

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL TABLERO DE
AGLOMERADO A PARTIR DE RESIDUOS DE ENVASES TETRA
BRIK[®]**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Osechas M., Victor G.
Para optar al Título
De Ingeniero Civil

Caracas, 2012

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL TABLERO DE AGLOMERADO A PARTIR DE RESIDUOS DE ENVASES TETRA BRIK[®]

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Ing. Rebeca Sánchez

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Osechas M., Victor G.
Para optar al Título
De Ingeniero Civil

Caracas, 2012

ACTA

El día 20 de junio de 2012. Se reunió el jurado formado por los profesores:

Rebeca Sánchez

Trino Baloa

Newtón Rauseo

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: "ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL TABLERO DE AGLOMERADO A PARTIR DE RESIDUOS DE ENVASES TETRA BRIK".

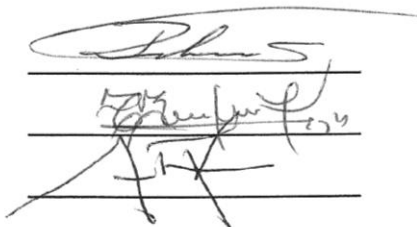
Presentado ante la ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al Título de INGENIERO CIVIL.

Una vez oída la defensa oral que el bachiller Victor Gabriel, Osechas Martínez hizo de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

| NOMBRE | CALIFICACIÓN | |
|-------------------------------------|--------------|--------|
| | Números | Letras |
| Br. Victor Gabriel Osechas Martínez | 20 | VEINTE |

Recomendaciones:

FIRMAS DEL JURADO



Caracas, 20 de junio de 2012

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a todas las personas e instituciones involucradas en este proyecto y por las cuales se pudo realizar, como lo son el Grupo Ingeniería De Arborización (GIDA), Instituto De Materiales Y Modelos Estructurales (IMME), Consejo De Desarrollo Científico Humanístico de la UCV (CDCH), además de la profesora Rebeca Sánchez y a mis amigos Mariana Branco y Gabriel Estrella, por su ayuda y apoyo.

Osechas M, Victor G.

**ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL TABLERO DE
AGLOMERADO A PARTIR DE RESIDUOS DE ENVASES TETRA
BRIK®.**

**Tutor Académico: Prof. Ing. Rebeca Sanchez
Trabajo Especial de Grado, Caracas, UCV Facultad de Ingeniería.
Escuela de Ingeniería Civil, 2012, n° de pag.(48).**

Palabras Claves: Recuperación de Tetra Brik®, Tableros aglomerados, Aprovechamiento.

RESUMEN

En el presente trabajo se estableció una metodología para la elaboración de tableros a base de envases de larga duración Tetra Brik®. Se desarrollo un proceso en el que se preparaban los envase, se procesaban y elaboraba el tablero. Para discernir posible usos del tablero se procedió a evaluar de forma cualitativa su apariencia, integridad física y comportamiento ante procesos de corte por herramientas tanto manuales como mecánicas y de forma cuantitativa, mediante ensayos de laboratorio: la densidad, contenido de humedad, absorción de agua y estabilidad dimensional del tablero por inmersión total a 2 y 24 horas, así como el esfuerzo paralelo a la superficie, resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad. Los resultados muestran que mediante el proceso desarrollado se es posible obtener un tablero amigable ambientalmente y que cumpla con los requerimientos de los tableros de madera aglomerada tipo aislante, requiriendo un tratamiento secundario para poder reducir la absorción de agua y así mantener su estabilidad dimensional.

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPITULO I | 2 |
| 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 2 |
| 2 OBJETIVOS: | 4 |
| 2.1 Objetivo General: | 4 |
| 2.2 Objetivos Específicos: | 4 |
| 3 APORTES | 5 |
| CAPITULO II | 6 |
| 4 MARCO TEÓRICO | 6 |
| 4.1 Tablero base de madera. | 6 |
| 4.1.1 Antecedentes históricos. | 6 |
| 4.1.2 Tipos de tableros a base de madera | 9 |
| 4.1.2.1 Tableros Contrachapados..... | 9 |
| 4.1.2.2 Tableros de Fibra | 9 |
| 4.1.2.3 Tableros de Partículas | 9 |
| 4.1.2.4 Proceso de fabricación. | 10 |
| 4.2 Tablero de madera solida. | 11 |
| 4.3 Tablero de yeso laminado. | 12 |
| 4.4 Tetra Brik® , insumo no aprovechado | 12 |
| 4.5 Reciclado del Tetra Brik® en el mundo | 14 |
| 4.6 Tablero aglomerado de Tetra Brik® | 15 |
| 4.7 Caracterización de los tableros de Tetra Brik® | 15 |

| | |
|---|-----------|
| 4.8 Ensayos | 17 |
| CAPITULO III | 19 |
| 5 METODOLOGÍA..... | 19 |
| 5.1 ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD..... | 22 |
| 5.1.1 Toma de muestra | 22 |
| 5.1.2 Procedimiento | 22 |
| 5.1.3 Expresión de los resultados | 22 |
| 5.2 ENSAYO PARA DETERMINAR CONTENIDO DE HUMEDAD | 23 |
| 5.2.1 Toma de muestra | 23 |
| 5.2.2 Procedimiento | 24 |
| 5.2.3 Expresión de los resultados | 24 |
| 5.3 ENSAYO PARA DETERMINAR LA ABSORCIÓN DE AGUA Y ESTABILIDAD DIMENSIONAL DEL TABLERO POR INMERSIÓN TOTAL..... | 25 |
| 5.3.1 Toma de muestra..... | 25 |
| 5.3.2 Procedimiento | 25 |
| 5.3.3 Expresión de los resultados | 26 |
| 5.3.3.1 Absorción De Agua | 26 |
| 5.3.3.2 Hinchamiento | 26 |
| 5.4 ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y EL MÓDULO DE ELASTICIDAD..... | 27 |
| 5.4.1 Toma de muestra | 27 |
| 5.4.2 Procedimiento | 27 |
| 5.4.3 Expresión de los resultados | 28 |
| 5.5 ENSAYO PARA DETERMINAR LA TRACCIÓN PARALELA A LA SUPERFICIE DEL TABLERO..... | 29 |
| 5.5.1 Toma de muestra..... | 29 |
| 5.5.2 Procedimiento | 30 |
| 5.5.3 Expresión de los resultados | 30 |

| | |
|---|-----------|
| CAPITULO IV..... | 31 |
| 6 RESULTADOS Y ANÁLISIS..... | 31 |
| 6.1 ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD | 31 |
| 6.1.1 Resultados | 31 |
| 6.1.1.1 Longitud de los lados:..... | 31 |
| 6.1.1.2 Espesor: | 32 |
| 6.1.1.3 Masa: | 32 |
| 6.2 ENSAYO PARA DETERMINAR CONTENIDO DE HUMEDAD | 33 |
| 6.2.1 Resultados | 33 |
| 6.3 ENSAYO PARA DETERMINAR LA ABSORCIÓN DE AGUA Y ESTABILIDAD DIMENSIONAL DEL TABLERO POR INMERSIÓN TOTAL..... | 34 |
| 6.3.1 Resultados | 34 |
| 6.3.1.1 Absorción De Agua | 34 |
| 6.3.1.2 Hinchamiento | 35 |
| 6.4 ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y EL MÓDULO DE ELASTICIDAD..... | 37 |
| 6.4.1 Resultados | 37 |
| 6.5 ENSAYO PARA DETERMINAR LA TRACCIÓN PARALELA A LA SUPERFICIE DEL TABLERO..... | 42 |
| 6.5.1 Resultados | 42 |
| 6.6 ANÁLISIS FINAL..... | 43 |
| CAPITULO V..... | 45 |
| 7 CONCLUSIONES | 45 |
| 8 RECOMENDACIONES..... | 46 |
| 9 REFERENCIAS..... | 47 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----------|
| Tabla 1 Clasificación de tableros de la FAO | 8 |
| Tabla 2 Propiedades del MDF | 10 |
| Tabla 3 Propiedades tableros de pino caribe | 11 |
| Tabla 4 Propiedades de yeso laminado | 12 |
| Tabla 5 Longitud de la dirección uno de las probetas de ensayo de densidad..... | 31 |
| Tabla 6 Longitud de la dirección dos de las probetas de ensayo de densidad | 31 |
| Tabla 7 Espesor de las probetas de ensayo de densidad | 32 |
| Tabla 8 Masa de las probetas de ensayo de densidad | 32 |
| Tabla 9 Resultados finales del ensayo de densidad | 32 |
| Tabla 10 Comparación con tableros comerciales | 32 |
| Tabla 11 Resultados finales del ensayo de contenido de humedad | 33 |
| Tabla 12 Comparación con tableros comerciales | 33 |
| Tabla 13 Resultados finales del ensayo de absorción de agua..... | 34 |
| Tabla 14 Comparación de absorción de agua con tableros comerciales | 35 |
| Tabla 15 Resultados finales del ensayo de hinchamiento en la dirección uno | 35 |
| Tabla 16 Resultados finales del ensayo de hinchamiento en la dirección dos..... | 35 |
| Tabla 17 Resultados finales del ensayo de hinchamiento en espesor..... | 36 |
| Tabla 18 Comparación de hinchamiento de espesor con tableros comerciales | 36 |

| | |
|---|-----------|
| Tabla 19 Resultados finales del ensayo de resistencia a la flexión y módulo de elasticidad | 38 |
| Tabla 20 Comparación módulo de ruptura y módulo de elasticidad con tableros comerciales | 41 |
| Tabla 21 Resultados finales del ensayo de tracción paralela a la superficie | 42 |
| Tabla 22 Comparación de la resistencia a la tracción paralela a la superficie con tableros comerciales | 42 |

ÍNDICE DE IMÁGENES

| | |
|---|-----------|
| Imagen 1 Capas que conforman los envases Tetra Brik®..... | 13 |
| Imagen 2 M.E.B. de tiras de envases de Tetra Brik® | 16 |
| Imagen 3 M.E.B. de fibra de madera..... | 16 |
| Imagen 4 M.E.B. de tiras de envases de Tetra Brik® prensadas en caliente. | 17 |
| Imagen 5 Destruyector de papel Ofitech 2310 cc | 20 |
| Imagen 6 Tiras de envases de Tetra Brik® | 20 |
| Imagen 7 Dispositivo utilizado para realizar los tableros..... | 21 |
| Imagen 8 Probeta de ensayo de tracción | 29 |
| Imagen 9 Probetas sumergidas en agua | 34 |
| Imagen 10 Probeta lista a ser ensayada por flexión. | 37 |
| Imagen 11 Probetas ensayadas por flexión | 38 |
| Imagen 12 Probeta ensayada por tracción. | 43 |

ÍNDICE DE GRAFICAS

| | |
|--|----|
| Grafica 1 deformación-carga probeta 1 | 39 |
| Grafica 2 deformación-carga probeta 3 | 39 |
| Grafica 3 deformación-carga probeta 5 | 40 |
| Grafica 4 deformación-carga probeta 7 | 40 |
| Grafica 5 deformación-carga todas las probetas | 41 |

INTRODUCCIÓN

En Venezuela al igual que resto del mundo se está comenzando a crear una conciencia ambiental dentro del modelo del desarrollo sustentable. Se ha comenzando a estimular el reciclaje de materiales, con el objetivo que un menor número de residuos terminen en vertederos o en rellenos sanitarios.

Un de los residuos que hasta los momento no se recupera en Venezuela son los envases de larga duración Tetra Brik[®], a pesar que en otros lugares del mundo estos envases son recuperados para la elaboración de diversos productos, entre ellos la fabricación de tableros similares a la madera aglomerada, los cuales son utilizados en la construcción como mampostería ligera.

Con el aumento de la demanda de vivienda en Venezuela, incrementa el consumo de materiales utilizados en la construcción, provocando en algunos casos su escasez. Es aquí donde surge la necesidad de desarrollar materiales alternativos que permitan solventar el déficit en la demanda. Los tableros de aglomerados a partir de envases de larga duración Tetra Brik[®] pueden ser una buena solución: por una parte, se disminuye la cantidad de residuos a disponer y por otra, se ofrece un material que puede ser utilizado en esta industria.

Ante estos planteamientos se hace necesario realizar estudios orientados a elaborar tableros de aglomerados a partir de envases de larga duración Tetra Brik[®] y explorar su posible utilización en la industria de la construcción venezolana, mediante la determinación de los principales parámetros indicativos de su comportamiento mecánico. Adicionalmente, si los resultados se consideran satisfactorios, se podría proponer un método de fabricación que sea de fácil reproducción en comunidades organizadas.

CAPITULO I

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Ante el desbordante desarrollo económico de la sociedad y el rápido crecimiento de la población, el asunto de los residuos sólidos urbanos (RSU) es un problema de índole coyuntural y estructural de muy difícil solución. Los RSU crecen a un ritmo proporcional al incremento de la capacidad productiva y de consumo de la población. ^[1] Al finalizar el presente siglo de acuerdo con proyecciones de las Naciones Unidas habrá más de 10.000 millones de habitantes a nivel mundial, exponenciando las necesidades, la producción de bienes y servicios con la consecuente explotación y consumo de recursos no renovables (Ej., actualmente el agua).

La sociedad de consumo, nos ha impuesto valores que entran en contradicción con las necesidades actuales de conservar el ambiente y los recursos que nos proporciona el planeta. Por tanto de no obtenerse una solución viable a corto y mediano plazo estaremos en definitiva viviendo “inundados por los RSU”.

Los RSU en si, constituye una enorme riqueza “arrojada por la ventana”, ya que su composición es en su gran mayoría materiales que conservan sus atributos originales de cuando fueron usados como materia prima, por lo que se podrían utilizar nuevamente, ahorrando grandes cantidades de energía y dinero a quienes se ocupan de procesar materia prima y en general al país.

Un RSU de particular interés, es el envase de bebidas de larga duración Tetra Brik®, elemento que ha sido considerado en el país como no reciclable, y de uso bastante difundido, lo que genera un gran volumen de los mismo, para el año 2007 en el país se comercializo aproximadamente 40.000 TM de Tetra Brik® (M. de Subero Dep. de ambiente Tetra Pak

Venezuela, entrevista personal, 2008). Debido a su composición, el material no es fácilmente biodegradable, tampoco es fácil la separación de sus elementos constitutivos para su recuperación, por lo que termina siendo arrojado a los vertederos. Por esta razón se ha avistado la necesidad de dar respuesta a este particular problema ambiental.

Paralelamente en el país se ha evidenciado durante los últimos años un aumento en la necesidad de viviendas de bajo costo, un incremento del déficit de los materiales con tradición en la industria de la construcción (acero y concreto) y la aparición de nuevas exigencias, como lo son construir acorde y en armonía con el entorno social, económico y ecológico, preservando los recursos no renovables y eliminando desperdicios antes, durante y después de la fabricación. Por estas razones surge la necesidad de buscar alternativas a los materiales de construcción tradicionales que puedan complementar las nuevas exigencias en el mercado de la construcción, uno de los posibles sustitutos puede ser el tablero a base de Brik®.

2 OBJETIVOS:

2.1 Objetivo General:

Evaluar propiedades y posibles usos de tableros aglomerados elaborados a partir de residuos de envases de larga duración Tetra Brik[®]

2.2 Objetivos Específicos:

1. Diseñar el proceso de elaboración de las muestras del tablero a las cuales se realizarán los ensayos.
2. Identificar mediante ensayos de laboratorio las propiedades físico-mecánicas de los tableros aglomerados elaborados a partir de residuos de envases de larga duración.
3. Identificar en función de las propiedades físico-mecánica los posibles usos de los tableros aglomerados elaborados a partir de residuos de envases de larga duración.

3 APORTES

Este proyecto se enmarca en la línea de investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela “Recuperación y Aprovechamiento de Residuos Sólidos y Líquidos Urbanos” la cual tiene como objetivo ofrecer soluciones viables al problema que se produce por la generación de residuos urbanos.

En el estudio se explorará la posibilidad de fabricar tableros aglomerados elaborados a partir de RSU que puedan servir de sustituto a los tableros compuestos de fibra de madera y para indagar posibles aplicaciones de este tablero.

Para la fabricación de este tablero se utiliza como materia prima el envase de larga duración Tetra Brik[®], material que es considerado no reciclable en Venezuela.

Esta investigación permitirá conocer las propiedades físico-mecánicas de los tableros aglomerados elaborados a partir de residuos de envases de larga duración, también permitirá conocer y mejorar los procesos de producción y lo que es más importante, discernir acerca de sus posibles usos.

En Venezuela todavía no se procesa ni se recicla el Tetra Brik[®]; no existen las maquinarias adecuadas para este fin, por eso durante la investigación se diseñó un proceso para la elaboración de las muestras del tablero a las cuales se le realizarán los ensayos, lo cual además enriquecerá el conocimiento sobre cómo se comporta el tablero.

Se espera que esta investigación contribuya con a futuras investigaciones a desarrollar más los prototipos y procesos propuestos para la producción del tablero, y además que los resultados que se obtengan ayuden a desarrollar, e impulsen nuevas ideas que amplíen el universo de reutilización y reciclaje del Tetra Brik[®] en Venezuela, estimulando a generar nuevas líneas de investigación relacionadas con procesos y materiales amigables ambientalmente.

CAPITULO II

4 MARCO TEÓRICO

4.1 Tablero base de madera.

^[2]En la Consulta Internacional sobre Tableros se recomendó la siguiente definición para los tableros de madera aglomerada: material en lámina fabricado con partículas de madera u otras materias lignocelulósicas (por ejemplo, astillas, hojuelas, virutas, etc.) aglomeradas por medio de un aglutinante orgánico y uno o más de los agentes que se mencionan a continuación: calor, presión, humedad, un catalizador, entre otros. Se excluyen los tableros de lana de madera u otros tipos de madera aglomerada con aglutinantes inorgánicos.

4.1.1 Antecedentes históricos.

La madera contrachapada se produjo en los Estados Unidos, debido a la necesidad de aprovechar los residuos de madera de los aserraderos que se acumularon y ocupaban grandes patios y espacios interiores en los mismos. ^[3] Los estadounidenses se mostraban preocupados por el no aprovechamiento de residuos de la madera en 1887, a través de publicaciones técnicas que presentaban sugerencias para el tratamiento de los residuos de madera en tablas o láminas. La idea y las primeras experiencias técnicas surgieron en los Estados Unidos. Poco después, técnicos de Alemania, que se enfrenta el mismo problema, se interesó en la misma solución y también comenzó a estudiar el tema.

La primera planta piloto para producir tableros de aglomerados se instaló en los Estados Unidos en 1905. A partir de esta fecha, gracias a los experimentos que han sido desarrollados, los grandes fabricantes de maquinaria y equipo se vuelcan a la fabricación de maquinaria para la industria de la madera contrachapada, por tanto, surgieron grandes plantas junto a centros industriales y comerciales avocados la fabricación de tableros de partículas en todo el mundo.

En mayo de 1954 la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) invitaba a todos los Estados Miembros a que enviasen delegados a la Tercera Conferencia sobre Tecnología de la Madera, celebrada en París. En dicha conferencia entre los diferentes temas que se trataron se puede destacar el de la determinación de las propiedades de las chapas, contrachapeados y tableros de fibra madera modificada y otros productos madereros o derivados.^[4] Posteriormente en mayo de 1958, en Madrid, se celebró la Cuarta Conferencia de la FAO sobre Tecnología de la Madera. En esta conferencia se determinaron las propiedades mecánicas y físicas de los tableros de madera aglomerada, como se muestra la tabla 1.

Tabla 1 Clasificación de tableros de la FAO

| Clasificación de los diferentes tipos de tableros y sus valores correspondientes | | |
|---|--------------|--------------------|
| Propiedad | Valor | Unidad |
| TABLEROS DE MADERA (TIPO) AGLOMERADA | | |
| TIPO AISLANTE | | |
| Densidad | 0,25-0,40 | g/cm ³ |
| Módulo de ruptura | 15-55 | kg/cm ² |
| Módulo de elasticidad en la flexión | 1700-8800 | kg/cm ² |
| Resistencia a la tracción paralela a la superficie | 15-35 | kg/cm ² |
| Absorción de agua (inmersión 24 h.) | 15 - 60 | % peso |
| Hinchamiento | 5 - 15 | % vol. |
| Expansión lineal (inmersión 24 h.) | 0,50 | % |
| TABLEROS DE MADERA AGLOMERADA DE DENSIDAD MEDIA | | |
| Densidad | 0,40-0,80 | g/cm ³ |
| Módulo de ruptura | 100-500 | kg/cm ² |
| Módulo de elasticidad en la flexión | 10000-50000 | kg/cm ² |
| Resistencia a la tracción paralela a la superficie | 50-250 | kg/cm ² |
| Absorción de agua (inmersión 24 h.) | 20-75 | % peso |
| Hinchamiento | 5-15 | % vol. |
| Expansión lineal (inmersión 24 h.) | 0,2-0,6 | % |
| TABLEROS DE MADERA AGLOMERADA TIPO DURO | | |
| Densidad | 0,80-1,05 | g/cm ³ |
| Módulo de ruptura | 200-530 | kg/cm ² |
| Módulo de elasticidad en la flexión | 28000-70000 | kg/cm ² |
| Resistencia a la tracción paralela a la superficie | 20-175 | kg/cm ² |
| Absorción de agua (inmersión 24 h.) | 15 - 40 | % peso |
| Hinchamiento | 15 - 40 | % vol. |
| Expansión lineal (inmersión 24 h.) | 0,85 | % |

FAO (1958)

En cuanto al uso que se les da hoy en día a los tableros de partículas en Venezuela, principalmente destaca el orientado a la mueblería, así como en menor medida a estructuras interiores de viviendas.

4.1.2 Tipos de tableros a base de madera

^[5]Se puede dividir la fabricación mundial de tableros en tres grandes grupos: tableros de partículas, tableros de fibra y tableros contrachapados.

4.1.2.1 Tableros Contrachapados

Los tableros contrachapados son los fabricados con láminas de madera orientadas alternativamente, es decir, pegadas cruzadas unas con otras.

4.1.2.2 Tableros de Fibra

Los tableros de fibra en cambio, son producidos a partir de un prolijo desmenuzamiento del material constitutivo, con el objeto de que los componentes finales sean haces de fibras separadas y vueltas a soldar entre sí.

4.1.2.3 Tableros de Partículas

Los tableros de partículas son los comúnmente conocidos como aglomerados, y como su nombre lo indica, están fabricados sobre la base de la unión de partículas ligadas siempre a través de resinas colantes. Estas partículas son conglomerados de fibras que no han sido terminadas de separar entre sí, y que pueden tener tamaño y formas diversas.

Unos de los tableros de partículas más utilizados en la actualidad es el tablero de densidad media o por sus siglas en inglés MDF, elaborado con fibras de madera, que se combinan con una resina sintética y luego son fraguadas bajo presión y temperatura.

[6] Algunas de sus propiedades se incluyen en la tabla 2.

Tabla 2 Propiedades del MDF

| | | |
|---------------------------|-----------|--------------------|
| densidad | 0,76 | g/cm ³ |
| contenido de humedad | 8 | % |
| absorción de agua 24 h | 35,5 | % |
| hinchamiento espesor 24 h | 9,5 | % |
| módulo de ruptura | 397,69 | kg/cm ² |
| módulo de elasticidad | 27.532,34 | kg/cm ² |
| Resistencia a la tracción | 8,16 | kg/cm ² |

4.1.2.4 Proceso de fabricación.

Antes de ser desfibrada la madera se somete a un proceso de "cocción" en un recipiente alimentado con vapor de baja presión (lejiadora de presión). En esta primera etapa, la madera sufre cambios tanto químicos como físicos; después de este "cocimiento" la madera es menos afectada por la humedad y menos quebradiza, ya que durante este tratamiento se ablanda la lignina.

En la etapa de refinación, esta madera semi - plástica es sometida a una operación de "fricción" durante la cual es desmenuzada para obtener como resultado fibra de madera.

Como todas las fibras resultantes son básicamente de las mismas dimensiones, no se requiere el cribado y se les puede aplicar la resina aglutinante de inmediato.

El pegamento de mayor uso para el MDF es Urea -formaldehído. Se pueden utilizar también otro tipo de resinas más complejas con el fin de obtener

propiedades distintas, como por ejemplo: Tableros con resistencia o retardantes a la acción del agua o del fuego.

De la mezcla de fibras de madera y resina, se forma un colchón homogéneo en el que las fibras van orientadas al azar.

Este colchón es prensado en caliente, terminando en este punto el proceso de fabricación del tablero en bruto.

[http://mjbtm.com/01/index.php?option=com_content&view=article&id=58&Itemid=57]

4.2 Tablero de madera solida.

Dentro de los tableros de madera existe otro tipo que es el de las maderas solidas, éstos consisten en tableros realizados con una pieza de madera solida.

Tienen diferentes propiedades dependiendo del tipo de madera que se utilice, en Venezuela uno de los tipos que se utiliza es el de pino caribe ^[6].

^[6]Las propiedades de este tipo de madera aparecen en la tabla 3.

Tabla 3 Propiedades tableros de pino caribe

| | | |
|---------------------------|----------|--------------------|
| densidad | 0,56 | g/cm ³ |
| contenido de humedad | 12 | % |
| absorción de agua 24 h | - | % |
| hinchamiento espesor 24 h | - | % |
| módulo de ruptura | 132,28 | kg/cm ² |
| módulo de elasticidad | 7.216,03 | kg/cm ² |
| Resistencia a la tracción | - | kg/cm ² |

4.3 Tablero de yeso laminado.

Formado por un núcleo de yeso y recubierto por una capa de celulosa en cada cara y tomando forma de tablero en distintos grosores y medidas. Este tipo de tablero es muy utilizado en la construcción como sustituto de la mampostería tradicional para realizar cerramiento en espacios interiores.

^[7] Las principales propiedades de este tipo de tablero se incluyen en la tabla 4.

Tabla 4 Propiedades de yeso laminado

| | | |
|---------------------------|-----------|--------------------|
| densidad | 1,25 | g/cm ³ |
| contenido de humedad | 10 | % |
| absorción de agua 24 h | 25 | % |
| hinchamiento espesor 24 h | 1,8 | % |
| módulo de ruptura | 152,96 | kg/cm ² |
| módulo de elasticidad | 80.577,98 | kg/cm ² |
| Resistencia a la tracción | 15,81 | kg/cm ² |

4.4 Tetra Brik®, insumo no aprovechado

El envase de Tetra Brik® se compone de varios materiales superpuestos en capas, cada una de las cuales aporta una función y propiedad concreta al conjunto del envase, como se muestra en la imagen 1.

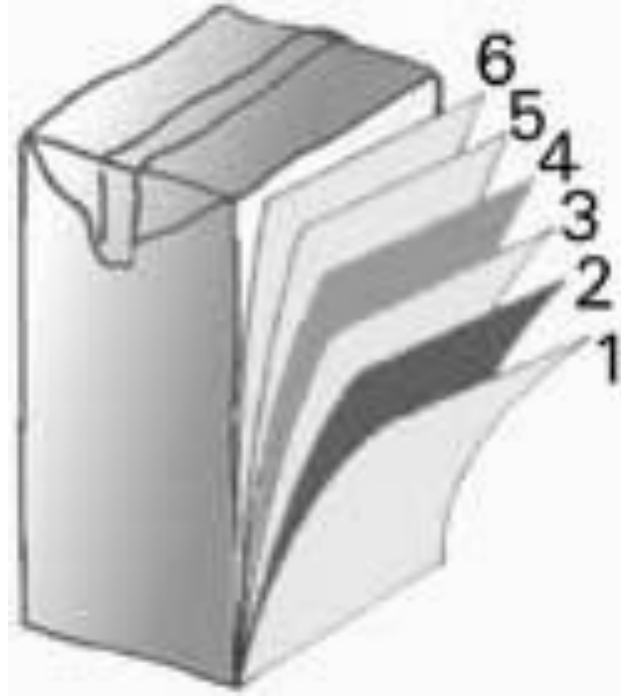


Imagen 1 Capas que conforman los envases Tetra Brik®

1. Polietileno: Proporciona estanqueidad al alimento líquido.
2. Cartón: Para la rigidez y resistencia.
3. Polietileno: Capa de adherencia.
4. Aluminio: Barrera contra el oxígeno, los olores y la luz.
5. Polietileno: Capa de adherencia.
6. Polietileno: Proporciona estanqueidad al alimento líquido.

^[8]En la actualidad un envase de un litro pesa entre 25 y 28 gramos y está compuesto en un 75% de papel, éste 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.

En Venezuela el Tetra Brik® se está convirtiendo en un problema ambiental, tanto para las empresas que trabajan con este material como para la comunidad en general, por el hecho que en el país no existen planes ni empresas que se encarguen de su reutilización. Siendo el Brik® uno de los desechos sólidos que no se reciclan en el país, tiene como único destino final los vertederos y los rellenos sanitarios. El Estado venezolano ha exigido a las empresas que trabajan con el Tetra Brik®, buscar una solución al problema de la contaminación que producen estos residuos, por lo que surge la necesidad de encontrar, de manera rápida, un uso viable a este material. Actualmente en Venezuela se están comercializando 40 mil TM de Tetra Brik® (cifras Tetra Pak Venezuela), lo que significa una considerable cantidad de materia prima que no se está aprovechando.

4.5 Reciclado del Tetra Brik® en el mundo

El 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 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 para su recuperación.

Otro proceso para el aprovechamiento de este tipo de envases luego que es desechado, es la fabricación de tableros de aglomerado, de manera similar a la técnica utilizada para la fabricación de tablero de partículas, aunque es importante resaltar que para este proceso es posible trabajar tanto con la mezcla de polietileno y aluminio que resulta del proceso de repulpado, como con material que solo fue triturado sin pasar por el proceso de repulpado, permitiendo esto último que proceso sea reproducible con relativa facilidad en comunidades organizadas.

4.6 Tablero aglomerado de Tetra Brik®.

De acuerdo a lo descrito anteriormente, se estima factible la reproducción y adaptación de todos esos procesos a las circunstancias venezolanas. Se decidió investigar el proceso de producción del aglomerado, ya que su elaboración es uno de los procesos menos complejos para el reciclado del Brik®, y se ha considerado su uso como elemento constructivo debido, a los ensayos y a las experiencias sobre el material en otros países.

4.7 Caracterización de los tableros de Tetra Brik®

^[9]Para caracterizar cómo está constituido el envase de Tetra Brik®, en estudios previos, se procedió a su análisis utilizando técnicas de Microscopía Electrónica de Barrido – M..E.B. a muestras cortadas en forma de tiras. Los resultados obtenidos corroboran la estructura típica de un material compuesto, constituido por una zona fibrosa rica en Carbono adosada a una capa muy fina de Aluminio, con la presencia de otros elementos tales como: Calcio, Silicio, Magnesio y Sodio, entre otros, asociados al líquido envasado, como lo indica el microanálisis químico por Espectroscopia de Rayos X y dispersión de la Energía - E.D.S.

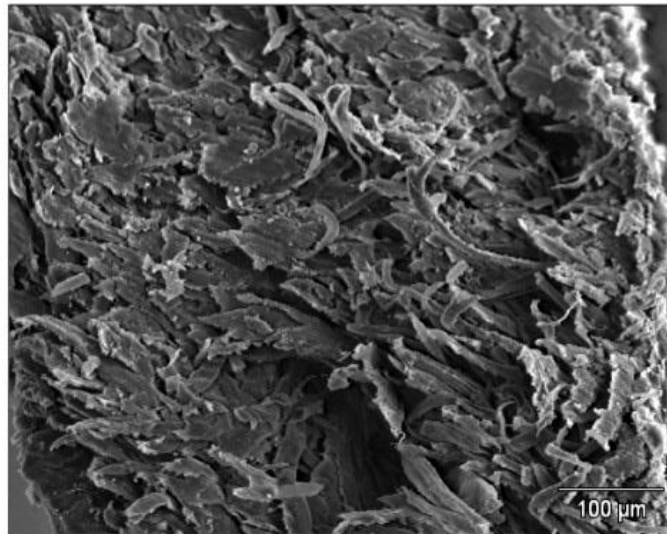


Imagen 2 M.E.B. de tiras de envases de Tetra Brik®

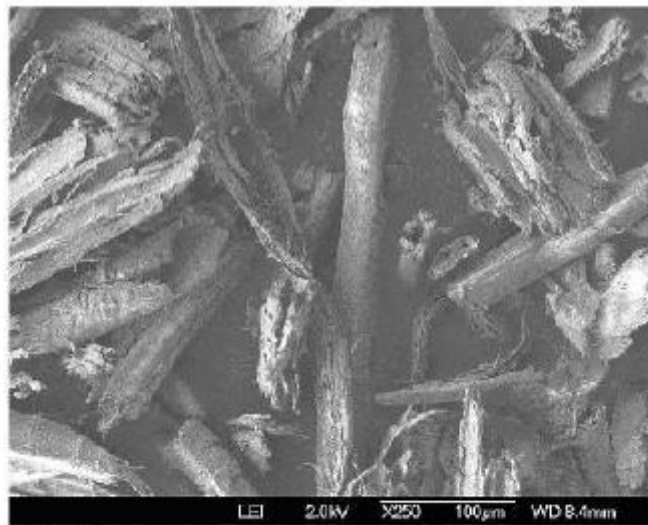


Imagen 3 M.E.B. de fibra de madera

Es posible ver en las imágenes el parecido entre la fibra de madera y los envases de Tetra Brik® cortados en tiras, esto llevo a pensar que utiliza un proceso similar al de la fabricación de tableros de partículas se podría conseguir un resultado similar, con la diferencia que el elemento aglutinante de los tableros de Tetra Brik® seria el polietileno que esta en su composición.

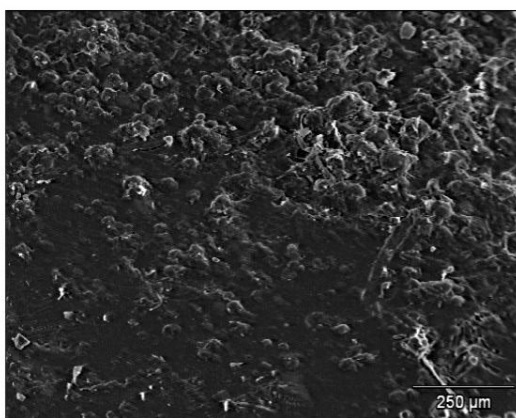


Imagen 4 M.E.B. de tiras de envases de Tetra Brik® prensadas en caliente.

Al observar las tiras de envases de Tetra Brik® luego de ser sometidas a calor y presión a la vez, es posible ver como el polietileno impregna la fibra de cartón como aglutinante, consiguiendo un núcleo firme, evidenciando que al prensar y calentar las tiras de envases de Tetra Brik® es posible obtener un tablero.

El problema de este proceso es que el equipo necesario para realizar el prensado y calentado a la vez, es difícil de reproducir en unidades de fabricación como las que pueden adelantar las comunidades organizadas. Una opción podría ser desarrollar un proceso en el cual primero se calentaran las tiras de envases de Tetra Brik® y luego se prensaran.

4.8 Ensayos

Durante esta investigación será necesaria la utilización de las normas existentes para evaluar las propiedades de los tableros a base de fibra de madera, debido a que el uso de los envases de larga duración como materia prima para la fabricación de tableros es nuevo y el tablero más parecido al que se espera alcanzar es el de base fibra de madera.

Existen varias normas que evalúan los tableros en base a fibras de maderas, para esta investigación se optó por trabajar con la ASTM D 1037-99 Método estándar para la evaluación de las propiedades de la madera-base fibra y paneles de materiales particulado y

la norma venezolana COVENIN 847 – 91 tableros de partículas 1era revisión, las cuales engloban los ensayos necesarios para cumplir con los objetivos del trabajo.

De las propiedades físico – mecánicas que se pueden evaluar de un material, se escogieron evaluar las siguientes:

- Densidad: determinar la relación entre la masa de la probeta, expresada en gramos y sus volúmenes en cm³ bajo las mismas condiciones de humedad. (COVENIN 847 – 91).
- Contenido de humedad: determinar la cantidad de agua presente en el tablero, expresada en porcentaje. (COVENIN 847 – 91).
- Absorción de agua y estabilidad dimensional del tablero por inmersión total: determina el hinchamiento o incremento de las dimensiones del material cuando son sometidos a absorción de agua. Los periodos de inmersión son 2 y 24 horas. (COVENIN 847 – 91).
- Esfuerzo paralelo a la superficie: permite determinar el esfuerzo máximo que soporta, aplicando en el sentido paralelo a la superficie. (ASTM D 1037-99).
- Método de flexión estática: permite calcular el módulo de rotura, la tensión en el límite proporcional, la rigidez (módulo de elasticidad aparente). (ASTM D 1037-99.)

Se eligieron estas ya que nos permite tener una visión general del comportamiento de los tableros.

CAPITULO III

5 METODOLOGÍA

Este trabajo es una investigación de laboratorio del tipo exploratoria, experimental y descriptiva, que sigue una metodología experimental, cuantitativa y transversal.

Preparación de los tableros a partir de residuos de tetra Brik®:

Este proceso se realizó en cinco fases: diseño del esquema productivo, preparación del material que procesar, elaboración del tablero propiamente dicho, ensayo de los tableros y análisis de resultado. Se recolectó el material principalmente de la Escuela Campo Alegre, proporcionó 200 kg aproximadamente. Ante la carencia de una prensa térmica para la elaboración del tablero (equipo utilizado en las experiencias similares en otros países que permite prensar y calentar el material a la mismo tiempo), se decidió probar un nuevo proceso de manufactura que consistió en preparación de la materia prima, precalentamiento, calentamiento a temperatura sostenida y posteriormente prensado en equipo convencional.

La preparación del material consistió en lavado de recipientes recuperados solamente con agua, cortado en destructora de papel (Ofitech 2310 cc) (Imagen 5), en tiras de 50 x 5 mm (imagen 6), se optó por utilizar una destructora de papel por la factibilidad técnica, ya que por la cantidad de material a ser procesado utilizar una forma de corte manual haría inviable el proyecto.



Imagen 5 Destruccion de papel Ofitech 2310 cc



Imagen 6 Tiras de envases de Tetra Brik®

Para la elaboración del tablero se utilizó un molde especialmente construido en acero (Imagen 7), conformado por piezas independientes: base, caja y tapa con adaptador universal al embolo de la prensa que permite transferir la carga directamente de la prensa al molde que contiene el tablero.



Imagen 7 Dispositivo o molde utilizado para realizar los tableros.

Se realizaron una serie de pruebas de ensayo y error a fin de establecer los parámetros tales como: la cantidad de residuo a procesar, temperatura y tiempo de calentamiento, así como presión aplicada para el prensado, necesarios para la elaboración del tablero, siendo el parámetro de la temperatura y tiempo en el horno los mas críticos. La primera prueba se realizo a 150°C por 15 min en el horno, pero tanto la temperatura como el tiempo fueron insuficientes y el resultado obtenido fue nada satisfactorio. Posteriormente se variaron los parámetros de tiempo y temperatura, fue así como se determinó preparar tableros cuyas dimensiones son: 40 cm x 40 cm de base y 1 cm de espesor y utilizar 1,5 Kg de material cortado. El molde metálico cargado con el material se colocó en un horno eléctrico precalentado a 100°C, ya con el molde adentro se ajustó la temperatura del horno eléctrico (Precision Sciencientific Co) a 180°C y se calentó durante 50 min. El molde se pasó inmediatamente a una prensa hidráulica (Baldwin, 200 t), donde se aplicó una carga de 15 toneladas (presión promedio de 9,4 kg/cm²) durante un lapso de 15 min. Posteriormente se retiró la carga y se procedió al desmolde obteniéndose como resultado el tablero deseado.

Una vez obtenido el tablero se procedió a cortarlo para de esa manera obtener las probetas necesarias para realizar los ensayos de laboratorio.

Para la evaluación del tablero obtenido, además de las pruebas cualitativas: apariencia, consistencia y facilidad de corte con diversos medios, se realizaron los ensayos señalados a continuación, según la Norma Venezolana COVENIN 847 -91: Tableros de Partículas 1ª Revisión, basada a su vez en la Norma ANSI/ASTM D1037 -78 Métodos Estándar para la Evaluación de las Propiedades de la Madera - Base Fibra y Paneles de Materiales Particulados. Los procedimientos a los que se hace referencia son:

5.1 ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD

Este ensayo tiene por finalidad determinar la relación entre la masa de la probeta, expresada en gramos (g), y su volumen, en cm³, bajo las mismas condiciones de humedad y temperatura.

Equipos e instrumentos: vernier para la determinar el espesor, longitud y ancho de la probeta, capaz de apreciar $\pm 0,01$ mm, balanza para determinar el peso, con una precisión de $\pm 0,01$ g.

5.1.1 Toma de muestra

La muestra que se ensayo fueron probetas de 50 mm de ancho por 50 mm de longitud, con los bordes y cantos rectos. Este ensayo se le realizo a 5 probetas.

5.1.2 Procedimiento

^[10]Pesar cada probeta con precisión de 0,01 g.

Se determino el espesor en ocho sitios diferentes, uno en cada vértice y uno en el centro de cada lado de la probeta.

Se determinará la longitud de cada lado en tres posiciones diferentes, siendo éstas las mismas que en la medición del espesor.

5.1.3 Expresión de los resultados

Se calculará el promedio aritmético de cada dimensión de cada una de las probetas, con todas las medidas realizadas a las mismas.

Se calculará la densidad de cada probeta, utilizando la siguiente formula:

$$D_p = (P_p \cdot 10) / (L \cdot a \cdot e)$$

Donde:

D_p = Densidad de la probeta, expresada en g/cm³

P_p = Peso de la probeta, en gramos

L = Longitud promedio de la probeta, en cm

a = Ancho promedio de la probeta, en cm

e = Espesor promedio de la probeta, en cm

Se calcula la densidad de la muestra como el promedio aritmético de las densidades de todas las probetas que la componen.

Contenido de Humedad: determina la cantidad de agua presente en el tablero, expresada en porcentaje (COVENIN 847-91).

5.2 ENSAYO PARA DETERMINAR CONTENIDO DE HUMEDAD

Este ensayo tiene por finalidad determinar la cantidad de agua presente en el tablero, expresada en porcentaje (%).

Equipos e instrumentos: balanza para determinar el peso, con una precisión de $\pm 0,01$ g, estufa dotada de termostato, a fin de garantizar una temperatura de 103 ± 2 °C, desecadora con capacidad de almacenamiento para las probetas.

5.2.1 Toma de muestra

La muestra que se ensayo fueron probetas de 50 mm de ancho por 50 mm de longitud, con los bordes y cantos rectos. Este ensayo se le realizo a 5 probetas.

5.2.2 Procedimiento

^[10] Pesar cada probeta con precisión de 0,01 g.

Se colocarán las probetas en la estufa durante 24 horas o hasta alcanzar peso constante.

Se enfriarán las probetas en el desecador.

Se pesarán nuevamente las probetas, evitando que el contenido de humedad sea superior a 0,1 %.

Se considerará que una probeta ha alcanzado una masa constante cuando dos pesadas sucesivas en un intervalo de 4 horas no difieran en más de 0,05 g.

5.2.3 Expresión de los resultados

Se calculará el contenido de humedad de la muestra como el promedio aritmético de los contenidos de humedad de todas las probetas que lo componen.

Se calculará el contenido de humedad de cada probeta, utilizando la siguiente fórmula:

$$CH = 100 * (P1 - PO) / PO$$

Donde:

CH = Contenido de humedad de la Probeta, expresado en %.

PO = Peso seco al horno de la probeta, expresado en gramos.

P1 = Peso de la probeta antes de secarla, expresado en gramos.

5.3 ENSAYO PARA DETERMINAR LA ABSORCIÓN DE AGUA Y ESTABILIDAD DIMENSIONAL DEL TABLERO POR INMERSIÓN TOTAL

Este ensayo tiene como fin determinar el porcentaje de absorción de agua de las probetas cuando son sumergidas en agua, en este caso, bajo condiciones de inmersión total, al igual que el hinchamiento o hinchazón de las probetas cuando son sometidas a condiciones de absorción de agua.

Equipos e instrumentos: balanza con apreciación de 0,01 g para determinar el peso de las probetas, vernier con precisión de 0,01 mm para determinar la longitud, el ancho y el espesor de las probetas, recipiente con agua, paños absorbentes.

5.3.1 Toma de muestra

Se usan las mismas probetas utilizadas para la determinación de la densidad. Esto permite aprovechar las mediciones hechas en el ensayo de densidad, al igual que las pesadas, las cuales son los valores iniciales en este ensayo.

5.3.2 Procedimiento

^[10]Determinar las dimensiones (longitud, ancho, espesor) y peso inicial de cada probeta. Las dimensiones y pesadas iniciales son las descritas en el ensayo de densidad.

Colocar las probetas en un recipiente con agua. El nivel de agua deberá quedar a 30 mm por encima de las probetas, a las cuales se les debe colocar un peso para evitar flotación.

Extraer las probetas del agua al transcurrir dos horas. Secar con paños absorbentes para eliminar el exceso de agua, medir y pesar individualmente. Para las mediciones y pesadas, se sigue el procedimiento explicado anteriormente.

Colocar nuevamente las probetas en agua y repetir el procedimiento con 22 horas de inmersión adicionales. Extraer las probetas del agua al transcurrir el tiempo especificado, secar y repetir el procedimiento de pesadas y medidas.

5.3.3 Expresión de los resultados

5.3.3.1 Absorción De Agua

Para cada período de inmersión (2 y 24 horas), la absorción de agua de cada una de las probetas se calcula con la siguiente formula:

$$A = 100 \cdot (p_i - p_o) / p_o$$

Donde:

A = absorción de agua

p_i = peso de la probeta (g) al final de cada período de inmersión (peso final).

p_o = peso de la probeta (g) antes de ser sumergido en agua (peso inicial).

5.3.3.2 Hinchamiento

Calcular el hinchamiento de cada probeta, tanto para el espesor, como para las dimensiones lineales de ancho y longitud. Para ello se utilizará la siguiente expresión:

$$H_d = 100 \cdot (d_i - d_o) / d_o$$

Donde:

H_d = hinchamiento dimensional

d_i = dimensión promedio (cm) al final de cada período de inmersión (dimensión final).

d_o = dimensión promedio (cm) de la probeta antes de ser sumergida en agua (dimensión inicial).

5.4 ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y EL MÓDULO DE ELASTICIDAD

Este ensayo tiene como fin determinar el comportamiento del tablero a través de la resistencia a la flexión (módulo de ruptura), la cual es la tensión máxima que una probeta rectangular puede soportar en una prueba de flexión y el módulo de elasticidad es un parámetro característico del material que permite relacionar las deformaciones con las tensiones sometidas.

Equipos e instrumentos: vernier con precisión de 0,01 mm para medir el espesor y ancho en el centro de cada probeta, prensa capaz de aplicar la carga necesaria a la velocidad especificada, dispositivos de apoyo para las probetas, dispositivo para la aplicación de carga, este dispositivo debe ser redondeado y su ancho debe ser por lo menos igual al ancho de la probeta, flexímetro que permita apreciar la deformación producida en la probeta a medida que se aplica la carga.

5.4.1 Toma de muestra

La muestra que se ensayo fueron probetas de 50 mm de ancho y un largo de 250 mm. Este ensayo se le realizó a 9 probetas.

5.4.2 Procedimiento

^[11]Se medirá el espesor y el ancho efectivo en el centro de cada probeta.

Se colocará la probeta exactamente centrada en el dispositivo de ensayo.

Se aplicará la carga de una manera suave y constante a una velocidad igual a 4 mm/min y se registra el valor de la deformación a cada kilo de carga que se aplica hasta que se produzca la fractura de la probeta.

5.4.3 Expresión de los resultados

Se calculará la resistencia a la flexión de cada probeta (módulo de ruptura MR) mediante la siguiente fórmula:

$$RF (MR) = (3 \cdot C \cdot L) / (2 \cdot a \cdot e^2)$$

Donde

MR = Módulo de ruptura, en kg/cm²

C = Carga máxima, en kg

L = Distancia entre soportes, en cm

e = Espesor, en cm

a = Ancho de la probeta, en cm

Se calculará el módulo de elasticidad mediante la siguiente expresión:

$$ME = (CI \cdot L^3) / (4 \cdot a \cdot e^3 \cdot dl)$$

Donde:

ME = Módulo de elasticidad, en kg/cm².

CI = Carga en el límite, en kg.

dl = Deformación correspondiente a la carga del límite elástico, en cm.

5.5 ENSAYO PARA DETERMINAR LA TRACCIÓN PARALELA A LA SUPERFICIE DEL TABLERO

Este ensayo tiene como fin determinar la tensión máxima del material al ser sometido a una tracción axial.

Equipos e instrumentos: vernier con precisión de 0,01 mm para medir el espesor y ancho en el centro de cada probeta, prensa capaz de aplicar la carga necesaria a la velocidad especificada, mordazas de agarre.

5.5.1 Toma de muestra

La muestra que se ensayo fueron probetas de 50 mm de ancho y un largo de 250 mm, con una reducción en el centro según se muestra en la figura. Para este ensayo se le realizo a 9 probetas.

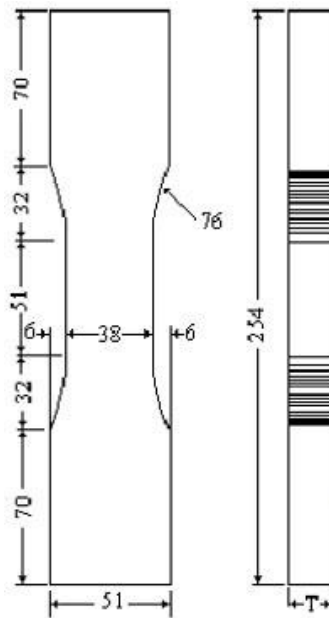


Imagen 8 Probeta de ensayo de tracción

Nota: las medidas están en mm y fueron las utilizadas para el ensayo.

5.5.2 Procedimiento

^[11]Se medirá el espesor y el ancho efectivo en el centro de cada probeta.

Se colocará la probeta en el dispositivo de ensayo con las mordazas.

Se aplicará la carga de una manera suave y constante a una velocidad igual a 4 mm/min, hasta que se produzca la fractura de la probeta y se registra el valor de la carga a la cual se produce la misma.

5.5.3 Expresión de los resultados

Se calculará la resistencia a la tracción de cada probeta mediante la siguiente formula:

$$F_t = C/(a*e)$$

Donde

F_t = Tensión máxima a tracción, en kg/cm²

C = Carga máxima, en kg

e = Espesor, en cm

a = Ancho de la probeta, en cm

CAPITULO IV

6 RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados de los ensayos serán presentados por ensayo a través de tablas, donde primero se mostraran los datos recolectados, luego una tabla con los resultados obtenidos y por ultimo una tabla que compara el resultado con tres tableros comerciales junto con un análisis comparativo entre tres tableros comerciales y los parámetros establecidos por la FAO sobre los tipos de tableros de maderas aglomeradas.

6.1 ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD

6.1.1 Resultados

Para el análisis de los resultados se utilizaron las 5 probetas ensayadas, ya que el resultado obtenido entre ellas era similar.

6.1.1.1 Longitud de los lados:

Tabla 5 Longitud de la dirección uno de las probetas de ensayo de densidad

| probeta | largo (cm) | | |
|---------|------------|------|------|
| 1 | 5,20 | 5,20 | 5,20 |
| 2 | 5,00 | 5,00 | 4,90 |
| 3 | 4,90 | 4,90 | 4,90 |
| 4 | 4,90 | 5,10 | 5,20 |
| 5 | 5,00 | 5,10 | 5,10 |

Tabla 6 Longitud de la dirección dos de las probetas de ensayo de densidad

| probeta | ancho (cm) | | |
|---------|------------|------|------|
| 1 | 5,00 | 5,00 | 5,10 |
| 2 | 4,90 | 5,10 | 5,20 |
| 3 | 5,10 | 5,10 | 4,90 |
| 4 | 5,30 | 5,30 | 5,40 |
| 5 | 5,00 | 5,00 | 5,00 |

6.1.1.2 Espesor:

Tabla 7 Espesor de las probetas de ensayo de densidad

| probeta | Espesor (cm) | | | | | | | |
|---------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 1,80 | 1,90 | 1,70 | 2,00 | 2,10 | 2,00 | 1,80 | 1,80 |
| 2 | 1,70 | 1,70 | 1,50 | 1,40 | 1,20 | 1,50 | 1,50 | 1,70 |
| 3 | 1,30 | 1,40 | 1,60 | 1,60 | 1,60 | 1,70 | 1,50 | 1,40 |
| 4 | 1,50 | 1,60 | 1,70 | 1,80 | 1,80 | 1,80 | 1,50 | 1,50 |
| 5 | 1,70 | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,60 | 1,60 | 1,70 | 1,80 |

6.1.1.3 Masa:

Tabla 8 Masa de las probetas de ensayo de densidad

| probeta | peso 1 (g) |
|---------|------------|
| 1 | 30,50 |
| 2 | 25,72 |
| 3 | 24,50 |
| 4 | 25,94 |
| 5 | 25,66 |

Tabla 9 Resultados finales del ensayo de densidad

| probeta | Volumen (cm ³) | masa (g) | densidad relativa (g/cm ³) |
|---------|----------------------------|----------|--|
| 1 | 49,40 | 30,50 | 0,62 |
| 2 | 38,38 | 25,72 | 0,67 |
| 3 | 37,30 | 24,50 | 0,66 |
| 4 | 44,59 | 25,94 | 0,58 |
| 5 | 40,85 | 25,66 | 0,63 |

Tabla 10 Comparación con tableros comerciales

| g/cm ³ | MDF | pino caribe | lamina de yeso | tablero de brik |
|-------------------|------|-------------|----------------|-----------------|
| densidad | 0,76 | 0,56 | 1,25 | 0,63 |

Al promediar los valores obtenidos de cada probeta se obtiene que la densidad de 0,63 g/cm³. De acuerdo con los parámetros establecidos por la FAO por la densidad

corresponde con la de tablero de fibra media al estar entre 0,40-0,80 g/cm³ y al observar las densidades de los otros tableros estaría ubicado entre los tableros de pino caribe y MDF.

6.2 ENSAYO PARA DETERMINAR CONTENIDO DE HUMEDAD

6.2.1 Resultados

Para el análisis de los resultados se utilizaron las 5 probetas ensayadas, ya que el resultado obtenido entre ellas era similar.

Tabla 11 Resultados finales del ensayo de contenido de humedad

| probeta | P1 (g) | P0 (g) | CH |
|---------|--------|--------|-------|
| 1 | 30,50 | 28,37 | 7,51% |
| 2 | 25,72 | 23,92 | 7,53% |
| 3 | 24,50 | 22,80 | 7,46% |
| 4 | 25,94 | 24,09 | 7,68% |
| 5 | 25,66 | 23,91 | 7,32% |

Tabla 12 Comparación con tableros comerciales

| % | MDF | pino caribe | lamina de yeso | tablero de brik |
|----------------------|-----|-------------|----------------|-----------------|
| contenido de humedad | 8 | 12 | 10 | 7,5 |

Al promediar los valores de cada probeta se obtiene un contenido de humedad de 7,50% que al compararlo con el contenido de humedad con tableros comerciales es muy similar.

6.3 ENSAYO PARA DETERMINAR LA ABSORCIÓN DE AGUA Y ESTABILIDAD DIMENSIONAL DEL TABLERO POR INMERSIÓN TOTAL



Imagen 9 Probetas sumergidas en agua

6.3.1 Resultados

Para el análisis de los resultados se utilizaron las 5 probetas ensayadas, ya que el resultado obtenido entre ellas era similar.

6.3.1.1 Absorción De Agua

Tabla 13 Resultados finales del ensayo de absorción de agua

| probeta | po (g) | pi 2h (g) | pi 24h (g) | A (2h) | A (24h) |
|---------|--------|-----------|------------|--------|---------|
| 1 | 30,50 | 40,41 | 45,37 | 32,49% | 48,75% |
| 2 | 25,72 | 31,11 | 35,37 | 20,96% | 37,52% |
| 3 | 24,50 | 30,29 | 35,67 | 23,63% | 45,59% |
| 4 | 25,94 | 34,74 | 39,14 | 33,92% | 50,89% |
| 5 | 25,66 | 33,13 | 38,24 | 29,11% | 49,03% |

Tabla 14 Comparación de absorción de agua con tableros comerciales

| % | MDF | pino caribe | lamina de yeso | tablero de brik |
|------------------------|------|-------------|----------------|-----------------|
| absorción de agua 24 h | 35,5 | - | 25 | 46,36 |

Al promediar los valores obtenidos de cada probeta se obtiene que la absorción de agua a las dos horas (2h) es de 28,02% y a las veinticuatro horas (24h) es de 46,36%. Al comparar la absorción de agua a las veinticuatro horas (24h) con tableros comerciales se puede apreciar que el tablero hecho a partir de desechos de Tetra Brik[®] tienen una mayor absorción de agua, aunque la FAO establece que la absorción de agua a las veinticuatro horas (24h) de un tablero de fibra media debe de estar entre 20 – 75 % y un tablero de tipo aislante entre 15 – 60 %, lo cual permite ubicar al tablero de Brik en cualquiera de estas dos categoría.

6.3.1.2 Hinchamiento

Dirección longitudinal uno

Tabla 15 Resultados finales del ensayo de hinchamiento en la dirección uno

| probeta | do (cm) | di 2h (cm) | di 24h (cm) | Hd 2h | Hd 24h |
|---------|---------|------------|-------------|-------|--------|
| 1 | 5,20 | 5,20 | 5,23 | 0,00% | 0,64% |
| 2 | 4,97 | 5,00 | 5,03 | 0,67% | 1,34% |
| 3 | 4,90 | 4,97 | 5,00 | 1,36% | 2,04% |
| 4 | 5,07 | 5,10 | 5,13 | 0,66% | 1,32% |
| 5 | 5,07 | 5,10 | 5,10 | 0,66% | 0,66% |

Dirección longitudinal dos

Tabla 16 Resultados finales del ensayo de hinchamiento en la dirección dos

| probeta | do (cm) | di 2h (cm) | di 24h (cm) | Hd 2h | Hd 24h |
|---------|---------|------------|-------------|-------|--------|
| 1 | 5,03 | 5,10 | 5,10 | 1,32% | 1,32% |
| 2 | 5,07 | 5,07 | 5,07 | 0,00% | 0,00% |
| 3 | 5,03 | 5,07 | 5,10 | 0,66% | 1,32% |
| 4 | 5,33 | 5,37 | 5,37 | 0,63% | 0,63% |
| 5 | 5,00 | 5,00 | 5,03 | 0,00% | 0,67% |

Espesor

Tabla 17 Resultados finales del ensayo de hinchamiento en espesor

| probeta | do (cm) | di 2h (cm) | di 24 (cm) | Hd 2h | Hd 24h |
|---------|---------|------------|------------|--------|--------|
| 1 | 1,89 | 2,23 | 2,39 | 17,88% | 26,49% |
| 2 | 1,53 | 1,74 | 1,91 | 13,93% | 25,41% |
| 3 | 1,51 | 1,69 | 1,88 | 11,57% | 23,97% |
| 4 | 1,65 | 1,86 | 2,05 | 12,88% | 24,24% |
| 5 | 1,61 | 1,83 | 2,01 | 13,18% | 24,81% |

Tabla 18 Comparación de hinchamiento de espesor con tableros comerciales

| % | MDF | pino caribe | lamina de yeso | tablero de brik |
|---------------------------|-----|-------------|----------------|-----------------|
| hinchamiento espesor 24 h | 9,5 | - | 1,8 | 24,98 |

Al promediar los valores obtenidos de cada probeta se obtiene que hinchamiento en las direcciones longitudinal a las dos horas (2h) y a las veinticuatro horas (24h), siendo para la dirección longitudinal uno de 0,67% luego de dos horas y 1,20% para veinticuatro y para la dirección longitudinal dos de 0,52% luego de dos horas y 0,79% para veinticuatro, el espesor presenta variaciones de 13,89% a las dos horas y de 24,98% a las veinticuatro horas.

Según la FAO por la expansión lineal (inmersión 24 h.) este tablero un mayor valor a los establecidos de 0,5 – 0,85 %, con respecto al hinchamiento los valores establecidos son entre 5 – 15 % para tablero aislantes y de fibra media y de 15 – 40 % para tableros tipo duro, colocando lo entre estos últimos.

Al comparar el hinchamiento de espesor veinticuatro horas (24h) con tableros comerciales se puede apreciar que el tablero hecho a partir de desechos de Tetra Brik® tienen un valor mucho mayor.

Estos resultados evidencian que en contacto con el agua la estabilidad dimensional de los tableros de Brik® esta lejos de las alternativas que se encuentran en el mercado, limitando los ambientes donde se pueden utilizar estos tableros.

6.4 ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y EL MÓDULO DE ELASTICIDAD



Imagen 10 Probeta lista a ser ensayada por flexión.

6.4.1 Resultados

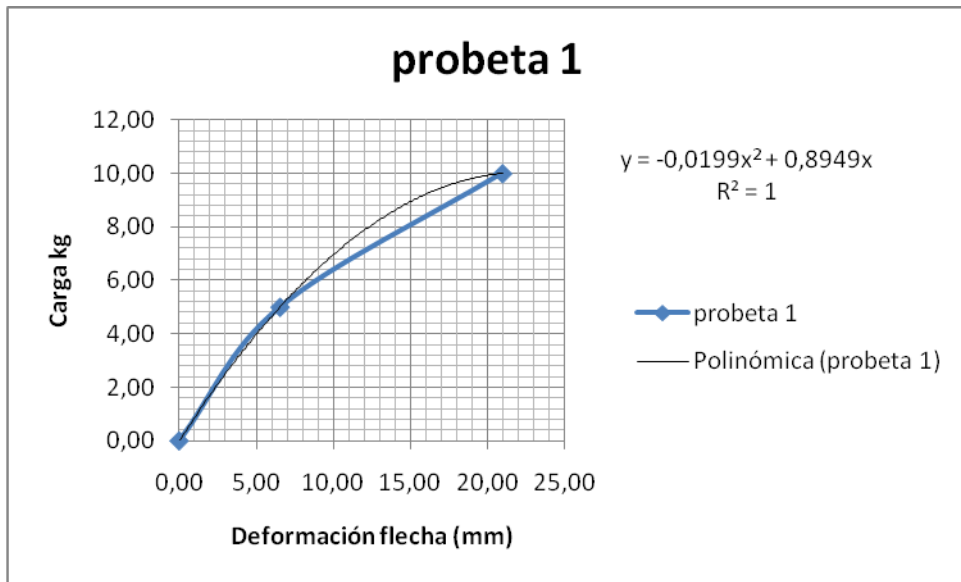
Para el análisis de los resultados se utilizaron solo 4 de las probetas ensayadas, debido que al comparar los resultados entre ellas, algunas presentaban un comportamiento muy alejado del promedio general.

Tabla 19 Resultados finales del ensayo de resistencia a la flexión y módulo de elasticidad

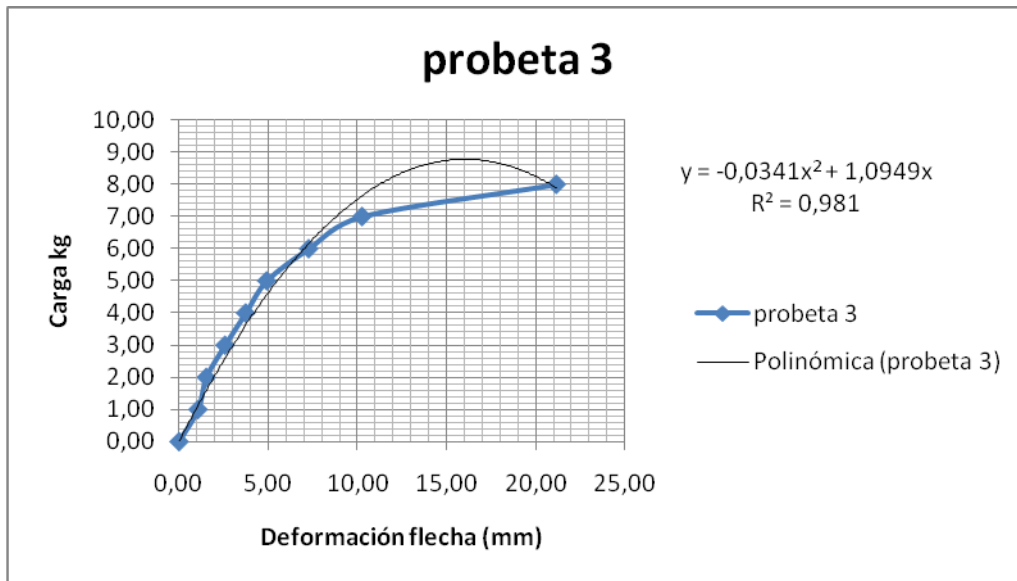
| | a (cm) | e (cm) | L (cm) | C (kg) | Cl(kg) | MR (kg/cm ²) | ME (kg/cm ²) |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------------|--------------------------|
| probeta 1 | 5,17 | 1,00 | 20,00 | 10,00 | 5,20 | 58,06 | 2875,58 |
| probeta 3 | 5,20 | 0,90 | 20,00 | 8,00 | 6,80 | 56,98 | 3986,26 |
| probeta 5 | 5,10 | 1,37 | 20,00 | 17,00 | 14,40 | 53,54 | 3160,36 |
| probeta 7 | 5,03 | 1,07 | 20,00 | 10,00 | 8,80 | 52,39 | 3601,48 |
| promedio | 5,13 | 1,08 | 20,00 | 11,25 | 8,80 | 55,24 | 3405,92 |
| desviación estándar | 0,06 | 0,17 | 0,00 | 3,42 | 3,48 | 2,35 | 423,26 |
| valor máximo | 5,20 | 1,37 | 20,00 | 17,00 | 14,40 | 58,06 | 3986,26 |
| valor mínimo | 5,03 | 0,90 | 20,00 | 8,00 | 5,20 | 52,39 | 2875,58 |
| rango | 0,17 | 0,47 | 0,00 | 9,00 | 9,20 | 5,68 | 1110,68 |



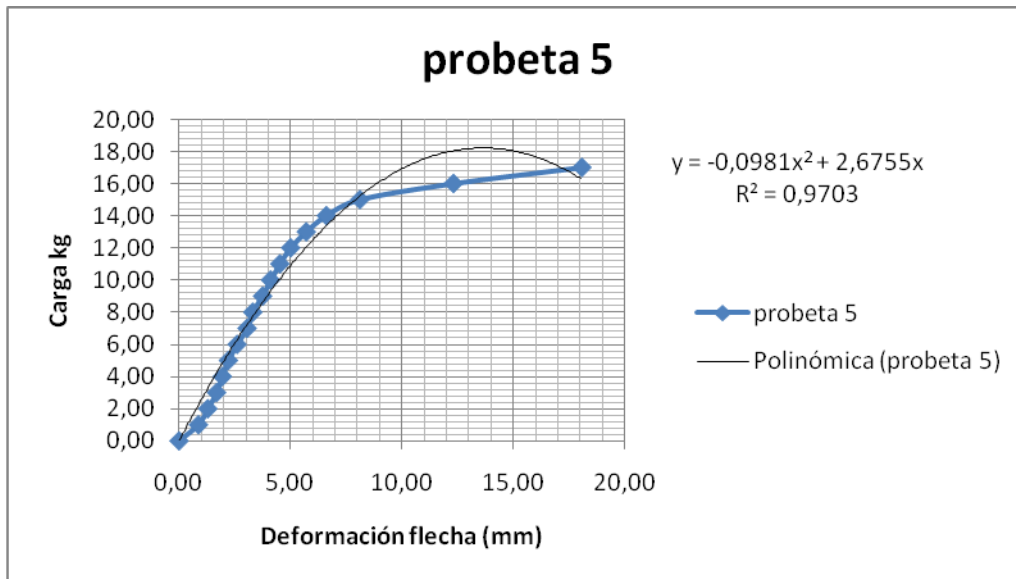
Imagen 11 Probetas ensayadas por flexión



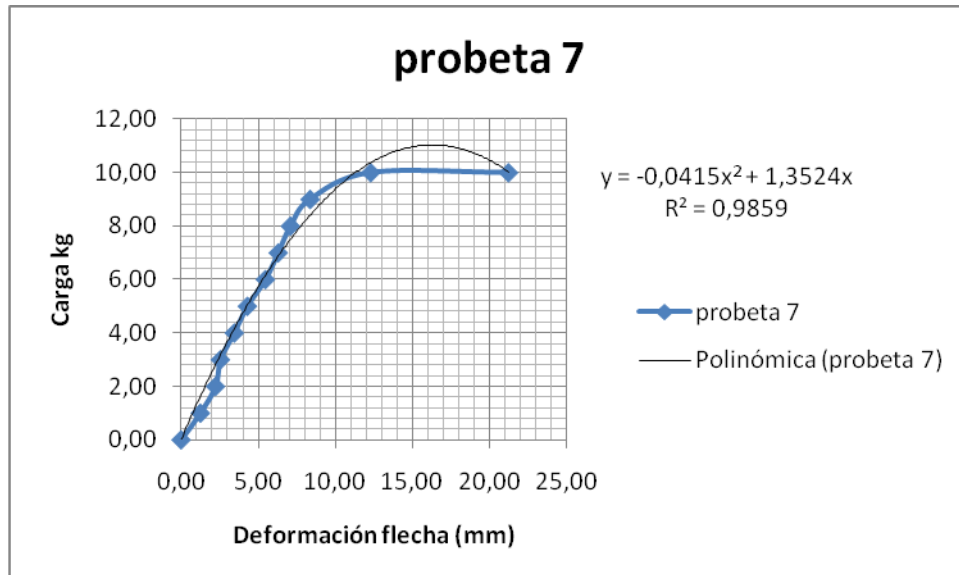
Grafica 1 deformación-carga probeta 1



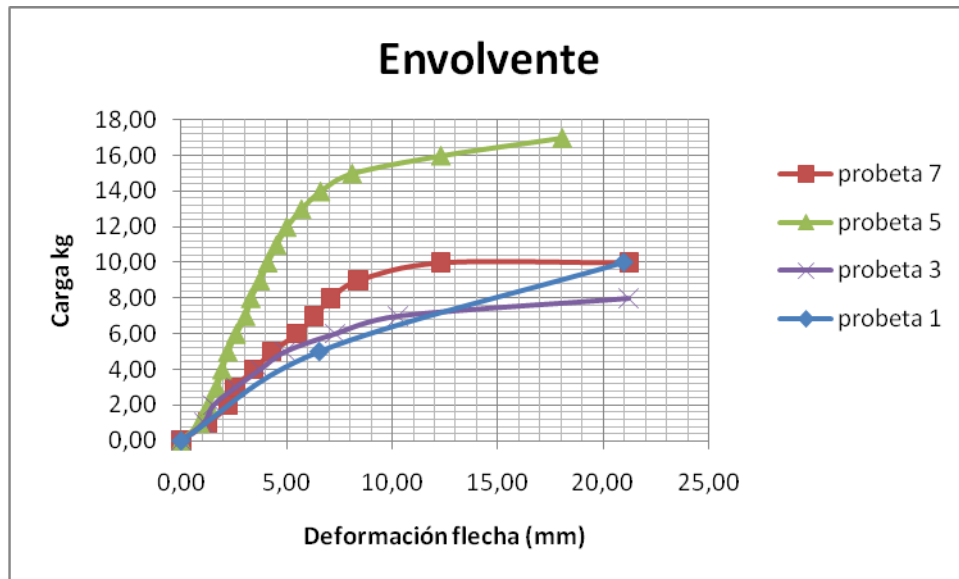
Grafica 2 deformación-carga probeta 3



Grafica 3 deformación-carga probeta 5



Grafica 4 deformación-carga probeta 7



Grafica 5 deformación-carga todas las probetas

Tabla 20 Comparación módulo de ruptura y módulo de elasticidad con tableros comerciales

| kg/cm ² | MDF | pino caribe | lamina de yeso | tablero de brik |
|-----------------------|-----------|-------------|----------------|-----------------|
| Módulo de ruptura | 397,69 | 132,28 | 152,96 | 55,24 |
| Módulo de elasticidad | 27.532,34 | 7.216,03 | 80.577,98 | 3.405,92 |

Al comparar estos valores con tableros que se comercian en el mercado se puede apreciar que el tablero hecho a partir de desechos de Tetra Brik® tienen en el caso del módulo de ruptura un valor menor, esto indica que ha flexión es el tablero que menor carga soporta, y el módulo de elasticidad también es menor en comparación de los otro tableros comerciales, lo que indica que el tablero de Brik® se deforma más que los otros antes de presentarse la fractura.

Aunque el tablero de Brik está lejos de los estándares comerciales por los parámetros de la FAO el Módulo de ruptura de un tablero tipo aislante es 15-55 kg/cm² y el Módulo de elasticidad en la flexión es 1700-8800 kg/cm², por tanto el tablero de Brik® sería considerado un tablero de este tipo.

6.5 ENSAYO PARA DETERMINAR LA TRACCIÓN PARALELA A LA SUPERFICIE DEL TABLERO

6.5.1 Resultados

Para el análisis de los resultados se utilizaron solo 5 de las probetas ensayadas, debido que al comparar los resultados entre ellas, algunas presentaban un comportamiento muy alejado del promedio general.

Tabla 21 Resultados finales del ensayo de tracción paralela a la superficie

| Probeta | Ancho (cm) | Espesor (cm) | Carga (Kg) | Tensión (Kg/cm ²) |
|---------------------|------------|--------------|------------|-------------------------------|
| 4 | 3,9 | 1,2 | 294 | 62,82 |
| 5 | 4 | 1 | 248 | 62,00 |
| 6 | 3,9 | 1 | 264 | 67,69 |
| 8 | 4,1 | 1,4 | 321 | 55,92 |
| 9 | 3,8 | 1,4 | 340 | 63,91 |
| Promedio | 3,94 | 1,20 | 293,40 | 62,47 |
| Desviación Estándar | 0,11 | 0,20 | 38,27 | 4,26 |
| Valor max | 4,10 | 1,40 | 340,00 | 67,69 |
| Valor min | 3,80 | 1,00 | 248,00 | 55,92 |
| Rango | 0,30 | 0,40 | 92,00 | 11,77 |

Tabla 22 Comparación de la resistencia a la tracción paralela a la superficie con tableros comerciales

| kg/cm ² | MDF | pino caribe | lamina de yeso | tablero de brik |
|---------------------------|------|-------------|----------------|-----------------|
| Resistencia a la tracción | 8,16 | - | 15,81 | 62,47 |

Al comparar estos valores con tableros que se comercializan en el mercado se puede apreciar que el tablero hecho a partir de desechos de Tetra Brik[®] tienen en el caso de la resistencia a la tracción paralela a la superficie tiene una resistencia mucho mayor a los tableros comerciales.



Imagen 12 Probeta ensayada por tracción.

6.6 ANÁLISIS FINAL

El proceso de fabricación aplicado permitió obtener un tablero aglomerado a partir del tratamiento de envases de larga duración Tetra Brik®, mediante equipo de poca tecnología, que tiene un buen comportamiento ante procesos de corte por herramientas tanto manuales como mecánicas, adicionalmente muestra buena apariencia estética y luce como un cuerpo con integridad estructural. Por la sencillez del proceso empleado para la fabricación, el tablero puede ser manufacturado por comunidades con muy poca capacitación técnica.

El tablero es altamente amigable con el ambiente, ya que para realizar un metro cuadrado de tablero se utiliza 9,375 Kg aproximadamente, esto representa 335 envases de un litro de Tetra Brik®, envase que no terminarían en los rellenos sanitarios, ayudando a prolongar la vida útil de los mismos. Además al utilizar el propio polietileno con que esta constituido

como aglutinante, no necesita ningún aglutinante adicional, a diferencia del MDF que utiliza formaldehído como aglutinante.

Durante los ensayos de comportamiento mecánico realizados en el laboratorio, se observó que el módulo de ruptura de los tableros de Brik era mucho menor que el de los tableros comerciales, siendo estos últimos los que presentan un mejor comportamiento al ser sometidos a flexión, aunque al tener un módulo de elasticidad más bajo, los tableros de Brik admiten una mayor deformación que los tableros comerciales. Paralelamente el tablero de Brik tiene una mayor resistencia a la tracción que los tableros comerciales.

Durante los ensayos de comportamiento físico realizados en el laboratorio, se observó que la densidad de los tableros de Brik era similar a la de los tableros de MDF y a los tableros de madera pino caribe, el contenido de humedad es menor que el de los tableros comerciales, pero la absorción de agua y el hinchamiento es mayor que los tableros comerciales, siendo el hinchamiento de espesor el factor más desfavorable de los tableros de Brik, provocados que sean sensibles a la presencia de agua.

Se puede constatar que el tablero de Brik presenta un comportamiento mecánico de un tablero de madera aglomerada tipo aislante de acuerdo a los parámetros establecidos por la FAO, aunque por su alta susceptibilidad a la absorción de agua, su uso estaría limitado a ambientes secos o sería necesario realizar un tratamiento de impermeabilización antes de su colocación, que aisle el núcleo del tablero de la humedad que pueda estar presente en el ambiente.

CAPITULO V

7 CONCLUSIONES

Los resultados de los ensayos realizados para la evaluación del comportamiento físico-mecánico confirman la posibilidad de realizar un tablero a base de envases de larga duración Tetra Brik®, que posea buena integridad física, buena apariencia y tenga un buen comportamiento ante procesos de corte por herramientas tanto manuales como mecánicas, a través de un proceso local y sencillo, el cual puede ser reproducible en pequeñas comunidades sin necesidad de equipo avanzado. Además el cual sea amigable ambientalmente, al no utilizar químicos adicionales como aglutinantes para su manufactura y reducir la cantidad de residuos arrojados en los rellenos sanitarios.

Por las propiedades mecánicas del tablero, el mismo puede ser usado como un tablero tipo aislante, pero debido a sus propiedades físicas este uso está limitado a ambientes secos sin contacto con el agua o realizar un tratamiento secundario de impermeabilización antes de su instalación, para de esta manera aislar el núcleo de la humedad.

8 RECOMENDACIONES

- Realizar ensayos, tales como arranque de clavos y tornillos, comportamiento en ambientes salinos, propagación térmica, resistencia al impacto, comportamiento ante el fuego, aislante acústica y reacción ante agentes biológicos y químicos.
- Realizar un tratamiento de impermeabilización antes de su instalación, que permita aislar el núcleo del tablero del ambiente, con el fin de reducir la absorción de agua y por ende el hinchamiento.
- Realizar la mezclas con las tiras de envases de larga duración colocadas con una orientación determinada en lugar de ser colocadas de forma aleatoria y compara la variación de las propiedades mecánicas.
- Realizar mezclas con un tamaño diferente tiras de envases de larga duración y compara la variación de las propiedades mecánicas.

9 REFERENCIAS

- 1.-Crossette, B. (2011). Estado de la Población Mundial 2011. UNFPA, Fondo de Población de las Naciones Unidas. New York, EEUU. p 124.
- 2.-Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, siglas de Food and Agriculture Organization) (1957). Revista internacional de silvicultura e industrias forestales, Vol. 11, No. 4. Disponible: <http://www.fao.org/docrep/x5385s/x5385s06.htm> [Consulta: 2012, febrero 11]
- 3.-Renato Bernardi (2006). Reconstituição de chapas de aglomerado. Disponible: <http://www.sbrt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MTc=>. [Consulta: 2012, febrero 12]
- 4.-Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, siglas de Food and Agriculture Organization) (1958). Revista internacional de silvicultura e industrias forestales, Vol. 12, No. 3. Disponible: <http://www.fao.org/docrep/x5388s/x5388s05.htm> [Consulta: 2012, febrero 11]
- 5.- Fiplasto S.A. (2012). Introducción A La Fabricación Mundial De Tableros Basados En La Madera. Diponible: http://www.fiplasto.com.ar/ingles/Mercado_Tableros.doc [Consulta: 2012, abril 20]
- 6.-Masisa Venezuela (2009). Masisa Tableros. Disponible: <http://www.masisa.com/ven/productos/tableros/> [Consulta: 2009, noviembre]
- 7.-Colombit. Manual Técnico Superboard. Manizales, Colombia: Etex Group. P 106
- 8.-Bedoce.com (2007). composición y reciclaje del “tetra brick”. Disponible: <http://www.bedoce.com/2007/09/06/composicion-y-reciclaje-del-tetra-brick/>. [Consulta: 2008, febrero]

9.-Rebeca Sánchez, Víctor Osechas, Gabriel Estrella, Sonia Camero, Ronald Torres (2010). RECUPERACIÓN DE RESIDUOS DE ENVASES TETRA BRIC® Y SU POSIBLE APROVECHAMIENTO EN LA PREPARACIÓN DE TABLEROS DE AGLOMERADOS EN VENEZUELA. Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., Vol. 25, N°4, pp. 53 - 59.

10.-NORMA VENEZOLANA COVENIN 847-91 (1991): Tableros de Partículas.

11.-AMERICAN NATIONAL STANDARD ANSI/ASTM D 1037-99: Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials pp 1-6.