



Recibido
05-07-2022

Aceptado
17-12-2022

Caracterización del polialuminio a partir del reciclaje de envases de tetra pak

Characterization of polyaluminum from the recycling of tetra pak containers.

Byron Leonardo Serrano Sandoval¹

Cómo citar:

Serrano, B. (2022). Caracterización del polialuminio a partir del reciclaje de envases de tetra pak. *Vía Innova*, 10 (1), 13-23.
<https://doi.org/10.23850/2422068X.4963>

¹ Aprendiz Servicio Nacional de Aprendizaje SENA - Centro de Desarrollo Agroempresarial - Regional Cundinamarca, bserranos@gmail.co

Resumen

El polialuminio es un material obtenido del reciclaje de los envases de tetra pak, el cual puede tener múltiples aplicaciones ya que es muy versátil debido a sus características fisicoquímicas. Lo encontramos en el área de la construcción como láminas contrachapadas que pueden reemplazar materiales ligeros para la realización de muros tales como el *drywall* o el fibrocemento. En este artículo se presentan los resultados de una investigación científica, donde se busca establecer si las láminas comerciales de polialuminio y otras láminas elaboradas por el equipo investigador cumplen con la Norma Técnica Colombiana NTC 2261, la cual brinda los parámetros mínimos de calidad para los tableros de partículas aglomeradas para aplicaciones interiores no estructurales

Palabras clave: Tetra pak, polialuminio, caracterización mecánica.

Abstract

Polyaluminum is a material obtained from the recycling of tetra pak containers, which can have multiple applications as it is very versatile due to its physico-chemical characteristics. It can be found in the construction area as plywood sheets that can replace lightweight materials for the construction of walls such as drywall or fiber cement. This article presents the results of a scientific research, which seeks to establish whether the commercial polyaluminum sheets and other sheets produced by the research team comply with the Colombian Technical Standard NTC 2261, which provides the minimum quality parameters for agglomerated particle boards for interior non-structural applications.

Keywords: Tetra pak, polyaluminum, mechanical characterization.

1. INTRODUCCIÓN

Existe un grave problema a nivel global que compete a todos, el cual no ha tenido la suficiente atención mediática, ni la legislación suficiente. Esta problemática día con día se agrava más, son las basuras, esta es una era de consumismo donde todo lo que se usa en la actualidad se convertirá en basura en los próximos 6 meses a 1 año.

“Colombia no es ajeno a este problema ya que el 56% de los centros urbanos disponen de las basuras en botaderos a cielo abierto y el 5% los arrojan a los ríos. Tan alarmante situación, en virtud de sus graves consecuencias para la salud humana y el medio ambiente, no obstante, la mayor parte de municipios que presentan este dramático cuadro cuentan con menos de 20.000 habitantes, resulta insólito que 13 centros urbanos con más de 50.000 habitantes y 6 con más de 100.000 operen sus botaderos a cielo abierto. Y como si esto fuera poco, la casi totalidad de los denominados rellenos sanitarios presentan graves deficiencias técnicas en su diseño y operación, a estas conclusiones se llegaron luego de analizar 194 municipios en los cuales habita el 60 % de la población nacional” (Rodríguez 2004)¹.

“En Cundinamarca se generan alrededor de 70.000 toneladas de desperdicios que se producen mensualmente. El 70% de los municipios, es decir 79 de ellos, arrojan sus desperdicios en botaderos a cielo abierto. Cerca de 48 de esas 79 poblaciones, situadas en los alrededores de la sabana de Bogotá tienen que llevar sus basuras al botadero de Mondoñedo, situado en Mosquera y considerado como un desastre ambiental” (Silva 2004)².

Una de las alternativas contempladas para mitigar el impacto negativo que se tiene sobre el medio ambiente es el reciclaje, esta es una opción viable ya que se dice que en promedio una persona produce 10 kilogramos de basura a la semana y solo el 12% de esta se recupera.

Uno de los materiales que se pueden recuperar es el tetra pak, el cual está compuesto de cartón, plástico y aluminio. A la hora de separar estos materiales se obtiene un subproducto llamado Polialuminio, el cual está compuesto de polietileno y aluminio que, gracias a un proceso de hidropulpado, se separa del cartón, junto con tapas y otros plásticos.

El polialuminio es un material muy versátil ya que puede ser utilizado en varias industrias y para ello es necesario determinar claramente las propiedades que puede brindar, para esto se deben aplicar pruebas físicas y de composición.

El objeto de este artículo es presentarle al lector los resultados de las pruebas de laboratorio, adquirir láminas de polialuminio obtenidas del reciclaje de tetra pak en el CDA SENA en Chía y hacer un paralelo con los resultados de láminas comerciales de polialuminio. Para ello, se realizaron pruebas de módulo de rotura y módulo de elasticidad, se compararon los resultados con la norma técnica colombiana NTC 2261, la cual da los parámetros mínimos de calidad para los tableros de partículas aglomeradas para aplicaciones interiores no estructurales.

2. METODOLOGÍA

Para la obtención de láminas de polialuminio se debe separar las capas del tetra pak, es decir, el plástico y el aluminio del cartón. Para esto existen varios métodos, el utilizado en este caso es el de hidropulpado, en el cual se obtienen varios subproductos como la pulpa de cartón, las tapas plásticas, una capa de polietileno y el polialuminio.

Una vez separado los subproductos, se procede a secar las hojas de polialuminio, luego son cortadas en cuadros de 2 cm, después son pesadas, se toman dos láminas de polietileno, con ellas se hace un emparedado con los trozos del polialuminio para luego ser puestas en un molde y ser prensadas por una termoprensa eléctrica diseñada y desarrollada especialmen

te para la investigación (se desarrolló en colaboración de Tecnoparque nodo Cazucá, SENA).

Foto 1. Termo Prensa Eléctrica Tecnoparque nodo Cazucá, SENA



Fuente: Elaboración propia

En este paso se tuvo en cuenta el tipo de polietileno que se empleó la cantidad de polialuminio en gramos, que dependen del calibre de la lámina que se desee obtener, el tiempo de prensado en minutos, la temperatura en grados Celsius y la presión en toneladas.

Para el desarrollo de esta investigación se realizaron seis láminas de polialuminio, estas láminas tenían una dimensión de 50cm * 25cm, esto debido a las dimensiones que tiene la termo prensa. De cada una se extrajeron dos probetas, con las dimensiones que exige la norma.

Se adquirieron unas láminas nuevas de polialuminio comerciales las cuales se tomaron como referencia, con una dimensión de 2.44 m * 1.22 m * 4.1 mm; aplicando la NTC 2261 se sacaron unas probetas de control, cada una de ellas fue etiquetada.

Ya que este es un estudio exploratorio, estas probetas se llevaron al laboratorio del Centro de Materiales y Ensayos del SENA en Bogotá, donde se les realizaron las pruebas del módulo de rotura y el módulo de elasticidad. Estas pruebas se realizaron en una máquina de ensayos universal BTM-E.

Foto 2. Probetas de polialuminio



Fuente: Elaboración propia

Para realizar esta prueba se utilizó una máquina universal de tensión y compresión, el modelo de flexión se puede representar en una curva de tensión-deformación que muestre los cambios a la deformación a medida que aumenta la presión.

Foto 3. Máquina Universal De Tensión Y Compresión. Centro de Materiales y Ensayos del SENA



Fuente: Elaboración propia.

Los ensayos de flexión se utilizan principalmente como medida de la rigidez, el parámetro más importante que se obtiene de un ensayo de flexión es el módulo de elasticidad, en él se describe la capacidad de un material a resistir una flexión bajo una tensión.

Durante la prueba, la fuerza se aplica en el centro de la probeta, se empuja hacia abajo, allí se mide continuamente el esfuerzo que puede soportar antes de romperse y se calcula utilizando una fórmula de flexión de tres puntos.

La deformación por flexión se presenta en un elemento estructural en dirección perpendicular a su eje longitudinal, los materiales son sometidos a este tipo de pruebas para medir la resistencia a la flexión de acuerdo con la ASTM D790.

3. RESULTADOS

Lo primero que se hizo fue darle un valor en el laboratorio a cada una de las muestras, posteriormente se tomaron tres medidas de cada una de las probetas (ancho, largo, y espesor) y se promediaron con sus valores, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1. Medidas de Probetas

Id Laboratorio	Item	Ancho (mm)				Largo (mm)				Espesor (mm)			
		1	2	3	Promedio	1	2	3	Promedio	1	2	3	Promedio
CME-21-135-01	1A	76,34	75,56	75,88	75,93	171	171	171	171	2,85	3,06	3,26	3,06
CME-21-135-02	1B	74,47	74,54	74,87	74,63	172	172	172	172	2,28	2,02	2,14	2,15
CME-21-135-03	2A	74,76	75,56	75,53	75,28	171	171	171	171	3,5	3,26	2,98	3,25
CME-21-135-04	2B	75,01	74,47	75,16	74,88	170	170	170	170	2,83	2,95	3,06	2,95
CME-21-135-05	3A	74,81	74,21	74,87	74,63	195	195	195	195	3,33	4,01	4,81	4,05
CME-21-135-06	3B	76,06	76,14	74,61	75,60	195	196	195	195,33	4,69	4,67	4,61	4,66
CME-21-135-07	4A	73,34	74,1	73,7	73,71	195	195	195	195	3,56	3	2,16	2,91
CME-21-135-08	4B	76,53	76,72	77,16	76,80	195	195	195	195	2,73	2,98	3,46	3,06
CME-21-135-09	5A	75,23	74,85	75,45	75,18	146	146	146	146	2,52	2,47	2,74	2,58
CME-21-135-10	5B	74,93	75,81	76,21	75,65	147	147	147	147	2,16	3,22	2,47	2,62
CME-21-135-11	6A	74,49	75,12	75,94	75,18	148	147	148	147,7	1,42	2,21	2,67	2,10
CME-21-135-12	6B	74,85	75,04	75,51	75,13	151	151	151	151	2,68	2,87	2,39	2,65
CME-21-135-13	7A	75,87	75,99	76,82	76,23	195	195	194	194,7	3,78	4,74	4,55	4,36
CME-21-135-14	7B	76,34	75,56	75,88	75,93	196	196	196	196	3,53	3,93	4,1	3,85

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo del módulo de rotura, se toma la distancia entre apoyos, la velocidad de la máquina, la fuerza en Newton y el esfuerzo en megapascuales de la máquina de ensayos, con estos valores se calcula la carga en Newton denominada (P), la distancia entre apoyos en mm denominada (L), el ancho de la probeta en mm denominado (a) y el espesor de la probeta

denominado (e), estos valores se aplican en la Ecuación (1).

$$Mor = \frac{3 * P * L}{2 * a * e^2} \quad (1)$$

El valor del número 3 en el numerador y del número 2 en el denominador son valores constantes. En la siguiente tabla se muestran los valores calculados.

Tabla 2. Cálculo del Módulo de Rotura

Item	Distancia Apoyos	Velocidad Máquina	Fuerza N	Esfuerzo Mpa	P	L	a	e	e^2	MOR	Grado MOR
1A	76,42	1,59	74,30	0,30	74,30	75,00	75,00	3,00	9,00	12,38	MG1
1B	53,67	1,12			0,00	75,00	75,00	3,00	9,00	0,00	
2A	81,17	1,69	86,40	0,30	86,40	75,00	75,00	3,00	9,00	14,40	MG1
2B	73,67	1,53	62,90	0,30	62,90	75,00	75,00	3,00	9,00	10,48	LG
3A	101,25	6,00	138,20	0,60	138,20	100,00	75,00	4,00	16,00	17,28	MGS
3B	116,42	6,00	209,80	0,60	209,80	100,00	75,00	4,00	16,00	26,23	HG
4A	72,67	6,00	37,10	0,20	37,10	100,00	75,00	4,00	16,00	4,64	
4B	76,42	6,00	41,70	0,20	41,70	100,00	75,00	4,00	16,00	5,21	
5A	64,42	1,34	33,50	0,20	33,50	50,00	75,00	2,00	4,00	8,38	LG
5B	65,42	1,36	38,70	0,20	38,70	50,00	75,00	2,00	4,00	9,68	LG
6A	52,50	1,09	45,90	0,30	45,90	50,00	75,00	2,00	4,00	11,48	MG1
6B	66,17	1,38	55,70	0,30	55,70	50,00	75,00	2,00	4,00	13,93	MG1
7A	108,92	6,00	100,00	0,30	100,00	100,00	75,00	4,00	16,00	12,50	MG1
7B	96,33	6,00	116,00	0,40	116,00	100,00	75,00	4,00	16,00	14,50	MGS

Fuente: Elaboración propia.

La probeta 1B, sufrió un incidente en el momento del montaje, esta falla técnica arruina la prueba. El grado de clasificación del módulo de rotura para tableros aglomerados para aplicaciones interiores no estructurales, es así:

Para tableros de grado alto se denominan (HG).

Para tableros medio especial se denominan (MGS).

Para tablero medio 1 se denomina (MG1).

Para tablero de grado bajo se denomina (LG).

Para el cálculo del módulo de elasticidad, se tomó la carga límite proporcional la cual se de-

nominó (P1), la distancia entre apoyos en mm denominada (L), el ancho de la probeta en mm denominado (a) y el espesor de la probeta denominado (e), la deflexión en el límite proporcional la cual se denominó (Y1), estos valores se aplican en la Ecuación (2).

$$MOE = \frac{P_1 * L^3}{4} \quad (2)$$

El valor numérico de 4 en el denominador es un valor constante. En la siguiente tabla se denotan estos valores calculados.

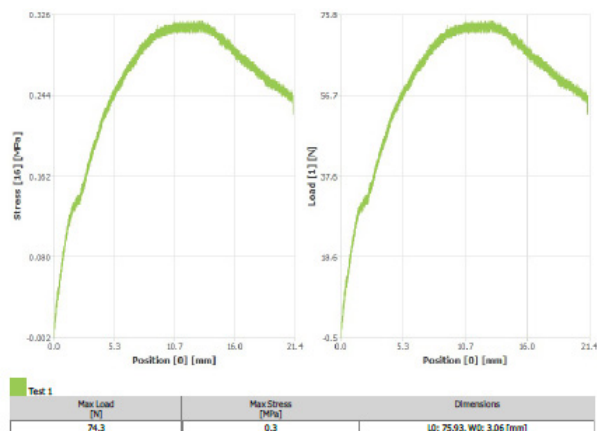
Tabla 3. Cálculo del Módulo de Elasticidad

Item	P1	Y1	e^3	L^3	MOE
1A	74,26	13,15	27,00	421875	294,12
1B			27,00	421875	
2A	84,56	12,56	27,00	421875	350,65
2B	62,88	14,69	27,00	421875	222,94
3A	138,17	18,17	64,00	1000000	396,06
3B	209,79	17,31	64,00	1000000	631,23
4A	37,13	16,58	64,00	1000000	116,64
4B	41,74	18,23	64,00	1000000	119,25
5A	33,50	11,15	8,00	125000	156,48
5B	38,70	9,50	8,00	125000	212,17
6A	45,86	11,69	8,00	125000	204,32
6B	55,67	8,16	8,00	125000	355,33
7A	100,01	10,45	64,00	1000000	498,45
7B	116,00	10,85	64,00	1000000	556,84

Fuente: Elaboración propia.

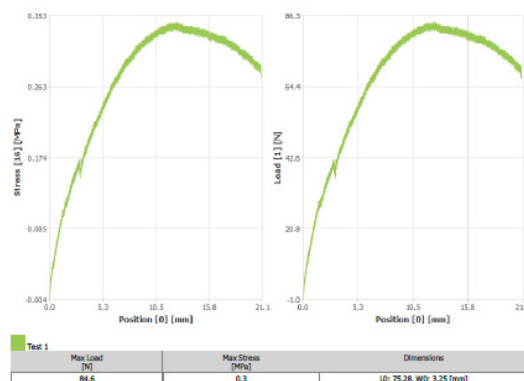
A continuación, se aprecia las gráficas de cada una de las pruebas realizada a cada probeta (Figura 1 a Figura 13).

Figura 1. 1A-CME-21-135-01 Graficas de MOR y MOE



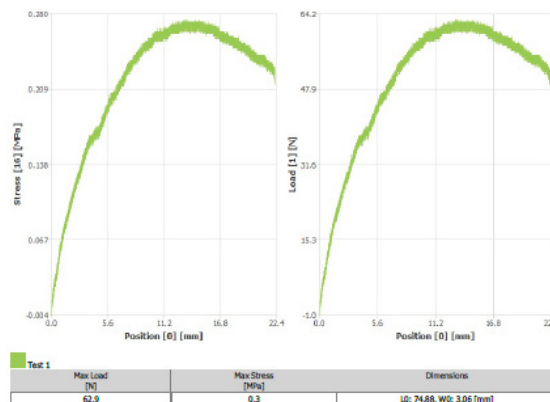
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. 2A-CME-21-135-03 Graficas de MOR y MOE



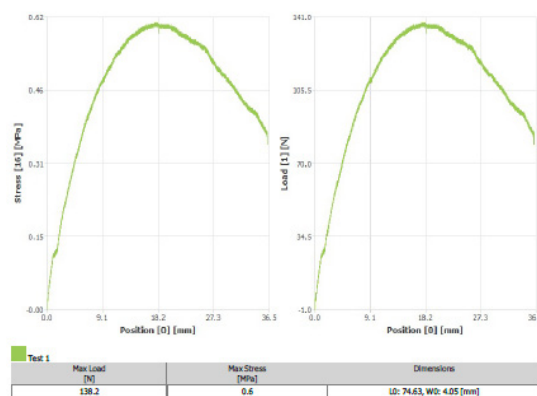
Fuente: Elaboración propia

Figura 3. 2B-CME-21-135-04 Graficas de MOR y MOE



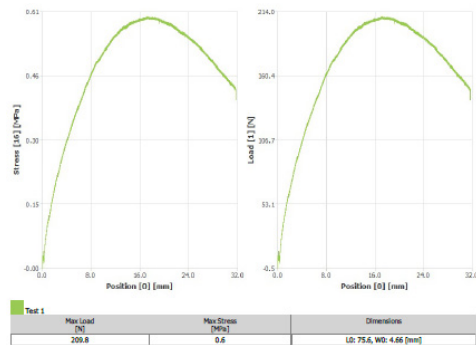
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. 3A-CME-21-135-05 Graficas de MOR y MOE



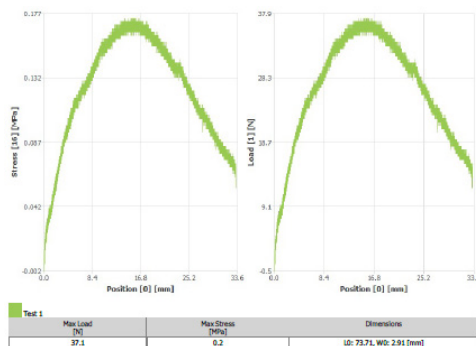
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. 3B-CME-21-135-06 Graficas de MOR y MOE



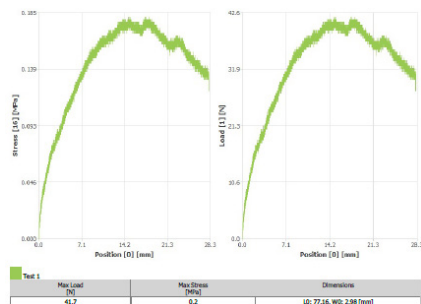
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. 4A-CME-21-135-07 Graficas de MOR y MOE



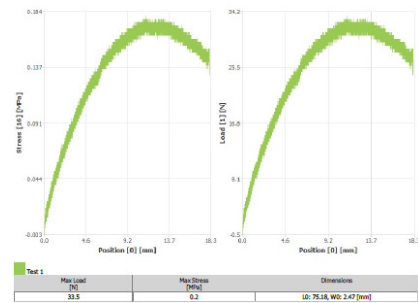
Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. 4B-CME-21-135-08 Graficas de MOR y MOE



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8. 4A-CME-21-135-07 Graficas de MOR y MOE



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. 5B-CME-21-135-10 Graficas de MOR y MOE

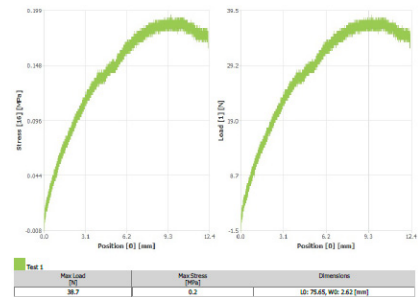
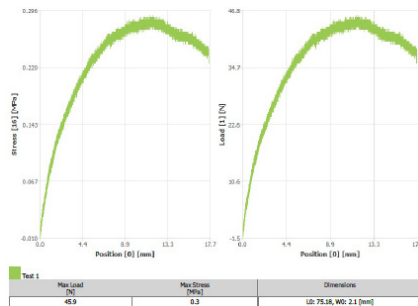
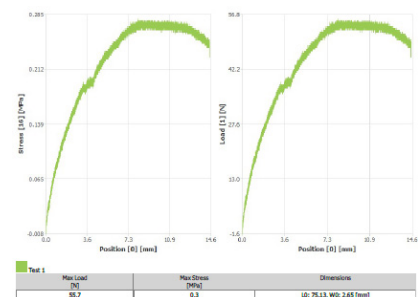


Figura 10. 6A-CME-21-135-11 Graficas de MOR y MOE



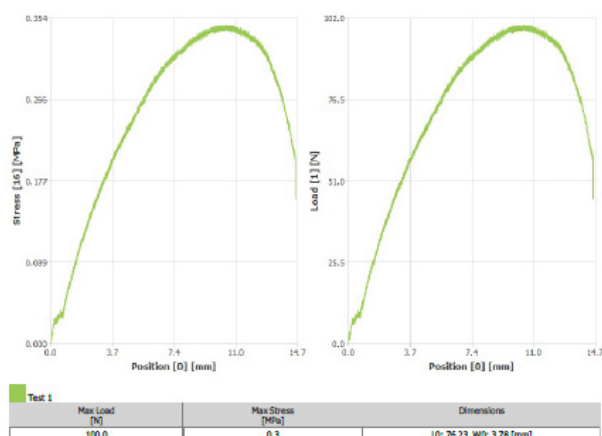
Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. 6B-CME-21-135-12 Graficas de MOR y MOE



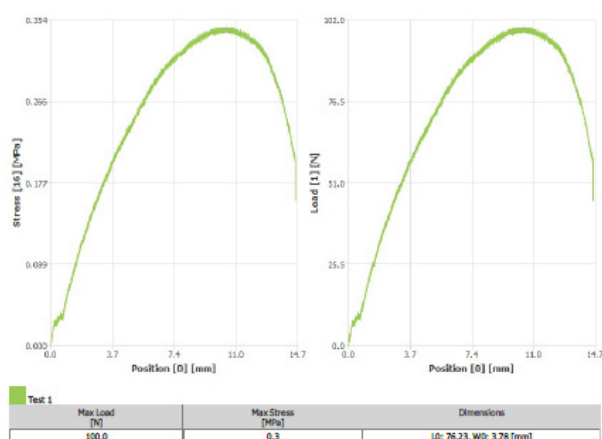
Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. 7A-CME-21-135-13 Graficas de MOR y MOE



Fuente: Elaboración propia.

Figura 13. 7B-CME-21-135-14 Graficas de MOR y MOE



Fuente: Elaboración propia.

4. ANÁLISIS DE RESULTADO

4.1 Módulo de rotura

Las dos probetas que se tenían de control (7A y 7B) tuvieron el siguiente desempeño: MG1 tablero medio 1 y MGS tablero medio especial, respectivamente: si bien se sacaron ambas muestras de la misma lámina, denota que en una lámina no todas sus fibras cuentan con el mismo máximo de esfuerzo, la muestra 7A contaba con un espesor en promedio de 4.36 mm y la probeta 7B con 3.85 mm, demostrando que no necesariamente la probeta más gruesa tiene una mejor clasificación.

Para las probetas 1A, 2A, 6A y 6B, obtuvieron una clasificación de MG1 tablero medio 1, estas probetas en particular se hicieron con trozos de polialuminio y con un polietileno de baja densidad calibre 4. Si bien cada muestra tenía un espesor diferente (3.06 mm, 3.25 mm, 2.10 mm y 2.65 mm en promedio respectivamente), esto demuestra que la combinación de polialuminio prensado en polietileno de baja densidad calibre 4, sin importar la cantidad, tiene un máximo de esfuerzo aceptable.

Las probetas 2B, 5A y 5B, obtuvieron una clasificación de LG tablero de grado bajo, estas muestras tenían un espesor de (2.95 mm, 2.58 mm y 2.62 mm), las probetas 5A y 5B fueron prensadas con polietileno de baja densidad calibre 2.

Para las probetas 4A y 4B, no se obtuvo una clasificación válida dentro del estándar de la NTC 2261, ya que sus resultados de módulo de rotura fueron valores muy inferiores (4.64 y 5.21) esto puede ser ocasionado por el tipo de plástico con el que se prensó, ya que para esta lámina se empleó polipropileno calibre 3, sus espesores promedios fueron (2.91 y 3.06). Sus gráficas demuestran que son las curvas que más grado de fluctuación tienen, lo que denota un nivel de resistencia menor.

Las probetas 3A y 3B obtuvieron los mejores resultados, incluso superando los valores de las probetas de control (MGS y HG). Estas fueron prensadas en polietileno bicapa de 36 micras, el polialuminio empleado era "reciclado", se empleó más material de lo común en las anteriores láminas, teniendo un espesor de (4.05 mm y 4.66 mm) en promedio, el trazo de sus curvas es más definido que el de los anteriores experimentos, lo que confirma que estas probetas tuvieron un nivel de resistencia superior.

4.2 Módulo de Elasticidad

Para esta prueba, el valor mínimo de referencia de la NTC 2261 es la clasificación de LG tablero de grado bajo con 800 N/mm^2 , valores que ninguna de las probetas alcanzó, ni siquiera las de referencia, ya que la más alta fue la probeta 3B con un valor de 631.23 N/mm^2 , seguida por la 7B con un valor de 556.84 N/mm^2 , esto quiere decir que este material tiene un grado de rigidez menor al esperado, o sea que, al aplicarle una fuerza, este se deforma, pero no recupera su forma inicial.

5. CONCLUSIONES:

El polialuminio es un material muy versátil el cual puede ser utilizado en múltiples aplicaciones ya que tiene grandes propiedades como su flexibilidad, es ligero, es impermeable, es un aislante térmico, no es corrosivo, entre otras, pero se demostró que no cumple con la NTC 2261 para tableros de partículas aglomeradas para aplicaciones interiores no estructurales, al menos las láminas de 4 mm o menor de espesor, debido a falta de inelasticidad.

Al realizar las pruebas de laboratorio, se evidenció que la combinación que mejor resistencia presentó frente al módulo de rotura era el polialuminio conformado por polietileno bicapa de 36 micras y polialuminio.

Si bien, las láminas que se probaron no clasificaron entre los estándares de las pruebas del módulo de elasticidad de la NTC 2261 que son los parámetros mínimos de calidad para los tableros de partículas aglomeradas para aplicaciones interiores no estructurales, la carencia de esta propiedad lo hace muy útil en el campo de la construcción, por ejemplo, en la fabricación de tejas y muebles modulares como cocinas integrales.

El polialuminio cuenta con comportamientos y propiedades similares al polipropileno y el polietileno, razón por la cual se puede emplear en procesos de inyección, esto da origen a múl-

tiples productos de uso cotidiano como baldes, papeleras, tapas de cuaderno, masetas, pupitres, mobiliario, entre muchos más.

Todo estudio que lleve a revelar las propiedades que tienen los materiales que se pueden rescatar de los botaderos de basura, mitiguen la huella de carbono y se le dé una segunda vida útil, son esfuerzos que están en pro de una mejor sociedad.

Es posible realizar campañas de reciclaje en el CDA de Chía, que generen nuevos materiales con aplicaciones industriales, así concientizar al cuerpo estudiantil de que es posible dar una segunda oportunidad a la “basura” y demostrar la importancia de realizar proyectos de investigación.

6. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación tuvo una duración mayor a la planeada debido a la problemática asociada con el covid 19. Durante estos 5 años, son muchas las personas que han apoyado en este trabajo de investigación, es por ello que hoy queremos hacer una breve mención, con el más sincero cariño.

6.1 Centro de Desarrollo Agroempresarial CDA SENA Chía.

Al ver este artículo finalizado, veo que sin el apoyo constante de nuestros líderes SENNOVA no hubiéramos logrado llegar a este punto, la guía de los diferentes coordinadores SENNOVA nos formaron como investigadores y gracias al apoyo de la dirección se logró gestionar esta investigación.

- **Leonora barragán**
Subdirectora CDA Chía.
- **Juan Francisco Guzmán Zabala**
Coordinador de SENNOVA 2018
- **David Ávila**
Líder SENNOVA investigación GITAE 2018

- **Orlando Castrillón**
Coordinador de SENNOVA 2019
- **Octavio Jaramillo Ossa**
Líder SENNOVA GITAE 2019
- **Lady Johanna Califa Montaña**
Coordinador de SENNOVA 2021

Deseo hacer una mención especial al Profesor **Iván Hernando Bernal Pérez**, Líder SENNOVA investigación GITAE 2019, quien fue la persona que me impulsó y apoyo en los momentos más complejos de la investigación y de igual manera hacer mención a la aprendiz Ángela Pirachican, quien fue parte del equipo de trabajo en su fase inicial.

6.2 Centro Industrial y Desarrollo Empresarial Tecnoparque nódulo Cazucá Soacha.

Hacemos mención especial del Centro Industrial y Desarrollo Empresarial, ya que sin ellos no hubiera sido posible desarrollar la termoprensa, fundamental para la elaboración de las láminas de polialuminio. Muchas gracias a los tutores y aprendices que intervinieron en la creación de esta máquina.

- **Jhorman Jhair Gutiérrez Valderrama**
Dinamizador Tecnoparque
- **Cesar Coronel**
Gestor de Ingeniería
- **Fayardo Hernández Aldana**
Gestor de Ingeniería y Diseño

6.3 Centro de Materiales y Ensayos

Desde el principio del proyecto tuvimos un cálido acompañamiento por parte del personal de los laboratorios y en especial de su coordinador, quien nos inspiró y nos alentó.

- **Mauro Enrique Hernández Castillo**
Coordinador técnico – laboratorios.

7. REFERENCIAS

- Manuel Rodríguez Becerra. Ex ministro del Medio Ambiente. (2004). Basuras: Problema Sin Resolver. 25 09 2017, de El Tiempo Sitio web: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1550634>.
- Javier Silva Herrera Redacción Cundinamarca. (2004). Basura En Cundinamarca, Un Problema Para 79 Municipio. 25 09 2017, de El Tiempo Sitio web: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1572438>.
- Liliana Rosales Hernández. (2016). Caracterización de polialuminio y aluminio (AL), recuperado a partir de envases de tetra Pak por microscopias y análisis térmicos. Tianguistenco, México: Universidad Autónoma Del Estado De México.
- Martha Lucia Quintero Rueda, Paula Andrea Rodríguez Romero. (2015). Caracterización mecánica a flexión Y compresión de elementos cajón armados con láminas aglomeradas de Tetra Pak® considerando los beneficios ambientales de su uso potencial. Bogotá, D.C.: Pontificia Universidad Javeriana.
- Henry Esteban Betancourt García. (2009). Plan de negocios para la creación de una planta de procesamiento de envases usados y desechos posindustriales de Tetra Pak, para la producción de láminas aglomeradas de Tektan. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana.