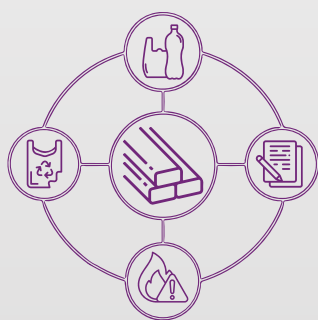




Protocolo de ensayos
Mecánicos y Físicos para
MADERAS PLÁSTICAS
según normas Colombianas

PROTOCOL OF MECHANICAL AND PHYSICAL TESTS FOR
PLASTIC LUMBER ACCORDING TO COLOMBIAN STANDARDS

SENNOVA

Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

Ing. José Daniel López Chica

Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial
jdlopezc@sena.edu.co



Ing. Diego Alejandro Ramírez Cardona

Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial
daramirez@sena.edu.co



Ing. Haider Steven Taborda Arroyave

Centro de Diseño e Innovación Tecnológica Industrial
htabordaa@sena.edu.co



1. Resumen

Este artículo presenta un protocolo de ensayos mecánicos y físicos a maderas plásticas, desarrollado conforme a las normas técnicas colombianas NTC: 595, 6296, 6355, 943 y 467. La investigación surge en respuesta a la problemática ambiental en Colombia derivada del manejo inadecuado del plástico, donde la mayoría de los residuos termina en vertederos o ríos. La creación de nuevos materiales a partir de plásticos reciclados, como la madera plástica, ofrece una solución sostenible.

El objetivo del estudio es desarrollar un protocolo para caracterizar mecánica y físicamente madera plástica para su uso en construcción civil y cumplir con los requisitos legales en Colombia. La evidencia obtenida a través de análisis de laboratorio demostrará su capacidad para cumplir con la norma de sismorresistencia NSR-10, clave para su adopción. El protocolo incluye ensayos de tracción, compresión, dureza Shore D, impacto IZOD y flexión, siguiendo normas técnicas colombianas, así como ensayos de inflamabilidad y densidad volumétrica.

El estudio ha dado como resultado un protocolo de ensayos mecánicos y físicos a maderas plásticas, enfocado en caracterizar el material para su uso en construcciones civiles. Esto, representa un avance en la solución de retos ambientales asociados al manejo inadecuado de residuos plásticos. Su implementación facilita el uso de maderas plásticas en la construcción y apoya la transición a un futuro sostenible.

Palabras clave: madera plástica, flexión, tracción, compresión, impacto IZOD, inflamabilidad, densidad volumétrica.

1.1. Abstract.

This article presents a protocol for mechanical and physical testing of plastic lumber, developed in accordance with Colombian technical standards NTC: 595, 6296, 6355, 943 and 467. The research arises in response to the environmental problems in Colombia derived from the inadequate management of plastic, where most of the waste ends up in landfills or rivers. The creation of new materials from recycled plastics, such as plastic lumber, offers a sustainable solution.

The objective of the study is to develop a protocol to mechanically and physically characterize plastic lumber for use in civil construction and comply with legal requirements in Colombia. The evidence obtained through laboratory analysis will demonstrate its ability to comply with the earth-quake standard NSR-10, key for its adoption. The protocol includes tensile, compression, Shore D hardness, IZOD impact and flexural tests, following Colombian technical standards, as well as flammability and volumetric density tests.

The study has resulted in a protocol for mechanical and physical testing of plastic lumber, focused on characterizing the material for use in civil construction. This represents an advance in the solution of environmental challenges associated with the inadequate management of plastic waste. Its implementation facilitates the use of plastic lumber in construction and supports the transition to a sustainable future.

Keywords: plastic lumber, flexion, tensile strength, compression, IZOD impact, flammability, volumetric density.

2. Introducción

Ante la creciente crisis ambiental en Colombia, donde cada persona desecha 24 kilos de plástico anuales, de los cuales el 74%

de envases termina en rellenos sanitarios, contaminando mares y ríos (GREENPEACE, 2024); la necesidad de soluciones sostenibles es apremiante. Una de estas es el desarrollo de madera plástica, un producto extruido de mezcla de polímeros reciclados.

La importancia radica en el potencial del material para innovar en la construcción. La madera plástica, comparada con la madera estructural, ofrece varios beneficios, entre ellos: mayor impermeabilidad, baja absorción de humedad, ausencia de astillamiento, entre otros, (Ruiz et al., 2019). Estas características la posicionan como sustituto de la madera tradicional en diversas aplicaciones. Sin embargo, en Colombia, los requisitos legales para su adopción exigen evidencias de laboratorio para demostrar que el material cumple con el estándar de la norma sismorresistente colombiana NSR-10. Esto representa un obstáculo para su uso en la construcción.

En respuesta a la problemática, se desarrolló un protocolo para caracterizar mecánica y físicamente madera plástica, fundamentado en las normas técnicas NTC 595: método de ensayo para determinar las propiedades de tracción en plásticos, NTC 6296: método de ensayo para evaluar las propiedades a la compresión de madera plástica y perfiles, NTC 6355: métodos de ensayo estándar para la determinación de las propiedades de flexión de madera plástica reforzada y no reforzada y productos relacionados, NTC 943: determinación de la resistencia de los plásticos al impacto del péndulo del izod, NTC467: propiedades del caucho. determinación de dureza con durómetro. Además, este protocolo incluye pruebas de inflamabilidad y densidad volumétrica.

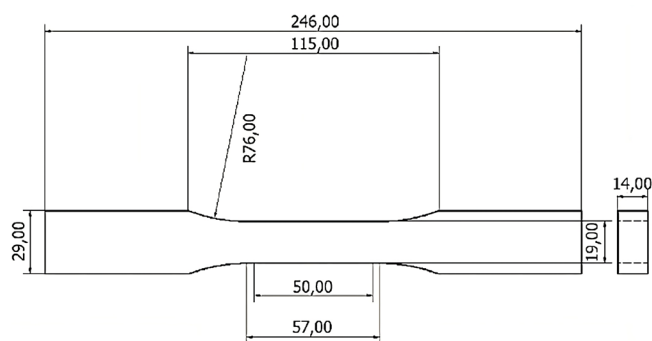
El objetivo principal es proporcionar una metodología estandarizada para evaluar las propiedades mecánicas y físicas de madera plástica. A través de este protocolo, se espera generar una base de datos que respalde la selección y uso de esta, garantizando su seguridad en aplicaciones de construcción civil.

3. Marco conceptual.

3.1 Ensayo de tracción.

Para ejecutar el ensayo se deben tener en cuenta los parámetros consignados en la norma NTC 595. Allí se suministran los requisitos para ejecutar el ensayo, dentro de esta se especifica que el espesor del ítem de ensayo no debe superar 14 mm, si los supera, este debe ser mecanizado a los 14 mm (NTC 595, 2024). Los ítems de ensayo deben tener las dimensiones (en mm) y forma del esquema de la figura 1. Además, con base en las características de la máquina universal de ensayos (MUE), se debe utilizar la velocidad mínima de la norma que produzca rotura en un tiempo entre 0,5 y 5 min.

Figura 1.
Esquema del ítem de ensayo de tracción



Nota. Adaptado de NTC 595 (2024).

Luego, en el ensayo se obtiene la resistencia a la tracción, que es la medida de la capacidad del material para soportar tensiones (NTC 595, 2024). Esta se calcula utilizando la ecuación 1.

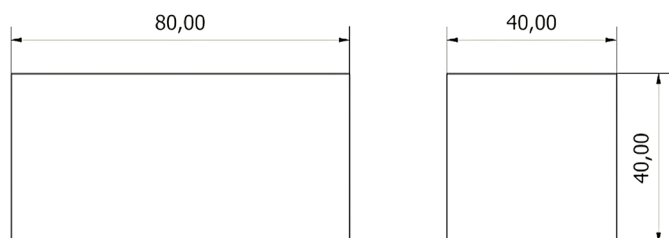
$$\text{Resist. tracción} = \frac{\text{Carga máx aplicada}}{\text{Área sección transversal}} \quad (1)$$

3.2 Ensayo de compresión.

Para ejecutar el ensayo se deben tener en cuenta los parámetros consignados en la norma NTC 6296. Allí se suministran los requisitos para ejecutar el ensayo, dentro de esta se especifica que el ítem de ensayo debe ser cortado del perfil tal como se fabricó, el único mecanizado permitido es para garantizar caras paralelas. La altura del ítem debe ser dos (2) veces el ancho

del producto (NTC 6296, 2018). Los ítems de ensayo deben tener las dimensiones en mm y forma del esquema de la figura 2. Además, con base en las características de la MUE, se debe utilizar la velocidad mínima de la norma, que garantice un tiempo de ensayo de 1 a 5 min.

Figura 2.
Esquema del ítem de ensayo de compresión



Nota. Elaboración propia.

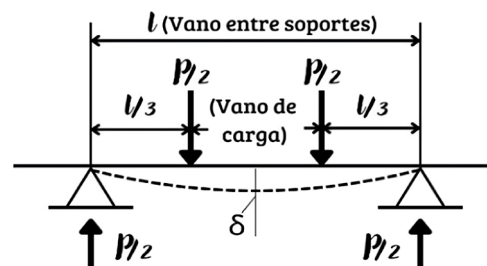
Luego, en el ensayo se obtiene la resistencia a la compresión, que es la medida de la capacidad del material para soportar fuerzas de aplastamiento o corte sin deformarse o romperse (NTC 6296, 2018). Esta se calcula utilizando la ecuación 2.

$$\text{Resist. compresión} = \frac{\text{Carga máx aplicada}}{\text{Área sección transversal}} \quad (2)$$

3.3 Ensayo de flexión.

Para ejecutar el ensayo se deben tener en cuenta los parámetros consignados en la norma NTC 6355. Allí se suministran los requisitos para ejecutar el ensayo, dentro esta se especifica que los ítems de ensayo deben ser cortados del perfil tal como se fabricó y que se debe cortar a una longitud suficiente con la que se garantice que sobresalga en la distancia entre apoyos (NTC 6355, 2019). Para este caso en específico la distancia entre soportes debe ser de 300 mm, y la longitud del ítem de ensayo debe ser de 600 mm. En la figura 3 se presenta la configuración del ensayo. Además, con base en las características de la MUE, se debe utilizar la velocidad mínima de la norma, que garantice un tiempo de ensayo entre 1 a 5 min.

Figura 3.
Configuración de ensayo de flexión



Nota. Elaboración propia

Luego, en el ensayo se obtiene el módulo de ruptura, que es la medida de la capacidad del material para soportar fuerzas de doblado sin fracturarse (NTC 6355, 2019). Este se calcula utilizando la ecuación 3.

$$\text{Módulo de Ruptura} = \frac{3P_R L}{2bh^2} \quad (3)$$

Dónde:

PR: fuerza de ruptura

L: longitud de apoyos

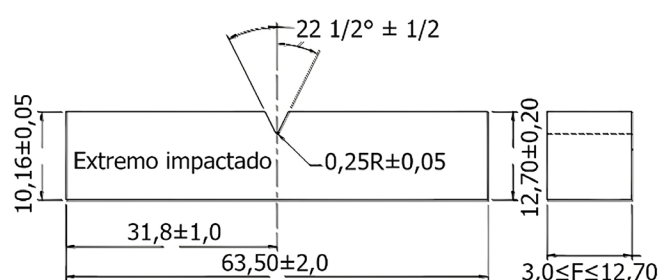
b: base sección transversal

h: altura sección transversal

3.4. Ensayo de impacto IZOD.

Para ejecutar el ensayo se deben tener en cuenta los parámetros consignados en la norma NTC 943. Allí se suministran los requisitos para ejecutar el ensayo de impacto en materiales plásticos, Dentro de esta se especifica que los ítems deben cumplir con las dimensiones en mm y el esquema presentado en la figura 4 (NTC 943, 2003).

Figura 4.
Esquema ítem de ensayo impacto IZOD



Nota. Adaptado de NTC 943 (2003).

El equipo de ensayo permite obtener una medición directa de la energía absorbida por el ítem, asegurando consistencia y reproducibilidad en los resultados.

3.5. Ensayo de dureza.

Para ejecutar el ensayo se deben tener en cuenta los parámetros consignados en la norma NTC 467. Allí se suministran los requisitos para ejecutar el ensayo, dentro de esta se especifica que los ítems de ensayo deben tener un espesor mínimo de 6,0 mm, a menos que se demuestre que un ítem más delgado reproduce resultados equivalentes (NTC 467, 2006).

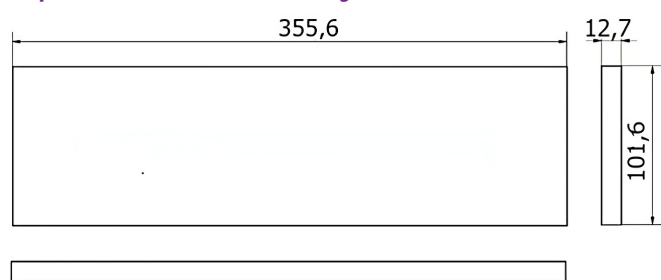
Para garantizar un ensayo reproducible, el ítem debe tener una superficie lisa, plana y libre de imperfecciones o contaminantes. Los métodos de preparación, como corte, lijado o pulido, deben preservar las propiedades superficiales del material. El equipo de medición está diseñado para aplicar presión uniformemente, proporcionando una lectura directa y precisa de la dureza, asegurando resultados consistentes.

3.6. Ensayo de inflamabilidad

Para ejecutar el ensayo se debe tener en cuenta el instructivo CDITICL-LMI-I010 instructivo ensayo inflamabilidad maderas. Allí se suministran los requisitos para ejecutar el ensayo, dentro de este se especifica que los ítems de ensayo deben tener un espesor máximo de 12,7 mm y cumplir con las

dimensiones en mm y el esquema presentado en la figura 5, (SENA, 2024).

Figura 5.
Esquema ítem de ensayo de inflamabilidad



Nota. Elaboración propia.

Luego, en el ensayo se obtiene la tasa de propagación de la llama: relación entre la distancia recorrida por la llama y el tiempo necesario para que esto ocurra. Esta se calcula utilizando la ecuación 4.

$$R_f = \frac{L}{t} \quad (4)$$

Dónde:

R_f: tasa de propagación de la llama en mm/min.

L: distancia que la llama ha recorrido a lo largo del material en min.

t: tiempo en el que la llama recorre la distancia **L**, expresado en minutos (min).

3.7. Ensayo de densidad volumétrica.

Para ejecutar el ensayo se debe tener en cuenta el instructivo CDITICL-LMI-I008 ensayo densidad volumétrica maderas plásticas. Allí se suministran los requisitos para ejecutar el ensayo, dentro de este se especifica que las caras del ítem deben ser paralelas planas. (SENA, 2023). Luego, en el ensayo se obtiene la densidad del material: medida de masa por unidad de volumen. Esta se calcula utilizando la ecuación 5.

$$\varphi = \frac{m}{v} \quad (5)$$

Dónde:

φ: densidad volumétrica en kg/m³

m: masa del ítem en kg

v: volumen en m³

4. Marco procedimental

4.1. Inspección de los ítems.

Consiste en revisar visualmente el material, para verificar que los ítems no presenten las siguientes características: rasguños o imperfecciones, cuerpos extraños como tornillos o clavos, entallas o cortes dejados por las operaciones de obtención, exceso de porosidad, ni evidencia fracturas.

4.2. Toma y control de las condiciones del medio.

En los ensayos de tracción, compresión y flexión, se debe verificar una temperatura de laboratorio de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de $50\% \pm 5\%$. En los ensayos de dureza y densidad volumétrica, se debe verificar una temperatura de laboratorio de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa entre 50%-80%. Esto se debe cumplir a menos que la norma o el cliente indique algo diferente.

4.3. Equipos e instrumentos necesarios para la ejecución.

4.3.1. Ensayos de tracción, compresión y flexión.

Se debe contar con una MUE para desarrollar las sollicitaciones de carga y fuerza, que cumplan los requisitos de las normas técnicas ver figura 6. Además, se debe contar con un pie de rey para medir las dimensiones de los ítems ver figura 7. También, se debe contar con una cinta métrica para medir la longitud de los ítems, ver figura 8. Por último, se debe contar con un termohigrómetro para registrar humedad relativa y temperatura. ver figura 9.

Figura 6.
Máquina universal de ensayos (MUE)



Nota. Elaboración propia.

Figura 7.
Pie de rey digital



Nota. Elaboración propia.

Figura 8.
Cinta métrica



Nota. Elaboración propia.

Figura 9.
Termohigrómetro

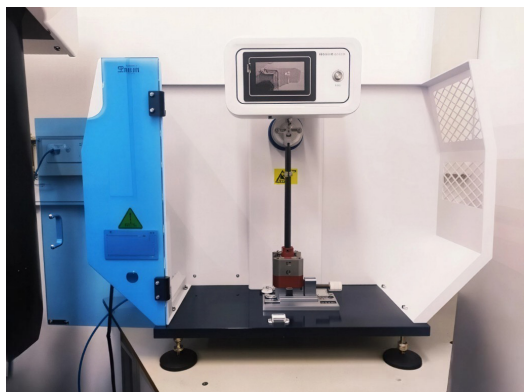


Nota. Elaboración propia.

4.3.2. Ensayo de impacto IZOD.

Se debe contar con el probador de impacto IZOD, un equipo diseñado para determinar la resistencia al impacto de materiales no metálicos. Ver figura 10.

Figura 10.
Probador de impacto IZOD



Nota. Elaboración propia.

4.3.3. Ensayo de dureza.

Se debe contar con un durómetro que cumpla con especificaciones para determinar dureza en escala shore D, ver figura 11. Además, se debe contar bloques patrón para verificar el funcionamiento del durómetro, comprobando que arroje mediciones confiables. Ver figura 12.

Figura 11.
Durómetro



Nota. Elaboración propia.

Figura 12.
Bloques patrón dureza shore

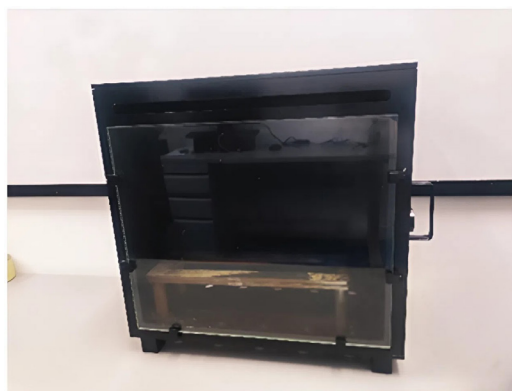


Nota. Elaboración propia.

4.3.4. Ensayo de inflamabilidad.

Se debe contar con la cabina de prueba, que es una estructura que ofrece un entorno controlado para evaluar como los materiales responden a la ignición y propagación del fuego. Ver figura 13. Además, se debe contar con un mechero Busen para producir una llama controlada que incida directamente sobre la superficie del ítem. Ver figura 14.

Figura 13.
Cabina de prueba



Nota. Elaboración propia.

Figura 14.
Mechero Bunsen



Nota. Elaboración propia.

4.3.5. Ensayo de densidad volumétrica.

Se debe contar con una balanza analítica para medir la masa de los ítems de ensayo. Ver figura 15.

Figura 15.
Balanza analítica



Nota. Elaboración propia.

4.4. Ejecución ensayo de tracción.

Encienda la MUE iniciando la UPS y luego el computador. Abra el software Test Live, cree y ejecute un proyecto titulado “ensayo de tracción a maderas plásticas”, y encienda el servomotor. Identifique el ítem de ensayo y tome registro fotográfico. Mida cinco veces el ancho, espesor y longitud calibrada del ítem con un pie de rey, registre los datos. Ajuste la velocidad de ensayo, coloque las mordazas planas en la MUE y asegure la longitud de agarre y la alineación para evitar deslizamientos.

Ejecute el ensayo hasta la rotura, monitoreando los datos, asegurando una ejecución correcta. Al finalizar, libere el ítem,

mida su longitud final y registre los datos en el formato correspondiente, para su análisis.

4.5. Ejecución ensayo de compresión.

Encienda la MUE iniciando la UPS y luego el computador. Abra el software Test Live, cree y ejecute un proyecto titulado “ensayo de compresión a maderas plásticas”, y encienda el servomotor. Identifique el ítem de ensayo y tome registro fotográfico. Mida cinco veces el ancho y el espesor del ítem con un pie de rey y registre los datos. Ajuste la velocidad de ensayo y coloque las placas de compresión en la MUE. Ubique el ítem en la superficie de las placas, asegurando alineación con respecto al eje central de la máquina. Ajuste el cabezal móvil de la MUE hasta hacer contacto con el ítem.

Ejecute el ensayo hasta la deformación por aplastamiento, monitoreando los datos, asegurando una ejecución correcta. Al finalizar, libere el ítem retirando la carga, desplazando el cabezal en dirección opuesta al ensayo. Registre los datos en el formato correspondiente para su análisis.

4.6. Ejecución ensayo de flexión.

Encienda la MUE iniciando la UPS y luego el computador. Abra el software Test Live, cree y ejecute un proyecto titulado “ensayo flexión a maderas plásticas”, y encienda el servomotor. Identifique el ítem de ensayo y tome registro fotográfico. Mida cinco veces el ancho y espesor del ítem con un pie de rey y registre los datos.

Ajuste la velocidad de ensayo. Coloque los accesorios de flexión en la MUE, asegúrese que los apoyos y el punzón tengan un diámetro de 30 mm o mayor. Alinee las puntas de aplicación de carga, verificando que los apoyos estén paralelos y que el punto de aplicación de carga este en medio del espacio entre soportes. Mida la distancia entre apoyos, regístrela en el formato correspondiente. Ejecute el ensayo hasta la rotura, monitoreando continuamente los datos para asegurar la correcta ejecución. Registre los datos en el mismo formato, para su análisis.

4.7. Ejecución ensayo de impacto IZOD.

Identifique el ítem de ensayo y tome registro fotográfico. Encienda el visualizador para acceder a la interfaz de ensayo, levante el péndulo y sujételo con la palanca, realice una prueba sin ítem para conocer las pérdidas por fricción.

Coloque el ítem en la prensa sujetadora y guíe su ubicación. Levante nuevamente el péndulo y asegúrelo con la palanca. Con el péndulo en posición y el ítem instalado, ejecute el ensayo presionando el botón que libera el péndulo. Registre los datos en el formato correspondiente, para su análisis.

4.8. Ejecución ensayo de dureza shore D.

Identifique el ítem de ensayo y tome registro fotográfico. Verifique el durómetro con los patrones de referencia, seleccionando uno de los tres bloques patrón y tomando tres indentaciones, registrándolas en el formato correspondiente. Para completar el ensayo, realice cinco indentaciones a lo largo del ítem de ensayo y regístrelas en el mismo formato para su análisis.

4.9. Ejecución ensayo de inflamabilidad.

Identifique el ítem de ensayo y tome registro fotográfico. Realice dos trazos en el largo del ítem, uno a 38,1 mm y otro a 76,2 mm desde el extremo.

Ubique el ítem sobre el marco en forma de U y coloque encima como contrapeso la platina en forma de U. Encienda el mechero y colóquelo en el extremo del ítem, exponiéndolo a la llama durante 15 segundos. Reconfigure el temporizador a cero y comience a cronometrar cuando la llama alcance la primera línea. Registre el tiempo que le toma a la llama llegar a la segunda línea o hasta apagarse antes de llegar a ella. Si la llama no alcanza la segunda línea en 5 minutos, suspenda el ensayo y mida la distancia recorrida entre las dos líneas. Registre el tiempo de combustión y las observaciones en el formato correspondiente para su análisis.

4.10. Ejecución ensayo de densidad volumétrica.

Identifique el ítem de ensayo y tome registro fotográfico. Encienda la balanza al menos 30 minutos antes de tomar las mediciones para permitir su estabilización térmica y verifique el nivel trasero. Una vez estabilizada, calibre la balanza usando un bloque patrón de un juego de masas, realizando tres mediciones y asegurándose de que la desviación no supere tres veces la división de escala. Además, verifique el funcionamiento del pie de rey, para asegurar mediciones confiables.

Ubique el ítem en el plato de la balanza, espere a que el valor se estabilice y registre la masa; repita este proceso cinco veces, anotando los datos en el formato correspondiente. Luego, mida las dimensiones del ítem cinco veces cada una, y registre los datos en el mismo formato para calcular el volumen del ítem. Complete los campos del formato para su análisis.

5. Conclusiones

El protocolo de ensayos mecánicos y físicos a maderas plásticas presentado en este artículo representa un paso significativo hacia la solución de los desafíos ambientales asociados con el manejo inadecuado de residuos plásticos en Colombia. Este protocolo, diseñado conforme a las normas técnicas colombianas, ofrece una metodología detallada y estandarizada para evaluar las propiedades mecánicas y físicas de las maderas plásticas.

La importancia de estos ensayos radica en su capacidad de proporcionar datos confiables sobre la resistencia y durabilidad de las maderas plásticas, fundamentales para su aplicación en la construcción. Este protocolo de ensayos representa una herramienta para impulsar la adopción de materiales alternativos en la construcción sostenible en Colombia. Su aplicación ofrece la oportunidad de transformar la gestión de residuos plásticos y promover prácticas de construcción responsables.

6. Referencias bibliográficas

Greenpeace Colombia. (2024). Día de la Tierra 2024: este debe ser el año que comience el fin de los Plásticos para proteger nuestros océanos. - Greenpeace Colombia. Recuperado de: <https://www.greenpeace.org>

Ruiz A., J. C., Lozano O., D. A., & González M., J. S. (2019). propiedades físicas y mecánicas de la madera plástica para uso en estructura de atención y prevención de desastres de la “ESMIC”. Revista Ingeniare, (27), 31+. Recuperado de: <http://dx.doi.org.bdigital.sena.edu.co/10.18041/1909-2458/ingeniare.27.6616>

ICONTEC., (2024). Método de ensayo para determinar las propiedades de tracción en los plásticos (NTC 595). Recuperado de: <https://tienda.icontec.org>

ICONTEC., (2018). Método de ensayo para evaluar las propiedades a la compresión de madera plástica y perfiles (NTC 6296). Recuperado de: <https://tienda.icontec.org>

ICONTEC., (2019). Métodos de ensayo estándar para determinación de las propiedades de flexión de madera plástica reforzada y no reforzada y productos relacionados (NTC 6355). Recuperado de: <https://tienda.icontec.org>

ICONTEC., (2003). Determinación de la resistencia de los plásticos al impacto del péndulo IZOD (NTC 943). Recuperado de: <https://tienda.icontec.org>

ICONTEC., (2006). Propiedades del caucho, determinación de dureza con durómetro (NTC 467). Recuperado de: <https://tienda.icontec.org>

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE (SENA)., (2024, febrero). Instructivo Ensayo Inflamabilidad Maderas Plásticas CDITICL-LMI-I010; V:01., documento interno laboratorios servicios tecnológicos Dosquebradas, Risaralda.

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE (SENA)., (2023, octubre). Instructivo Ensayo Densidad Maderas Plásticas CDITICL-LMI-I008; V:01., documento interno laboratorios servicios tecnológicos Dosquebradas, Risaralda.

Fecha de recepción: 01/12/2024
Fecha de aceptación: 03/05/2025