



**ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA AL CORTE, TRACCIÓN, FLEXIÓN Y
COMPRESIÓN EN PROBETAS DE PLÁSTICO RECICLADO.**

**DIANA JANETH ARCHILA GONZALEZ
GLORIA CONSUELO FIGUEROA PARRA**

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ÁREA DE ESTRUCTURAS
BOGOTÁ D.C.
2017 - I**

**ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA AL CORTE, TRACCIÓN, FLEXIÓN Y
COMPRESIÓN EN PROBETAS DE PLÁSTICO RECICLADO.**

**DIANA JANETH ARCHILA GONZALEZ
GLORIA CONSUELO FIGUEROA PARRA**

Asesor Disciplinar:

ING. CIVIL. M. Sc. JOSÉ DARÍO GAVILANES

Asesor Metodológico:

Mag. SHELLEY VELÁSQUEZ

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ÁREA DE ESTRUCTURAS
BOGOTÁ D.C.
2017 - I**

TABLA DECONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
2. ANTECEDENTES.....	16
3. JUSTIFICACIÓN.....	24
4. OBJETIVOS.....	26
4.1. OBJETIVO GENERAL	26
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
5. MARCO REFERENCIAL	27
5.1. MATERIALES	27
5.1.1. Residuo	27
5.1.2. Jerarquía en la gestión de residuos.....	28
5.1.3. Plástico	29
5.1.4. Historia	30
5.1.5. Clasificación.....	31
5.1.6. Características.....	32
5.1.7. La madera	35
5.1.8. Maderas plásticas recicladas.....	37
5.1.9. Mecánica de materiales.....	45
5.2. MARCO LEGAL	58
5.2.1. Normativa sobre manejo de residuos sólidos.	58
5.2.2. ASTM Subcomité D20.20.01 – PLÁSTICOS	59
5.2.3. Normativa referente	62
5.2.4. Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente NSR-10 - Titulo G.	63
5.2.5. Acuerdo de Cartagena (Manual de diseño para maderas del grupo Andino).	65
5.2.6. NTC 3377: Ensayos de probetas pequeñas.	66
6. DISEÑO METODOLÓGICO.	69

6.1.	LINEA DE INVESTIGACIÓN.....	69
6.2.	ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN.....	69
6.3.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	69
6.4.	POBLACION Y MUESTRA	70
6.4.1.	Población.....	70
6.4.2.	Muestra.....	70
6.5.	DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	71
6.5.1.	Tipos de variables.....	71
6.6.	FASES DE LA INVESTIGACIÓN	72
6.6.1.	Fase 1: Realización de los ensayos de corte, flexión, tracción y compresión en probetas de plástico reciclado.	72
6.6.2.	Fase 2: Análisis de los datos obtenidos en los ensayos a partir de métodos estadísticos y calcular la resistencia al corte, compresión, tracción y flexión. 73	
6.6.3.	Fase 3: Describir el comportamiento mecánico de las probetas de plástico reciclado a partir del cálculo de los valores de resistencia.	73
6.7.	INSTRUMENTOS.....	73
6.8.	PRESUPUESTO	74
6.9.	CRONOGRAMA.....	75
7.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	76
7.1.	FASE 1: ENSAYOS DE CORTE, FLEXIÓN, TRACCIÓN Y COMPRESIÓN EN PROBETAS DE PLÁSTICO RECICLADO.	76
7.1.1.	Ensayo de compresión	77
7.1.2.	Ensayo a tracción	79
7.1.3.	Ensayo de flexión	81
7.1.4.	Ensayo de corte.....	83
7.2.	FASE 2: ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS A PARTIR DE MÉTODOS ESTADÍSTICOS Y CÁLCULOS LA RESISTENCIA AL CORTE, COMPRESIÓN, TRACCIÓN Y FLEXIÓN.	86
7.2.1.	Análisis estadístico de datos obtenidos en el laboratorio	86
7.2.2.	Cálculos a partir de datos primarios y análisis estadístico.....	90

7.3. FASE 3: DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LAS PROBETAS Y REFERENTES.....	100
7.3.1. Compresión	102
7.3.2. Tracción.....	105
7.3.3. Flexión	107
7.3.4. Corte.....	109
7.3.5. Graficas de barra - valores referentes de la madera	111
7.3.6. Consolidado de resultados finales para el plástico reciclado.....	114
8. CONCLUSIONES.....	115
9. RECOMENDACIONES.....	117
10. REFERENCIAS.....	119
ANEXOS	125

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Puente arqueado (ArchTruss Bridge en Albany, Nueva York).	19
Ilustración 2: Jerarquía en la gestión de residuos.	29
Ilustración 3: Historia de los plásticos	30
Ilustración 4: Composición de los envases plásticos.....	31
Ilustración 5: Las propiedades químicas más relevantes de los plásticos.....	32
Ilustración 6: Corte del tronco de un árbol y sus partes.	35
Ilustración 7: Proceso de fabricación de la madera plástica reciclada.	39
Ilustración 8: Mapa del Huila	42
Ilustración 9: Municipios: Timaná (derecha) y Pitalito (Izquierda).	42
Ilustración 10: Productos fabricados por Ferrecicles S.A.S.....	43
Ilustración 11: Puente colgante peatonal vereda el Tejar, municipio de Timaná... 45	
Ilustración 12: Relación entre la deformación unitaria y la deformación.....	48
Ilustración 13: Deformación angular.....	49
Ilustración 14: Curva esfuerzo – deformación típica para material dúctil como el acero.	50
Ilustración 15: Diagramas de comportamiento típico para materiales dúctiles y no dúctiles.	51
Ilustración 16: Diagrama esfuerzo - deformación del acero y aleación de aluminio	52
Ilustración 17: Diagrama esfuerzo - deformación de plásticos	53
Ilustración 18: Diagrama esfuerzo - deformación de plásticos	53
Ilustración 19: Diagrama esfuerzo - deformación de la madera.	54
Ilustración 20: Secciones preferenciales	66
Ilustración 21: Probetas de ensayo para compresión.....	77
Ilustración 22: Probetas de ensayo para tracción.....	79
Ilustración 23: Probetas de ensayo para Flexión.....	81
Ilustración 24: Diseño de muestra para corte – medidas probeta No. 1	83

Ilustración 25: Probetas de ensayo para corte	84
Ilustración 26: Modelo de falla de 3 puntos	95
Ilustración 27: Diagrama para cargas puntuales en el centro de la viga	96
Ilustración 28: Diagramas del eje neutro	97
Ilustración 29: Ángulo de deflexión y flecha.	98
Ilustración 30: Muestras a compresión–Curva de esfuerzo Vs Deformación.	102
Ilustración 31: Muestras de pandeo–Curva de esfuerzo Vs Deformación.....	103
Ilustración 32: Tipo de falla para probetas de Plástico Reciclado a Compresión.	104
Ilustración 33: Tipo de falla para la Madera en ensayos de Compresión	104
Ilustración 34: Muestras a tracción –Curva de esfuerzo Vs Deformación.	105
Ilustración 35: Tipo de falla para probetas de plástico reciclado en Tracción	106
Ilustración 36: Tipo de falla para la Madera en ensayos de tracción.....	106
Ilustración 37: Muestras de Flexión –Curva de esfuerzo Vs Deformación.	107
Ilustración 38: Tipo de falla para probetas de plástico reciclado Flexión.....	108
Ilustración 39: Tipo de falla para la Madera en ensayos de Flexión.....	108
Ilustración 40: Muestras de Corte –Curva de esfuerzo Vs Deformación.	109
Ilustración 41: Tipo de falla para probetas de plástico reciclado en corte	110
Ilustración 42: Tipo de falla para la Madera en ensayos de corte.	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Desechos del plástico.....	34
Tabla 2: Valores de resistencia de la madera - valores en MPa.	36
Tabla 3: Materiales usados en la fabricación de la madera plástica reciclada.	38
Tabla 4: Propiedades mecánicas de los materiales	55
Tabla 5: Normas Colombianas para residuos de plástico	58
Tabla 6: Normativa ASTM actual para Maderas Plásticas.	60
Tabla 7: Normativa colombiana de maderas - referentes para el análisis de la madera plástica reciclada.....	62
Tabla 8: Tabla G.2.2-1- Esfuerzos admisibles - Título G - NSR-10.....	63
Tabla 9: Tabla G.2.2-2- Módulos de elasticidad- Título G - NSR-10	64
Tabla 10: Clasificación por densidad según el acuerdo de Cartagena.....	65
Tabla 11: Tamaño nominal para pruebas en madera muestras pequeñas.	67
Tabla 12: Variables independientes, dependientes e intervinientes en el trabajo de investigación.....	71
Tabla 13: Presupuesto	74
Tabla 14: Muestras de compresión- Datos Primarios.....	78
Tabla 15: Muestras de compresión- Cargas de falla	78
Tabla 16: Muestras a Tracción – Datos Primarios.....	80
Tabla 17: Muestras de Tracción- Cargas de falla Fuente: Autores.	80
Tabla 18: Muestras de Flexión – Datos Primarios.....	82
Tabla 19: Muestras de flexión- Cargas de falla.	82
Tabla 20: Muestras de corte - Datos primarios Fuente: Autores.	84
Tabla 21: Muestras de Corte- Cargas de falla.....	85
Tabla 22: Ensayo de compresión - Análisis estadístico a datos de carga.....	88
Tabla 23: Ensayo de Tracción - Análisis estadístico a datos de carga.....	89
Tabla 24: Ensayo de flexión - Análisis estadístico a datos de carga.	89
Tabla 25: Ensayo de Corte - Análisis estadístico a datos de carga.....	90

Tabla 26: Densidades	90
Tabla 27: Referente para densidad según el Manual de Diseño del Grupo Andino	92
Tabla 28: Ensayo de compresión – Resultados de resistencia	93
Tabla 29: Ensayo de Tracción – Resultados de resistencia.....	94
Tabla 30: Ensayo de flexión– Resultados de resistencia	98
Tabla 31: Ensayo de Corte– Resultados de resistencia.....	100
Tabla 32: Ensayo de Compresión–Datos obtenidos de la curva esfuerzo- deformación.....	103
Tabla 33: Ensayo de Tracción–Datos obtenidos de la curva esfuerzo-deformación	105
Tabla 34: Ensayo de Flexión–Datos obtenidos de la curva esfuerzo-deformación	107
Tabla 35: Ensayo de Corte–Datos obtenidos de la curva esfuerzo-deformación	109
Tabla 36: Consolidado de propiedades mecánicas para probetas de plástico reciclado.....	114

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Referente para Densidad según el Reglamento Colombiano de Construciones Sismo Resistentes NSR-10.	91
Gráfica 2: Curva esfuerzo - deformación del plástico reciclado.....	94
Gráfica 3: Referente de Compresión Paralela según NSR-10.	111
Gráfica 4: Referente de Compresión Perpendicular según NSR-10.	111
Gráfica 5: Referente de Tracción según NSR-10.	112
Gráfica 6: Referente de flexión según NSR-10.	113
Gráfica 7: Referente de Corte según NSR-10.	113

INTRODUCCIÓN

Una de las grandes finalidades que deben alcanzar los profesionales de la construcción e ingenieros civiles, es fomentar un equilibrio entre la protección del medio ambiente y los materiales implementados en la construcción. Según el CONICET y el CEVE, hoy en día en todo el mundo existen cantidades importantes de materiales de residuos, como son los plásticos procedentes de envases descartables de bebidas y envoltorios de alimentos; estos materiales, que no son bio-degradables, actualmente son enviados a predios de rellenos sanitarios municipales o quemados en clandestinamente, generando graves problemas de contaminación ambiental, en el suelo y mar a causa de los residuos sólidos y lixiviados; y en el aire por las emisiones de gas carbónico, solo un pequeño porcentaje a nivel mundial es reciclado.¹

En este sentido los materiales plásticos, en oposición a la idea de ser considerados como contaminantes por no ser biodegradables, pueden constituirse como una alternativa de solución. Al ser reutilizados estos materiales se pretende minimizar el impacto negativo para el planeta y dadas sus características, versatilidad y funcionalidad, se plantea como opción para la creación de nuevos materiales para construcción al presentar propiedades como: durabilidad, resistencia a la corrosión, efectividad como aislante de frío, calor, ruido, bajo costo frente a otros materiales constructivos, fácil limpieza y mantenimiento, sencilla

¹Instituto de Investigación del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la República Argentina- CONICET; Centro Experimental de la Vivienda Económica- CEVE. {En línea}. 2015. {06 de 10 de 2017}. Disponible en: (<http://www.arpet.org/docs/Nuevos-materiales-para-la-construccion-los-pasticos-recicladados-Conicet.pdf>).

manipulación, rápida instalación por ser livianos y con una larga vida útil, además de ser reutilizables y reciclables.²

En julio de 1993, en la ciudad de Nueva York se formó el subcomité D20.20.01 de la ASTM sobre la madera y las formas de plástico reciclado manufacturado para desarrollar los métodos y especificaciones de prueba necesarios para los materiales de madera plástica. Este espíritu de cooperación ha llevado a trabajar con un enfoque en el desarrollo de métodos de prueba, especificaciones y criterios de aceptación de código de construcción. Las actividades de ASTM D20 en madera y formas de plástico reciclado han llevado al establecimiento de siete métodos de prueba.³

Partiendo de las evidencias y distintas investigaciones anteriormente mencionadas el objetivo principal de esta investigación es evaluar la resistencia en probetas de plástico reciclado, a partir del análisis de algunas de sus propiedades mecánicas como la resistencia al corte, tracción, flexión y compresión, por medio de ensayos de laboratorio.

En el proceso de investigación se tuvo como referentes la normas aplicadas a las maderas tradicionales utilizadas en la construcción, en este caso el Título- G del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10; el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino (también conocido como Acuerdo de Cartagena) y la NTC 3377 de ensayos de probetas pequeñas.

²LÉCTOR LAFITTE, Michael Anthony y VILLARREAL BRRAGÁN, Edson Jesús. Utilización de materiales plásticos de reciclaje como adición en la elaboración de concreto en la ciudad de Nuevo Chimbote. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero civil. Perú: Universidad Nacional del Santa. Facultad de ingeniería. 2017. p 69-70.

³SUBCOMITÉ D20.20.01- ASTM INTERNATIONAL RECYCLED PLASTIC LUMBER FEATURE– by: KRISHNASWAMY Prabhat y LAMPO Richard. Estándares de madera reciclada. {En línea}. 2001. {consultado el 07 de 10 de 2017}. Disponible en: (https://www.astm.org/SNEWS/DECEMBER_2001/wsd_dec01.html).

Los datos recopilados fueron analizados con un enfoque cuantitativo descriptivo por medio de métodos estadísticos usando medidas de localización como la media, la mediana y la variabilidad como la covarianza y la desviación estándar, permitiendo hacer una caracterización del material en cuanto a comportamientos mecánicos y como resultado final del análisis, determinar los valores de resistencia para cada propiedad mecánica.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Teniendo en cuenta la problemática de la contaminación a nivel mundial, la consolidación durante años del plástico como el material más abundante en la historia de la producción manufacturera y además de ser uno de los problemas ambientales más radicales del siglo, por los desechos plásticos que se encuentran en los océanos del planeta. En Colombia debido a su creciente producción en la industria y a su crecimiento poblacional, se ha convertido en un generador de grandes cantidades de contaminantes plásticos, producto de las múltiples acciones que a diario se realizan.

Es por esto que el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en desarrollo de su política de crecimiento económico sostenible propuesta en el Plan Nacional de Desarrollo “Hacia un Estado Comunitario”⁴ y en asociación con los sectores productivos del país, realizan esfuerzos orientados al diseño e implementación de instrumentos de gestión y autorregulación ambiental, que permitan el mejoramiento de los procesos de producción, racionalicen el uso de

⁴MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Sector Plásticos - Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y Manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo. {En línea}. 2004. {consultado 21 de 09 de 2017}. Disponible en: (<https://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2012/09/guias-ambientales-sector-plc3a1sticos>).

los recursos naturales y reduzcan los impactos ambientales originados por sus actividades.

Según la revista dinero en su artículo: Hacia un mundo que consume menos plástico: ¿Qué pasa con Colombia?⁵ Menciona: *“Según el Dane, la producción de artículos de plástico entre enero y septiembre de 2015 ha aumentado 5,2% y su capacidad de empleo en 2,6%. Comparados con el 2014 donde la producción había aumentado apenas 0,8% en el mismo periodo, la industria de los plásticos parece ir por buen camino. Sin embargo, el plástico siente fuertemente los efectos de la desaceleración mundial.”*

Por ende la industria ha enfocado sus investigaciones a la creación de nuevos materiales como alternativas de solución para ser implementados como construcciones amigables con el ambiente o bio-construcciones y así contribuir a estas políticas de desarrollo.

Actualmente los plásticos se encuentran en estudio para su uso en área de la construcción, considerando que no son biodegradables y por tanto su durabilidad, resistencia a patologías, versatilidad, funcionalidad y bajo costo contribuyen a que sea óptimo para su implementación.

La madera plástica es un material fabricado a partir de residuos de plásticos 100% reciclados seleccionados de alta calidad, de forma que se aprovechan las ventajas

⁵Hacia un mundo que consume menos plástico: ¿Qué pasa con Colombia? {en línea}. 2016. {22 de julio de 2017}. Disponible en: (<http://www.dinero.com/economia/articulo/oportunidad-para-colombia-en-el-mercado-mundial-de-plasticos-/217899>).

estéticas y calidez de la madera natural pero mejorando sus propiedades al incorporar las ventajas del plástico: alta durabilidad, sin mantenimiento.⁶

Por consiguiente esta investigación propone el análisis de algunas de sus propiedades mecánicas, (resistencia al corte, tracción, compresión, flexión), en probetas de madera plástica reciclada, teniendo como referente las normas Colombianas para las maderas usadas en construcción, como son el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Título- G y el Manual de diseño para maderas del Grupo Andino.

con el propósito de aportar información verídica de las propiedades del material, con las que se permitan conocer su comportamiento para que a futuro se le puedan dar nuevos usos en el área de la construcción, surge el siguiente cuestionamiento:

¿Cuál es el valor de la resistencia última a esfuerzos de compresión, tracción, flexión y corte en probetas de plástico reciclado?

⁶Maderpol S.A.S. {En línea}. {07 de octubre de 2017}. Disponible en: <http://maderpol.com.co/maderpolsas/definicion-coporativa/17-maderpol/9-madera-plastica.html>).

2. ANTECEDENTES

En una investigación realizada en marzo de 1997 por la Junta de Administración Integrada de residuos de California (IWMB)⁷, sobre la madera plástica reciclada (RPL), describen que es este material, cuáles son sus ventajas, desventajas, sus usos comunes, a que material puede sustituir relacionado con la Ingeniería Civil ya que en algunas indagaciones se ha indicado que puede ser usada en muros de contención, barreras de sonido, pasarelas, barandas, reductores de velocidad, entre otros.

Para las especificaciones del producto, sus tecnologías están basadas en La Sociedad Americana de Ensayos y Materiales ASTM, más específicamente el subcomité D20.20.01. Estándares de madera reciclada⁸, cuya sección se encarga de coordinar el desarrollo de métodos de prueba para perfiles tridimensionales de plástico reciclado, apoyado por miembros de la comunidad de las especificaciones estándares para algunos tipos de madera de plástica que están actualmente en curso; inicialmente el comité se concentró en los plásticos, que contenían más del 50% de resina en peso, y ahora están considerando ampliar su alcance para incluir compuestos con menos de 50% de contenido de resina. A esta investigación se unió la universidad de Rutgers en New Jersey y la universidad Estatal de Louisiana (Estados Unidos), como miembros para la verificación de los ensayos.

⁷ROJAS, Edgar. Recycled Plastic Lumber: Research and Development. The Integrated Waste Management Board (IWMB). {En línea}, Marzo de 1997. {27 de 10 2016}. Disponible en: (<http://infohouse.p2ric.org/ref/34/33788.pdf>).

⁸ KRISHNASWAMY, Prabhat. Y LAMPO, Richard. Estándares de madera reciclada. De residuos de plásticos a los mercados de puentes de madera-plástico. {En línea}, diciembre de 2001. {7 de octubre de 2017}. Disponible en: (https://www.astm.org/snews/december_2001/wsd_dec01.html).

El Departamento de California de estudios de Navegación y Vías Navegables (DBW), otorgó 100.000 dólares, como subsidio al Departamento de Transporte de California (CalTrans) a finales de 1993, que contrató la construcción de dos barreras acústicas. El Cuerpo de Ingenieros del Ejército (ACOE) realizó la construcción del avance de la productividad, junto con el Programa de Investigación de la Universidad Rutgers y 20 fabricantes de madera de plástico.

En el año 1999 Alan E. Robbins a partir de su ponencia "La Industria de la Madera Plástica; ¿A dónde vamos desde aquí?"; Establece que la Asociación de Comercio de Madera Plástica (PLTA) de Estados Unidos, tiene un objetivo que es promover el plástico en la industria maderera, desarrollar métodos de prueba, estándares de calidad e incentivar el uso de plástico reciclado con miras hacia el futuro. Para ese año se habrían establecido ocho nuevos métodos de prueba ASTM, por miembros del Comité D20 de plásticos y su subcomité ASTM D20.20.01.de Maderas plásticas recicladas. Las normas son:

- D6108-97, que normaliza el Método de prueba estándar para propiedades de compresión de madera y formas plásticas.
- D6109-97, Método de Prueba Estándar para Propiedades de Flexión de No Reforzado y Refuerzo Madera de plástico.
- D6111-97, Método de Prueba Estándar para Densidad a Granel y Gravedad Específica de Madera Plástica y Formas por desplazamiento.
- D6112-97, Método de Prueba Estándar para el Creep de Compresión y Flexión y la Rotura de Arrastre de Madera y formas plásticas.
- D6117-97, Método de prueba estándar para sujetadores mecánicos en madera de construcción y formas de plástico.
- D6341-98, Método de Prueba Estándar para la Determinación del Coeficiente Lineal de Térmico Expansión de madera de plástico y formas de madera de plástico entre -30F y 140F (-34°C y 60°C).

- D6435-99, Método de Prueba Estándar para Cizalla de Madera y Formas Plásticas y por último la E108 que analiza su Inflamabilidad.⁹

En diciembre de 2001 en el concurso del Día Mundial de Estándares sobre normas y medio ambiente, se publicó un artículo sobre las normas ASTM para la madera de plástico reciclado, realizadas por el Dr. Prabhat Krishnaswamy y Richard Lampo, donde se establecieron estándares para la madera reciclada.

El artículo presenta un estudio que ilustra el vínculo integral entre el trabajo de desarrollo de normas y los beneficios para el medio ambiente, específicamente, el desvío de grandes cantidades de residuos plásticos post-consumo de vertederos a productos útiles, al desarrollo de nuevas tecnologías y estándares que permitan la aceptación de estos productos en el mercado.

Se planteó Inicialmente la caracterización de la cantidad, los tipos, la evaluación y mejora de los métodos de recolección, separación y clasificación de plásticos en los diferentes flujos de desechos, así como en las tecnologías para el procesamiento de plásticos mezclados post-consumo. Afirman que la fabricación de RPL (Madera plástica reciclada por sus siglas en inglés) a partir de resinas post-consumo y postindustriales es prometedora ya que consume grandes cantidades de residuos de plásticos que de otro modo estarían destinados a vertederos convirtiéndolos en productos útiles y duraderos; pero la falta de normas sería un barrera para el uso de RPL por la industria de la construcción, especialmente para aplicaciones estructurales.¹⁰

⁹Alan E. Robbins. La Industria de la Madera Plástica; ¿A dónde vamos desde aquí? {En línea}, 18 de noviembre de 1999. {7 octubre de 2017}. Disponible en: (http://www.plasticlumber.org/_upload/publications/srpl99.pdf).

¹⁰ KRISHNASWAMY, Prabhat. y LAMPO, Richard. Estándares de madera reciclada. De residuos de plásticos a los mercados de puentes de madera-plástico. {En línea}, diciembre de 2001. {7 de octubre de 2017}. Disponible en: (https://www.astm.org/snews/december_2001/wsd_dec01.html)

Para promover el uso de RPL en las estructuras, se llevó a cabo proyectos de demostración cada vez de mayor complejidad y sofisticación. Los dos objetivos principales de estos proyectos eran demostrar el uso exitoso de RPL y derivar información y datos que realizaban las actividades de estándares.

Se llevaron a cabo cinco proyectos: un tablero de tablas en un paseo marítimo en Kelleys Island en Lake Erie, Ohio; el puente en Fort Leonard Wood, Mo; muelles flotantes para el evento OpSail 2000 en Nueva York, NY; plataformas elevadas en la pista de trineo y luge, Lake Placid, NY y Un puente arqueado cerca Albany, Nueva York. El más representativo fue el puente arqueado que consistió un puente de 30 pies (9,1 m) como un proyecto de demostración para investigar si RPL puede ser utilizado como reforzado estructural. Aunque el puente sólo necesitaba ser diseñado para cargas de emergencia de vehículos H-10 (10 toneladas o 9 toneladas métricas), fue diseñado y probado para carga H-15 (15 toneladas o 13,000 toneladas). Se utilizó un camión volquete completamente cargado que pesaba casi 14.000 toneladas (14.5 toneladas métricas) para probar el puente. La deflexión máxima era sólo de 1,2 pulgadas (30 mm), que es más que aceptable para tales estructuras.

Ilustración 1: Puente arqueado (ArchTruss Bridge en Albany, Nueva York).



Fuente: disponible en: https://www.astm.org/SNEWS/DECEMBER_2001/wsd_dec01.html

La Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales de la Universidad Simón Bolívar de Venezuela, en 2009 publicó un artículo de investigación titulado CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES PLÁSTICOS RECICLADOS PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA BANANERA EMPLEADOS PARA LA ELABORACIÓN DE MADERA PLÁSTICA, este fue realizado por los estudiantes Luis Santiago París Londoño y Sandra Milena González Villa, en el X CONGRESO IBEROAMERICANO DE METALURGIA Y MATERIALES IBEROMET, pertenecientes al grupo de Investigación en Materiales de Ingeniería, Universidad EAFIT Medellín, en la línea reciclaje de materiales poliméricos en Colombia.¹¹

Esta investigación hace referencia al estudio de los materiales plásticos reciclados provenientes de la industria bananera como son el polietileno de baja densidad y el Polipropileno, dichos materiales se emplean para la elaboración de madera plástica y su principal objetivo es modificar las propiedades físico – mecánicas.

Colombia se caracteriza por tener plantas de manufactura del polipropileno y polietileno de baja densidad, con capacidad de procesar de 50 a 300 toneladas de desechos plásticos aproximadamente y las zonas bananeras no son ajenas a esta situación.

El proyecto tuvo en cuenta la investigación de las maderas plásticas para ser usadas en la construcción, donde los mayores aportes están dados por parte de la industria con respecto a cómo mejorar las propiedades de la madera plástica.

Una de las investigaciones más cercana a la madera plástica reciclada fue un Análisis de las propiedades físico-mecánicas para un sustituto de madera natural elaborado a base de plásticos reciclados, realizada por el estudiante Víctor Manuel Pérez Méndez de la Universidad de San Carlos de Guatemala en Noviembre de 2010, quien presenta su trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil,

¹¹PARIS LONDOÑO, Luis Santiago. Y GONZALES VILLA, Sandra Milena. Caracterización de los materiales plásticos reciclados provenientes de la industria bananera empleados para la elaboración de madera plástica. En: Suplemento de la revista latinoamericana de Metalurgia y Materiales. Julio, 2009. S1 (4). p. 1453-1460.

en dicha investigación se realizan unas pruebas mecánicas a la madera plástica y la compara con las maderas naturales. Su objetivo es demostrar que este tipo de madera en algún momento se puede convertir en sustituto de las maderas naturales, evitando así la tala de árboles y promoviendo el cuidado al medio ambiente.¹²

Algunas de las conclusiones a las que llegó el estudiante es que las maderas plásticas son aptas para soportar esfuerzos a compresión sin importar en que cara se cargue, su soporte a los esfuerzos a corte son bastantes aptos para usarse en elementos que trabajen a cortante. 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.

En septiembre de 2013 durante los días 10, 11 y 12 se realizó la XXIX Conferencia de Arquitectura Sostenible para un futuro renovable en Múnich (Alemania), allí se discutió sobre los materiales plásticos reciclados que son usados en la producción de maderas plásticas recicladas en Brasil. Para el año 2014 Brasil debía eliminar los vertederos de basura y mejorar sus condiciones por falta de tratamiento de los lixiviados y los gases procedentes de la descomposición de los residuos, como alternativa a este problema, se plantea el reciclaje de residuos plásticos para la producción de madera plástica reciclada.

La madera plástica reciclada proviene de materias primas tales como fibras orgánicas desechadas por la industria y los plásticos de polietileno de alta densidad.

¹²PÉREZ MENDEZ, Emerson Victor. Análisis de las propiedades físico-mecánicas para un sustituto de madera natural elaborado a base de plásticos reciclados. Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero civil. Guatemala: Universidad de Guatemala. Facultad de Ingeniería Civil, 2010. p. 67.

El objetivo de la investigación implica varias etapas, la principal es el reciclaje de materiales que componen la madera plástica para así determinar la calidad del producto y sus posibles aplicaciones en la arquitectura brasileña. Una de las empresas productoras de madera plástica reciclada, solicitó llevar a cabo ensayos mecánicos de compresión en direcciones longitudinal y perpendicular al perfil, ensayos de flexión, absorción de agua y densidad del material.

Los resultados de las pruebas que se realizaron a la madera plástica fueron comparados con una madera convencional (Angelim, una especie de madera nativa), la madera plástica obtuvo como resultado una resistencia media en dirección longitudinal de 33,82 MPa, mientras que en Angelim 45,22 MPa; en perpendicular a la dirección longitudinal la resistencia promedio de la madera plástica fue de 38,63 MPa, y la Angelim, 18,23 MPa. En el ensayo de flexión las resistencias fueron de 28,88 MPa y 24,79 MPa para la madera plástica y Angelim respectivamente.¹³

La dureza de la madera plástica fue de 6020 N, mientras que Angelim 5786N. Con la prueba de absorción se obtuvo que la madera plástica tenga una tasa media de absorción de 1,15%. Para la prueba de densidad se obtuvo como resultado una densidad media de 930 kg/m³, mientras que Angelim 710 kg/m³.

En general el material mostró un buen desempeño a corte en las tres direcciones ortogonales del material. Los resultados fueron aproximadamente tres veces mayores que la resistencia de maderas coníferas, por lo tanto los investigadores indican un uso apropiado en situaciones de solicitudes a corte crítico.

El estudio se enfocó principalmente en características como la impermeabilidad, la resistencia a impactos, durabilidad, inmunidad a la acción de termitas, resistencia

¹³UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MÚNICH Y LA ORGANIZACIÓN DE PLEA - 29th Conferencia, Arquitectura Sostenible para un Futuro Renovable, Múnich, Alemania septiembre 10-12 de 2013.

a productos químicos y resistencia a la humedad. La madera plástica se proyecta como un paso importante para la reutilización de los residuos, puesto que la finalidad de la construcción es hacerlo con productos sustentables para disminuir el impacto de la industria convencional que hoy en día es la mayor generadora de residuos sólidos en el mundo. La investigación y la motivación de la utilización de la madera de plástica deben darse mediante incentivos públicos y privados, promoviendo su desarrollo en favor de los numerosos beneficios para el medio ambiente.

Así mismo el estudiante Carlos Arturo Ospina Restrepo de la ciudad de Medellín, tiene presente el auge de las maderas plásticas en el área de la ingeniería industrial y para su trabajo de grado realiza una evaluación a las propiedades mecánicas de perfiles extruidos a partir de material reciclado, en la universidad EAFIT¹⁴.

Las conclusiones obtenidas dentro de la investigación realizada promueven a mejorar la calidad del producto estandarizando los procesos técnicos e ingenieriles con respecto a las prácticas de extrusión y la compatibilidad de los materiales utilizados, pues la mezcla adecuada entre los polímeros polipropileno (PP) y polietileno (PE) favorecen las propiedades mecánicas del material reciclado. El polipropileno (PP) mejora la resistencia y el polietileno (PE) la flexibilidad, la mezcla en la que se obtuvo un mejor comportamiento frente a los ensayos de flexión, fue el de mayor porcentaje de polipropileno (PP) con un 70% y un contenido del 30% de polietileno (PE), llegando a una resistencia del 34,9 MPa. Estas pruebas aportan al proyecto datos que permiten comprender el comportamiento de este material y que tan viable es su uso en el área de la construcción.

¹⁴OSPINA RESTREPO, Carlos Arturo. Evaluación de las propiedades mecánicas de los perfiles extruidos a partir de mezclas de polímeros reciclados para la fabricación de estibas de maderas plásticas en Maderpol S.A.S., Proyecto de grado Ingeniero de Producción. Medellín: Universidad de EAFIT. Departamento de ingeniería de producción, 2014. p. 56.

3. JUSTIFICACIÓN

Para el campo de la ingeniería civil es importante la investigación de nuevos materiales de construcción teniendo en cuenta dos puntos de vista, por una parte deben cumplir con los requerimientos técnicos mínimos para garantizar la protección de la vida en las construcciones civiles y por otra que promuevan la recuperación y protección del medio ambiente.

En 2015 la ONU aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, allí se planteó que los países y sus sociedades emprendan un nuevo camino para mejorar la vida de todos sin dejar a nadie atrás, para esto se desarrollaron 17 objetivos de Desarrollo Sostenible, que incluyen desde la eliminación de la pobreza hasta el combate al cambio climático.¹⁵

El objetivo 11 menciona: "Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles", se pretende aumentar la urbanización inclusiva y sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países teniendo como proyección el año 2030.

Teniendo como referencia los objetivos a nivel mundial anteriormente mencionados y con la intención de aportar a la consecución de nuevos materiales desde la ingeniería civil, este trabajo de grado proyecta el análisis de la resistencia de un material plástico reciclado, el cual ha sido objeto de varias investigaciones ya indicadas en los antecedentes. Sin embargo pese a su versatilidad y fácil manipulación es necesario conocer sus propiedades mecánicas para prever su comportamiento frente a su utilización en sistemas constructivos viables.

¹⁵Naciones Unidas ONU. Objetivos de desarrollo sostenible. 17 objetivos para transformar nuestro mundo. {En línea}, 2015. {7 de Octubre de 2017}. Disponible en: (<http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>)

La utilización de este material puede contribuir a la disminución de contaminantes generados en los procesos constructivos actuales y a reducir la necesidad de utilizar materiales ecológicos como la madera previniendo así la tala de árboles.

En la actualidad, existen empresas entre ellas Ferrecicles y Maderpol S.A.S., que se dedican a la producción y manufacturación de estas maderas plásticas recicladas, para usos dotacionales e institucionales o para su incursión en infraestructura.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la resistencia al corte, compresión, flexión y tracción en probetas de plástico reciclado y describir su comportamiento mecánico.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar ensayos de tracción, compresión, flexión y corte a probetas de plástico reciclado, teniendo como referente la Norma Técnica Colombiana NTC 3377 para ensayos en probetas pequeñas.

Analizar los datos obtenidos a partir de métodos estadísticos y calcular la resistencia al corte, compresión, tracción y flexión.

Describir el comportamiento mecánico de las probetas de plástico reciclado a partir del cálculo de los valores de resistencia.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. MATERIALES

5.1.1. Residuo

Es aquella sustancia u objeto generado por una actividad productiva o de consumo, de la que hay que deshacerse puesto que no es objeto de interés directo de la actividad principal¹⁶.

Existe una amplia tipología de residuos por lo cual se han creado diferentes clasificaciones (naturaleza, peligrosidad, material que lo constituye), sin embargo dicha clasificación se realiza teniendo en cuenta el tratamiento y origen de dichos sobrantes, para Colombia la normativa legal estipula en la Resolución 2309 de 1986, el manejo y tratamiento de residuos especiales y en los Decretos 605 de 1996 y 1713 de 2002, el manejo y la disposición de los residuos sólidos.

En función del impacto potencial sobre el medio ambiente y su composición, ordenados de menor a mayor, se clasifican en: residuos inertes (son de tipo escombros, material de relleno, gravas, cenizas, tratamiento de mineral disecado, entre otros), residuos asimilables a urbanos (madera, papel, cartón, embalajes, plásticos, gomas, pieles, tejidos, vidrio, metales y arcillas), residuos no peligrosos (aquellos no clasificados como inertes, sin peligro representativo, entre ellos el lodo), residuos peligrosos (contienen sustancias que representan un peligro para la salud humana, los recursos naturales y el medio ambiente).¹⁷

¹⁶SANCHEZ FERRANDO, Miguel. Gestión y minimización de residuos. Madrid: FundaciónConfemetal. 2008. p.29. ISBN 9788496743342.

¹⁷Ibíd., p.31.

Según su origen podemos encontrar residuos de tipo doméstico, comercial, bio residual, constructivo, sanitario, minero y radioactivo, los cuales son generados en los hogares, industrias y fábricas, jardines y parques, obras de construcción, hospitales, actividades de extracción minera y elementos químicos radioactivos, respectivamente.

5.1.2. Jerarquía en la gestión de residuos

Este es un concepto que indica el tipo y prioridad de tratamiento que debe recibir un residuo. Su finalidad es proteger mejor el Medio Ambiente: para ello, se adoptarán medidas para favorecer los diferentes tratamientos según esta jerarquía.

Las administraciones competentes, en el desarrollo de las políticas y de la legislación en materia de prevención y gestión de residuos, aplicarán el siguiente orden de prioridad para conseguir el mejor resultado ambiental global:¹⁸

¹⁸Ibíd., p. 34.

Ilustración 2: Jerarquía en la gestión de residuos.



Fuente: Autores

5.1.3. Plástico

Proviene de la transformación de sustancias naturales, derivado del aceite o gas natural (petróleo) que sufren una transformación análoga, mediante procesos químicos, pero algunos otros son fabricados de forma sintética. Se originan de un componente básico llamado resina, la mayor parte de los plásticos son producto de

la química orgánica es decir que su componente principal es el carbono junto con el nitrógeno, hidrógeno, oxígeno y azufre.¹⁹

Por su versatilidad y facilidad de procesado, se ha convertido en un material omnipresente en la sociedad para el que en muchas aplicaciones no existe sustituto. Tiene sin embargo dos problemas, es de origen fósil y es difícil reciclar mecánicamente.²⁰

5.1.4. Historia

Ilustración 3: Historia de los plásticos



Fuente: Autores

¹⁹MEYSENBUG, Von. Tecnología de plásticos para ingenieros. Bilbao: Urmo, 1973. p.13. ISBN 9788431400194.

²⁰ALTADILL COLOMINAS, Ramón, et al. En: Reciclaje de residuos. 2ª. ed. Madrid: Ediciones Diaz de Santos S.A. 2009. p.998. ISBN 9788479788353.

5.1.5. Clasificación

Los envases de plástico muestran códigos establecidos para la identificación del 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. Los plásticos se clasifican según su composición en:²¹

Ilustración 4: Composición de los envases plásticos

Polietilentereftalato PET o PETE 1
Policloruro de vinilo o Vinilo PVC o V 3
Polietileno de alta Densidad PEAD o HDPE 2
Polietileno de baja densidad PEDB o LDPE 4
Polipropileno PP 5
Poliestireno PS 6

Fuente: Tomado y adaptado de tecnología de plásticos para ingenieros.

²¹Ibíd., p.1004.

5.1.6. Características

Ilustración 5: Las propiedades químicas más relevantes de los plásticos.²²

Resistencia al ataque químico	<ul style="list-style-type: none">• Depende de la naturaleza de los grupos funcionales característicos de cada monómero y en parte también de su estructura.
Solubilidad	<ul style="list-style-type: none">• Los polímeros termoestables son insolubles en disolvente puesto que este no puede separar las cadenas entrecruzadas, tan solo se produce un hinchamiento
Resistencia al envejecimiento	<ul style="list-style-type: none">• Generalmente son susceptibles de oxidación tanto térmica como fotoquímica, especialmente por el efecto combinado de calor, luz solar y oxígeno en condiciones atmosféricas
Estabilidad térmica	<ul style="list-style-type: none">• La gran variedad de polímeros implica que unos, como el PTFE (politetrafluoretileno), PUR, PA o epoxi, puedan usarse a más de 100-300 °C, y otros, como el PVC y el PS, solo puedan usarse por debajo de los 70 °C. El calor provoca cambios químicos diversos, despolimerización, reacciones de eliminación (pérdida de cloro en el PVC), fragmentación y reacciones de los grupos funcionales.
Permeabilidad	<ul style="list-style-type: none">• La permeabilidad a los gases es de vital importancia en el sector del envase y embalaje. Por otra parte, la permeabilidad selectiva es la base de la tecnología de membranas.
Adherencia	<ul style="list-style-type: none">• De gran relevancia en el sector de fabricación de adhesivos.

OTRAS ROPIEDADES

²²Ibíd., p. 1001- 1002.

Propiedades mecánicas	<ul style="list-style-type: none"> • La densidad, resistencia al impacto, la tracción, la tenacidad, la durabilidad, la transparencia o la rigidez, vienen determinadas también por los factores antes expuestos.
Propiedades ópticas	<ul style="list-style-type: none"> • Las principales son la transmisión de la luz, índice de refracción o número de Abbe, que influyen en la transparencia, brillo o turbidez. Los polímeros amorfos como PS o PC cuando no tienen cargas ni impurezas ofrecen la mayor transparencia. La presencia de estructuras cristalinas pueden interferir con el paso de la luz provocando turbidez a menos que sean de tamaño inferior a la longitud de onda de la luz incidente, como las esferulitas.
Propiedades eléctricas	<ul style="list-style-type: none"> • Actualmente en fase de investigación por su gran potencial en aplicaciones de alto valor añadido como circuitos electrónicos, sistemas de almacenamiento de datos, sensores y detectores, componentes eléctricos.

Fuente: ALTADILL COLOMINAS, Ramón - Reciclaje de residuos.2009.

5.1.6.1. Importancia del reciclaje plástico

Se puede mencionar como referencia que en Uruguay cada año se ponen en circulación, 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 China consume unos 37 millones de barriles de petróleo cada año. Algunos envases de plástico tardan cientos de años en degradarse y la demanda es creciente por ende la producción se incrementa cada año en un .4%.

Naciones unidas realizó un estudio fotográfico donde se obtuvieron imágenes de 18 mil restos plásticos flotando en mar abierto, debido a que los plásticos no son bio-degradables, enterrarlos o quemarlos no es la solución más óptima por tal motivo se está replanteando el manejo de este tipo de residuos con el reciclaje. Al reciclar 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.²³

Algunas ventajas del reciclaje son: el ahorro de energía, la reducción en la contaminación lo que con lleva a la conservación del medio ambiente protegiendo los recursos naturales renovables y no renovable, lo que indica que por cada kg de plástico reciclado se disminuye en 1.5 PPM las emisiones de CO₂ con un ahorro de 12 barriles de petróleo por cada tonelada métrica de plástico reciclado. Al plantear una cultura de reciclaje se reducen los costos de recolección, existe una remuneración económica favorable en la venta de reciclables y principalmente disminuye los volúmenes de residuos plásticos en el planeta²⁴.

Tabla 1: Desechos del plástico

Doméstico (20%)		Distribución (40%)		Construcción (30%)		Otros (10%)	
Fibras de relleno	47%	Bolsas y film	74%	Cables	8%	Botellas	20%
Mobiliario	22%	Flejes	2%	Ventanas	5%	Componentes automoción	25%
Cubos	4%	Cajas	10%	Tuberías	40%	Agricultura	16%
Contenedores	18%	Paletas	14%	Varios	47%	Mobiliario urbano	27%
Otros	10%					Varios	12%

Fuente: ALTADILL COLOMINAS, Ramón - Reciclaje de residuos.2009.

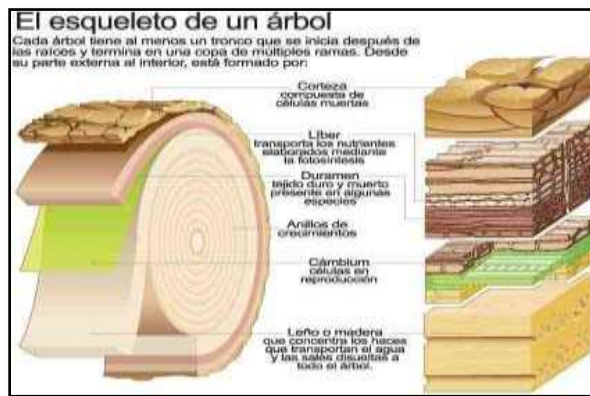
²³PÉREZ MENDEZ, Emerson Victor. Análisis de las propiedades físico-mecánicas para un sustituto de madera natural elaborado a base de plásticos reciclados. Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero civil. Guatemala: Universidad de Guatemala. Facultad de Ingeniería civil, 2010. p.30.

²⁴Ibíd., p.36.

5.1.7. La madera

Es una de las materias prima de origen vegetal que se obtiene bajo la corteza de los árboles de tallo leñoso, utilizada en la industria, la tecnología, en la construcción entre otros; es un recurso renovable, abundante, orgánico, económico y con el cual es muy fácil de trabajar, formada por fibras de celulosa, sustancia que conforma el esqueleto de los vegetales y lignina, que le proporciona rigidez y dureza.

Ilustración 6: Corte del tronco de un árbol y sus partes.



Fuente: Disponible en: <http://www.areatecnologia.com/materiales/madera>.

La Madera se descompone por parte de microorganismos tales como bacterias y hongos o daños por parte de insectos, por tal razón es importante darles un tratamiento que evite su deterioro. Se clasifica a su vez en maderas duras, blandas, resinosas, finas y prefabricadas.

5.1.7.1. Propiedades de las maderas

La disposición de las fibras de la madera, su tamaño, orientación, el contenido de humedad, el tamaño de los poros, etc., determinarán sus propiedades. Dependiendo de las propiedades serán mejor para un uso o para otro.

La madera es aislante térmico y eléctrico, buena conductora del sonido (acústico), renovable, biodegradable y reciclable dúctil, maleable y tenaz. El color es debido a las sales, colorantes y resinas. Las más oscuras son más resistentes y duraderas, la textura depende del tamaño de los poros que condiciona el tratamiento que debe recibir la madera, la densidad depende del peso y la resistencia. La flexibilidad, es la facilidad para ser curvadas en el sentido de su longitud, sin romperse ni deformarse. La dureza o resistencia al corte, depende de la mayor o menor cohesión entre sus fibras, está en relación directa entre la mayor cantidad de fibras y la menor cantidad de agua. La madera siempre es mucho más fuerte cuando se corta en la dirección de la veta; tiene una alta resistencia a la compresión, en algunos casos superior con relación a su peso, tiene baja resistencia a la tracción y moderada resistencia al corte.

Cuando hablamos de las propiedades mecánicas de la madera, tenemos que hacer hincapié en su constitución anatómica, la relación resistencia/peso propio, es 1.3 veces superior al acero y 10 veces superior al hormigón. La resistencia a la tracción y compresión paralelas a la fibra es buena en la madera. Las resistencias y módulos de elasticidad en la dirección paralela a la fibra son mucho más elevados que en la dirección perpendicular²⁵.

Tabla 2: Valores de resistencia de la madera - valores en MPa.

	FLEXIÓN	TRACCIÓN		COMPRESIÓN		CORTE	MODULO DE ELASTICIDAD
		PARALELA	PERPENDI.	PARALELA	PERPEND.		
Madera	120	120	1,5	110	28	12	110000
Hormigón	80	6		80		6	200000
Acero	1700	1700		1700		1000	2100000

Fuente: AGUADO CRESPO, Fernando. Introducción a la Construcción.1987

²⁵AGUADO CRESPO, Fernando. Introducción a la Construcción. Edit. Pueblo y Educación. La Habana, 1987. p.267

5.1.8. Maderas plásticas recicladas

Es un material fabricado a partir de residuos de plásticos 100% reciclado, obtenido a través del sistema de extrusión por baja presión a partir de combinar productos como el polipropileno (PP), el polietileno de alta y baja densidad (PAO y PBD) Y otros productos re utilizados en bajas proporciones, empleado de la misma de manera que la madera natural, principalmente, para uso en exteriores simulando las ventajas de la madera natural pero mejorada ya que se incorporan las propiedades del plástico como la alta durabilidad.

La madera fabricada con plástico reciclado se caracteriza por ser un material 100% reciclado y reciclable, que se elabora a partir del aprovechamiento de los residuos plásticos, lo que contribuye a evitar la tala de árboles; es 100% ecológico. Se usa ampliamente en exteriores por no requerir de mantenimiento, en estibas, rejillas, parques infantiles, bancas, etc.

5.1.8.1. Origen y fabricación de maderas plásticas

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 o desechos de productos de fábricas donde son descargados de sus inventarios para desecharlos.

Los plásticos que sirve para la fabricación de la madera plástica, se transportan en camiones de carga, en los cuales el material se compacta para reducir el volumen de vacíos. Los plásticos utilizados son en su mayoría bolsas de basura, manguera plástica, mezcla de polietileno, polietileno, PVC, termoplástico, estirenos y

polipropileno. Para la fabricación de la madera plástica se encuentran los siguientes materiales indicados en la Tabla 3:²⁶

Tabla 3: Materiales usados en la fabricación de la madera plástica reciclada.

Polietileno (PE):	Material químicamente más simple. Se representa con su unidad repetitiva (CH ₂ -CH ₂). Por su alta producción mundial (aproximadamente 60 millones de toneladas para el 2005), es también el más barato, siendo uno de los plásticos más comunes y químicamente inerte.
Poliestireno (PS):	Polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización de 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.
El Policloruro de vinilo o PVC	Polímero termoplástico. Se presenta como un material blanco que comienza a reblandecer alrededor de los 80 °C y se descompone sobre 140 °C. Tiene una muy buena resistencia eléctrica y a la llama. Existen dos tipos de pvc: rígido, que se utiliza para envases, ventanas, tuberías y flexible, utilizado en la realización de cables, juguetes, calzados, pavimentos, recubrimientos, techos tensados.
Termoplástico	Plástico que a temperatura ambiente, es deformable.
Estireno	Producto manufacturado que se conoce también como vinilbenceno, etenilbenceno, cinameno o feniletileno. Es un líquido incoloro de aroma dulce que se evapora fácilmente. Se fabrican productos tales como caucho, plásticos, material aislante, cañerías, partes de automóviles, envases de alimentos y revestimiento de alfombras.

Fuente: PÉREZ MENDEZ, Emerson Victor. Análisis de las propiedades físico-mecánicas para un sustituto de madera natural elaborado a base de plásticos reciclados. Trabajo de grado. 2010.

²⁶PEREZ. Óp. Cit., p.39

5.1.8.2. Proceso de fabricación de las maderas plásticas recicladas

Para la fabricación de la madera plástica reciclada se requiere de un proceso sencillo descrito a continuación en la Ilustración 7.

Ilustración 7: Proceso de fabricación de la madera plástica reciclada.



Fuente: fotografías disponibles en internet: <http://www.maderaplasticamx.com>

5.1.8.3. Tiempo en el proceso de fabricación de las maderas plásticas recicladas

El tiempo de fabricación varía según sea la sección de la madera plástica que se requiera y la longitud; otro factor que influye es la temperatura de la extrusora debido a que al iniciar el proceso la máquina posee una temperatura menor y lo que hace que el proceso se demore un poco más.

La temperatura de trabajo de una extrusora se encuentra en un rango de 2800 °C a 3500 °C por lo que el tiempo de fabricación está en un promedio aproximadamente en hora y media a dos horas.

5.1.8.4. Dimensiones de la madera plástica reciclada

Las dimensiones de la madera plástica reciclada varían, según la calidad y tamaño de la máquina de producción. Las restricciones de forma dependen de las molduras a utilizar y la longitud depende del tamaño de los tanques de almacenamiento, ya que esta se puede producir en forma continua y lo único que la limitaría es el proceso de enfriamiento.

La maquinaria principal que se utilizan es la extrusora y su molde encargado de darle forma al plástico que será reciclado, moldeando la materia prima para obtener la sección deseada de este material.²⁷

5.1.8.5. Propiedades de la madera plástica reciclada

Es un material que aprovecha todas las ventajas de los plásticos; no se pudre, no se agrieta, no se astilla, no se oxida, no proliferan bacterias, es inmune a plagas e insectos, 100% impermeable, resiste cambios de temperatura ambiental; inodora,

²⁷PEREZ. Óp. Cit., p.19

insípida, cierto grado de flexibilidad, buena resistencia térmica, baja dureza superficial y buenas propiedades dieléctricas.

Además se le atribuyen propiedades como la posibilidad de resistir ácidos, álcalis, alcoholes y solventes; Incombustible, resistente el fuego pues las llamas no deterioran ni altera sus condiciones externas o internas así que son especiales para prevenir la propagación de incendios, fuegos ocasionales y flameados; a razón de ser manufacturados en plástico de alta densidad garantiza su efectividad en el desarrollo de tareas rudas y la resistencia a fuertes impactos; es ergonómica, liviana, de fácil instalación, remoción y reutilización, no constituyen ningún riesgo en su manipulación ya que no se astillan ni se parten; son durables debido a su inmunidad a los fenómenos y efectos del medio ambiente plagas o bacterias, no se pudren ni se oxidan; su vida útil asciende a los veinte años en condiciones extremas.

Otras características de la madera plástica reciclada que motivan su utilización son a nivel estético ya que constituyen un valor agregado pues su presentación genera un impacto visual agradable; son ecológicos, la mejor manera de evitar la tala discriminada de bosques y por último y no menos importante económica a causa de que no requieren ningún tipo de mantenimiento lo que constituye la mejor opción en su relación costo-beneficio.

5.1.8.6. Proyectos en Colombia

En Colombia actualmente la empresa Ferrecicles S.A.S²⁸, desarrolla proyectos con las maderas plásticas recicladas, varios de ellos son ejecutados en el municipio de Pitalito y Timaná (Huila), municipios en los que se han dado a

²⁸CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DEL ACTO MAGDALENA – CAM. Mesa regional de reciclaje.{En línea}.2017.{Consultado el 28 de septiembre de 2017}.Disponible en : (<http://www.cam.gov.co/index.php/1374-sur-del-huila-crear%C3%A1-mesa-regional-del-reciclaje.html>).

conocer por la implementación de este tipo de material en parques infantiles, bancas, postes para cercas, usos dotacionales e institucionales.

Ilustración 8: Mapa del Huila



Ilustración 9: Municipios: Timaná (derecha) y Pitalito (Izquierda).



Fuente: Tomado de Google /<https://www.google.com.co/search?q>

A continuación, se muestra un registro fotográfico con algunos de los productos fabricados por Ferrecicles y sus respectivos usos.

Ilustración 10: Productos fabricados por Ferrecicles S.A.S.

PRODUCTO	DESCRIPCIÓN
	<p>Parques infantiles estructura totalmente en Madera plástica reciclada</p>
	<p>Puertas y postes</p>
	<p>Tablas de MPR para el tablero de puente peatonal el Tejar</p>

	<p>Señalización vertical para entidades de servicios públicos de Pitalito – Huila.</p>
	<p>Tapas para pozos sépticos del municipio de Pitalito – Huila</p>

Fuente: Registro fotográfico proporcionado por Ferrecicles S.A.S.

Uno de sus proyectos piloto es un puente peatonal colgante, ubicado en el municipio de Timaná (Huila) en su construcción se implementó el uso de material convencional como el concreto reforzado y torones de acero, dando incursión a la madera plástica reciclada; las torres y los anclajes son en concreto, el tablero y las barandas en su totalidad son en madera plástica que a su vez están soportados con cables de acero²⁹.

²⁹DONOSO, Edgar. Titanes Noticias Caracol, Ingenieros enseñan a niños de Timaná a preservar el medio ambiente por medio del reciclaje. {En línea}. 14 de marzo de 2017. {consultado el 20 de mayo de 2017}. Disponible en :(<https://noticias.caracoltv.com/es-el-momento-de-todos/ingenieros-ensenan-ninos-de-timana-preservar-el-medio-ambiente-por-medio-del-reciclaje>).

Ilustración 11: Puente colgante peatonal vereda el Tejar, municipio de Timaná.



Fuente: Registro fotográfico FERRECICLES S.A.S.

5.1.9. Mecánica de materiales

Con el estudio de la resistencia de materiales se pretende proporcionar los conocimientos básicos para analizar y diseñar estructuras sometidas a cargas, garantizando así que las estructuras no se deformen excesivamente o se fracturen, por tanto se requiere calcular las fuerzas internas que producen las deformaciones y la rotura. En general se puede afirmar que la fuerza interna produce un esfuerzo actuante que trata de romper el elemento y depende del esfuerzo resistente que tenga el elemento, del material y sus dimensiones transversales lo que evitara que se rompa.³⁰

Los esfuerzos resistentes del material deben calcularse con el fin de compararlos con los esfuerzos actuantes, los cuales no solo dependen de las dimensiones de

³⁰SALAZAR TRUJILLO, Jorge Eduardo. Resistencia de materiales básica para estudiantes de ingeniería. Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. 2017. p.11. ISBN 978-958-8280-08-0

los elementos sino de la forma como estén aplicadas las cargas, las cuales pueden producir esfuerzos normales o cortantes dependiendo de que las fuerzas o momentos actuantes sean axiales, transversales o combinados.³¹

5.1.9.1. Principios básicos de la resistencia de materiales

Los principios básicos simplifican el análisis, inicialmente indican que los materiales se consideran homogéneos haciendo caso omiso de las variaciones de composición, continuos no tiene en cuenta en los análisis las discontinuidades o poros que presentan los materiales, isótropos no se tienen en cuenta las diferencias de propiedades en distintas direcciones del material supone que sus propiedades son iguales en todas las direcciones, no tiene en cuenta las fuerzas internas de tipo interatómico existentes en los materiales, solo se consideran las fuerzas causadas por la aplicación de fuerzas externas; superposición los efectos de un sistema de fuerzas sobre el elemento son iguales a la suma de los efectos individuales de cada una de las fuerzas en el rango elástico lineal y por último el Principio de Saint Venant (científico francés), plantea que cuando a un elemento estructural se le aplica una fuerza, los esfuerzos que esta causa en puntos suficientemente alejados de ella no dependen de la forma concreta en que la carga es aplicada.³²

5.1.9.2. El esfuerzo

El esfuerzo se define aquí como la fuerza por unidad de área o la intensidad de las fuerzas distribuidas a través de una sección dada que resisten un cambio en la forma, esta se representa por la letra griega sigma (σ), que es producto de la relación entre una carga axial **P** y el área transversal **A**. Sus unidades de medida

³¹BEER, Fedinand P. JOHNSTON, Russell. Mecánica de materiales. Sexta edición. Internacional editores S.A. de C.V. Mexico. 2013. p 5. ISBN 978-607-15-0263-6

³²SALAZAR,Op Cit. p15-16.

según el sistema internacional (**SI**) son el newton (**N**) para la carga **P** y para el área **A** en metros cuadrados (**m²**), denominado pascal (**Pa**).

Los esfuerzos se dan de dos formas: normales o cortantes, para los esfuerzos normales las fuerzas se dirigen a lo largo del eje del elemento de forma perpendicular bajo una carga axial y no en todas las ocasiones los elementos estructurales son tensionados o comprimidos por las fuerzas externas que actúan sobre ellos.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (\text{Fórmula No. 1})$$

En muchas ocasiones un elemento está tratando de ser cortado. Se define el Esfuerzo cortante o de cizalladura como

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (\text{Fórmula No. 2})$$

para los elementos sometidos a esfuerzo cortante las fuerzas se aplican transversalmente y se representa con la letra griega tau τ .³³

5.1.9.3. Tipos de esfuerzos

Con la gráfica de esfuerzo – deformación, pueden obtenerse los valores de los esfuerzos a los que está sometido el elemento hasta el momento de la falla.

El esfuerzo en el límite de proporcionalidad (σ_{LP}) se halla en el punto la gráfica deja de ser lineal, proporcionalidad directa entre Esfuerzo y Deformación. Esfuerzo de fluencia (σ_y), a partir de este punto el material "fluye" produciéndose un aumento de la deformación sin necesidad de aumentar el esfuerzo, Después de la fluencia, al producirse un "endurecimiento por deformación", la energía aplicada calienta el material y adquiere capacidad de resistir más esfuerzo produciéndose un aumento de la pendiente de la gráfica hasta alcanzar el esfuerzo máximo (σ_{max}), el esfuerzo de rotura nominal ($\sigma_{ROTURA\ NOMINAL}$) se produce a partir del

³³ BEER, Op Cit. p.6.

esfuerzo máximo generando un angostamiento de la sección ensayada (Estricción) hasta que finalmente se produce la rotura nominal o esfuerzo de rotura es igual a la carga, dividida por el área inicial de la probeta³⁴.

5.1.9.4. Deformación

Se define como el cambio de forma de un cuerpo, debido a los esfuerzo, al cambio térmico, a la humedad o a otras causas; representada por la letra épsilon

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \quad (\text{Fórmula No. 3})$$

y definida como la deformación unitaria normal por unidad de longitud.

A partir de la Ley de Hooke puede calcular la deformación total que sufrirá un elemento sometido a fuerza axial con la siguiente ecuación:

$$\sigma = E\epsilon$$

(Fórmula No. 4)

$$\frac{P}{A} = E \frac{\delta}{L}$$

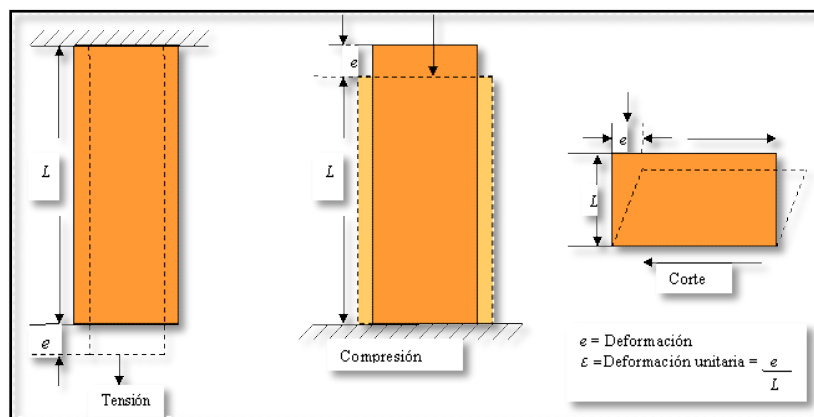
(Fórmula No. 5)

$$\delta = \frac{PL}{AE}$$

(Fórmula No. 6)

Conociendo la carga (**P**) la longitud de la barra (**L**), la sección transversal (**A**) y el módulo de elasticidad (**E**) en la zona elástica.

Ilustración 12: Relación entre la deformación unitaria y la deformación.

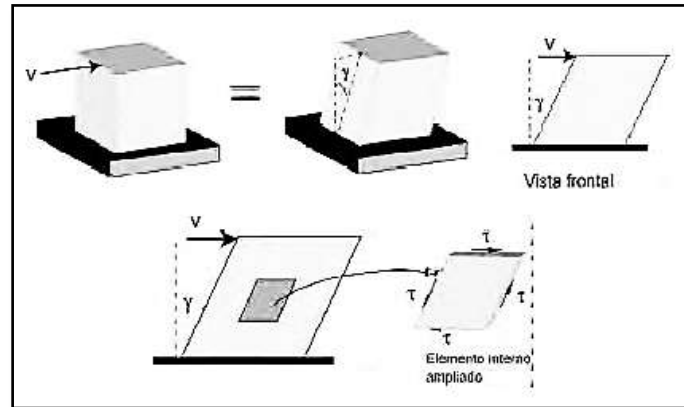


Fuente: <https://sites.google.com/site/home/unidad-2/esfuerzo-y-deformación>.

³⁴SALAZAR, Op Cit. p18.

Al producirse una distorsión como la que se ve en la figura, la deformación está dada por la variación angular que sufre el elemento al ser deformado por el esfuerzo cortante.

Ilustración 13: Deformación angular.



Fuente: SALAZAR TRUJILLO, Jorge Eduardo. Resistencia de materiales básica para estudiantes de ingeniería. 2017

Los esfuerzos cortantes y las deformaciones angulares sufridas por el elemento se definen como:

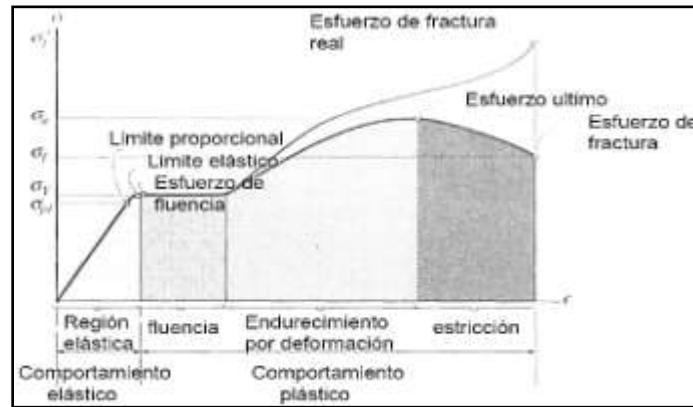
$$\tau = G\gamma \quad (\text{Fórmula No. 7})$$

Siendo **G** el módulo cortante o de rigidez del material y γ es el ángulo de la deformación en radianes.

5.1.9.5. Gráfica esfuerzo-deformación

Al graficar la deformación contra el esfuerzo se obtiene una curva que permite determinar propiedades importantes del material, ductilidad o fragilidad, fluencia y fractura.

Ilustración 14: Curva esfuerzo – deformación típica para material dúctil como el acero.



Fuente: Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales, Volumen 1.

La zona elástica es la parte donde al retirar la carga el material regresa a su forma y tamaño inicial, por lo general presenta una relación lineal, la pendiente en este tramo es el módulo de Young del material, el punto donde deja de ser lineal se llama límite proporcional, el valor de la tracción en donde termina la zona elástica, se llama límite elástico, y a menudo coincide con el límite proporcional.

La región en donde el material se comporta plásticamente, en la que continúa deformándose bajo una tracción constante que fluctúa un poco alrededor de un valor promedio llamado límite de cedencia o fluencia.

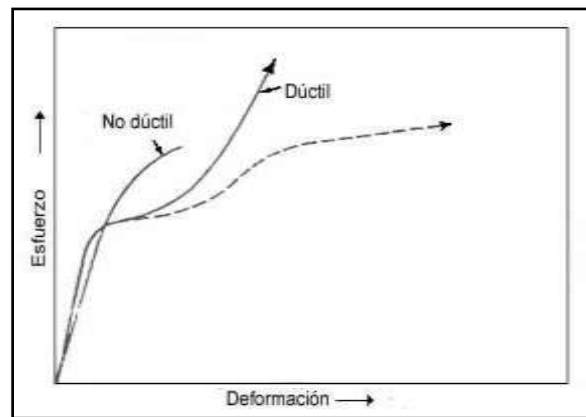
En la deformación plástica si se retira la carga aplicada, la probeta recupera sólo parcialmente su forma quedando deformada permanentemente, el endurecimiento por deformación es la zona en donde el material retoma tracción para seguir deformándose; va hasta el punto de tracción máxima, llamado por algunos tracción o resistencia última por ser el último punto útil del gráfico, los materiales frágiles no sufren estricción ni deformaciones plásticas significativas, rompiéndose

la probeta de forma brusca, terminado el ensayo se determina la carga de rotura, carga última, la máxima resistida por la probeta dividida por su sección inicial³⁵.

5.1.9.6. Comportamiento de algunos materiales

El término resistencia última está relacionado con el esfuerzo máximo que un material puede desarrollar, un material quebradizo falla por ruptura, en el caso de los materiales dúctiles, maleables o semi-viscosos, el valor obtenido para la resistencia a la compresión es un valor arbitrario que depende del grado de distorsión considerado como falla efectiva del material.

Ilustración 15: Diagramas de comportamiento típico para materiales dúctiles y no dúctiles.



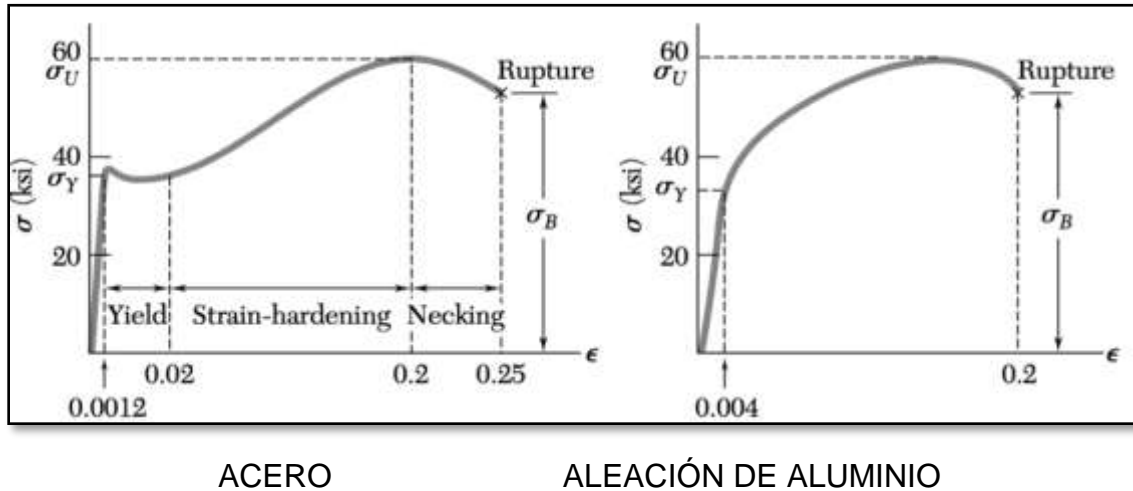
Fuente: Disponible en: <http://propiedadesmaterialesdeconstruccion.blogspot.com.co/2013/04/propiedades-mecanicas-de-los-materiales.html>.

Los materiales se dividen en dos grandes grupos dúctiles y frágiles o no dúctiles, dentro de los dúctiles están el acero y aleaciones de otros materiales, que se caracterizan por su capacidad de fluir a temperaturas normales, mientras que

³⁵UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA. Metalografía. Propiedades mecánicas de los materiales. {En línea}, 31 julio de 2012. {Revisado el 20 de septiembre de 2017}. Disponible en: (<http://blog.utp.edu.co/metalografia/2-propiedades-mecanicas-de-los-materiales/>)

algunos materiales como la madera y los concretos poseen un comportamiento de fragilidad³⁶.

Ilustración 16: Diagrama esfuerzo - deformación del acero y aleación de aluminio

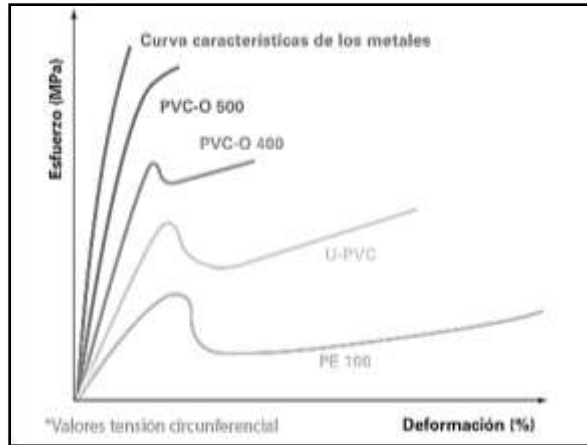


Fuente: BEER, Fedinand P. JOHNSTON, Russell. Mecánica de materiales. 2013.

Inicialmente su longitud incrementa linealmente con la carga, al alcanzar un valor crítico se experimenta una gran deformación con un incremento de carga pequeño, la elongación de la probeta después de que ha empezado a fluir cada vez es mayor hasta que alcanza un valor máximo de carga, inicia el proceso de estricción que genera un alargamiento del elemento hasta su rotura. Otro de los materiales que tiene un comportamiento dúctil son los plásticos su curva se asemeja a la del acero.

³⁶BEER, Op Cit. p.46.

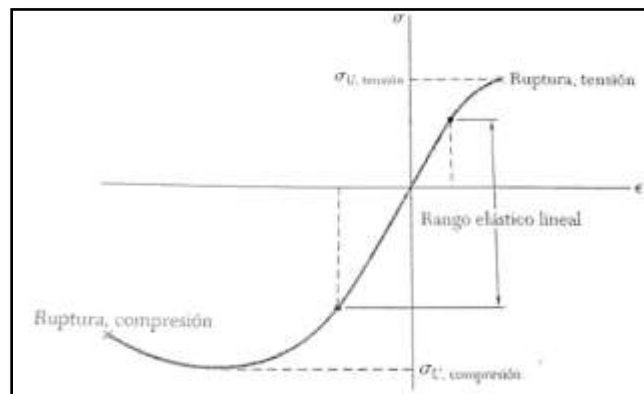
Ilustración 17: Diagrama esfuerzo - deformación de plásticos



Fuente: <http://pvcorientado.com/clasificacion-del-pvc-ofind>

Los materiales frágiles son los principales responsables de la fallas, un ejemplo es el concreto quien tiene comportamientos distintos a tracción y a compresión, en tensión primero se observa un rango elástico lineal en que la deformación es proporcional al esfuerzo, cuando alcanza el punto de cedencia se deforma rápidamente hasta la fractura; mientras que a compresión la ruptura no se da cuando se alcanza el esfuerzo máximo debido a que hay una deformación plástica que aumenta hasta la ruptura³⁷.

Ilustración 18: Diagrama esfuerzo - deformación de plásticos

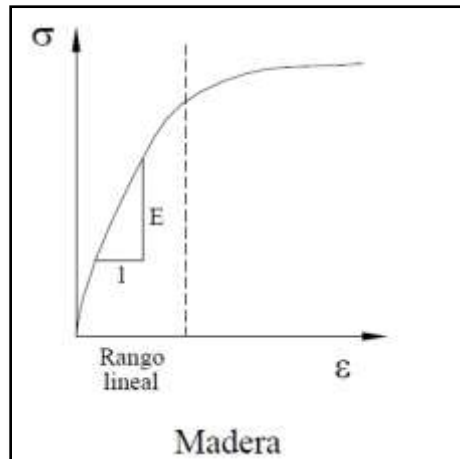


Fuentes: BEER, Fedinand P. JOHNSTON, Russell. Mecánica de materiales. 2013.

³⁷BEER, Op Cit. P.47-48.

La madera tiene un comportamiento frágil a tracción la curva es muy similar a la generada por el concreto.

Ilustración 19: Diagrama esfuerzo - deformación de la madera.



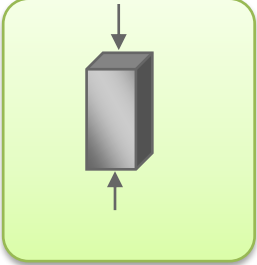
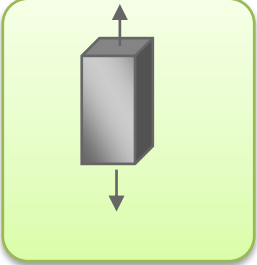
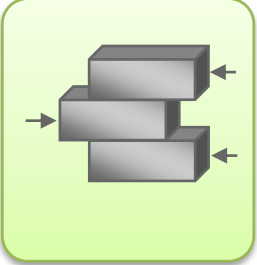
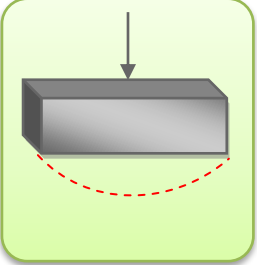
Fuente: Disponible en: <http://www.cuevadelcivil.com/2010/10/metodos-energeticos-energia-de.html?m=0>

5.1.9.7. Propiedades mecánicas de los materiales

Las propiedades mecánicas son aquellas que determinan la capacidad o aptitud para resistir fuerzas externas. Se entiende por fuerza externa cualquier sollicitación aplicada por un agente no propio del material, entre las propiedades mecánicas de los materiales se pueden mencionar las siguientes: resistencia a la tracción, compresión, corte y flexión.³⁸

³⁸ SALAZAR, Op Cit. P. 50

Tabla 4: Propiedades mecánicas de los materiales

			
<p>Resistencia a compresión; es el esfuerzo máximo que soporta un material sometido a carga axial sin romperse o sufrir aplastamiento</p>	<p>Resistencia a la tensión; es la capacidad de un material sometido a esfuerzos de tracción, sin llegar a la rotura.</p>	<p>Resistencia a corte; es la resistencia frente a una fuerza perpendicular que tiende a desgarrar o cortar el material en dos partes.</p>	<p>Resistencia a flexión; es la propiedad de los materiales de poder ser doblados o curvados en su sentido longitudinal, sin romperse debido a una carga transversal.</p>

Fuente: Autores

La rigidez, la resistencia y la ductilidad son otras propiedades mecánicas de los materiales, la rigidez es la capacidad del material a oponerse a las deformaciones, la resistencia es la capacidad de oponerse a la rotura y la ductilidad es la capacidad de deformarse antes de romperse.

La resistencia de materiales diferencia claramente la parte teórica y la experimental, la parte teórica estudia mediante modelos matemáticos (ecuaciones) los esfuerzos y deformaciones producidos en el interior de los elementos por las fuerzas aplicadas creando diagramas de cuerpo libre y de las ecuaciones de equilibrio, así como de las relaciones geométricas entre las dimensiones de los elementos y sus deformaciones tanto lineales como angulares, mientras que experimentalmente las probetas son sometidas a cargas para calcular los

esfuerzos resistentes y mediante las deformaciones producidas (acción-respuesta), lo cual permite determinar parámetros como el módulos de elasticidad y de corte.

5.1.9.8. Constantes elásticas de los materiales

El módulo de elasticidad (**E**), el módulo de corte (**G**) y la relación de Poisson (ν) se denominan constantes elásticas de los materiales³⁹.

El módulo de elasticidad (**E**); en ingeniería se diseñan estructuras con el fin de sufrir deformaciones relativamente pequeñas que involucran solo la parte inicial del diagrama que es una recta, la pendiente de la recta en la zona elástica establece la ley de Hooke o módulo de Young, también conocida así en honor a los científico ingleses Robert Hooke y Thomas Young, su unidad de medida es igual a la del esfuerzo (σ) en el sistema internacional (**SI**), Pascales (**N/m²**) dice que tan rígido es un material o la capacidad de resistir deformaciones. Por tanto el módulo de elasticidad es la relación entre el esfuerzo normal y la deformación normal que deriva de la ecuación:

$$\sigma = E\epsilon \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

(Fórmula No. 8) (Fórmula No. 9)

El coeficiente de Poisson es la relación entre la deformación lateral y la deformación axial en una probeta con carga axial, esta fue deducida por el francés Simeón Denis Poisson (1781-1840) quien encontró que la relación entre la deformación unitaria transversal y la longitudinal era constante para cada material, denominándose por tanto esta constante, Relación de Poisson (ν).

$$\nu = - \frac{\epsilon_{transversal}}{\epsilon_{longitudinal}} = \frac{\nu}{\mu} \quad (\text{Fórmula No. 10})$$

La constante que relaciona el módulo de rigidez y el módulo de Young en la ecuación:

³⁹ SALAZAR, ibid. P. 54.

$$E = 2G(\nu + 1) \quad (\text{Fórmula No. 11})$$

Donde **E** es el módulo de Young, **G** es el módulo de rigidez y ν es el coeficiente de Poisson. La fórmula sólo es válida dentro del límite elástico de un material.

$$\nu = \frac{E}{2G} - 1 \quad (\text{Fórmula No. 12})$$

El módulo de rigidez, tiene su planteamiento cuando están involucrados esfuerzos cortantes que tienden a deformar un elemento cúbico hacia la forma de un romboide que generan un ángulo (γ_{xy}) de corte, expresado en radianes. El valor de G se obtiene de la relación conocida como ley de Hooke para esfuerzos y la deformación a cortante como la deformación se define como un ángulo en radianes es adimensional;

$$\tau_{xy} = G\gamma_{xy} \quad (\text{Fórmula No. 13})$$

por consiguiente el módulo **G** se expresa en las unidades del esfuerzo cortante τ_{xy} , pascales para el **SI**.

El módulo de rigidez (**G**), de cualquier material es menor de la mitad, pero más de la tercera parte del módulo de elasticidad (**E**). Para obtener una relación entre las constantes **G**, **E** y ν , por la ley de Hooke se obtiene la relación:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (\text{Fórmula No. 14})$$

Con esta fórmula se puede determinar una de las constantes a partir de las otras dos⁴⁰;

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (\text{Fórmula No. 15}).$$

⁴⁰ BEER, Op Cit. P.80-81.

5.2. MARCO LEGAL

5.2.1. Normativa sobre manejo de residuos sólidos.

Tabla 5: Normas Colombianas para residuos de plástico⁴¹

NORMATIVIDAD SOBRE RESIDUOS SÓLIDOS EN COLOMBIA	
Decreto 1713 de 2002	Reglamenta las disposiciones generales en la prestación del servicio de aseo y en su artículo 11 establece la reglamentación necesaria para la disposición final de los materiales sólidos. ⁴²
Ley 09 de 1979	Medidas sanitarias sobre manejo de residuos sólidos.
Resolución 2309 de 1986	Define los residuos especiales, los criterios de identificación, tratamiento y registro. Establece planes de cumplimiento vigilancia y seguridad.
Resolución 541 de 1994	Reglamenta el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales concreto y agregados sueltos de construcción.
Documento CONPES 2750 de 1994	Políticas sobre manejo de residuos sólidos.
Resolución 0189 de 1994	Regulación para impedir la introducción al territorio nacional de residuos peligrosos.

⁴¹ UPME NORMATIVIDAD AMBIENTAL Y SANITARIA{en línea}. 2016 {Consultado 24 de 08 de 2016}. Disponible en: (http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/politica/normativ/normativ.htm#B M2_9_Normatividad_sobre_residuos_sólido)

⁴² ALCALDÍA DE BOGOTÁ {en línea}. 2016 {consultado 20 de 08 de 2016}. Disponible en: (<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=5542>)

Decreto 605 de 1996	Reglamenta la ley 142 de 1994. En cuanto al manejo, transporte y disposición final de residuos sólidos.
Decreto Reglamentario 2462 de 1989	Reglamenta los procedimientos sobre explotación de materiales de construcción.

Fuente: Upme Normatividad Ambiental y Sanitaria.

5.2.2. ASTM Subcomité D20.20.01 – PLÁSTICOS

En diciembre de 2001 en el concurso del Día Mundial de Estándares sobre normas y medio ambiente, Prabhat Krishnaswamy y Richard Lampo, establecieron estándares para la madera reciclada (RPL).

En julio de 1993 se formó el subcomité D20.20.01 de la ASTM sobre la madera y las formas de plástico reciclado manufacturado para desarrollar los métodos y especificaciones de prueba necesarios para los materiales de madera plástica, parte del Comité D20 sobre Plástico; compuesto por investigadores académicos y gubernamentales, ingenieros del sector privado y representantes de la fabricación de madera de plástico.

Dadas las diferencias entre RPL y madera, el desarrollo de los métodos de ensayo fue un primer paso esencial antes de desarrollar cualquier especificación que se pudiera utilizar para la compra. Estos métodos tomaron casi cuatro años y se publicaron entre 1997 y 1999. Simultáneamente con el desarrollo de métodos de prueba, el Comité ASTM D20 también emprendió el desarrollo de especificaciones de compra y distribución para RPL.

Para cada aplicación final en estructuras, como tabla de cubierta, viguetas, pilotes etc., ASTM D6662, publicada en marzo de 2001.⁴³

Tabla 6: Normativa ASTM actual para Maderas Plásticas.

NORMA	NOMBRE	ALCANCE
ASTM D7031-11	Para la evaluación de propiedades mecánicas y físicas de madera y plástico	Métodos de ensayo para evaluar propiedades de rendimiento para los productos de material compuesto de plástico-madera y detalles de los procesos de fabricación reglamentarias antes de su uso.
ASTM D6111-13	Estándar para la densidad aparente y la densidad de la madera de construcción de plástico y formas por el desplazamiento	Determinación de la densidad aparente y la gravedad específica de la madera de construcción de plástico y en su forma "tal como se fabrica, método de ensayo para evaluar las propiedades de la madera de construcción de plástico o de formas como un producto.
ASTM D6108-13	Ensayo estándar para las propiedades de compresión de plástico Madera y Formas	Determinación de las propiedades mecánicas de la madera de construcción y las formas de plástico, cuando toda la sección transversal está cargada a compresión uniforme, se emplean muestras de ensayo en la forma "tal como se fabrica" y no un método de prueba de propiedades material.
ASTM D6662-17	Especificación Estándar para Madera tablas de la cubierta de plástico a base de poliolefina	Esta especificación cubre los productos de madera plástica a base de poliolefinas para su uso como exteriores tablas de la cubierta residenciales. Detalla un procedimiento para calcular longitudes de recorrido recomendados para el espaciamiento de las viguetas de apoyo y los requisitos de funcionamiento (esfuerzo de flexión permisible, módulo de elasticidad efectivo y el ajuste de la fluencia), estabilidad dimensional, propiedades de fuego y resistencia al deslizamiento.

⁴³ KRISHNASWAMY, Prabhat. Y LAMPO, Richard. Estándares de madera reciclada. De residuos de plásticos a los mercados de puentes de madera-plástico. {En línea}, diciembre de 2001. {7 de octubre de 2017}. Disponible en: (https://www.astm.org/snews/december_2001/wsd_dec01.html)

<p>ASTM D6109-13</p>	<p>Métodos de prueba estándar para las propiedades de flexión de no reforzado y plástico reforzado con Madera y Productos Relacionados</p>	<p>Determinar las propiedades de flexión de cualquier producto de plástico madera manufacturado sólido o hueco de forma cuadrada, rectangular, redonda, o de otra sección transversal geométrica que muestra un comportamiento visco elástico. Método de prueba A-concebidos principalmente para productos en la posición “tablón” plana y Método de prueba B-concebidos principalmente para aquellos productos en la posición “viga” de canto.</p>
<p>ASTM D6112-13</p>	<p>Métodos de prueba estándar para la compresión y flexión de fluencia y la rotura por fluencia plástica de la madera de construcción y formas</p>	<p>Determinación de la fluencia y la rotura por fluencia. Propiedades de la madera de construcción y las formas de plástico, cuando se carga en compresión o flexión bajo condiciones ambientales especificadas. Se emplean muestras de ensayo en la forma “tal como se fabrica”, métodos de ensayo para evaluar propiedades de la madera de construcción de plástico o de formas como un producto y no métodos de ensayo de propiedad material.</p>
<p>ASTM D7568-17</p>	<p>Especificación estándar para polietileno-base estructural de grado plástico Madera para aplicaciones en exteriores</p>	<p>Esta especificación cubre un tipo de producto madera plástica, definido como a base de polietileno de grado estructural de plástico madera (SGPL), para uso como miembros estructurales principales, incluyendo vigas, largueros, vigas, columnas; y miembros estructurales secundarios, incluyendo de encofrado, postes y de arriostamiento; en las estructuras al aire libre como cubiertas, pasarelas, muelles y plataformas. Esta especificación es aplicable a, productos SGPL rectangulares sólidos donde resina de polietileno es la fase continua y es al menos 50% del producto (en peso). Esta especificación no es aplicable a productos de madera de plástico que contienen materiales celulósicos como aditivos, cargas o refuerzos de fibra.</p>

Fuente://www.astm.org/search/fullsite-search.html?query=D-20.20.01&toplevel=products-and-services&sublevel=standards-and-publications

5.2.3. Normativa referente

La normativa en Colombia para las maderas está dada por dos entes principales y algunas normas para ensayos, estas se incluirán a manera de referente para el desarrollo de los análisis correspondientes al material analizado, algunas de ellas con el fin de que se tenga un parámetro mínimo real para caracterizarlo.

Tabla 7: Normativa colombiana de maderas - referentes para el análisis de la madera plástica reciclada

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR -10 Título G– Estructuras de madera y estructuras guadua.	El título G establece los requisitos mínimos de resistencia y las propiedades mecánicas de la madera en el uso de la construcción. ⁴⁴
ACUERDO DE CARTAGENA (Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino)	En 1984 los países andinos adoptaron políticas regionales para el desarrollo tecnológico, para el análisis de las maderas ⁴⁵ .
NTC 3377: Ensayos de probetas pequeñas.	Indica la forma correcta de cómo se debe cortar, elegir y almacenar las maderas que serán utilizadas para los ensayos de prueba y así determinar su resistencia, módulos de elasticidad y módulo cortante.

Fuente: Autores- Tomado y adaptado de la normativa colombiana.

⁴⁴COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Ley 400. (19,agosto,1997). Por la cual se adoptan normas sobre Construcciones Sismo Resistentes. Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Diario Oficial. Bogotá, D.C. 2010. n°. 1160. p. 438.

⁴⁵CARMONA ESTANGA, Pedro, et al.Manual de diseño para las maderas del grupo andino. Lima :Junta del acuerdo de cartagena 1984.

5.2.4. Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente NSR-10 - Titulo G.

El titulo G del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, establece los requisitos mínimos de diseño estructural para edificaciones de madera, donde se garantiza que las estructuras regidas bajo la norma tendran un nivel de seguridad optimo, que cumpla con el fin primordial de salvaguardar las vidas humanas ante la ocurrencia de un siniestro.

En este trabajo de grado se tendrán unicamente como referente las tablas que contienen los valores de la resistencia a flexión, tracción, compresión y cortante de la madera, con el fin de hacer un comparativo de los resultados del material analizado, para que si en algún momento pudiese ser implementado como material de construcción, se tengan unos valores coherentes con los materiales usados convencionalmente, en este caso la madera.

Tabla 8: Tabla G.2.2-1- Esfuerzos admisibles - Título G - NSR-10

Esfuerzos admisibles, F_i , (MPa) C.H = 12%

GRUP	F_b	F_t	F_c	F_p	F_v
O	Flexión	Tensión	Compresión	Compresión ⊥	Cortante
ES1	29.5	21.0	23.0	6.0	2.0
ES2	28.5	20.0	22.0	4.3	2.0
ES3	23.0	17.0	19.0	3.8	1.6
ES4	17.0	12.0	15.0	2.8	1.5
ES5	15.0	11.0	13.0	2.0	1.1
ES6	12.5	9.0	10.0	1.5	1.3

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10
Título G. p.28.

Tabla 9: Tabla G.2.2-2- Módulos de elasticidad- Título G - NSR-10

Módulos de elasticidad longitudinal, E_i , (MPa) C.H = 12%

GRUPO	Módulo Promedio	Módulo 5° Percentil	Módulo Mínimo
	$E_{0.5}$	$E_{0.05}$	E_{Min}
ES1	18.000	13.250	7.130
ES2	18.000	13.250	7.130
ES3	14.000	11.000	5.500
ES4	12.500	10.000	5.000
ES5	11.200	8.250	4.435
ES6	9.000	6.500	3.564

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 Título G. p.28.

La selección de las maderas de los grupos ES1, ES2, ES3, ES4, ES5 y ES6 es el resultado del estudio de los valores de módulo de elasticidad MOE y los esfuerzos de 75 maderas analizadas por el SENA, Regional Antioquia–Chocó y la Universidad Nacional de Colombia, y de 178 maderas compiladas en estudios por el Profesor J. A. Lastra Rivera de la Universidad Distrital. La nomenclatura (ES) corresponde a Madera Estructural Selecta, ésta es empleada en elementos portantes principales como columnas, vigas maestras, vigas de amarre, cerchas, arcos, pórticos, viguetas de piso, dinteles, pies derechos de paneles portantes, voladizos, escaleras, cimbras y formaletas.⁴⁶

⁴⁶Clasificación de la madera –Construdata.com {en línea}. 2011 {consultado 20 de 09 de 2017}. Disponible en: (http://www.construdata.com/BancoMedios/Documentos%20PDF/Construdata169_pags18-19.pdf)

5.2.5. Acuerdo de Cartagena (Manual de diseño para maderas del grupo Andino).

En junio de 1984 los países andinos adoptaron una serie de disposiciones para la definición y adopción de políticas regionales para el desarrollo tecnológico, mediante este acuerdo se formuló los elementos básicos para el análisis de las maderas. Este acuerdo, plasma todas las características físicas de la madera y propiedades resistentes a compresión, tracción, corte y flexión que debe tener la madera para el uso en la construcción.⁴⁷.

Para efectos del presente trabajo de grado, en el que se hace un análisis de algunas de las propiedades mecánicas de la madera plástica reciclada, se tomará como referentela Tabla 10 mostrada a continuación sobre clasificación por densidad, para comparar los resultados obtenidos en los ensayos, con algunas de las especies maderables usadas en la construcción, al igual que el título G del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Tabla 10: Clasificación por densidad según el acuerdo de Cartagena.

ESPECIE		CLASIFICACIÓN DEL GRUPO ANDINO- USOS SEGÚN DENSIDAD		
Nombre científico	Nombre común	GRUPO A	GRUPO B	GRUPO C
		0,8- 1,12 g/cm ³	0,72- 0,88g/cm ³	0,40- 0,72g/cm ³
HUMIRIA BALSAMIFERA	OLOROSO	x		
SACOGLOTIS SPROSARA	CHANUL	x		
GOUPIA GLABRA	CHAQUIRO	x		
MORA MEGISTOSPERMA	NATO		x	
SYMPHONIA GLOBULIFERA	MACHARE		x	
PENTACLETHRA MACROLOBA	DORMILÓN			x
CLARISIA RACEMOSA	MORA AJI			x

Fuente: Manual de Diseño de Madera del Grupo Andino.

⁴⁷CARMONA ESTANGA, Pedro, et al. Manual de diseño para las maderas del grupo andino. Lima :Junta del acuerdo de cartagena 1984. p.5.

La anterior tabla muestra varias especies comúnmente usadas en la construcción, estos rangos de clasificación determinan el grado de dureza del material así:

TIPO A-Maderas duras

TIPO B- Maderas medianamente duras

TIPO C- Maderas blandas.

En la ilustración a continuación se relacionan los dimensionamientos de los elementos en madera que sugiera la norma lograr una mayor eficiencia economía en el proceso constructivo.

Ilustración 20: Secciones preferenciales

Dimensiones b x h (centímetros)	Uso más frecuente
4 x 4	Pie—derechos
4 x 6.5	Pie—derechos, viguetas
4 x 9	Pie—derechos, viguetas, columnas
4 x 14	Viguetas, vigas
4 x 16.5	Viguetas, vigas
4 x 19	Viguetas, vigas
4 x 24	Viguetas, vigas
6.5 x 6.5	Columnas
6.5 x 9	Columnas, vigas
9 x 9	Columnas
9 x 14	Columnas, vigas
9 x 19	Vigas
9 x 24	Vigas
9 x 29	Vigas
14 x 14	Columnas
14 x 19	Vigas, columnas
14 x 24	Vigas
14 x 29	Vigas

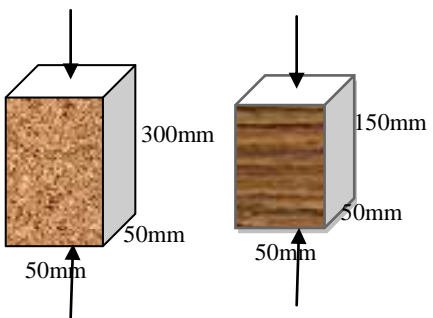
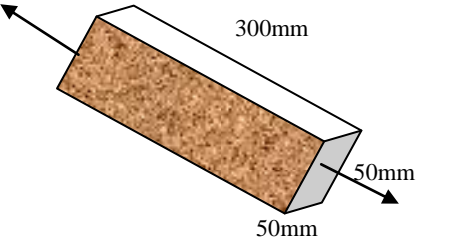
Fuente: Manual de Diseño de Madera del Grupo Andino.

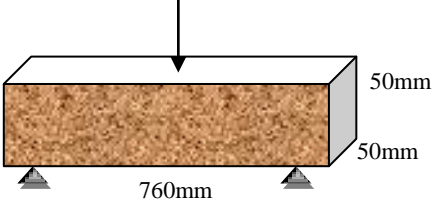
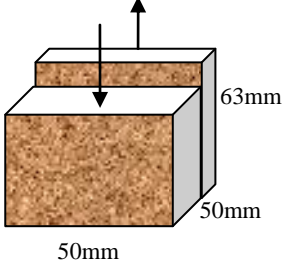
5.2.6. NTC 3377: Ensayos de probetas pequeñas.

De acuerdo a la NTC 3377 los cortes a la madera natural de la cual se extraerán las probetas para los ensayos deben ser de 60 mm x 60 mm x 1200 mm, esta se debe almacenar y dejar secar hasta que esté lista para cortar las probetas que se van a utilizar los ensayos y la cantidad exigida por la norma es de 6 a 12 elementos a fallar por cada ensayo a realizar.

Las pruebas de resistencia que se realizan a la madera son a compresión en dirección paralela a sus fibras, compresión perpendicular a las fibras, en el caso de las probetas de plástico reciclado su composición no establece dirección de fibras por tanto solo se realiza un tipo de ensayo, tracción, flexión y corte; el procedimiento es similar para los cuatro tipos de ensayos, inicialmente se miden las probetas para determinar área de aplicación de la fuerza y su volumen, posteriormente se pesan y con estos datos se obtiene su densidad. Posteriormente con los equipos de prueba se genera una carga constante en kilo newton (kN) sobre la probeta y con el deformimetro se miden las deformaciones en milímetros (mm) llevándola hasta la falla y con estos datos se obtiene los tipos de esfuerzos, la gráfica esfuerzo deformación y las constantes elásticas del material que permiten conocer su comportamiento frente a las diferentes sollicitaciones.

Tabla 11: Tamaño nominal para pruebas en madera muestras pequeñas.

ENSAYO	DESCRIPCIÓN	GRÁFICO
COMPRESIÓN	El tamaño de las probetas a compresión paralela a sus fibras es de 50mm * 50mm * 300mm, mientras que el tamaño de para la compresión perpendicular es de 50mm * 50mm * 150mm.	
TENSIÓN O TRACCIÓN	El tamaño de las probetas para pruebas de tracción son de 50mm * 50mm * 300mm.	

<p>FLEXIÓN</p>	<p>El tamaño de las probetas a flexión es de 50mm * 50mm * 760mm, la deflexión no debe superar los 150mm o su resistencia no debe ser menor a 890 N según la NTC.3377.</p>	
<p>CORTE</p>	<p>El tamaño de las probetas para pruebas de corte es de 50mm * 50mm * 63mm</p>	

Fuente: Norma Técnica Colombiana. NTC 3377- Maderas. Ensayo con probetas pequeñas.

6. DISEÑO METODOLÓGICO.

6.1. LINEA DE INVESTIGACIÓN

Este trabajo de grado es una investigación aplicada al comportamiento mecánico de las maderas plásticas recicladas, donde por medio experimental se pretende hacer un análisis de la resistencia de algunas de sus propiedades mecánicas. Por lo tanto su línea investigativa son las estructuras, basadas en las obras civiles que motivan el desarrollo sostenible y mejoran la calidad de vida, mediante la creación y aplicación de nuevos materiales.

6.2. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

El enfoque de esta investigación está dirigido dentro de un tipo cuantitativo, debido a que se va a centrar en la recolección de información de aspectos observables, susceptibles de una cuantificación para evidenciar por medio de análisis los resultados obtenidos.

Este enfoque utiliza la lógica deductiva que comienza con la teoría y de esta se derivan hipótesis que el investigador busca someter a prueba, en el caso de esta investigación, determinar la resistencia del material plástico reciclado.

6.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación desarrollada en este trabajo es descriptiva y experimental, se inicia con una identificación de comportamientos de otros materiales usados en la construcción, luego se realizan ensayos a las probetas que serán sometidos a fuerzas de tracción, compresión, flexión y corte, en los q mediante la variación

de esfuerzos aplicados y basados en un análisis de estos resultados, se podrá determinar de la resistencia de las probetas de plástico reciclado.

6.4. POBLACION Y MUESTRA

6.4.1. Población

Corresponde a un conjunto de 24 probetas cantidad mínima de elementos exigidos por la norma, extraídas al azar de 10 perfiles prefabricados en plástico reciclado de dimensiones 8 cm x 8 cm x 100 cm, lo que determina una población de muestreo de tipo finito.

6.4.2. Muestra

Para efectos de la ejecución de los ensayos, se determinará como muestra a una cantidad sugerida por la NTC 3377 - Ensayos de Probetas Pequeñas, donde relaciona que mínimo se deben ensayar 6 elementos en cada prueba realizada para tener mayor certeza en los datos tomados, para un total de 24 probetas de madera plástica reciclada.

6.4.2.1. Tipo de muestra

Para este trabajo se considera que la muestra es de tipo aleatorio simple por tratarse de un suministro de muestras elegidas al azar con similares características en su composición con la misma posibilidad de uso.

Se eligieron las 24 probetas de manera aleatoria del grupo total de la población para evaluar su resistencia al aplicarles un esfuerzo.

6.5. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

6.5.1. Tipos de variables

Dentro de las variables aplicadas al trabajo de grado se encuentran de diferentes tipos, dependientes, independientes e intervinientes.

Tabla 12: Variables independientes, dependientes e intervinientes en el trabajo de investigación.

	Variable	Indicador	Descripción	Medición
INDEPENDIENTE	Resistencia del material	Resistencia a corte, tracción, flexión y compresión.	Ensayos de laboratorio con quipos diseñados para tal fin	kg/cm ²
	Dimensiones de probetas	Área de aplicación de la fuerza.	Son elementos extruidos y la variación en tamaño depende del molde.	cm ²
	Cargas aplicadas	Esfuerzos de aplicación.	Depende de los equipos disponibles en el laboratorio de la universidad.	MPa
	Parámetros mecánicos	Relación de Poisson (ν), módulo de elasticidad (E), módulo de rigidez (G)	Son valores que se obtiene a partir de los de los ensayos de laboratorio definidos como Constantes elásticas de los materiales	MPa
DEPENDIENTES	Instalación del elemento	Mejor distribución de los elementos.	Adecuada elección e instalación de los elementos para mayor optimización.	

	Funcionalidad	Espacios adecuados	Las dimensiones de los elementos deben ser acordes a los espacios que se requieren para una vivienda óptima.	
INTERVINIENTES	Humedad	Porcentaje de humedad	Este tipo de variables afectan en mayor o menor medida, según la calidad y manejo del material base y el método de fabricación.	%
	Temperatura	Cambios climáticos		°C
	Método de fabricación.	Método de extrusión		
	Resinas y aditivos.	Porcentaje de aditivos		%

Fuente: Autores

6.6. FASES DE LA INVESTIGACIÓN

Para cumplir con el objetivo general de esta investigación se pretende realizar una serie de actividades distribuidas en tres fases:

6.6.1. Fase 1: Realización de los ensayos de corte, flexión, tracción y compresión en probetas de plástico reciclado.

Actividad 1: Ensayo de corte en probetas de plástico reciclado.

Actividad 2: Ensayo a flexión en probetas de plástico reciclado.

Actividad 3: Ensayo a tracción en probetas de plástico reciclado.

Actividad 4: Ensayo a compresión en probetas de plástico reciclado.

6.6.2. Fase 2: Análisis de los datos obtenidos en los ensayos a partir de métodos estadísticos y calcular la resistencia al corte, compresión, tracción y flexión.

Actividad 1: Análisis estadístico de los datos primarios obtenidos en los ensayos usando medidas como la media y la mediana.

Actividad 2: Análisis estadístico de datos primarios usando medidas de variación como la varianza y la desviación estándar.

Actividad3: Ejecución de cálculos secundarios con base en los análisis estadísticos para determinar la resistencia.

6.6.3. Fase 3: Describir el comportamiento mecánico de las probetas de plástico reciclado a partir del cálculo de los valores de resistencia.

Actividad 1: Discusión de resultados y descripción del comportamiento mecánico del material ensayado.

6.7. INSTRUMENTOS

Considerando que ésta investigación es de tipo experimental, los instrumentos utilizados y necesarios para el desarrollo del presente trabajo son: probetas de plástico reciclado, máquina universal de pruebas tracción y compresión, pie de Rey, deformímetro, cinta métrica y formatos de recolección de datos (Anexos).

6.8. PRESUPUESTO

Para el desarrollo del presente trabajo de grado se prevé un presupuesto de tipo técnico (implementación de laboratorios) y de tipo operativo (impresiones y documentación).

Tabla 13: Presupuesto

UNIVERSIDAD La Gran Colombia		PRESUPUESTO			
TRABAJO DE GRADO: ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA AL CORTE, TRACCIÓN, FLEXIÓN Y COMPRESIÓN EN PROBETAS DE PLÁSTICO RECICLADO.					
POR: DIANA JANETH ARCHILA - GLORIA CONSUELO FIGUEROA					
EMPRESA DONANTE DE MUESTRAS: FERRECICLES S.A.S -HUILA					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTD.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Ensayo de corte	und.	1	\$ 54.000	\$ 54.000
2	Ensayo de flexión	und.	1	\$ 82.500	\$ 82.500
3	Ensayo de compresión	und.	1	\$ 70.000	\$ 70.000
4	Ensayo de tracción	und.	1	\$ 81.500	\$ 81.500
5	Transporte materia prima desde Huila	GLB	1	\$ 80.000	\$ 80.000
6	Corte de muestras para ensayos	und.	62	\$ 1.500	\$ 93.000
7	Transporte de estudiantes a fase de revisiones y ensayos	GLB	50	\$ 2.200	\$ 110.000
8	Transporte de estudiantes a fase de radicación	GLB	12	\$ 2.200	\$ 26.400
9	Impresión radicación 1	und.	1	\$ 75.000	\$ 75.000
10	Impresión ajustes radicación 2	und.	1	\$ 35.000	\$ 35.000
11	Impresión ajustes radicación 3	und.	1	\$ 20.000	\$ 20.000
12	Impresión de ajustes de evaluadores	und.	1	\$ 75.000	\$ 75.000
TOTAL:					\$ 802.400

Fuente: Autores

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

7.1. FASE 1: ENSAYOS DE CORTE, FLEXIÓN, TRACCIÓN Y COMPRESIÓN EN PROBETAS DE PLÁSTICO RECICLADO.

Los ensayos para la determinación de las propiedades mecánicas en probetas de plástico reciclado se realizaron en el laboratorio de materiales de la universidad la gran Colombia, ensayos controlados por deformación de donde se obtuvo los datos necesarios para el cálculo y la determinación de las propiedades de compresión, tracción, corte y flexión de las Probetas Plásticas; adicionalmente se determinó la densidad del material, el módulo de elasticidad, el módulo de rigidez y deformaciones unitarias.

En cuanto a las dimensiones de las probetas usadas, tienen una variación la Norma Técnica Colombiana NTC 3377, por exigencia de los equipos disponibles en laboratorio de materiales de la universidad la gran Colombia, debido a que la prensa no lograba el perfecto agarre del material o en su defecto no tenía el espacio suficiente; el cambio de dimensiones afecta directamente la resistencia del material, por ende a tener como referencia los valores mínimos de la madera es imposible hacer una comparación directa debido a su composición y al dimensionamiento de las probetas ensayadas.

A continuación se describirán los ensayos realizados y el proceso de cálculo con los que se hicieron un análisis estadístico para finalmente determinar la resistencia de las probetas en cada propiedad mecánica y poder dar una descripción del comportamiento del material.

7.1.1. Ensayo de compresión

Como ya se mencionó en el numeral 5.1.1.7 Propiedades mecánicas de los materiales, el ensayo de compresión es el esfuerzo máximo que soporta un material sometido a carga axial sin romperse. Consistió en la aplicación de una fuerza sobre la probeta con una carga axial estática, con registros de datos de carga cada 0.5 mm de deformación.

Para el ensayo de compresión se fallaron 6 probetas, 5 de ellas con dimensiones de 20 cm x 5 cm x 5 cm y 1 probeta de 30 cm x 5 cm x 5 cm para evidenciar el pandeo.

Ilustración 21: Probetas de ensayo para compresión.



Fuente: Autores- Tomada por: Diana Archila.

Toma de datos primarios

Estos datos corresponden a la toma de dimensiones de las probetas, masas y cargas o fuerzas hasta el momento de la falla.

Tabla 14: Muestras de compresión- Datos Primarios

MASAS	Probeta 1 (g)	Probeta 2 (g)	Probeta 3 (g)	Probeta 4 (g)	Probeta 5 (g)	Media - X
	361,2	470,0	530,0	546,0	453,0	472,0
LONGITUD INICIAL (L)	(m) Probeta 1	(m) Probeta 2	(m) Probeta 3	(m) Probeta 4	(m) Probeta 5	Media - X
	0,197	0,198	0,200	0,199	0,198	0,1984
LONGITUD LADO 1 (b)	(m) Probeta 1	(m) Probeta 2	(m) Probeta 3	(m) Probeta 4	(m) Probeta 5	Media - X
	0,0493	0,0493	0,0498	0,0502	0,0497	0,0497
LONGITUD LADO 2 (d)	(m) Probeta 1	(m) Probeta 2	(m) Probeta 3	(m) Probeta 4	(m) Probeta 5	Media - X
	0,0488	0,0483	0,0503	0,0503	0,0478	0,0491
ÁREAS DE COMPRESIÓN	(m ²) Probeta 1	(m ²) Probeta 2	(m ²) Probeta 3	(m ²) Probeta 4	(m ²) Probeta 5	Media - X
	0,0025	0,0024	0,0026	0,0026	0,0024	0,00250

Fuente: Autores

Tabla 15: Muestras de compresión- Cargas de falla

Deformación ϵ (mm)	Deformación ϵ (m)	Carga P (kN) Probeta 1	Carga P (kN) Probeta 2	Carga P (kN) Probeta 3	Carga P (kN) Probeta 4	Carga P (kN) Probeta 5
0,5	0,0005	0,12	0,45	0,16	0,50	0,32
1,0	0,001	0,64	1,42	0,55	1,27	0,82
1,5	0,0015	1,59	2,51	1,12	2,28	1,92
2,0	0,002	3,01	4,05	2,03	3,52	3,21
2,5	0,0025	4,82	5,80	3,15	4,97	4,35
3,0	0,003	6,79	7,76	4,44	6,50	6,32
3,5	0,0035	8,79	9,85	6,00	7,77	8,30
4,0	0,004	10,34	11,98	7,73	9,00	9,01
4,5	0,0045	11,87	13,85	9,58	10,36	10,48
5,0	0,005	13,06	15,34	11,45	10,97	12,56
5,5	0,0055	13,88	16,62	13,42	12,44	14,16
6,0	0,006	15,52	17,68	15,16	13,76	15,50
6,5	0,0065	15,10	18,60	16,57	15,03	16,50
7,0	0,007	15,39	19,45	17,58	16,00	16,94
7,5	0,0075	15,51	20,23	18,13	16,38	17,16
8,0	0,008	15,76	20,85	18,18	16,70	17,21
8,5	0,0085	15,98	21,29	18,18	16,86	17,23
9,0	0,009	16,11	21,65		16,96	
9,5	0,0095		21,95		16,97	
10,0	0,01		22,07		16,98	
10,5	0,0105		22,21			
11,0	0,011		22,29			
11,5	0,0115		22,29			

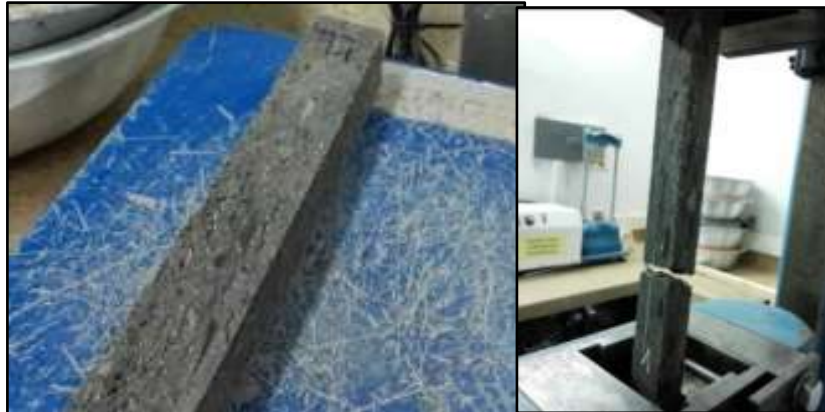
Fuente: Autores.

7.1.2. Ensayo a tracción

En la realización de la prueba a tracción 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. En el ensayo se mide la deformación (alargamiento) de la probeta entre dos puntos fijos de la misma a medida que se incrementa la carga aplicada, se registraron datos de carga cada 0.5 mm de deformación

En el ensayo de tracción se fallaron 6 probetas con dimensiones de 33 cm x 2 cm x 2 cm.

Ilustración 22: Probetas de ensayo para tracción.



Fuente: Autores- Tomada por: Gloria Figueroa

Toma de datos primarios:

Las probetas que se usaron en el laboratorio para el ensayo de tracción se dimensionaron de acuerdo a la capacidad de las mordazas del equipo dispuesto en la universidad, inicialmente se tomaron los datos primarios que corresponden a longitudes, masas para determinar áreas y volúmenes y las cargas aplicadas.

Tabla 16: Muestras a Tracción – Datos Primarios

MASAS	Probeta 1 (g)	Probeta 2 (g)	Probeta 3 (g)	Probeta 4 (g)	Probeta 5 (g)	Probeta 6 (g)	Media – X
	113,0	129,0	129,0	105,0	134,0	153,0	127,2

ÁREAS (m ²)	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4	Probeta 5	Probeta 6	Media – X
	0,00038	0,00042	0,00044	0,00034	0,00046	0,00048	0,00042

VOLÚMEN (m ³)	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4	Probeta 5	Probeta 6	Media – X
	0,000125	0,000139	0,000146	0,000113	0,000152	0,000160	0,00014

Fuente: Autores.

Tabla 17: Muestras de Tracción- Cargas de falla

Deformación ϵ (mm)	Deformación ϵ (m)	Carga P (kN) Probeta 1	Carga P (kN) Probeta 2	Carga P (kN) Probeta 3	Carga P (kN) Probeta 4	Carga P (kN) Probeta 5	Carga P (kN) Probeta 6
0,5	0,0005	0,00	0,07	0,07	0,00	0,00	0,03
1,0	0,001	0,10	0,30	0,32	0,03	0,09	0,19
1,5	0,0015	0,30	0,50	0,61	0,15	0,29	0,41
2,0	0,002	0,57	0,90	0,87	0,26	0,48	0,50
2,5	0,0025	0,81	1,15	1,15	0,38	0,67	0,70
3,0	0,003	1,05	1,40	1,32	0,51	0,85	0,95
3,5	0,0035	1,24	1,61	1,62	0,66	1,04	1,09
4,0	0,004	1,45	1,91	1,87	0,80	1,12	1,26
4,5	0,0045	1,70	2,20	2,15	0,98	1,32	1,47
5,0	0,005	1,94	2,51	2,34	1,09	1,48	1,64
5,5	0,0055	2,10	2,76	2,55	1,22	1,61	1,80
6,0	0,006	2,35	2,88	2,70	1,39	1,77	1,95
6,5	0,0065	2,52		2,74	1,53	1,85	2,07
7,0	0,007	2,68			1,65	1,87	2,13
7,5	0,0075	2,79			1,68		2,28
8,0	0,008	2,80					2,30

Fuente: Autores.

7.1.3. Ensayo de flexión

La flexión es un tipo de deformación que presenta un elemento alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal, se conoce como deflexión y el esfuerzo que provoca la flexión se denomina momento flector.

En el ensayo se mide la deformación que va presentando a medida que aumenta la carga para con estos datos luego obtener el ángulo de deflexión de la probeta. Se registraron datos de carga cada 0.5 mm de deformación.

En este ensayo se fallaron 6 probetas de 56 cm X 8 cm x 8 cm aproximadamente, se registran datos como masas, longitudes de alto y ancho de cada probeta para con estos más adelante proceder a los cálculos de esfuerzos y módulos de elasticidad.

Ilustración 23: Probetas de ensayo para Flexión.



Fuente: Autores- Tomada por: Diana Archila.

Toma de datos primarios:

Estos datos corresponden a la toma de longitudes de las probetas, masas, y cargas hasta el momento de la falla.

Tabla 18: Muestras de Flexión – Datos Primarios

MASAS	Probeta 1 (g)	Probeta 2 (g)	Probeta 3 (g)	Probeta 4 (g)	Probeta 5 (g)	Probeta 6 (g)	Media – X
	3211,0	3693,0	3333,0	2800,0	4210,0	4135,0	3563,7
LONGITUD (L)	Longitud (m) Probeta 1	Longitud (m) Probeta 2	Longitud (m) Probeta 3	Longitud (m) Probeta 4	Longitud (m) Probeta 5	Longitud (m) Probeta 6	Media – X
	0,565	0,560	0,558	0,560	0,561	0,556	0,5599
LONGITUD LADO 1 (b)	Longitud (m) Probeta 1	Longitud (m) Probeta 2	Longitud (m) Probeta 3	Longitud (m) Probeta 4	Longitud (m) Probeta 5	Longitud (m) Probeta 6	Media – X
	0,0787	0,0803	0,0793	0,0797	0,0822	0,0823	0,0804
LONGITUD LADO 2 (d)	Longitud (m) Probeta 1	Longitud (m) Probeta 2	Longitud (m) Probeta 3	Longitud (m) Probeta 4	Longitud (m) Probeta 5	Longitud (m) Probeta 6	Media – X
	0,0830	0,0810	0,0813	0,0793	0,0830	0,0820	0,0816

Fuente: Autores

Tabla 19: Muestras de flexión- Cargas de falla.

Deformaciónε (mm)	Deformación ε (m)	Carga P (kN) Probeta 1	Carga P (kN) Probeta 2	Carga P (kN) Probeta 3	Carga P (kN) Probeta 4	Carga P (kN) Probeta 5	Carga P (kN) Probeta 6
0,5	0,0005	0,13	0,08	0,15	0,04	0,07	0,05
1,0	0,001	0,32	0,32	0,40	0,12	0,16	0,22
1,5	0,0015	0,57	0,75	0,68	0,26	0,28	0,45
2,0	0,002	0,83	0,88	1,02	0,41	0,45	0,79
2,5	0,0025	1,13	1,17	1,30	0,64	0,69	1,08
3,0	0,003	1,41	1,51	1,70	0,90	0,99	1,42
3,5	0,0035	1,73	1,84	2,06	1,18	1,20	1,80
4,0	0,004	2,12	2,21	2,48	1,41	1,49	2,17
4,5	0,0045	2,47	2,57	2,86	1,67	1,77	2,54
5,0	0,005	2,86	2,91	3,26	1,94	1,98	2,89
5,5	0,0055	3,27	3,25	3,64	2,22	2,29	3,25
6,0	0,006	3,64	3,61	4,02	2,51	2,57	3,53
6,5	0,0065	4,03	3,98	4,46	2,82	2,88	3,92
7,0	0,007	4,39	4,30	4,85	3,18	3,25	4,25
7,5	0,0075	4,80	4,56	5,22	3,32	3,42	4,58
8,0	0,008	5,15	4,86	5,61	3,59	3,79	4,90
8,5	0,0085	5,56	5,12	5,98	3,86	3,96	5,23
9,0	0,009	5,92	5,40	6,32	4,08	4,18	5,48
9,5	0,0095	6,24	5,62	6,70	4,32	4,42	5,74
10,0	0,01	6,62	5,87	7,00	4,54	4,64	5,96
10,5	0,0105	7,03	6,02	7,35	4,78	4,88	6,01
11,0	0,011	7,37	6,04	7,77	4,99	5,09	6,01
11,5	0,0115	7,68		7,98	5,18	5,28	
12,0	0,012	7,96		8,29	5,37	5,47	
12,5	0,0125	8,26		8,60	5,53	5,63	
13,0	0,013	8,49		8,88	5,74	5,84	
13,5	0,0135	8,79		9,15	5,89	5,99	
14,0	0,014	8,84		9,39	6,09	6,29	
14,5	0,0145			9,65	6,20	6,50	
15,0	0,015			9,88	6,33	6,74	
15,5	0,0155			10,00	6,46		
16,0	0,016			10,06	6,54		

Fuente: Autores

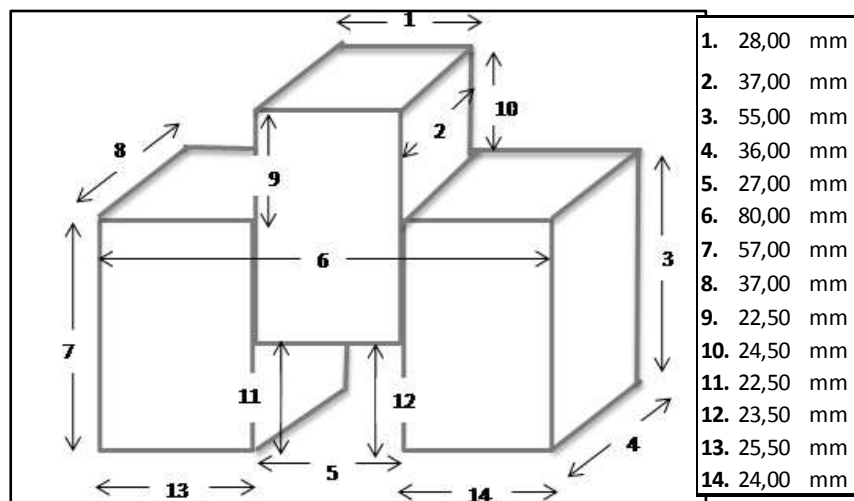
7.1.4. Ensayo de corte

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.

Los ensayos a corte se realizaron con probetas distintas a la indicada por la norma NTC-3377 debido a que el equipo de corte dispuesto en el laboratorio de materiales de la universidad la Gran Colombia tiene un funcionamiento distinto, las muestras del material se cortaron de tal forma que al ejercerse la fuerza de carga, el área de corte se diera en dos caras.

En este ensayo a corte se fallaron 6 muestras con un patrón de forma H, con los lineamientos de diseño de la Ilustración 24. A cada 0.1 mm de deformación se registraba la carga soportada por el material, para luego calcular módulo de rigidez y el ángulo de corte.

Ilustración 24: Diseño de muestra para corte – medidas probeta No. 1



Fuente: Autores

Ilustración 25: Probetas de ensayo para corte



Fuente: Autores- Tomada por: Gloria Figueroa

Toma de datos primarios: Estos datos corresponden a longitud de corte, áreas de corte, masas y las respectivas cargas recibidas por las probetas.

Tabla 20: Muestras de corte - Datos primarios

MASAS	Probeta 1 (g)	Probeta 2 (g)	Probeta 3 (g)	Probeta 4 (g)	Probeta 5 (g)	Probeta 6 (g)	Media - X
	150,0	147,9	150,1	151,5	150,2	150,2	150,0
ÁREAS	Área de corte (m ²) Probeta 1	Área de corte (m ²) Probeta 2	Área de corte (m ²) Probeta 3	Área de corte (m ²) Probeta 4	Área de corte (m ²) Probeta 5	Área de corte (m ²) Probeta 6	Media - X
	0,001	0,00101	0,00119	0,00101	0,00099	0,00099	0,00106
VOLUMEN	Probeta 1 (cm ²)	Probeta 2 (cm ²)	Probeta 3 (cm ²)	Probeta 4 (cm ²)	Probeta 5 (cm ²)	Probeta 6 (cm ²)	Media - X
	161,1	151,8	152,4	144,7	143,5	143,5	149,5

Fuente: Autores.

Tabla 21: Muestras de Corte- Cargas de falla

Distorsión angular (mm)	Distorsión angular (m)	Carga P (kN) Probeta 1	Carga P (kN) Probeta 2	Carga P (kN) Probeta 3	Carga P (kN) Probeta 4	Carga P (kN) Probeta 5	Carga P (kN) Probeta 6
0,1	0,0001	0,04	0,06	0,04	0,02	0,03	0,04
0,2	0,0002	0,04	0,10	0,06	0,02	0,05	0,06
0,3	0,0003	0,04	0,15	0,13	0,02	0,07	0,10
0,4	0,0004	0,04	0,21	0,22	0,08	0,13	0,16
0,5	0,0005	0,06	0,26	0,29	0,14	0,16	0,21
0,6	0,0006	0,10	0,34	0,40	0,22	0,24	0,30
0,7	0,0007	0,16	0,43	0,49	0,31	0,32	0,38
0,8	0,0008	0,23	0,53	0,56	0,44	0,40	0,48
0,9	0,0009	0,32	0,61	0,70	0,53	0,48	0,61
1	0,001	0,41	0,74	0,81	0,63	0,59	0,69
1,1	0,0011	0,50	0,85	0,93	0,77	0,68	0,80
1,2	0,0012	0,60	0,98	1,09	0,91	0,79	0,91
1,3	0,0013	0,71	1,11	1,24	1,05	0,90	1,03
1,4	0,0014	0,83	1,28	1,36	1,22	1,01	1,16
1,5	0,0015	0,95	1,41	1,50	1,39	1,18	1,30
1,6	0,0016	1,08	1,53	1,66	1,55	1,30	1,41
1,7	0,0017	1,23	1,67	1,80	1,73	1,39	1,54
1,8	0,0018	1,36	1,80	1,89	1,91	1,45	1,63
1,9	0,0019	1,51	1,91	1,98	2,07	1,49	1,75
2	0,002	1,63	1,94	2,08	2,23	1,58	1,79
2,1	0,0021	1,78	1,94	2,15	2,40	1,66	1,81
2,2	0,0022	1,90	1,94	2,18	2,55	1,73	1,81
2,3	0,0023	2,05		2,18	2,65	1,77	1,81
2,4	0,0024	2,14			2,69	1,77	
2,5	0,0025	2,21			2,69	1,77	
2,6	0,0026	2,23					
2,7	0,0027	2,23					
2,8	0,0028	2,23					

Fuente: Autores

7.2. FASE 2: ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS A PARTIR DE MÉTODOS ESTADÍSTICOS Y CÁLCULOS LA RESISTENCIA AL CORTE, COMPRESIÓN, TRACCIÓN Y FLEXIÓN.

7.2.1. Análisis estadístico de datos obtenidos en el laboratorio

Con el propósito de obtener unas estimaciones más exactas de los datos primarios reunidos en el laboratorio, se realiza un análisis estadístico básico, el cual permite emitir resultados cuantificables plasmados en gráficas y tablas.

A los datos primarios recolectados se le hicieron análisis con los parámetros de medidas de localización y de variabilidad descritos a continuación:

Las medidas de localización como la media y la mediana, dividen la distribución en partes iguales y sirven para clasificar a un individuo o elemento dentro de una determinada población o muestra.

La Media, conocida como promedio, un conjunto de datos cuantitativos y se obtiene a partir de la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos. Es una medida de localización de la muestra y se denota con la siguiente ecuación:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 \dots + x_n}{N}$$

(Fórmula No. 16)

La Mediana representa el valor medio de un conjunto de datos, una vez que estos se ordenan de menor a mayor. Para su cálculo se tendrán en cuenta dos variables, Si la serie tiene un número impar de medidas la mediana es la puntuación central de la misma.

$$Me = \frac{n+1}{2}$$

(Fórmula No. 17)

Y si la serie tiene un número par de puntuaciones, la mediana es la media entre las dos puntuaciones centrales.

$$Me = \frac{x_3 + x_4}{2}$$

(Fórmula No. 18)

Medidas de variabilidad: estas medidas nos ayudan a determinar la variación de los datos y determinan como se agrupan o se dispersan los datos alrededor de un promedio.

La Varianza Es una medida de dispersión, que permite establecer la variabilidad de la variable aleatoria, a mayor valor de la medida de dispersión, mayor variabilidad. En cambio, a menor valor, más homogeneidad.⁴⁸

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}$$

(Fórmula No. 19)

Por último la desviación estándar es una medida que informa de la media de distancias que tienen los datos respecto de su media aritmética, expresada en las mismas unidades que la variable.

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

(Fórmula No. 20)

El coeficiente de variabilidad se calcula con la Fórmula $Cv = \frac{s}{|\bar{x}|} * 100$ donde s desviación típica y \bar{x} es la media. Su fórmula expresa la desviación estándar como porcentaje de la media aritmética, mostrando una mejor interpretación porcentual del grado de variabilidad que la desviación típica o estándar.

⁴⁸DEVORE, Jay L. Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. 7 ed. México D.F.:Cengage Learning, 2008. 726 p. ISBN-13:978 686831-2. p.32

A continuación se muestran los datos procesados con dicho análisis para los valores de carga de todas las probetas ensayadas.

Tabla 22: Ensayo de compresión - Análisis estadístico a datos de carga.

Carga P (kN) Probeta 1	Carga P (kN) Probeta 2	Carga P (kN) Probeta 3	Carga P (kN) Probeta 4	Carga P (kN) Probeta 5	Media \bar{X}	Mediana \tilde{X}	Varianza Muestral S^2	Desviación Estándar S	Coefficiente de variabilidad %
0,12	0,45	0,16	0,50	0,32	0,310	0,320	0,0286	0,1691	54,6
0,64	1,42	0,55	1,27	0,82	0,940	0,820	0,1490	0,3859	41,1
1,59	2,51	1,12	2,28	1,92	1,884	1,920	0,3050	0,5523	29,3
3,01	4,05	2,03	3,52	3,21	3,164	3,210	0,5559	0,7456	23,6
4,82	5,80	3,15	4,97	4,35	4,618	4,820	0,9472	0,9732	21,1
6,79	7,76	4,44	6,50	6,32	6,362	6,500	1,4631	1,2096	19,0
8,79	9,85	6,00	7,77	8,30	8,142	8,300	2,0222	1,4220	17,5
10,34	11,98	7,73	9,00	9,01	9,612	9,010	2,6041	1,6137	16,8
11,87	13,85	9,58	10,36	10,48	11,228	10,480	2,8290	1,6820	15,0
13,06	15,34	11,45	10,97	12,56	12,676	12,560	2,9178	1,7082	13,5
13,88	16,62	13,42	12,44	14,16	14,104	13,880	2,4051	1,5508	11,0
15,52	17,68	15,16	13,76	15,50	15,524	15,500	1,9733	1,4047	9,0
15,10	18,60	16,57	15,03	16,50	16,360	16,500	2,1095	1,4524	8,9
15,39	19,45	17,58	16,00	16,94	17,072	16,940	2,4772	1,5739	9,2
15,51	20,23	18,13	16,38	17,16	17,482	17,160	3,2946	1,8151	10,4
15,76	20,85	18,18	16,70	17,21	17,740	17,210	3,7872	1,9461	11,0
15,98	21,29	18,18	16,86	17,23	17,908	17,230	4,1968	2,0486	11,4
16,11	21,65		16,96		18,240	16,960	8,9017	2,9836	16,4
	21,95		16,97		19,460	19,460	12,4002	3,5214	18,1
	22,07		16,98		19,525	19,525	12,9541	3,5992	18,4
	22,21				22,210	22,210			
	22,29				22,290	22,290			
	22,29				22,290	22,290			

Fuente: Autores

Tabla 23: Ensayo de Tracción - Análisis estadístico a datos de carga.

Carga P (kN) Probeta 1	Carga P (kN) Probeta 2	Carga P (kN) Probeta 3	Carga P (kN) Probeta 4	Carga P (kN) Probeta 5	Carga P (kN) Probeta 6	Media \bar{X}	Mediana \tilde{X}	Varianza Muestral S ²	Desviación Estándar S	Coficiente de variabilidad %
0,00	0,07	0,07	0,00	0,00	0,03	0,028	0,015	0,0012	0,0343	121,1
0,10	0,30	0,32	0,03	0,09	0,19	0,172	0,145	0,0141	0,1189	69,3
0,30	0,50	0,61	0,15	0,29	0,41	0,377	0,355	0,0271	0,1646	43,7
0,57	0,90	0,87	0,26	0,48	0,50	0,597	0,535	0,0607	0,2465	41,3
0,81	1,15	1,15	0,38	0,67	0,70	0,810	0,755	0,0896	0,2993	36,9
1,05	1,40	1,32	0,51	0,85	0,95	1,013	1,000	0,1058	0,3252	32,1
1,24	1,61	1,62	0,66	1,04	1,09	1,210	1,165	0,1350	0,3674	30,4
1,45	1,91	1,87	0,80	1,12	1,26	1,402	1,355	0,1883	0,4339	31,0
1,70	2,20	2,15	0,98	1,32	1,47	1,637	1,585	0,2288	0,4784	29,2
1,94	2,51	2,34	1,09	1,48	1,64	1,833	1,790	0,2881	0,5368	29,3
2,10	2,76	2,55	1,22	1,61	1,80	2,007	1,950	0,3381	0,5814	29,0
2,35	2,88	2,70	1,39	1,77	1,95	2,173	2,150	0,3268	0,5717	26,3
2,52		2,74	1,53	1,85	2,07	2,142	2,070	0,2414	0,4913	22,9
2,68			1,65	1,87	2,13	2,083	2,000	0,1972	0,4440	21,3
2,79			1,68		2,28	2,250	2,280	0,3087	0,5556	24,7
2,80					2,30	2,550	2,550	0,1250	0,3536	13,9

Fuente: Autores

Tabla 24: Ensayo de flexión - Análisis estadístico a datos de carga.

Carga P (kN) Probeta 1	Carga P (kN) Probeta 2	Carga P (kN) Probeta 3	Carga P (kN) Probeta 4	Carga P (kN) Probeta 5	Carga P (kN) Probeta 6	Media \bar{X}	Mediana \tilde{X}	Varianza Muestral S ²	Desviación Estándar S	Coficiente de variabilidad %
0,13	0,08	0,15	0,04	0,07	0,05	0,087	0,075	0,0019	0,0441	50,9
0,32	0,32	0,40	0,12	0,16	0,22	0,257	0,270	0,0116	0,1076	41,9
0,57	0,75	0,68	0,26	0,28	0,45	0,498	0,510	0,0417	0,2041	41,0
0,83	0,88	1,02	0,41	0,45	0,79	0,730	0,810	0,0602	0,2454	33,6
1,13	1,17	1,30	0,64	0,69	1,08	1,002	1,105	0,0736	0,2713	27,1
1,41	1,51	1,70	0,90	0,99	1,42	1,322	1,415	0,0968	0,3111	23,5
1,73	1,84	2,06	1,18	1,20	1,80	1,635	1,765	0,1310	0,3620	22,1
2,12	2,21	2,48	1,41	1,49	2,17	1,980	2,145	0,1847	0,4298	21,7
2,47	2,57	2,86	1,67	1,77	2,54	2,313	2,505	0,2299	0,4795	20,7
2,86	2,91	3,26	1,94	1,98	2,89	2,640	2,875	0,2988	0,5466	20,7
3,27	3,25	3,64	2,22	2,29	3,25	2,987	3,250	0,3438	0,5863	19,6
3,64	3,61	4,02	2,51	2,57	3,53	3,313	3,570	0,3878	0,6227	18,8
4,03	3,98	4,46	2,82	2,88	3,92	3,682	3,950	0,4516	0,6720	18,3
4,39	4,30	4,85	3,18	3,25	4,25	4,037	4,275	0,4508	0,6714	16,6
4,80	4,56	5,22	3,32	3,42	4,58	4,317	4,570	0,5951	0,7714	17,9
5,15	4,86	5,61	3,59	3,79	4,90	4,650	4,880	0,6283	0,7926	17,0
5,56	5,12	5,98	3,86	3,96	5,23	4,952	5,175	0,7417	0,8612	17,4
5,92	5,40	6,32	4,08	4,18	5,48	5,230	5,440	0,8361	0,9144	17,5
6,24	5,62	6,70	4,32	4,42	5,74	5,507	5,680	0,9236	0,9611	17,5
6,62	5,87	7,00	4,54	4,64	5,96	5,772	5,915	1,0143	1,0071	17,4
7,03	6,02	7,35	4,78	4,88	6,01	6,012	6,015	1,1252	1,0607	17,6
7,37	6,04	7,77	4,99	5,09	6,01	6,212	6,025	1,3182	1,1481	18,5
7,68		7,98	5,18	5,28		6,530	6,480	2,2700	1,5067	23,1
7,96		8,29	5,37	5,47		6,773	6,715	2,4588	1,5681	23,2
8,26		8,60	5,53	5,63		7,005	6,945	2,7284	1,6518	23,6
8,49		8,88	5,74	5,84		7,238	7,165	2,8207	1,6795	23,2
8,79		9,15	5,89	5,99		7,455	7,390	3,0836	1,7560	23,6
8,84		9,39	6,09	6,29		7,653	7,565	2,9090	1,7056	22,3
		9,65	6,20	6,50		7,450	6,500	3,6525	1,9112	25,7
		9,88	6,33	6,74		7,650	6,740	3,7717	1,9421	25,4
		10,00	6,46			8,230	8,230	6,2658	2,5032	30,4
		10,06	6,54			8,300	8,300	6,1952	2,4890	30,0

Fuente: Autores

Tabla 25: Ensayo de Corte - Análisis estadístico a datos de carga.

Carga P (kN) Probeta 1	Carga P (kN) Probeta 2	Carga P (kN) Probeta 3	Carga P (kN) Probeta 4	Carga P (kN) Probeta 5	Carga P (kN) Probeta 6	Media \bar{X}	Mediana \tilde{X}	Varianza Muestral S^2	Desviación Estándar S	Coefficiente de variabilidad %
0,04	0,06	0,04	0,02	0,03	0,04	0,038	0,040	0,0002	0,0133	34,7
0,04	0,10	0,06	0,02	0,05	0,06	0,055	0,055	0,0007	0,0266	48,4
0,04	0,15	0,13	0,02	0,07	0,10	0,085	0,085	0,0026	0,0509	59,9
0,04	0,21	0,22	0,08	0,13	0,16	0,140	0,145	0,0051	0,0713	50,9
0,06	0,26	0,29	0,14	0,16	0,21	0,187	0,185	0,0071	0,0843	45,2
0,10	0,34	0,40	0,22	0,24	0,30	0,267	0,270	0,0110	0,1048	39,3
0,16	0,43	0,49	0,31	0,32	0,38	0,348	0,350	0,0131	0,1144	32,9
0,23	0,53	0,56	0,44	0,40	0,48	0,440	0,460	0,0140	0,1182	26,9
0,32	0,61	0,70	0,53	0,48	0,61	0,542	0,570	0,0175	0,1323	24,4
0,41	0,74	0,81	0,63	0,59	0,69	0,645	0,660	0,0194	0,1391	21,6
0,50	0,85	0,93	0,77	0,68	0,80	0,755	0,785	0,0225	0,1500	19,9
0,60	0,98	1,09	0,91	0,79	0,91	0,880	0,910	0,0285	0,1688	19,2
0,71	1,11	1,24	1,05	0,90	1,03	1,007	1,040	0,0334	0,1827	18,2
0,83	1,28	1,36	1,22	1,01	1,16	1,143	1,190	0,0375	0,1938	16,9
0,95	1,41	1,50	1,39	1,18	1,30	1,288	1,345	0,0393	0,1981	15,4
1,08	1,53	1,66	1,55	1,30	1,41	1,422	1,470	0,0433	0,2082	14,6
1,23	1,67	1,80	1,73	1,39	1,54	1,560	1,605	0,0474	0,2176	14,0
1,36	1,80	1,89	1,91	1,45	1,63	1,673	1,715	0,0538	0,2319	13,9
1,51	1,91	1,98	2,07	1,49	1,75	1,785	1,830	0,0597	0,2444	13,7
1,63	1,94	2,08	2,23	1,58	1,79	1,875	1,865	0,0653	0,2556	13,6
1,78	1,94	2,15	2,40	1,66	1,81	1,957	1,875	0,0750	0,2738	14,0
1,90	1,94	2,18	2,55	1,73	1,81	2,018	1,920	0,0911	0,3018	15,0
2,05		2,18	2,65	1,77	1,81	2,092	2,050	0,1260	0,3550	17,0
2,14			2,69	1,77		2,200	2,140	0,2143	0,4629	21,0
2,21			2,69	1,77		2,223	2,210	0,2117	0,4601	20,7
2,23						2,230	2,230			
2,23						2,230	2,230			
2,23						2,230	2,230			

Fuente: Autores

7.2.2. Cálculos a partir de datos primarios y análisis estadístico

7.2.2.1. Densidad

A partir de los datos primarios Tabla 14, Tabla 16, Tabla 18 y Tabla 20 se calcula la densidad; valor obtenido a partir de la diferencia entre la masa (**m**) del elemento y su volumen (**v**), para este trabajo de grado midieron y pesaron cada una de las probetas y a partir de esto se calculó el valor de densidad media para el plástico reciclado que fue de 0.98 g/cm³.

Tabla 26: Densidades

PROBETAS SOMETIDAS A COMPRESIÓN					
Densidad (g/cm ³) Probeta 1	Densidad (g/cm ³) Probeta 2	Densidad (g/cm ³) Probeta 3	Densidad (g/cm ³) Probeta 4	Densidad (g/cm ³) Probeta 5	Media \bar{X}
0,761	0,996	1,057	1,087	0,963	0,97254

PROBETAS SOMETIDAS A TRACCIÓN

Densidad (g/cm ³) Probeta 1	Densidad (g/cm ³) Probeta 2	Densidad (g/cm ³) Probeta 3	Densidad (g/cm ³) Probeta 4	Densidad (g/cm ³) Probeta 5	Densidad (g/cm ³) Probeta 6	Media – X
0,901	0,931	0,886	0,930	0,879	0,958	0,91424

PROBETAS SOMETIDAS A FLEXIÓN

Densidad (g/cm ³) Probeta 1	Densidad (g/cm ³) Probeta 2	Densidad (g/cm ³) Probeta 3	Densidad (g/cm ³) Probeta 4	Densidad (g/cm ³) Probeta 5	Densidad (g/cm ³) Probeta 6	Media – X
0,8704	1,0135	0,9257	0,7911	1,1004	1,1026	0,9673

PROBETAS SOMETIDAS A CORTE

Densidad (g/cm ³) Probeta 1	Densidad (g/cm ³) Probeta 2	Densidad (g/cm ³) Probeta 3	Densidad (g/cm ³) Probeta 4	Densidad (g/cm ³) Probeta 5	Densidad (g/cm ³) Probeta 6	Media – X
0,9312	0,9741	0,9851	1,0470	1,0468	1,0468	1,0052

Fuente: Autores

En las siguiente gráfica se observa un referente entre los valores de densidad para las especies maderables más representativas usadas en construcción, según el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10 y el Manual de Diseño del Grupo Andino.

Gráfica 1: Referente para Densidad según el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10.



Fuente: Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10

Tabla 27: Referente para densidad según el Manual de Diseño del Grupo Andino

ESPECIE		CLASIFICACIÓN DEL GRUPO ANDINO- USOS SEGÚN DENSIDAD		
Nombre científico	Nombre común	GRUPO A	GRUPO B	GRUPO C
		0,8- 1,12 gr/cm ³	0,72- 0,88gr/cm ³	0,40- 0,72gr/cm ³
	PLÁSTICO RECICLADO	X		
PLTYMISCIUM PINNATUM	GUAYACAN TREBOL			/
CLATHROTROPIS BRACHYPE	SAPAN			/
HUMIRIA BALSAMIFERA	OLOROSO	x		
SACOGLOTIS SPROSARA	CHANUL	x		
GOUPIA GLABRA	CHAQUIRO	x		
MORA MEGISTOSPERMA	NATO		x	
SYMPHONIA GLOBULIFERA	MACHARE		x	
PENTACLETHRA MACROLOBA	DORMILÓN			x
CLARISIA RACEMOSA	MORA AJI			x
EUCALYPTUS GLOBULUS	EUCALIPTO			/
ERISMA UNCINATUM	FLOR MORADO			/
PINUS PATULA SCHLECHT	PINO PATULA			/
PODOCARPUS OLEIFOLIUS	PINO CHAQUIRO			/

Fuente: Tomado y adaptado del Manual de Diseño del Grupo Andino- Autores.

En los dos casos se evidencia que las probetas de plástico reciclado, poseen una densidad mayor referente a las maderas convencionales; para el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10, se evidencia un valor de 0.3 unidades por encima de las maderas y para el Manual de Diseño del Grupo Andino que la cataloga en el grupo A, como una madera dura.

7.2.2.2. Parámetros mecánicos a compresión y tracción

Para el cálculo de la resistencia a compresión y a tracción en maderas, se tiene en cuenta la dirección de las fibras, generando cargas de forma paralela o perpendicular; en el caso de las probetas de plástico reciclado esta no aplica debido su composición de material peletizado.

Una de las características más importantes de la resistencia de los materiales a compresión y tracción, es que la resistencia a la tracción siempre será menor que a la compresión ($F_c > F_t$). Por consiguiente a partir de los datos primarios obtenidos

en los ensayos de laboratorio y el análisis estadístico; se calcularon los esfuerzos a la falla promedio, desviación máxima y desviación mínima, que ratificaron que para el material en estudio se cumplió la regla. Adicionalmente se determinó algunos parámetros como los diferentes tipos de esfuerzos, deformaciones, módulo de elasticidad y relación de Poisson.

Con los análisis estadísticos Tabla 22 y Tabla 23 se calculó la resistencia del material tanto a compresión como a tracción. Los esfuerzos son resultado de dividir la carga (**P**) sobre el área de aplicación de la carga (**A**). A continuación en la Tabla 28 y Tabla 29, se muestran los resultados de los esfuerzos promedio, máximos y mínimos a compresión y tracción.

Tabla 28: Ensayo de compresión – Resultados de resistencia

Deformación Unitaria ϵ (%)	Media \bar{X}	Esfuerzo de falla promedio P/A (kN/m ²)	Desviación Estándar S Máxima.	Esfuerzo de falla desv. Máx. P/A (kNm ²)	Desviación Estándar S Mínima.	Esfuerzo de falla desv. Mín. P/A (kNm ²)
0,2520	0,3100	124,0689	0,4791	191,7526	0,1409	56,3852
0,5040	0,9400	376,2088	1,3259	530,6708	0,5541	221,7469
0,7560	1,8840	754,0186	2,4363	975,0594	1,3317	532,9778
1,0081	3,1640	1266,3030	3,9096	1564,6981	2,4184	967,9079
1,2601	4,6180	1848,2260	5,5912	2237,7329	3,6448	1458,7192
1,5121	6,3620	2546,2135	7,5716	3030,3202	5,1524	2062,1068
1,7641	8,1420	3258,6090	9,5640	3827,7370	6,7200	2689,4809
2,0161	9,6120	3846,9356	11,2257	4492,7794	7,9983	3201,0918
2,2681	11,2280	4493,6946	12,9100	5166,8500	9,5460	3820,5392
2,5202	12,6760	5073,2163	14,3842	5756,8621	10,9678	4389,5706
2,7722	14,1040	5644,7336	15,6548	6265,4110	12,5532	5024,0562
3,0242	15,5240	6213,0491	16,9287	6775,2552	14,1193	5650,8431
3,2762	16,3600	6547,6349	17,8124	7128,9154	14,9076	5966,3543
3,5282	17,0720	6832,5930	18,6459	7462,5039	15,4981	6202,6822
3,7802	17,4820	6996,6841	19,2971	7723,1254	15,6669	6270,2429
4,0323	17,7400	7099,9415	19,6861	7878,7979	15,7939	6321,0850
4,2843	17,9080	7167,1788	19,9566	7987,0747	15,8594	6347,2828
4,5363	18,2400	7300,0526	21,2236	8494,1441	15,2564	6105,9610
4,7883	19,4600	7788,3236	22,9814	9197,6627	15,9386	6378,9845
5,0403	19,5250	7814,3381	23,1242	9254,8071	15,9258	6373,8690
5,2923	22,2100	8888,9346	22,2100	8888,9346	22,2100	8888,9346
5,5444	22,2900	8920,9524	22,2900	8920,9524	22,2900	8920,9524
5,7964	22,2900	8920,9524	22,2900	8920,9524	22,2900	8920,9524

Fuente: Autores

Con datos de esfuerzos y la deformación, la relación entre la variación de la longitud (δ) y la longitud inicial de cada probeta (L_0), multiplicada por 100 para dar su valor en porcentaje (%), se procede a diagramar la curva de esfuerzo -

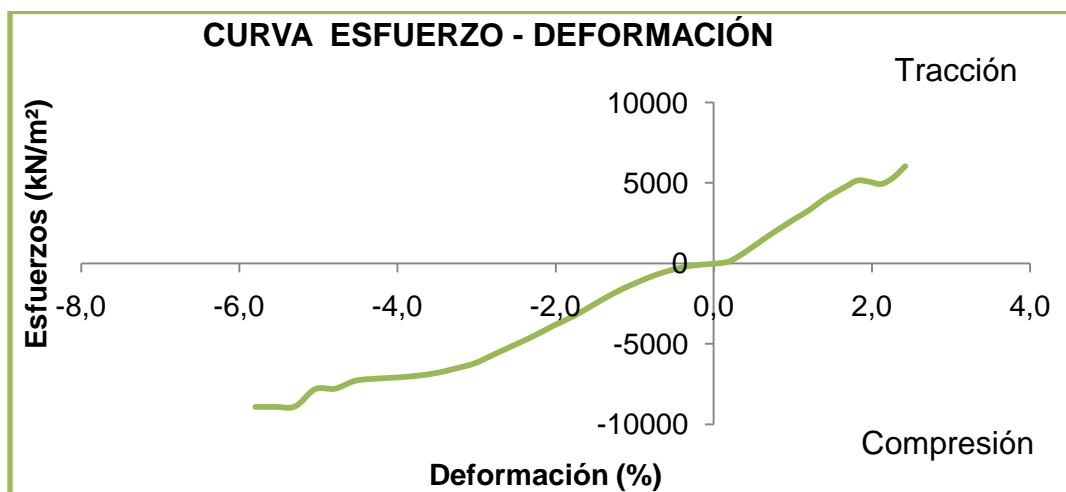
deformación elemento que describe de forma gráfica el comportamiento del plástico reciclado.

Tabla 29: Ensayo de Tracción – Resultados de resistencia

Deformación Unitaria ϵ (%)	Media \bar{X}	Esfuerzo de falla promedio P/A (kN/m ²)	Desviación Estándar S Máximo.	Esfuerzo de falla desv. Máx. P/A (kN/m ²)	Desviación Estándar S Mínimo.	Esfuerzo de falla desv. Mín. P/A (kN/m ²)
0,1515	0,028	67,220	0,0626	148,602	-0,0060	-14,162
0,3030	0,172	407,276	0,2906	689,358	0,0528	125,193
0,4545	0,377	893,634	0,5413	1284,241	0,2120	503,026
0,6061	0,597	1415,579	0,8431	2000,320	0,3502	830,838
0,7576	0,810	1921,708	1,1093	2631,710	0,5107	1211,706
0,9091	1,013	2404,112	1,3386	3175,758	0,6881	1632,467
1,0606	1,210	2870,700	1,5774	3742,275	0,8426	1999,124
1,2121	1,402	3325,425	1,8356	4354,919	0,9677	2295,931
1,3636	1,637	3882,958	2,1150	5017,853	1,1583	2748,063
1,5152	1,833	4349,545	2,3701	5623,075	1,2965	3076,015
1,6667	2,007	4760,775	2,5881	6140,217	1,4252	3381,333
1,8182	2,173	5156,188	2,7450	6512,505	1,6016	3799,871
1,9697	2,142	5081,851	2,6333	6247,436	1,6507	3916,265
2,1212	2,083	4940,688	2,5265	5994,128	1,6385	3887,248
2,2727	2,250	5338,078	2,8056	6656,246	1,6944	4019,910
2,4242	2,550	6049,822	2,9036	6888,620	2,1964	5211,024

Fuente: Autores

Gráfica 2: Curva esfuerzo - deformación del plástico reciclado



Fuente: Autores

A partir de la curva esfuerzo – deformación y su comportamiento dúctil a tracción y compresión se puede determinar los diferentes tipos de esfuerzos, las deformaciones unitarias y el módulo de elasticidad.

El módulo de elasticidad (**E**), es el valor resultante del cociente entre el esfuerzo límite proporcional y la deformación límite de proporcionalidad, datos obtenidos al final de la zona donde el material mantiene un comportamiento elástico, su unidad de medida en el sistema internacional es el MPa (N/mm^2)

$$E = \frac{\sigma_p}{\epsilon_p}. \quad (\text{Fórmula No. 21})$$

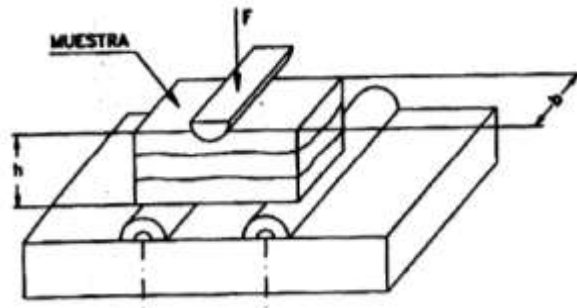
Otro de dato que se calcula es el coeficiente de Poisson que cuantifica la razón entre el alargamiento longitudinal y el acortamiento de las longitudes transversales a la dirección de la fuerza.

$$\nu = - \frac{\epsilon_{\text{transversal}}}{\epsilon_{\text{Longitudinal}}}. \quad (\text{Fórmula No. 22})$$

7.2.2.3. Parámetros mecánicos a flexión

En el ensayo a flexión las vigas se fallaron usando la técnica de aplicación de carga en tres puntos donde la parte superior está sometida a un estado de compresión y la parte inferior está sometida a tracción como lo muestra la siguiente ilustración.

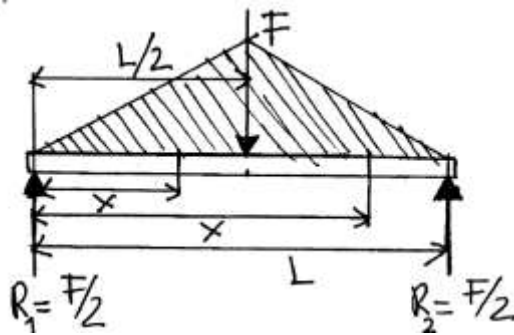
Ilustración 26: Modelo de falla de 3 puntos



Fuente: www6.uniovi.es/usr/fblanco/TEMAII.2.8.MECANICAS.Ensayos.pdf

El análisis se realizó como si fuese una viga simplemente apoyada con una carga puntual el centro de la luz.

Ilustración 27: Diagrama para cargas puntuales en el centro de la viga



Fuente: www6.uniovi.es/usr/fblanco/TEMAII.2.8.MECANICAS.Ensayos.pdf

Diagrama necesario para determinar el momento máximo a flexión, valor hallado en el centro de la luz, del cual se obtiene la ecuación,

$$M_{M\acute{a}x} = \frac{PL}{4} \text{ (F\acute{o}rmula No. 23)}$$

D\acute{o}nde, **P** es carga y **L** es la luz de la viga entre los apoyos.

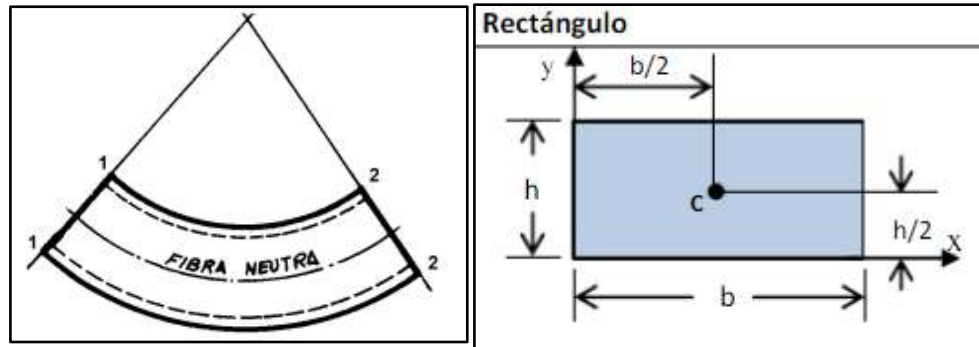
Otros c\acute{a}lculos necesarios para determinar la resistencia a flexi\acute{o}n son la inercia, que es la propiedad de los materiales de resistir a cualquier cambio en su movimiento, ya sea en direcci\acute{o}n o velocidad. Esta propiedad se describe claramente en la primera Ley del Movimiento de Newton, para los elementos rectangulares su dimensi\acute{o}n es de longitud a la cuarta potencia se obtiene de la forma:

$$I = \frac{bd^3}{12} \text{ (F\acute{o}rmula No. 24)}$$

siendo **b** el ancho de la viga y su altura sus unidades de medida son las de longitud a la cuarta potencia y distancia al centro del elemento (**c**), que es la distancia a la fibra m\acute{a}s extrema sometida a compresi\acute{o}n y tracci\acute{o}n que para el caso de vigas rectangulares coincide con el eje neutro de la viga y con su centroide calculado con la siguiente F\acute{o}rmula.

$$c = \frac{d}{2}. \text{ (F\acute{o}rmula No. 25)}$$

Ilustración 28: Diagramas del eje neutro



Fuente: <https://es.scribd.com/doc/100592193/Tabla-Centroide-Momento-de-Inercia>.

De donde el esfuerzo máximo de falla, son los esfuerzos que soporta la viga sometida a cargas normales llevadas hasta la falla o rotura del material obtenido a partir del análisis de las siguientes Fórmulas:

$$\sigma_{M\acute{a}x} = \frac{M_{M\acute{a}x}}{\frac{I}{c}} = \frac{\frac{PL}{4}}{\frac{\frac{bd^3}{12}}{\frac{d}{2}}} = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (\text{Fórmula No. 26})$$

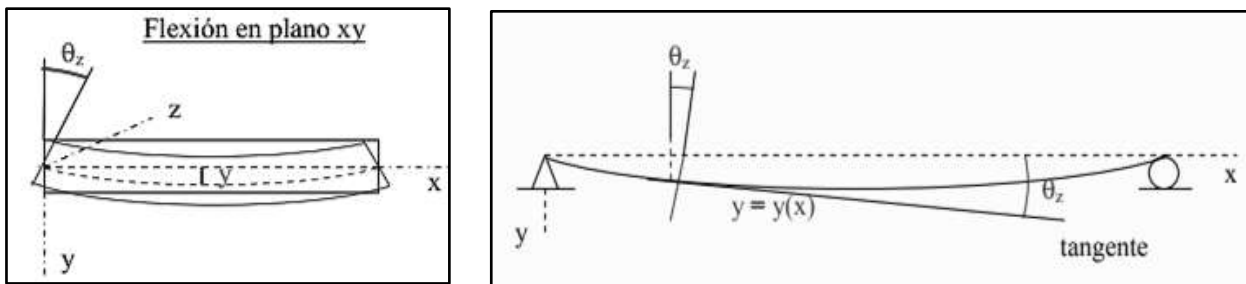
Y por último otro de los datos que se requieren para el análisis de los elementos sometidos a flexión es el ángulos de giro o de deflexión; ángulo que se forma en los extremos de la viga con respecto a los la flecha (**y**) o desplazamientos **x**, **y**, que sufren las secciones transversales alrededor de su eje neutro y se establece en radianes

$$\theta = \frac{PL^2}{16EI}. \quad (\text{Fórmula No. 27})$$

para el cual necesitamos el valor del módulo de elasticidad dado por la Fórmula

$$E = \frac{PL^3}{48Iy}. \quad (\text{Fórmula No. 28})$$

Ilustración 29: Ángulo de deflexión y flecha.



Fuente: <http://ocw.usal.es/enseñanzas-tecnicas/resistencia-de-materiales-ingeniero-tecnico-en-obras-publicas/contenidos/%20Tema6-Flexion-Deformaciones.pdf>.

Tabla 30: Ensayo de flexión– Resultados de resistencia

Ángulo de deflexión $\Theta = PL^2/16EI$	Media - X	Esfuerzo promedio $\sigma = 3PL/2bd^2$ (kN/m ²)	Desviación Estándar S Máximo.	Esfuerzo Desv. Máx. $\sigma = 3PL/2bd^2$ (kN/m ²)	Desviación Estándar S Mínimo.	Esfuerzo Desv. Mín. $\sigma = 3PL/2bd^2$ (kN/m ²)
0,003	0,087	135,90	0,131	205,09	0,043	66,72
0,005	0,257	402,48	0,364	571,27	0,149	233,68
0,008	0,498	781,43	0,702	1101,48	0,294	461,38
0,011	0,730	1144,70	0,975	1529,44	0,485	759,96
0,013	1,002	1570,70	1,273	1996,04	0,730	1145,36
0,016	1,322	2072,49	1,633	2560,30	1,011	1584,67
0,019	1,635	2563,82	1,997	3131,44	1,273	1996,20
0,021	1,980	3104,81	2,410	3778,76	1,550	2430,86
0,024	2,313	3627,51	2,793	4379,45	1,834	2875,57
0,027	2,640	4139,75	3,187	4996,85	2,093	3282,65
0,029	2,987	4683,35	3,573	5602,77	2,400	3763,93
0,032	3,313	5195,59	3,936	6172,08	2,691	4219,11
0,035	3,682	5773,17	4,354	6826,96	3,010	4719,38
0,038	4,037	6329,84	4,708	7382,67	3,365	5277,02
0,040	4,317	6768,91	5,088	7978,58	3,545	5559,24
0,043	4,650	7291,60	5,443	8534,53	3,857	6048,67
0,046	4,952	7764,64	5,813	9115,11	4,090	6414,18
0,048	5,230	8201,09	6,144	9634,94	4,316	6767,24
0,051	5,507	8634,93	6,468	10141,95	4,546	7127,91
0,054	5,772	9050,47	6,779	10629,70	4,765	7471,25
0,056	6,012	9426,81	7,072	11090,15	4,951	7763,48
0,062	6,212	9740,43	7,360	11540,78	5,064	7940,08
0,067	6,530	10239,60	8,037	12602,17	5,023	7877,04
0,072	6,773	10619,87	8,341	13078,73	5,204	8161,01
0,078	7,005	10984,45	8,657	13574,61	5,353	8394,29
0,083	7,238	11349,03	8,917	13982,61	5,558	8715,44
0,088	7,455	11690,08	9,211	14443,66	5,699	8936,51
0,094	7,653	11999,78	9,358	14674,26	5,947	9325,31
0,099	7,450	11682,24	9,361	14679,09	5,539	8685,39
0,104	7,650	11995,86	9,592	15041,22	5,708	8950,50
0,110	8,230	12905,35	10,733	16830,52	5,727	8980,18
0,115	8,300	13015,12	10,789	16918,11	5,811	9112,13

Fuente: Autores

7.2.2.4. Parámetros mecánicos a corte

En los cálculos de la deformación a corte, se tiene en cuenta el rango elástico que tiene relación directa entre el esfuerzo cortante y las deformaciones angulares, donde las deformaciones angulares experimentalmente, se establece mediante la fórmula,

$$\theta = \frac{\Delta_x}{L} \quad (\text{Fórmula No. 29}).$$

donde Δ_x es el desplazamiento en x debido a la carga ejercida y L la longitud de corte, para el caso particular de este trabajo de grado se obtuvieron gráficamente cuyos valores se establecieron entre los 11° y 16° y el esfuerzo de corte τ , cuyo valor se calcula de forma teórica como el valor obtenido en el valor de la carga **P** dividida sobre las áreas de corte (**A**) que para el caso particular debido al tipo de probetas utilizadas en los ensayos se multiplican por dos

$$\tau = \frac{P}{2A} \quad (\text{Fórmula No. 30}).$$

datos con los cuales se obtiene el módulo cortante o módulo de cizalladura o rigidez transversal, con la Fórmula:

$$G = \frac{\tau}{\theta} = \frac{P/2A}{\theta}. \quad (\text{Fórmula No.31}).$$

Tabla 31: Ensayo de Corte– Resultados de resistencia

Ángulo de corte $\Theta = \Delta X/L$ (Rad)	Media – X	Esfuerzo cortante promedio $\tau_m = P/2A$ (kN/m ²)	Desviación Estándar S Máxima.	Esfuerzo cortante desv. Máx. $\tau_m = P/2A$ (kN/m ²)	Desviación Estándar S Mínima.	Esfuerzo cortante desv. Mín. $\tau_m = P/2A$ (kN/m ²)
0,001	0,038	18,01	0,052	24,26	0,025	11,77
0,001	0,055	25,84	0,082	38,36	0,028	13,32
0,002	0,085	39,94	0,136	63,85	0,034	16,03
0,003	0,140	65,78	0,211	99,28	0,069	32,29
0,003	0,187	87,71	0,271	127,32	0,102	48,10
0,004	0,267	125,30	0,371	174,56	0,162	76,05
0,004	0,348	163,68	0,463	217,45	0,234	109,90
0,005	0,440	206,75	0,558	262,27	0,322	151,23
0,006	0,542	254,52	0,674	316,68	0,409	192,37
0,006	0,645	303,08	0,784	368,44	0,506	237,71
0,007	0,755	354,77	0,905	425,26	0,605	284,27
0,008	0,880	413,50	1,049	492,80	0,711	334,20
0,008	1,007	473,02	1,189	558,88	0,824	387,16
0,009	1,143	537,24	1,337	628,29	0,950	446,19
0,010	1,288	605,37	1,486	698,47	1,090	512,27
0,010	1,422	668,02	1,630	765,84	1,213	570,21
0,011	1,560	733,03	1,778	835,28	1,342	630,77
0,011	1,673	786,28	1,905	895,26	1,441	677,30
0,012	1,785	838,75	2,029	953,61	1,541	723,89
0,013	1,875	881,04	2,131	1001,12	1,619	760,96
0,013	1,957	919,41	2,231	1048,09	1,683	790,74
0,014	2,018	948,39	2,320	1090,21	1,717	806,57
0,015	2,092	983,01	2,447	1149,81	1,737	816,20
0,015	2,200	1033,75	2,663	1251,28	1,737	816,23
0,016	2,223	1044,72	2,683	1260,93	1,763	828,50
0,017	2,230	1047,85	2,230	1047,85	2,230	1047,85
0,017	2,230	1047,85	2,230	1047,85	2,230	1047,85
0,018	2,230	1047,85	2,230	1047,85	2,230	1047,85

Fuente: Autores

7.3. FASE 3: DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LAS PROBETAS Y REFERENTES.

Una vez finalizadas las fases de ensayos, análisis estadístico de los datos obtenidos, cálculos de resistencia última y demás parámetros mecánicos se procede a realizar un comparativo a manera de referente de las propiedades mecánicas de varias especies de madera usadas en la construcción, establecidas por el Manual de Diseño del Grupo Andino y Reglamento Colombiano de

Construcción Sismo Resistente NSR -10 Título G– Estructuras de Madera y Estructuras Guadua y una descripción de los comportamientos que tuvo el material en cuanto propiedades mecánicas.

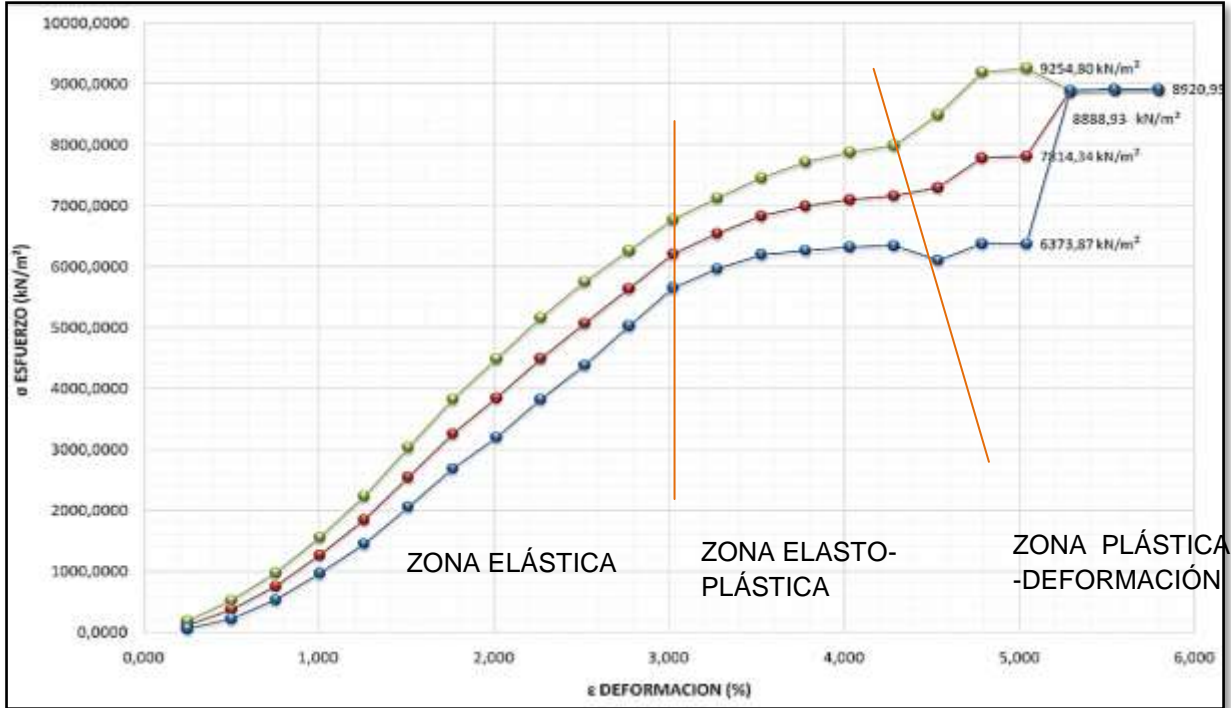
Los cálculos resultantes de esta investigación fueron: densidad, deformación unitaria, esfuerzos máximos de falla a tracción, compresión, corte y flexión, módulo de elasticidad (Ley de Hook), módulo de corte o módulo de rigidez y el coeficiente de Poisson

A continuación se presentan las gráficas y fotografías tomadas durante el desarrollo del presente trabajo de investigación, con el fin de identificar las fallas presentadas en cada ensayo y el comportamiento en cuanto a los esfuerzos.

Inicialmente se evidenciarán las gráficas de Esfuerzo Vs Deformación para los ensayos de compresión y tracción respectivamente. En estas se identifican las zonas de variabilidad del esfuerzo y la deformación.

7.3.1. Compresión

Ilustración 30: Muestras a compresión–Curva de esfuerzo Vs Deformación.



Fuente: Autores

La zona elástica por lo general presenta un comportamiento lineal, de allí se obtiene el límite de proporcionalidad, el cual corresponde al punto en el que la curva comienza a desviarse de la linealidad, la pendiente en este tramo es el módulo de elasticidad o de Young. La zona de deformación plástica va hasta el punto de tracción máxima, llamado por algunos, tracción o resistencia última.

Los resultados obtenidos para los puntos anteriormente mencionados en compresión son:

Tabla 32: Ensayo de Compresión–Datos obtenidos de la curva esfuerzo-deformación

ENSAYO A COMPRESIÓN	
Deformación límite de proporcionalidad %	3,024
Esfuerzo límite proporcional (MPa)	6,213
Esfuerzo de máximo de falla σ_f (MPa) :	8,921
Deformación unitaria máxima (%)	5,796
Modulo de elasticidad (MPa)	205,44
ENSAYO DE PANDEO	
Deformación límite de proporcionalidad %	1,97
Esfuerzo límite proporcional (MPa)	5,52
Esfuerzo de máximo de falla σ_f (MPa) :	9,25
deformación unitaria máxima (%)	3,93
Modulo de elasticidad (MPa)	280,80

Fuente: Autores

Ilustración 31: Muestras de pandeo–Curva de esfuerzo Vs Deformación.



Fuente: Autores

Tipo de falla en Compresión

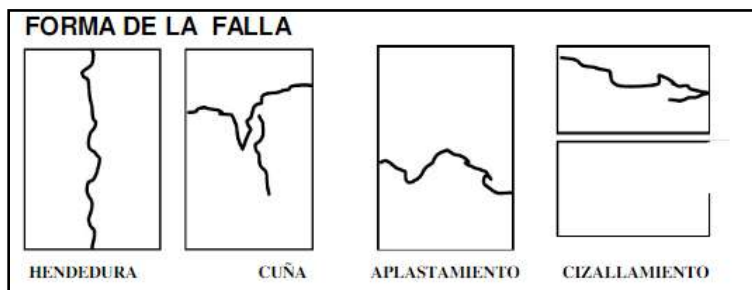
Ilustración 32: Tipo de falla para probetas de Plástico Reciclado a Compresión.



Fuente: Autores

La Ilustración 32, evidencia el tipo de falla presentado al ser sometido a esfuerzos de compresión, el material por su composición tiende a sufrir un pandeo a lo largo de su estructura, sin embargo las fallas más comunes son del tipo cuña y cizallamiento.

Ilustración 33: Tipo de falla para la Madera en ensayos de Compresión



Fuente: Universidad Francisco de Paula Santander- Laboratorio de compresión⁴⁹

La forma de cuña, ocurre cuando la dirección de la grieta en el plano radial o tangencial puede ser notada; el cizallamiento es asociado a un exceso del contenido de humedad en los bordes de la probeta.

⁴⁹UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER, Laboratorio de maderas, {en línea}. 2016 {consultado 22 de 06 de 2017}. Disponible en: (http://www.academia.edu/16603200/Laboratorio_de_Compresion_de_Maderas_p_ perpendicular_y_paralelo_a_la_fibra_).

7.3.2. Tracción

Al igual que en la curva de esfuerzo- deformación presentada en la compresión, la tracción presenta tres zonas representativas donde podemos hallar, módulo elástico, el límite de proporcionalidad, la deformación unitaria.

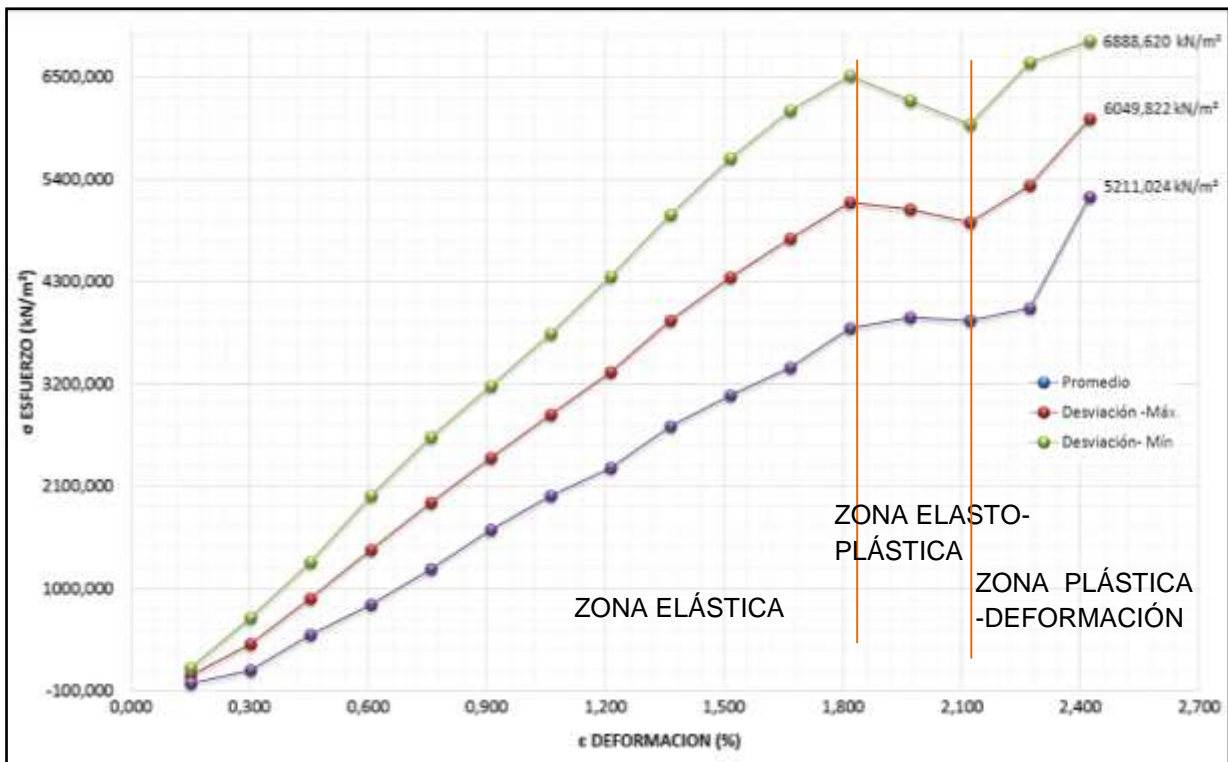
Los resultados obtenidos para el ensayo de tracción son:

Tabla 33: Ensayo de Tracción–Datos obtenidos de la curva esfuerzo-deformación

ENSAYO A TRACCIÓN	
Deformación límite de proporcionalidad %	1,82
Esfuerzo límite proporcional (Mpa)	5,16
Esfuerzo de máximo de falla σ_f (Mpa) :	6,05
deformación unitaria máxima (%)	2,42
Modulo de elasticidad (Mpa)	283,59

Fuente: Autores

Ilustración 34: Muestras a tracción –Curva de esfuerzo Vs Deformación.



Fuente: Autores.

Tipo de falla a Tracción

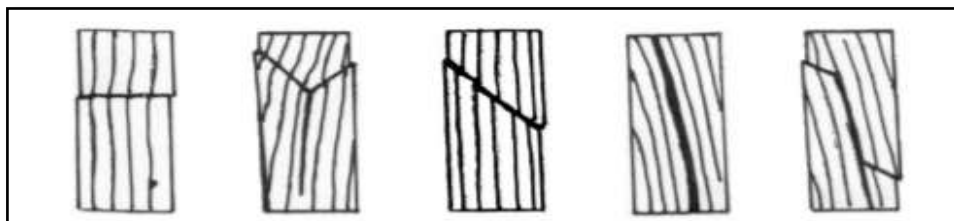
Ilustración 35: Tipo de falla para probetas de plástico reciclado en Tracción



Fuente: Autores.

En los ensayos realizados se puede evidenciar la presencia de fallas en la probeta #2 por rajadura, en la probeta #3 por fractura y en la probeta # 4 por grieta.

Ilustración 36: Tipo de falla para la Madera en ensayos de tracción.



Fractura

Grietas

Corte

Rajadura

Corte y Rajadura

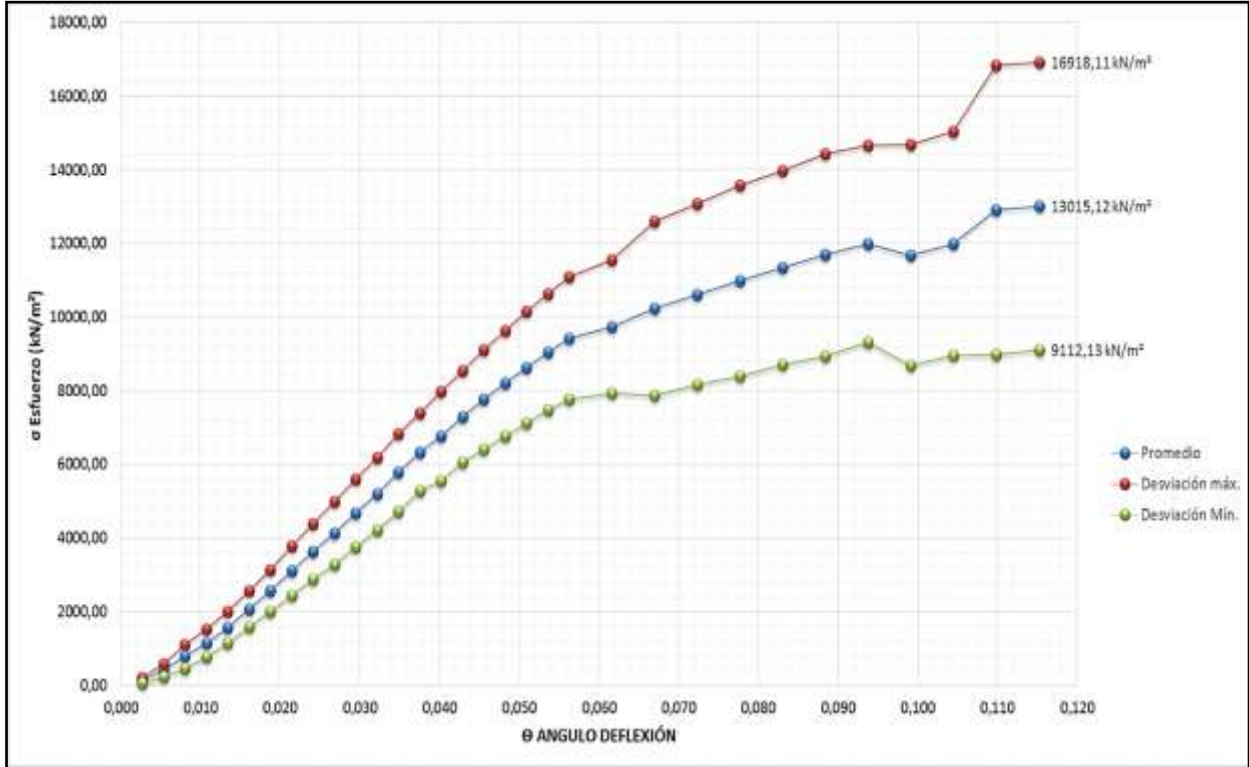
Fuente: Universidad Centro Americana José Simeón cañas UCA.⁵⁰

Las fallas presentadas en tracción se dan de esta forma debido a que el material tiene una composición de pequeñas fibras y es material particulado.

⁵⁰UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA JOSE SIMEON CAÑAS, Laboratorio de maderas, {en línea}. 2016 {consultado 22 de 06 de 2017}. Disponible en: (<https://es.slideshare.net/miwef/ensayos-a-la-maderaing-civil>).

7.3.3. Flexión

Ilustración 37: Muestras de Flexión –Curva de esfuerzo Vs Deformación.



Fuente: Autores

Los resultados obtenidos para el ensayo de flexión fueron:

Tabla 34: Ensayo de Flexión–Datos obtenidos de la curva esfuerzo-deformación

ENSAYO A FLEXIÓN	
Esfuerzo de maximo de falla σ_f (MPa) :	13,015
Deformación límite de proporcionalidad (m)	0,009
Esfuerzo límite proporcional (MPa)	7,765
Deformación máxima unitaria (m)	0,022
Momento de flexión maxima (kN*m)	1,162
Ángulo de giro extremo (grados °)	6,600

Fuente: Autores

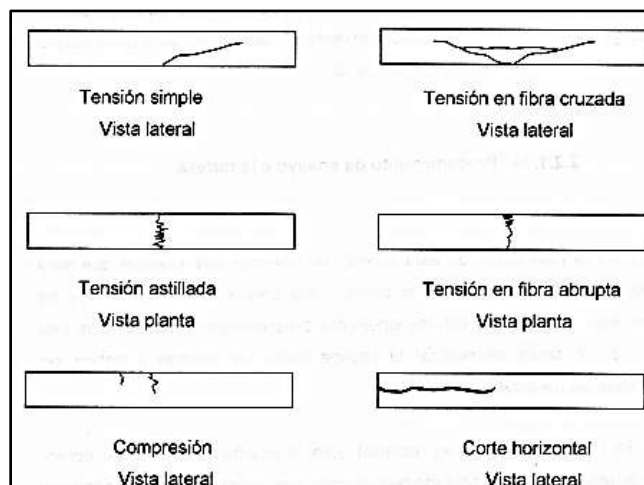
Tipo de falla a Flexión

Ilustración 38: Tipo de falla para probetas de plástico reciclado Flexión.



Fuente: Autores

Ilustración 39: Tipo de falla para la Madera en ensayos de Flexión



Fuente: PÉREZ MENDEZ, Emerson Victor. Análisis de las propiedades físico-mecánicas para un sustituto de madera natural elaborado a base de plásticos reciclados.2010

Según las fallas presentadas en el ensayo de flexión son: flexión astillada y flexión en fibra abrupta, caracterizadas por presentarse de forma horizontal en el material.

7.3.4. Corte

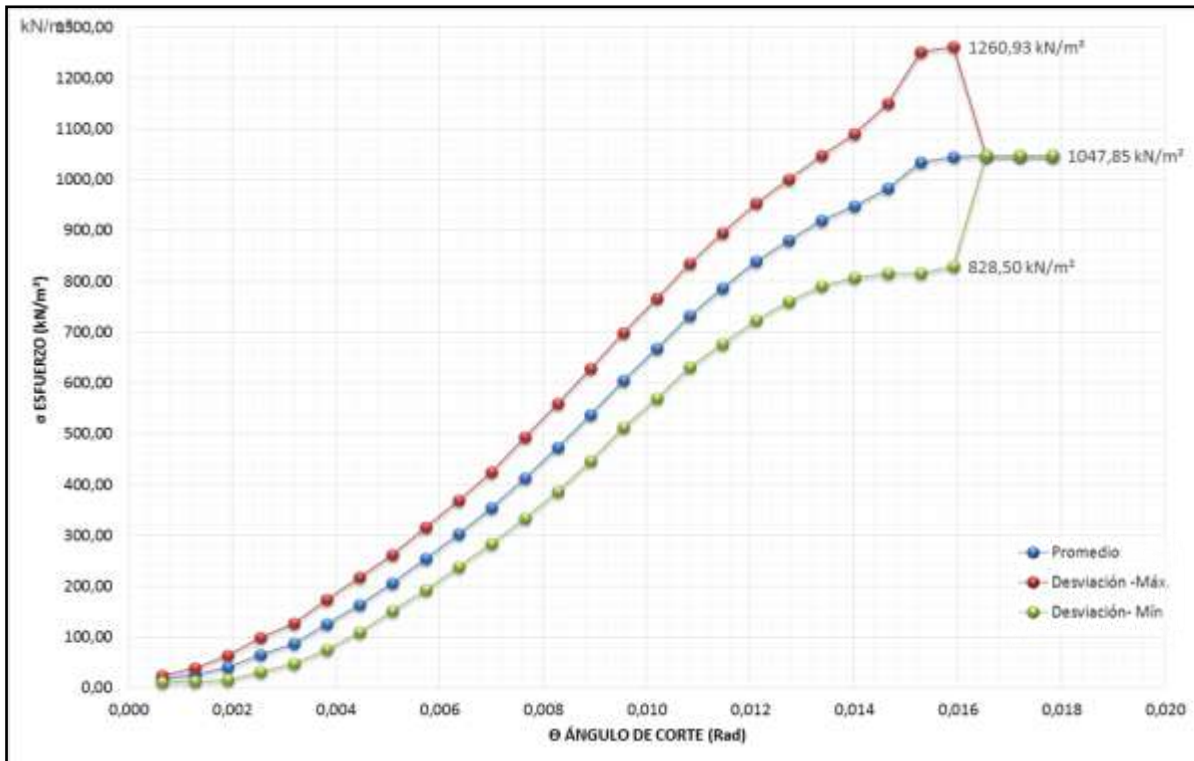
Para los ensayos de corte es importante mencionar el módulo de rigidez que se halla a partir del esfuerzo cortante y la distorsión angular que resulta al momento de la falla del material. Este valor determina el valor real de la resistencia del material cuando es sometido a esfuerzos cortantes.

Tabla 35: Ensayo de Corte–Datos obtenidos de la curva esfuerzo-deformación

ENSAYO A CORTE	
Distorsión límite de proporcionalidad (m)	0,0019
Esfuerzo límite proporcional (MPa)	0,839
Esfuerzo de máximo de corte τ (MPa) :	1,048
Deformación unitaria máxima (m)	0,0019
Deformación angular (Rad)	0,018
Modulo de rigidez máxima (MPa)	69,33

Fuente: Autores

Ilustración 40: Muestras de Corte –Curva de esfuerzo Vs Deformación.



Fuente: Autores

Tipo de falla a Corte

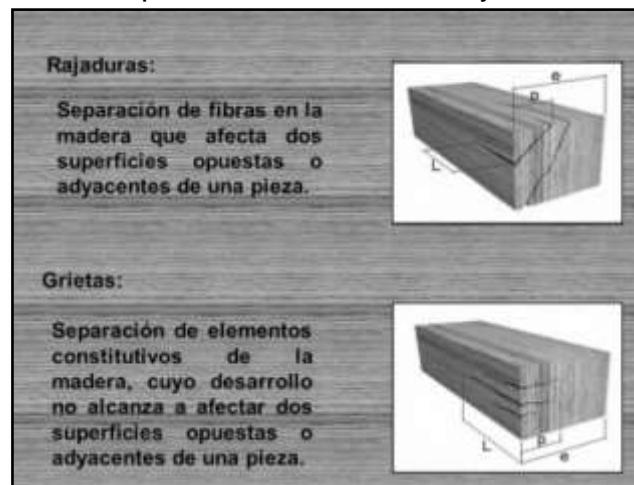
Ilustración 41: Tipo de falla para probetas de plástico reciclado en corte



Fuente: Autores

Por tratarse de un material ausente de fibras longitudinales y transversales, su comportamiento de falla en corte se da por rajaduras y ó agrietamientos que en la dirección le que se dispongan los granos.

Ilustración 42: Tipo de falla para la Madera en ensayos de corte.



Fuente: Manual la construcción de viviendas en madera- Falla de la madera⁵¹

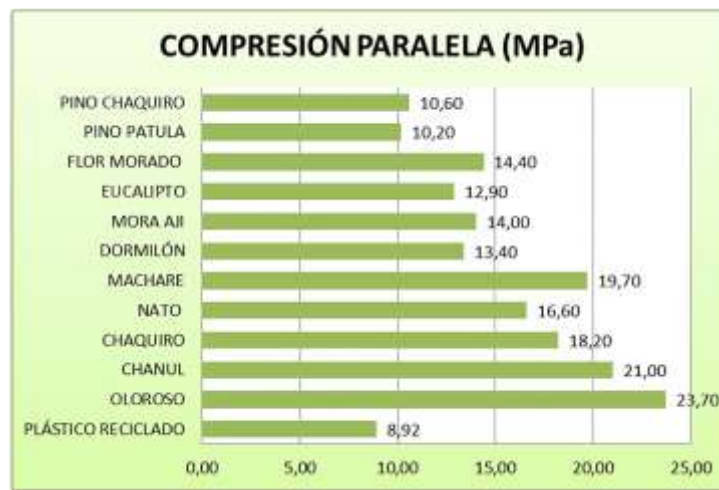
Cuando la grieta profundiza dentro de la madera y se extiende a lo largo de la pieza se le llama rajadura.

⁵¹Manual la construcción de viviendas en madera- Falla de la madera{en línea}. 2016 {consultado 20 de 08 de 2016}. Disponible en: (<https://es.slideshare.net/catedradiez/unidad-1-madera1>).

7.3.5. Graficas de barra - valores referentes de la madera

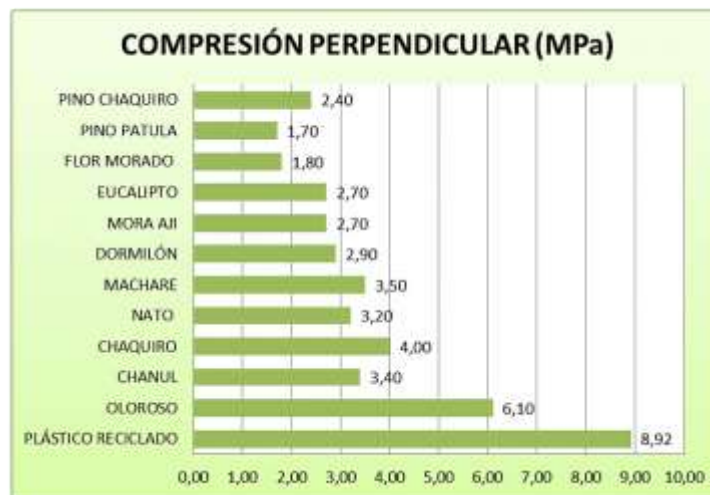
A continuación se presentan unas gráficas donde se muestra los valores de resistencia última para compresión, tracción, corte y flexión, según la normativa colombiana para las maderas comunmente usadas en la construcción, estas se tendrán como un valor referente para el resultado de los parámetros que arrojó el plástico reciclado durante esta investigación.

Gráfica 3: Referente de Compresión Paralela según NSR-10.



Fuente: Autores

Gráfica 4: Referente de Compresión Perpendicular según NSR-10.



Fuente: Autores.

Las maderas al ejercerles cargas de forma paralela a sus fibras, poseen una capacidad portante mayor, a si se le ejercen fuerzas de forma perpendicular por tanto los valores de referencias son distintos.

El material en estudio debido a su composición no tiene esta característica, pues su capacidad portante es igualsin importar la cara en que se ejerza la fuerza, es por esto que en la Grafica 3 el valor del plastico reclado esta por debajo de la madera de pino, teniendo esta uno de los valores mas bajos en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10; pero en la Grafica 4 tiene un valor mayor a todas las maderas que se tomaron como referente.

Gráfica 5: Referente de Tracción según NSR-10.



Fuente: Autores

La resistencia a tracción al igual que para la compresión paralela del material de plástico reciclado, está por debajo de las maderas de menor capacidad portante.

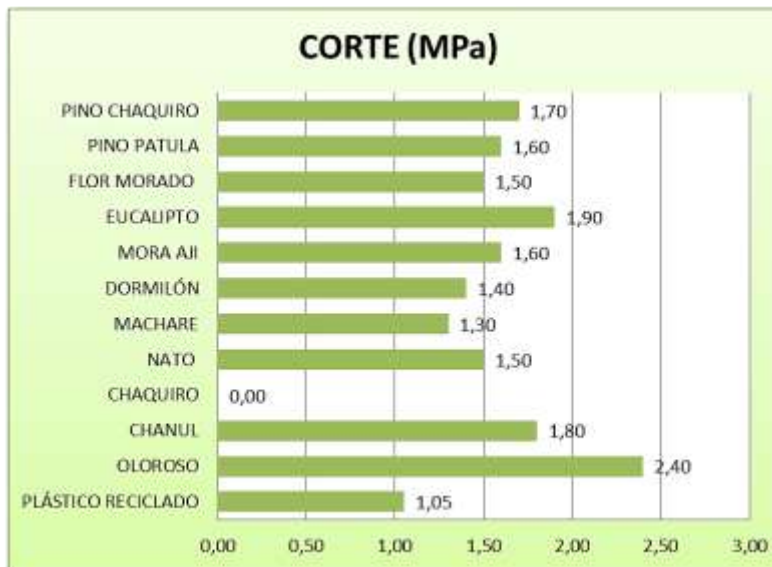
Gráfica 6: Referente de flexión según NSR-10.



Fuente: Autores

Mientras que la resistencia a flexión sí estuvo dentro del rango de los valores de la madera de los pinos y muy cercano de otras maderas usadas en la construcción.

Gráfica 7: Referente de Corte según NSR-10.



Fuente: Autores

El esfuerzo a cortante del plástico reciclado es inferior en comparación con las maderas del grupo ES6, consideradas las de menor capacidad portante para la construcción, esto debido a que el material está compuesto por desechos que en su interior no son homogéneos, composición muy distinta a la madera.

7.3.6. Consolidado de resultados finales para el plástico reciclado

Los resultados finales de esta investigación son:

Tabla 36: Consolidado de propiedades mecánicas para probetas de plástico reciclado.

CONSOLIDADO FINAL DE PROPIEDADES MECÁNICAS								
Densidad	Módulo de elasticidad en Tensión E	Módulo de elasticidad en Compresión E	Flexión Fb	Compresión Fc	Cortante Fv	Tensión Ft	Módulo de rigidez (G)	Coefficiente de Poisson (c)
(g/cm ³)	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa	
0,98	283,6	205,44	13,01	8,92	1,05	6,05	69,32	0,48

Fuente: Autores

8. CONCLUSIONES

1. Las dimensiones de las probetas que recomienda la NTC 3377, fueron modificadas por requisición de los equipos existentes en los laboratorios de la facultad, en tracción y corte respectivamente la prensa no tenía el espacio suficiente para agarrar la muestra y no había un montaje para dicho modelo por consiguiente las resistencias del material no son comparables con los valores referentes de las maderas.
2. Al ensayar las probetas de plástico se puede evidenciar que es un material anisotrópico, con un gradiente de densidad más alto en las superficies exteriores que en el centro, lo cual influye en su resistencia última.
3. Los métodos de ensayo existentes para materiales plásticos no son aplicables a materiales con secciones internas no homogéneas.
4. En los ensayos de compresión y flexión se pudo evidenciar un comportamiento alto elásticamente respecto a otros materiales, lo que hace que se comporte como un material dúctil, permitiendo llegar a una gran deformación sin fracturarse, dando tiempo para percibir las deformaciones que en él se presentan. Sus valores de resistencia respectivamente fueron 8.9 MPa y 13.01 MPa.
5. El comportamiento de las probetas sometidas a tracción, es similar al de un material frágil; a pesar de ser compuesto totalmente por plástico este se deforma, pero no logra alargarse notoriamente y al llegar al límite de su elasticidad el tiempo de rotura y fracturarse es muy corto comparado con el de compresión y se da en forma de grietas y rajaduras. Su valor fue de 6.05 MPa.

6. Los esfuerzos a cortante proporcionaron resultados de 1.05 MPa, valor inferior cercano al de la madera Machare que es de 1,30 según el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10 titulo G, cuyas propiedades no le permitirían usarse en la construcción.
7. Los módulos de elasticidad calculados en los ensayos de compresión y tracción respectivamente, oscilan entre los 205 MPa y los 283 MPa, resultados inferiores a los de la madera valores especificados en el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10 titulo G.
8. El plástico reciclado es un material viscoelástico, esto significa que las propiedades mecánicas dependen de la temperatura, del tiempo y están sujetas a deformaciones permanentes (fluencia) bajo cargas continuas.

9. RECOMENDACIONES

En el presente espacio se hacen algunas sugerencias propositivas que pueden aportar al desarrollo de futuras investigaciones y contribuir a que sea aplicable y/o reproducible.

1. El plástico reciclado cuando se expone al ambiente tiene un periodo de vida casi indefinido por su composición, sin embargo, se hace necesario para complementar el uso de este nuevo material en la construcción, realizar estudios frente al comportamiento de condiciones como temperatura, humedad, combustión, adherencia con otros materiales y así mismo el estudio de aditivos o compuestos que mejoren sus propiedades mecánicas.
2. Los resultados obtenidos en los ensayos realizados en la presente investigación deberán ser complementados con otras exploraciones donde se mida con mayor precisión la rigidez, el comportamiento de expansión térmica y otras propiedades mecánicas, necesarias para el diseño de estructuras eficaces y eficientes.
3. Se recomienda para el desarrollo de un nuevo trabajo de investigación, no realizar el comparativo directamente con las maderas convencionales de construcción, pues los comportamientos respecto a esfuerzos y elasticidad son diferentes por tratarse de un material netamente plástico y varían en función del tipo de plástico que se empleó para su fabricación.
4. El uso de plásticos reciclados resulta de gran impacto positivo para el medio ambiente ya que contribuye al reciclaje de enormes cantidades de material de desecho implementados para su fabricación; es allí donde nace la necesidad de crear una guía para sugerir la clasificación de dichos materiales y darles una reutilización en el campo de la construcción.

5. Se recomienda a la facultad de ingeniería civil de la universidad la Gran Colombia promover la investigación y experimentación con nuevos materiales como el plástico y contribuir al desarrollo de una NTC basados en la ASTM D20 que está siendo creada y normalizada en los Estados Unidos con el fin de darle un nuevo uso a los desechos plásticos y mitigar la contaminación mundial.

10. REFERENCIAS

1. ALAN E. Robbins. La Industria de la Madera Plástica; ¿A dónde vamos desde aquí? {En línea}, 18 de noviembre de 1999. {7 octubre de 2017}. Disponible en: (<http://www.plasticlumber.org/upload/publications/srpl99.pdf>)
2. ALCALDÍA DE BOGOTÁ.{En línea}. 2016 {20 de 08 de 2016}. Disponible en: (<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=5542>).
3. ALTADILL COLOMINAS, Ramón, et al. En: Reciclaje de residuos. 2ª. ed. Madrid: Ediciones Diaz de Santos S.A. 2009. p.998. ISBN 9788479788353.
4. Área Tecnología. La madera.{En línea}. 2001{25 de 09 de 2017}. Disponible en: (<http://www.areatecnologia.com/materiales/madera.html>).
5. BEER, Fedinand P. JOHNSTON, Russell. Mecánica de materiales. Sexta edición. Internacional editores S.A. de C.V. Mexico. 2013. ISBN 978-607-15-0263-6.
6. CARACOL NOTICIAS, TITANES CARACOL. Ingenieros enseñan a niños de Timaná a preservar el medio ambiente por medio del reciclaje. {En línea}. 14 de marzo de 2017. {consultado el 20 de mayo de 2017}. Disponible en : (<https://noticias.caracol.com/es-el-momento-de-todos/ingenieros-ensenan-ninos-de-timana-preservar-el-medio-ambiente-por-medio-del-reciclaje>)
7. CARMONA ESTANGA, Pedro, et al. Manual de diseño para las maderas del grupo andino. Lima :Junta del acuerdo de cartagena 1984.

8. COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, Ley 400. (19, agosto, 1997). Por la cual se adoptan normas sobre Construcciones Sismo Resistentes. Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Diario Oficial. Bogotá, D.C. 2010. n°. 1160. 3 – 438.
9. COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, Decreto 1713 (06, agosto, 2002). Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Diario Oficial. Bogotá, D.C. 2002. n°. 44.893. 1-69.
10. CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DEL ACTO MAGDALENA – CAM. Mesa regional de reciclaje. {En línea}. 2017. {28 de 09 de 2017}. Disponible en: (<http://www.cam.gov.co/index.php/1374-sur-del-huila-crear%C3%A1-mesa-regional-del-reciclaje.html>).
11. Clasificación de la maderas – Construdata.com. {En línea}. 2011. {20 de septiembre de 2017}. Disponible en: (http://www.construdata.com/BancoMedios/Documentos%20PDF/Construdata169_pags18-19.pdf).
12. Instituto de Investigación del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la República Argentina- CONICET; Centro Experimental de la Vivienda Económica- CEVE. {En línea}. 2015. {06 de 10 de 2017}. Disponible en: (<http://www.arpet.org/docs/Nuevos-materiales-para-la-construccion-los-pasticos-reciclados-Conicet.pdf>).

13. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC. Documentos maderas tienda ICONTEC (E-BOOK). {En línea}. 2016. {29 de 09 de 2017}. Disponible en: (https://tienda.icontec.org/page/1/?s=maderas&post_type=product&v=42983b05e2f2).
14. KRISHNASWAMY, Prabhat. Y LAMPO, Richard. Estándares de madera reciclada. De residuos de plásticos a los mercados de puentes de madera-plástico. {En línea}, diciembre de 2001. { 7 de octubre de 2017}. Disponible en: (https://www.astm.org/snews/december_2001/wsd_dec01.html)
15. LÉCTOR LAFITTE, Michael Anthony, VILLARREAL BRRAGÁN, Edson Jesús. Utilización de materiales plásticos de reciclaje como adición en la elaboración de concreto en la ciudad de Nuevo Chimbote. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero civil. Perú: Universidad Nacional del Santa. Facultad de ingeniería. 2017. 173 h.
16. Maderpol S.A.S. {En línea}. {07 de 10 de 2017}. Disponible en: (<http://maderpol.com.co/maderpolsas/definicion-corporativa/17-maderpol/9-madera-plastica.html>).
17. Manual la construcción de viviendas en madera- Falla de la madera {En línea}. 2016. {22 de 06 de 2017}. Disponible en: (<https://es.slideshare.net/catedradiez/unidad-1-madera1>).
18. MEYSENBUG, Von. Tecnología de plásticos para ingenieros. Bilbao: Urmo, 1973. ISBN 9788431400194.
19. Naciones Unidas ONU. Objetivos de desarrollo sostenible. 17 objetivos para transformar nuestro mundo. {En línea}, 2015. { 7 de Octubre de 2017}. Disponible en: (<http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>)

20. OSPINA RESTREPO, Carlos Arturo. evaluación de las propiedades mecánicas de los perfiles extruidos a partir de mezclas de polímeros reciclados para la fabricación de estibas de maderas plásticas en Maderpol s.a.s. Proyecto de grado Ingeniero de producción. Medellín: Universidad de EAFIT. Departamento de ingeniería de producción, 2014. 91 h.
21. PARIS LONDOÑO, Luis Santiago. Y GONZALES VILLA, Sandra Milena. Caracterización de los materiales plásticos reciclados provenientes de la industria bananera empleados para la elaboración de madera plástica. EN: Suplemento de la revista latinoamericana de Metalurgia y Materiales. Julio, 2009. S1 (4). P. 1453-1460.
22. PÉREZ MENDEZ, Emerson Victor. Análisis de las propiedades físico-mecánicas para un sustituto de madera natural elaborado a base de plásticos reciclados. Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero civil. Guatemala: Universidad de Guatemala. Facultad de Ingeniería civil, 2010. 91 h.
23. Revista dinero, Hacia un mundo que consume menos plástico: ¿Qué pasa con Colombia? {En línea}. 2016. {22 de 09 de 2017} Disponible en: (<http://www.dinero.com/economia/articulo/oportunidad-para-colombia-en-el-mercado-mundial-de-plasticos-/217899>).
24. ROJAS, Edgar. Recycled Plastic Lumber: Research and Development. The Integrated Waste Management Board (IWMB). {En línea}, Marzo de 1997. {27 de 10 de 2016}. Disponible en: (<http://infohouse.p2ric.org/ref/34/33788.pdf>).

25. SALAZAR TRUJILLO, Jorge Eduardo. Resistencia de materiales básica para estudiantes de ingeniería. Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. 2017. ISBN 978-958-8280-08-0
26. SANCHEZ FERRANDO, Miguel. Gestión y minimización de residuos. Madrid: Fund. Confemetal. 2008. ISBN 9788496743342.
27. Sector Plásticos - Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y Manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo. {En línea}. 2016 {21 de 09 de 2017}. Disponible en: (<https://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2012/09/guias-ambientales-sector-plc3a1sticos>).
28. UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA JOSE SIMEON CAÑAS, Laboratorio de maderas, {En línea}. 2016. {22 de 06 de 2017}. Disponible en: (<https://es.slideshare.net/miwef/ensayos-a-la-maderaing-civil>).
29. UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER, Laboratorio de maderas, {En línea}. 2016 {22 de 06 de 2017}. Disponible en: (http://www.academia.edu/16603200/Laboratorio_de_Compresion_de_Maderas_perpendicular_y_paralelo_a_la_fibra_).
30. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MÚNICH Y LA ORGANIZACIÓN DE PLEA - 29th Conferencia, Arquitectura Sostenible para un Futuro Renovable, Múnich, Alemania 10-12 Septiembre de 2013.
31. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA. Metalografía. Propiedades mecánicas de los materiales. {En línea}. 2012. {20 de 09 de 2017}. Disponible en: (<http://blog.utp.edu.co/metalografia/2-propiedades-mecanicas-de-los-materiales/>).

32. UPME NORMATIVIDAD AMBIENTAL Y SANITARIA. {En línea}, 2016.{24 de 08 de 2017}. Disponible en:
(http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/politica/normativ/normativ.htm#BM2_9_Normatividad_sobre_residuos_solido).

ANEXOS