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS PARA UN SUSTITUTO DE MADERA NATURAL ELABORADO A BASE DE PLÁSTICOS RECICLADOS,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
el 09 de febrero de 2010.



EMERSON VICTOR MANUEL PÉREZ MÉNDEZ



Guatemala,
7 de septiembre de 2010

Ing. José Gabriel Ordoñez Morales
Coordinador Área de Materiales
de Construcción y Obras Civiles
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Ordoñez,

Me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **“ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS PARA UN SUSTITUTO DE MADERA NATURAL ELABORADO A BASE DE PLÁSTICOS RECICLADOS”**, elaborado por el estudiante universitario **Emerson Victor Manuel Pérez Méndez** quien conto con la asesoría de la suscrita.

Considero que el trabajo desarrollado por el estudiante Pérez Méndez satisface los requisitos exigidos, por lo cual recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención prestada a la presente

Atentamente,


Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
Asesor



Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Ciudad de Guatemala

Ingeniero Montenegro.

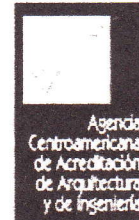
Atentamente y por este medio, envío a usted, el trabajo de graduación desarrollado por el estudiante universitario Emerson Victor Manuel Pérez Méndez, titulado ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS PARA UN SUSTITUTO DE MADERA NATURAL ELABORADO A BASE DE PLÁSTICOS RECICLADOS.

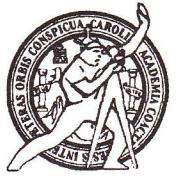
Por lo que, habiendo cumplido con los objetivos planteados y los requisitos de ley establecidos; y extendida la APROBACIÓN DEL MISMO, por parte de el Asesor, Ingeniero Civil Pablo Christian de León Rodríguez; y habiéndose efectuado todas las observaciones técnicas, el suscrito lo da por APROBADO, solicitándole darle el trámite respectivo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

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

PROGRAMA DE
INGENIERIA CIVIL
ACREDITADO POR





El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Pablo Christian de León Rodríguez y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Emerson Victor Manuel Pérez Méndez, titulado ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS PARA UN SUSTITUTO DE MADERA NATURAL ELABORADO A BASE DE PLÁSTICOS RECICLADOS, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, noviembre de 2010

/bbdeb.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS PARA UN SISTITUTO DE MADERA NATURAL ELABORADO A BASE DE PLÁSTICOS RECICLADOS**, presentado por el estudiante universitario **Emerson Victor Manuel Pérez Méndez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 5 de noviembre de 2010

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- DIOS** Dador de sabiduría inagotable, la luz que alumbra mi camino.
- MIS PADRES** Victor Manuel Pérez Arévalo y Reina Maribel Méndez de Pérez, por ser un gran ejemplo en mi vida, por su sacrificio, amor, comprensión y apoyo en todo momento.
- MI HERMANO** Branlyn Angel Iván, por el apoyo que me ha brindado en el transcurso de mi vida.
- MIS ABUELOS** Por estar a mi lado en mi niñez y compartir de su sabiduría en mi juventud.
- MIS DEMAS FAMILIARES** Por su apoyo y compartir momentos especiales en mi vida.
- MI ASESOR** Ing. Pablo Christian de León Rodríguez, por su amistad y el apoyo académico que me brindó para culminar este trabajo de graduación.

AGRADECIMIENTOS A:

- DIOS** Por su protección y sus múltiples bendiciones derramadas en mi vida.
- FACULTAD DE INGENIERÍA** Por permitirme culminar mis estudios y formarme académicamente como profesional.
- CII/USAC** En especial a la Sección de Metales y Productos Manufacturados, por brindarme su amistad, apoyo y colaboración en los distintos ensayos realizados (Ing. Pablo de León, Claudia, Ronaldo y Abner)
- MIS AMIGOS** Inga. Evelyn Morales, Ing. Luis Sandoval, Eber, Fredy, Jairon, Mariano, Beatriz, Analu, Miguel, Gerson, y a todos los amigos y compañeros universitarios que no nombré y que me han brindado su apoyo.
- MADERPLAT** Ing. Edwin Liscutin, por el apoyo y confianza brindada para la realización de este trabajo de graduación.

ÍNDICE DE GENERAL

| | |
|---|-------------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | V |
| GLOSARIO | XI |
| RESUMEN | XV |
| OBJETIVOS | XVII |
| INTRODUCCIÓN | XIX |
| | |
| 1. CONCEPTOS BÁSICOS DE LA “MADERA PLÁSTICA” | 1 |
| 1.1 Definición | 1 |
| 1.2 Clasificación | 2 |
| 1.3 Importancia del reciclaje de plástico | 3 |
| 1.3.1 Algunos beneficios del reciclaje | 5 |
| 1.4 Origen y fabricación la madera plástica | 7 |
| 1.4.1 Origen | 7 |
| 1.4.2 Productos utilizados para la fabricación de madera plástica | 8 |
| 1.4.2.1 Polietileno (PE) | 9 |
| 1.4.2.2 Poliestireno (PS) | 9 |
| 1.4.2.3 PVC | 10 |
| 1.4.2.4 Termoplástico | 11 |
| 1.4.2.5 Estireno | 12 |
| 1.4.2.6 Polipropileno (PP) | 12 |

| | | |
|---------|--|----|
| 1.4.3 | Proceso de fabricación | 13 |
| 1.4.3.1 | Limpieza de la materia prima | 13 |
| 1.4.3.2 | Molienda | 15 |
| 1.4.3.3 | Secado | 16 |
| 1.4.3.4 | Peletizado | 17 |
| 1.4.3.5 | Extruido | 18 |
| 1.4.3.6 | Tiempo de proceso de fabricación | 19 |
| 1.4.3.7 | Dimensiones de la madera plástica | 19 |
| 1.5 | Maquinaria | 20 |
| 1.6 | Propiedades del material | 20 |
| 1.6.1 | Propiedades mecánicas | 20 |
| 1.6.1.1 | Resistencia a la tensión | 21 |
| 1.6.1.2 | Resistencia a compresión | 22 |
| 1.6.1.3 | Resistencia a corte | 22 |
| 1.6.1.4 | Resistencia a flexión | 23 |
| 1.6.1.5 | Resistencia a clivaje | 23 |
| 1.6.2 | Propiedades físicas | 24 |
| 1.6.2.1 | Densidad | 24 |
| 1.6.2.2 | Dureza | 25 |
| 1.6.2.3 | Impermeabilidad | 26 |
| 1.6.2.4 | Tenacidad | 27 |
| 1.6.2.5 | Flexibilidad | 27 |
| 1.6.2.6 | Resistencia a los agentes atmosféricos | 28 |
| 1.6.2.7 | Anisotropía | 29 |
| 1.6.2.8 | Manufactura | 30 |
| 1.6.3 | Propiedades químicas | 30 |
| 1.6.3.1 | Punto de inflamación | 30 |
| 1.6.3.2 | Punto de fusión | 31 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 2. | PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO | 33 |
| 2.1 | Muestreo | 33 |
| 2.1.1 | Toma de muestras para determinar las propiedades físicas y mecánicas | 34 |
| 2.1.2 | Número de ensayos | 34 |
| 2.2 | Métodos de ensayos | 35 |
| 2.2.1 | Ensayos para las propiedades mecánicas | 35 |
| 2.2.1.1 | Ensayo para la resistencia a la tensión paralela a la fibra | 36 |
| 2.2.1.2 | Procedimiento de ensayo a tensión paralela | 36 |
| 2.2.1.3 | Ensayo para la resistencia a la tensión perpendicular a la fibra | 41 |
| 2.2.1.4 | Ensayo para la resistencia a compresión | 43 |
| 2.2.1.5 | Procedimiento de ensayo para la compresión paralela | 44 |
| 2.2.1.6 | Ensayo para la compresión perpendicular a la fibra | 48 |
| 2.2.1.7 | Ensayo a corte de la madera plástica | 50 |
| 2.2.1.8 | Procedimiento de ensayo a corte | 50 |
| 2.2.1.9 | Ensayo para la resistencia a clivaje | 52 |
| 2.2.1.10 | Procedimiento del ensayo a clivaje | 53 |
| 2.2.1.11 | Flexión estática | 54 |
| 2.2.1.12 | Procedimiento de ensayo a flexión | 56 |
| 2.2.1.13 | Dureza | 60 |
| 2.2.1.14 | Procedimiento de ensayo de dureza | 60 |
| 2.2.1.15 | Tenacidad | 62 |

| | | |
|------------------------|--|----|
| 2.2.1.16 | Procedimiento de ensayo de ensamble con tornillos | 62 |
| 2.3 | Densidad | 64 |
| 2.4 | Rangos de clasificación según resultados | 65 |
| 2.5 | Presentación de resultados | 66 |
| 2.5.1 | Características físicas | 66 |
| 2.5.1.1 | Determinación de la densidad | 66 |
| 2.5.2 | Características mecánicas | 67 |
| 2.5.2.1 | Tensión paralela a la fibra | 68 |
| 2.5.2.2 | Tensión perpendicular a la fibra | 69 |
| 2.5.2.3 | Compresión paralela a la fibra | 70 |
| 2.5.2.4 | Compresión perpendicular a la fibra | 73 |
| 2.5.2.5 | Corte | 75 |
| 2.5.2.6 | Clivaje | 76 |
| 2.5.2.7 | Flexión | 76 |
| 2.5.2.8 | Dureza | 80 |
| 2.5.2.9 | Uniones de madera plástica con tornillos | 81 |
| 2.6 | Análisis de resultados | 82 |
| CONCLUSIONES | | 91 |
| RECOMENDACIONES | | 93 |
| BIBLIOGRAFÍA | | 95 |
| ANEXOS | | 97 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 2. | PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO | 33 |
| 2.1 | Muestreo | 33 |
| 2.1.1 | Toma de muestras para determinar las propiedades físicas y mecánicas | 34 |
| 2.1.2 | Número de ensayos | 34 |
| 2.2 | Métodos de ensayos | 35 |
| 2.2.1 | Ensayos para las propiedades mecánicas | 35 |
| 2.2.1.1 | Ensayo para la resistencia a la tensión paralela a la fibra | 36 |
| 2.2.1.2 | Procedimiento de ensayo a tensión paralela | 36 |
| 2.2.1.3 | Ensayo para la resistencia a la tensión perpendicular a la fibra | 41 |
| 2.2.1.4 | Ensayo para la resistencia a compresión | 43 |
| 2.2.1.5 | Procedimiento de ensayo para la compresión paralela | 44 |
| 2.2.1.6 | Ensayo para la compresión perpendicular a la fibra | 48 |
| 2.2.1.7 | Ensayo a corte de la madera plástica | 50 |
| 2.2.1.8 | Procedimiento de ensayo a corte | 50 |
| 2.2.1.9 | Ensayo para la resistencia a clivaje | 52 |
| 2.2.1.10 | Procedimiento del ensayo a clivaje | 53 |
| 2.2.1.11 | Flexión estática | 54 |
| 2.2.1.12 | Procedimiento de ensayo a flexión | 56 |
| 2.2.1.13 | Dureza | 60 |
| 2.2.1.14 | Procedimiento de ensayo de dureza | 60 |
| 2.2.1.15 | Tenacidad | 62 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Recepción de plástico por reciclar | 14 |
| 2 | Empleado moliendo el plástico | 15 |
| 3 | Secado del material luego de haber sido molido | 16 |
| 4 | Material Peletizado | 17 |
| 5 | Probetas de madera de pino y madera plástico | 38 |
| 6 | Probeta ensayo de tensión perpendicular a la fibra, pieza de 5 x 5 x 7.5 cm | 42 |
| 7 | Probeta ensayo de compresión paralela a la fibra, pieza de 5 x 5 x 20 cm | 44 |
| 8 | Tipos de fallas en el ensayo a la compresión paralela | 47 |
| 9 | Probeta para ensayo de compresión perpendicular a la fibra | 49 |
| 10 | Probeta para ensayo de corte paralelo a la fibra, pieza de 5 x 5 x 6.35 cm | 51 |
| 11 | Probeta para ensayo de clivaje, pieza de 5 x 5 x 7.62 cm | 53 |
| 12 | Distintas fallas en el ensayo a flexión estática | 59 |
| 13 | Probeta ensayo de dureza a penetración, pieza 5 x 5 x 15 | |

| | | |
|----|---|-----|
| 17 | Gráfica de comparación del módulo de la ruptura a la flexión de distintos tipos de madera y madera plástica | 83 |
| 18 | Comparación gráfica del módulo de elasticidad a la flexión de distintos tipos de madera y madera plástica | 84 |
| 19 | Comparación gráfica del esfuerzo máximo a la compresión paralela de distintos tipos de madera y madera plástica | 85 |
| 20 | Comparación gráfica del módulo de elasticidad a la prueba de compresión paralela de distintos tipos de madera y madera plástica | 86 |
| 21 | Comparación gráfica del esfuerzo máximo a la compresión perpendicular de distintos tipos de madera y madera plástica | 87 |
| 22 | Comparación gráfica del esfuerzo máximo a corte paralelo de distintos tipos de madera y madera plástica | 88 |
| 23 | Comparación gráfica prueba de dureza a distintos tipos de madera y madera plástica | 89 |
| 24 | Probeta, tipo de sujeción y falla de la madera plástica para el ensayo a tensión | 99 |
| 25 | Ensayo a compresión paralela de la madera plástica | 100 |
| 26 | Utilización de deformómetro para la medición deformación en la madera plástica | 100 |
| 27 | Prueba de compresión perpendicular a la fibra en realizado a probeta de madera plástica | 101 |
| 28 | Probeta, sistema de ensayo y falla del espécimen sometido a la prueba de corte en madera plástica | 102 |
| 29 | Desarrollo de prueba de clavaje en madera plástica hasta la falla | 103 |
| 30 | Medición de la deflexión y falla en la prueba de flexión estática con un cabezal | 104 |
| 31 | Medición de deflexión y tipos de falla en la madera plástica en el ensayo a flexión con dos cabezales | 105 |

| | | |
|----|--|-----|
| 32 | Ensayo de dureza para la madera plástica | 106 |
| 33 | Prueba de tenacidad en diferentes sentidos para la madera plástica | 107 |

TABLAS

| | | |
|------|---|----|
| I | Clasificación de los distintos tipos de plástico | 3 |
| II | Densidades de algunos elementos | 24 |
| III | Dimensiones de probetas utilizadas para determinar la densidad de la madera plástica | 67 |
| IV | Determinación de la densidad de la madera plástica | 67 |
| V | Dimensiones, área y esfuerzo de las distintas probetas utilizadas para el ensayo a tensión paralela a la fibra | 69 |
| VI | Dimensiones, área y esfuerzo de las distintas probetas utilizadas para el ensayo a compresión paralela a la fibra | 71 |
| VII | Dimensiones, área y esfuerzo de las distintas probetas utilizadas para el ensayo a compresión paralela a la fibra (variación de longitud) | 71 |
| VIII | Características de probetas utilizadas para la determinación del módulo de elasticidad | 72 |
| IX | Deformación unitaria y esfuerzo de las probetas sometidas a compresión | 72 |

| | | |
|-------|---|----|
| X | Dimensiones, área y esfuerzo de las probetas utilizadas para el ensayo a compresión perpendicular a la fibra | 74 |
| XI | Dimensiones, área y esfuerzo de probetas utilizadas para el ensayo de la prueba de corte a la madera plástica | 75 |
| XII | Esfuerzos en la prueba de corte | 75 |
| XIII | Dimensión, carga y carga lineal de la prueba de clivaje | 76 |
| XIV | Datos y resultados de la prueba de flexión para determinar el módulo de ruptura | 77 |
| XV | Datos de probetas la prueba a flexión con un cabezal | 78 |
| XVI | Deformación, cargas y módulo de elasticidad de la prueba a flexión con un cabezal | 78 |
| XVII | Características de las probetas sometidas a flexión | 79 |
| XVIII | Carga, deformación y módulo de elasticidad de prueba a flexión con dos cabezales | 79 |
| IXX | Datos obtenidos del ensayo de dureza a madera plástica | 80 |
| XX | Cargas obtenidas de la prueba de uniones con tornillos | 81 |
| XXI | Obtención de cargas de la prueba de uniones en sentido paralelo | 82 |
| XXII | Datos de módulo de ruptura para la flexión de distintas maderas de pino y madera plástica | 83 |
| XXIII | Datos de módulo de elasticidad para la flexión de distintas maderas de pino y madera plástica | 84 |
| XXIV | Datos de esfuerzo máximo para la prueba de compresión paralela de distintas maderas de pino y madera plástica | 85 |
| XXV | Datos de módulo de elasticidad para la prueba de compresión paralela de distintas maderas de pino y madera plástica | 86 |
| XXVI | Datos de esfuerzo máximo para la prueba de compresión perpendicular de distintas maderas de pino y madera plástica | 87 |
| XXVII | Datos de esfuerzo máximo para la prueba de corte paralelo distintas maderas de pino y madera plástica | 88 |

| | |
|--|----|
| XXVII Datos carga para la prueba de dureza a distintas maderas de pino y madera plástica | 89 |
| XXVIII Características mecánicas de la madera plástica | 90 |
| XXIII Características mecánicas de distintos tipos de madera de pino | 90 |

| | | |
|--------|--|----|
| XXVII | Données pour la coupe de deux à dix-neuf mètres de lino | 57 |
| XXVIII | Caractéristiques mécaniques de la matière d'essai | 60 |
| XXIX | Caractéristiques mécaniques de dix-neuf types de matière de lino | 60 |

GLOSARIO

- Anisotrópico** Esta es una característica que posee aquel material que cuando es sometido a cargas en sentidos contrarios, su comportamiento es distinto.
- ASTM** Sociedad Americana de Ensayos y Materiales. Organización voluntaria que se ocupa del desarrollo de normas de consenso, procedimientos de pruebas y especificaciones de productos.
- CII** Centro de Investigaciones de Ingeniería
- Clivaje** Esfuerzo necesario para hender la madera a lo largo de la fibra, ya sea en sentido radial o tangencial
- Esfuerzo máximo** Carga máxima por unidad de área que resiste un cuerpo antes de llegar a la falla.
- Extruido** Acción de prensado, moldeado y conformado de una materia prima (metal o plástico), que por flujo continuo, con *presión o empuje, se lo hace pasar por un molde encargado de darle la forma deseada.*
- Flexibilidad** Capacidad de un cuerpo de doblarse y recuperar su forma original.

Hendibilidad Propiedad que se presenta en el momento que se requiere para romper un material a lo largo de sus fibras, por separaciones de éstas, mediante un esfuerzo de tracción.

Higroscopía Capacidad de algunas sustancias de absorber o ceder humedad al medioambiente.

Lípidos Sustancias oleosas que incluyen grasas, aceites y ceras. El sebo, única secreción de las glándulas sebáceas, está formado por lípidos.

Módulo de elasticidad Expresa la relación existente entre la carga y la deformación dentro del límite de proporcionalidad.

Módulo de ruptura Tensión máxima que un espécimen de prueba rectangular puede soportar en una prueba a flexión.

Pelet Pelet o Pellet es una denominación genérica, no española, utilizada para referirse a pequeñas porciones de material aglomerado o comprimido. El término es utilizado para referirse a diferentes materiales.

Peletizado Se conoce como el proceso que se hace a una materia con el fin de compactarla y darle una forma más sólida similar a una capsula.

PNUMA El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

- Tenacidad** Propiedad que posee los materiales de oponerse a la deformación o la ruptura.
- Termoformado** Proceso que consiste en dar forma a una lámina plástica por medio de calor y vacío, utilizando un molde o matriz.
- Tonelada métrica** La tonelada métrica es el tercer múltiplo del kilogramo y sexto del gramo. También se llama megagramo. En inglés se llama *tonne* o *metric ton*. Por último, es llamada "tona métrica".
- Sujeción** Acción de sujetar. Unión con que algo está sujeto de modo que no puede separarse, dividirse o inclinarse.

Fractura que posee los materiales de conexión a la deformación o la ruptura

Tenacidad

Proceso que consiste en dar forma a una lámina plástica por medio de calor y vacío, utilizando un molde o matriz

Termotomado

La técnica métrica es el tercer método del programa y se llama métrica. También se llama métrica. En inglés se llama métrica. Por último, es la técnica métrica.

Técnica métrica

Acción de sujetar. Unión con que algo está sujeto de modo que no pueda separarse, dividirse o moverse

Sujeción

RESUMEN

Los plásticos tienen una reducida degradabilidad lo cual causa un deterioro del paisaje por ser un derivado del petróleo, una materia prima agotable. Por ello, el depósito de plásticos en los vertederos está siendo reutilizado a través el reciclaje.

Respecto al reciclaje, la madera plástica es un material que presenta una buena alternativa, ya que la materia prima utilizada para su fabricación, son plásticos que se encuentran en vertederos o que son productos desechados por industrias diversas. El proceso de fabricación de la madera plástica inicia con la limpieza y selección de distintos tipos de plástico, para su transformación por medio del molido, secado y peletizado, para posteriormente ser sometido a un proceso de extrusión y elaboración de piezas según se requiera.

La empresa MADERPLAST, S. A., que proporcionó el material para la elaboración de las probetas que fueron sometidas a distintos ensayos para su caracterización físico-mecánica, recibe diariamente un aproximado de tres toneladas de distintos tipos de plásticos, que serán procesados con el fin de fabricar piezas útiles, reutilizando grandes volúmenes de material que para la industria no tiene ningún valor y que en condiciones naturales, su degradación es demasiada lenta.

Para la caracterización físico-mecánica de la madera plástica, se realizó un conjunto de ensayos con probetas normadas según ASTM D-143, ya que no solo se pretende determinar las propiedades de este material, sino compararlas con las propiedades físicas y mecánicas de la madera natural.

Los ensayos realizados para determinar las propiedades mecánicas de la madera plástica, se llevaron a cabo en el Centro de Investigaciones de Ingeniería y estuvieron a cargo de la sección de Metales y productos manufacturados, Siendo estos:

- Ensayo a tensión
- Ensayo a compresión
- Ensayo a corte
- Ensayo a flexión
- Ensayo a clivaje

En virtud de lo anterior, se logró determinar que la madera plástica es un material apto para ser utilizado en la fabricación de piezas que serán sometidas a esfuerzos de compresión y corte, no importando en cuál de los sentidos se aplique y que muestra una desventaja a la hora de ser utilizado a esfuerzos de flexión estática y tensión.

OBJETIVOS

- **General**

Analizar las propiedades físico-mecánicas para un sustituto de madera natural elaborado a base de plásticos reciclados.

- **Específicos**

1. Dar a conocer el origen y proceso de fabricación del sustituto de madera natural denominado la "madera plástica".
2. Realizar un estudio para conocer las propiedades físico-mecánicas de la "madera plástica" como una opción para sustituir y/o complementar el uso de la madera.
3. Generar una base de datos que defina el comportamiento del material, bajo distintas solicitudes de cargas.
4. Conocer las ventajas y desventajas de la utilización de este material reciclado en lo que respecta a sus propiedades físicas y mecánicas como una opción para la construcción.

5. Comparar el material reciclado contra la madera de pino en las distintas pruebas según norma ASTM D 143-94.
6. Hacer saber al sector de interés los beneficios tanto de seguridad, ecológicos como económicos, que brinda el uso de este material, tanto al sector de la construcción, como al país.

General

Analizar las propiedades físico-mecánicas para un estudio de idoneidad natural
 elabore en base de datos y tablas

Específicas

1. Establecer el origen y proceso de fabricación del estudio de materia
 para el desarrollo de la materia plástica

2. Realizar un estudio para conocer las propiedades físico-mecánicas de la
 "materia plástica" como una opción para sustituir y/o complementar el
 uso de la madera

3. Generar una base de datos que defina el comportamiento del material
 bajo distintas condiciones de carga

4. Comparar las ventajas y desventajas de la utilización de este material
 reciclado en la construcción a sus propiedades físicas y químicas como
 una opción para la construcción

INTRODUCCIÓN

En Guatemala, constructores, arquitectos e ingenieros están en búsqueda de materiales que presenten una alternativa estética agradable, de bajo costo y sobre todo con características físico-mecánicas apropiadas para ser implementadas en distintas áreas de la construcción.

La madera plástica es un material muy versátil que puede ser utilizado en aplicaciones que van desde productos de usos cotidiano (basureros, cercas, celosilla, bancas, etc.), hasta elementos estructurales (Vigas, tendales, columnas, etc.); está fabricado con distintos tipos de plásticos entre los que se encuentran el polietileno, pvc, termoplástico, estírenos y polipropileno, a los que debe sus características de impermeabilidad, flexibilidad y resistencia a los agentes atmosféricos.

En el país la cantidad de desechos plásticos en los últimos años ha ido en aumento; la empresa que proporcionó el material para la elaboración de las probetas con las que se determinaron las características físicas y mecánicas de la madera plástica, emplea alrededor de tres toneladas diarias de los plásticos anteriormente mencionados, que en su mayoría, provienen de bolsas de basura, mangueras, cajas plásticas y residuos plásticos de industrias de envasado. Debido a la naturaleza del material se puede notar que proporciona una alternativa ecológica al procesar grandes volúmenes de material de desecho durante su proceso de fabricación, materiales que no ser reciclados, en su mayoría terminarían en lecho de río o botaderos en los márgenes de la ciudad.

El proceso de fabricación de este material básicamente consiste en seis pasos que son: selección del plástico adecuado, limpieza del material seleccionado, molienda del material limpio, secado del material molido, peletizado del material seco y extruido del material peletizado. Luego de todo este proceso se elaboran distintas piezas que serán implementadas en la fabricación de elementos según las necesidades constructivas que se requieran.

En lo que a propiedades mecánicas se refiere, el ensayo e inspección de este material dio como resultado datos similares en un 43% a los obtenidos en ensayos realizados a madera de siete especies de pino, teniendo semejanza en el comportamiento a compresión paralela y perpendicular, con una dureza bastante aceptable. Cabe mencionar que los resultados obtenidos de los ensayos de corte paralelo, la madera plástica supera a seis de siete especies en comparación, aunado a la característica que supera al 100% a cualquier especie de madera, la impermeabilidad, haciéndolo el material ideal para aplicaciones a la intemperie.

1. CONCEPTOS BÁSICOS DE LA “MADERA PLÁSTICA”

1.1 Definición

En Guatemala ha empezado a tomar auge el uso de material reciclado, es de ahí que surge la idea de usar este desecho como materia prima, para la fabricación de un material que podría ser utilizado para la construcción de viviendas y otros artículos; esta idea está siendo desarrollada por la empresa MADERPLAST, S. A.; con varios años de investigación en este campo.

Además de fabricar un nuevo material que podría ser utilizado para la construcción de viviendas y otros artículos, este material contribuye con el medio ambiente reciclando el plástico y con formas que simula la madera; es de aquí que surge el nombre de “madera plástica”, ya que este es fabricado a base de plástico reciclado de todo tipo. Desde bolsas de basura hasta productos como ventiladores, artículos de computación, cortinas de baño y todo aquel producto que este elaborado a base plásticos que por alguna u otra razón serán desechados.

En lo que respecta a la madera plástica, la materia prima utilizada contribuye en gran manera al reciclaje del plástico que se desecha día a día en el país, contribuyendo así con el medio ambiente y dándole a este material un nuevo aspecto y un mejor uso.

El plástico se origina de un componente básico llamado resina, el cual es un derivado del aceite o gas natural (petróleo). La industria del plástico tiene un sistema de códigos para identificar las siete categorías de este material. Los envases de plástico son fácilmente recuperables en su fuente de origen. El tereftalato de polietileno y polietileno de alta densidad son los más usados.

1.2 Clasificación

Los envases de plástico muestran los códigos o números establecidos para la identificación de este material. Estos códigos se encuentran en el fondo de los envases con el símbolo de reciclaje y el número que establece el tipo de plástico.

En lo que respecta a los plásticos mencionado anteriormente, los más utilizados para la fabricación de envases son:

PET (tereftalato de polietileno): este se utiliza mayormente en la fabricación de bebidas suaves y refrescos.

HDPE (polietileno de alta densidad): una gran cantidad de productos son elaborados de este tipo de plástico.

Tabla I. Clasificación de los distintos tipos de plástico

| Nombre | Abreviatura (opcional) | Número de identificación |
|--------------------------------|------------------------|--------------------------|
| Polietilentereftalato | PET o PETE | 1 |
| Polietileno de alta Densidad | PEAD o HDPE | 2 |
| Policloruro de vinilo o Vinilo | PVC o V | 3 |
| Polietileno de baja densidad | PEDB o LDPE | 4 |
| Polipropileno | PP | 5 |
| Poliestireno | PS | 6 |
| Otros | Otros | 7 |

1.3 Importancia del reciclaje de plástico

Se puede mencionar como referencia que en Uruguay cada año se ponen en circulación, según estimaciones bien fundadas, unos 700 millones de bolsas de plástico de todo tipo. Nada, si se compara con China, país que utiliza por año la cantidad de 1.095.000.000.000 de bolsas (más de un billón). Para fabricarlas, aquella inmensa nación consume unos 37 millones de barriles de petróleo cada año. A escala del país es compartida con los chinos el mismo drama.

El plástico es tan masivo que es de gran importancia reciclarlo. Según estimaciones conservadoras, en grandes ciudades de América, por ejemplo Montevideo, Uruguay hay unas 300 mil personas que cada día van a hacer sus compras. Si cada una de esas personas dejara de aceptar una sola bolsita plástica, tendríamos cada día 300 mil bolsitas menos en circulación, o sea 9 millones menos al mes, más de cien millones de bolsas menos cada año.

La cantidad de cien millones de bolsitas de plástico, se dice fácil; pero están allí, empacadas o volando entre los edificios o flotando en la costa o enterradas en diversos lugares. Intactas, sin mal olor y siendo letales para nuestro planeta.

Algunos envases de plástico tardan cientos de años en degradarse en la naturaleza. Otros tardan miles de años. La demanda creciente de este tipo de envase lleva a que la producción se incremente año a año. Así las cosas, todas las iniciativas en ese sentido deben ser alentadas. Las bolsitas que se ven volando por las calles pueden terminar en cualquier parte y no están siendo reutilizadas.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA, realizó un estudio en el que fotografió y analizó miles de millas de mares y océanos del planeta. La conclusión es terrible: en cada kilómetro cuadrado de agua salada hay 18 mil restos plásticos flotando.

El espectacular aumento en el consumo de plástico de la sociedad moderna, que se estima que crece un 4% anualmente, se ha extendido no sólo en el campo de los envases sino que también en el campo de la automoción, vivienda, vestido y todo tipo de bienes comunes.

Si no existieran sistemas de reciclado de basura la única forma de deshacerse de ella sería quemarla o enterrarla, así quedaría resuelto el problema, pero en vez de ello, se empeoraría aún más. Realmente se desconoce el funcionamiento de los rellenos sanitarios o de las incineradoras y del coste que supone mantener esos sistemas, además de ser poco efectivo.

Los plásticos tienen una reducida degradabilidad lo que causa un deterioro del paisaje, además estos son un derivado del petróleo, una materia prima agotable. Por ello, el depósito de plásticos en los vertederos está siendo eliminado, se está reflexionando sobre la recuperación, es decir, en **RECICLAR EL PLÁSTICO**.

1.3.1 Algunos beneficios del reciclaje

Si en lugar de ocultar toda esa basura (papel, vidrio, plástico, metal) se reciclara, se estaría reduciendo la deforestación en los bosques, el desgaste de los suelos y el agotamiento de los recursos minerales, a lo que se llegaría a una reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera y se mantendría el carbono en el suelo.

Es importante mencionar que si en el medio se pudiera disminuir el uso del plástico, esto contribuiría en los siguientes aspectos:

- En la disminución de la cantidad de residuos; es mejor no producir residuos que resolver qué hacer con ellos.
- Ayuda a que los rellenos sanitarios no se saturen rápidamente.
- Se ahorran recursos naturales energía y materia prima y recursos financieros.
- La reducción en la fuente aminora la polución y el efecto invernadero.
- Requiere menos energía transportar materiales más livianos. Menos energía significa menos combustible quemado, lo que implica a su vez menor agresión al ambiente.

En resumen, las ventajas que se obtienen del reciclaje son las siguientes:

- Se ahorra energía.
- Se reducen los costos de recolección.
- Se reduce el volumen de los residuos sólidos.
- Se conserva el ambiente y se reduce la contaminación.
- Se alarga la vida útil de los sistemas de relleno sanitario.
- Hay remuneración económica en la venta de reciclables.

- Se protegen los recursos naturales renovables y no renovables.
- Se ahorra materia prima en la manufactura de productos nuevos con materiales reciclables.
- Por cada kg de plástico reciclado el ahorro es de 1,5 kg en emisiones de CO2.
- Por una tonelada métrica de plástico reciclado ahorra 12 barriles de petróleo.

1.4 Origen y fabricación la madera plástica

1.4.1 Origen

La materia prima para la fabricación de madera plástica es recolectada y transportada en su mayoría de centros de acopio y basureros donde es separada de diversos tipos de materiales que no son puramente plásticos. Además de los centros de acopio y los basureros la empresa MADERPLAST S.A. recibe distintos tipos de plástico de empresas que desechan productos que son fabricados de este material y son descargados de sus inventarios para desecharlos; con esto se le da un nuevo uso a estos productos que ya estos han cumplido con la vida útil con la que fueron fabricados o ya no cumplen con la función para la cual fueron diseñados.

La fábrica recibe diariamente un aproximado de 3 toneladas de distintos tipos de plásticos que servirán para la fabricación de la madera plástica; esta es transportada en camiones de carga en los cuales el material ha sido previamente compactado para reducir el volumen de vacíos en los plásticos.

Los tipos de plástico utilizados para la realización de este material, son en su mayor parte bolsas de basura de distintos colores y también se utiliza manguera plástica de cualquier color; ya que el producto final es de un color café no importa si estos colores son combinados con colores de un plástico más claro porque la mezcla de los colores en el proceso de fabricación es eliminada o restablecida a un color café por medio de un tinte en el proceso de fabricación; puede que el color del material varíe en ciertas áreas pero es el resultado de esta combinación de colores de plástico.

1.4.2 Productos utilizados para la fabricación de madera plástica

Todo el producto que se requiere para la fabricación de la madera plástica como materia prima es básicamente de mezcla de polietileno, polietileno, pvc, termoplástico, estírenos y polipropileno.

1.4.2.1 Polietileno (PE)

Este material es químicamente el polímero más simple. Se representa con su unidad repetitiva $(CH_2-CH_2)_n$. Por su alta producción mundial (aproximadamente 60 millones de toneladas son producidas anualmente (2005) alrededor del mundo) es también el más barato, siendo uno de los plásticos más comunes. Es químicamente inerte.

El polietileno es utilizado con frecuencia en:

Bolsas de todo tipo: supermercados, boutiques, panificación, congelados, industriales, etc.; Envasado automático de alimentos y productos industriales: leche, agua, plásticos, etc.; también se usa de base para pañales desechables, bolsas para suero, contenedores herméticos domésticos; tubos y pomos: cosméticos, medicamentos y alimentos, tuberías para riego entre otras aplicaciones.

1.4.2.2 Poliestireno (PS)

Este es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno. Existen cuatro tipos principales: el PS cristal, que es transparente, rígido y quebradizo; el poliestireno de alto impacto, resistente y opaco, el poliestireno expandido, muy ligero, y el poliestireno extrusionado, similar al expandido pero más denso e impermeable.

Las aplicaciones principales del PS choque y el PS cristal son la fabricación de envases mediante extrusión-termoformado, y de objetos diversos mediante moldeo por inyección. Las formas expandidas y extruidas se emplean principalmente como aislantes térmicos en construcción.

El poliestireno de choque se utiliza principalmente en la fabricación de objetos mediante moldeo por inyección. Algunos ejemplos: carcasas de televisores, impresoras, puertas e interiores de frigoríficos, maquinillas de afeitar desechables, juguetes. Según las aplicaciones se le pueden añadir aditivos como por ejemplo sustancias ignífugas o colorantes.

El poliestireno cristal se utiliza también en moldeo por inyección allí donde la transparencia y el bajo coste son importantes. Ejemplos: cajas de CD, perchas, cajas para huevos. Otra aplicación muy importante es en la producción de espumas rígidas, denominadas a veces "poliestireno extruido" o XPS, a no confundir con el poliestireno expandido EPS. Estas espumas XPS se utilizan por ejemplo para las bandejas de carne de los supermercados, así como en la construcción.

1.4.2.3 PVC

El policloruro de vinilo o PVC (del inglés polyvinyl chloride) es un polímero termoplástico.

Se presenta como un material blanco que comienza a reblandecer alrededor de los 80 °C y se descompone sobre 140 °C. Cabe mencionar que es un polímero por adición y además una resina que resulta de la polimerización del cloruro de vinilo o cloroetileno. Tiene una muy buena resistencia eléctrica y a la llama.

En la industria existen dos tipos de pvc:

Rígido: que se utiliza para envases, ventanas, tuberías, las cuales han reemplazado en gran medida al hierro (que se oxida más fácilmente).

Flexible: este es utilizado en la realización de cables, juguetes, calzados, pavimentos, recubrimientos, techos tensados, etc.

1.4.2.4 Termoplástico

Un termoplástico es un plástico que, a temperatura ambiente, es plástico o deformable, se derrite cuando se calienta y se endurece en un estado vítreo cuando se enfría lo suficiente.

Sus propiedades físicas cambian gradualmente si se funden y se moldean varias veces (historial térmico), generalmente disminuyen estas propiedades.

1.4.2.5 Estireno

El estireno es un producto manufacturado. Se conoce también como vinilbenceno, etenilbenceno, cinameno o feniletileno. Es un líquido incoloro de aroma dulce que se evapora fácilmente. A menudo contiene otros productos químicos que le dan un aroma penetrante y desagradable.

Se disuelve en algunos líquidos, pero no se disuelve muy fácilmente en agua. Miles de millones de libras se producen al año para fabricar productos tales como caucho, plásticos, material aislante, cañerías, partes de automóviles, envases de alimentos y revestimiento de alfombras.

1.4.2.6 Polipropileno (PP)

Este es el polímero termoplástico, parcialmente cristalino, que se obtiene de la polimerización del propileno (o propeno). Es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen empaques para alimentos, tejidos, equipo de laboratorio, componentes automotrices y películas transparentes. Tiene gran resistencia contra diversos solventes químicos, así como ácidos.

El polipropileno ha sido uno de los plásticos con mayor crecimiento en los últimos años y se prevé que su consumo continúe creciendo más que el de los otros grandes termoplásticos (PE, PS, PVC, PET). En 2005 la producción y el consumo de PP en la Unión Europea fueron de 9 y 8 millones de toneladas respectivamente, un volumen sólo inferior al del PE.

El PP es transformado mediante muchos procesos diferentes. Los más utilizados son:

- Moldeo por inyección de una gran diversidad de piezas, desde juguetes hasta parachoques de automóviles
- Moldeo por soplado de recipientes huecos como por ejemplo botellas o depósitos de combustible
- Termoformado, por ejemplo, contenedores de alimentos. En particular se utiliza PP para aplicaciones que requieren resistencia a alta temperatura (microondas) o baja temperatura (congelados).
- Producción de fibras, tanto tejidas como no tejidas.
- Extrusión de perfiles, láminas y tubos.

1.4.3 Proceso de fabricación

1.4.3.1 Limpieza de la materia prima

El plástico que es recibido en la fábrica antes de pasar al proceso de fabricación debe ser lavado para no contaminar el material con otras sustancias que no sean plásticos, como pudieran ser lodo, polvo, trozos de sustancias orgánicas, sustancias dañinas para la salud como lo son los pesticidas, etc.

En el proceso de limpieza de la materia prima se utiliza el peróxido de hidrogeno; este fluido a temperatura ambiente es un líquido incoloro con sabor amargo que ataca una amplia variedad de compuestos orgánicos (entre ellos, lípidos y proteínas que componen las membranas celulares de los microorganismos). El peróxido de hidrogeno es también conocido como agua oxigenada en nuestro medio.

Figura 1. Recepción de plástico por reciclar



Luego del proceso de limpieza de la materia prima este pasa al proceso de fabricación que consta de los siguientes pasos:

- Molienda
- Secado
- Peletizado
- Extruido

1.4.3.2 Molienda

Cuando se refiere al término de molienda, se puede decir que es el proceso que permite romper el material y con ello facilitar el retiro de sustancia que acompañan a las bolsas de plástico, con el proceso de molienda la materia prima se convierte en trozos más pequeños que la hacen mucho más maniobrable.

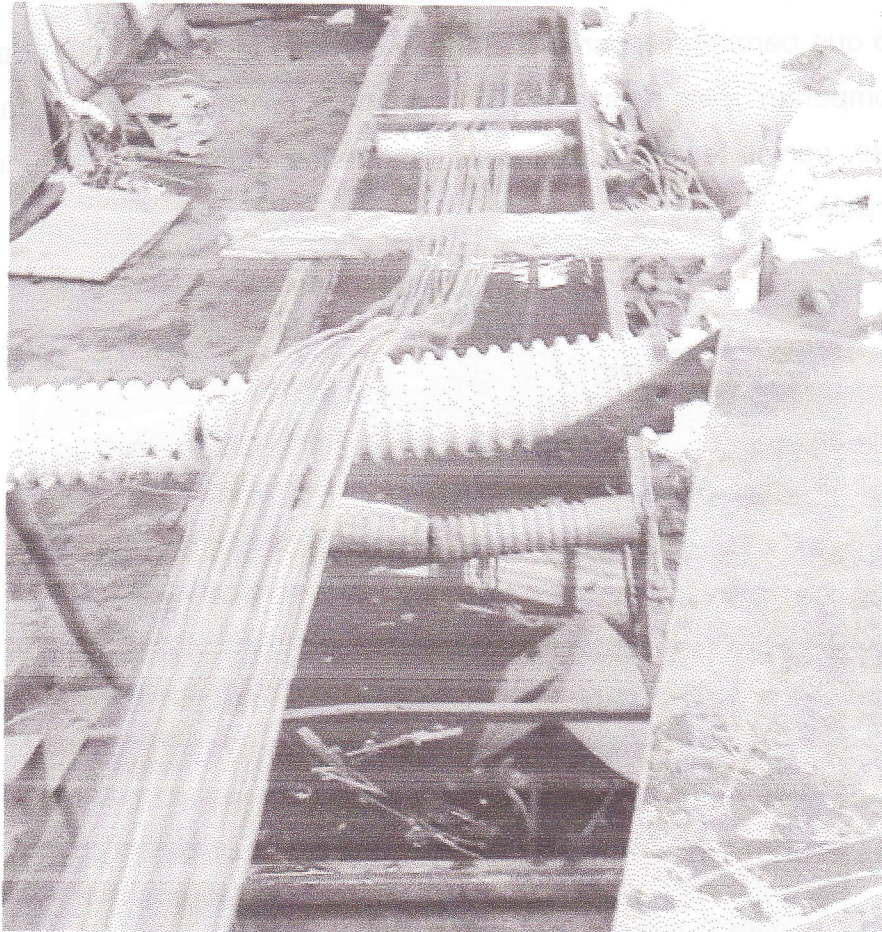
Figura 2. Empleado moliendo el plástico



1.4.3.3 Secado

El proceso de secado sirve para eliminar líquidos que queden en la materia que servirá para la fabricación de la madera plástica, este proceso se realiza por medio de ventiladores y también se puede realizar este proceso al aire libre, exponiendo el material a los rayos solares para que los líquidos se evaporen.

Figura 3. Secado del material luego de haber sido molido



1.4.3.4 Peletizado

El peletizado no es más que tratar materia para compactarla en esferas o cilindros pequeños de modo de conseguir un menor volumen y una excelente conservación pues se le disminuye la humedad a casi cero.

Este proceso se realiza luego de que el material ha sido limpiado, molido y el plástico sale de la máquina de molido en tiras largas donde después es cortado en partículas pequeñas o dicho de otra manera peletizado.

Figura 4. Material peletizado



1.4.3.5 Extruido

La extrusión es el proceso usado para crear objetos con sección transversal definida y fija. El material se empuja o en otros casos se extrae a través de un troquel de una sección transversal deseada. Las ventajas principales de este proceso es la habilidad para crear secciones transversales muy complejas y el trabajo con materiales que son quebradizos, porque el material solamente se encuentra sometido a fuerzas de compresión y de cizallamiento. También las piezas finales se forman con una terminación superficial excelente.

La extrusión puede ser continua (produciendo teóricamente de forma indefinida materiales largos) o semicontinua (produciendo muchas partes). El proceso de extrusión puede hacerse con el material caliente o frío.

Este proceso es el último paso para obtener la madera plástica; como se mencionó con anterioridad la longitud de este material puede ser de forma continua obteniendo longitudes mas allá de los 6 metros, esto es de suma importancia ya que con este detalle se pretende saber el comportamiento del módulo elástico del material y de esto obtener las longitudes recomendadas a utilizar en la madera plástica.

Es de suma importancia mencionar que en el proceso de fabricación existen desperdicios que son nuevamente sometidos al proceso de fabricación siendo reciclados nuevamente, esto nos indica que no habrá desechos en la producción del material.

1.4.3.6 Tiempo de proceso de fabricación

El tiempo de fabricación varía según sea la sección de la madera plástica que se requiera y la longitud del mismo; además de esto influye la temperatura con la que esté operando la extrusora ya que al iniciar el proceso la máquina aun se encuentra a una temperatura baja y eso hace que el proceso se demore un poco mas; cuando la máquina a llegado a una temperatura más alta que la inicial y se estabiliza el proceso es mucho más rápido y constante, esto permite que el tiempo de fabricación se reduzca considerablemente.

La temperatura de trabajo de la extrusora se encuentra en un rango de 280° a 350° centígrados. El tiempo de fabricación promedio se encuentra aproximadamente en dos horas, tomando en cuenta las consideraciones anteriores este puede que sea mucho más lento o mucho más rápido, dependiendo de la temperatura.

1.4.3.7 Dimensiones de la Madera plástica

Las dimensiones de este producto varia, ya que la máquina tiene distintos tipos de restricción en la fabricación de la madera plástica y van de la siguiente manera:

En lo que respecta al espesor, este va desde ½" hasta un máximo de 3", el ancho máximo de fabricación de la madera plástica es hasta 8" y la longitud de una pieza de este producto depende de cómo se desee, ya que esta se puede producir en forma continua.

1.5 Máquinaria

En la elaboración de la madera plástica la maquinaria principal que se utilizan son las extrusoras, esta es la encargada de darle forma al plástico que será reciclado, moldeando la materia prima para obtener la sección deseada de este material. Mencionado con anterioridad el largo puede ser continuo y es por ello que se define según se requiera.

1.6 Propiedades del material

1.6.1 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas son aquellas que determinan la capacidad o aptitud para resistir fuerzas externas. Se entiende por fuerza externa cualquier carga aplicada por un agente no propio del material, ajeno o externo que puedan alterar su tamaño, dimensión o la deforme.

El conocimiento de las propiedades mecánicas de la madera plástica se obtiene a través de la experimentación, mediante ensayos que se aplican al material, y que determinan los diferentes valores de esfuerzos a los que puede estar sometida.

Entre las propiedades mecánicas de la madera plásticas se pueden mencionar las siguientes:

- Resistencia a la tensión
- Resistencia a compresión
- Resistencia a corte
- Resistencia a flexión
- Resistencia a clivaje.

1.6.1.1 Resistencia a la tensión

Esta propiedad permite conocer las características de este material cuando se somete a esfuerzos de tracción con el fin de determinar la resistencia a la rotura, y por medio de ensayos en el laboratorio podremos comparar dicha propiedad con la madera de pino y observar si esta se comporta de una forma similar o mejor.

Cuando se habla del ensayo a tensión a la madera es importante mencionar que existen dos tipos de ensayos a tensión; estas son: Tensión paralela a las fibras y Tensión perpendicular a las fibras. La madera plástica por ser fabricada en base a desechos plásticos no cuenta con fibra y hace suponer que actúe de la misma forma en ambas direcciones, cuando la fuerza actúa en forma paralela y cuando actúa en forma perpendicular, esto hace suponer que se comporte como un material isotropico. Con los ensayos a los que se someterá el material se podrá verificar si este actúa como se supone o se asemeja más a la madera de pino.

1.6.1.2 Resistencia a compresión

La resistencia a compresión de la madera plástica nos permitirá tener un conocimiento de la carga axial que esta pueda soportar un pequeño segmento de este material; es importante tomar en cuenta lo mencionado con anterioridad, el material puede variar su propiedad en comparación a la madera de pino, ya que este material no cuenta con fibras o anillos; esto hace suponer que una carga en dirección paralela o normal al material de plástico actúe de la misma manera o de forma similar en ambos sentidos de la madera plástica, caso contrario de la madera de pino.

1.6.1.3 Resistencia a corte

Esta propiedad se define como la resistencia ofrecida frente a la acción de una fuerza que tiende a desgajar o cortar la madera en dos partes cuando la dirección del esfuerzo es perpendicular a la dirección de las fibras. Mencionado anteriormente este producto no cuenta con fibras como la madera de pino, pero se puede decir que la resistencia a corte es el efecto que se produce por una fuerza que actúa en sentido tangencial a su superficie. Es importante saber que el límite de resistencia al corte suele ser menor que el de la resistencia a la tracción y compresión.

1.6.1.4 Resistencia a flexión

Es la propiedad que tienen algunas maderas de poder ser dobladas o ser curvadas en su sentido longitudinal, sin romperse debido a una carga transversal. Si estas son elásticas recuperan su forma original cuando cesa la fuerza que las ha deformado. Este es el caso del pino.

Esta propiedad también es parte de la madera plástica es importante verificar si se comporta de la misma manera que el pino o aun mejor que este. Esto se verificará con ensayos en el laboratorio donde se verificarán las cargas y deflexiones de ambos materiales.

1.6.1.5 Resistencia a clivaje

Esta propiedad se puede decir que es la resistencia que ofrece la madera a fuerzas que intenta rajarla en la dirección paralela a las fibras.

En el ensayo de clivaje, se distinguen dos tipos, según la ubicación del plano de falla respecto a los anillos de crecimiento: Clivaje tangencial y Clivaje radial; como antes se mencionó el material reciclado no cuenta con anillos de crecimiento, es por ello que se llevará a cabo varios ensayos para determinar el comportamiento de la madera plástica cuando es sometida a una prueba de esta naturaleza.

1.6.2 Propiedades físicas

1.6.2.1 Densidad

Esta propiedad está definida como la cantidad de masa por unidad de volumen. En el caso de la madera plástica se puede decir que su densidad puede tener un rango de variación, ya que en proceso de fabricación quedan atrapados vacíos que en algunos casos no pueden ser evitados.

Una de las propiedades principales de la madera es la densidad. Ésta suele indicar propiedades mecánicas puesto que cuanto más densa es la madera, esta es mucho más fuerte y dura.

Es de suma importancia saber la densidad de la madera plástica ya que con esta se hará la comparación contra la densidad de la madera. A continuación se coloca una tabla donde están descritas las densidades de algunas sustancias con el fin de tomar una idea del valor de densidad de la madera plástica.

Tabla II. Densidades de algunos elementos

| Substancia | Densidad(g/cm ³) |
|--------------------|------------------------------|
| Aire | 0.0013 |
| Madera | 0.6 - 0.9 |
| Hielo | 0.92 |
| Agua | 1.00 |
| Ladrillos de barro | 1.84 |
| Aluminio | 2.70 |
| Acero | 7.80 |
| Plata | 10.50 |
| Oro | 19.30 |

1.6.2.2 - Dureza

En lo que respecta a la madera de pino, la dureza es una característica que depende de la cohesión de las fibras y de su estructura. Esta característica se manifiesta como la dificultad que opone la madera de ser penetrada y/o indentada por otros cuerpos (clavos, tornillos, etc.) o a ser trabajada (cepillo, sierra, gubia, formón).

La dureza está relacionada con la densidad, de tal manera que las maderas más duras son las de mayor densidad.

A continuación, se da una lista de la dureza de las distintas maderas:

- Muy duras: ébano, boj, encina.
- Duras: cerezo, arce, roble, tejo...
- Semiduras: haya, nogal, castaño, peral, acacia, caoba, cedro, fresno, teka.
- Blandas: abeto, abedul, aliso, pino, okume.
- Muy blandas: chopo, tilo, sauce, balsa

De esto se puede decir que el pino se clasifica por su dureza como una madera blanda y es el punto de partida para hacer una comparación contra la madera plástica y verificar si esta puede simular la dureza de la madera de pino o en el mejor de los casos, superarlo.

En el capítulo siguiente se exponen resultados de los diversos ensayos donde se observara cómo se comporta el material en el momento de ser penetrado por otros cuerpos, como clavos, tornillos etc.

1.6.2.3 Impermeabilidad

Como es de conocimiento, la madera de pino no es un material impermeable o dicho en otras palabras es un material higroscópico; absorbe y desprende humedad según el medio ambiente. Uno de los datos a considerar de la madera secada al aire es que contiene del 10 a 15% de su peso en agua, y esta humedad hace que se hinche o contraiga, variando su volumen y por consiguiente su densidad.

La variación del contenido de humedad produce en la madera de pino una variación de sus dimensiones. Cuando aumenta dicho contenido se hincha, mientras que cuando disminuye se contrae o merma.

En la madera plástica es muy importante saber que este material proviene de desechos impermeables es por ello que ya sea la humedad del medio ambiente u otro tipo de humedad al que esté sometido este material no hará que este altere sus dimensiones como es el caso de la madera de pino.

1.6.2.4 Tenacidad

Este término se refiere a la capacidad de la madera para resistir cargas repentinas (golpe o choque). Generalmente las fibras de madera de alta tenacidad están entrecruzadas lo cual hace que la madera sea difícil de hendir o rajar, o hacer que las fibras sufran la separación entre ellas. Estas maderas se doblan o torsionan mucho más, sin romperse o fracturarse. Si se habla de una madera frágil se puede decir que este término es opuesto a una madera tenaz. La fragilidad se puede atribuir a la fragilidad misma de las fibras o a defectos tales como, nudos o grano desviado.

La tenacidad en la madera plástica también es una propiedad de la misma. Como se ha dicho anteriormente este material no cuenta con fibras y es por ello que se realizaron varios ensayos para verificar el comportamiento de este, con lo cual se observara cuan tenaz es este material al momento de recibir una carga repentina o instantánea, además en la realización de los ensayos se observara si este material no cuenta con algunas características que lo debiliten como es el caso de la madera de pino con respecto a los nudos.

1.6.2.5 Flexibilidad

Esta es la propiedad que tienen algunas maderas de poder ser dobladas o ser curvadas en su sentido longitudinal, sin romperse. Si son elásticas recuperan su forma original cuando cesa la fuerza que las ha deformado.

La madera presenta especial aptitud para sobrepasar su límite de elasticidad por flexión sin que se produzca rotura inmediata, siendo esta una propiedad que la hace útil para la curvatura (muebles, ruedas, cerchas, instrumentos musicales, etc.).

Estas son algunas maderas clasificadas según su flexibilidad:

- Maderas flexibles: Fresno, olmo, abeto, pino.
- Maderas no flexibles: Encina, arce, maderas duras en general

Como se puede observar la madera de pino está clasificada como una de las maderas flexibles. Teniendo este patrón se realizarán ensayos en los cuales se observara la flexibilidad de la madera plástica y con estos se obtendrán resultados que indicarán si el material ensayado puede simular la flexibilidad de la madera de pino.

1.6.2.6 Resistencia a los agentes atmosféricos

Cuando se hace referencia a la resistencia a los agentes atmosféricos, se debe que tocar el tema de la durabilidad o duración del material.

Como se sabe la madera no es un material eterno, al igual que otros materiales, sin embargo, si se toman las medidas de protección adecuadas contra la humedad, intemperismo y el ataque de los organismos destructores, la vida de una estructura de madera pueden ser superiores a un siglo, como lo atestiguan muchas aún existentes.

En lo que respecta a la durabilidad de la madera plástica, tiene grandes ventajas sobre la madera de pino, ya que esta no necesita de medidas de protección contra la humedad por ser un material impermeable; además no necesita de medidas de protección contra los ataques de los organismos destructores, por sus componentes de fabricación.

Además de tener estas ventajas sobre la madera, se puede mencionar que es un material que contribuye con el mejoramiento del medio ambiente ya que transforma desechos en productos útiles; y contribuirá a reducir la depredación inmoderada de arboles en nuestro país.

1.6.2.7 Anisotropía

La anisotropía se puede definir como la característica de un material según la cual sus propiedades son diferentes en distintas direcciones, dicho en otras palabras la anisotropía es lo opuesto a la isotropía que esta actúa de la misma forma, no importando la dirección donde se aplique la carga.

Dado que la madera es un material formado por fibras orientadas en una misma dirección, es un material anisótropo, es decir, que ciertas propiedades físicas y mecánicas no son las mismas en todas las direcciones que pasan por un punto determinado, si no que varían en función de la dirección en la que se aplique el esfuerzo, es decir no se comporta igual en todas las direcciones de las fibras.

Sabiendo que la madera de pino es un material anisotropico, se comparará con la madera plástica y con ensayos que se realizaran en el laboratorio se verificará el comportamiento de este material; si este se comporta como un material anisotropico o como un material isotrópico. Con esto se podrá hacer un análisis de su uso y el comportamiento de este material en las diferentes direcciones.

1.6.2.8 Manufactura

La materia prima que se utiliza para la fabricación de la madera plástica se usa para la elaboración de diferentes productos útiles en el hogar y la industria en general tales como: basureros, bancas, tarimas, mesas, escaleras, muelles flotantes, entre otros. Es por ello que se realizaran los debidos ensayos en el laboratorio para verificar si este material se podría utilizar como un sustituto de la madera o si su comportamiento es similar a la madera de pino, en lo que respecta a las propiedades mecánicas.

1.6.3 Propiedades químicas

1.6.3.1 Punto de inflamación

El punto de inflamación se puede describir como la temperatura mínima necesaria para que un material inflamable desprenda vapores que, mezclados con el aire, se inflamen en presencia de una fuente ígnea, para volverse a extinguir rápidamente y no por sí sola.

Como se sabe las maderas arden, lo cual desde el punto de su utilización como combustible, es una cualidad, pero para su empleo en la construcción y decoración es un defecto. Entre las maderas muy inflamables se encuentran el Pino, abeto, sauce, etc. todas ellas maderas resinosas.

La temperatura de ignición de los productos de madera es generalmente del orden de los 200 ° C, la madera expuesta a un calor constante durante cierto período de tiempo puede experimentar cambios químicos que produzcan una temperatura de ignición mucho más baja y una posibilidad mucho mayor de auto ignición.

El concepto de punto de inflamación es de suma importancia ya que el patrón a seguir es la madera de pino, se verificará el punto inflamación de la madera plástica y ya que se tiene una referencia que fue mencionada con anterioridad se verificara si esta es mayor o menor que el punto de inflamación del pino y las diferencias que este muestra antes de mencionado punto.

1.6.3.2 Punto de fusión

El punto de fusión es la temperatura a la cual la materia pasa de estado sólido a estado líquido es decir se funde.

Dicho en otras palabras, fusión es el proceso por el que una sustancia sólida al calentarse se convierte en líquido. Este es el proceso inverso a la solidificación.

Se le llama punto de fusión de una sustancia a la temperatura a la que se produce su fusión. Mientras el sólido cambia de estado sólido a estado líquido, la temperatura se mantiene constante.

Encontrar el punto de fusión de la madera plástica es de suma importancia ya que este es un factor que nos indicara el tiempo y la temperatura en el cual la madera plástica pasa de un estado sólido a un estado líquido.

1.8.3.2 Punto de fusión

El punto de fusión es la temperatura a la cual la materia pasa de estado sólido a estado líquido es decir se funde.

2. PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO

2.1 Muestreo

El muestreo de la madera plástica o las probetas que servirán para la realización de los distintos tipos de ensayo fueron tomadas de la empresa fabricante de este material, de distintos lotes de la producción; esto con el fin de determinar el comportamiento de las mismas y verificar si el material se comporta de la misma manera o por lo menos mantiene un rango aceptable de variación en lo que respecta a sus propiedades físicas y mecánicas.

Según la norma ASTM D-143, establece que las probetas de ensayo deben estar limpias y libres de defectos. Basando en esta norma la limpieza de la probeta de la madera y defectos es un factor que influye en los resultados de los ensayos. Para las probetas de la madera plástica se tomaron piezas seleccionadas cuidadosamente, desechando aquellas que presentaran características irregulares, como aquellas que se contaban con una reducción de sección muy marcada.

2.1.1 Toma de muestras para determinar las propiedades físicas y mecánicas

Es de suma importancia conocer cada una de estas propiedades por separado, ya que cada una de estos nos indicaran las similitudes que la madera plástica presenta ante la madera de pino.

La toma de muestras también indicará si el proceso de fabricación es el mismo en distintos periodos de fabricación o si este varia las propiedades físicas y mecánicas del producto final, como lo es la madera plástica.

Con la toma de muestras de la madera plástica y realizando los ensayos correspondientes para determinar sus propiedades físico-mecánicas, se podrá hacer un análisis de resultados y un estudio comparativo de el material antes mencionado contra la madera de pino y con esto observar las ventajas y desventajas que la madera plástica brindará.

2.1.2 Número de ensayos

El número de ensayos variara según sea la propiedad mecánica que se desee verificar, pero en cada uno de los diferentes tipos este se tratará de ejecutar por lo menos tres veces, o en su defecto dos; si en algún caso especial que no se pueda realizar este, el número de veces deseado.

Dependiendo el número de probetas que se elaboren y el número de ensayos que en el laboratorio se nos sea permitido realizar, de esto dependerá la representatividad de los resultados. Entre más ensayos sean realizados se tendrá un rango mucho mejor de incerteza en lo que representa las distintas propiedades mecánicas de la madera plástica.

2.2 Métodos de ensayos

2.2.1 Ensayos para las propiedades mecánicas

El material utilizado para los ensayos en los cuales se pretende encontrar las propiedades mecánicas es llamado "madera plástica". Este material es producto del reciclaje de casi todo tipo de plástico que es desechado por empresas que dan de baja productos fabricados a base de plástico, en los cuales estos han cumplido con su vida útil de funcionamiento o ya no cumplen la función para la cual fueron diseñados por defectos; así como productos de plásticos como bolsas, botellas, cortinas, etc. que son de base plástica, recolectados de basureros los cuales pueden ser recicladas para dar vida a este nuevo material.

2.2.1.1 Ensayo para la resistencia a la tensión paralela a la fibra

En la práctica de este ensayo se observará que existen algunos inconvenientes, que se han de tener en cuenta al someter a este tipo de esfuerzo; en la zona de agarre existen compresiones, taladros, etc., que haría romper la pieza antes por otros tipos de esfuerzos y no por tensión, con lo que la carga de tensión no sería netamente pura o la carga máxima de este material.

Por otra parte, los defectos de la madera de pino, tales como nudos, inclinación de fibras, etc., afectan mucho a este tipo de sollicitación, disminuyendo su resistencia; en el caso de la madera plástica no tiene este tipo de problemas ya que el material no cuenta con fibras tan pronunciadas y nudos que puedan disminuir su resistencia, el gran problema de la madera plástica es que como parte de sus características físicas, está en su interior no es una pieza uniformemente llena, cuenta con vacíos que hace que esto pueda disminuir su resistencia.

2.2.1.2 Procedimiento de ensayo a tensión paralela

Para esta prueba se seleccionaron varias probetas para ensayarla a tensión, ya que este materia no cuenta con fibra como las de la madera de pino se realizaran ensayo a tensión perpendicularmente a las fibras y paralelamente

a estas; con esto se podrá verificar si la forma en que se aplica la carga a la tracción es diferente en los distintos sentidos de la madera plástica.

Para la realización de la probeta que será sometida a tensión en la madera de pino las medidas que esta debe cumplir son las que establece la norma ASTM D143 (ver figura 5).

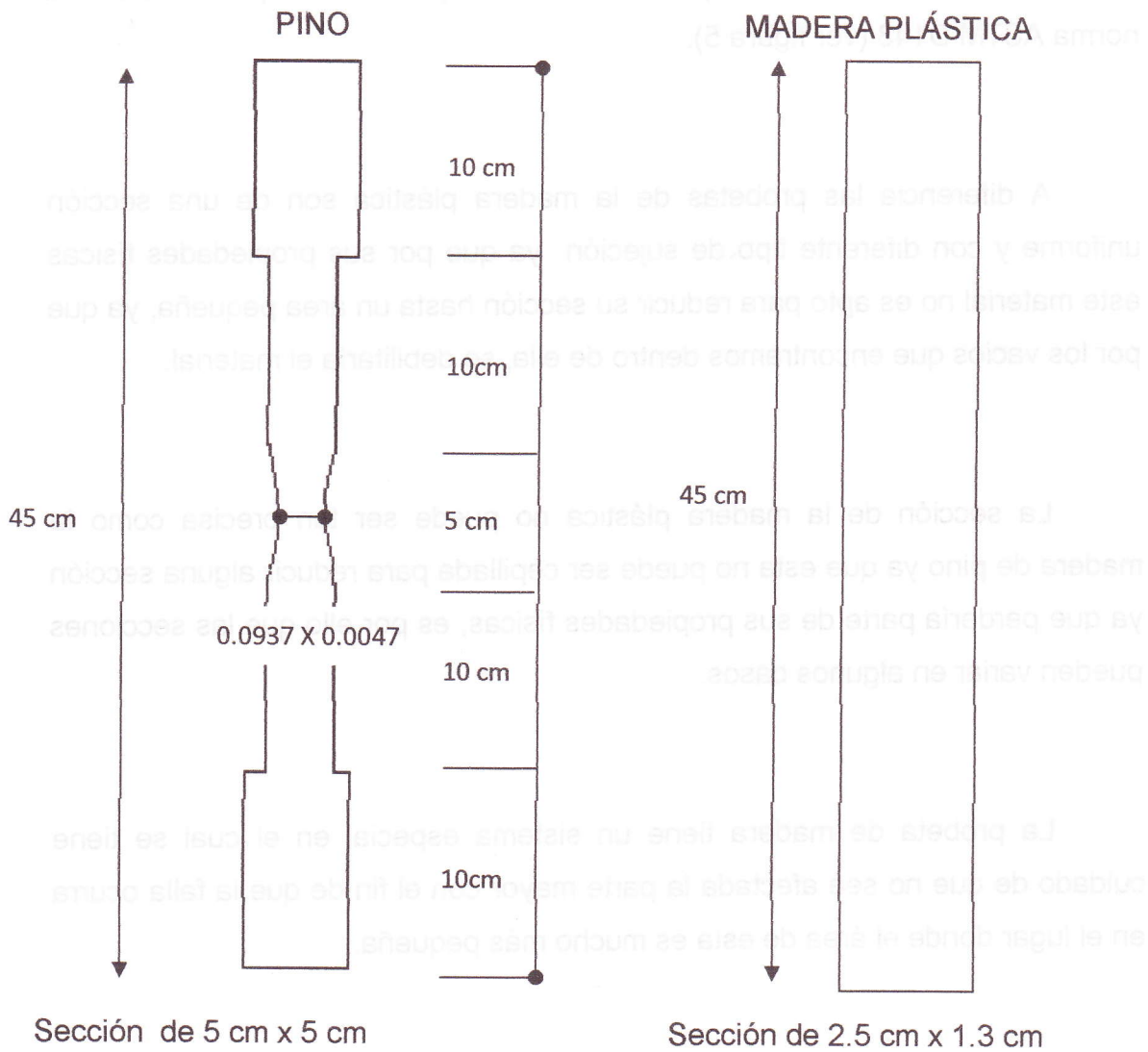
A diferencia las probetas de la madera plástica son de una sección uniforme y con diferente tipo de sujeción ya que por sus propiedades físicas este material no es apto para reducir su sección hasta un área pequeña, ya que por los vacíos que encontramos dentro de ella, se debilitaría el material.

La sección de la madera plástica no puede ser tan precisa como la madera de pino ya que esta no puede ser cepillada para reducir alguna sección ya que perdería parte de sus propiedades físicas, es por ello que las secciones pueden variar en algunos casos.

La probeta de madera tiene un sistema especial en el cual se tiene cuidado de que no sea afectada la parte mayor con el fin de que la falla ocurra en el lugar donde el área de esta es mucho más pequeña.

La probeta de la madera plástica es muy diferente a la de la madera de pino, ya que su estructura interna es muy diferente, en la cual la madera plástica cuenta con agujeros distribuidos de una forma no uniforme en toda su estructura y esto hace que su comportamiento sea distinto en pequeños tramos.

Figura 5. Probetas de madera de pino y madera plástica

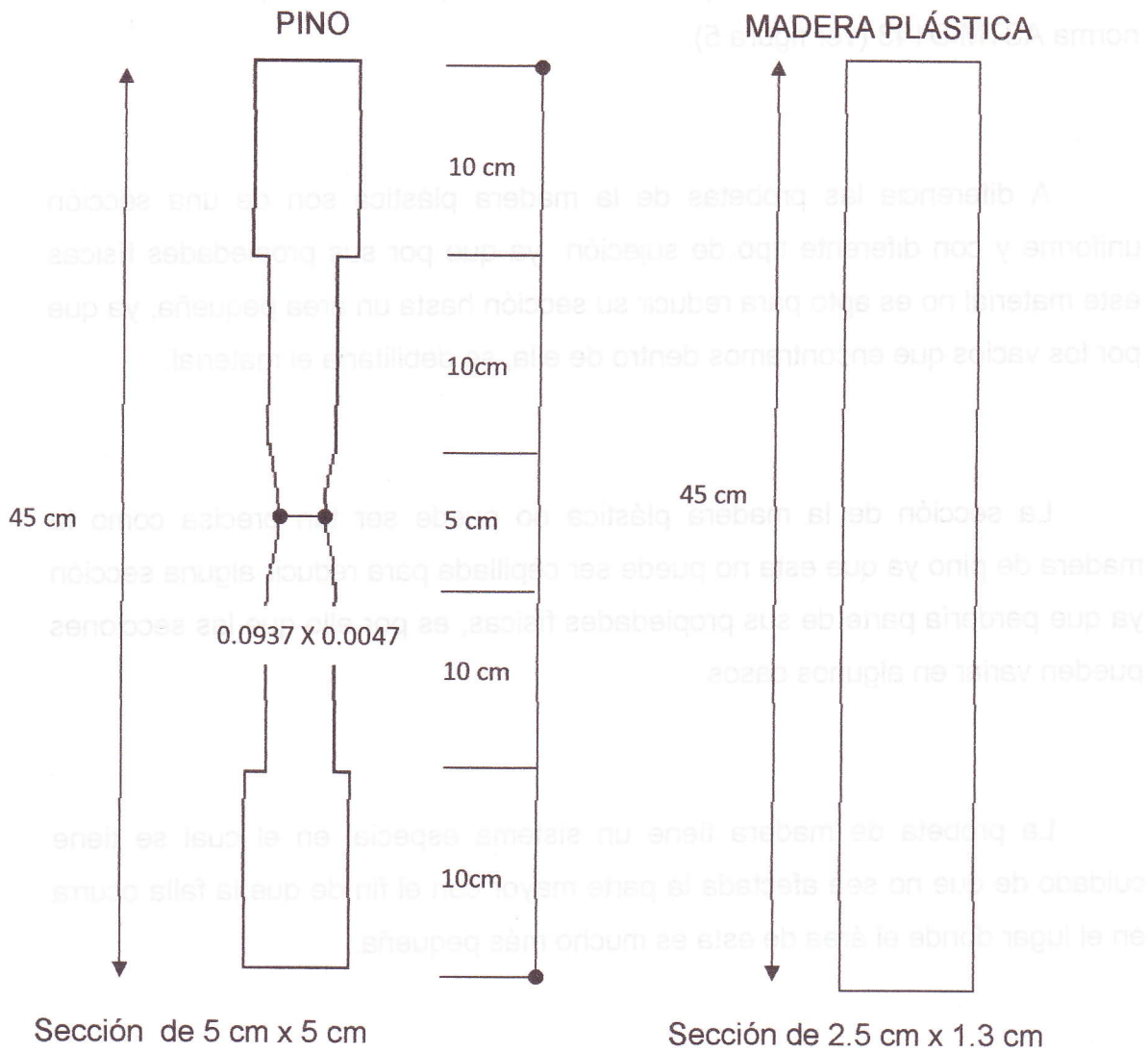


Sección de 5 cm x 5 cm

Sección de 2.5 cm x 1.3 cm

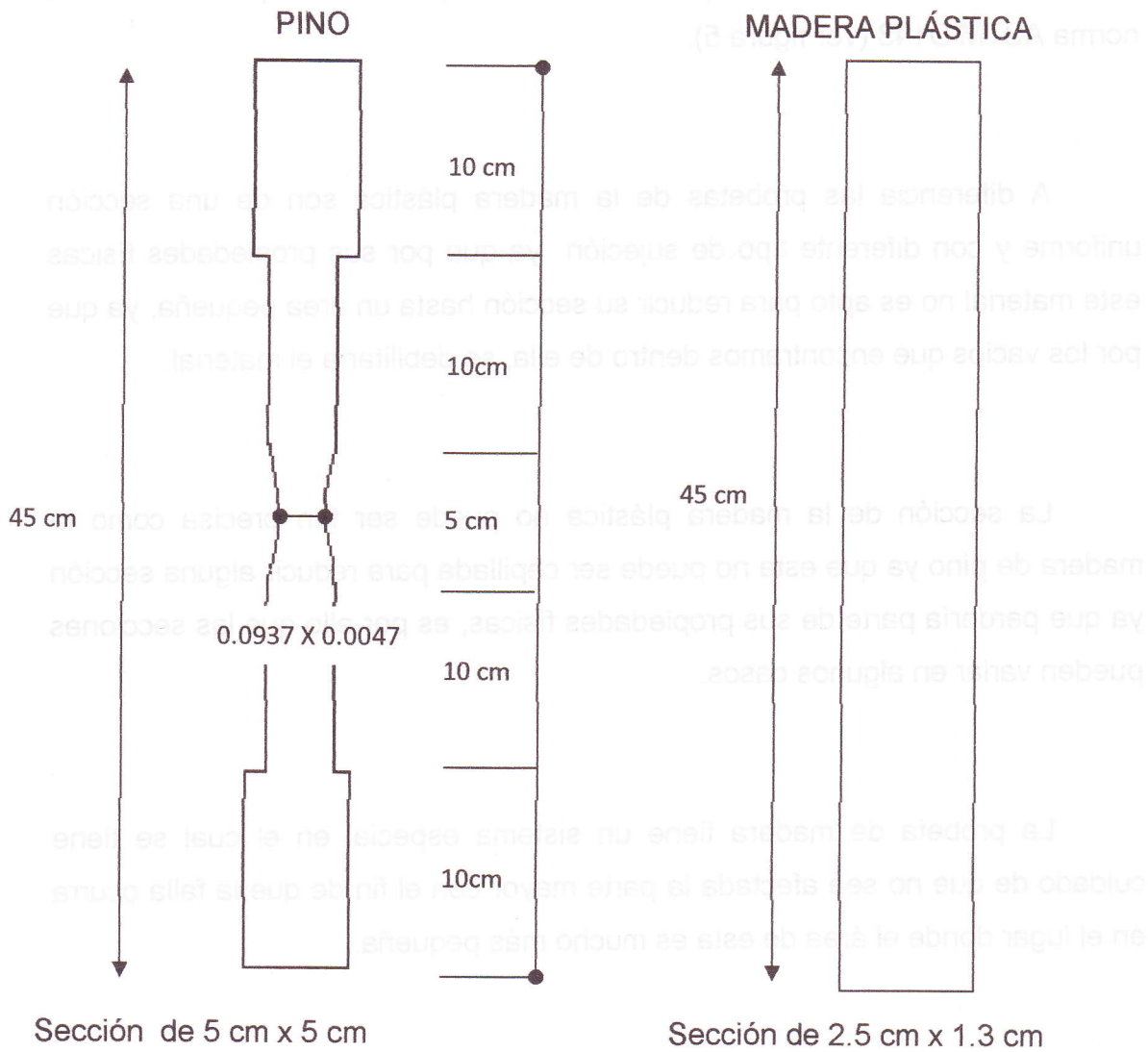
En la realización de la prueba a tensión de la probeta plástica, esta es sujeta de ambos extremos de manera segura, con la finalidad de que la probeta no se libere en el transcurso de la prueba.

Figura 5. Probetas de madera de pino y madera plástica



En la realización de la prueba a tensión de la probeta plástica, esta es sujeta de ambos extremos de manera segura, con la finalidad de que la probeta no se libere en el transcurso de la prueba.

Figura 5. Probetas de madera de pino y madera plástica



Sección de 5 cm x 5 cm

Sección de 2.5 cm x 1.3 cm

En la realización de la prueba a tensión de la probeta plástica, esta es sujeta de ambos extremos de manera segura, con la finalidad de que la probeta no se libere en el transcurso de la prueba.

Aplicando la carga a la probeta a una velocidad constante considerable se lleva a la falla; esto para determinar la carga última de la madera plástica a tensión. Se debe trazar la curva de carga contra deformación y determinar el punto del límite elástico (por medio de una tangente trazada a la curva desde el origen). El esfuerzo de tensión paralelo se calcula con la ecuación:

$$F_t = \frac{P}{A}$$

Donde:

F_t = esfuerzo de tensión

P = carga de ruptura

A = área de esfuerzo

Y el módulo de elasticidad a tensión paralela (E) se puede calcular de esta manera:

$$E = \frac{PL}{A\epsilon}$$

Donde:

P = Cualquier carga abajo del límite elástico

L = Longitud efectiva (por lo regular 5 cm)

A = Área de esfuerzo

ϵ = Deformación para la carga P

También, el módulo de elasticidad se puede determinar gráficamente, ya que es la pendiente de la porción recta de la curva esfuerzo contra deformación unitaria.

El procedimiento seguido para determinar el módulo de elasticidad en las pruebas de flexión, compresión y tensión fue el analítico, comparando posteriormente con las gráficas elaboradas.

Según la norma ASTM D-143 para todos los ensayos elaborados donde involucre o aquellos donde se efectuaron mediciones de peso, la precisión debió ser no menos del 0.2%.

Cuando se efectuaron medidas de dimensiones la precisión es del 0.3% exceptuando los casos en los cuales las medidas deben ser hechas a 0.2 mm. Y para las probetas de contracción radial y tangencial, que deben efectuarse con una precisión de 0.02 mm

La velocidad de la máquina de ensayos utilizada (Máquina Universal Baldwin, con una capacidad máxima de 60,000 Kg), no deberá variar más de un 25% de aquella determinada para un ensayo dado. Si la velocidad estipulada no puede ser obtenida hay que especificar la velocidad utilizada en el ensayo.

Todos los aparatos usados para obtener los datos deberán ser calibrados en un intervalo suficientemente adecuado y frecuente para asegurar la precisión en las medidas.

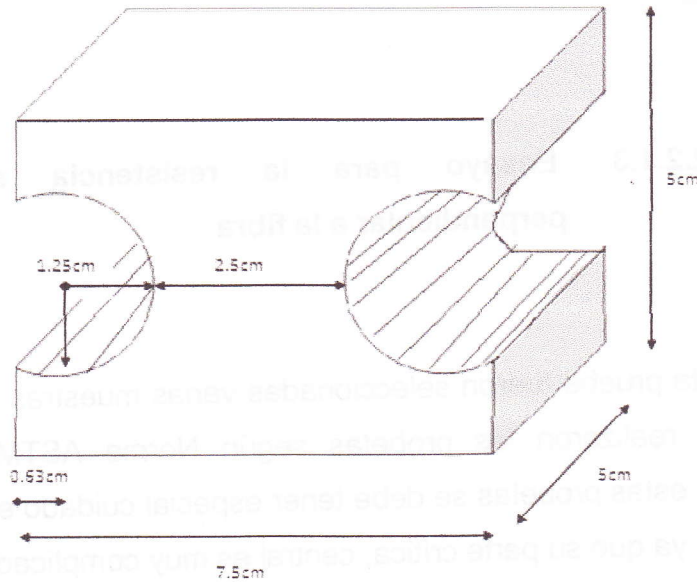
2.2.1.3 Ensayo para la resistencia a la tensión perpendicular a la fibra

Para esta prueba fueron seleccionadas varias muestras del material con las cuales se realizaron las probetas según Norma ASTM D-143. En la elaboración de estas probetas se debe tener especial cuidado en la elaboración de las mismas, ya que su parte crítica, central es muy complicada. (Ver figura 6)

El propósito de este ensayo es aplicar carga por medio de la máquina a las quijadas, está a su vez, provoca una tensión a la probeta; dicha tensión deberá ser en dirección perpendicular a las fibras de la pieza, con el fin de obtener su resistencia última para esta carga.

La carga será aplicada a una velocidad constante, con el fin de determinar la carga máxima de la madera plástica y verificar el tipo de falla que presente la madera plástica cuando es sometida a este tipo de ensayo en el laboratorio.

Figura 6. Probeta ensayo de tensión perpendicular a la fibra, pieza de 5 x 5 x 7.5 cm



El esfuerzo de tensión perpendicular a la fibra (F_u), esta dado por la siguiente expresión:

$$F_u = \frac{P}{A}$$

Donde:

F_u = esfuerzo de tensión

P = carga de ruptura

A = área de la carga frontal de la probeta.

2.2.1.4 Ensayo para la resistencia a compresión

Según algunos estudios se dice que la madera, en la dirección de las fibras, resiste menos a compresión que a tracción, siendo la relación del orden de 0.50, aunque variando de una especie a otra; los factores que pueden influir en la resistencia a la compresión son:

Inclinación de fibras, es el efecto de reducción de la resistencia, es bastante menor que en tracción. Densidad, existe una relación lineal, pudiéndose considerar que a más densidad más resistencia.

La humedad y los nudos en la madera, también son factores de influencia, los nudos son menos influentes en la tracción; algunas maderas resisten mejor la carga a compresión dependiendo de su composición química y lugar de origen

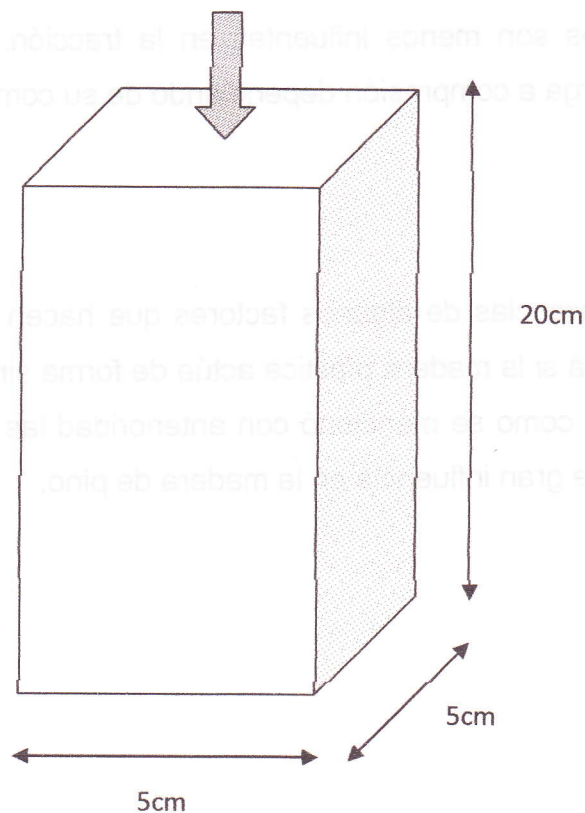
Teniendo referencias de algunos factores que hacen que la madera se debilite, se observará si la madera plástica actúa de forma similar a las pruebas de a la compresión, como se mencionó con anterioridad las fibras, humedad y nudos pueden ser de gran influencia en la madera de pino.

Con esto verificaremos si la madera plástica tiene alguna ventaja sobre el pino, ya que puede que este material actué como un material homogéneo, esto involucra también la influencia de los nudos en la madera de pino, factor con el que no cuenta la madera plástica, también cabe mencionar que la madera plástica no es afectada por la humedad ya que es un material impermeable.

2.2.1.5 Procedimiento de ensayo para la compresión paralela

Las probetas para este tipo de ensayo deben tener las dimensiones de 5 x 5 x 20 cm. Antes de la realización del ensayo correspondiente se determinan el peso y las dimensiones reales de la probeta (ver figura 7).

Figura 7. Probeta ensayo de compresión paralela a la fibra, pieza de 5 x 5 x 20 cm.



Con la realización de la probeta para el ensayo de compresión se debe tener cuidado con las secciones que recibirán la carga; ya que si el corte no es recto, en las caras de las secciones se debe decir que formen un ángulo recto con las caras longitudinales, colaboraría a que la carga no vaya distribuida uniformemente en toda la cara dando como resultado una excentricidad en la probeta, esta tendera a ladearse, perjudicando así, en la obtención de resultados correctos.

La probeta debe estar bien centrada en las quijadas, mordaza o base de la máquina y totalmente horizontales a las caras para evitar cualquier desviación o descentralización de la carga en la probeta. La carga se aplica de forma continua con una velocidad constante, tomando nota de la deformación de la probeta con un deformómetro.

En el procedimiento de la prueba se midieron deformaciones para un intervalo específico de la carga usando un deformómetro o compresómetro, especial para la prueba y que se ajusta a la probeta (la aproximación del aparato se multiplica por la lectura y se obtiene la deformación en mm).

Se determina la carga y la deflexión para la primera falla, la carga máxima y puntos de cambio repentinos. Sobre una hoja de datos se dibuja la falla y se anotan sus características y tipo.

Se dibuja la gráfica de carga contra deformación y se determina sobre la misma el punto al límite elástico, además el esfuerzo de compresión paralelo último que se toma como:

$$F_c = \frac{P}{A}$$

Donde:

F_c = esfuerzo de compresión paralela ultima.

P = carga última.

A = área de compresión.

El módulo de elasticidad a compresión paralela se puede calcular por medio de la ecuación:

$$E = \frac{PL}{A\varepsilon}$$

Donde:

P = Cualquier carga abajo del límite elástico

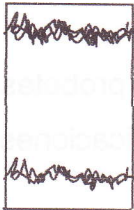
L = Longitud efectiva (por lo regular 15 cm)

A = Área de compresión

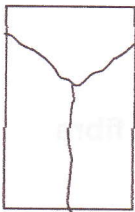
ε = Deformación para la carga P

También el módulo de elasticidad a compresión paralela se obtiene gráficamente considerando que es la pendiente de la porción recta de la curva de esfuerzo contra deformación unitaria.

Figura 8. Tipos de fallas en el ensayo a la compresión paralela



Aplastamiento, sucede cuando el plano de ruptura es aproximadamente horizontal



Forma de cuña, ocurre cuando la dirección de la grieta en el plano radial o tangencial puede ser notada



Corte, ocurre cuando el plano de ruptura marca un ángulo con la horizontal de aproximadamente 45°



Final enrollado, es asociado a un corte impropio, o al exceso del contenido de humedad en los bordes de la probeta



Rajadura, este se presenta cuando existen defectos internos en la probeta



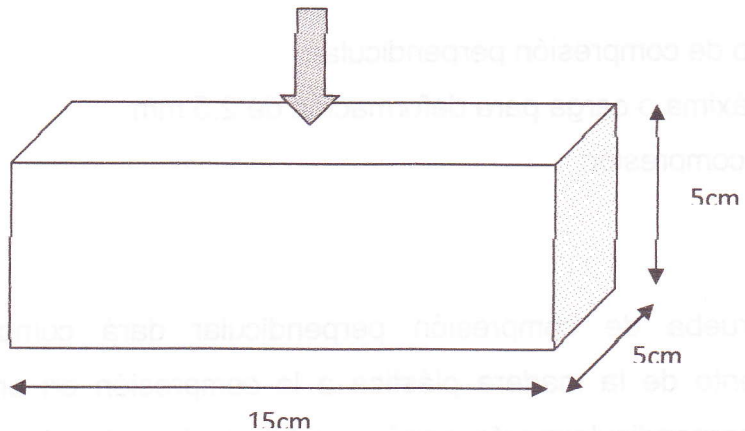
Compresión y corte paralelo a la fibra, ocurre en probetas de fibra cruzada, cuando no se siguen las especificaciones en la elaboración de las probetas.

2.2.1.6 Ensayo para la compresión perpendicular a la fibra

Para la realización de esta prueba fueron elaboradas varias probetas con el fin de determinar si la carga que recibe de manera perpendicular, se comporta de distinta manera a la prueba a compresión paralela a la sección en la que es fabricada.

Las dimensiones de las probetas para esta prueba son de 5 x 5 x 15cm (ver figura 9). Antes de efectuar el ensayo se determinan las dimensiones reales y el peso de la probeta. Este ensayo no mostrará grandes deformaciones, pero tiene la característica de que se tendrá que aplicar fuerza a la probeta en sus dos caras, longitudinales y tangenciales.

Figura 9. Probeta para ensayo de compresión perpendicular a la fibra



La carga es aplicada a la probeta por medio de una placa de apoyo, metálica, (área de 25cm^2) y usando un dispositivo especial para la prueba. La carga debe aplicarse en forma continúa a una velocidad constante considerable.

Se mide la carga que produce una deformación de 2.5mm, en la probeta y se da por concluida la prueba. Esta deformación producida por la carga aplicada que se tomará como la carga máxima del elemento, a menos que la falla se produzca antes de dicha deformación y esta falla nos indicará la carga máxima que se deberá tomar para esta prueba.

$$F_c = \frac{P}{A}$$

Donde:

F_c = esfuerzo de compresión perpendicular.

P = carga máxima o carga para deformación de 2.5 mm

A = área de compresión.

La prueba de compresión perpendicular dará como resultado el comportamiento de la madera plástica a la compresión en ambos sentidos, paralela y perpendicularmente según es fabricada esta pieza y si esta se comporta de una forma similar a la madera de pino.

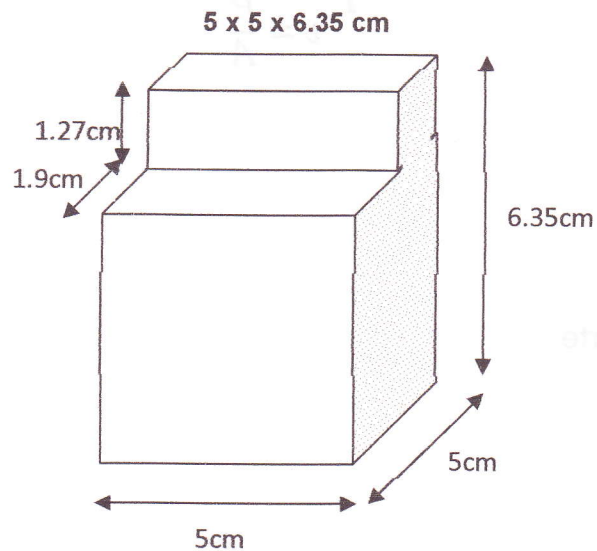
2.2.1.7 Ensayo a corte de la madera plástica

Este ensayo tiene como finalidad mostrar la resistencia ofrecida frente a la acción de una fuerza que tiende a desgajar o cortar la madera en dos partes cuando la dirección del esfuerzo es perpendicular a la dirección de las fibras. Si la fuerza es máxima en sentido perpendicular a las fibras será cortadura y si es mínima en sentido paralelo a las mismas será desgajamiento o hendibilidad.

2.2.1.8 Procedimiento de ensayo a corte

Para la realización de esta prueba se seleccionan varias probetas con la finalidad de obtener un resultado representativo y que nuestros resultados estén dentro de un rango aceptable de variación. La probeta para la realización de este ensayo tiene características (ver figura 10).

Figura 10. Probeta para ensayo de corte paralelo a la fibra, pieza de



Esta probeta se obtiene por pares, una para ensayarla en forma perpendicular a como es fabricada la pieza y la otra en forma paralela a su forma de fabricación.

La carga se aplica de una manera continua a la probeta con una velocidad constante moderada. La probeta es introducida dentro de un dispositivo diseñado especialmente para provocar el corte en la pieza.

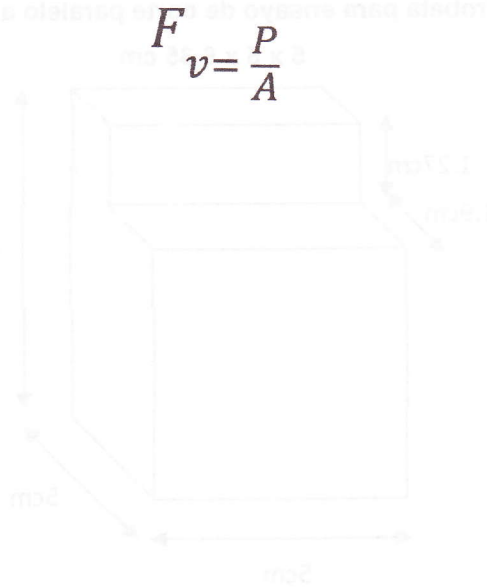
Se observa la carga para la cual ocurre la falla esta será la carga máxima a corte que soporta la pieza ensayada a corte, luego de la falla de la probeta se extrae del sistema y se observa el tipo de falla del material ensayado.

Donde:

F_v = esfuerzo al corte

P = carga máxima

A = área corte.



2.2.1.9 Ensayo para la resistencia a clivaje

El clivaje se define como la resistencia ofrecida frente a la acción de una fuerza que tiende a desgajar o cortar la madera o el material que se desee ensayar en dos partes cuando la dirección de los esfuerzos es paralela a la dirección de las fibras.

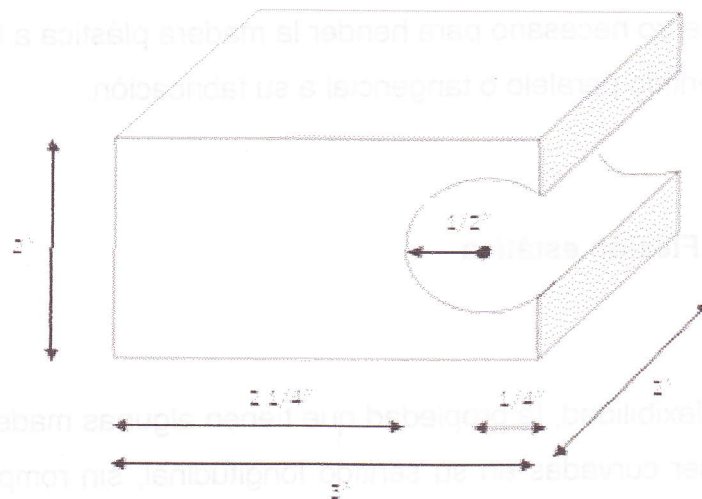
La madera tiene cierta facilidad para hendirse o separarse en el sentido de las fibras, es de suma importancia saber el comportamiento de la madera plástica frente a esta acción; con este ensayo se comprenderá si este material es similar a la madera o actúa de distinta manera, siendo una ventaja o desventaja de la misma.

Esta prueba tiene como finalidad indicarnos que tan bueno es el material en el momento en que se unen dos o más elementos por medio de tornillo o clavos, el objetivo de esta prueba es saber la resistencia a la hienda del material.

2.2.1.10 Procedimiento del ensayo a clavaje

Para la realización de esta prueba se deben realizar por lo menos 2 probetas o más para que el resultado sea significativo; el proceso de elaboración de de la probeta es similar a la prueba de corte paralelo. Estas probetas se obtienen por pares, una de ellas para ser probada en el sentido paralelo a su forma de fabricación y la otra en el sentido perpendicular al material. (Ver figura 11)

Figura 11. Probeta para ensayo de clavaje, pieza de 5 x 5 x 7.62cm.



Nota: las dimensiones de la figura, están en pulgadas para una mejor apreciación

Para la realización de este ensayo la probeta debe cumplir con las dimensiones de la figura mostrada con anterioridad. Luego de colocar la probeta en el dispositivo especial para este tipo de ensayo, se aplica la carga de forma constante a una velocidad moderada, hasta que esta llega a su carga máxima y falla; se toma nota de la lectura de la carga máxima, se dibuja el tipo de falla.

La resistencia a la prueba de clivaje se define por la siguiente ecuación:

$$\text{Clivaje} = \frac{\text{Carga máxima}}{\text{Longitud esforzada}}$$

Donde:

Clivaje es el esfuerzo necesario para hender la madera plástica a lo largo de la fibra, ya sea en sentido paralelo o tangencial a su fabricación.

2.2.1.11 Flexión estática

Se define como flexibilidad, la propiedad que tienen algunas maderas de poder ser dobladas o ser curvadas en su sentido longitudinal, sin romperse o llegar a la falla. Si el material es elástico recupera su forma primitiva cuando deja de ejercerse cualquier carga externa ajena a este material.

Como es de conocimiento, la madera presenta especial aptitud para sobrepasar su límite de elasticidad por flexión sin que se produzca rotura inmediata, siendo esta una propiedad que la hace útil para la curvatura.

La madera plástica por ser un material a base de plástico reciclado teóricamente cuenta con un límite elástica que por medio de el ensayo a flexión se podrá verificar si este es mayor o menor que el de la madera de pino.

Influencias que afectan a la resistencia a la flexión: en la madera de pino algunos podrían ser la inclinación de las fibras, esto afecta en similar manera a la resistencia a la tracción. En el caso de la madera plástica un factor de suma importancia puede ser los huecos o vacios que quedan dentro del material.

El peso específico, existe una relación lineal entre resistencia a la flexión y densidad. Existen casos especiales donde el contenido de resina hace que la relación no sea lineal. La importancia conocer la densidad de la madera plástica jugara un papel importante, ya que este nos indicará si se comporta de una forma similar a la madera de pino.

El contenido de humedad en la madera de pino es de influencia en la resistencia a la flexión. La resistencia a la flexión decrece al aumentar la temperatura; este crecimiento es mayor al aumentar la humedad. Sabiendo que la madera plástica es un material impermeable, es una ventaja el saber que la humedad no variará y se mantendrá constante.

Otro factor importante de influencia en la madera de pino para la resistencia a la flexión son los nudos, estos pueden hacer que la madera tenga cambios en su resistencia a la flexión según en la posición que se encuentren, siendo los más influentes los nudos que se encuentren en la zona de tensión. La madera plástica no cuenta con este tipo de características que puede ser de ventaja sobre la madera de pino pero los vacíos en el interior de este material pueden ser puntos de debilidad en el material.

2.2.1.12 Procedimiento de ensayo a flexión

Se debe elaborar varias probetas para este tipo de ensayo esto con el fin de tener un resultado representativo, ya que en la fabricación de la madera plástica existen varios tipos de secciones y determinar el esfuerzo a flexión de este material. Las dimensiones de las probetas a considerar para dicho ensayo deberán tener las dimensiones siguientes: 5 x 5 x 75 cm. Antes de efectuar el ensayo las probetas deben ser pesadas y verificar las dimensiones reales (alto, largo, ancho).

Se coloca la probeta en el sistema, dejando una longitud libre entre apoyos de 70 cm, la base de cada uno de ellos, deberá estar debidamente nivelada para lograr una posición horizontal exacta.

La carga se aplica continuamente a la probeta con una velocidad constante de la cabeza móvil de la prensa hidráulica moderada. Para cada cierto intervalo se hará una lectura de la deformación de la probeta por medio de un deflectometro.

De los valores que fueron leídos se hace una conversión a milímetros ya que el deflectometro se encuentra en sistema ingles. Se dibuja por cada prueba una grafica de carga contra deformación y se anotan todos los detalles que se consideren que son de importancia.

Con esto se debe determinar la carga al límite elástico (viene dado este por el punto donde una tangente trazada a la carga se separa de esta). Se determina además el esfuerzo máximo, módulo de ruptura y el módulo elástico a flexión del material.

Para el cálculo del esfuerzo máximo, se hacen uso de la ecuación que sólo es válida en el rango elástico del material; esta ecuación se utiliza cuando la fuerza que se ejerce a la probeta es una carga en el centro de la misma:

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

Donde:

F_b = Esfuerzo último de flexión (Kg/cm^2)

P = Carga última (kg)

L = Longitud libre (cm)

b = Base

h = Altura

El módulo de elasticidad para este caso a flexión se determina por medio de la ecuación:

$$E = \frac{PL^3}{48\varepsilon I}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad a flexión (Kg/cm^2)

P = Cualquier carga abajo del límite elástico (Kg)

ε = Deformación para la carga P (cm)

b = base

h = alto

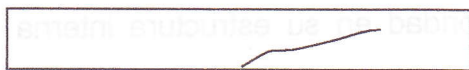
I = Momento de inercia ($1/(12bh^3)$)

Otra forma para obtener el módulo de elasticidad es graficar el esfuerzo versus la deformación unitaria, donde el módulo de elasticidad será la pendiente de la porción recta.

Nota: para encontrar cualquier módulo de elasticidad, para considerarlo más exacto, se debe tomar cada carga para cada deformación y aplicar la ecuación para cada una de estas. Para todas las cargas y deformaciones, el valor obtenido de E (kg/cm²) debe ser el mismo, esto es en el caso de que se haga analíticamente.

A continuación se presentan algunos tipos de fallas que se ocurren en la madera en la realización del ensayo a flexión:

Figura 12. Distintas fallas en el ensayo a flexión estática



Tensión simple
Vista lateral



Tensión en fibra cruzada
Vista lateral



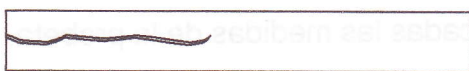
Tensión astillada
Vista planta



Tensión en fibra abrupta
Vista planta



Compresión
Vista lateral



Corte horizontal
Vista lateral

2.2.1.13 Dureza

La dureza se puede definir como aquella característica que depende de la estructura del material, dicho en otras palabras; la dureza se puede definir como la resistencia de los materiales a ser penetrados, a absorber energía.

En la madera de pino, la dureza depende de muchas características que pueden hacer variar esta propiedad entre ellas están las siguientes: la zona del tronco, la edad, entre otros. La madera plástica podría variar su propiedad de dureza ya que como se mencionó con anterioridad en su estructura interna existen vacíos que quedan en su fabricación.

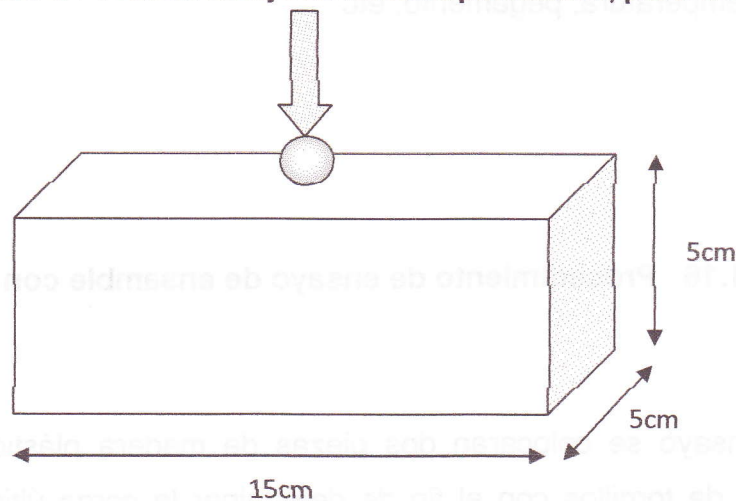
2.2.1.14 Procedimiento de ensayo a la dureza

Para la realización de esta prueba se selecciona el material que será utilizado para la realización de la probeta que será sometida al ensayo de dureza, esta debe cumplir con las siguientes dimensionales; 5 x 5 x 15cm (ver figura 13). Y antes de realizar la prueba debe ser pesada y deben ser rectificadas las medidas de la probeta.

Se utilizó un dispositivo especial para la prueba y además se colocó sobre la base un apoyo articulado que permite que la probeta permanezca en la posición adecuada.

El dispositivo especial que se ajusta a la máquina de ensayos, utiliza una esfera de acero cuyo diámetro es de 1.13 cm y que penetra para determinar las dureza del material. La velocidad con la que se aplica la carga para esta prueba debe ser constante y lenta ya la esfera de acero solo debe penetrar aproximadamente la mitad de esta, esto se puede corroborar sujetando el collar que da una idea de cuánto ha penetrado la esfera en la probeta.

Figura 13. Probeta ensayo de dureza a penetración, pieza 5 x 5 x 15cm.



Se efectúan dos ensayos de penetración en las caras de la pieza y otro en un extremo de la probeta, esto dos veces por cada probeta; cuando se efectúan estas se hacen lo suficientemente separado para obtener un buen resultado y evitando que el ensayo anterior influya en el resultado posterior.

En el caso de la madera plástica, luego de realizado el ensayo se corta una sección y luego se determina el contenido de humedad de esta sección, este no es el caso de la madera plástica, ya que este material es impermeable.

2.2.1.15 Tenacidad

Como se mencionó en el capítulo anterior se puede decir que la tenacidad es la energía total que absorbe un material antes de alcanzar la rotura, por acumulación de dislocaciones y esto se relaciona con la capacidad del material de resistir cargas cuando se hacen probetas unidas con pernos, tornillos, clavos, temperatura, pegamento, etc.

2.2.1.16 Procedimiento de ensayo de ensamble con tornillos

En este ensayo se colocaran dos piezas de madera plástica que se unirán por medio de tornillos con el fin de determinar la carga última que el material soporta antes de fallar o si son los tornillos los que fallan por la fuerza aplicada a los elementos.

Colocada la pieza en la máquina universal se ensayan de dos distintas formas; la primera de ellas se ensaya a corte, el tornillo quedara de una forma perpendicular a la carga con el fin de determinar si el material se rasga o si ocurre otro tipo de falla en el material, otra de las posibilidades es que el material con el que fue unido pueda colapsar.

Otro ensayo para determinar la tenacidad de la madera plástica, se puede decir que en esta prueba los tornillos que unen las dos piezas de madera plástica quedan de forma tal que la fuerza actúa de dirección paralela a la cual fueron colocados. Con estas pruebas se determina la carga última a la cual puede ser sometido el material antes de desprenderse uno del otro.

Figura 14. Carga aplicada de forma paralela a la posición de los tornillos

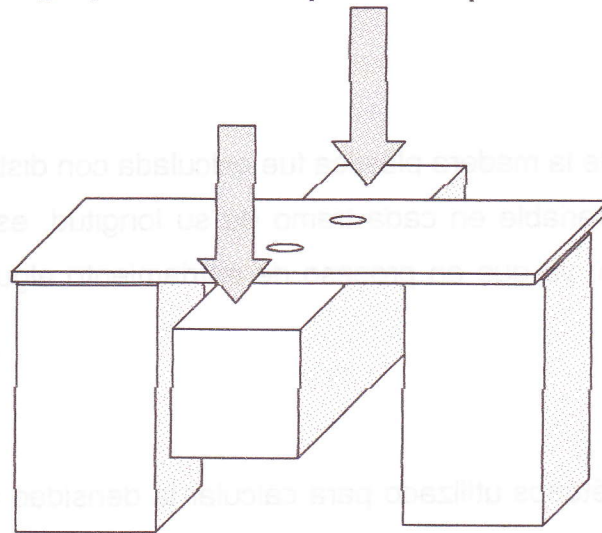
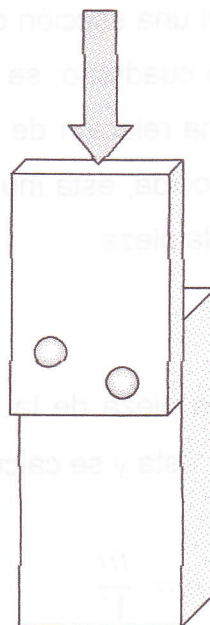


Figura 15. Carga aplicada perpendicularmente a la posición de los tornillos



2.3 Densidad

La densidad o densidad absoluta es la magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. Su unidad en el Sistema Internacional es el kilogramo por metro cúbico (kg/m^3), aunque frecuentemente se expresa en g/cm^3 .

La densidad de la madera plástica fue calculada con distintos métodos ya que su sección es variable en cada tramo de su longitud, esto se debe a su forma de fabricación; ya que en proceso de enfriamiento algunas partes de la pieza se contraen.

Uno de los métodos utilizado para calcular la densidad de este material, es trazar en papel las secciones en diferentes puntos de la madera plástica; luego de haber trazado las distintas secciones no uniformes y difícil de calcular su área, se traza en el mismo papel una sección conocida y fácil del cálculo de área, puede ser un rectángulo o un cuadrado; se recortan y se pesa cada uno de los trozos de papel. Se hace una relación de peso entre área y es de esa forma que se define el área no conocida, esta multiplicada por su longitud, nos dará como resultado el volumen de la pieza.

Ya obtenido el volumen de la pieza de la madera plástica, se pesa en una balanza obteniendo la masa de esta y se calcula por medio de la ecuación:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Donde:

ρ = Densidad

m = masa

V = volumen

Los ensayos para determinar las características físicas de la madera. Con el resultado de la ecuación de la densidad se puede dar una idea de la densidad de la madera plástica respecto a otros materiales.

2.4 Rangos de clasificación según resultados

En el país se ha recomendado para la madera nacional, emplear tres grados de estructurales, estos se definen como:

- Tipo A, las maderas clasificadas como grado A y B serán empleadas en estructuras permanentes
- Tipo B, como se indicó con anterioridad se emplea en estructuras permanentes pero es menos resistente que la tipo A.
- Tipo C, se utiliza en estructuras o construcciones provisionales o auxiliares.

La clasificación de la madera por tipos indica a que rango o tipo pertenece la madera plástica y si esta dentro del rango donde está clasificada la madera de pino

2.5 Presentación de resultados

2.5.1 Características físicas

Los ensayos para determinar las características físicas de la madera plástica fueron desarrollados por la sección de metales y productos manufacturados y la sección de Química del Centro de Investigaciones de Ingeniería, obteniendo los siguientes resultados:

2.5.1.1 Determinación de la densidad

Para determinar esta propiedad de la madera plástica, se realizó un proceso de una regla de tres simple, donde se involucró la relación del área y el peso; debido a que el material no consta con una sección uniforme en toda la longitud de la pieza.

Sabiendo el peso de un trozo de papel y conociendo el peso del segmento de papel, entonces se traza la sección de la madera plástica que como se mencionó anteriormente no es uniforme. Se recorta y posteriormente se pesa; teniendo estos datos se puede obtener el área de la sección de la madera plástica; se mide la longitud de la pieza y con esto podemos encontrar el volumen aproximado de la pieza.

$$\text{Área desconocida} = \frac{\text{Peso de área desconocida} * \text{área Conocida}}{\text{Peso de área Conocida}}$$

Muestra de referencia:

Área Conocida = 45cm^2

Peso de Área Conocida = 0.710g

Tabla III. Dimensiones de probetas utilizadas para determinar la densidad de la madera plástica

| Trazo | Peso Promedio (g) | Área (cm^2) | Longitud (cm) | volumen (cm^3) |
|-------|-------------------|------------------------|---------------|---------------------------|
| 1 | 0.5675 | 35.968 | 84.6 | 3042.919 |
| 2 | 0.553 | 35.049 | 86.9 | 3045.784 |
| 3 | 0.5865 | 37.173 | 89.2 | 3315.790 |
| 4 | 0.5465 | 34.637 | 91.5 | 3169.315 |

Conociendo el volumen y la masa podemos obtener la densidad

Tabla IV. Determinación de la densidad de la madera plástica

| volumen (cm^3) | masa (g) | Densidad | | Promedio (kg/m^3) |
|---------------------------|----------|---------------------|---------------------|------------------------------|
| | | (g/cm^3) | (Kg/m^3) | |
| 3042.919 | 2551 | 0.8383 | 838.34 | 822.65 |
| 3045.784 | 2553 | 0.8382 | 838.21 | |
| 3315.790 | 2572 | 0.7757 | 775.68 | |
| 3169.315 | 2657 | 0.8384 | 838.35 | |

2.5.2 Características mecánicas

Los ensayos para la determinación de las propiedades mecánicas fueron desarrollados con la colaboración de la Sección de Metales y Productos Manufacturados del Centro de Investigaciones de Ingeniería, obteniendo los siguientes resultados:

2.5.2.1 Tensión paralela a la fibra

La propiedad mecánica a determinar en esta prueba es el esfuerzo de tensión paralelo último, con las probetas que se realizaron; en este caso son distintas a las probetas de pino, por las razones ya dichas con anterioridad.

Probeta 1

$$\text{Área (A)} = 3.0\text{cm}^2$$

$$\text{Carga (P)} = 480.0\text{kg}$$

$$\text{Esfuerzo de tensión paralela } Ft = \frac{P}{A}$$

$$Ft = \frac{480}{3.0} \quad Ft = 160.0\text{kg/cm}^2$$

A continuación las siguientes tablas contienen datos de las distintas probetas que fueron ensayadas para determinar el esfuerzo de tensión paralela en donde se presentan otros datos de importancia.

Tabla V. Dimensiones, área y esfuerzo de las distintas probetas utilizadas para el ensayo a tensión paralela a la fibra

| Largo (cm) | Ancho (cm) | Espesor (cm) | Cargas (Kg) | Área (cm ²) | $\sigma =$ (kg/cm ²) | MPA | $\sigma =$ (kg/cm ²) | MPA |
|------------|------------|--------------|-------------|-------------------------|----------------------------------|-------|----------------------------------|-------|
| | | | | | | | Promedio | |
| 45.2 | 2.5 | 1.2 | 480.0 | 3.00 | 160.00 | 15.69 | 135.10 | 13.25 |
| 45.2 | 2.5 | 1.5 | 475.0 | 3.75 | 126.67 | 12.42 | Máximo | |
| 45.4 | 2.4 | 1.3 | 437.5 | 3.12 | 140.22 | 13.75 | 160.00 | 15.69 |
| 45.3 | 2.6 | 1.3 | 455.0 | 3.38 | 134.62 | 13.20 | Mínimo | |
| 45.4 | 2.6 | 1.4 | 415.0 | 3.64 | 114.01 | 11.18 | 114.01 | 11.18 |

2.5.2.2 Tensión perpendicular a la fibra

Realizado el ensayo a compresión en ambos sentidos se pudo comprobar que el comportamiento de la madera plástica es similar o en algunos casos el mismo, de esto se puede decir que no importa la dirección en la cual se aplique la carga su comportamiento será el mismo o similar.

Como se mencionó con anterioridad, la madera plástica como parte de sus características físicas cuenta con espacios vacíos en estructura interna, esto dificulta que la probeta que se utiliza para este ensayo se pudiera realizar y sabiendo que estas características complicarían la medición del área para posteriormente calcular el esfuerzo.

2.5.2.3 Compresión paralela a la fibra

La propiedad mecánica a determinar es el esfuerzo de compresión paralelo último, para las distintas secciones ensayadas debido a que el fabricante realiza distintos tipos de secciones; el cual se puede calcular de la siguiente manera:

Probeta 1

$$\text{Área (A)} = 28.08\text{cm}^2$$

$$\text{Carga (P)} = 5520\text{kg}$$

Esfuerzo de compresión paralela $F_c = \frac{P}{A}$

$$F_c = \frac{5520}{28.08} \qquad F_c = 196.58\text{kg}/\text{cm}^2$$

Las siguientes tablas contienen datos de las distintas probetas que fueron ensayadas para determinar el esfuerzo de compresión paralela en donde se presentan otros datos de importancia.

Tabla VI. Dimensiones, área y esfuerzo de las distintas probetas utilizadas para el ensayo a compresión paralela a la fibra

| Largo (cm) | Ancho (cm) | Espesor (cm) | Cargas (Kg) | Área (cm ²) | $\sigma =$ (kg/cm ²) | MPA | $\sigma =$ (kg/cm ²) | MPA |
|------------|------------|--------------|-------------|-------------------------|----------------------------------|-------|----------------------------------|-------|
| | | | | | | | Promedio | |
| 20.2 | 5.2 | 5.4 | 5520.0 | 28.08 | 196.58 | 19.28 | 182.55 | 17.90 |
| 20.1 | 5.3 | 5.3 | 5710.0 | 28.09 | 203.28 | 19.93 | Máximo | |
| 20.3 | 6.0 | 5.3 | 5400.0 | 31.80 | 169.81 | 16.65 | 203.28 | 19.93 |
| 20.4 | 5.6 | 5.5 | 5370.0 | 30.80 | 174.35 | 17.10 | Mínimo | |
| 20.1 | 5.4 | 5.4 | 4920.0 | 29.16 | 168.72 | 16.55 | 168.72 | 16.55 |

Tabla VII. Dimensiones, área y esfuerzo de las distintas probetas utilizadas para el ensayo a compresión paralela a la fibra (variación de longitud)

| Largo (cm) | Ancho (cm) | Espesor (cm) | Cargas (Kg) | Área (cm ²) | $\sigma =$ (kg/cm ²) | MPA | $\sigma =$ (kg/cm ²) | MPA |
|------------|------------|--------------|-------------|-------------------------|----------------------------------|-------|----------------------------------|-------|
| | | | | | | | Promedio | |
| 15.3 | 5.6 | 5.6 | 5150.0 | 31.36 | 164.22 | 16.10 | 172.32 | 16.90 |
| 15.1 | 5.7 | 5.4 | 5150.0 | 30.78 | 167.32 | 16.41 | Máximo | |
| 15.1 | 5.7 | 5.2 | 5300.0 | 29.64 | 178.81 | 17.54 | | |
| 15.3 | 5.3 | 5.7 | 6190.0 | 30.21 | 204.90 | 20.09 | 204.90 | 20.09 |
| 15.5 | 5.4 | 5.6 | 4620.0 | 30.24 | 152.78 | 14.98 | Mínimo | |
| 15.3 | 5.5 | 5.7 | 5200.0 | 31.35 | 165.87 | 16.27 | 152.78 | 14.98 |

Con la finalidad de determinar el modulo de elasticidad de la madera plástica a compresión fueron sometidas tres probetas más de las cuales se detallan las siguientes tablas:

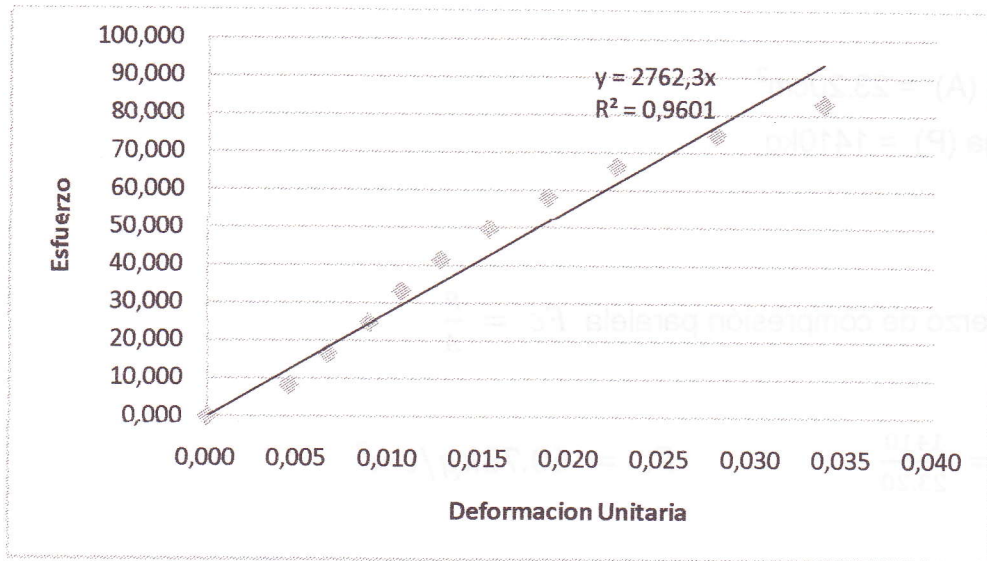
Tabla VIII. Características de probetas utilizadas para la determinación del módulo de elasticidad

| Identificación | Largo (cm) | Ancho (cm) | Espesor (cm) | área (cm ²) | área promedio |
|----------------|------------|------------|--------------|-------------------------|---------------|
| C2 | 15.0 | 5.345 | 4.650 | 24.854 | |
| C3 | 15.0 | 5.170 | 4.650 | 24.041 | 24.098 |
| C6 | 14.9 | 5.000 | 4.680 | 23.400 | |

Tabla IX. Deformación unitaria y esfuerzo de las probetas sometidas a compresión

| Carga (kg) | Deformación | | | | Def. Unit. | esfuerzo (kg/cm ²) |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|----------|------------|--------------------------------|
| | C2 | C3 | C6 | promedio | | |
| 0 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00000 | 0.000 |
| 200 | 0.0686 | 0.0737 | 0.0584 | 0.0669 | 0.00446 | 8.299 |
| 400 | 0.0965 | 0.1016 | 0.0991 | 0.0991 | 0.00660 | 16.599 |
| 600 | 0.1295 | 0.1372 | 0.1321 | 0.1329 | 0.00886 | 24.898 |
| 800 | 0.1524 | 0.1651 | 0.1626 | 0.1600 | 0.01067 | 33.198 |
| 1000 | 0.1854 | 0.1956 | 0.1956 | 0.1922 | 0.01281 | 41.497 |
| 1200 | 0.2210 | 0.2413 | 0.2337 | 0.2320 | 0.01547 | 49.797 |
| 1400 | 0.2642 | 0.2946 | 0.2794 | 0.2794 | 0.01863 | 58.096 |
| 1600 | 0.3175 | 0.3607 | 0.3302 | 0.3361 | 0.02241 | 66.396 |
| 1800 | 0.3810 | 0.4318 | 0.4445 | 0.4191 | 0.02794 | 74.695 |
| 2000 | 0.4674 | 0.5639 | 0.4928 | 0.5080 | 0.03387 | 82.994 |
| Carga Máxima | 2580kg | 2140kg | 2480kg | | | |

Figura 16. Gráfica Deformación promedio versus esfuerzo



De la gráfica mostrada con anterioridad se puede determinar el módulo de elasticidad de la madera plástica para la prueba de compresión con las fibras colocadas paralelamente a la carga; sabiendo que el módulo de la elasticidad esta dado por la pendiente de la ecuación lineal se puede decir que este es de 2762.3 kg/cm^2 .

2.5.2.4 Compresión perpendicular a la fibra

Se determina el esfuerzo de compresión perpendicular último de la madera plástica, ya que esta no cuenta con fibras definidas donde se marquen los anillos como es el caso de la madera de pino; esta se calcula de la siguiente manera:

Probeta compresión perpendicular

$$\text{Área (A)} = 23.20\text{cm}^2$$

$$\text{Carga (P)} = 1410\text{kg}$$

$$\text{Esfuerzo de compresión paralela } Fc = \frac{P}{A}$$

$$Fc = \frac{1410}{23.20} \quad Fc = 60.78\text{kg/cm}^2$$

Datos de las probetas que se sometieron a la prueba de compresión perpendicular a la fibra

Tabla X. Dimensiones, área y esfuerzo de las probetas utilizadas para el ensayo a compresión perpendicular a la fibra.

| Largo (cm) | Ancho (cm) | Espesor (cm) | Área de Contacto | Carga (kg) | Esfuerzo (kg/cm ²) |
|------------|------------|--------------|------------------|------------|--------------------------------|
| 15.0 | 4.64 | 5.150 | 23.20 | 1410 | 60.78 |
| 15.0 | 5.17 | 4.640 | 25.85 | 1640 | 63.44 |
| 15.2 | 4.85 | 4.655 | 24.25 | 1750 | 72.16 |

2.5.2.5 Corte

Fueron sometidas a este ensayo 3 probetas de las cuales se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla XI. Dimensiones, área y esfuerzo de probetas utilizadas para el ensayo de la prueba de corte a la madera plástica

| Identificación | Largo (cm) | Ancho (cm) | Cargas (Kg) | Área (cm ²) | ESFUERZO | |
|----------------|------------|------------|-------------|-------------------------|----------------------------------|------|
| | | | | | $\sigma =$ (kg/cm ²) | MPA |
| 1 | 5.1 | 5.5 | 2000.0 | 28.05 | 71.30 | 6.99 |
| 2 | 5.2 | 5.5 | 2390.0 | 28.60 | 83.57 | 8.20 |
| 3 | 5.3 | 5.5 | 2100.0 | 29.15 | 72.04 | 7.06 |

De esta prueba se obtuvieron estos resultados, donde se describe el promedio de los esfuerzos, el esfuerzo máximo y el mínimo.

Tabla XII. Esfuerzos en la prueba de corte

| Esfuerzo | $\sigma =$ (kg/cm ²) | MPA |
|----------|----------------------------------|------|
| Promedio | 75.64 | 7.42 |
| Máximo | 83.57 | 8.20 |
| Mínimo | 71.30 | 6.99 |

2.5.2.6 Clivaje

Los resultados del ensayo para el clivaje de las probetas ensayadas son los que se presentan a continuación

Tabla XIII. Dimensión, carga y carga lineal de la prueba de clivaje

| Identificación | Largo (cm) | Cargas (Kg) | Kg/cm | Promedio |
|----------------|------------|-------------|-------|----------|
| 1 | 5.5 | 215.0 | 39.09 | 42.48 |
| 2 | 5.5 | 265.0 | 48.18 | |
| 3 | 5.6 | 225.0 | 40.18 | |

Obteniendo como resultado de dividir la carga sobre la longitud de la probeta el valor más importante de este ensayo que es determinar la relación lineal que existe entre la carga en el material y su longitud.

2.5.2.7 Flexión

La propiedad mecánica a determinar es el módulo de ruptura y el módulo de elasticidad para las distintas secciones ensayadas debido a que el fabricante realiza distintos tipos de secciones; el cual se puede calcular de la siguiente manera:

Probeta 1

Base (b): 5.6cm

Altura (h): 9.6cm

Luz (L): 72cm

Carga (P): 880kg

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

$$F_b = \frac{3(880)(72)}{2(5.6)(9.6)^2} \quad F_c = 184.15 \text{kg/cm}^2$$

Datos de las probetas que se sometieron a la prueba de flexión estática de la madera plástica.

Tabla XIV. Datos y resultados de la prueba de flexión para determinar el módulo de ruptura

| Largo (m) | Altura (cm) | base (cm) | Cargas (Kg) | Def. ultima (mm) | Módulo de Ruptura | | Promedio | |
|-----------|-------------|-----------|-------------|------------------|----------------------------------|-------|----------------------------------|-------|
| | | | | | $\sigma =$ (kg/cm ²) | MPA | $\sigma =$ (kg/cm ²) | MPA |
| 1.005 | 9.6 | 5.6 | 880 | 55 | 184.15 | 18.06 | 198.92 | 19.51 |
| 1.000 | 9.5 | 5.6 | 1000 | 90 | 213.69 | 20.96 | | |
| 1.002 | 9.7 | 3.7 | 500 | 65 | 155.11 | 15.21 | 163.99 | 16.08 |
| 1.002 | 9.4 | 3.5 | 495 | 75 | 172.86 | 16.95 | | |
| 1.001 | 5.5 | 5.5 | 250 | 50 | 162.28 | 15.91 | 152.87 | 14.99 |
| 1.000 | 5.5 | 5.6 | 225 | 50 | 143.45 | 14.07 | | |
| 1.009 | 14.3 | 6.8 | 2540 | 45 | 197.28 | 19.35 | 201.97 | 19.81 |
| 1.004 | 14.3 | 6.9 | 2700 | 50 | 206.66 | 20.27 | | |
| 1.000 | 7.9 | 3.6 | 325 | 40 | 156.22 | 15.32 | 162.23 | 15.91 |
| 1.002 | 7.9 | 3.6 | 350 | 42 | 168.24 | 16.50 | | |
| 1.001 | 8.3 | 4.4 | 550 | 41 | 195.96 | 19.22 | 187.27 | 18.36 |
| 1.000 | 8.4 | 4.5 | 525 | 40 | 178.57 | 17.51 | | |

Los datos de la tabla XIV fueron realizados con la prueba a flexión simplemente apoyada aplicando la carga con un cabezal en el centro de la luz.

Determinando el módulo de elasticidad para la madera plástica en la prueba de flexión estática simplemente apoyada con una carga puntual al centro de la luz; utilizando la ecuación mencionada con anterioridad en el proceso del desarrollo de la prueba.

Tabla XV. Datos de probetas la prueba a flexión con un cabezal

| Largo (m) | Altura (cm) | base (cm) | Cargas (Kg) | Deformación (cm) | Módulo de Ruptura | | Promedio | |
|-----------|-------------|-----------|-------------|------------------|----------------------------------|-------|----------------------------------|-------|
| | | | | | $\sigma =$ (kg/cm ²) | MPA | $\sigma =$ (kg/cm ²) | MPA |
| 1.002 | 5.449 | 5.486 | 230 | 8.5 | 149.32 | 14.64 | 147.45 | 14.46 |
| 1.005 | 5.232 | 5.42 | 200 | 9.5 | 145.59 | 14.28 | | |

Tabla XVI. Deformación, cargas y módulo de elasticidad de la prueba a flexión con un cabezal

| FLEXIÓN | Probeta 1 | Probeta 4 | PROMEDIO | MÓDULO DE ELASTICIDAD (kg/cm ²) | | |
|------------------|------------|------------|------------|---|-----------|----------|
| | | | | PROBETA 1 | PROBETA 2 | PROMEDIO |
| Deformación (cm) | Carga (Kg) | Carga (Kg) | Carga (Kg) | | | |
| 0.5 | 35 | 5 | 20 | 77.433 | 0.226 | 14.448 |
| 1.0 | 55 | 30 | 42.5 | 150.238 | 24.381 | 69.320 |
| 1.5 | 75 | 45 | 60 | 253.971 | 54.858 | 130.033 |
| 2.0 | 95 | 70 | 82.5 | 387.109 | 154.866 | 253.527 |
| 2.5 | 120 | 90 | 105 | 624.160 | 263.318 | 418.139 |
| 3.0 | 135 | 95 | 115 | 740.581 | 258.073 | 457.788 |
| 3.5 | 145 | 115 | 130 | 786.554 | 392.390 | 566.832 |
| 4.0 | 160 | 125 | 142.5 | 924.682 | 440.923 | 653.246 |
| 4.5 | 175 | 142.5 | 158.75 | 1075.459 | 580.663 | 802.825 |
| 5.0 | 185 | 147.5 | 166.25 | 1143.504 | 579.560 | 829.865 |
| 5.5 | 197.5 | 155 | 176.25 | 1264.826 | 611.399 | 898.912 |
| 6.0 | 205 | 162.5 | 183.75 | 1296.590 | 645.805 | 933.734 |
| 6.5 | 210 | 170 | 190 | 1286.580 | 682.536 | 952.883 |
| 7.0 | 215 | 175 | 195 | 1282.064 | 691.367 | 956.529 |
| 7.5 | 220 | 180 | 200 | 1282.033 | 702.180 | 963.210 |
| 8.0 | 225 | 185 | 205 | 1285.730 | 714.690 | 972.443 |
| 8.5 | 230 | 190 | 210 | 1292.578 | 728.676 | 983.855 |

De la tabla XVI se obtiene, luego de previos cálculos un promedio del módulo de elasticidad = 638.682 kg/cm²

Módulo de elasticidad determinada con la prueba de flexión a un elemento apoyado simplemente con dos cargas distribuidas simétricamente.

Tabla XVII. Características de las probetas sometidas a flexión

| Identificación | Long (cm) | Alto (cm) | Base (cm) | peso (kg) |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 84.6 | 8.6 | 5.0 | 2.551 |
| 2 | 86.9 | 8.6 | 5.0 | 2.553 |
| 3 | 89.2 | 8.6 | 4.9 | 2.572 |
| 4 | 91.5 | 8.4 | 5.0 | 2.657 |

Tabla XVIII. Carga, deformación y módulo de elasticidad de prueba a flexión con dos cabecales

| carga | Deformación | | | | | MÓDULO DE ELASTICIDAD | | | | |
|-----------|-------------|-------|-------|-------|----------|-----------------------|--------|--------|--------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | promedio | 1 | 2 | 3 | 4 | promedio |
| kg | cm | | | | | kg/cm ² | | | | |
| 50 | 0.198 | 0.163 | 0.198 | 0.132 | 0.173 | 6419.1 | 7823.3 | 6419.1 | 9628.7 | 7363.1 |
| 100 | 0.376 | 0.363 | 0.361 | 0.318 | 0.354 | 6766.1 | 7002.7 | 7052.0 | 8011.1 | 7178.4 |
| 150 | 0.605 | 0.605 | 0.579 | 0.551 | 0.585 | 6311.2 | 6311.2 | 6588.0 | 6922.0 | 6523.7 |
| 200 | 0.851 | 0.864 | 0.826 | 0.800 | 0.835 | 5978.4 | 5890.5 | 6162.3 | 6358.0 | 6092.1 |
| 250 | 1.123 | 1.133 | 1.115 | 1.072 | 1.111 | 5663.9 | 5613.1 | 5702.6 | 5932.4 | 5725.5 |
| 300 | 1.384 | 1.387 | 1.389 | 1.372 | 1.383 | 5512.2 | 5502.1 | 5492.0 | 5563.2 | 5517.3 |
| carga Max | 625 | 600 | 850 | 750 | | | | | | |

El promedio del módulo de elasticidad para esta prueba es de 6,400 kg/cm² aproximadamente y es con este resultado se comparara la madera plástica contra la madera de pino.

2.5.2.8 Dureza

La prueba de dureza a la madera plástica fue realizada como se describió con anterioridad y en la realización de ensayo este ensayo se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla IXX. Datos obtenidos del ensayo de dureza a madera plástica

| Probeta | Longitud (cm) | Ancho (cm) | Espesor (cm) | Carga1 (kg) | Carga 2 (kg) | Carga 3 (kg) | Carga Promedio |
|---------|---------------|------------|--------------|-------------|--------------|--------------|----------------|
| 1 | 15.1 | 4.9 | 5.0 | 185.0 | 210.0 | 195.5 | 196.8 |
| 2 | 14.9 | 5.1 | 4.9 | 290.0 | 200.0 | 175 | 221.7 |
| 3 | 15.0 | 5.2 | 5.1 | 90.0 | 200.0 | 115.0 | 135.0 |
| 4 | 14.9 | 5.0 | 4.9 | 210.0 | 375.0 | 175.0 | 253.3 |

De la práctica de la prueba de dureza a la madera plásticas, a diferencia de la madera de cualquier tipo que a esta se puede practicar en el sentido radial y en el sentido tangencial; esta difiere ya que no cuenta con estas características. De la prueba de dureza a la madera plásticas se obtiene un valor promedio de 201.7 kg.

2.5.2.9 Uniones de madera plástica con tornillos

La prueba de uniones del material con tornillos, se realizó de dos distintas maneras como se mencionó con anterioridad, de esos ensayos surgieron los siguientes resultados.

| Falla | Promedio | Carga |
|-----------|----------|-------|
| Tornillos | 182.5 | 175 |
| Tornillos | | 190 |

Para la probeta con carga paralela a la posición de los tornillos, en la cual se utilizó dos piezas de la madera plástica con diferente sección como se muestra en la figura 14 y figura 15:

Tabla XX. Cargas obtenidas de la prueba de uniones con tornillos

| Identificación | Carga (kg) | Promedio |
|----------------|------------|----------|
| 1 | 190 | 182.5 |
| 2 | 175 | |

En esta prueba es importante mencionar que los tornillos que unían ambas piezas quedaron en buen estado; la carga que se presenta en la tabla XX es resultado una falla a flexión la pieza que se colocó en la parte superior de la unión como se muestra en la figura 14; esta pieza tuvo una deformación a tal grado que el sistema de soporte colapsó, quedando intacta la unión.

Para la probeta donde la carga fue aplicada en sentido paralela a la posición del tornillo se manejaron los siguientes resultados:

Tabla XXI. Obtención de cargas de la prueba de uniones en sentido paralelo

| Carga | Promedio | Falla |
|-------|----------|-----------|
| 275 | 287.5 | tornillos |
| 300 | | tornillos |

El resultado de este ensayo es de suma importancia ya que se pudo observar que la madera plástica soporto de buena manera la carga que fue aplicada al sistema; siendo los tornillos los llegaron a fallar por un esfuerzo a corte y quedando en un buen estado las dos piezas de el material de producto reciclado.

| Identificación | Carga (kg) | Promedio |
|----------------|------------|----------|
| 1 | 130 | 187.5 |
| 2 | 175 | |

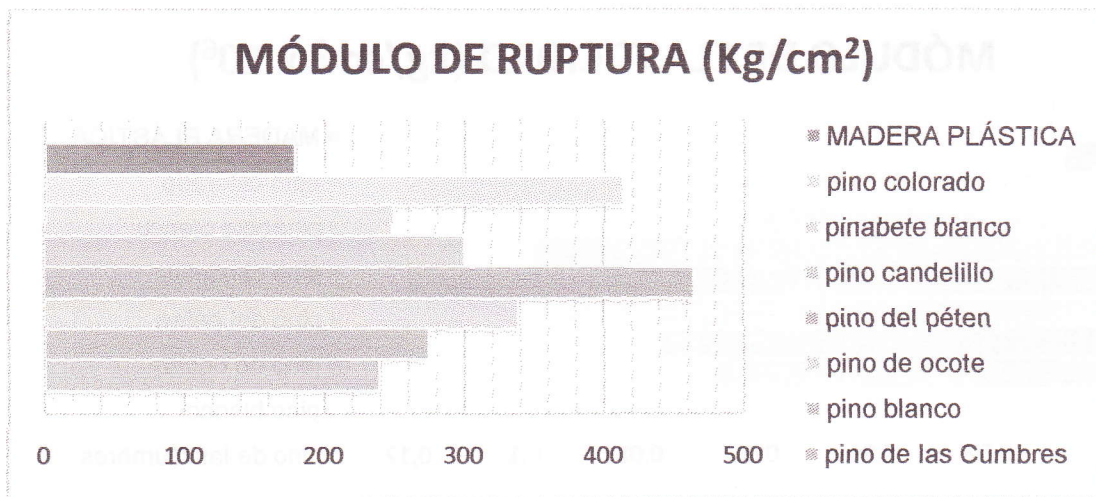
2.6 Análisis de resultados

Luego de ensayar las probetas en los distintos tipos de ensayo y realizar los cálculos correspondientes para determinar las distintas propiedades mecánicas de la madera plástica; se procedió a tabular los datos de los resultados de las propiedades mecánicas de las siete especies de pino evaluadas por el Ingeniero Mario Domingo Samayoa Flores, correspondiente a su trabajo de graduación, con el fin de hacer una comparación de los resultados obtenidos respecto a la madera plástica.

Tabla XXII. Datos de módulo de ruptura para la flexión de distintas maderas de pino y madera plástica

| FLEXIÓN | |
|---------------------|-----------------------|
| MÓDULO DE RUPTURA | |
| Nombre | (kg/cm ²) |
| pino de las cumbres | 238.6 |
| pino blanco | 273.5 |
| pino de ocote | 338.4 |
| pino del Petén | 463.9 |
| pino candelillo | 300 |
| pinabete blanco | 248.7 |
| pino colorado | 413 |
| MADERA PLÁSTICA | 177.87 |

Figura 17. Gráfica de comparación del módulo de la ruptura a la flexión de distintos tipos de madera y madera plástica

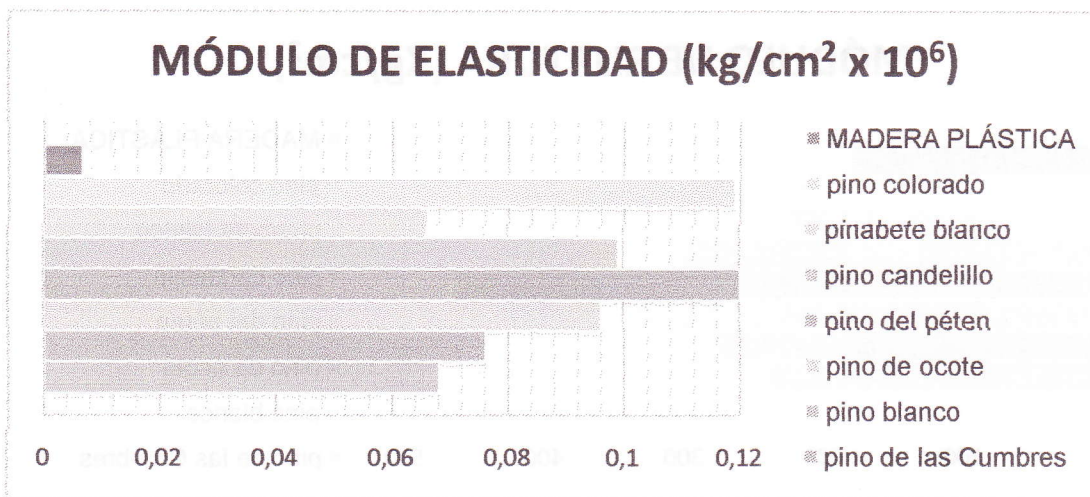


Según lo observado en estudios previos el módulo de ruptura para distintas especies de pino oscila en un rango de 230 a 470 kg/cm². Los datos calculados a partir del ensayo a flexión para obtener el módulo de ruptura dieron como resultado un valor promedio de 177.87 kg/cm²; siendo aproximadamente 60 kg/cm² menor que el valor más bajo de los datos de los pinos en comparación correspondiente al pino de las cumbres.

Tabla XXIII. Datos de módulo de elasticidad para la flexión de distintas maderas de pino y madera plástica

| FLEXIÓN | |
|-----------------------|--------------------------------------|
| MÓDULO DE ELASTICIDAD | |
| Nombre | kg/cm ² x 10 ⁶ |
| pino de las cumbres | 0.068 |
| <i>pino blanco</i> | <i>0.076</i> |
| pino de ocote | 0.096 |
| pino del Petén | 0.12 |
| pino candelillo | 0.099 |
| pinabete blanco | 0.066 |
| <i>pino colorado</i> | <i>0.119</i> |
| MADERA PLÁSTICA | 0.0064 |

Figura 18. Comparación gráfica del módulo de elasticidad a la flexión de distintos tipos de madera y madera plástica

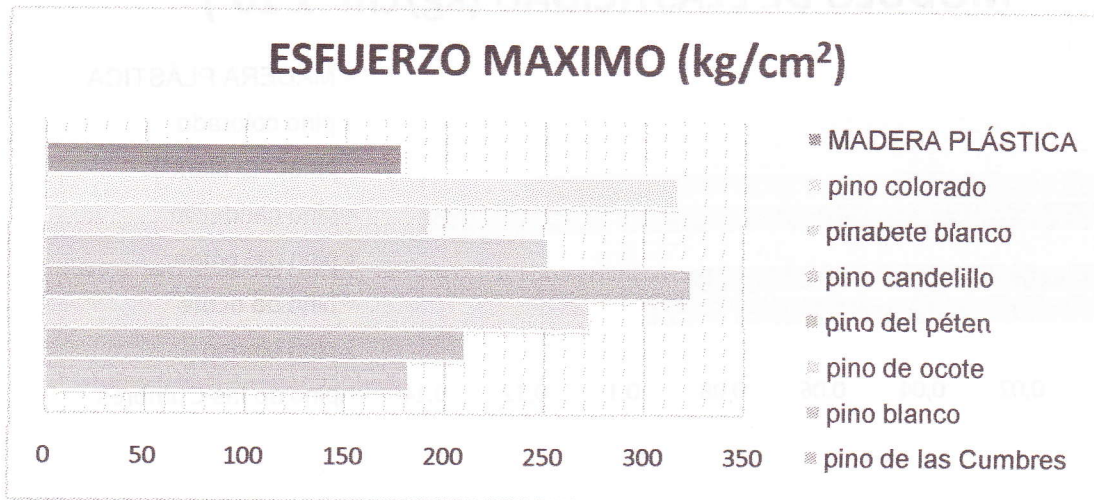


Como se muestra en la gráfica, se puede observar que el valor promedio calculado para las probetas ensayadas a flexión es 10 veces menor que el menor valor obtenido para los distintos pinos en comparación que corresponde al pinabete blanco; esto se debe a que la madera es un material compuesto de fibras, lo que hace que tenga un mejor comportamiento bajo cargas flexionantes.

Tabla XXIV. Datos de esfuerzo máximo para la prueba de compresión paralela de distintas maderas de pino y madera plástica

| COMPRESIÓN PARALELA | |
|---------------------|-----------------------|
| ESFUERZO MÁXIMO | |
| Nombre | (kg/cm ²) |
| pino de las cumbres | 181.7 |
| pino blanco | 209.8 |
| pino de ocote | 272.8 |
| pino del Petén | 323.5 |
| pino candelillo | 252.1 |
| pinabete blanco | 191.9 |
| pino colorado | 315.8 |
| MADERA PLÁSTICA | 177.43 |

Figura 19. Comparación gráfica del esfuerzo máximo a la compresión paralela de distintos tipos de madera y madera plástica

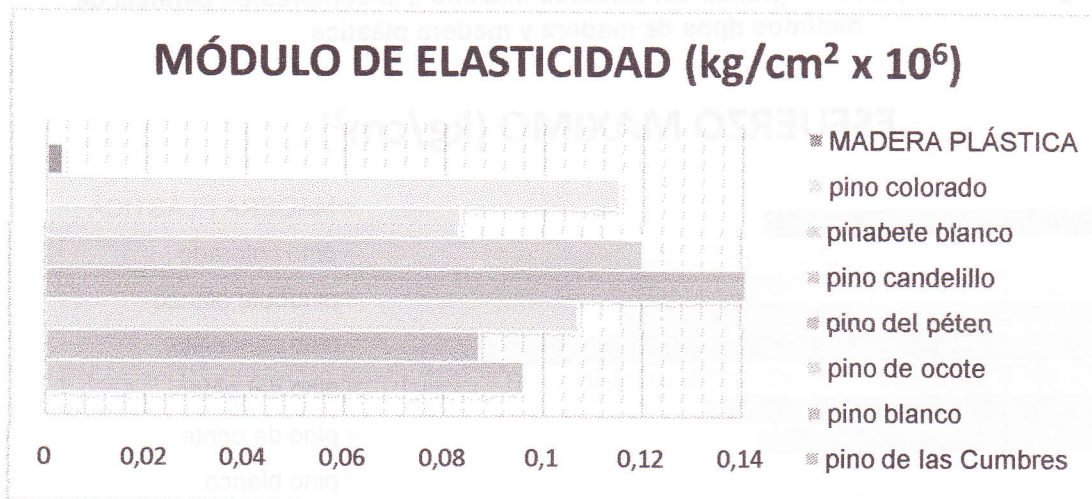


Debido a la naturaleza del material los resultados calculados para el esfuerzo máximo en el ensayo de compresión paralela, muestran un valor muy similar al de tres de las siete especies de pino en comparación; arrojando una deformación máxima promedio de 0.4928 cm.

Tabla XXV. Datos de módulo de elasticidad para la prueba de compresión paralela de distintas maderas de pino y madera plástica

| COMPRESIÓN PARALELA | |
|-----------------------|--------------------------------------|
| MÓDULO DE ELASTICIDAD | |
| Nombre | kg/cm ² x 10 ⁶ |
| pino de las cumbres | 0.096 |
| pino blanco | 0.087 |
| pino de ocote | 0.107 |
| pino del Petén | 0.148 |
| pino candelillo | 0.120 |
| pinabete blanco | 0.083 |
| pino colorado | 0.115 |
| MADERA PLÁSTICA | 0.003 |

Figura 20. Comparación gráfica del módulo de elasticidad a la prueba de compresión paralela de distintos tipos de madera y madera plástica

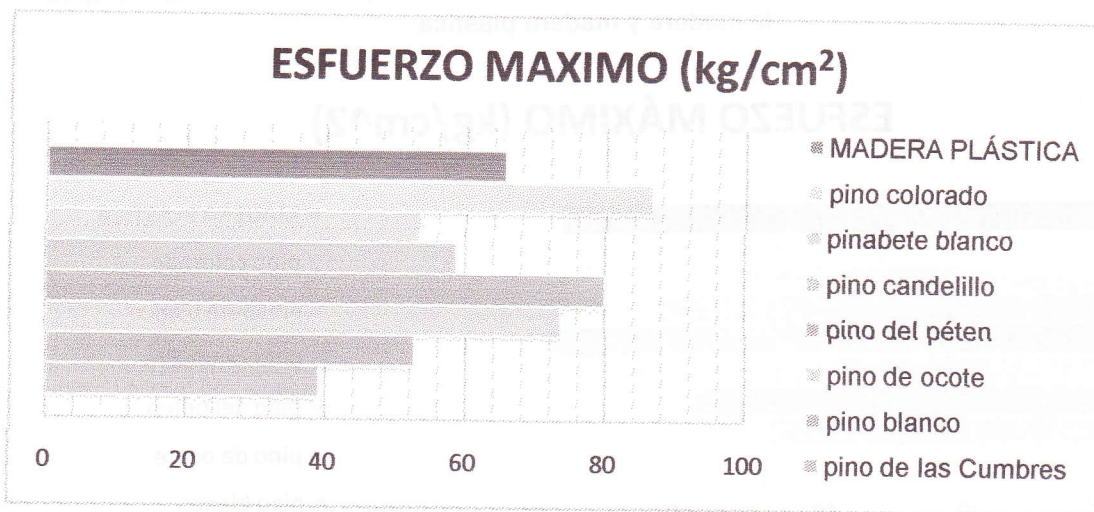


Como se puede observar en el gráfico 5. El módulo de elasticidad calculado a partir de los resultados del ensayo de compresión paralela, representado por la primera barra es aproximadamente 29 veces menor que el valor mínimo obtenido para las especies de pino en comparación, valor que corresponde al pinabete blanco.

Tabla XXVI. Datos de esfuerzo máximo para la prueba de compresión perpendicular de distintas maderas de pino y madera plástica

| COMPRESIÓN PERPENDICULAR | |
|--------------------------|-----------------------|
| ESFUERZO MÁXIMO | |
| Nombre | (kg/cm ²) |
| pino de las cumbres | 38.9 |
| pino blanco | 52.6 |
| pino de ocote | 73.6 |
| pino del Petén | 79.9 |
| pino candelillo | 58.7 |
| pinabete blanco | 53.5 |
| pino colorado | 86.6 |
| MADERA PLÁSTICA | 65.46 |

Figura 21. Comparación gráfica del esfuerzo máximo a la compresión perpendicular de distintos tipos de madera y madera plástica

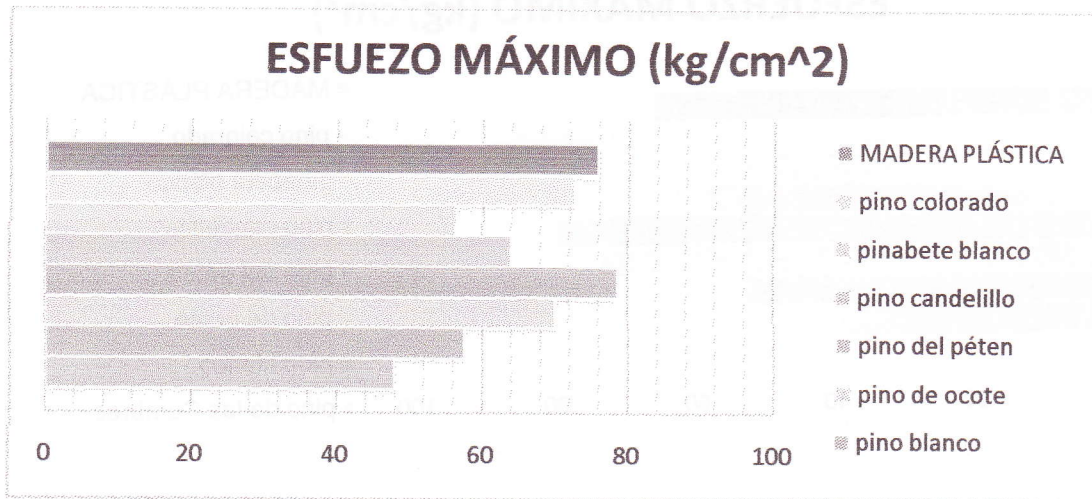


El esfuerzo máximo calculado para los datos obtenidos en el ensayo de compresión perpendicular muestran que la madera plástica supera a cuatro de las siete especies de pino en comparación y que varían respecto de los resultados calculados para compresión paralela; esto demuestra que es un material anisotrópico.

Tabla XXVII. Datos de esfuerzo máximo para la prueba de corte paralelo distintas maderas de pino y madera plástica

| CORTE PARALELO | |
|----------------------|-----------------------|
| ESFUERZO MÁXIMO | |
| Nombre | (kg/cm ²) |
| pino de las Cumbres | 47.8 |
| pino blanco | 57.4 |
| pino de ocote | 70 |
| pino del Petén | 78.6 |
| pino candelillo | 63.9 |
| pinabete blanco | 56.3 |
| <i>pino colorado</i> | 72.5 |
| MADERA PLÁSTICA | 75.64 |

Grafica 22. Comparación gráfica del esfuerzo máximo a corte paralelo de distintos tipos de madera y madera plástica

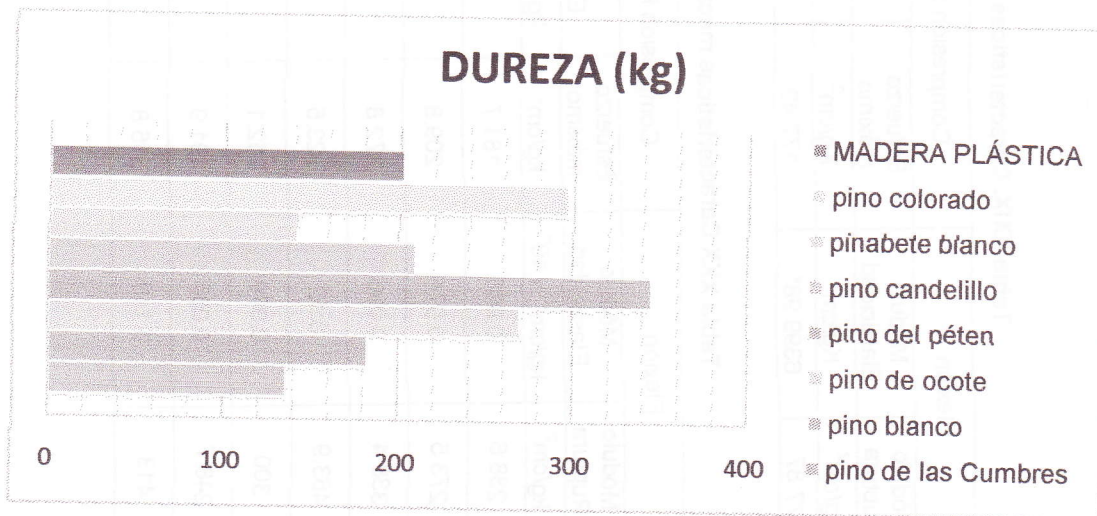


En lo que respecta al esfuerzo máximo calculado para la prueba de corte paralelo a la fibra en la madera, se puede observar en el gráfico, que la madera plástica supera a seis de las siete especies de madera de pino en comparación y que es inferior al valor del pino de peten, por muy poco en lo que respecta al valor en su esfuerzo.

Tabla XXVIII. Datos carga para la prueba de dureza a distintas maderas de pino y madera plástica

| DUREZA | |
|----------------------|-------|
| CARGA | |
| Nombre | kg |
| pino de las cumbres | 135.8 |
| pino blanco | 182.1 |
| pino de ocote | 269.8 |
| pino del Petén | 344.8 |
| pino candelillo | 209.9 |
| pinabete blanco | 142.4 |
| <i>pino colorado</i> | 296.2 |
| MADERA PLÁSTICA | 201.7 |

Figura 23. Comparación gráfica prueba de dureza a distintos tipos de madera y madera plástica



La madera plástica muestra valores promedio más altos que tres de las siete especies de la madera de pino en comparación; es importante mencionar que los valores de dureza obtenidos varían dependiendo del punto de aplicación de la indentación, ya que debido a la forma en la que se fabrican las piezas que fueron ensayadas, se pudo observar que existen zonas con vacíos que hacen que el material varíen en su capacidad de carga.

Tabla XXIX. Características mecánicas de la madera plástica.

| Especie | Flexión | | Compresión paralela | | Compresión Perpendicular | Corte Paralelo | Dureza |
|-----------------|-----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|----------------|--------|
| | Módulo Ruptura Kg/cm ² | Módulo Elasticidad Kg/cm ² | Esfuerzo máximo Kg/cm ² | Módulo Elasticidad Kg/cm ² | | | |
| Nombre Común | | | | | Esfuerzo máximo | | Kg |
| Madera Plástica | 177.87 | 6399.98* | 177.43 | 2762.3 | 65.46 | 75.64 | 201.7 |

Tabla XXX Características mecánicas de distintos tipos de madera de pino.

| Especie | Nombre Botánico | Nombre Común | Flexión | | Compresión Paralela | | Compresión Perpendicular | Corte Paralelo | Dureza |
|-------------|-----------------|---------------------|-----------------------------------|---|------------------------------------|---|--------------------------|----------------|--------|
| | | | Módulo Ruptura kg/cm ² | Módulo Elasticidad kg/cm ² x 10 ⁶ | Esfuerzo máximo kg/cm ² | Módulo Elasticidad kg/cm ² x 10 ⁶ | | | |
| Rudis | | Pino de las cumbres | 238.6 | 0.068 | 181.7 | 0.096 | 38.9 | 47.8 | 135.8 |
| Ayacahite | | Pino blanco | 273.5 | 0.076 | 209.8 | 0.087 | 52.6 | 57.4 | 182.1 |
| Mintezymae | | Pino de ocote | 338.4 | 0.096 | 272.8 | 0.107 | 73.6 | 70 | 269.8 |
| caribaea | | Pino del Petén | 463.9 | 0.12 | 323.5 | 0.148 | 79.9 | 78.6 | 344.8 |
| Tenuifolia | | Pino candelillo | 300 | 0.099 | 252.1 | 0.12 | 58.7 | 63.9 | 209.9 |
| Strobus ch. | | Pinabete blanco | 248.7 | 0.066 | 191.9 | 0.083 | 53.5 | 56.3 | 142.4 |
| Oocarpa | | Pino colorado | 413 | 0.119 | 315.8 | 0.115 | 86.6 | 72.5 | 296.2 |

CONCLUSIONES

1. La madera plástica es un material fabricado a base de distintas clases de plástico, no importando el tipo de este material, que son reciclados mediante un proceso de recolección, selección, limpieza, molido, peletizado y extruido para elaborar distintas piezas según se requiera.
2. Realizado el estudio para conocer las propiedades físico-mecánicas de la madera plástica, se obtuvo como resultado que es un material apto para soportar esfuerzos de compresión, no importando en que cara se aplique; así también resulta un material bastante apto para soportar esfuerzos cortantes, propiedad que hace que este material pueda ser empleado en conjunto o como sustituto de la madera para estos casos.
3. Las pruebas de flexión y tensión realizadas dieron como resultado valores considerablemente bajos en relación con la madera de pino; tal característica puede ser resultado de los vacíos que existen en las piezas debido al proceso de fabricación y a la naturaleza propia del material, lo cual afecta la densidad del material dando secciones cuyo interior no es uniforme, lo que se refleja en el comportamiento al momento de resistir esfuerzos flexionantes y de tracción en la madera plástica.

4. Este material es altamente utilizable en ambientes en los cuales el nivel de higroscopia es muy alto, ambientes salinos y cualquier otra condición que para la madera sería adversa, debido a que estaría en riesgo de pudrición, corrosión o sería susceptible a cualquier agente que reduciría sus propiedades físico-mecánicas (capacidad de carga, tiempo de vida útil, etc.).

5. La utilización de la madera plástica resulta beneficiosa para el medio ambiente, ya que por ser fabricada de un material de desecho, reduce los niveles de contaminación, ya que por ejemplo la empresa MADERPLAST, S.A., emplea aproximadamente tres toneladas diarias de plástico fabricando productos útiles a partir de los desechos.

RECOMENDACIONES

1. La utilización de este material en condiciones en las que se requiera poco o ningún mantenimiento (bancas para parques, pérgolas exteriores y basureros utilizados en lugares públicos), resulta ideal debido a que por estar fabricado a base de plásticos reciclados, tiene un periodo de vida casi indefinido, no necesita recubrimientos y el color del material se fija con un tinte en el proceso de fabricación.
2. La madera plástica es un material apto para la fabricación de distintos elementos que son diseñados para trabajar bajo esfuerzos de compresión y esfuerzos cortantes como columnas, pilares y elementos de unión.
3. Sabiendo que actualmente la madera plástica, en sus diferentes presentaciones actualmente está siendo utilizada en distintas aplicaciones en la construcción (vivienda, muelles, tijeras para techos, entre otros), los resultados obtenidos de los distintos ensayos realizados en el presente trabajo, deberán ser complementados con otros trabajos de graduación, dónde se involucre el estudio de elementos como paneles, columnas, tijeras, vigas, etcétera, que sean parte de sistemas constructivos, lo cual permitirá una mejor evaluación del desempeño de la madera plástica como material de construcción.

4. La madera plástica es un producto apto para ser implementado bajo condiciones atmosféricas adversas, ya que por estar fabricado a base de plástico, cuenta un periodo de vida casi indefinido, sumado a esto tiene la característica de ser un material que no es atacado por vectores ni agentes patógenos como algas y hongos.
5. El uso de la madera plástica resulta de gran impacto, ya que lejos de producir un efecto dañino al ambiente (tala inmoderada de bosques, destrucción de ecosistemas, etc.), beneficia al medio, reciclando grandes cantidades de materiales de desecho para su fabricación, reduciendo los volúmenes de contaminación. Debido a que el plástico no es un material biodegradable, permitiendo la reutilización de residuos industriales en la manufactura de productos útiles que van de usos domésticos, hasta usos de piezas que pueden ser utilizadas en aplicaciones estructurales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Normas ASTM D-143. **American Society for Testing and materials (A.S.T.M.)**. Ensayos para probetas pequeñas de Madera libre de defectos. A.S.T.M. Book o standeards part 22. 1989
2. Domínguez Sánchez, Werner Gudiel. Análisis comparativo de la influencia del secado en las propiedades físicas y mecánicas del pino colorado. Tesis Ingeniero Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2006. 125pp
3. Godínez Mansilla, William Ramón. Ingeniería de la madera en Guatemala. Tesis Ingeniero Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 1996. 92 pp.
4. Herrera Acajalon, Exequiel. Propiedades físicas-mecánicas de tres especies de madera de Petén. Tesis Ingeniero Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1991. 86pp.
5. Morales Ramírez, Evelyn Maribel. Manual de apoyo docente para desarrollar ensayos de laboratorio, relacionados con materiales de construcción. Tesis Ingeniero Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 136pp.

6. Ordoñez Morales, José Gabriel. Determinación de esfuerzos reales y valores de diseño de flexión con maderas de pino aserrada, clasificada visualmente en grado estructural. Tesis Ingeniero Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1993. 118pp.

7. Rivas Boch, Claudia Lorena. Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de cuatro especies de madera del Petén. Tesis Ingeniero Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2006. 99pp

8. Samayoa Flores, Mario Domingo. Estudio Preliminar de las propiedades físico-mecánicas de siete especies de pino en Guatemala. Tesis Ingeniero Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 1972. 85pp

ANEXOS

ANEXOS

Figura 24. Probeta, tipo de sujeción y falla de la madera plástica para el ensayo a tensión

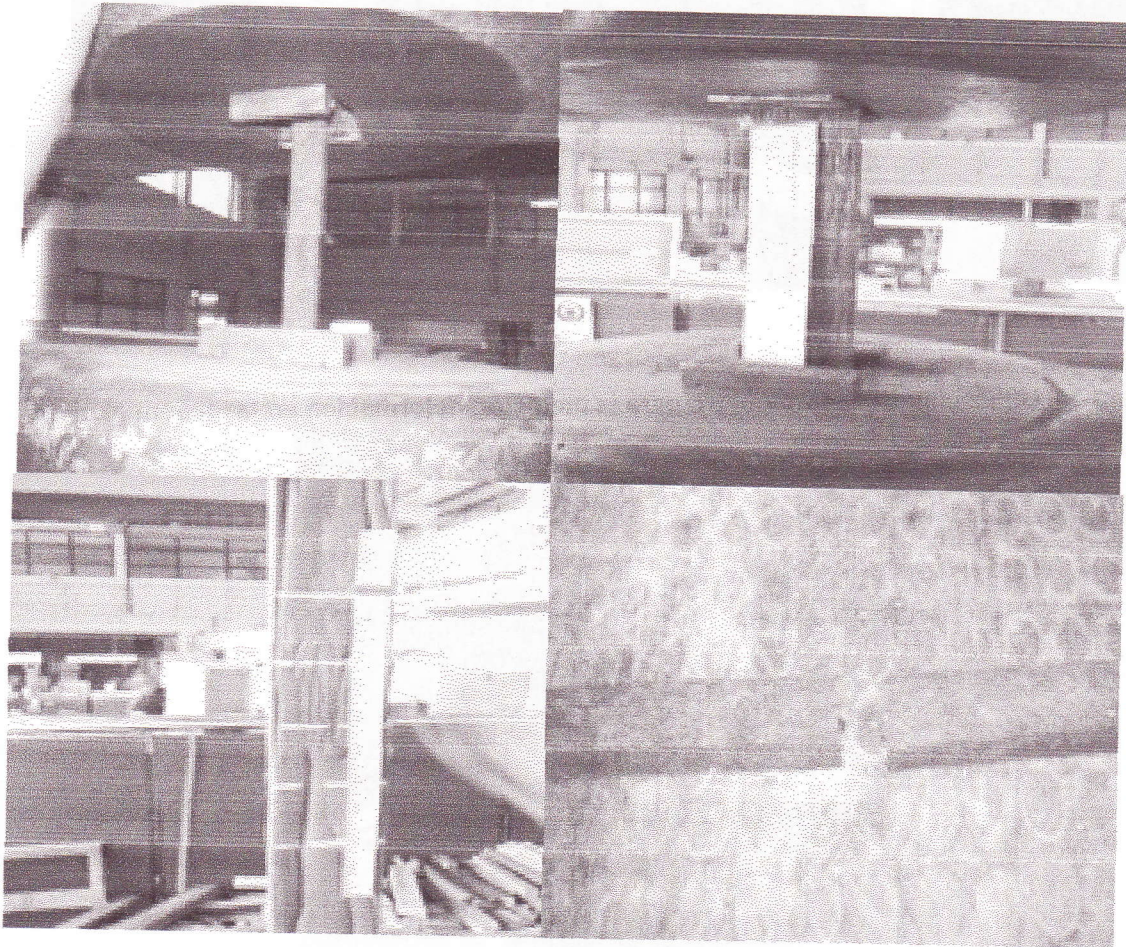


Figura 25. Ensayo a compresión paralela de la madera plástica

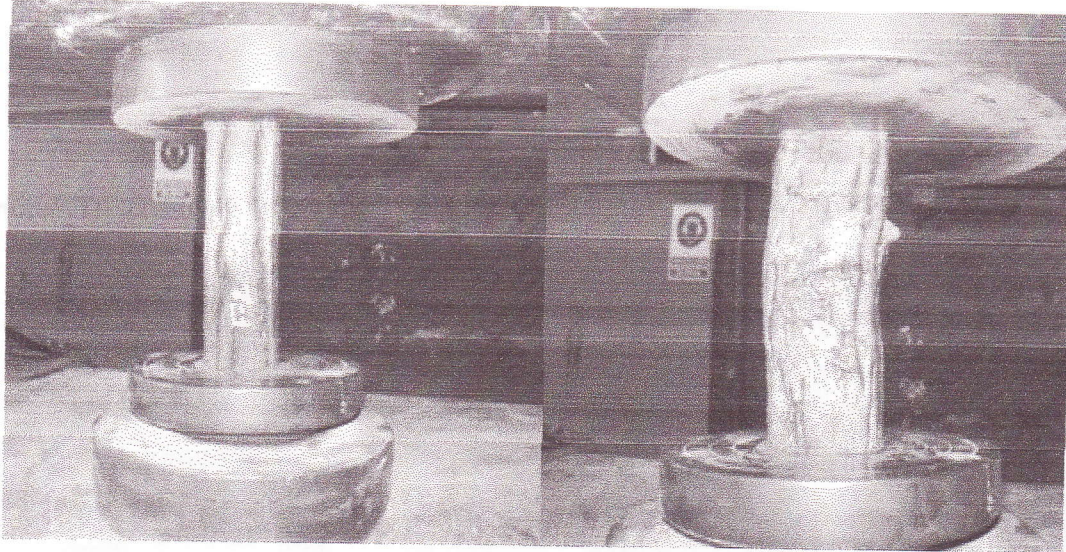


Figura 26. Utilización de deformímetro para la medición de deformación en la madera plástica



Figura 28. Prueba de tracción perpendicular a la fibra en realizado a probeta de madera plástica

Figura 27. Prueba de compresión perpendicular a la fibra en realizado a probeta de madera plástica

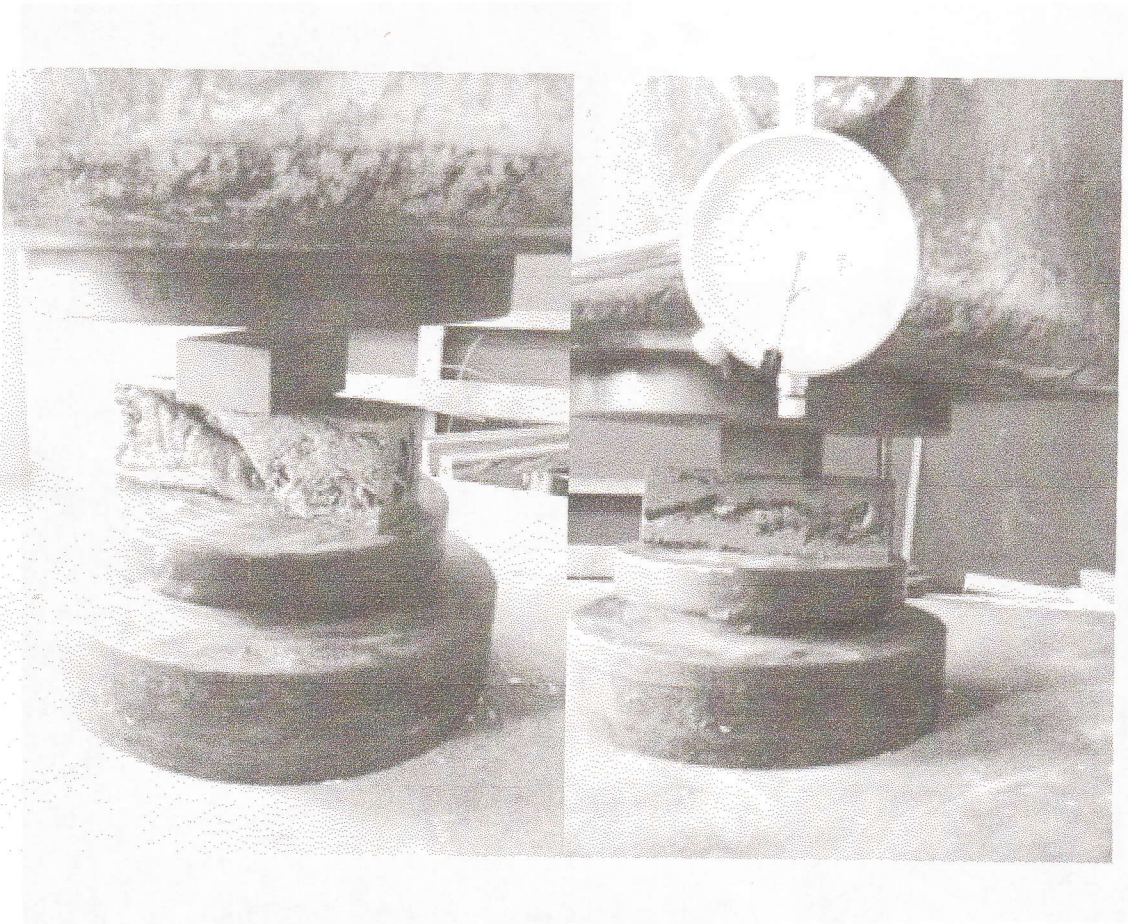


Figura 28. Probeta, sistema de ensayo y falla del espécimen sometido a la prueba de corte en madera plástica

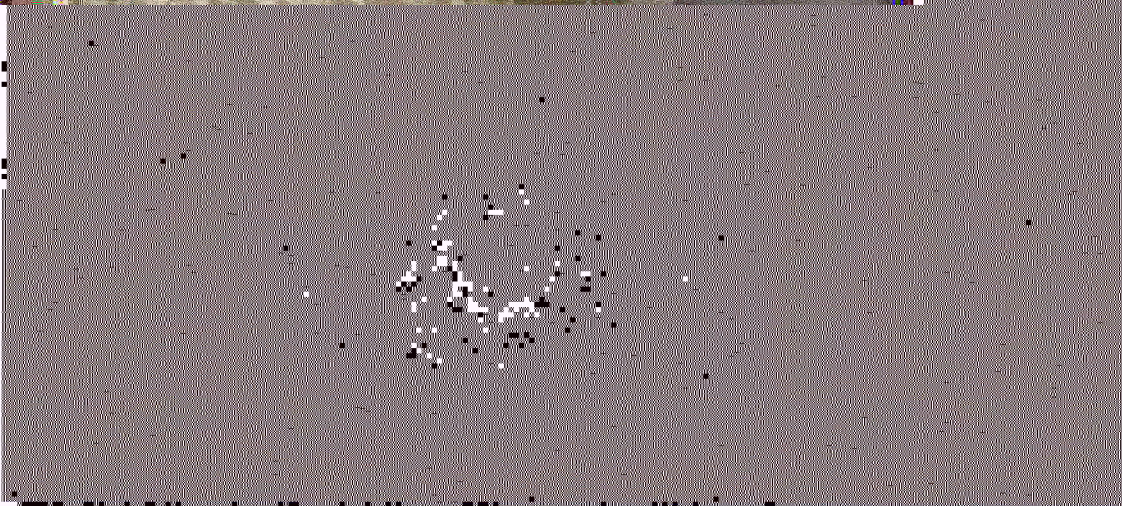
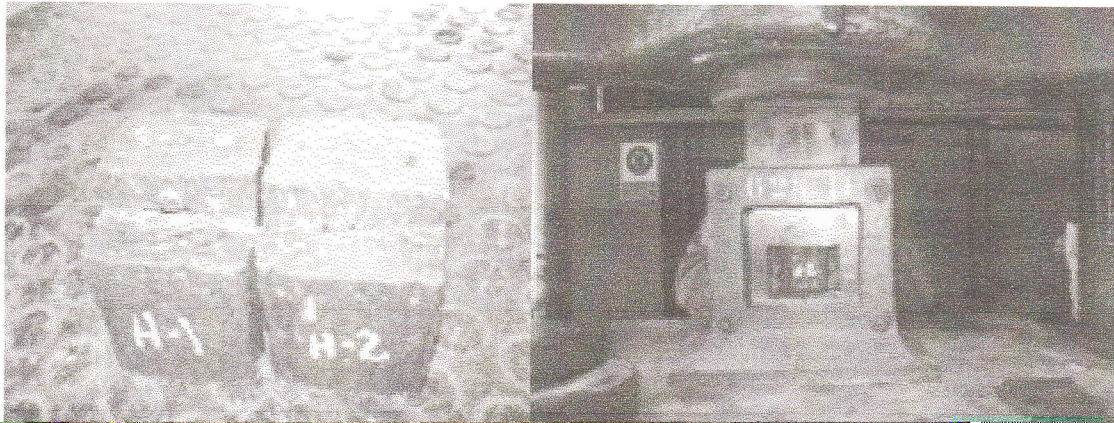


Figura 29. Desarrollo de prueba de clavaje en madera plástica hasta la falla



Figura 28. Desarrollo de prueba de flexión de clavija en madera plástica hasta la falla

Figura 30. Medición de la deflexión y falla en la prueba de flexión estática con un cabezal

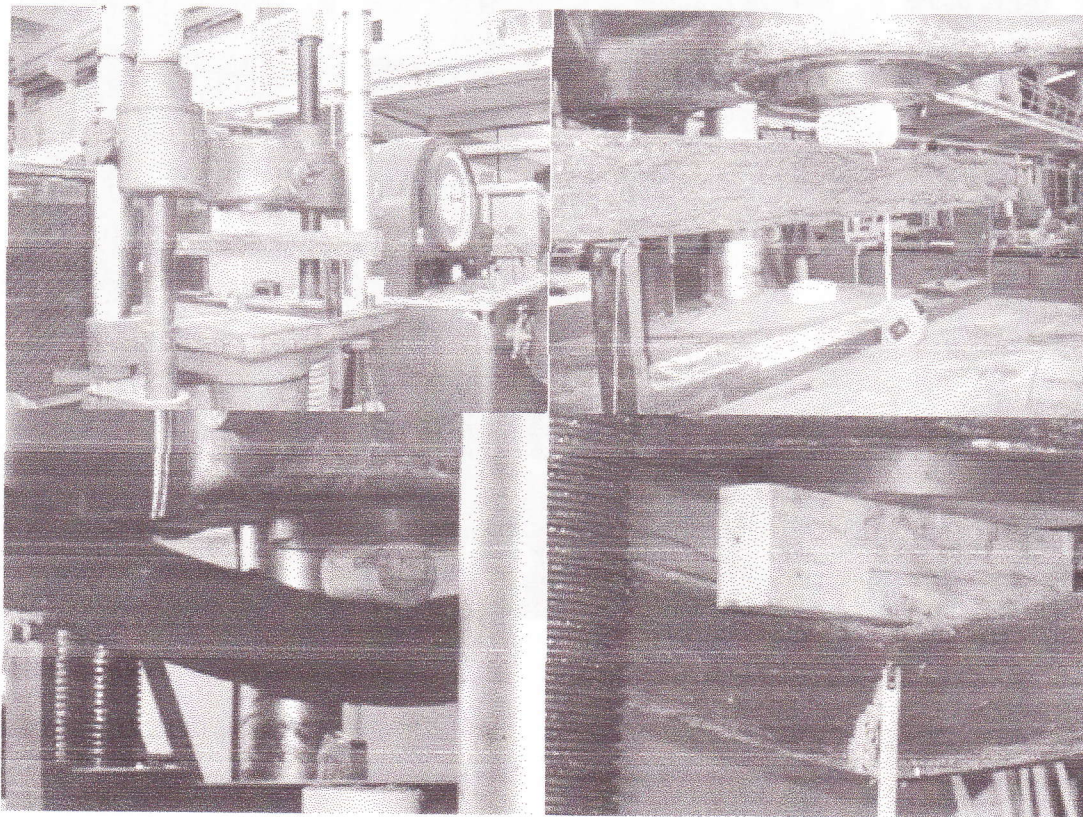


Figura 31. Medición de deflexión y tipos de falla en la madera plástica en el ensayo a flexión con dos cabezales

Figura 31. Medición de deflexión y tipos de falla en la madera plástica en el ensayo a flexión con dos cabezales

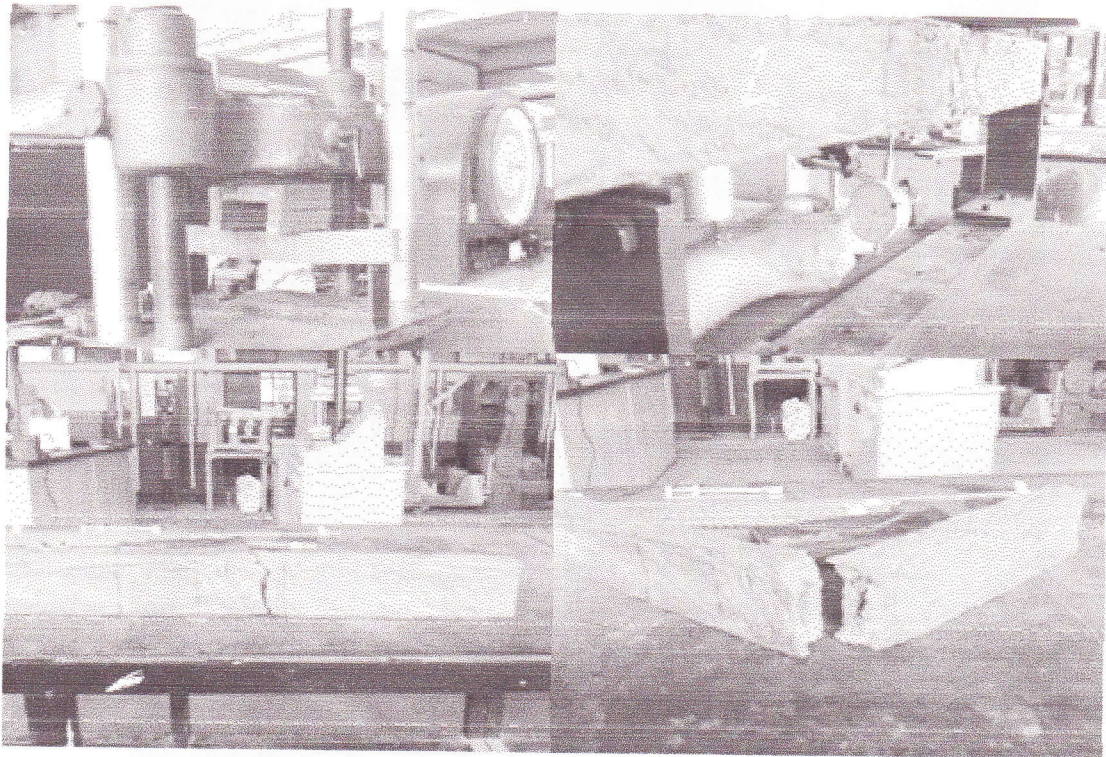


Figura 32. Ensayo de dureza para la madera plástica

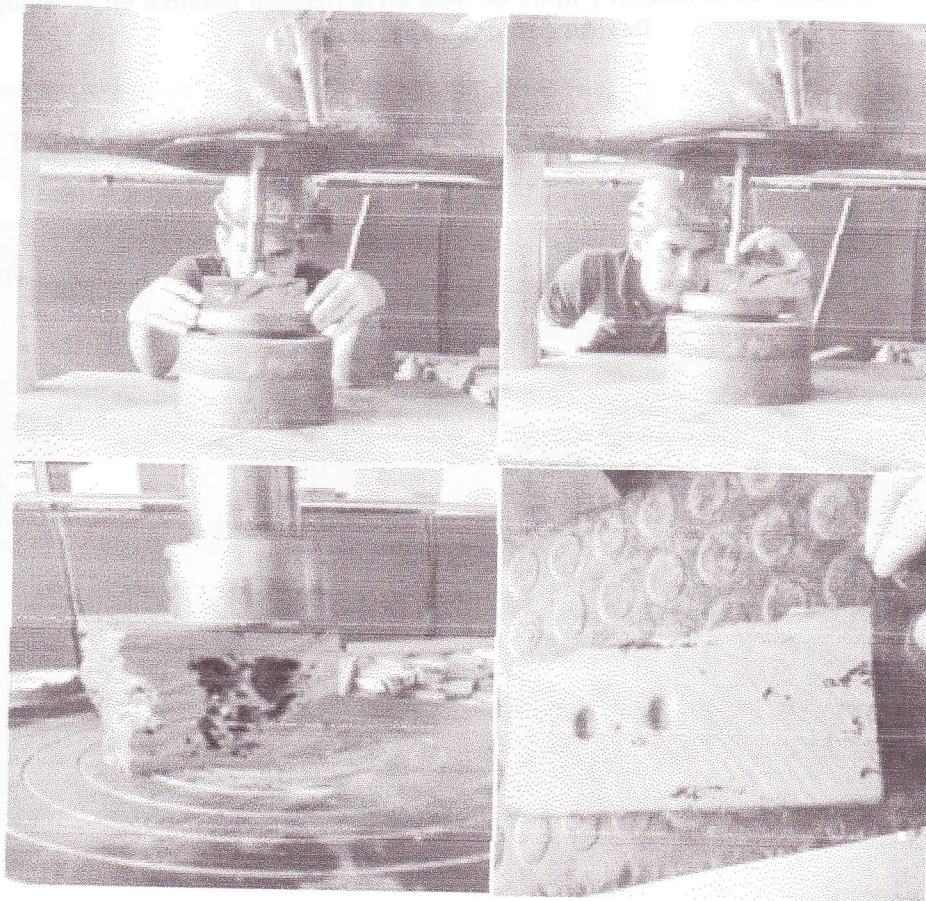


Figura 33. Prueba a la tenacidad en diferentes sentidos para la madera plástica

