

**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TABLERO AGLOMERADO A PARTIR DEL RECICLADO DE LOS CARTONES DE
LARGA DURACIÓN (TETRABRIK®) Y POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD PEBD
(BOLSAS PLÁSTICAS)**

**Trabajo Especial de Grado Presentado ante la
Universidad Central de Venezuela
Por el Br: Carlos Espluga
Para optar al título de
Ingeniero Civil**

Caracas, 2010

**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TABLERO AGLOMERADO A PARTIR DEL RECICLADO DE LOS CARTONES DE
LARGA DURACIÓN (TETRABRIK®) Y POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD PEBD
(BOLSAS PLÁSTICAS)**

**Tutores Académicos: Prof. María E. Korody
Prof. Rebeca M. Sánchez**

**Trabajo Especial de Grado Presentado ante la
Universidad Central de Venezuela
Por el Br: Carlos Espluga
Para optar al título de
Ingeniero Civil**

Caracas, 2010

ACTA

El día 08/11/10 se reunió el jurado formado por los profesores:

Maia E. Korody
Ronald Torres
Newton Rausio

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: "TABLERO AGLOMERADO A PARTIR DEL RECICLADO DE LOS CARTONES DE LARGA DURACIÓN (TETRABRIK®) Y POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD PEBD (BOLSAS PLÁSTICAS)". Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al Título de **INGENIERO CIVIL**. Una vez oída la defensa oral que el bachiller: **CARLOS ESPLUGA**, realizó de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Números	Letras
Br. CARLOS ESPLUGA	20	VEINTE

Recomendaciones:

FIRMAS DEL JURADO

Maia E. Korody
Ronald Torres
Newton Rausio

Caracas, 08 de 11 de 20010

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de vivir y señalarme el camino en todas las decisiones importantes en mi vida. Gracias Dios

A Mis padres y mi hermana por brindarme siempre su apoyo incondicional y por haberme motivado en aquellos momentos difíciles de mi vida, por hacerme ver que todo en la vida es posible.

A mis amigos y a todas aquellas personas que me ayudaron en mi formación académica y en el desarrollo de este trabajo especial de grado.

Y muy especial a mi hija Paola Valentina, por ser el regalo más grande...por ser mi motivación...

Carlos Espluga...

AGRADECIMIENTO

Le doy gracias a dios por iluminar mi camino. Todos los días me siento lleno de gratitud hacia él.

Agradezco a mi madre, mi hermana, Ysabel y Albana por ayudarme en la recolección y corte del material.

A mis tutoras la Prof. María Eugenia Korody y la Prof. Rebeca Sánchez por brindarme todo el apoyo y conocimiento para la elaboración de ésta tesis.

Al Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), por brindarme su apoyo para la elaboración de los ensayos en especial al Prof. Cesar Peñuela, Prof. Ronald Torres, Prof. Nelson Camacho y el técnico que me ayudo para elaborar los ensayos Elione Barrios.

A los profesores que tuve durante mi formación académica, en especial a los de la Escuela de Ingeniería Civil por todos los conocimientos adquiridos.

A mis compañeros de clases, que compartimos momentos de alegría, preocupaciones y traspasos.

Y a todas aquellas personas que de alguna manera han colaborado e influido en esta primera etapa de mi vida. Lo cual estoy muy agradecido y me llena de mucho orgullo.

Gracias a todos...

ÍNDICE GENERAL

	pp.	
DEDICATORIA.....	v	
AGRADECIMIENTOS.....	vi	
ÍNDICE GENERAL.....	vii	
LISTA DE FIGURAS.....	viii	
LISTA DE TABLAS.....	xi	
LISTA DE GRAFICOS.....	xii	
RESUMEN.....	xiii	
INTRODUCCIÓN.....	1	
CAPÍTULO		
I EL PROBLEMA		
Planteamiento del Problema.....	3	
Objetivos de la Investigación.....	7	
Objetivo	7	
General.....	7	
Objetivos	7	
Específicos.....	7	
Justificación.....	7	
Alcance y Limitaciones.....	9	
II MARCO REFERENCIAL		
Antecedentes de la Investigación.....	12	
Bases Teóricas.....	20	
III MARCO METODOLÓGICO		
Tipo y Diseño de Investigación.....	56	
Técnicas de Análisis de Datos.....	60	
Fase Experimental.....	62	
IV PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS		90
V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		110
Conclusiones.....	110	
Recomendaciones.....	112	
REFERENCIAS.....	113	

ANEXOS.....	116
-------------	-----

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	pp.
1. Tablero conglomerado	20
2. Fabricación del Tablero Conglomerado.....	21
3. Tablero Conglomerado.....	22
4. Uso del Tablero Conglomerado.....	22
5. Fibra de media densidad (MDF siglas en ingles).....	23
6. Cartón Piedra.....	25
7. Capas del Tetra Brick	28
8. Fabricación de Paneles de Tetra-Plack.....	35
..	
9. Fabricado de Tetra Plack.....	36
10. Colocación de los envases en un hidropulper.....	39
11. Proceso de separación de capas del envase.....	40
12. Proceso de separación de capas del envase.....	40
13. Embobinado de papel proveniente del cartón.....	40
14. Material dispuesto en moldes para fabricación de tejas.....	42
15. Fabricación de Tejas	43
16. Fabricación de Tejas	43

17. Bolsas Plásticas.....	48
18. Bolsas Plásticas para Basura	48
19. Cadena orgánica del Polietileno de Baja Densidad.....	49
20. Material para Reciclaje	54
21. Recolección del Tetra brick®.....	62
22. Corte, lavado y secado del Tetra brik®.....	63
23. Molino, cuchillas, Tetra brick® molido.....	64
24. Bolsas de plástico empaquetadas para reciclaje.....	65
25. Proceso de obtención del PEBD granulado	66
26. Pesado de la Materia Prima.....	68
27. Preparación de la Placa, Encofrado.....	69
28. Colocación de los Materiales por Capas.....	71
29. Proceso de Horneado.....	72
30. Proceso de Prensado.....	73
31. Proceso de Desencofrado	74
32. Proceso de Cortado	75
33. Tablero Aglomerado Acabado.....	76
34. Probetas para Ensayo de Densidad	80
35. Probetas Inmersas en Agua 2 y 24 Horas.....	82
36. Ensayo de Flexión y Ruptura.....	84
37. Ensayo Tracción Perpendicular a la Superficie del Tablero.....	87

38. Geometría de probeta para ensayo de tracción.....	88
39. Ensayo Tracción Paralela a la Superficie del Tablero.....	89
40. Inmersión en agua e hinchamiento a las 2 y 24 horas.....	93
41. Rotura de las probetas en ensayo a flexión.....	101
42. Rotura de las probetas del ensayo de tracción perpendicular a la superficie del tablero	103
43. Rotura de las probetas en ensayo de tracción paralela a la superficie del tablero.....	105

LISTA DE TABLAS

TABLA		pp.
1	Propiedades Físicas y Mecánicas del Polietileno...	46
2	Párametros para el Diseño del Tablero.....	67
3	Resultados Cálculo de Densidad.....	90
4	Ensayo de Inmersión a las 2 horas.....	91
5	Ensayo de Inmersión a las 24 horas.....	92
6	Resistencia a la Flexión y Módulo de Elasticidad...	94
7	Tracción Perpendicular a la Superficie del Tablero.....	102
8	Tensión paralela a la Superficie del Tablero.	104
9	Cuadro resumen de las propiedades del tablero aglomerado.....	106
10	Requisitos para Tableros Aglomerados para uso General	107
11	Valores estándar de Tableros Aglomerados Empresas Masisa.....	108
12	Cuadro Comparativo entre Tablero Aglomerado Elaborado y Tablero de Partículas de la Empresa Masisa.....	109

LISTA DE GRAFICOS

GRAFICO	pp
1 Carga vs Deformación Probeta P1.....	95
2 Carga vs Deformación Probeta P2.....	95
3 Carga vs Deformación Probeta P3.....	96
4 Carga vs Deformación Probeta P4.....	96
5 Carga vs Deformación Probeta P5.....	97
6 Carga vs Deformación Probeta T1.....	97
7 Carga vs Deformación Probeta T2.....	98
8 Carga vs Deformación Probeta T3.....	98
9 Carga vs Deformación Probeta T4.....	99
10 Carga vs Deformación de todas las probetas.....	100
11 Esfuerzo vs Deformación de los Polímeros	100

Espluga, Carlos

TABLERO AGLOMERADO A PARTIR DEL RECICLADO DE LOS CARTONES DE LARGA DURACIÓN (TETRABRIK®) Y POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD PEBD (BOLSAS PLÁSTICAS).

Tutores Académicos: Prof. María E. Korody, Prof. Rebeca M. Sánchez

**Trabajo Especial de Grado. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.
Escuela de Ingeniería Civil. 2010**

RESUMEN

El propósito del presente trabajo de grado fue la fabricación de un tablero aglomerado a partir del reciclado de los cartones de larga duración (Tetra brik®) y Polietileno de Baja Densidad PEBD (bolsas plásticas) con la finalidad de ofrecer un material alternativo para la fabricación de elementos no estructurales o arquitectónicos.

La metodología utilizada se ubicó dentro del tipo teórico-práctico describiendo todos los procesos de elaboración y análisis físico mecánico del tablero aglomerado sustentando en las revisiones bibliográficas relacionadas a la investigación, y se centra en tres aspectos fundamentales: la primera una fase de recolección, preparación y elaboración del tablero aglomerado a base de Tetra brik® y Polietileno de baja densidad, donde se describe los procesos de cortado, limpieza y molienda del Tetra brik®, así como el proceso de obtención de PEBD granulado, seguidamente la elaboración de los tableros, según la condición de diseño, donde se describe el pesado de la materia prima, preparación del molde y encofrado, proceso de horneado, prensado, desencofrado, cortado y finalmente el acabado.

La segunda fase comprende la descripción de los ensayos realizados de densidad, absorción del agua y estabilidad dimensional del tablero por inmersión total, resistencia a la flexión y módulo de elasticidad, tracción perpendicular y paralela a la superficie del tablero, así como también, los análisis de los resultados para determinar las propiedades físico-mecánicas del tablero. Y por ultimo poder estimar su uso como elemento no estructural al comparar sus propiedades mecánicas con otros tipos de tableros de partículas que se encuentran en el mercado, teniendo como resultado que podrían ser usados como cielo rasos, cajones, recubrimiento en paredes y pisos, núcleo de puertas y diversas piezas moldeadas.

Palabras Clave: Tablero aglomerado, Tetra brik®, Polietileno

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es una investigación que tiene por objetivo elaborar un tablero aglomerado a partir del reciclado de los cartones de larga duración (Tetra brik[®]) y Polietileno de Baja Densidad (PEBD) específicamente bolsas plásticas. Ambos materiales son desechos sólidos que tardan mucho en descomponerse y son un problema ambiental para la sociedad. Esta problemática junto con la carencia y alto costo de materiales para la construcción tales como la madera, nace la idea de elaborar este tipo de tablero para minimizar esta problemática y a su vez, ofrecer un material alternativo para la construcción de elementos no estructurales o arquitectónicos. También esta investigación atiende una de las iniciativas planteadas en el Proyecto de Grupo financiado por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela (CDCH) con el propósito de desarrollar y caracterizar el tablero aglomerado a base de estos materiales.

En esta investigación teórico-práctica, se presenta una metodología para elaborar este tipo de tablero aglomerado para una misma condición de diseño donde cada una de las muestras fueron analizadas y sometidas a diferentes pruebas de laboratorio con el objeto de determinar sus propiedades físico mecánicas de acuerdo a las normas venezolanas COVENIN y normas internacionales ASTM para la elaboración de tablero aglomerado a base de partículas de madera.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos fueron satisfactorios al poder estimar su uso como elemento arquitectónico o de uso interior en viviendas al compararse sus propiedades con otros tableros de partículas presentes en el mercado.

Por consiguiente, para una mejor comprensión de la misma, el desarrollo de la investigación se presenta en cuatro capítulos que a continuación se muestran:

Capítulo I: se presenta el problema, hace referencia a la contextualización del planteamiento, los objetivos generales y específicos, la justificación y alcance de la investigación.

Capítulo II: se presenta el marco referencial, donde se exponen los antecedentes de la investigación y las bases teóricas, el sistema de variables y la definición de términos básicos.

Capítulo III: se indica el marco metodológico la cual se establecen los lineamientos metodológicos del trabajo. Se enfoca el tipo y diseño de la investigación, se presenta el trabajo práctico que define todo el proceso de elaboración del tablero aglomerado, así como también, los procedimientos estadísticos para la obtención y análisis de los resultados.

Capítulo IV: se presentan los resultados de los ensayos experimentales, análisis de resultados, conclusiones de la investigación y recomendaciones finales.

Posteriormente se presentan las referencias bibliográficas y anexos correspondientes.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Venezuela se ha evidenciado en los últimos años un déficit de materiales para la construcción de obras civiles tanto a nivel estructural como aquellos materiales utilizados para fabricar elementos de uso interior de viviendas u oficinas tales como: mueblería, puertas, pisos de maderas entre otros.

Los materiales considerados como tradicionales tales como el cemento, acero y madera, se hacen cada vez menos asequibles o difíciles de conseguir, producto de una alta brecha existente entre los medios de producción del sector de la construcción y una alta demanda generada por los planes de desarrollo tanto del sector público como privado.

Es así como uno de los planes de desarrollo de mayor interés y que ha afectado notablemente a la población venezolana en su capacidad o limitaciones para adquirirlas son las construcciones de viviendas, donde una de las variables que más afecta es la escasez de materiales para la construcción y ésta se traduce en un encarecimiento de las unidades de vivienda.

Atendiendo a los aspectos anteriores, según el reporte del diario “El Mundo” de fecha 3 marzo del 2007 explica que la situación viene ocurriendo

a partir de finales del año 2005 cuando se promulgaron leyes especiales de protección al deudor hipotecario y el régimen prestacional de vivienda y hábitat, donde se establecen políticas de subsidio e incentiva a la población a invertir en unidades de vivienda donde la industria de la construcción no está en la capacidad total de cubrir tal demanda.

A su vez el Instituto Nacional de Vivienda difundió un reporte en el cual hasta el año 2009 Venezuela presenta un déficit habitacional que supera más de 1 millón 800 mil unidades de vivienda.

Los antecedentes mencionados, evidencian una problemática, por lo tanto, es necesario desarrollar nuevas alternativas a los materiales tradicionales utilizados en la construcción, enmarcados con un sentido ecológico, sostenible en el tiempo y de bajo costo, que bien podría satisfacer la demanda, sobre todo en aquellos proyectos de interés social que son de gran envergadura y generan altos costos económicos.

Enfocados en poder desarrollar un material alternativo o que pudiera sustituir en algunas aplicaciones a los materiales tradicionales. El autor, considera como fuente de materia prima otra problemática existente en Venezuela, como es la gran cantidad de desechos sólidos que generan las comunidades. Estos desechos se disponen finalmente en vertederos o rellenos sanitarios cuya capacidad de almacenamiento está severamente comprometida.

Entre los diferentes desechos sólidos, que se pueden encontrar, aparecen en un alto porcentaje los denominados no biodegradables o de difícil descomposición por medio de la acción de microorganismo, estos son los de mayor importancia a objeto de darle una reutilización como material reciclable e impactar menos el medio ambiente.

En este orden de ideas, se tiene que dentro de los desechos no biodegradables más comunes se encuentran: cartón, plástico, vidrio y aluminio. Todos éstos desechos han tenido una gran diversidad de aplicaciones en su reutilización como material de reciclaje, sin embargo existe otro material de desecho que ha comenzado a tener auge gracias a su capacidad para mantener los alimentos en buen estado durante largo tiempo como son los envases de larga duración o Tetra brik[®].

Sin embargo, poco se conoce del Tetra brik[®] respecto a su uso como material de reciclaje y por esta razón se escoge este material de desecho junto con otro material que puede ser reciclado y de un alto consumo en el país como lo son las bolsas de plástico, con la idea de desarrollar un tablero aglomerado a base de éstos desechos sólidos que pueda ser sustituto en algunas aplicaciones de unos de los materiales más costoso desde el punto de vista ambiental y económico como es la madera, de uso indispensable para encofrado y apuntalamiento en las obras civiles, o bien pudiera utilizarse en la fabricación de mueblería, o ser sustituto de otros materiales tales como los contra enchapados, bisopan, tablero de fibra de media densidad entre otros tableros aglomerados.

Atendiendo a las consideraciones mencionadas, surgen las siguientes interrogantes de investigación:

¿Cómo se desarrolla un tablero aglomerado con envases de larga duración (Tetra brik®) y bolsas plásticas o Polietileno de Baja Densidad (PEBD)?

¿Qué características físico-mecánicas pueden ofrecer?

¿Qué aplicación pudiera tener como elemento para la construcción al compararse sus características físico-mecánicas con la de otros tableros aglomerados?

Con base en las respuestas se determinará si es factible utilizar el tablero aglomerado a partir del reciclado de los envases de larga duración (Tetra brik®) y Polietileno de Baja Densidad PEBD (bolsas plásticas) y en que aplicaciones como elemento constructivo se pueden utilizar para así poder aportar una nueva alternativa como material de construcción.

Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Fabricar un tablero aglomerado a partir del reciclado de los cartones de larga duración (Tetra brik[®]) y Polietileno de Baja Densidad PEBD (bolsas plásticas) con características que sirva como material para la construcción.

Objetivos Específicos

-Describir el proceso de elaboración del tablero aglomerado a base de Tetra brik[®] y Polietileno de Baja densidad PEBD (bolsas plásticas).

-Caracterizar mediante ensayos de laboratorio las propiedades físico-mecánicas del tablero aglomerado.

-Estimar que tipo de uso como material de construcción se puede utilizar el tablero aglomerado a base de Tetra brik[®] y Polietileno de Baja Densidad PEBD (bolsas plásticas).

Justificación de la Investigación

El estudio se realiza con la idea de solucionar dos problemas, la primera es el impacto ambiental que tienen los desechos sólidos no biodegradable en el ecosistema y la segunda poder ofrecer un material alternativo a base de éstos materiales a bajo costo para su uso en interior de

viviendas.

El material Tetra brik[®] es considerado no reciclable y de uso bastante difundido en Venezuela. Según cifras de la empresa TETRAPAK-Venezuela, se consumen aproximadamente 40 mil toneladas métricas anuales de este producto. Este material no es fácilmente biodegradable así como también la separación de sus elementos componentes por lo que su disposición final son los vertederos y rellenos sanitarios.

A su vez, las bolsas plásticas también ha sido un problema ya que su proceso de descomposición es lento y es uno de los elementos de mayor consumo en el país.

Por otro lado, el incremento en los costos de los materiales tradicionales en la industria de la construcción en Venezuela y la carencia de ésta en el mercado, surge la necesidad de buscar alternativas a los materiales tradicionales que puedan complementar la nuevas exigencias como es la de construir con un sentido ecológico.

Por estas razones, el poder verificar que el tablero aglomerado a base de cartones de larga duración (Tetra brik[®]) y Polietileno de Baja Densidad PEBD (bolsas plásticas) se pueda convertir en un material alternativo con propiedades similares a los tableros de partículas de fibra de madera, como los contra enchapados, bisopan, cartón piedra, y fibra de mediana o baja densidad (MDF y LDF por sus siglas en ingles) para fabricar mueblería y otros elementos de uso interior en viviendas. Serian una solución sustentable ya que es un material ecológico que se puede adquirir a bajo costo. Y lo más importante es que no requiere el uso de resinas lo cual es un

contaminante que perjudica la salud de las comunidades.

Cabe destacar que esta investigación es la continuación de un proyecto llevado a cabo por las Facultades de Ingeniería y Facultad de Arquitectura con el apoyo del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela (CDCH) donde se plantea el desarrollo y caracterización de tableros aglomerados construidos a partir del reciclado de los cartones de larga duración presentes en los residuos sólidos domésticos

Alcance y Limitaciones

Alcance

El presente trabajo significará un aporte teórico de gran valía para la ingeniería en Venezuela en la continuación de futuras investigaciones respecto a materiales alternativos para la construcción, a base de desechos sólidos, así como, generar nuevas ideas que amplíen la reutilización del tetrabrik y polietileno tereftalato.

Es de relevancia para la sociedad, ya que es un material que al ser reciclado de esta manera, se reducen las cantidades de desechos que se encuentran en su disposición final y minimiza el impacto ambiental ya que estos son desecho no biodegradables.

Así mismo, se concibe de gran satisfacción para el autor de éste trabajo contribuir en la búsqueda de nuevas tecnología de carácter ecológico y sustentable para mejorar la calidad de vida de nuestra sociedad.

Desde el punto de vista institucional, el disponer de una tecnología con el cual se pueda seguir avanzando en el desarrollo de otros prototipos de tableros aglomerados adicionando otros desechos no biodegradables que pueden ser reciclados.

Limitaciones

Debido a que en Venezuela no se procesa ni se recicla el tetrabrik no existen los equipos necesarios para tal fin. Por tal motivo para el proceso de obtención del Tetrabrik molido se utilizó un método artesanal para el proceso de corte y lavado y para la molienda se utilizó un molino de fabricación casera.

También, la gran cantidad de material de Tetrabrik en buen estado, necesario para elaborar un tablero aglomerado y su dificultad para recolectarlo, originan que las propiedades físico-mecánicas obtenidas se limitan para una misma condición de diseño del tablero.

A su vez al no existir una normativa específica para evaluar tableros a bases de material reciclable, se decidió por utilizar las normas COVENIN y ASTM que determinan las propiedades de tableros de partículas a base de fibra de madera, por el uso similar que se le pretende dar al tablero

aglomerado de esta investigación y ajustados a los equipos disponible en el laboratorio.

Uno de los ensayos que se considero importante pero que no se pudo realizar fue el de la resistencia al calor o prueba de fuego ya que no se contaba con los equipos necesarios para medir los niveles de toxicidad.

Los tableros elaborados poseen dimensiones de 35x35cm, por lo que era imposible obtener todas las muestras para los diferentes tipos de ensayos de un mismo tablero como lo establece las normas. Por consiguiente se realizaron varios tableros y a cada tablero le correspondía un tipo de ensayo. Dado que todos los tableros tienen una misma condición de diseño se asume que todos tienen las mismas características.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

Constituye las bases sobre las cuales se sustentan las investigaciones, ello implica analizar y exponer las teorías, los enfoques teóricos los antecedentes en general que se consideren pertinentes y acordes para el correcto proceso del estudio. En este sentido, Rojas (citado por Hernández, Fernández y Baptista, 2006), el marco teórico referencial consiste en “Analizar y exponer aquellas teorías, enfoques teóricos, investigaciones y antecedentes en general que se consideren válidos para el correcto encuadre del estudio” (p. 22).

Atendiendo a esta cita se puede decir que el marco teórico es importante ya que permite indagar sobre los aspectos o fundamentos que definen las teorías en que se sustenta la investigación, es decir permite de manera exhaustiva consultar y analizar las fuentes documentales y bibliográficas que se relacionan con la presente investigación.

Por lo tanto, el presente capítulo tiene como propósito recabar toda la información necesaria sobre el tema de investigación, permitiendo así la ampliación y profundización con el objeto de llegar a conclusiones más exactas, afianzándose en los antecedentes para darle mayor confianza al lector con respaldo del contenido y a los resultados de la investigación. El mismo se estructura en antecedentes de la investigación y bases teóricas.

Antecedentes de la Investigación

Hoy en día es evidente que toda investigación debe estar apoyada o sustentada generalmente por la realización de trabajos anteriores que aportan aspectos teóricos y metodológicos con soluciones de apoyo para la misma desde el punto de vista de sus investigadores.

Según, Tamayo y Tamayo (2003), "Todo hecho anterior a la formulación del problema que sirve para aclarar juzgar e interpretar el problema planteado, constituye los antecedentes del problema" (p.72).

Atendiendo a la posición del autor citado, se puede decir que todo proceso de investigación requiere necesariamente estar sustentado en una serie de estudios previos con el propósito de obtener mayor conocimiento y explotar otros planteamientos hechos por distintos autores relacionados con el tema, por lo que a continuación se presenta una serie de investigaciones realizadas en forma independiente de donde se pueden extraer algunos elementos que permitan sustentar esta investigación. Entre las relacionadas con este estudio se tienen:

Núñez (2005), desarrolló para el Instituto Técnico Nacional de México, una investigación denominada El Envase de Cartón Laminado tipo Tetra brik[®], un Problema Ambiental y sus Posibilidades de Aprovechamiento. Destaca la autora, que los envases para contener productos a lo largo de la historia existen desde los confeccionados con papel, plástico, vidrio, metal, hasta los que emplean diversos materiales para su elaboración del Tetra brik[®].

La investigación tuvo como objetivo realizar una investigación bibliográfica de la situación general acerca del envase de cartón tipo Tetra brik[®], y de los diferentes tratamientos para la separación de las capas que lo constituyen, así como las diferentes opciones de aprovechamiento. Así mismo, proponer una alternativa desprendimiento de las capas polietileno del aluminio.

La metodología utilizada consistió en la recopilación documental al respecto al envase, así como actividades experimentales complementarias con mezclas de solventes. Los resultados muestran la separación del cartón, la capa externa de polietileno y el conjunto polietileno-polietileno de aluminio

del conjunto p-p-a-p. Se concluye que el envase puede ser aprovechado completo o a través del proceso de plasma.

Así mismo, Sue (2007), realizó una investigación titulada Estudio de la Factibilidad Técnica y Económica para la Instalación de una Planta de Reciclaje de Envases de Tetra Pak , para la producción de Tectan.

En lo que respecta a la metodología, los instrumentos seleccionados para la investigación, están basados en fuente documental de distintos estudios con alto nivel de credibilidad, otro instrumento de investigación es el instrumento de medición; estos constituyen un conjunto de pautas e instrumentaciones específicas para impedir que se aleje del punto de interés, las que se utilizan son encuestas aleatorias que se aplicaron principalmente en la población de Valera para determinar las ventas de productos envasados en Tetra Pak y por otro lado para determinar la compraventa de maderas utilizadas en la industria del mueble y de la construcción, obteniendo así una base de datos autenticada para obtener resultados verdaderos y conclusiones factibles, utilizando así la fase proyectiva que comprende los procedimientos dirigidos a concretar la forma como se recogerá y analizará la información pertinente para dar respuestas a la pregunta de investigación.

Entre las conclusiones reflejan que la factibilidad de instalar una microempresa destinada a la fabricación de planchas de Tectan en el Estado Trujillo, se pudo definir mediante los indicadores de rentabilidad, los cuales son el valor actual neto (VAN) y la relación beneficio costo (B/C), que

arrojando resultados satisfactorios, permitieron arrojar que el estudio es aplicable.

Haciendo referencia al estudio de mercado se detectó una oferta muy significativa, la mayoría de los establecimientos están dispuestos a adquirir un producto innovador, con características superiores a sus similares, a su vez el precio estipulado cumple con las expectativas, al ser comparado con sus competidores, lo que permite ganar terreno dentro del mercado por promociones y rebajas en los precios a ofrecer.

En lo que respecta a la parte técnica del proyecto, la infraestructura con que se dispone es adaptable a la flexibilidad de la planta, contando con todos los servicios necesarios y una disponibilidad de materia prima favorable.

Funes y Rodríguez (2008), realizaron para la Universidad Central de Venezuela una investigación titulada: Potencial de Recuperación del Tetra brik® presente en Residuos Sólidos Municipales de un sector de San Bernardino. Parroquia San Bernardino.

En este trabajo especial de grado se trabajó con la primera fase de un proyecto para desarrollar un proceso de elaboración de tableros a base de Tetra brik®, y además se aprovechó la oportunidad para identificar la presencia y potencial de recuperación de otros reciclables secos, como papel, cartón, aluminio, plástico y vidrio; para combatir así el problema que generan éstos como residuos sólidos.

A tales efectos se propuso escoger un sector de San Bernardino – Parroquia San Bernardino, que abarca diferentes estratos sociales de la población de Caracas. La elección de trabajar con este sector, se realizó en conjunto con la Facultad de Arquitectura y Urbanismo, por su experiencia y conocimiento del mismo a través de proyectos ejecutados en esa zona.

El propósito fundamental fue evaluar el potencial del Tetra brik® para saber las posibilidades de recuperación así como otros reciclables secos presentes en los residuos sólidos de origen municipal.

Según los objetivos planteados se realizarán métodos analítico que procuran identificar las características del sector para delimitar las zonas de estudio; se diseñará un instrumento para identificar la presencia de Tetra brik® y otros reciclables secos, así como conocer la disposición y participación en el programa de separación y recuperación de los desechos que se generen. Luego cuantificarlo y finalmente se estimará el potencial de recuperación del Tetra brik y otros reciclables secos presentes en los residuos sólidos de un sector de San Bernardino, Parroquia San Bernardino.

En la cuantificación se clasificará la muestra en un sector residencial, que esta organizado por estratos sociales, alta, media y bajo, y en un sector comercial, seleccionando los comercios más representativo de la Parroquia. Con las cantidades totales en kilogramos de los desechos generados diariamente por persona y el porcentaje de eficiencia, se obtuvo los resultados del potencial de recuperación, que a continuación se presentan expresado en Kg/día, para el Tetra brik 932,84 Kg y 9,42 Kg, el aluminio

1.270,72 Kg y 19,41 Kg, vidrio 2.988,68 Kg y 166,24 Kg, plástico 1.850,60 Kg y 701,24 Kg, papel 2.276,23 Kg y 180,97Kg cartón 190,32 Kg y 3.728,04 Kg en residencias y comercios respectivamente.

El potencial de recuperación de los materiales reciclables en el sector residencial, resultaron ser el vidrio, papel, y plástico. En el comercial, el cartón se aprovecharía por ser de mayor producción.

En cuanto el Tetra brik[®], se producen en mayor cantidad en las clases media y alta ya que son los que más consumen productos envasados en éste material, representado por un 76,67% en la clase media y 96,67% en la clase alta; consiguiendo la recuperación en estos estratos sociales.

Por otro lado, Obregon (2008), realizó para la Facultad de Arquitectura de la Pontificia Universidad Bolivariana, en Colombia, una investigación que se tituló Tableros Aglomerados: Una Solución de Vivienda con Carácter Social. La idea de la investigación surge de Carlos Raúl Villanueva, de un concepto sobre “la arquitectura es acto social por excelencia, arte utilitario, como proyección de la vida misma, ligada a problemas económicos y sociales y no únicamente a normas estéticas”, podría describir uno de los más destacados proyectos de investigación arquitectónica realizado en los últimos años en Colombia.

En tal sentido, con el nombre de Desarrollo de Elementos Estructurales y no Estructurales en Tableros de Madera Aglomerada STMUF, la investigación tuvo por objeto desarrollar viviendas livianas, modulares,

transportables, ambientales y sostenibles”, utilizando los tableros aglomerados como elemento estructural y no estructural para aplicaciones en ambientes húmedos. Su propósito, es ofrecer una solución ante el déficit de vivienda que afecta principalmente a aquellas comunidades que por razones de pobreza y/o desplazamiento, se establecen en las periferias de las grandes ciudades, zonas que por carecer de una adecuada infraestructura, hacen difícil el acceso de estas comunidades a servicios básicos como salud, nutrición, educación o seguridad social; e incluso a condiciones dignas de morada.

Ante este hecho, el Laboratorio de Estudios y Experimentación Técnica (LEET) de la Facultad de Arquitectura de la Pontificia Universidad Bolivariana, Tablemac S.A. e Interquim S.A. y con el aporte de Conciencias, iniciaron en el 2008 este proyecto que se constituye como una alternativa de aprovechamiento de la madera en la construcción.

Los resultados de la investigación, destacan que durante la última década la industria nacional de tableros ha desarrollado nuevos productos con características estructurales y físicas especiales para el área de la construcción. Entre ellos, se encuentra el tablero estructural tipo SuperT MUF (ST-MUF), marca registrada de Tablemac S.A. y objeto del estudio, que gracias a su buen comportamiento frente a la humedad y a otras características adicionales como su facilidad para ser transportado – comparado con otros materiales como el concreto y alta calidad, es uno de los elementos más usados en la construcción de espacios interiores y exteriores como cocinas, baños o suelos para jardines.

Una de las razones que favorecieron la iniciativa de la investigación, es que fue desarrollada bajo las especificaciones más estrictas en materia de tableros aglomerados estructurales resistentes a la humedad, y los ensayos aplicados al estudio fueron:

- Densidad UNE EN 323
- Densidad UNE EN 323
- Estabilidad dimensional UNE EN 318
- Resistencia a la humedad EN 321 y EN 1087
- Conductividad térmica EN 13986
- Aislamiento acústico ISO 140-3
- Resistencia al vapor de agua EN ISO 12572
- Contenido de formaldehído UNE EN 120

En primera instancia los investigadores analizaron características físicas como hinchamiento, estabilidad dimensional, propiedades acústicas y térmicas, resistencia a la humedad, a hongos e insectos y características mecánicas como, flexión, rigidez, cizallamiento, comprensión, ciclo de vida del producto y acabados finales.

Así, después de haber sometido el material a diferentes pruebas, los resultados muestran un tablero resistente a la humedad del ambiente que gracias a su bajo porcentaje de absorción de agua, tiene la capacidad de conservar su características principales con óptimas propiedades acústicas, de resistencia al fuego, hongos, resistencia al ataque de insectos y permeabilidad al vapor; que lo hacen ideal para el área de la construcción, incluso comparado con otros tableros como el OSB.

Las características del tablero son las siguientes: Superficie homogénea y sellada, las dos caras del tablero son utilizables, aislante acústico y térmico, peso manejable: fácil de transportar y reutilizable, alta resistencia al ataque de ácidos, resistencia a la humedad, fabricados con procesos tecnológicos y materias primas mejoradas, compatible con todos los procesos de pinturas y acabados de fachadas y fácil fabricación de encofrados. La figura 1 muestra el acabado final:



En la investigación, los tableros aglomerados fueron sometidos a pruebas para fijar estándares de calidad que respondan a los requerimientos arquitectónicos y de diseño de estas viviendas.

Figura 1: Tablero Conglomerado
Fuente: Obregón (2008).

Bases Teóricas

Tableros Aglomerados

Son aquellos que se obtienen a partir de pequeñas virutas o serrín encolados a presión en una proporción de 50% virutas y 50% cola. En tal sentido, Boscan (2008), refiere que se fabrican de diferentes tipos en

función del tamaño de sus partículas, de su distribución por todo el tablero, así como por el adhesivo empleado para su fabricación. Por lo general se emplean maderas blandas más que duras por facilidad de trabajar con ellas, ya que es más fácil prensar blando que duro. La figura 2 corresponde a la fabricación de tableros conglomerados:



Figura 2: Fabricación de Tablero Conglomerado

Fuente: Boscan (2008)

Destaca el citado autor, que los aglomerados son materiales estables y de consistencia uniforme, tienen superficies totalmente lisas y resultan aptos como bases para enchapados. Existe una amplia gama de estos tableros que van desde los de base de madera, papel o laminados plásticos. La mayoría de los tableros aglomerados son relativamente frágiles y presentan menor resistencia a la tracción que los contrachapados debido a que los otros tienen capas superpuestas perpendicularmente de chapa que dan bastantes más aguante. La figura 3, muestra un ejemplo de tablero conglomerado:



Figura 3: Tablero Conglomerado

Fuente: Boscan (2008)

Así mismo, destaca que estos tableros se ven afectados por el exceso de humedad, presentando dilatación en su grosor, dilatación que no se recupera con el secado. No obstante se fabrican modelos con alguna resistencia a condiciones de humedad. Aunque se debe evitar el colocar tornillos por los cantos de este tipo de láminas, si fuese necesario, el diámetro de los tornillos no debe ser mayor a la cuarta parte del grosor del tablero, para evitar agrietamientos en el enchapado de las caras. La figura 4 muestra el uso de tableros conglomerados:



Figura 4: Uso del Tablero Conglomerado

Fuente: Boscan (2008)

Tipos de Tableros Aglomerados

A continuación, se presentan dos tipos de tableros aglomerados:

MDF (Medium density fibreboard)

Los tableros de MDF según Obregón (2008) son producidos usando troncos frescos de pino, seleccionados y descortezados, provenientes de plantaciones generalmente manejadas bajo el concepto de una continua y permanente reforestación. Los rollizos se reducen a astillas, después de su previa descortezación, las que son lavadas y posteriormente se someten a un proceso termomecánico de desfibrado. La fibra se mezcla con aditivos (resina, cera y urea) y finalmente pasa por un proceso de prensado en donde se aplica presión y temperatura dando así origen al tablero de MDF. La siguiente figura 5 muestra un tablero de este tipo:



Figura 5: fibra de media densidad (MDF siglas en ingles)
Fuente: Obregón (2008).

Se clasifican de acuerdo a densidad (725; 600 y 500 kg/m³) y apariencia (sin acabado, con caras enchapadas de melamina, enchapado con madera natural, ranurado para exhibidores y laqueado).

Principalmente es comercializado en grosores desde 2,5 mm a 4 cm o más. La medida del tablero normalizado es de 244 x 122 cm, aunque en algunos casos se surte con una pulgada extra de ambos lados (49" x 97"). A continuación se presentan las densidades aproximadas del MDF estándar

- de 2,5 a 3 mm 800 kg/m³
- de 4 a 6 mm 780 kg/m³
- de 7 a 9 mm 770 kg/m³
- de 10 a 16 mm 760 kg/m³
- de 18 a 19 mm 755 kg/m³
- de 22 a 25 mm 750 kg/m³
- de 28 a 32 mm 740 kg/m³
- de 35 a 38 mm 730 kg/m³
- de 38 a 40 mm 720 kg/m³

Peso aproximado por tablero (2.44 x 1.22 m) según el grosor:

- de 3 mm 7 kg
- de 5 mm 12 kg
- de 7 mm 16 kg
- de 10 mm 23 kg
- de 16 mm 36 kg
- de 18 mm 43 kg
- de 30 mm 66 kg

Cartón Piedra

Es la técnica similar al papel maché usando papel o cartón y yeso o escayola, utilizada para confeccionar máscaras, títeres y se usa para hacer escenarios y el atrezzo de teatro y películas. (Carras 2007).

Para Moles (2006), es una material que se usa para fabricar marionetas, máscaras, muñecos y no pocos objetos de decorado, utilería y

vestuario. Es una mezcla de papel, yeso y aceite, que resulta fácil de moldear y, una vez seca, presenta bastante consistencia.

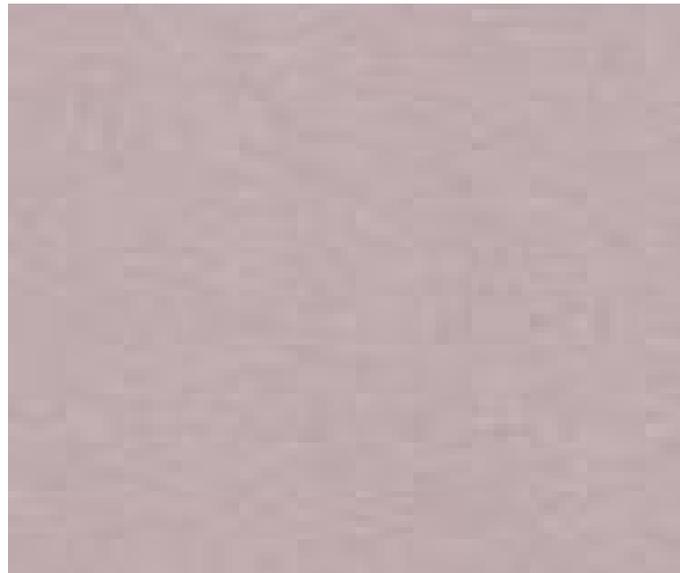


Figura 6: Cartón Piedra

Fuente: Carras (2007)

Tetra brik®

Visión Histórica

La historia de este envase inicia en 1950 cuando Ruben Rausing junto con Erik Akerlund fundaron en Suecia la primera fábrica de los países escandinavos especializada en envases, dándose los primeros pasos para desarrollar este envase revolucionario (Robles, 1995).

En 1952 el primer envase aséptico en el mercado apareció en forma de tetraedro, lo que llamó mucho la atención debido a su forma poco convencional; este envase fue llamado Tetra Classic[®]. En 1963 se lanzó al mercado el envase Tetra Brik Aseptic[®]. Desde entonces Tetra Pak ha incrementado sus actividades, incluyendo el procesado de alimentos líquidos y la diversidad de los productos que se encuentran en el mercado (Instituto Sueco, 2003).

La empresa antes mencionada tiene varias marcas donde combina la relación polietileno-cartón-aluminio-polietileno. Entre ellas se encuentran:

Tetra Classic Aseptic

Tetra brik[®] Aseptic

Tetra Rex

Tetra King

Tetra Top

Estos envases son la principal invención en el campo de la industria alimentaria, las marcas que tienen el proceso de laminación polietileno-cartón-aluminio-polietileno son los envases asépticos Tetra Classic y Tetra brik[®], envases que pueden permanecer sin refrigeración por un tiempo de seis a ocho meses, hasta el momento de ser abiertos.

El envase Tetra brik[®], se creó a partir del envase Tetra Classic, la diferencia básica es que el primero, al tener forma paralelepípeda contribuye

a una manipulación y almacenaje más eficiente en estanterías y anaqueles, en tiendas de abarrotes y supermercados (Santamaría, 1994 y Losada, 1997).

Su comercialización se inicia en Suecia en el año de 1963. Son envases multicapa formados por una lámina de cartón, otra de aluminio y otra de plástico. Las características de los envases son tan numerosas como diferentes. Son ligeros y, por consiguiente, manejables y fáciles de transportar; se pueden abrir y cerrar de nuevo fácilmente sin necesidad de utensilios. La gran ventaja que ofrecen para la industria es la capacidad de conservación de los alimentos en condiciones óptimas. El Tetra brik[®] es uno de los envases que más auge ha experimentado en los últimos años.

Concepción

El Tetra brik[®] es según Corrales (2004), un envase de larga duración para almacenar líquidos de consumo masivo, tales como leche pasteurizada, jugos entre otros. Así mismo, es mixto multicapa que se compone de tres materiales diferentes las cuales son:

- 21g de cartón o celulosa virgen
- 5,8 g de plástico o polietileno (especificar que tipo de polietileno)
- 1,4 g de aluminio.

Cada uno de estos materiales conforma 5 capas de los envases de tetrabrik las cuales se enumera a continuación desde la capa más superficial:

1. Polietileno: proporciona estanqueidad al alimento líquido.
2. Cartón: para la rigidez y resistencia.
3. Polietileno: como capa de adherencia.
4. Aluminio: barrera contra el oxígeno, los olores y la luz.
5. Polietileno: otra capa de adherencia.
6. Polietileno: proporciona estanqueidad al alimento líquido.

La siguiente figura 7, ilustra esta composición

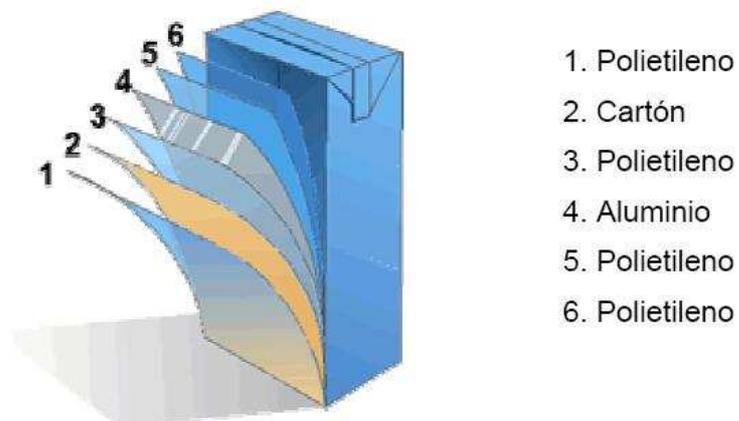


Figura 7: Capas del Tetra Brick

Fuente: Núñez (2005)

Se entiende, según Corrales (2004), que un envase de un litro pesa entre 25 y 28 gramos. Está compuesto en un 75% de papel, que le da la rigidez suficiente al envase. Otro elemento en la composición del envase de Tetra brik[®] es el aluminio, que representa un 5% del peso del envase, y que evita por sus especiales características que la luz y el oxígeno lleguen hasta el líquido y puedan dañarlo, conservándose éste sin necesidad de refrigeración.

El tercer componente que se encuentra entre estos dos elementos, también en el exterior, y en contacto directo con el líquido, es el plástico (PEBD), el cual supone aproximadamente un 20% del peso total del envase. Distribuido en varias capas cumple varias funciones, exteriormente, sobre el cartón, impermeabiliza y cierra herméticamente el envase. Interiormente, forma una bolsa que contiene el producto, y además sirve de adherente entre las otras capas.

El Tetra brik[®] es un producto de Tetra Pak el cual se había considerado, hasta hace poco no reciclable, pero a comienzos de la década de los noventa en Europa se empezó a procesar en un 100%, para recuperar la pulpa. Desde entonces otros países en el mundo han continuado con la iniciativa y han empezado a aprovechar este material de otras maneras, ayudando a la conservación del ambiente.

Otras consideraciones son las de Huiza (2007), al destacar, que las capas de un envase de Tetra brik[®], se conforma de cartón crudo, cartón blanqueado, tinta soluble en agua y capa de polietileno, mientras que las

capas internas están conformadas por una capa de plástico, aluminio, y luego otra vez plástico

Muchos fabricantes utilizan tecnología de plasma de avanzada que permite separar totalmente los componentes de aluminio y plástico de los cartones. Este innovador proceso constituye un importante avance en el actual proceso de reciclado de envases de cartón que, hasta ahora, separaba el papel pero dejaba juntos el plástico y el aluminio. El proceso de plasma brinda otra opción para el reciclado y permite volver a incorporar a la cadena productiva estos tres componentes del empaque como materias primas para diversos usos.

Materias Primas que Conforman el Envase

Las materias primas que constituyen el envase son extraídas tanto de recursos renovables (árboles) como de los no renovables (petróleo, bauxita). Además durante la producción de los envases Tetra brik[®] se consumen recursos tales como agua y energía. Dicho proceso se describe a continuación.

Celulosa

En algunos de los estudios realizados, según Becerra (2006), se menciona que el cartón usado en los envases Tetra brik[®] se fabrica a partir de fibras de celulosa de madera de pino. La mayor parte del papel que

emplea Tetra Pak procede de Noruega, Suecia, Dinamarca, Finlandia e Islandia, donde la explotación y repoblación forestal son llevadas a cabo con gran eficacia con una resiembra después de la tala. La explotación en los bosques escandinavos ha evolucionado, ya que en 1970 se talaban 75 millones de m³ de bosque y el crecimiento era de 70 millones de m³, para 1998 la tala realizada fue de 55 millones de m³ y el crecimiento del bosque fue de 95 millones de m³. Por lo tanto, los bosques en esta parte del mundo aumentan año tras año.

Dicho crecimiento se debe a las adecuadas políticas de reforestación y a los programas de reducción en la fuente, entendiéndose por éste término la utilización mínima de materia prima para la fabricación del envase, lo que permite una disminución en consumo de papel, pasando de envases con pesos iniciales de 33 gr. a los actuales que pesan 28 gr. Es importante resaltar que todos los bosques presentan certificados Forest Stewardship Council (FSC), lo que asegura su conservación.

Al no encontrar información específica para la producción del cartón de éste envase, se consultó un documento de la agencia GTZ en México (1999), donde menciona que para producir 1 tonelada de papel, se requiere consumir las siguientes cantidades de materias primas:

1.845,06 Kg de madera, 108,06 Kg de cal, 180,11 Kg de sulfato de sodio, 38,02 Kg de carbonato de sodio anhidro y 100.114.800 litros de agua. Aditivos como almidón, alumbre, dióxido de titanio, bentonita, caseína, cera, talco, entre otros.

Al producir la tonelada de papel se genera la siguiente contaminación:

42.02 Kg de contaminantes en el aire, 18.01 Kg de contaminantes en el agua y 88.05 Kg de desechos sólidos

Poliétileno

El polietileno según Limón (2001), se obtiene a partir de la polimerización del etileno ($\text{CH}_2 = \text{CH}_2$). La polimerización del etileno se lleva a cabo por la apertura del doble enlace, mediante un mecanismo de reacción en cadena por efecto de temperatura, presión y catalizadores como el trietilaluminio como se aprecia a continuación.

Si el polietileno se manufactura por polimerización a alta o baja presión, ese proceso determinará si el polietileno será de baja (PEBD) o de alta (HDPE) densidad. El polietileno que se emplea para la fabricación de éste envase es el PEBD, el cual es un polímero ramificado que se obtiene por polimerización en masa del etileno mediante radicales libres, a alta presión. Es un material suave y transparente. El PEBD es relativamente fácil de disolver en solventes dado su peso molecular (de 2×10^4 a 3×10^4 Da) ya que entre más grande sea éste menos soluble será, y funde por arriba de los 100 °C.

De la producción mundial de petróleo crudo, la mayor parte se emplea para obtener energía. Solamente el 3-4% se emplea en la industria

petroquímica, y de esta cantidad solamente una parte pequeña se emplea en la producción del material para el envase (Becerra, DE.).

Aluminio

Para obtener la materia prima (bauxita) en la fabricación del aluminio refiere Becerra (2006), se realizan excavaciones a cielo abierto, así como la electrólisis para formar el aluminio, lo que exige una gran cantidad de energía eléctrica y toda la transformación genera residuos y contaminación (Becerra, DE.).

Para producir una tonelada de aluminio se necesitan:

4,385.63 Kg de bauxita (óxido de aluminio hidratado), 510.31 Kg de coque (carbón de piedra), 483.29 Kg de carbonato de sodio anhidro, 119.07 Kg de cal, 57,720 Kw/h de energía eléctrica y 438 Kg de óxido de sodio.

Al producir una tonelada de aluminio se generan 1, 492 Kg de barros rojos.

Las emisiones a la atmósfera son de 1, 315 Kg de dióxido de carbono, 40.52 Kg de contaminantes al aire, además de 394.74 Kg de desechos sólidos (SEMARNAT, 2001).

La bauxita se convierte primero en óxido de aluminio y por electrólisis se produce aluminio puro (Becerra, DE.). Este mineral se encuentra repartida en un cinturón a través de las regiones tropicales y subtropicales de la Tierra, lo que la limita a ciertas partes del mundo, haciéndola escasa. Los principales yacimientos de bauxita se encuentran en Australia, Sierra Leona, India, Indonesia y Brasil.

Es importante mencionar que para la fabricación de 1,000 envases de 1 litro se consume 7.46 Kg de bauxita (Lundholm, et al. 1985) y para un envase de 1 litro se emplean 5 gramos de folio de aluminio; entendiéndose por folio, una película más fina en grosor que una hoja de papel.

El aluminio puede reciclarse indefinidamente, sin pérdida de sus propiedades, tal como ocurre con el vidrio; el aluminio reciclado no se diferencia del material virgen. Al reciclar aluminio se reduce el gasto de energía y la emisión de contaminantes en un 95%. La separación de las capas del envase, como el aluminio, polietileno y celulosa, tiene como consecuencia el poder aprovecharlas individualmente, logrando con ello la disminución de los envases en el ambiente.

Proceso de fabricación de los paneles T-PLAK

Las planchas de T-Plak., según Palencia (2005), son fabricadas a base de residuos industriales no contaminados y sometidos a proceso térmico, están compuestas por aluminio, cartón y polietileno no teniendo ningún agente fenólico ni químico en su composición. A continuación en la figura 8,

se muestran algunos implementos de construcción, haciendo hincapié en el proceso de reciclaje:

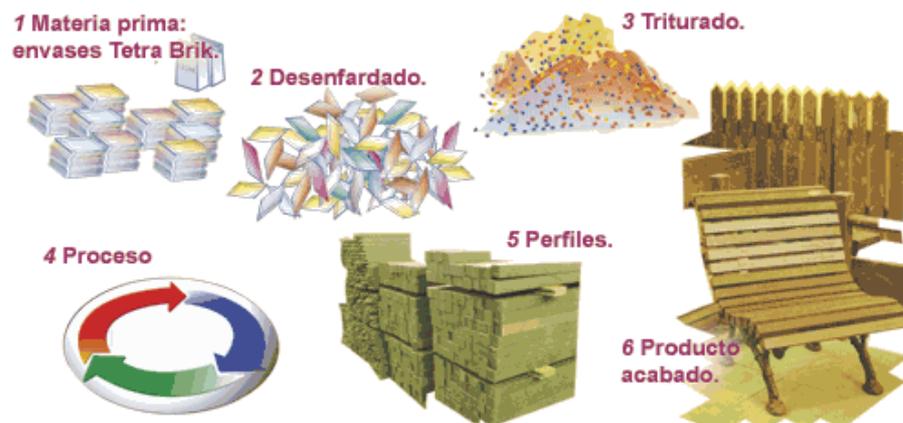


Figura 8: Fabricación de paneles T-Plack
Fuente: Proveedores T-Plack

El material es sometido a temperatura de 170° centí grados y a una presión de 6kg por centímetro cuadrado, se consideran los siguientes aspectos:

- Densidad: de 0,97, equivalente al quebracho blanco.
- Proceso de fabricación: es totalmente ecológico, no contaminándose el aire, el suelo o el agua.
- Totalmente térmico: resiste una temperatura de 135 ° sobre 0 a 58° bajo =.
- Acústico: filtra hasta un 69% de ruidos.
- Resistente a la humedad: porcentaje de penetración de agua en sus laterales: 1% en sus capas superiores e inferior 0%.
- Presentación: de 10, 13, 16 y 19 mm de espesor.
- Medidas: 1,20 m de ancho por 2,30 m de largo. 100% de superficie aprovechable.
- Solidez: resiste impactos de todo tipo de material.
- Ignífugo: no genera llama, solo brasa a un muy bajo porcentaje.

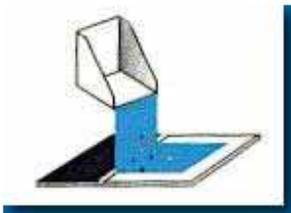
A continuación se destacan en la figura 9, las fases de fabricación



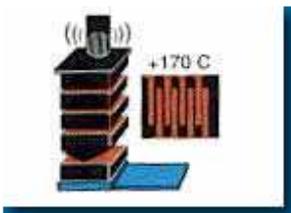
PREPARACIÓN DE LOS MATERIALES DESECHADOS: los materiales usuales para la confección de placas son envases del tipo TETRA-BRIK en forma de bobinas o envases troquelados sin uso, que presentan defectos de impresión o cortes.



MEZCLA DEL MATERIAL: estos materiales (cartulina, foil de aluminio y polietileno en distintas proporciones) se muelen y mezclan para el proceso siguiente.



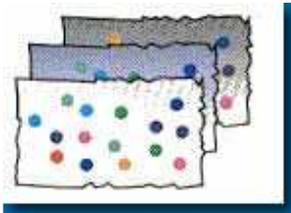
DÁNDOLE FORMA AL MATERIAL: es este paso se arma la pasta sobre un recipiente para luego realizar el paso siguiente.



PRENSA DE CALOR: en este punto se le aplica una temperatura de aproximadamente de 170° centígrados para poder compactarlo.



PRENSA DE FRIO: es este punto se baja la temperatura para concluir con su compactación final.



MADERA PRELISTA: en esta punto tenemos las planchas semiterminadas a las cuales solo les falta el refilado.



CORTE A MEDIDA: aquí se realiza el corte para que el panel obtenga su medida definitiva la cual fue especificada anteriormente. El corte de estos paneles se debe realizar con elementos que posean en sus partes cortantes vidia.

Figura 9: Fabricado de Tetra Pak
Fuente: Palencia (2005).

El Tetra brik® en Venezuela

En Venezuela el Tetra brik® se está convirtiendo en un problema ambiental, ya que según cifras de TETRAPACK-Venezuela se están produciendo y comercializando aproximadamente 40 mil TM sin que estos tengan algún plan estratégico como material reutilizable y tienen como destino final los vertederos y rellenos sanitarios, por ende surge la necesidad de una solución viable a este material.

Reciclado de Tetra brik® a Nivel Mundial

El Tetra brik® es un material que acepta perfectamente su reciclado. Existen varios procesos para el reciclado de este material: El repulpado, es un proceso básico de separación de fibras de papel, basado en mezclar el envase con agua para formar una pasta de la que, mediante cribados y filtrados, se retira el aluminio, polietileno, suciedades y elementos extraños. La pasta final podrá emplearse en obtener nuevos productos de papel reciclado; por otro lado, la mezcla de polietileno y aluminio resulta más complicada y costosa de separar y recuperar.

El polietileno carece de valor económico, pero, por el contrario, la recuperación de aluminio resulta viable y factible mediante un proceso de pirolisis en la que el polietileno es gasificado, quedando el aluminio limpio de impurezas; otra solución es la incorporación de esta mezcla a hornos cementeros, de tal modo que se añade el aluminio como aditivo del cemento y el polietileno es usado como combustible.

Otro proceso para el reciclado de este tipo de envases es la fabricación de tableros de aglomerado, uno basado en la trituración integral de los envases y posterior prensado en caliente de la mezcla obtenida; y otra es tomar la mezcla de aluminio y el polietileno, que resulta del repulpado, se tritura y compacta en caliente, formando otro tipo de tableros.

Brasil, contando con apoyo de la Universidad de Sao Paulo, es un país que ha estado desarrollando ampliamente todos estos métodos de reciclaje del Tetrabrik desde hace 5 años aproximadamente, y actualmente ya se han establecido un grupo importante de empresas que se encargan de esta actividad específicamente en la ciudad de Sao Carlos, lo que vislumbra la necesidad y la importancia de aprender de, y compartir estas experiencias, porque ya han pasado por la difícil etapa inicial de maduración y experimentación. A continuación se presentan algunos ejemplos del reciclaje a nivel mundial:

Repulpado para Fabricar Papel

El modo más común de reciclar los envases asépticos en Europa y Brasil, según Neves (2000), es recuperando las fibras de celulosa a través del proceso de repulpado que a continuación se describe.

Se introduce el envase en un equipo llamado hidropulper (Figura 10), este equipo contiene agua sin adición de ningún elemento químico, y mediante una fricción producida por fuerzas hidráulicas entre 30 y 40 minutos, se separan las diferentes capas que forman el envase (Figuras 12 y 13), después, los componentes que no son fibra como el polietileno y el conjunto polietileno-polietileno-aluminio-polietileno, son separados por filtros para dejar las fibras de celulosa libres. De esta manera los componentes del envase se diversifican en diferentes mercados, que posteriormente servirán para la fabricación de diversos productos.

Las fibras usadas en los cartones para bebidas son fibras largas de alta calidad que permite transformarlas en papel (Figura 14), para nuevos productos como el papel kraft que es utilizado para la fabricación de bolsas entre otras cosas.



Figura 10: Colocación de los envases en un hidropulper.

Fuente: Neves (2000)



Figuras 11 y 12: Proceso de separación de capas del envase.
Fuente: Neves (2000)



Figura 13: Embobinado de papel proveniente del cartón.
Fuente: Neves (2000)

Abreu (2002) recomienda realizar una combinación de papel para reciclar y los envases Tetra brik[®], lo que permite acelerar la disgregación de los envases.

Estudios realizados por Neves (2000), en la comparación de material celulósico proveniente de *Eucaliptus globulus* Labill (eucalipto) y el proveniente de los envases Tetra brik[®], determinó que la mezcla de las fibras de los envases asépticos con las fibras de eucalipto, mejoraban las características mecánicas y evitaban el reventamiento o quiebre de las fibras de eucalipto, siendo una opción para la fabricación de papel a partir de las fibras de celulosa del eucalipto. Después de este paso queda el conjunto polietileno-polietileno-aluminio-polietileno (p-p-a-p), que es aprovechado mediante tres procesos, los cuales se describen a continuación.

Construcción de Tejas

La fabricación de las tejas consiste según Neves (2000), en la fusión del conjunto p-p-a-p bajo presión y posterior enfriamiento. El conjunto p-p-a-p es triturado en pequeños fragmentos para lo cual se usan molinos de cuchilla. La reducción del tamaño del material facilita su fusión y proporciona mayor homogeneidad al producto final. Después de la trituración, el material es dispuesto en moldes (Figura 14), para el moldeo de las tejas. Estos moldes repletos del conjunto son introducidos en prensas utilizadas para la producción de placas de madera prensada. En este proceso, las prensas son modificadas disminuyendo de ocho a cuatro bandejas, con el objetivo de

permitir la entrada del material, ya que posee densidad aparente menor que la madera.



Figura 14: Material dispuesto en moldes para fabricación de tejas.

Fuente: Neves (2000)

Estas prensas normalmente son proyectadas para trabajar con temperaturas menores de 160 °C. Para la fabricación de las tejas con el conjunto p-p-a-p de los envases Tetra brik[®] la temperatura de trabajo es de aproximadamente 180 °C, siendo necesario que el sistema de calentamiento sea alterado, para que alcance temperaturas entre 160 y 200 °C. Los sistemas de calentamiento de las prensas existentes en el mercado son básicamente tres: a través de resistencias eléctricas, vapor y aceite térmico. Las prensas eléctricas son recomendadas para fábricas con pequeña producción, debido a la mayor flexibilidad proporcionada. Las prensas a vapor y aceite térmico son recomendadas para producción en gran escala, teniendo por objetivo la optimización de energía en el proceso.

Para la formación de tejas, las placas, aún calientes, son introducidas en una prensa en frío con moldes ondulados, en los que el material adquieren la geometría de tejas al enfriarse. El tiempo de enfriamiento es de

alrededor de 5 a 10 minutos, quedando una teja lista para usarse (Figuras 15 y 16).



Figuras 15 y 16: Fabricación de Tejas

Fuente: Neves (2000)

Polietileno Historia

El análisis de los aportes de Flores (2005), permiten destacar estos aspectos retrospectivos sobre el polietileno fue sintetizado accidentalmente en 1898, cuando el químico alemán Hans von Pechmann calentaba diazometano. Sus colegas Eugen Bamberger y Friedrich Tschirner analizaron la sustancia blanca similar a la cera que había quedado sobre las paredes del recipiente y descubrieron que contenía largas cadenas de $-CH_2-$. Decidieron llamar esta sustancia "polimetileno".

La primera síntesis industrial fue descubierta (también accidentalmente) por Eric Fawcett y Reginald Gibson en ICI Chemicals en 1933. El polietileno se había formado aplicando una presión de varios cientos de atmósferas sobre un recipiente que contenía etileno y benzaldehído. También esta vez, observaron un material similar a la cera sobre las paredes del recipiente

Sin embargo, la reacción había sido desencadenada por rastros de oxígeno contenidos en el recipiente, y no fue posible replicarla con éxito hasta 1935, cuando otro químico ICI, Michael Perrin, desarrolló una síntesis industrial reproducible para la síntesis de polietileno de baja densidad (LDPE).

La primera tonelada de material demostró cualidades de aislamiento eléctrico inigualables, y en agosto de 1939 comenzó la producción industrial, que fue íntegramente absorbida por las necesidades bélicas (especialmente las técnicas vinculadas al radar).

Terminada la guerra, el polietileno corría el riesgo de desaparecer de la cartera de productos ICI, pero los resultados de las investigaciones sobre posibles nuevas aplicaciones demostraron que era un material mucho más versátil de lo que se creía. El logro siguiente fue el desarrollo de numerosos tipos de catalizadores que permitieron la síntesis del etileno a temperaturas y presiones más blandas. El primer catalizador tuvo como base el bióxido de cromo. Fue descubierto en 1951 por Robert Banks y John Hogan en Phillips Petroleum. En 1953, el químico alemán Karl Ziegler desarrolló un sistema catalítico basado en halogenuros de titanio y compuestos orgánicos del

aluminio que trabajaban en condiciones aún más blandas que los catalizadores Phillips. De todos modos, éstos últimos eran menos costosos y más fácilmente manejables. Ambos sistemas se siguieron utilizando en la síntesis industrial para la producción de HDPE.

La catálisis de tipo Phillips inicialmente tuvo problemas con la síntesis de HDPE de calidad uniforme, y sus almacenes se llenaron de producto no conforme. Se evitó el colapso financiero en 1957, cuando un juguete que consistía en un tubo circular de polietileno de color, el "hula hoop", se difundió ampliamente en Estados Unidos. Un tercer sistema catalítico, basado en metallocenos, fue descubierto en Alemania en 1976 por Walter Kaminsky y Hansjörg Sinn. La catálisis de metallocenos y la catálisis Ziegler demostraron una excelente flexibilidad en la síntesis de mezclas de eteno y alfa olefinas, sentando las bases de la amplia gama de polietilenos existentes. Algunas resinas, como la fibra Dyneema, empezaron a reemplazar materiales como el Kevlar en aplicaciones que requerían excelentes propiedades mecánicas de resistencia a la tracción.

Propiedades Físicas y Mecánicas

Algunas de las propiedades son relativamente insensibles al peso molecular, entre ellas la densidad, el punto de fusión, el calor específico, la dureza y el módulo de Young; otras, como la resistencia a la tracción, la resistencia al choque, la resistencia al desgarramiento, el alargamiento en la rotura por tracción y la flexibilidad a temperaturas bajas, son sensibles al peso molecular. La elección del peso molecular necesario para diferentes usos significa, en general, una transacción entre las propiedades mecánicas mejoradas del material de alto peso molecular y la mayor facilidad para

fabricar artículos con el material de peso molecular más bajo. La siguiente tabla siguiente cuadro muestra dichas propiedades

Tabla 1: Propiedades Físicas y Mecánicas del Polietileno

Peso molecular medio	25.000
Viscosidad intrínseca (en tetranidronaftaleno a 75 °C),dlts/gr	1,0
Punto de Fusión, °C	110
Densidad	
a 20 °C	0,92
a 50 °C	0,90
a 80 °C	0,87
a 110 °C	0,81
Coeficiente de dilatación lineal entre 0 y 40 °C, por °C	0,0002
Aumento de volumen por calentamiento desde 20 a 110 °C,	14
Compresibilidad a 20 °C, por atm.	$5,5 \times 10^{-5}$
Calor específico	
a 20 °C	0,55
a 50 °C	0,70
a 80 °C	0,90
Índice de refracción	1,52
Módulo de Young (0-5% de extensión), Kg/cm ²	1.600
Resistencia a la tracción a 20 °C., Kg/cm ²	150
Resistencia al choque (barra con muesca de 0,5 plg. en cuadro),Kgm	+2,07
Dureza Brinell (bola de 2 mm de diám., 3 Kg	2
Conductividad térmica, cal/ (seg.) (cm ²) (°C/cm	0,0007
Alargamiento en la ruptura	500

Fuente: Flores (2005)

Polietileno de Baja Densidad (PEBD)

El polietileno de baja densidad, destaca Galiet (2007), es un polímero de la familia de los polímeros, como el polipropileno y los polietilenos. Es un polímero termoplástico conformado por unidades repetitivas de etileno. Se designa como LDPE (por sus siglas en inglés Low Density Polyethylene) o

PEBD, polietileno de baja densidad. Así mismo, el polietileno de baja densidad es un polímero con una estructura de cadenas muy ramificadas; esto hace que tenga una densidad más baja que la del PEBD (0,92-0,94 g/cm³).

Destaca el citado autor que el polietileno de baja densidad es un polímero que se caracteriza por:

Buena resistencia térmica y química.

- Buena resistencia al impacto.
- Es translúcido, poco cristalino.
- Muy buena procesabilidad, es decir, se puede procesar por los métodos empleados para los termoplásticos, como inyección y extrusión.
- Es más flexible que el polietileno de alta densidad.
- Presenta dificultades para imprimir, pintar o pegar sobre él.

En este orden de ideas, se tienen los aportes de Casalta (2006), donde destaca que es utilizado en bolsas de plástico, sobre todo para basuras, pero también se utilizan para embalajes industriales, impermeabilización de terrenos y edificios, acolchamientos agrícolas, contenedores, tuberías, entre otros.



Figura 17: Bolsas Plásticas

Fuente: Casalta (2006)



Figura 18: Bolsas Plásticas para Basura

Fuente: Casalta (2006)

Debido a su buena resistencia eléctrica (alta constante dieléctrica), frente a las altas frecuencias, se utiliza para aislar cables, como puede ser los de las antenas de las televisiones. Existe una variedad de polietileno de baja densidad que es el PE lineal, que es un plástico más fino y lleva en su composición resinas adhesivas, que dificultan el procesado del mismo. Esta variedad se utiliza mucho en filmes. El polietileno de baja densidad, junto con su variedad lineal, es uno de los plásticos más utilizados en agricultura,

siendo su porcentaje del 58,7% (año 2001) en relación con los demás plásticos.

Desde el punto de vista químico, El **polietileno de baja densidad** es un polímero de **cadena ramificada**.

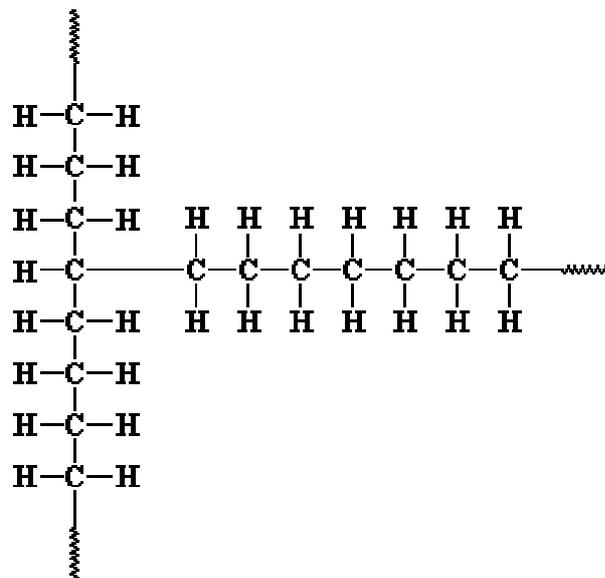


Figura 19: Cadena orgánica del Polietileno de Baja Densidad.

Fuente: Casalta (2006)

Se obtiene por polimerización del etileno a altas presiones (aproximadamente 1200 atm y 200° C) con oxígeno o catalizador de peróxido y por mecanismo de radicales libres. Es un sólido más o menos flexible, según el grosor, ligero y buen aislante eléctrico. Se trata de un material plástico que por sus características y bajo coste se utiliza mucho en envasado, revestimiento de cables y en la fabricación de tuberías. Los objetos fabricados con LDPE se identifican, en el sistema de identificación

americano SPI (Society of the Plastics Industry), con el siguiente símbolo en la parte inferior o posterior:



Clasificación y Codificación de los Tipos de Plásticos.

La codificación según Navarro (2005), sirve para diferenciar el material plástico, ya que en algunas aplicaciones es muy semejante por lo que nos es difícil identificar el plástico y por lo consiguiente se cuenta con un sistema. Esta simbología permite en el proceso de recolección y reciclaje identificar para separar los diferentes productos plásticos.

En este sentido, el citado autor destaca que el código es grabado en el fondo del recipiente en forma de triángulo que lleva un número correspondiente dependiendo del tipo de plástico. Este sistema fue desarrollado por “The society of the Plastics industry” (SPI) y se reconoce en todo el mundo. El código tiene el siguiente significado:

- Las tres flechas que forman un triángulo, tiene como significado el reciclaje.
- En el centro lleva un número que distingue el tipo de plástico.
- Las letras colocadas en la parte inferior del logo son las iniciales que tiene el nombre del plástico.

Polietileno tereftalato (PET). Se utilizan para identificar los productos que contienen polietileno. Este es transparente y resistente. Sus usos son muy variados, desde envases hasta textiles. Ejemplos: envases de bebidas carbonatadas; goma de almohadas y cojines; sleeping bags; fibras textiles.



Polietileno de alta densidad (PEAD). Indica la presencia de polímeros de alta densidad. Este material se utiliza en diferentes envases, detergentes y muchos otros productos de uso personal. Ejemplos: bolsas de basura, bolsas de supermercado, envases de jugo y de leche, blanqueadores y detergentes.



Cloruro de polivinilo (PVC). Identifica la presencia de polivinilo. Este material puede procesarse de modo que sea claro, rígido y duro; o claro, flexible y resistente. Ejemplos: suela de zapatos, conductores electrónicos y tubos, envases de limpiadores, aceite de cocinar, y condimentos.



Polietileno de baja densidad (PEBD). Indica la presencia de polímeros de baja densidad. Este material es liviano, flexible, transluciente y de superficie cerosa. Ejemplos: agitadores y sorberos, bolsas de basura de patio, bolsas para cubiertos plásticos.



Polipropileno (PP). Identifica materiales a base de polipropileno. Este material es duro, a la vez que es flexible y transluciente. Se presta para una variedad de usos, tales como bolsas para diferentes propósitos, pañales desechables y productos de belleza. Ejemplos: bolsas de papas, bolsas de microondas, pañales desechables, bolsitas para conservar meriendas, bolsas de basura (que emiten un sonido peculiar).



Poli estireno (PS). Corresponde a los materiales hechos de poli estireno. Este plástico es transparente u opaco, según sea procesado. Es muy versátil e imita el cristal. Se emplea en la fabricación de diferentes envases utilizados para servir alimentos y en materiales para proteger equipos delicados. Ejemplos: vasos y platos plásticos, envases y tapas plásticas, envases de foam, cubiertos plásticos, materiales de empaque.



Reciclaje

Una de las alternativas posibles para solucionar el problema de la contaminación ambiental que origina la basura, es según Lobatera (2007), el reciclaje o reciclamiento de materiales de desecho como el papel, el cartón, el vidrio, los metales y los alimentos. El reciclaje de los desechos es un proceso que consta de las siguientes etapas:

- Separar los componentes de la basura en orgánicos e inorgánicos.
- Clasificar los componentes inorgánicos en papel, cartón, vidrio y metales.
- Llevar todos estos materiales a las industrias correspondientes que los reciclan.
- Procesar cada material de desecho con un tratamiento adecuado.



Figura 20: Material para Reciclaje.

Fuente: Lobatera (2007)

En este sentido, el reciclaje de algunos de los componentes de la basura los convierte en materia prima útil y de menor costo para las industrias. El tratamiento industrial de la basura depende del tipo de desecho:

- El papel y el cartón, se procesan por tratamiento químico para disolverlos, quitarles las impurezas y luego se presionan y se prensan para producir nuevo papel.
- El vidrio, se procesa por fundición a grandes temperaturas, para luego formar nuevos envases y una gran variedad de objetos de adorno.
- Los metales, como el hierro y el aluminio, se procesan también por fundición a altas temperaturas, para formar envases de latas y otros productos diversos como juguetes.
- Los desechos orgánicos, incluyendo los restos de alimentos, se procesan quitándole la humedad por calentamiento, para luego triturarlos y convertirlos en abono para las plantas.

Para la disgregación en el reciclaje de materiales, debe existir una separación de las distintas capas de material con que está hecho el envase. Esta separación se lleva a cabo en un hidrapulper, quien requiere que el material permanezca en él por alrededor de 30-40 minutos a fin de que las fibras se separen del envase y permanezcan en suspensión, para que puedan ser bombeadas hacia el exterior. El proceso utilizado en la separación de este tipo de material no requiere aditivos químicos ó calor.

Normas Covenin Utilizadas

Norma COVENIN 847-91 "**Madera. Tablero de Partículas**"; Fondonorma 847-2009 "**Madera. Tablero de Partículas**"; Norma ASTM D1037-78 "**Evaluating the properties of Wood-base fiber and particle panel materials.**

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

La metodología en un proceso de investigación, de acuerdo con Best, (2000), constituye la medula del mismo. Además en ella se expondrá el tipo, diseño o nivel del estudio, la descripción de las unidades de análisis referidas a la población y muestra, técnicas e instrumentación de datos, técnicas estadísticas para el procesamiento de datos y análisis e interpretación de los resultados con el objeto de determinar el significado de los acontecimientos, los cuales permitirán la toma de decisiones para ubicar la investigación dentro del contexto de la relación que precede.

Tipo y Diseño de Investigación

La investigación se tipifica como de enfoque documental bibliográfico y diseño práctico y enfoque descriptivo.

Para la indagación de las variables tableros conglomerados, Tetra brick[®] y polietileno de baja densidad y aspectos afines, se recurrió a la investigación documental-bibliográfica, para la Universidad Santa María (2001), este enfoque, “se ocupa del estudio de problemas planteados a nivel teórico, la información requerida para abordarlos se encuentra básicamente en materiales impresos, audiovisuales y/o electrónicos” (p. 41).

Igualmente, Arias (2006), indica que es “Aquella que se basa en la obtención y análisis de datos provenientes de materiales impresos u otros tipos de documentos” (p. 47).

Esta investigación documental-bibliográfica permitió al autor concretar los diferentes indicadores relacionados con la problemática planteada, destacándose aspectos teóricos analíticos para precisar la información requerida, mediante los diferentes materiales impresos, entre otros, que condujeron al desarrollo de esta investigación.

Así mismo, se recurrió al universo de la investigación práctica que según Díaz (2006), es la forma de plantear métodos, materiales y equipos para la comprobación de un fenómeno. En este caso Fabricar un tablero aglomerado a partir del reciclado de los cartones de larga duración Tetra brick® y Polietileno de Baja Densidad PEBD (bolsas plásticas) con características que sirva como material para la construcción, donde se establecen una serie de pasos experimentales para su comprobación, así mismo, se visualiza como lo destaca Moles (2006), el uso de tratamientos estadísticos para la presentación y análisis de los resultados.

En lo que respecta al nivel o enfoque descriptivo, según Sabino (2000), “Caracterizar un fenómeno o situación concreta, indicando sus rasgos más peculiares o diferenciadores” (p. 43). El Centro Nacional para el Mejoramiento de la Ciencia (CENAMEC, 2003), define al estudio descriptivo como “Un registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, composición o proceso de los fenómenos, basada en la curiosidad por lo que está ocurriendo” (p. 9).

Lo mencionado, que conllevó a analizar e interpretar lo referente a la problemática planteada, se pudieron enfocar elementos relacionados con la realidad sobre la elaboración de tableros conglomerados, logrando plantear el problema, establecer los objetivos, desarrollar el marco teórico, enunciar resultados estadísticos, para formular las conclusiones y recomendaciones.

Siguiendo el procedimiento metodológico de Tamayo y Tamayo (2003), que permite trabajar por fases en respaldo de una investigación sistemática, el autor tomó las siguientes consideraciones metodológicas para el diseño de esta investigación:

- Los materiales y equipos serán lo expuesto según las normas que aplican o similares en las que se pueda desarrollar el proceso de elaboración del tablero aglomerado.

- El laboratorio a utilizar será el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela.

- Para la elaboración del tablero aglomerado se mejoró el dispositivo (apisonador metálico) que distribuye la carga en toda la superficie durante el proceso de prensado para que el tablero quedara lo más recto posible.

- La mezcla de diseño será del resultado de varios experimentos de fabricación del tablero a fin de obtener las características deseadas en cuanto al espesor y superficie del tablero.

Las variables definidas para la condición de diseño de elaborar el tablero aglomerado son el porcentaje de material tetrabrik, porcentaje de material PEBD, Temperatura y tiempo de procesamiento, presión aplicada y tiempo de procesamiento, espesor del tablero.

Para evaluar las propiedades físicas mecánicas del tablero, se realizaron los siguientes ensayos:

- Determinación del modulo de rotura, y el modulo elástico de acuerdo a la norma Covenin 847-91 "Tablero de Partículas".

- Determinación del comportamiento higroscópico como la absorción de agua y el hinchamiento a 2 y 24 horas de inmersión de acuerdo a la norma Covenin 847-91 "Tableros de Partículas".

- Determinación de la densidad de acuerdo a la norma Covenin 847-91 "Tableros de Partículas"

- Determinación de la tracción perpendicular a la cara de acuerdo a la norma Covenin 847-91 "Tableros de Partículas".

- Determinación de la tracción o tensión paralela a la superficie del tablero según la norma ASTM 1030-78 "Standard Methods of Evaluating the Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials.

Técnicas de Análisis de Datos

Para el análisis de los resultados, se recurrió a los siguientes tratamientos estadísticos

Promedios

La estadística promedio Según Ruíz (2003), representa muy bien el centro de la distribución de los datos cuando se trata de casos normales. Se entiende aquí por casos normales aquellos conjuntos de datos que no contienen valores muy extremos, valores muy alejados de los demás.

Desviación Estándar

Esta medida permite determinar el promedio aritmético de fluctuación de los datos respecto a su punto central o media. La desviación estándar nos da como resultado un valor numérico que representa el promedio de diferencia que hay entre los datos y la media. Para calcular la desviación estándar basta con hallar la raíz cuadrada de la varianza, por lo tanto su ecuación sería:

$$S = \sqrt{S^2}$$

La desviación estándar (σ) mide cuánto se separan los datos.

Coefficiente de Variación

Permite según comparar la dispersión entre dos poblaciones distintas e incluso, comparar la variación producto de dos variables diferentes (que pueden provenir de una misma población).

El coeficiente de variación elimina la dimensionalidad de las variables y tiene en cuenta la proporción existente entre una medida de tendencia y la desviación típica o estándar. Para calcular el coeficiente de variación con ayuda de Excel, debemos calcular primero la media aritmética y la desviación estándar. Por ejemplo, calculemos el coeficiente de variación para los siguientes datos: Empleando las fórmulas vistas en Excel, se halla la media y desviación (tomando los valores como muestrales):

Como complemento del análisis se realizó la comparación de los resultados obtenidos con los mínimos indicados en la norma Covenin 847-91 "Tableros de Partícula" y con otros tableros aglomerados. Así mismo, de acuerdo a la caracterización hecha, realizar un cuadro sobre los posibles usos como material de construcción.

Fase Experimental

(Fabricación del Tablero Aglomerado y Ensayos Realizados)

Recolección de Material Tetra brick®

Para la elaboración de este proyecto se utilizó los envases de larga duración Tetra brick® que se obtuvieron a través de la recolección en escuelas de Caracas y en la sede TETRAPAK ubicada en Caracas luego de ser consumidos por la comunidad. De la cual se obtuvo un total de 20kg.



Figura 21: Recolección del Tetra brick®

Fuente: Elaboración Propia

Cortado y Limpieza del Tetra brick®

Los cartones que se visualizan, se cortan de manera que quede una hoja completa y se limpian cuidadosamente, quitándole todo residuo y mal olor que tenga utilizando un paño humedecido con agua y se dejan secar al aire libre para quitarles la humedad.

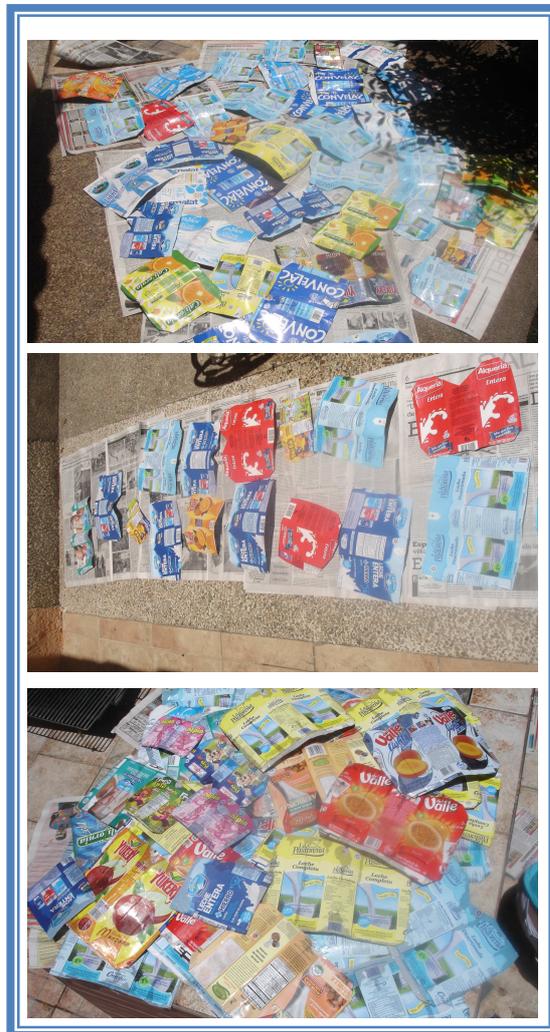


Figura 22: corte, lavado y secado del Tetra brik®

Fuente: Elaboración Propia.

Molienda del Tetra brick®

Una vez limpio los cartones se muelen por medio de un molino casero que esta compuesto por 3 cuchillas móviles, 2 cuchillas fijas y una criba de o tamiz de 8mm que es el la partícula pasante del tetrabrik. Este molino es impulsado por un motor eléctrico de 15 hp. Su capacidad de carga es de hasta 4Kg.



Figura 23: Molino, cuchillas, Tetra brick® molido

Fuente: Elaboración Propia

Recolección del material PEBD (Bolsas Plásticas)

Para complementar la elaboración del tablero se utilizó polietileno de baja densidad (bolsas plásticas) se escoge este material ya que el envase de larga duración contiene esta compuesto por capas de polietileno de baja densidad y por su fusión a baja temperatura hace que este sirva de pegamento o aglutinante.

Este material se obtuvo en una empresa denominada **AIBANA-CAMPOS C.A** donde elaboran productos plásticos ubicados en Maracay estado Aragua y el material reciclado proviene de bolsas plásticas utilizadas a nivel industrial y que están libres de suciedad.



Figura 24: Bolsas de plástico empaquetadas para reciclaje

Fuente: Elaboración Propia

Molienda del PEBD (bolsas plasticas)

Se procesan a través de una cotufera tipo casero que corta el plástico hasta generar una pasta por fricción interna y luego se le agrega agua para que las partículas se separen quedando el plástico limpio y desenfardado. La cotufera comprende de una cuchilla doble hoja con un motor de 60hp y de un cilindro para procesar el plástico y produce una cantidad de 120Kg/hrs



Figura 25: Proceso de obtención del PEBD granulado

Fuente: Elaboración Propia

Elaboración de los Tableros

Para elaborar los tableros se tomó en consideración las propiedades físicas del cartón y el pebd, así como también, parámetros utilizados en otras investigaciones similares. A su vez se deseaba que el tablero tuviera una superficie lisa, que se apreciara de manera subjetiva una buena resistencia al manipularlo manualmente, buena rectitud, liviano, y con un espesor entre los 8 y 9mm. Al realizar varios ensayos se logro obtener las características deseadas según los siguientes parámetros de diseño.

900 gr de material tetrabrik

320gr de material PEBD

Temperatura aplicada 150-160 °C a un tiempo de 50 min.

Presión aplicada de 15,00Ton. Durante un tiempo de 20min.

Tabla 2: Parámetros para el Diseño del Tablero

PEBD (g)	TETRABRIK (g)	TEMPERATURA °C	TIEMPO DE CALENTAMIENTO (min)	CARGA DE PRESION (TON)	TIEMPO DE PRESION (min)	ESPESOR OBTENIDO (mm)
320	900	150-160	50	15	20	8- 9

Fuente: Elaboración Propia.

Equipos Utilizados

- Balanza digital
- Recipiente para pesar los materiales
- Plancha, apisonador y encofrado metálico
- Horno industrial
- Prensa universal

- Vernier

Pesado de la Materia Prima

Se obtienen los pesos establecidos en la condición de diseño para luego vaciarlos en el encofrado por capas



Figura 26: Pesado de la Materia Prima

Fuente: Elaboración Propia

Preparación del Molde

El molde esta compuesto por una plancha metálica, encofrado metálico de dimensiones 40x40 cm, ambas se limpian previamente y la plancha metálica se recubre con papel aluminio para evitar que el material se pegue con la plancha.



Figura 27: Preparación de Placa, encofrado

Fuente: Elaboración Propia

Preparación del Material en el Encofrado

Luego se procede a colocar los materiales según el parámetro de diseño y por capas de la siguiente forma:

1 capa: 100gr de PEBD

2 capa: 300gr de tetrabrik molido

3 capa: 60gr de PEBD

4 capa: 300gr de tetrabrik molido

5 capa: 60gr de PEBD

6 capa: 300gr de tetrabrik molido

7 capa: 100gr de PEBD

Cada capa debe quedar lo más uniforme posible y en la misma proporción ya que el tetrabrik pesa poco y se hace difícil garantizar la uniformidad en cuanto al nivel o altura en todo el molde, para ello se compresiona con la mano al colocar las capas de tetrabrik.



Figura 28: Colocación de los Materiales por Capas

Fuente: Elaboración Propia

Proceso de Horneado

Una vez colocado el material por capas se procede a introducir el molde junto con el apisonador metálico pero separado uno al lado del otro en el horno que previamente está a unos 140 C inicialmente. Esto con la idea de que al meter el molde y llegar a los 150 grados todo el conjunto se encuentre a la misma temperatura y se inicia el conteo de tiempo por unos 50 min. Cumplido los 50 minutos. Se saca el molde utilizando guantes de seguridad para evitar cualquier riesgo.



Figura 29: Proceso de Horneado

Fuente: Elaboración Propia.

Prensado

Rápidamente se coloca el apisonador metálico sobre el material encofrado y se coloca en la prensa universal donde será sometido a una carga de 15 ton constante durante 20 minutos. Terminada la aplicación de carga, se retira el conjunto de la prensa universal, se coloca en el piso y se procede a retirar el apisonador metálico.



Figura 30: Proceso de Prensado

Fuente: Elaboración Propia

Desenfofrado

Al levantar el encofrado el tablero queda pegado, por lo que es necesario, darle unos golpes al tablero para que se desprenda del encofrado. Por ello es recomendable dejar que enfríe el tablero por unos 15 minutos y luego se procede a desenfofrar.



Figura 31: Proceso de Desenfofrado.

Fuente: Elaboración Propia

Cortado

Luego se pasa por una maquina cortadora (tronzadora) para cortar los bordes eliminando los acabados indeseados. Obteniendo un tablero uniforme, plano y recto.



Figura 32: Proceso de Cortado

Fuente: Elaboración Propia

Acabado

El tablero acabado posee unas dimensiones de 35x35cm y listo para ser sometido a los ensayos.

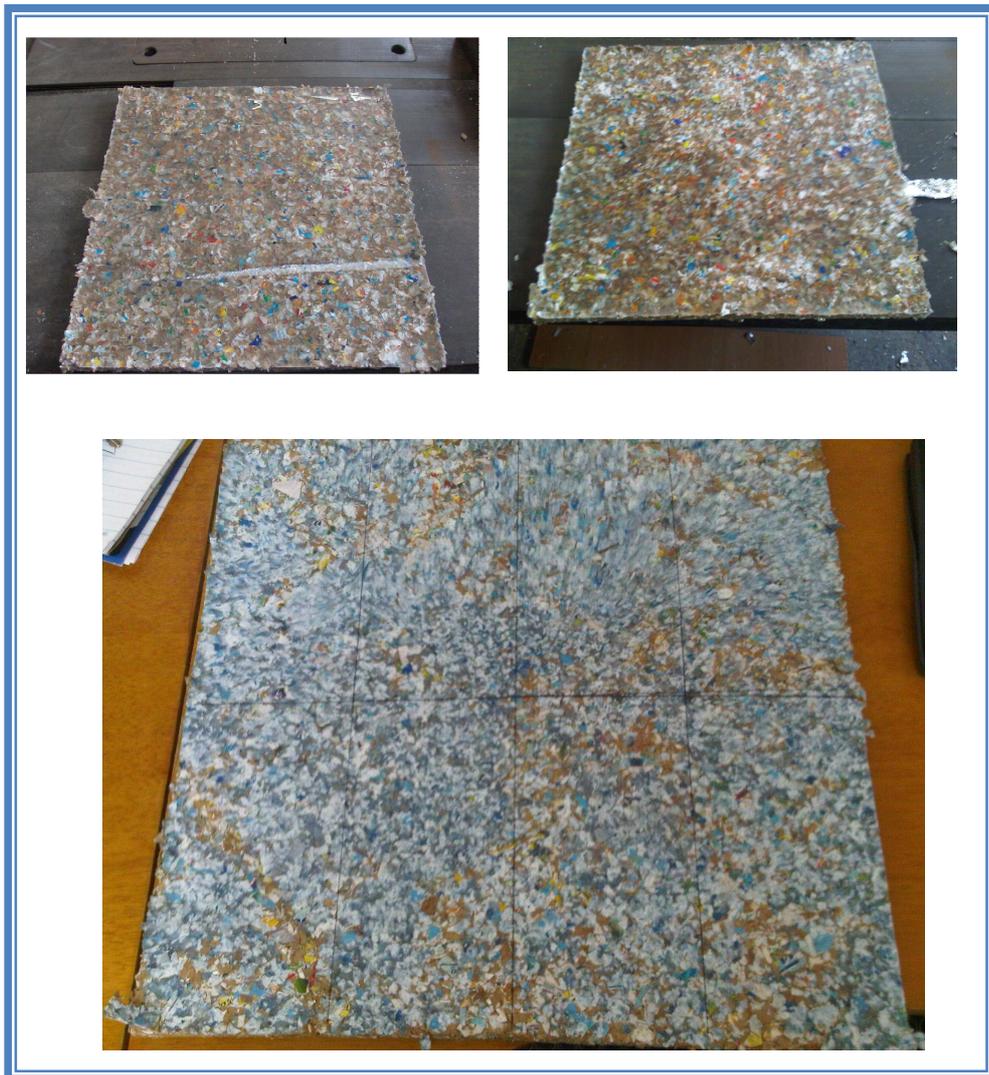


Figura 33: Tablero Aglomerado Acabado

Fuente: Elaboración Propia.

Ensayos realizados.

A continuación se presenta el procedimiento utilizado para evaluar las propiedades físicas y mecánica del tablero aglomerado, para esta fase experimental se consideraron las siguientes normas:

-Norma Venezolana COVENIN 847-91 Tableros de partículas (1era revisión)

-Norma Venezolana FONDONORMA 847-2009 Madera. Tableros de partículas

-Norma ASTM D 1037- 78 "Standard Methods of EVALUATING THE PROPERTIES OF WOOD-BASE FIBER AND PARTICLE PANEL MATERIAL

Las normas mencionadas, son para control de calidad de tableros hechos a base de Madera o fibras de partículas. Por lo que los ensayos descritos en estas normas se ajustan para determinar las propiedades físicas mecánicas del tablero a base de tetrabrik y polietileno de baja densidad (PEBD)

Cabe destacar que los ensayos que se explicaran a continuación son los más significativos para efectos de control de calidad, utilizados tanto en la industria como en instituciones educativas.

Los ensayos realizados para determinar las propiedades físicas mecánicas de los tableros aglomerados fueron los siguientes:

- Ensayo para determinar la densidad.
- Ensayo para determinar la absorción de agua y estabilidad dimensional del tablero por inmersión total.
- Ensayo para determinar la resistencia a flexión y modulo de elasticidad.
- Ensayo para determinar la tracción perpendicular a la superficie del tablero.
- Ensayo para determinar la tracción paralela a la superficie del tablero.

Selección de muestras

Por cada tablero elaborado se obtuvieron muestras para un ensayo específico dado que las dimensiones del tablero aglomerado no cubren la totalidad de los ensayos realizados. Cada muestra fue confeccionada según lo indica las normas de los diferentes ensayos a excepción del ensayo de densidad que se fabricaron muestras con dimensiones más pequeñas para facilitar el experimento y a su vez porque no altera los resultados por simple proporcionalidad.

Para la obtención de cada probeta, a cada tablero se le demarcaban las dimensiones establecidas para cada ensayo y se procedía a cortar con la sierra eléctrica luego se lijaban los cantos para obtener una superficie lisa y se etiquetaban de forma aleatoria para realizar los ensayos.

Ensayo para Determinar la Densidad

Este ensayo tiene por finalidad determinar la relación entre la masa (g) y el volumen (cm³) de las probetas bajo las mismas condiciones de humedad y temperatura.

Equipos utilizados

- Vernier
- Balanza Digital

Procedimiento

Las probetas ensayadas tienen dimensiones de 5,0x5,0cm, con bordes y cantos rectos. Todas las probetas se pesaron en una balanza digital. Y sus dimensiones se midieron con el vernier de la forma siguiente:

Se tomaron las mediciones de cada uno de los lados y se promediaron los lados paralelos. Cinco (5) mediciones de espesores, cuatro (4) en cada esquina separadas del borde a 5mm y una (1) en el centro de cada probeta y se promediaron.



Figura 34: Probetas para ensayo de densidad

Fuente: Elaboración Propia

La densidad de un material se establece como la relación existente entre la masa que ocupa en un volumen determinado y se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$D = \frac{m}{v}$$

Donde:

D: densidad (g/cm³)

M: masa (g)

V: volumen (cm³)

Ensayo para Determinar la Absorción del Agua y Estabilidad Dimensional del Tablero por Inmersión Total

El objeto de este ensayo es determinar en términos de porcentaje la absorción o cantidad de agua tomada por la probeta bajo la condición de inmersión total. Donde se produce una hinchazón que incrementa sus dimensiones.

Equipos utilizados:

- Recipiente metálico con agua
- Pesas, para garantizar que las probetas estén sumergidas en agua.
- Cronometro
- Balanza digital
- Vernier

Procedimiento

Las probetas a ensayar son las mismas utilizadas en el ensayo de densidad ya que esas mediciones hechas tanto para la dimensiones como para su masa son valores iniciales para este ensayo.

Cada una de las probetas se sumergió en el recipiente con agua y se colocaron unas pesas (piedra lavada) sobre ellas para garantizar la inmersión de las probetas por un tiempo de 2 horas. Luego se retiraban de la cubeta, se secaban con paños absorbentes se midieron y se pesaron cada unas de las probetas individualmente. Seguidamente se volvían a meter en la cubeta por 22 horas más y se repetía el procedimiento.



Figura 35: Probetas inmersas en agua a 2 y 24 horas

Fuente: Elaboración Propia

Para cada periodo de inmersión de 2 y 24 horas se calculo la absorción del agua mediante la siguiente expresión

$$A = \left(\frac{p_i - p_o}{p_o} \right) \times 100$$

Donde:

A: absorción de agua

Pi: peso de la probeta (g) al final de cada periodo de inmersión

Po: peso de la probeta (g) antes de ser sumergido en agua (peso inicial)

Los cálculos y resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

El porcentaje de hinchamiento se calculo tanto para el espesor (e) como para las dos dimensiones de cada probeta (L1L2) Y (L3L4) mediante la siguiente expresión:

$$Hd = \left(\frac{d_i - d_o}{d_o} \right) \times 100$$

Donde:

Hd: hinchamiento dimensional (%).

Di: dimensión de la probeta al final de cada periodo de inmersión.

Do: dimensión de la probeta antes de ser sumergido en agua.

Ensayo para Determinar la Resistencia a la Flexión y Módulo de Elasticidad

Este ensayo tiene por objeto determinar la fuerza del tablero aglomerado bajo esfuerzo de doblado, así como también, el comportamiento del material ante las deformaciones sufridas por la aplicación de carga.

Equipos utilizados

- Vernier
- Prensa universal marca Baldwin-Lima-Hamilton. Cap 30 ton.
- Dispositivo de apoyo para las probetas, redondeados, con un radio igual a 1,5 veces el espesor del material.
- Dispositivo de carga redondeado
- Fleximetro

Procedimiento

Las probetas a ensayar tienen un ancho de 75mm y un largo de 250mm (equivalente a 24 veces el espesor del tablero mas 50mm). Se realizaron mediciones tanto del espesor (e) como del ancho efectivo (a) en el centro de cada probeta. Se colocó cada probeta exactamente centrada en

los dispositivos de apoyo a una luz de 20cm y se comenzó a aplicar la carga a una velocidad de 5mm/min. Se tomaron lecturas en el flexímetro para la deformación de cada probeta cada 1mm.

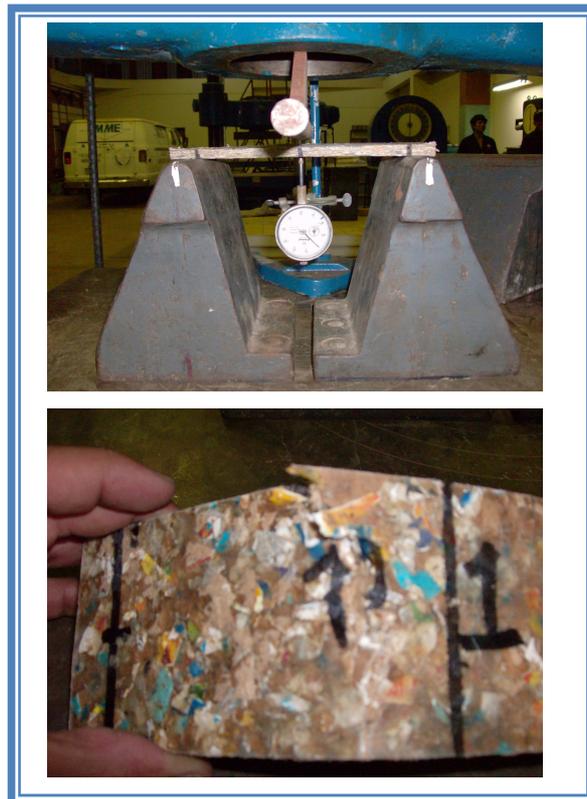


Figura 36: Ensayo a flexión y ruptura

Fuente: Elaboración Propia

La resistencia a flexión o modulo de ruptura (MR) de cada probeta se calculo mediante la siguiente fórmula:

$$MR = \frac{3 \times C \times L}{2 \times a \times e^2}$$

Donde:

MR= Modulo de ruptura (Kg/cm³)

C= Carga máxima (Kg)

L= Distancia entre soportes (cm)

e = Espesor efectivo en el centro de la probeta (cm)

a= ancho efectivo en el centro de la probeta (cm).

Para cada probeta ensayada se determino la carga y la deformación en el límite elástico de acuerdo a las graficas obtenidas de carga-deformación y con ellas se determino el modulo de elasticidad (ME) mediante la siguiente ecuación:

$$ME = \frac{Cl \times L^3}{4 \times a \times e^3 \times dl}$$

Donde:

ME: Modulo de elasticidad (Kg/cm³)

Cl: Carga en el límite elástico (KG)

dl: deformación correspondiente a la carga del límite elástico (cm)

L= distancia entre los soportes de apoyo

a= ancho efectivo en el centro de la probeta

e= Espesor efectivo en el centro de la probeta (cm)

Ensayo para Determinar la Tracción Perpendicular a la Superficie del Tablero

Este ensayo tiene por objeto determinar la cohesión existente entre el cartón de larga duración y el polietileno de baja densidad (PEBD).

Materiales y Equipos:

- Prensa de tracción Horizontal marca Amsler. Cap 1.000 Kg
- Placas metálicas
- Vernier
- Mordazas

Procedimiento

La probeta a ensayar es de superficie cuadrada y tienen dimensiones de 50X50mm cada probeta se pego con pegamento a las placas por sus caras lisas. Previamente se lijaron las placas metálicas para que quedaran limpias y se presionaron el conjunto probeta placas regularmente para garantizar una buena unión. Por recomendaciones del pegamento se dejaron secar durante 24 horas. Una vez secado la junta entre las placas y la probeta se colocaron cada una de estas en las mordazas instaladas en la prensa universal y se procedió a aplicar una carga a una velocidad constante de 4mm/min hasta que ocurra la ruptura o falle entre las capas de la probeta o unión entre el cartón de larga duración (Tetrabrik) y el polietileno de baja densidad (PEBD).



Figura 37: Ensayo tracción perpendicular a la superficie del tablero.

Fuente: Elaboración Propia

Se calculo la tensión perpendicular a la superficie del tablero de cada probeta mediante la siguiente fórmula:

$$A = \frac{Ca}{a \times b}$$

Donde:

A= tensión perpendicular a la superficie (Kg/cm²)

Ca= Carga máxima (Kg)

a= longitud del lado a

b=longitud del lado b

Ensayo para Determinar la Tracción Paralela a la Superficie del Tablero

El objeto de este ensayo es la de determinar la fuerza máxima de ruptura del tablero en base al arreglo o acomodo de las partículas de material tanto para el cartón de larga duración como para el polietileno de baja densidad (PEBD)

Equipos utilizados:

- Prensa universal marca Baldwin-Lima-Hamilton. Cap 30 ton.
- Mordazas de Agarre
- Vernier

Procedimiento:

La probeta a ensayar se confeccionó de acuerdo a la geometría descrita en la norma ASTM D1037-78 y que se puede observar en la siguiente figura:

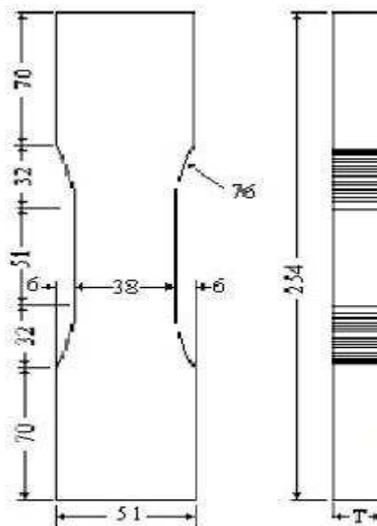


Figura 38: Geometría de Probeta par ensayo de Tracción paralela a la superficie del tablero según norma ASTM D1037-78.

Donde T indica el espesor de la probeta el cual no debe ser inferior a 6mm ni mayor que 25,4mm.

Se acoplaron las mordazas a la prensa universal y se colocaron cada una de las probetas para determinar la carga de ruptura. La carga se aplico a una velocidad constante de 4mm/min está fundamentada en lo que establece la norma ASTM y en función del espesor del tablero.



Figura 39: Ensayo tracción paralela a la superficie del tablero

Fuente: Elaboración Propia.

La tensión paralela a la superficie del tablero se calculo mediante la siguiente fórmula:

$$f_t = \frac{C_{max}}{l \times e}$$

Donde:

- Ft: esfuerzo a tracción (Kg/cm³)
- Cmax: carga máxima de ruptura (Kg)
- L: longitud del tablero perpendicular a la carga aplicada e: espesor del tablero.

CAPITULO IV

PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

Ensayo de Densidad

Los valores obtenidos para cada uno de las probetas se expresan en la siguiente tabla:

Tabla 3: Resultados Cálculo de Densidad

PROBETA	Masa (g)	a (cm)	b (cm)	e (cm)	Densidad (g/cm ³)
M1	15,60	4,87	4,90	0,79	0,83
M2	17,30	5,06	5,06	0,75	0,90
M3	14,60	5,07	4,89	0,72	0,82
M4	15,50	5,04	4,94	0,70	0,89
M5	17,30	4,85	4,88	0,99	0,74
M6	16,00	5,03	4,98	0,70	0,91
M7	18,90	5,01	5,16	0,98	0,75
M8	14,10	5,03	4,94	0,72	0,79
M9	16,50	4,85	4,96	0,72	0,95
M10	17,90	5,02	4,85	0,93	0,79
M11	17,30	5,01	5,06	0,77	0,89
M12	17,90	5,20	5,09	0,80	0,85
M13	15,00	4,94	4,95	0,78	0,79
M14	17,20	4,96	5,06	0,80	0,86
M15	14,40	4,86	5,08	0,73	0,80
PROMEDIO	16,37	4,99	4,99	0,79	0,84
D. estandar	1,41	0,10	0,09	0,09	0,06
C. variacion	8,61	2,00	1,80	11,39	7,14

a= longitud promedio en una dirección; b= longitud promedio en la otra dirección; e= espesor promedio de la probeta.

Fuente: Elaboración Propia

Con respecto a este ensayo, se refleja que el tablero posee una densidad promedio de 0,84 Kg/cm³ lo cual indica que tiene una alta densidad según la clasificación que dice la norma Covenin 847-91. Por otro

lado existe mucha variación de masa entre las probetas y esto se debe a un factor humano en la forma manual en cómo se colocaron cada una de las capas que conforman el tablero. Ya que para el caso de la colocación del tetrabrik al tener poco peso se hace difícil distribuir uniformemente la capa en todo el encofrado.

Ensayo de Absorción de Agua por Inmersión Total

Los valores obtenidos para cada uno de las probetas se expresan en las siguientes tablas:

Tabla 4: Ensayo de inmersión a las 2 horas

PROBETA	Masa (g)	a (cm)	b (cm)	e (cm)	Densidad (g/cm ³)	Absorción de agua (%)	H(a) (%)	H(b) (%)	H(e) (%)
M1	16,10	4,96	4,94	0,88	0,75	3,21	1,85	0,82	11,39
M2	17,70	5,08	5,11	0,80	0,85	2,31	0,40	0,99	6,67
M3	15,10	5,08	4,93	0,78	0,77	3,42	0,20	0,82	8,33
M4	15,90	5,11	4,96	0,75	0,84	2,58	1,39	0,40	7,14
M5	18,10	4,86	5,01	1,05	0,71	4,62	0,21	2,66	6,06
M6	16,30	5,04	5,00	0,74	0,87	1,88	0,20	0,40	5,71
M7	19,70	5,02	5,18	1,04	0,73	4,23	0,20	0,39	6,12
M8	14,80	5,10	4,94	0,78	0,75	4,96	1,39	0,00	8,33
M9	16,90	4,86	4,96	0,75	0,93	2,42	0,21	0,00	4,17
M10	18,70	5,04	4,85	0,99	0,77	4,47	0,40	0,00	6,45
M11	17,80	5,03	5,08	0,81	0,86	2,89	0,40	0,40	5,19
M12	18,20	5,21	5,09	0,86	0,80	1,68	0,19	0,00	7,50
M13	15,40	4,95	4,96	0,82	0,76	2,67	0,20	0,20	5,13
M14	17,80	4,97	5,09	0,87	0,81	3,49	0,20	0,59	8,75
M15	14,90	4,86	5,09	0,76	0,79	3,47	0,00	0,20	4,11
Promedio	16,89	5,01	5,01	0,85	0,80	3,22	0,50	0,52	6,74
D. estandar	1,47	0,10	0,09	0,10	0,06	0,97	0,54	0,65	1,86
C. variacion	8,70	2,00	1,80	11,76	7,50	30,12	108,00	125,00	27,60

a= longitud promedio en una dirección; b= longitud promedio en la otra dirección; e= espesor promedio de la probeta; **H(a)**= Hinchamiento de **a**; **H(b)**= Hinchamiento de **b**; **H(e)**= Hinchamiento de **e**.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 5: Ensayo de inmersión a las 24 horas

PROBETA	Masa (g)	a (cm)	b (cm)	e (cm)	Densidad (g/cm ³)	Absorción de agua (%)	H(a) (%)	H(b) (%)	H(e) (%)
M1	17,10	4,91	4,94	0,93	0,76	9,62	0,82	0,82	17,72
M2	18,50	5,09	5,12	0,85	0,84	6,94	0,59	1,19	13,33
M3	16,00	5,10	4,89	0,83	0,77	9,59	0,59	0,00	15,28
M4	16,50	5,06	4,97	0,81	0,81	6,45	0,40	0,61	15,71
M5	19,30	4,87	4,97	1,09	0,73	11,56	0,41	1,84	10,10
M6	17,00	5,04	5,07	0,79	0,84	6,25	0,20	1,81	12,86
M7	20,70	5,02	5,20	1,09	0,73	9,52	0,20	0,78	11,22
M8	15,70	5,06	4,96	0,85	0,74	11,35	0,60	0,40	18,06
M9	17,30	4,88	5,00	0,81	0,88	4,85	0,62	0,81	12,50
M10	19,00	5,07	4,85	1,09	0,71	6,15	1,00	0,00	17,20
M11	18,50	5,02	5,10	0,87	0,83	6,94	0,20	0,79	12,99
M12	19,00	5,21	5,09	0,89	0,81	6,15	0,19	0,00	11,25
M13	16,10	4,95	4,96	0,85	0,77	7,33	0,20	0,20	8,97
M14	18,60	5,02	5,08	0,91	0,80	8,14	1,21	0,40	13,75
M15	15,50	4,88	5,08	0,76	0,82	7,64	0,41	0,00	4,11
Promedio	17,65	5,01	5,02	0,89	0,79	7,90	0,51	0,64	13,00
D. estándar	1,50	0,09	0,09	0,11	0,05	2,01	0,31	0,61	3,67
C. variación	8,50	1,80	1,79	12,36	6,33	25,44	60,78	95,31	28,23

a= longitud promedio en una dirección; **b**= longitud promedio en la otra dirección; **e**= espesor promedio de la probeta; **H(a)**= Hinchamiento de **a**; **H(b)**= Hinchamiento de **b**; **H(e)**= Hinchamiento de **e**.

Fuente: Elaboración Propia

El ensayo de absorción de agua, en la fase de hinchamiento a las 24 horas refleja que cada una de las probetas sufrió pocas deformaciones en la dirección paralela del tablero, sin embargo, sufrió deformación en la dirección perpendicular al tablero, lo que indica que los espesores variaron considerablemente respecto a las dimensiones de sus lados.

Se observó que la absorción promedio fue 3,22% y el porcentaje de hinchamiento promedio fue 6,74% ambas poseen una alta dispersión y muy similares de 30,12% y 27,60% esta alta dispersión viene dado a causa de la forma de colocar los materiales por capa donde el agua penetra por los cantos de las probetas siendo las capas de los cartones de larga duración (tetrabrik) las que absorben el agua. Ya que la capa de plástico por ser impermeable no absorbe agua.



Figura 40: Inmersión en agua e hinchamiento a las 2 y 24 horas.

Fuente: Elaboración Propia.

En la fase a las 24 horas las probetas llegaron a alcanzar un porcentaje de absorción de agua de 7,90% y un hinchamiento en el espesor del 13% lo cual es un valor muy bueno en comparación con otros tableros de partículas e indica que el PEBD mejora la impermeabilidad del tablero ya que sus capas limitan más deformaciones originadas por las capas de Tetra brik®

Ensayo de Resistencia a Flexión y Módulo de Elasticidad

Los valores obtenidos para cada uno de las probetas se expresan en la siguiente tabla:

Tabla 6: Resistencia a la Flexión y Módulo de Elasticidad

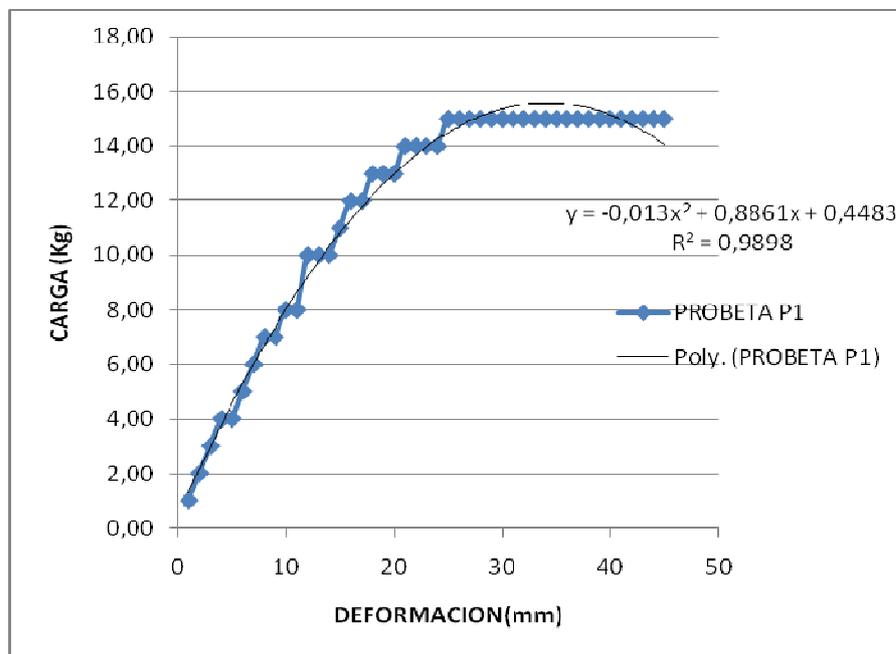
PROBETA	C=Cl (Kg)	a (cm)	e (cm)	MR (Kg/cm ²)	ME (Kg/cm ²)
P1	15,00	7,30	0,97	65,52	1801,12
P2	13,00	7,28	0,86	72,43	2807,48
P3	13,00	7,38	1,33	29,87	748,74
P4	14,00	7,33	0,88	73,99	2547,91
P5	15,00	7,39	0,90	75,18	2531,20
T1	17,00	7,44	0,76	118,68	4731,98
T2	13,00	7,51	0,86	70,21	1943,93
T3	20,00	7,40	0,85	112,22	3520,72
T4	19,00	7,52	0,89	95,69	2756,91
PROMEDIO	15,44	7,39	0,92	79,31	2598,89
D. estandar	2,65	0,08	0,16	26,72	1116,02
C. variacion	17,16	1,08	17,39	33,69	42,94

c= carga máxima aplicada; cl= carga en el límite elástico; a= ancho de la probeta; e= espesor de la probeta; MR= modulo de rotura; ME= modulo de elasticidad.

Fuente: Elaboración Propia.

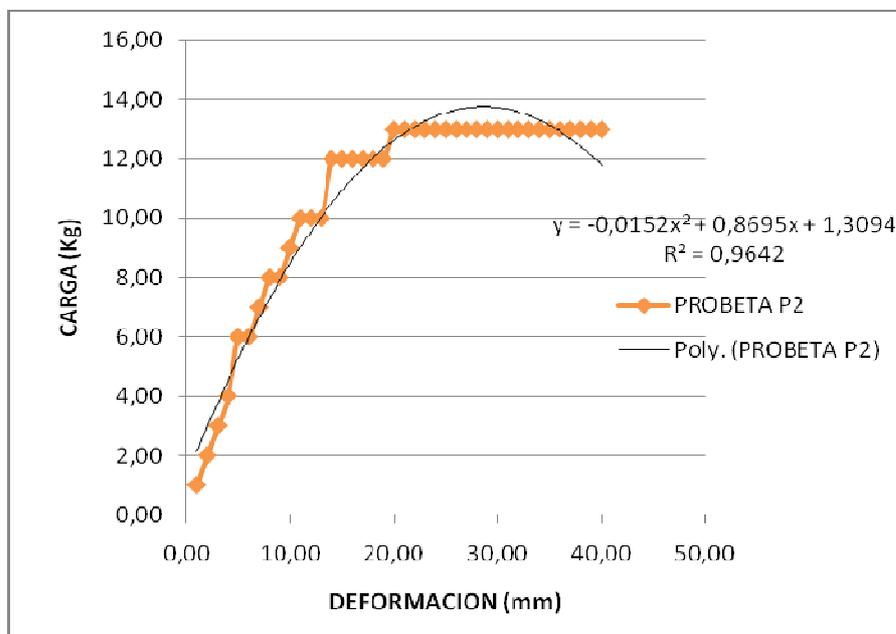
El comportamiento de cada una de las probetas en relación a la carga aplicada y la deformación sufrida por la muestra se presentan en las siguientes graficas:

Gráfico 1: Carga vs Deformación Probeta P1



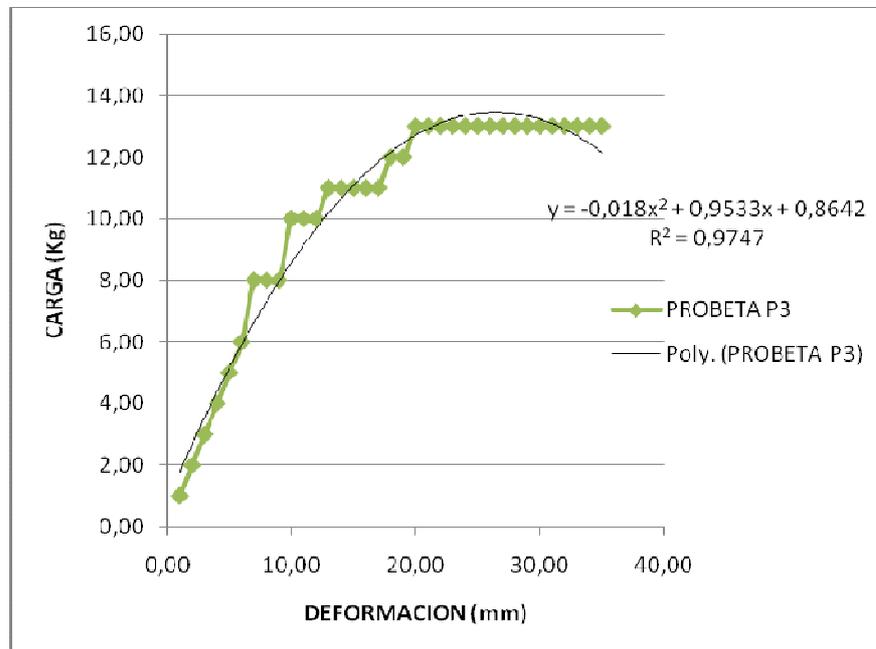
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 2: Carga vs Deformación Probeta P2



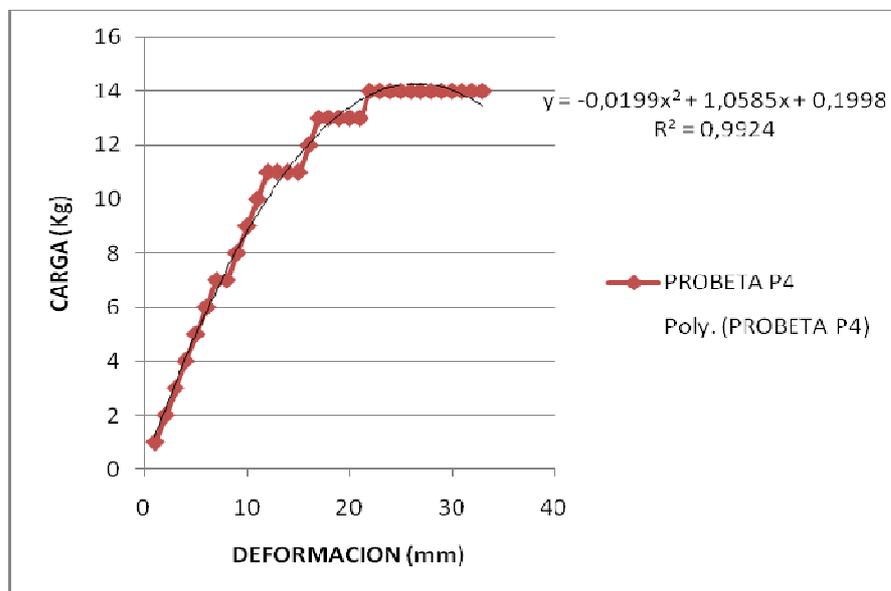
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 3: Carga vs Deformación Probeta P3



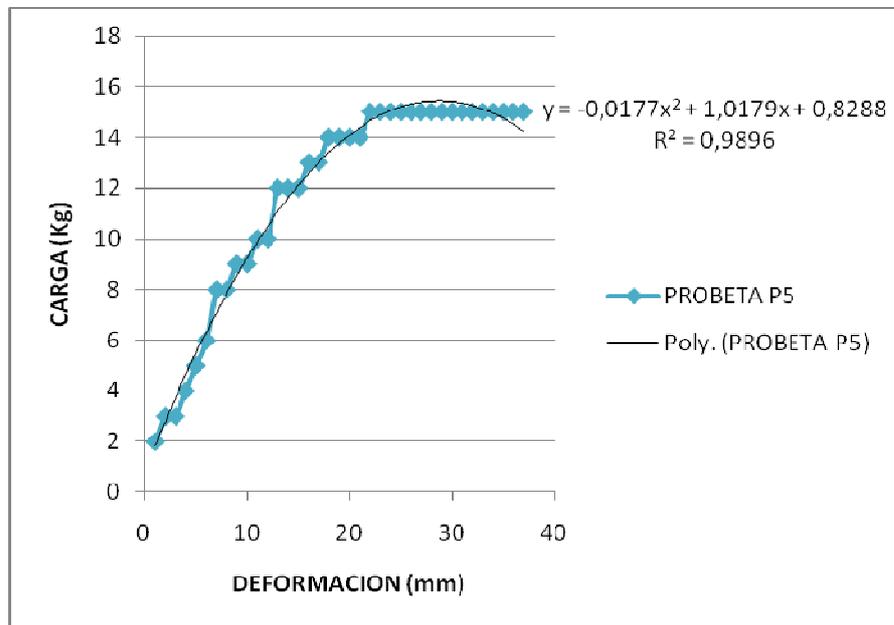
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4: Carga vs Deformación Probeta P4



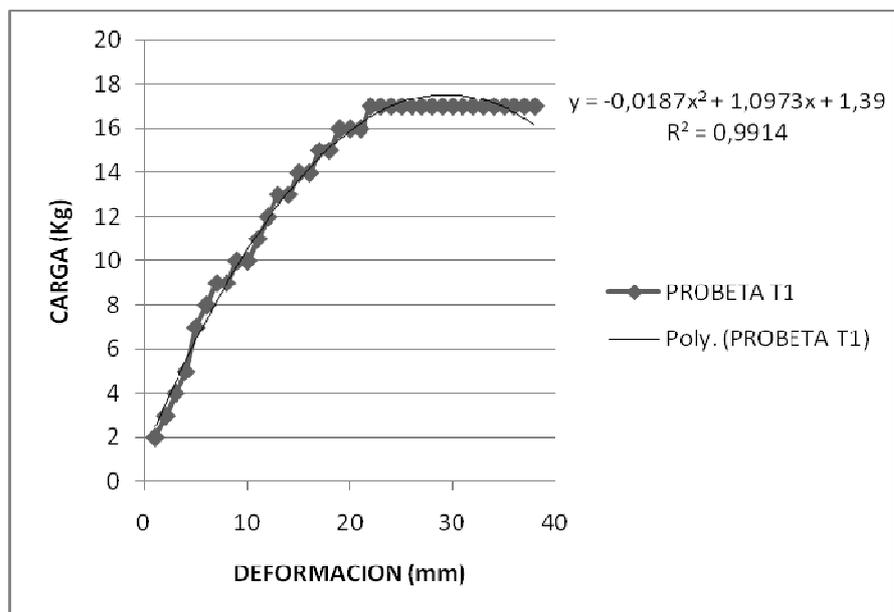
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 5: Carga vs Deformación Probeta P5



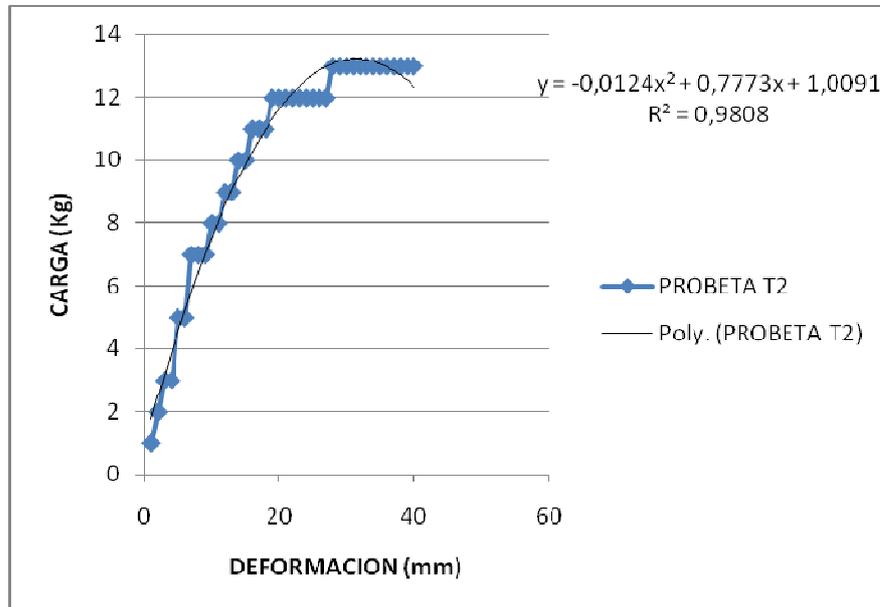
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 6: Carga vs Deformación Probeta T1



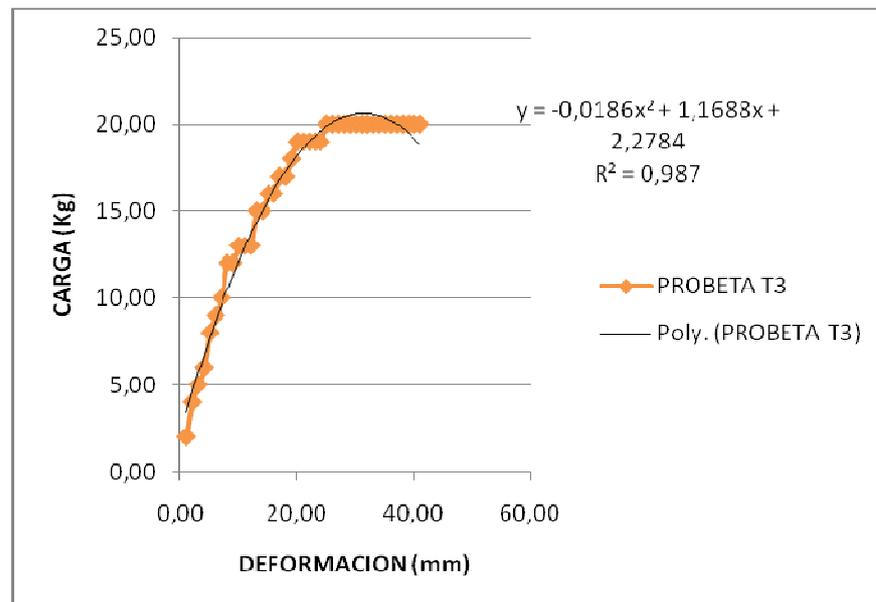
Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 7: Carga vs Deformación Probeta T2



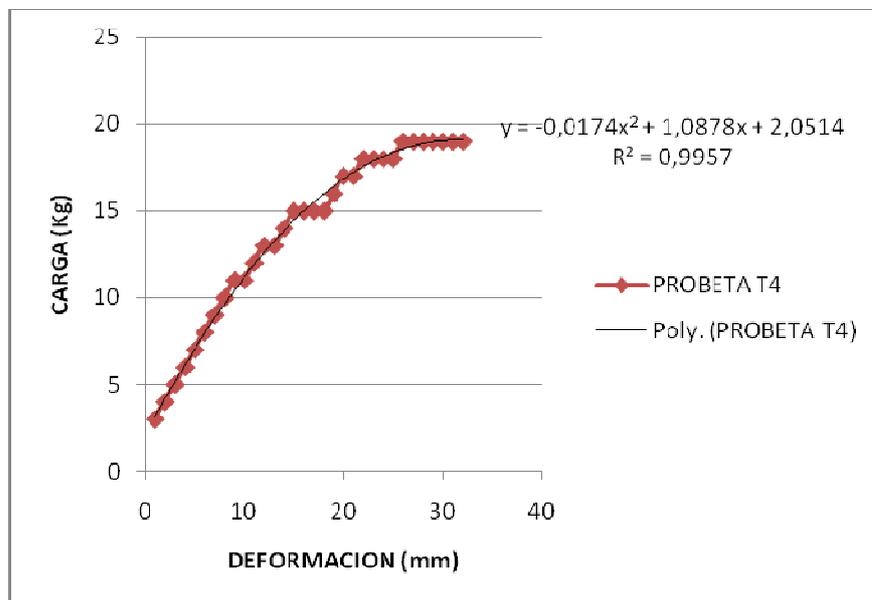
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 8: Carga vs Deformación Probeta T3



Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico 9: Carga vs Deformación Probeta T4

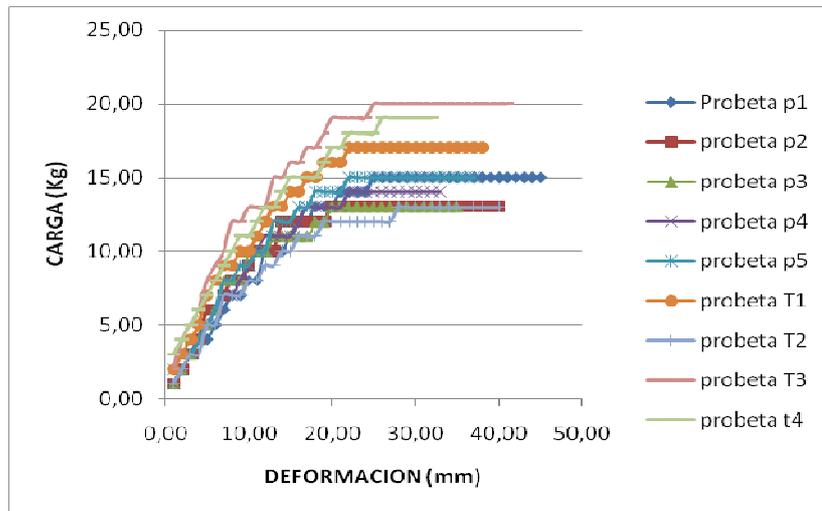


Fuente: Elaboración Propia

Para el ensayo de resistencia a flexión se obtuvo un esfuerzo promedio o módulo de ruptura de 79,31Kg/cm² y un modulo de elasticidad promedio (ME) de 2598,89Kg/cm² ambas tuvieron una alta desviación estándar de 26,72Kg/cm² para el modulo de ruptura y 1116,02Kg/cm² para el módulo de elasticidad con una dispersión de 33,69% y 42,94% respectivamente. Esta altas variaciones demuestran que el material que influyo mas en este comportamiento fue el polietileno de baja densidad (PEBD) ya que presenta un modulo de elasticidad no constante en cada una de las probetas. El PEBD por ser un polímero flexible presenta curvas extrañas como se pueden observar en cada una de las graficas de carga-deformación para cada una de las probetas ya que a medida que se incrementa la tensión el tablero sufre grandes deformaciones por lo que su modulo no es constante y de allí radica la alta dispersión que presentan.

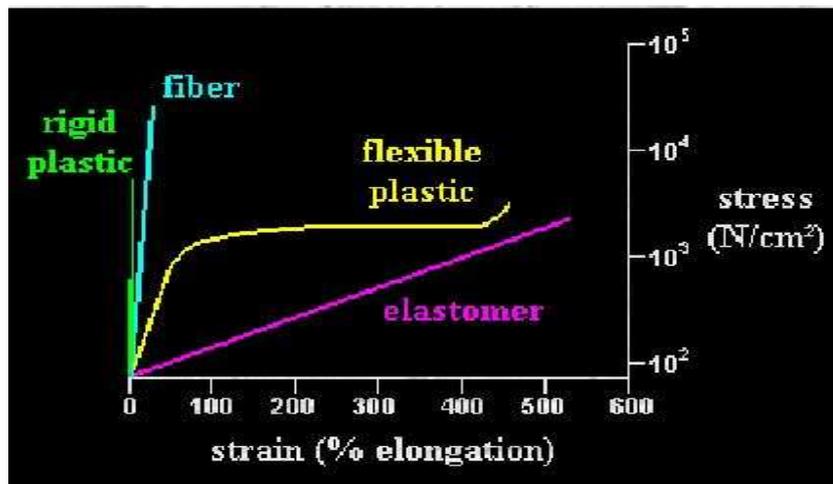
Para ratificar que el material que trabajó en este ensayo fue el PEBD se realizó una comparación con una grafica de esfuerzo deformación según Odian (1991) y la grafica que comprende todos los ensayo a flexión realizados y se presentan en las siguientes graficas:

Gráfico 10: Carga vs Deformación de todas las probetas



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 11: Esfuerzo vs Deformación de los Polímeros



Fuente: Odian (1991)

Al comparar ambas graficas se puede apreciar que la curva que se asemeja según Odian (1991) a la de los ensayos realizados es la curva amarilla perteneciente al grupo de plásticos flexible, donde se encuentra el polietileno de baja densidad.

La carga en el límite elástico fue la primera medición de la carga ultima aplicada, a partir de allí, entra en el rango plástico donde se generan más deformaciones sin variar la carga. También cabe destacar que la curva de mejor ajuste en cada una de las graficas dio un polinomio de 2do orden con un factor R2 por encima de 0,95 y que este tipo de grafico es característico de una curva de esfuerzo-deformación de los polímeros flexibles como el PEBD.

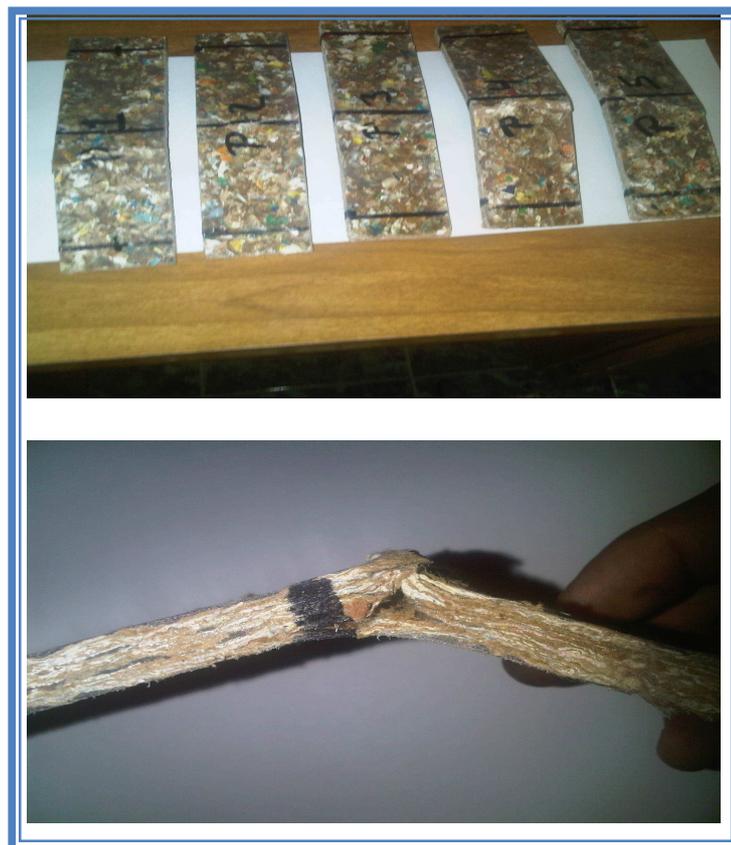


Figura 41: Rotura de las probetas en ensayo a flexión.

Fuente: Elaboración Propia.

Ensayo de Tracción Perpendicular a la Superficie del Tablero

Los valores obtenidos para cada uno de las probetas se expresan en la siguiente tabla:

Tabla 7: Tracción Perpendicular a la Superficie del Tablero

PROBETA	a (cm)	b (cm)	C (Kg)	A (Kg/cm ²)
P1	4,99	5,08	49,100	1,94
P2	4,98	5,00	67,100	2,69
P3	4,97	5,03	65,100	2,60
P4	4,96	5,02	50,000	2,01
P5	5,05	4,98	85,100	3,38
P6	5,02	5,01	56,700	2,25
P7	4,93	5,13	70,000	2,77
P8	4,97	5,00	78,400	3,15
P9	5,04	5,05	40,600	1,60
Promedio	4,99	5,03	62,456	2,49
D. estandar	0,04	0,05	14,56	0,59
C. variacion	0,80	0,99	23,31	23,69

a= longitud promedio en una dirección; **b**= longitud promedio en la otra dirección; **C**= carga máxima aplicada; **A**= tensión de ruptura perpendicular a la superficie.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 42: Rotura de las probetas del ensayo de tracción perpendicular a la superficie del tablero

Fuente: Elaboración Propia.

Con el ensayo de tracción perpendicular a la superficie, se obtuvo una carga máxima de ruptura promedio de 62,456Kg para un esfuerzo promedio de 2,49Kg/cm² ambas presentan una alta dispersión y similares de 23,31% y 23,69%, respectivamente, esta alta dispersión indica que el plástico al funcionar como aglutinante o pegamento entre las capas Tetra brik[®], tuvo una mediana homogeneidad en toda el área dejando algunos poros vacíos de plástico aglutinante que influyen en la cohesión existente entre el PEBD y el Tetra brik[®] y por eso la alta dispersión entre los esfuerzos calculados, sin embargo, los valores obtenidos infieren que posee buena cohesión al compararlo con los valores que establece la norma Covenin 847-2009.

Ensayo de Tracción Paralela a la Superficie del Tablero

Los valores obtenidos para cada uno de las probetas se expresan en la siguiente tabla:

Tabla 8: Tensión Paralela a la Superficie del Tablero

PROBETA	C (Kg)	l (cm)	e (cm)	l _x e (cm ²)	ft (Kg/cm ²)
T1	85,00	5,08	1,11	5,64	15,07
T2	167,50	5,16	0,97	5,01	33,43
T3	187,00	5,04	0,90	4,54	41,19
T4	157,00	5,09	1,02	5,19	30,25
T5	126,00	5,14	1,03	5,29	23,82
T6	160,00	5,08	0,96	4,88	32,79
T7	185,00	5,19	1,03	5,35	34,58
T8	134,50	5,09	0,89	4,53	29,69
T9	112,00	5,14	0,99	5,09	22,00
PROMEDIO	146,00	5,11	0,99	5,06	29,20
D. estándar	34,26	0,05	0,07	0,37	7,79
C. variacion	23,47	0,98	7,07	7,31	26,68

C= carga máxima aplicada; l= longitud promedio de la probeta perpendicular a la carga aplicada; e= espesor promedio de la probeta; l_xe= sección de la carga aplicada; ft= esfuerzo máximo a tracción.

Fuente: Elaboración Propia

En este ensayo se obtuvo una carga máxima de ruptura promedio de 146,00Kg para una tensión promedio de 29,20Kg/cm². En ambas se obtuvieron dispersiones similares de 23,47% y 26,68% respectivamente. Este fue el ensayo donde se logro las mayores cargas de ruptura si se compara con el ensayo a flexión y tracción perpendicular a la superficie del tablero. Por lo que la combinación entre capas de plástico y tetrabrik ofrecen mayor resistencia en la dirección paralela a la superficie del tablero. La alta dispersión al igual que los otros ensayo se debe a la forma manual en cómo se colocaron las capas del material, dejando espacios vacios de PEBD, ya

que al no cohesionarse de manera uniforme con el Tetra brik[®] puede fracturarse mucho mas fácil.



Figura 43: Rotura de las probetas en ensayo de tracción paralela a la superficie del tablero

Fuente: Elaboración Propia.

Para una mejor comprensión se resume un cuadro donde se puede observar los valores obtenidos para las diferentes propiedades mecánicas del tablero expresado en el sistema de unidades utilizado en el país, así como también, el sistema de unidades internacional que rige los tableros aglomerados. El resumen se presenta en el siguiente cuadro:

Tabla 9: Cuadro resumen de las propiedades del tablero aglomerado.

ENSAYO	NORMA UTILIZADA	UNIDAD	TABLERO AGLOMERADO TETRABRIK-PEBD	SISTEMA INTERNACIONAL	TABLERO AGLOMERADO TETRABRIK-PEBD
DENSIDAD	COVENIN 849-91	g/cm ³	0,84	Kg/m ³	840
ABSORCION DE AGUA 24H	COVENIN 849-91	%	7,90	%	7,90
HINCHAMIENTO (e)24H	COVENIN 849-91	%	13,00	%	13,00
RESISTENCIA A LA FLEXION	COVENIN 849-91	Kg/cm ²	79,31	N/mm ²	7,78
MODULO DE ELASTICIDAD	COVENIN 849-91	Kg/cm ²	2598,89	N/mm ²	254,79
TRACCION PERPENDICULAR A LA SUPERFICIE DEL TABLERO	COVENIN 849-91	Kg/cm ²	2,49	N/mm ²	0,24
TRACCION PARALELA A LA SUPERFICIE DEL TABLERO	ASTM 1030-82	Kg/cm ²	29,20	N/mm ²	2,86

Fuente: Elaboración Propia

Para poder estimar el uso que se les puede dar al tablero elaborado se procedió a comparar los resultados obtenidos con los requisitos exigidos tanto en la norma Covenin 847-2009 como en estándares utilizados por empresas que trabajan en el ramo de elaboración de tableros aglomerados obteniendo donde se establece lo siguiente:

Para tableros de uso general en ambiente seco tipo P1 los tableros de espesor nominal entre 6 y 13mm exigen las propiedades mecánicas que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 10: Requisitos para Tableros Aglomerados para uso General

ENSAYO	UNIDAD	REQUISITO 847-2009	TABLERO AGLOMERADO TETRABRIK-PEBD
RESISTENCIA A LA FLEXION	N/mm ²	12,5	7,9
COHESION INTERNA	N/mm ²	0,28	0,24

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla se puede observar que ambos ensayos están cerca de los requisitos exigido para este tipo de tablero, además cabe destacar que siendo valores promedios obtenido en cada uno de estos ensayos, algunas probetas superaron estos requisitos exigidos tales como las probetas P5 y P8 para el ensayo de cohesión interna y para el ensayo de flexión las probetas T1 y T2 obtuvieron un modulo de ruptura de 11,64N/mm² y 11,00N/mm² respectivamente por lo que hace pensar que optimizando el proceso de elaboración del tablero se puede obtener mejores resultados.

A su vez, una empresa internacional llamada masisa con instalaciones en Venezuela fabrica tableros aglomerados que son ensayados bajo estándares europeos con las siguientes propiedades que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 11: Valores estándar de Tableros Aglomerados Empresas Masisa

Propiedades físicas típicas			Espesor/mm												
Propiedad	Unidad	Tolerancia	6	9	9.5	12	12.7	15	16	19	25	25.4	28	30	34
Densidad	kg/m ³	+/- 20 kg/m ³	740	730	730	700	700	690	680	680	670	650	650	650	640
Resistencia a la tracción	N/mm ²	+/- 0.05 N/mm ²	0.50	0.45	0.45	0.45	0.45	0.40	0.40	0.40	0.35	0.35	0.35	0.35	0.25
Resistencia a la flexión	N/mm ²	+/- 1.5 N/mm ²	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	10.0
Hinchamiento Espesor 24hr (Máximo)	%	-	50	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Extracción de Tornillo Cara/Canto (Mínimo)	N	-	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	700	700	700	600	600	600	600	500
Desprendimiento Superficial (Mínimo)	N/mm ²	-	N/A	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

N/A: No Aplicable

Fuente: Empresas Masisa

Para nuestro caso en el que se obtuvieron tableros con espesor nominal entre 0,80 y 0,90 tomamos éstos valores y los comparamos con los resultados obtenidos que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 12: Cuadro Comparativo entre Tablero Aglomerado Elaborado y Tablero de Partículas de la Empresa Masisa

ENSAYO	SISTEMA INTERNACIONAL	TABLERO AGLOMERADO TETRABRIK-PEBD	masisa
DENSIDAD	Kg/m ³	840	730
ABSORCION DE AGUA 24H	%	7,9	N/A
HINCHAMIENTO (e)24H	%	13	25
RESISTENCIA A LA FLEXION	N/mm ²	7,78	11
MODULO DE ELASTICIDAD	N/mm ²	254,79	N/A
RESISTENCIA TRACCION (COHESION INTERNA)	N/mm ²	0,24	0,45
TRACCION PARALELA A LA SUPERFICIE DEL TABLERO	N/mm ²	2,86	N/A

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla se puede observar que el tablero que se elaboro posee una mayor densidad y un menor hinchamiento que el tablero aglomerado de la empresa masisa. Y valores cercanos en cuanto a la resistencia a la flexión y cohesión interna. Por lo que las recomendaciones que da esta empresa para su uso de acuerdo a un espesor entre 6 y 9,5mm es para usarlos como tapas y traseras de muebles, fondos de cajones, muros ligeros de construcción liviana , plafones o cielo rasos o cajones para cornetas de audio.

Por otro lado una guía consultada en la red para compradores y especificaciones sobre productos de madera aglomerada o tablero de partículas las del tipo LD-1 LD-2 y PBU poseen propiedades mecánicas semejantes y cada una son de uso interior y se utilizan para hacer núcleos de puertas tales es el caso de tableros tipo LD-1 y Ld-2. Los tipos PBU sirven como recubrimiento en piso.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se logró desarrollar un proceso de elaboración de tablero aglomerado a base de Tetra brik[®] y Polietileno de Baja Densidad PEBD (bolsas plásticas). Cuyas propiedades físico-mecánicas obtenidas en los ensayos indican que ambos materiales pueden utilizarse para elaborar tableros.

El polietileno de baja densidad aporta al tablero impermeabilidad, buena resistencia a tracción y una buena cohesión con el Tetra brik[®]. Su función de aglutinante, hace que este tablero no requiera ningún tipo de resinas fenólicas, que generan un alto impacto ambiental.

También el tablero ofrece una facilidad para ser cortado con sierra eléctrica, serrucho y caladora.

Todo el proceso para elaborar el tablero aglomerado tuvo un tiempo estimado de 2 horas.

A pesar de la alta dispersión de los resultados en los ensayos realizados, producto de la forma manual en cómo se colocaron ambos materiales, se obtuvieron valores muy buenos al compararlos con las normas y especificaciones de tableros aglomerados en el mercado. Ya que

se puede utilizar como elemento no estructural o de uso interior en viviendas.

Por lo que elaborar tableros aglomerados a base del reciclaje de los cartones de larga duración Tetra brik® y Polietileno de Baja Densidad PEBD (bolsas plásticas) podrían ser usados como:

- Plafones o cielo rasos.
- Cajones
- Recubrimiento de interiores (paredes y pisos)
- Núcleos de puertas
- Diversas piezas moldeadas

Por otro lado, el desarrollo de esta investigación no solo contribuye al proyecto propuesto por el Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingeniería, con el apoyo del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela (CDCH), sino que promueve un mejor conocimiento del manejo y aprovechamiento de los residuos sólidos. Con la finalidad de poder obtener productos que satisfagan las necesidades de la sociedad y a un bajo costo.

Recomendaciones

Se deben seguir haciendo pruebas y dotarse de equipos necesarios para mejorar la calidad de los tableros y poder darles otros usos.

Conviene sistematizar la metodología empleada, para elaborar tableros aglomerados a base de Tetra brik[®] y Polietileno de Baja densidad (PEBD), para que pueda ser usado por las comunidades organizadas o a nivel industrial.

Crear una normativa con métodos de ensayos, para evaluar las propiedades físicas y mecánicas de tableros aglomerados a base de materiales reciclables no renovables.

Fomentar trabajos de investigación que conlleven al reciclaje de residuos sólidos mediante la elaboración de materiales para la construcción que puedan ser usados en proyectos de interés social.

Se deben realizar campañas o actividades que incentiven a las comunidades a recuperar y reciclar los desechos sólidos.

Lograr que las instituciones tanto públicas como privadas, apoyen económicamente este tipo de investigaciones con la finalidad de fortalecer sus alcances, e incentivar el desarrollo tecnológico y científico desde los espacios universitarios.

REFERENCIAS

- Abreu, M. (2000).. **Reciclagem de embalagens cartonadas Tetra Pak para Alimentos Líquidos**. *O Papel*. Brazil. Año 63(04):91-96.
- Becerra, U. (2006). **Tetra Pack**. Mineografiado.
- Best, J. (2000). **Metodología de la Investigación**. México: Editorial Trillas.
- Boscan, U. (2008) **Fabricación de Tableros Conglomerados**. México; Trillas
- Carras, U. (2007) **Materiales de Construcción Alternativos**. Barcelona: Cincel
- Casalta, W. (2006), **Materiales a Base de Polietileno de Baja Densidad**
- Centro Nacional para el Mejoramiento de la Ciencia (CENAMEC, 2003) **Investigación y Ciencia**. Caracas: Publicaciones CENAMEC.
- Corrales, G. (2004). **Usos del Tetrabrik en Reciclajes**. México: Limusa
- Diario el Mundo (2007). **Problema Habitacional**. Caracas: Ediciones el Mundo
- Díaz. G. (2006). **Metodología de la Investigación Científica**. México: Limusa
- Funes y Rodríguez (2008), **Evaluar el Potencial de Recuperación del Tetra Brik Residuos Sólidos Municipales de un Sector de San Bernardino. Parroquia San Bernardino**. Caracas; UCV
- Flores (2005). **Polietileno Historia y Usos**. México: Omega
- Galiat, R. (2007). **Polietileno de Baja Densidad. Ensayos, Usos. Reciclaje**. México: Trillas
- Hernández, R. Fernández, C. Baptista, P. (2006). **Metodología de la Investigación**. México: Mc. Graw-Hill Interamericana.
- Huiza, T. (2007). **Tetra Brick**, Buenos Aires. Ensayos: Ediciones Alba

- Instituto Sueco. (2003). **Inno tygvaciones Suecas**. Suecia, Estocolmo. .
- Lobatera, D. (2007). **Reciclaje. Biodegradables versus No Biodegradables**.
- Losada, A. A. M. (1997). **El Envase y Embalaje. Historia. Tecnología. Ecología**. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México
- Limón, G. M. (2001). **Biodegradación de Polietileno de Baja Densidad por Hngos Flamentosos**. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Moles, O. (2006). **Sistemática de la Investigación Científica**. Valencia: Universidad de Carabobo.
- Moles, T. (2006) **Materiales de Reciclaje**. Elaboración de Material, Mimeografiado
- Navarro, U. (2005) **Tipos y Codificación de Plásticos**. Bogotá: Norma.
- Neves, L. (2000). **Efeito da interação entre fibras virgens e recicladas nas características físicas de cartões Multifolhados**. Tesis de Mestrado. Esalq / USP- Piracicaba. Brasil.
- Núñez. L. (2005), **El Envase de Cartón Laminado tipo Tetra Brick, un Problema Ambiental y sus Posibilidades de Aprovechamiento**. Instituto Técnico Nacional de México, México Ciudad de México
- Núñez, Y. (2005). **Fabricado del Tetra Brick**. Mimeografiado.
- Obregon (2008) **Tableros Aglomerados: Una Solución de Vivienda con Carácter social**. Colombia: Facultad de Arquitectura de la Pontificia Universidad Bolivariana.
- Palencia, J. (2005), **Panales T.Plack**. Proveedores T-Plack. Mimeografiado.
- Robles, M. (1995). **Diseño Gráfico de envases asépticos para leche marca Tetra Pak**. Tesis de Licenciatura. Universidad Iberoamericana. México. P.p.9-79.
- Ruíz, A. (2003) **Estadística de Investigación**. México: Mc Grw Hill

Santamaría, C. M. (1994). **Diseño Gráfico Aplicado a Envase y Embalaje. Diseño Gráfico para Jugos de Frutas Envasado en Tetra Brik.** Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.

Sue, (2007), **Estudio de la Factibilidad Técnica y Económica para la Instalación de una Planta de Reciclaje de Envases de Tetra Pak, para la Producción de Tectan**

Tamayo, y Tamayo. (2003). **El Proceso de Investigación Científica.** Editorial Limusa-Noriega. México.

Universidad Santa María (2001). **Normas para la Elaboración, Presentación y Evaluación de los Trabajos Especiales de Grado.** Caracas.

Norma COVENIN 847-91 **“Madera. Tablero de Partículas”**

Norma FONDONORMA 847-2009 **“Madera. Tablero de Partículas”**

Norma ASTM D1037-78 **“Evaluating the properties of Wood-base fiber and particle panel materials”.**

ANEXOS

ANEXO 1: Metodología para elaboración de tablero y obtención de diseño óptimo.

TABLERO #	MASA PEBD (g)	MASA TETRABRIK (g)	MASA TOTAL (g)	PEBD (%)	TETRABRIK (%)	TEMPERATURA °C	TIEMPO DE CALENTAMIENTO (min)	CARGA DE PRES. (TON)	TIEMPO DE PRES. (min)	ESPESOR (mm)	CARACTERISTICAS Y OBSERVACIONES
1	320	900	1220	26,23	73,77	150-160	50	15	20	8-9	Tablero con muy buena resistencia el reciclado de plástico de baja densidad aglutino y formo una capa plástica en sus superficies. Hasta ahora el mejor diseño de mezcla. Se realizo por capas 3 de 300gr de brik y 100, 60, 60, 100 de plástico
2	440	900	1340	32,84	67,16	150-160	50	15	20	9-10	no sirvió por exceso de plástico se formo un chicle al someterlo a presión se salió la mezcla del encofrado demasiado plástico.
3	320	900	1220	26,23	73,77	150-160	50	15	20	9-10	buena resistencia, buen acabado
4	320	850	1170	27,35	72,65	150-160	50	15	20	9-11	buena resistencia, aglutino el plástico sin embargo al desencofrar se desprendió parte de una capa, pero en general en todo el tablero tiene buena resistencia
5	320	800	1120	28,57	71,43	150-160	50	15	20	7-8	muy endeble no ofrece buena resistencia.
6	320	900	1220	26,23	73,77	150-160	50	15	20	8-9	diseño optimo, buena resistencia
7	320	900	1220	26,23	73,77	150-160	50	15	20	8-9	diseño optimo, buena resistencia
8	320	900	1220	26,23	73,77	150-160	50	15	20	8-9	diseño optimo, buena resistencia
9	320	900	1220	26,23	73,77	150-161	50	15	20	8-9	diseño optimo, buena resistencia

ANEXO 2: Mediciones para ensayo de densidad y absorción de agua del tablero#1.

PROBETA	a1 (cm)	a2 (cm)	b1 (cm)	b2 (cm)	e1 (cm)	e2 (cm)	e3 (cm)	e4 (cm)	e5 (cm)	Masa (g)
M1	4,87	4,87	4,90	4,90	0,85	0,76	0,78	0,84	0,74	15,60
M2	5,04	5,08	5,03	5,08	0,78	0,77	0,73	0,73	0,74	17,30
M3	5,08	5,05	4,96	4,82	0,71	0,78	0,72	0,70	0,71	14,60
M4	4,96	5,11	4,94	4,94	0,67	0,70	0,74	0,71	0,70	15,50
M5	4,86	4,84	4,80	4,96	1,03	0,93	0,89	1,07	1,01	17,30
M6	5,00	5,05	5,02	4,94	0,70	0,62	0,70	0,75	0,71	16,00
M7	5,00	5,02	5,17	5,15	1,11	0,95	0,90	1,00	0,92	18,90
M8	4,95	5,11	4,93	4,94	0,75	0,71	0,70	0,70	0,72	14,10
M9	4,80	4,90	5,00	4,91	0,64	0,69	0,84	0,71	0,73	16,50
M10	5,01	5,02	4,86	4,84	0,87	0,85	1,00	1,02	0,92	17,90
M11	5,00	5,01	5,04	5,08	0,77	0,79	0,74	0,75	0,79	17,30
M12	5,23	5,17	5,06	5,12	0,86	0,78	0,72	0,87	0,79	17,90
M13	4,95	4,93	4,92	4,97	0,76	0,83	0,78	0,73	0,80	15,00
M14	5,00	4,91	5,04	5,07	0,61	0,78	0,85	0,94	0,80	17,20
M15	4,94	4,77	5,07	5,09	0,68	0,65	0,74	0,77	0,79	14,40

ANEXO 3: Mediciones para ensayo de absorción de agua e hinchamiento a las 2 horas del tablero #1

PROBETA	a1 (cm)	a2 (cm)	b1 (cm)	b2 (cm)	e1 (cm)	e2 (cm)	e3 (cm)	e4 (cm)	e5 (cm)	Masa (g)
M1	4,92	5,00	4,94	4,94	0,94	0,81	0,87	0,90	0,87	16,10
M2	5,06	5,09	5,09	5,13	0,84	0,80	0,77	0,79	0,79	17,70
M3	5,07	5,08	5,04	4,81	0,77	0,84	0,78	0,71	0,81	15,10
M4	5,09	5,13	4,95	4,96	0,72	0,78	0,80	0,75	0,71	15,90
M5	4,86	4,86	4,91	5,11	1,09	1,09	0,95	1,15	0,95	18,10
M6	5,03	5,04	5,05	4,94	0,75	0,64	0,74	0,80	0,75	16,30
M7	5,01	5,02	5,17	5,18	1,10	1,10	0,90	1,09	0,99	19,70
M8	5,09	5,10	4,94	4,94	0,84	0,85	0,74	0,72	0,74	14,80
M9	4,81	4,91	5,00	4,90	0,65	0,70	0,89	0,78	0,75	16,90
M10	5,03	5,04	4,86	4,83	0,94	0,87	1,03	1,10	1,00	18,70
M11	5,02	5,03	5,06	5,09	0,84	0,83	0,78	0,80	0,80	17,80
M12	5,23	5,19	5,04	5,11	0,92	0,82	0,74	1,00	0,80	18,20
M13	4,95	4,94	4,93	4,98	0,81	0,88	0,87	0,77	0,77	15,40
M14	5,02	4,92	5,09	5,08	0,82	0,82	0,88	0,96	0,85	17,80
M15	4,94	4,77	5,08	5,09	0,69	0,68	0,78	0,83	0,80	14,90

ANEXO 4: Mediciones para ensayo de absorción de agua e hinchamiento a las 24 horas del tablero #1

PROBETA	a1 (cm)	a2 (cm)	b1 (cm)	b2 (cm)	e1 (cm)	e2 (cm)	e3 (cm)	e4 (cm)	e5 (cm)	Masa (g)
M1	4,91	4,90	4,95	4,93	1,00	0,88	0,79	1,10	0,90	17,10
M2	5,09	5,09	5,10	5,13	0,90	0,86	0,83	0,81	0,85	18,50
M3	5,09	5,10	4,96	4,82	0,85	0,85	0,87	0,80	0,80	16,00
M4	4,99	5,13	4,96	4,98	0,76	0,81	0,88	0,82	0,80	16,50
M5	4,84	4,90	4,93	5,01	1,08	1,05	1,04	1,24	1,03	19,30
M6	5,02	5,05	5,08	5,05	0,82	0,68	0,84	0,81	0,79	17,00
M7	5,02	5,02	5,21	5,19	1,18	1,09	0,98	1,17	1,02	20,70
M8	5,00	5,11	4,98	4,94	0,86	0,97	0,80	0,82	0,79	15,70
M9	4,83	4,92	5,00	5,00	0,70	0,77	0,93	0,87	0,77	17,30
M10	5,07	5,06	4,84	4,85	0,97	0,96	1,14	1,23	1,14	19,00
M11	5,01	5,03	5,06	5,13	0,90	0,91	0,85	0,85	0,84	18,50
M12	5,24	5,17	5,05	5,12	0,93	0,88	0,78	1,02	0,83	19,00
M13	4,95	4,94	4,94	4,98	0,84	0,91	0,91	0,80	0,80	16,10
M14	5,02	5,01	5,07	5,08	0,85	0,86	0,94	1,02	0,87	18,60
M15	4,98	4,77	5,07	5,08	0,71	0,73	0,81	0,80	0,74	15,50

ANEXO 5: Mediciones para ensayo de tracción perpendicular a la superficie del tablero #3

PROBETA	a1 (cm)	a2 (cm)	b1 (cm)	b2 (cm)	CARGA MAX (Kg)
P1	4,99	4,98	5,06	5,10	49,100
P2	4,98	4,98	5,00	5,00	67,100
P3	4,98	4,96	5,02	5,04	65,100
P4	4,92	5,00	5,00	5,03	50,000
P5	5,09	5,00	5,05	4,91	85,100
P6	4,98	5,06	5,01	5,00	56,700
P7	4,91	4,95	5,20	5,05	70,000
P8	5,01	4,93	4,98	5,01	78,400
P9	5,05	5,02	5,10	4,99	40,600

ANEXO 6: Mediciones para ensayo de tracción paralela a la superficie del tablero #6

PROBETA	a1 (cm)	a2 (cm)	e1 (cm)	e2 (cm)	CARGA MAX (Kg)
T1	5,19	4,96	1,05	1,16	85,00
T2	5,15	5,16	1,11	0,83	167,50
T3	4,95	5,12	0,99	0,80	187,00
T4	5,17	5,00	0,88	1,15	157,00
T5	5,10	5,18	1,11	0,94	126,00
T6	5,05	5,10	0,96	0,95	160,00
T7	5,20	5,17	0,87	1,18	185,00
T8	5,14	5,04	0,90	0,88	134,50
T9	5,20	5,08	0,94	1,03	112,00

ANEXO 7: Mediciones para ensayo a flexión del tablero #7 y 8

PROBETA	a1 (cm)	a2 (cm)	e1 (cm)	e2 (cm)	L (cm)	C=Cl (Kg)
P1	7,32	7,28	1,07	0,86	20,00	15,00
P2	7,30	7,25	0,83	0,88	20,00	13,00
P3	7,38	7,37	1,28	1,37	20,00	13,00
P4	7,41	7,25	0,85	0,90	20,00	14,00
P5	7,35	7,43	1,00	0,80	20,00	15,00
T1	7,38	7,50	0,82	0,70	20,00	17,00
T2	7,50	7,52	0,82	0,90	20,00	13,00
T3	7,30	7,50	0,81	0,89	20,00	20,00
T4	7,52	7,51	0,81	0,96	20,00	19,00