

## **Parte IX**

# **Productos aglomerados del bagazo**

**Ofelia Carvajal Cabo  
Raúl Costales Sotelo  
Oscar Almazán del Olmo  
Eduardo Casanova Cabeza**

## ÍNDICE

Capítulo 1. Introducción.

Capítulo 2. Orígenes de la industria y de los trabajos de investigación - desarrollo de la línea de Productos Aglomerados de Bagazo realizados en el ICIDCA.

Capítulo 3. Estudios de documentación científico - técnica e informativos sobre productos aglomerados de bagazo.

Capítulo 4. El bagazo. Desmedulado y tecnologías de almacenamiento para la industria de aglomerados.

Capítulo 5. Tecnologías de producción de tableros de fibras.

Capítulo 6. Tecnologías de producción de tableros de partículas.

Capítulo 7. Aglutinantes y aditivos químicos para tableros.

Capítulo 8. Tecnologías de producción de tableros de fibras de densidad media. (MDF).

Capítulo 9. Tecnologías de producción de tableros con aglutinantes inorgánicos.

Capítulo 10. Moldeados de bagazo.

Capítulo 11. Tecnologías para el recubrimiento de los productos terminados.

Capítulo 12. Calidad y normalización de la industria.

Capítulo 13. Investigaciones económicas y de mercado de la industria de aglomerados.

Capítulo 14. Industria de los productos aglomerados en el mundo. Actualidad y mercados.

Capítulo 15. Situación actual de la industria de tableros en Cuba. Perspectivas y proyecciones.

# Capítulo 1. Introducción

Dr. Oscar Almazán del Olmo

El propósito de éstas Memorias Compendiadas, es rescatar, ordenar preservar, hacer disponible, contextualizar con los retos actuales, el impactante volumen de saber, creado, durante más de medio siglo, por los científicos del ICIDCA, recogidos en 15 Capítulos, con un rico volumen adicional de referencias bibliográficas, de alcance internacional, que incluye los clásicos y lo más novedoso,

Esta Obra complementada con un Capítulo que ofrece una visión perspectiva a mediano y largo plazo, sobre la evolución de esos providenciales sustitutos y mejoradores de la madera, sin los cuales, en la actualidad, sería imposible fundamentar una producción de muebles, una viabilidad cierta de las construcciones y la propia industria automotriz.

Siempre que hablamos de Tableros de Bagazo, la Dra. Ofelia Carvajal, con acertada pedagogía y rigurosa precisión, nos rectifica, indicando lo imprescindible de incluir “Productos Aglomerados”<sup>1</sup>, como necesario y abarcador elemento para lograr un planteamiento y conceptualización realmente integral.

---

<sup>1</sup> Para comenzar se estimó necesario realizar una aclaración en cuanto a la nomenclatura de origen, decidiéndose emplear el término de aglomerados en lugar de tableros como genérico debido a que la industria en su desarrollo ha ido arrastrando otras formas no planas de terminación y que las diferencia de los tableros cualquiera sea su constitución y que igualmente serán mencionadas debido a su persistencia e importancia en el mercado internacional.

En la Monografía sobre Productos Aglomerados a partir del Bagazo de la Caña de Azúcar, La Serna, et. al (1982) (1), se definió como Productos Aglomerados, a los productos que se elaboran a partir de fibras o partículas de materiales lignocelulósicos (madera, bagazo de la caña de azúcar, etc.), por compactación de las mismas, con la adición de aglutinantes externos o aprovechando las propiedades autoaglutinantes de algunos de los componentes del material lignocelulósico, logrando así materiales de gran superficie.

Los productos aglomerados agrupan a: tableros de partículas, tableros de fibras, elementos moldeados, tableros aglutinados con materiales inorgánicos, etc. De ellos, los de más desarrollo en la producción mundial son los tableros de partículas, los de fibras y los tableros contrachapados (plywood).

Las siempre crecientes necesidades de la madera, en la fabricación de muebles y la construcción, que no son las únicas, pero sí las de mayor dimensión, hicieron que el tema de los Tableros y Elementos Moldeados fueran aspectos abordados por los Programas de I+D+i del ICIDCA, desde su etapa fundacional; propósitos de investigación abordados con sistematicidad y notable profundidad, por equipos multidisciplinarios, altamente calificados, que crearon , lo que sin dudas, es **“La Tecnología Cubana de Producción de Tableros y Elementos Moldeados de Bagazo”**, cuya validez y viabilidad se hizo evidente en la realización exitosa del Proceso Inversionista, realizado a fines de la década del 70´e inicios de los 80´del pasado siglo, de que elevó la capacidad productiva nacional a cientos de miles de metros cúbicos anuales de tableros de bagazo.

El examen de los aportes científicos y sus consecuentes resultados, muestra que el trabajo investigativo abordó de modo amplio y exhaustivo toda la gama de los proceso, desde la recolección, almacenamiento y la preparación del bagazo, el estudio de las resinas, las técnicas y de manufactura, la maquinaria, hasta el tratamiento superficial y el acabado del producto final.

La única asignatura pendiente en este campo, que no correspondió al ICIDCA, fue el vínculo tableros-muebles, que aún sigue sin ser matriculada, pero que inevitablemente se incluirá en el curriculum, para ofrecer el concepto acertado en la Cadena del Valor.

Los Tableros y los Productos Moldeados no son solo sustitutos y revalorizadores de subproductos de la madera, sino que su impacto alcanza la cota de materiales capaces de mejorar y aportar propiedades no alcanzadas por ese bien lignocelulósico.

Su amplitud de posibilidades, mostrada por las Divisiones Internacionales por la Consulta de Ginebra (FAO, Ginebra, 1967) presenta once (11) Categorías, añadidas a su primaria clasificación en Tableros de Fibra y Tableros de Partículas.

En esta introducción no es posible dejar de mencionar que Cuba fue el primer país en el mundo que industrializó el bagazo, para la producción de tableros, aunque desde 1929 existía una pequeña fábrica que utilizaba fibras celulósicas, mezcladas con desechos de papel para producir tableros de fibra, pero es en la década del '50 del siglo XX que se consolida el inicio del amplio uso del bagazo. En 1956 la fábrica Primadera comienza a producir tableros de fibra y en 1957 y 1958, respectivamente, ProCuba y Maderas Técnicas fabrican tableros de partículas.

Les aseguro, que en estas Memoria Compendiadas encontrará un asombroso patrimonio, sobre este mundo fascinante y pleno de potencial de expansión, conocimientos éstos que responderán plenamente a sus inquietudes y necesidades, con el extraordinario valor de estar presentado por los propios autores , comprometidos en el propósito de mostrarles el camino de aprovechar y servir.

Recuerdo que el político escocés **Thomas Carlyle afirmaba:**

**“La experiencia es la mejor maestra, solo que la matrícula es muy cara”**, pero ahora tiene usted, en estas Memorias, el privilegio de poder ocupar un asiento en la primera fila del aula.

La Habana, Mayo 7 del 2016

## **Capítulo 2. Orígenes de la industria y de los trabajos de investigación -desarrollo de la línea de Productos Aglomerados de Bagazo, realizados en el ICIDCA**

Dra. Ofelia Carvajal Cabo

En la Monografía sobre Productos Aglomerados a partir del Bagazo de la Caña de Azúcar, Nelson La Serna, *et al.* (1982) (1) se plantea que como una extensión de la Industria de pulpa y papel, se inició en la década de los años 20 la Industria de Productos Aglomerados en el mundo, con la producción de tableros de fibras en países de Europa y Norteamérica.

Aproximadamente 20 años más tarde, después de resueltos aspectos relacionados con la preparación de la materia prima lignocelulósica, con la definición de algunos parámetros del proceso, con el desarrollo de equipos específicos y de aglutinantes adecuados y económicos, surge la industria de tableros de partículas en Alemania, Reino Unido, Norteamérica y otros países de Europa.

Con el desarrollo creciente de esta industria y debido a la escasez y a la elevación de los precios de la madera, se comenzaron a utilizar residuos lignocelulósicos de plantas anuales para su conversión en tableros. De estos residuos fue el bagazo de la caña de azúcar, el que mayor expansión ha alcanzado.

Estas nuevas tecnologías tuvieron un vertiginoso auge en el mundo, principalmente las de tableros de partículas, que a partir de los años 70 logró sobrepasar los niveles de producción de los tableros contrachapados (*plywood*) que eran hasta ese momento, los de uso más difundido por sus propiedades así como por su costo.

Aunque en cantidades mucho más discretas, la industria de Aglomerados, continúa con una tendencia ascendente, Carvajal (2005) (2) proyectándose los esfuerzos hacia una mayor calidad de los productos, ampliación de los surtidos (tableros MDF,

paneles con cemento, etc.) introducción de nuevos usos y mejoras en los procesos productivos mediante la mecanización y automatización de los procesos y el desarrollo de equipos nuevos y eficientes.

En Cuba, al triunfo de la Revolución existían en el país 4 instalaciones de tableros, dos de fibras y dos de partículas, las cuales presentaban cierto grado de desgaste, Carvajal (2013) (3).

En el ICIDCA, en el año 1965 se creó el Grupo de Investigaciones para la Madera Artificial a partir del bagazo dentro de la Rama de la Celulosa y el Papel, con un mínimo de personal, pero a partir del año 1971, con la incorporación de nuevos trabajadores, se incrementaron los trabajos relacionados con esta temática, ampliándose la base experimental con el diseño, construcción y puesta en marcha de una planta piloto para las investigaciones relacionadas con la producción de tableros y como soporte técnico a las plantas existentes. Denominándose finalmente, Departamento de Aglomerados.

Por lo tanto, el personal de esta área del ICIDCA, simultaneó los trabajos investigativos, con los de apoyo a la industria, participando en la modernización de tres de las plantas existentes: PROCUBA, en Cruces, Cienfuegos, Maderas Técnicas, en La Salud, Mayabeque y Primadera en Amancio Rodríguez en Las Tunas, brindado también apoyo técnico a una pequeña planta de tableros de fibras, Henetec, ubicada en Cárdenas en la provincia de Matanzas. Además se formó parte del colectivo técnico que participó en las negociaciones y puesta en marcha de tres nuevas plantas: "Camilo Cienfuegos" en la provincia de Mayabeque, Primero de Enero, en Ciego de Ávila y Jesús Menéndez, en Las Tunas, ésta última con dos líneas de producción, una de tableros finos y otra de tableros normales con la novedad de que la prensa era de una sola abertura con 14 metros de longitud.

A continuación se relacionan los trabajos publicados como resultado de los desarrollos tecnológicos, artículos científicos técnicos, informes de investigación,

trabajos presentados en eventos, revistas, monografías, trabajos de desarrollo en las plantas de tableros, etc. para cada una de las tecnologías de aglomerados existentes, por diversos autores, investigadores del ICIDCA, en el campo de los productos aglomerados de bagazo.

## **Bibliografía**

1. La Serna, N., Almagro, R., Carvajal, O., Valdés, J.L., de la Vega, E. Monografía sobre Productos aglomerados a partir del bagazo de la caña de azúcar. Editorial Científico – Técnica 1982.
2. Carvajal, O. Productos Aglomerados del bagazo. Presentación, 2005.
3. Carvajal, O. Historia del ICIDCA. Sobre los Grandes Proyectos. Programa de tableros de bagazo, 2013.



## **Capítulo 3. Estudios de documentación científico – técnica e informativos sobre productos aglomerados de bagazo**

Dra. Ofelia Carvajal Cabo

En 1971, se realizó el primer informe temático sobre la producción de tableros de fibras y partículas con 82 páginas y 51 referencias, Espinosa, (1971) (1), que sirvió de soporte para el trabajo que se iniciaba sobre estas tecnologías en el Instituto, fundamentalmente para el aprendizaje del nuevo personal que se incorporó a esa área.

En ese informe se recogieron criterios de los autores con relación a diferentes materias primas utilizadas para la producción de tableros, analizándose cuestiones correspondientes a los campos tecnológicos, aditivos, económicos, de producción y usos

Ese primer trabajo, al tratarse de un informe temático inicial, no solo se expuso lo relacionado con el bagazo, sino su contenido fue más amplio con información sobre la madera, tanto conífera, como frondosa y diferentes residuos agrícolas. Aunque se dedica un capítulo a los tableros de partículas de bagazo, a las resinas, al contenido de azúcares con relación al tiempo de fraguado, experiencias sobre las fábricas existentes hasta ese momento, etc.

Posteriormente, León (1974) (2), elaboró otro informe temático, de 20 bibliografías, relacionado con la fabricación de tableros de partículas a partir del bagazo de la caña de azúcar, dentro del período 1963 – 1973, en el mismo se ofreció la experiencia adquirida en algunos países en este proceso, muy conocido y difundido hasta esa fecha con madera, pero menos conocido con bagazo.

En ese informe se expuso la composición del bagazo, las propiedades y tipos de tableros de partículas, el proceso de fabricación, usos de los tableros, perspectivas y aspectos económicos de producción.

Se concluyó que los tableros de partículas de bagazo comparan favorablemente en calidad con los de madera. Cuando el bagazo sobrante es sustituido por petróleo y es utilizado como materia prima en la fabricación de los tableros de partículas, estos compiten en precios con los de madera, pudiéndose asegurar de que el bagazo es la materia prima favorita para fabricar tableros de partículas en los países donde se cultiva la caña de azúcar.

En otro de los trabajos documentales realizados, González (1975) (3), con 82 páginas y 103 referencias, se efectuó el estudio de los distintos tipos de tableros que pueden obtenerse a partir del bagazo y sus aplicaciones, señalándose el desarrollo de nuevas tecnologías y las tendencias futuras en comparación con los tableros a base de madera.

Se analizó la situación mundial de la producción en los últimos años, para lo cual se revisó la literatura disponible desde 1960 hasta 1975.

Batlle, E. (1977) (4) realizó un trabajo que tuvo como objetivo dar una visión general de las distintas operaciones tecnológicas en la producción de tableros de partículas de bagazo: desmeollamiento, presecado, almacenamiento, molienda, clasificación y secado, en especial los elaborados con resina urea formaldehído, además analizó el equipamiento empleado. La información para ese trabajo estuvo contenida en las ofertas de los años 1974 y 1975, en trabajos realizados en el Instituto y en otras fuentes. Para la mejor comprensión de lo que se expuso, se elaboraron 11 tablas y 13 figuras.

En la segunda parte del informe temático anterior, elaborado por Batlle (1977) (5), se continuó con el resto de las operaciones tecnológicas para la producción de

tableros de partículas: encolado, formación, prensado, curado y lijado. Se describió el equipamiento empleado para dichas operaciones, los índices de consumos por TM de tableros dimensionados y lijados, el consumo de energía térmica en la fábrica en tiempos de zafra y de no zafra, entre otros aspectos. Se reportaron 14 bibliografías.

En 1982, La Serna, *et al.*, (6), elaboraron la monografía: Productos de Aglomerados a partir del Bagazo de la Caña de Azúcar, donde se analizó el desarrollo de los productos aglomerados a partir del bagazo, haciendo una comparación con las producciones mundiales, a partir de otras materias primas. También se expusieron las cualidades del bagazo como excelente materia prima para esta industria, evidenciándose que los países que disponen de este recurso pueden desarrollar una fuente de producción de bienes de consumo importante y económicamente ventajosa.

Se analizaron las características fundamentales de las tecnologías más conocidas para la producción de tableros de partículas, de fibras, y se dieron elementos acerca de la posibilidad de obtener productos moldeados y tableros con aglutinantes inorgánicos a partir del bagazo, para su uso en el hogar, en la industria de la construcción y en diversos tipos de envases.

En el número especial de la revista, por los XX Años del ICIDCA, en 1983, La Serna y Carvajal, (1983) (7) hicieron un actualización del desarrollo de la industria de aglomerados en el país, donde informaron que Cuba inició la utilización del bagazo para producir aglomerados con la construcción de la fábrica Primadera, de tableros de fibra, en 1956 y de las fábricas PROCUBA y Maderas Técnicas en 1957 y 1958 respectivamente, para producir tableros de partículas, y fue el primer país en desarrollar esta tecnología con bagazo.

Años más tarde, en el país se inició el proceso de modernización de las plantas existentes y la construcción de tres nuevas plantas, (Camilo Cienfuegos, 1ero. de

Enero y Jesús Méndez), lo que situó a Cuba a la cabeza entre los países productores de tableros de bagazo, no sólo desde el punto de vista de volumen de producción, sino en el conocimiento científico de estas tecnologías.

Con vistas a obtener mayor información sobre el proceso tecnológico para obtener la resina fenólica, que también es utilizada para la producción de tableros de partículas, se realizó por la especialista en documentación científica, León, E. (1984) (8) un estudio, donde se mostró un esquema del equipamiento necesario para su producción. Además se ofrecieron los resultados de la aplicación de este tipo de resina a los tableros de partículas, su influencia en el costo de los tableros, así como la comparación de la situación en Cuba de la resina urea-formaldehído y la fenólica.

Con el objetivo de actualizar la información disponible sobre el desarrollo en la producción de tableros de partículas, Perlac, J., Carvajal, O. (1986) (9) elaboraron un breve resumen de las nuevas tendencias que existen en el tipo y características de las materias primas, así como las modificaciones introducidas en el equipamiento y en las tecnologías de producción de tableros, con vistas a un mayor aprovechamiento de los recursos madereros.

La cada vez más creciente escasez de madera origina que la industria relacionada con la producción de tableros aglomerados recurra a un mayor aprovechamiento de desechos madereros.

Esta realidad se refleja en los cambios que tienen lugar tanto en el equipamiento tecnológico como en el proceso de producción. Se puede afirmar que casi todos los desechos madereros que resultan tanto de la elaboración industrial de la madera como de la explotación forestal, se pueden de una forma u otra aprovechar para la producción de tableros de partículas. Asimismo, en la composición de los tableros de partículas se han introducidos también cambios considerables.

En la actualidad ya casi no se producen tableros de partículas de una sola capa, la producción se ha orientado a tableros de tres capas o multicapas, con una distribución gradual de forma que las partículas más finas se encuentren en las capas superficiales y las más gruesas en el centro.

En la segunda parte del trabajo anterior, los mismos autores (1986) (10) presentaron las principales características, propiedades y, en algunos casos, los costos de diferentes nuevos productos de tableros, así como los usos fundamentales a que se destinan estas producciones. También se trató sobre los tableros de fibras MDF (Medium Density Fiberboard), los cuales se emplean en la fabricación de muebles con muy buenos resultados.

La ya mencionada escasez de madera así como la demanda de productos de buena calidad para la industria de la construcción, medios de transporte, envases y muebles especiales, provocó una inclinación de la producción de tableros hacia la obtención de productos con propiedades específicas acorde a su uso.

Con este objetivo se elaboran tableros con alto módulo de ruptura, buena resistencia en aire húmedo y con apropiada protección contra microorganismos, fuego, etc.

Como muestran las tendencias, se buscarán nuevos productos con propiedades más específicas para determinados objetivos de uso.

En el libro: La industria de los derivados de la caña de azúcar, editado 1986, La Serna, *et al.*, (11) en la tercera parte, el capítulo X, está dedicado a los productos aglomerados, donde se expusieron las definiciones y clasificaciones de estos productos, las características de las materias primas que se utilizan (bagazo, aglutinantes, aditivos químicos), las diferentes operaciones de las tecnologías de tableros de partículas, de fibras, productos moldeados, tableros con aglutinantes inorgánicos, los diferentes tipos de recubrimientos superficiales que se emplean y las principales aplicaciones de los tableros.

En la publicación: La Industria de Tableros en Cuba, la Dra. Carvajal, (1988) (12), hizo una breve descripción de la Industria de Tableros en Cuba, reportándose las características generales de cada una de las fábricas existentes, sus capacidades, formato y tipo de tableros que producían.

También aparecen las propiedades físico-mecánicas que se obtenían en los tableros de partículas y de fibras que se elaboraban, así como el costo de producción de estos productos.

Otra de las cuestiones que se abordaron en el trabajo, fueron los principales usos a que se destinaban los tableros en el país, de acuerdo a sus características y al recubrimiento de su superficie.

Los tableros de partículas se usan principalmente en la industria del mueble y de la construcción, como elementos estructurales de muebles del hogar e institucionales, como paneles divisorios o como material para encofrado en construcciones.

Los tableros de partículas de espesores finos se emplean como recubrimientos de puertas y tabiques y en la confección de fondos de muebles.

Los tableros de fibras se usan, fundamentalmente, para la producción de envases, cielos rasos, para la producción de puertas y para fondos de muebles, así como en la elaboración de facilidades temporales para los obreros de la construcción.

Trujillo, M.; Cruz, R. (1992) (13) en el artículo: Resinas con base lignina estado actual del desarrollo, reportaron que la lignina alcalina de bagazo, es un polímero fenólico formado durante los procesos de pulpeo a la soda, se utilizaba como combustible de bajo valor o enviada al medio como un residual. Durante los últimos años varios investigadores han intentado emplear la lignina como un sustituto del fenol para la producción de resinas del tipo fenol-formaldehído. En el presente trabajo se resumieron los aspectos principales de 17 artículos publicados en la

literatura y algunos de los resultados de investigaciones desarrolladas en el ICIDCA sobre el uso de la lignina como adhesivo

La búsqueda de nuevos aglutinantes más baratos para la industria de tableros abrieron varios caminos, Trujillo, M.; Serantes, M. (1990) (14), que perseguían entre otros propósitos la disminución de los consumos de productos derivados del petróleo como el fenol y el formaldehído. Uno de estos caminos está representado por materias primas naturales que se obtienen de fuentes baratas y renovables.

Por otra parte la fabricación de tableros enfrenta como principal problema la necesidad de disminuir al máximo las emanaciones de formaldehído libre debido a su toxicidad. Varios autores proponen en sus investigaciones solucionar este problema mediante la sustitución parcial de la resina urea formaldehído por otros aglutinantes o sustancias, las cuales tienen la posibilidad de reaccionar con el formaldehído libre en la resina.

En ese estudio, se efectuó una revisión bibliográfica de las nuevas alternativas que se estudian y practican para dar respuesta a esta problemática, mediante el empleo de un recurso natural que es residual de la industria de pulpa y papel, exponiendo una panorámica general de los lignosulfonatos y sus posibles usos en la industria de tableros en general.

León, *et al.*, (1982) (15), ofrecieron, aspectos generales sobre la utilización de los tableros y elementos moldeados de bagazo, relacionando sus propiedades y características con sus posibilidades de uso en la industria de muebles, construcción y otros.

En países donde no existan importantes fuentes de recursos maderables y en cambio posean disponibilidades de bagazo suficientes, la industrialización de esta materia prima para la producción de tableros y elementos moldeados, puede

representar una disminución considerable de importaciones por ser los tableros un sustituto de la madera para diversos usos.

En sentido general, en este trabajo, se brinda, una panorámica sobre las producciones y tecnologías de aglomerados más reconocidas en el mundo y el comportamiento de sus mercados, destinándose algunas páginas a mostrar las principales elaboraciones de la madera natural, el panorama actual de su demanda y cómo las fibras anuales podrían representar un paliativo al elevado consumo de madera.

Costales, en la Monografía: La industria de los productos aglomerados. Desarrollo sostenido (2013) (16) mostró el desarrollo global alcanzado en esta industria, que ha motivado importantes transformaciones que justifican, en determinada medida, su carácter y tendencia, en cuanto a las producciones que se realizan y a la maquinaria empleada, que caracterizan a este sector.

El autor, en esa monografía, que resulta novedosa, por ser el último de los documentos sobre aglomerados publicados en el ICIDCA y que tiene una amplia información, con figuras, tablas, etc. se refirió a las tecnologías de producción de los diferentes tipos de tableros (fibras, MDF, tableros de partículas, tableros de partículas orientadas, a los tableros derivados de la madera (*Plywood*), a los aglomerados con aglutinantes inorgánicos, a las composiciones cementosas, los productos moldeados y composiciones madera – plástico, etc.). En la misma se refirió a las asociaciones y adquisición en la industria de los paneles, a los laminados de la madera, a los elementos de montaje y a otras fibras no madereras. También trató sobre los aspectos económicos de las producciones y la situación en Cuba sobre la industria de los aglomerados.

Otro de los aspectos expresados en dicho documento se relaciona con que en la actualidad, la producción de paneles en el país, se ha deprimido de forma importante como consecuencia de la contracción de la producción azucarera en el



país, reduciéndose de forma dramática las disponibilidades de bagazo y adicionalmente condicionada por el normal desgaste de una industria desfavorecida en mantenimiento, por falta de reposición de piezas y partes de la maquinaria principal, proveniente del primer mundo.

Desde el punto de vista investigativo, el país y muy particularmente el ICIDCA, mantuvo por años un adelanto importante del desarrollo, en relación a la industria, que propició una cartera de conocimiento tecnológico anticipada a la realización de los procesos inversionistas, representada por tecnologías como los productos aglutinados con productos inorgánicos o los moldeados de bagazo, en las cuales se incursionó con éxito en la construcción de los herramentales para la materializaron de una producción experimental de cajas de bagazo aglutinado con resina UF.

El desarrollo de la industria de tableros, a nivel mundial experimentó en los años finales de la década de los 70, avances notables como material sustitutivo de la madera natural y el plywood, en las industrias del mueble y las construcciones, de la Vega, (1981) (17) realizó un trabajo donde analizó el desarrollo alcanzado en la producción de tableros y elementos moldeados a partir del bagazo. Se expusieron las cualidades del bagazo, los tipos de tableros, principales aplicaciones, las características generales de las plantas que utilizan bagazo, los aspectos tecnológicos para tableros de partículas y de fibras y elementos moldeados.

Con datos de la literatura, León *et al.*, (1982) (18) realizaron un estudio técnico económico, para definir criterios sobre las características tecnológicas, propiedades, usos, ventajas y desventajas que reportarían nuevas inversiones en plantas de tableros de partículas utilizando el bagazo de la caña de azúcar como materia prima.

El estudio ofreció la información requerida para proporcionar un conocimiento general sobre los problemas que inciden tanto positiva como negativamente alrededor de esta industria.

En ese trabajo, se reportó que la industria del mueble es la mayor consumidora de tableros de partículas en el mundo. Entre sus aplicaciones están: muebles de cocina, armarios, escritorios y en general muebles para el hogar. Se señaló que para amueblar una vivienda pequeña de dos habitaciones, una matrimonial y otra auxiliar se necesita como promedio:

- Juego de sala	0,037 517
- Juego de comedor	0,111 097
- Juego de cuarto matrimonial	0,446 200
- Juego de cuarto auxilia	0,215 600
Total	0,810 414 m <sup>3</sup> de tableros de partículas.

Esa cantidad puede variar dependiendo del diseño y del tamaño de la vivienda a amueblar. Otros usos lo constituyen como material para encofrado, paneles divisorios o en construcciones.

Martínez y León, (1990) (19) en la obra: Caracterización de la industria de tableros en el marco nacional e internacional, reflejaron la situación nacional e internacional de la industria de tableros, así como las perspectivas de desarrollo de la misma, para lograr este objetivo ambas autoras expusieron los aspectos generales para la producción de tableros de partículas y de tableros de fibras, los tipos de tableros que se producen y sus propiedades físico mecánicas, los usos a que se destinan, el desarrollo de nuevos productos , la caracterización de la industria de tableros en el marco internacional, producción, cantidad de plantas, importación, exportación, los precios y las perspectivas de desarrollo. También se reportaron la caracterización de la industria nacional, en el periodo 1980 – 87.

Se ofreció por León, (1987) (20) un análisis de la literatura disponible sobre la tecnología, usos y sobre el formaldehído libre de los tableros de fibras de densidad media (MDF).

Los tableros MDF pueden ser empleados en la industria del mueble como madera maciza para los cantos, esta es una de las razones por lo que se desarrolló la fabricación de este tipo de tableros.

Esa tecnología tiene algunas semejanzas con la de los tableros de partículas convencionales, aunque se necesitan instalaciones diferentes en particular en la preparación de las fibras.

Se reportaron las características de los tableros, las diferentes etapas de la tecnología de producción, los usos, la emisión del formaldehído libre, las instalaciones en el mundo y la serie histórica de producción.

Con vistas a incrementar los conocimientos sobre la resina urea formaldehído, principal aglutinante que se utiliza para la producción de tableros, se efectuó la revisión de las revistas referativas Chemical Abstracts y ABIPC, desde 1978 hasta 1988, así como otras bibliografías para estudiar la cinética de reacción de la urea con el formaldehído, su relación molar, temperatura, pH, etc.

De la revisión realizada en la literatura disponible por López, (1988) (21), se obtuvo información sobre las distintas resinas que se pueden obtener a partir de la variación de los parámetros de la reacción, los diferentes usos a que se destinan cada tipo de resina, entre otros.

León (1988) (22), realizó una búsqueda tanto del tratamiento posterior al tablero como en la resina con vista a la reducción del formaldehído libre en tableros. Para la búsqueda se utilizaron los volúmenes del 80 al 107 del Chemical Abstracts que comprendió los años 1974 al 1987.

Del tratamiento posterior al tablero, se encontraron 32 bibliografías y en la reducción del formaldehído libre en resina 33.

Para profundizar en los conocimientos de los investigadores del área de Aglomerados del Instituto, sobre la reducción del formaldehído libre en la elaboración de productos aglomerados, León y colaboradores, (1988) (23) realizaron la búsqueda de la literatura para ofrecer los diversos estudios realizados sobre la disminución del formaldehído libre en los tableros terminados. Se revisaron 16 bibliografías, se reportaron los antecedentes del tema, las distintas formas de disminuir el formaldehído libre en los productos aglomerados, entre otros aspectos. Se planteó que el control de los parámetros tecnológicos en el proceso de fabricación contribuye a la reducción del formaldehído.

En el mundo las resinas utilizadas como adhesivos o aglutinantes para la producción de tableros son las de urea formaldehído, fenol formaldehído, melanina formaldehído y las de isocianatos. En años más recientes buscando otras alternativas se han empleado las resinas de tanino incrementándose su uso como aglutinante, como adhesivo o modificando otros tipos de resina.

Con el objetivo de estar actualizado sobre este tema, León, (1988) (24), realizó una búsqueda de la literatura sobre tanino y su uso como aglutinante en productos aglomerados.

Fue utilizada tanino como palabra clave, en los Chemical Abstracts del volumen 72 al 109 y ABIPC del volumen 50 al 57. Se observó que en algunos países se ha trabajado en el empleo del tanino para esos fines, pero está en investigación la introducción de la destilación molecular para obtener un aceite con alto contenido de fitoesteroles lo cual permitirá rebajar sustancialmente los costos de producción.

Valdés, (1986) (25), efectuó una revisión bibliográfica con 88 artículos analizados, en el informe que elaboró reportó una breve historia de los productos aglomerados

con materiales inorgánicos, aspectos generales de estos materiales de construcción, la clasificación, las generalidades sobre las tecnologías de producción, las características de las materias primas, las propiedades, usos, las posibilidades de empleo del bagazo de la caña de azúcar y algunas consideraciones económicas.

Estos productos desde su aparición en el mercado tuvieron una buena aceptación como materiales de construcción, debido a sus excelentes propiedades y posibilidades de uso.

Los aglutinantes inorgánicos que se aplican son el cemento de magnesio, el yeso y el cemento Portland, siendo este último el de mayor uso.

Cabe destacar que estos productos presentan muy buenas características, los que pueden ser clavados, atornillados, aserrados, lijados y pegados en su gran mayoría lo cual representa una importante ventaja para su manipulación y uso. Adicionalmente son resistentes al ataque de hongos e insectos y prácticamente incombustibles.

Otra cuestión de interés a señalar es que las propiedades de estos productos están en gran medida influenciadas por el aglutinante mineral de que se trate y por el grado de compresión a que se sometan durante su elaboración, de ahí que puedan lograrse paneles ligeros o densos.

Sobre los usos a manera de generalizar se pueden construir con los aglomerados aglutinados con minerales: viviendas modulares de bajo costo (prefabricadas), edificaciones industriales y agrícolas, oficinas, escuelas y círculos infantiles, facilidades temporales y otros.

Desde el punto de vista morfológico, el bagazo de la caña de azúcar es un material apto para su conversión en tableros aglutinados con minerales.

Sobre el tema de los productos aglomerados de materiales lignocelulósicos con aglutinantes inorgánicos (minerales) se han elaborado varios trabajos, Valdés, (1987) (26), en el estudio bibliográfico preliminar trató sobre los aglutinados con yeso y las perspectivas de utilizar el bagazo para estos fines.

Planteó que aunque las tecnologías de tableros de fibras y partículas con yeso aún no están ampliamente difundidas, se avizora una futura expansión de estos productos debido a sus buenas cualidades, relativa sencillez de los procesos, economía de los productos y posibilidades bastante generalizadas de disponibilidad de las materias primas.

Estos paneles son destinados a usos en interiores o a la elaboración de falsos techos. Para la terminación de estos productos se plantean pinturas (latex, vinyl) y además es técnicamente factible el recubrimiento con papeles o chapillas de madera.

De este primer análisis de la bibliografía se concluyó que parece ventajoso el estudio de la problemática de los tableros de bagazo – yeso como una alternativa más de obtención de paneles ligeros para la construcción a partir de materias primas nacionales.

El campo de los productos aglomerados con aglutinantes inorgánicos ha mantenido un creciente desarrollo debido fundamentalmente a las considerables ventajas técnico – económicas que aportan a la industria de materiales de la construcción, Valdés (1990) (27).

Los principales insumos de estas producciones son las partículas o fibras lignocelulósicas (fundamentalmente madera) y el aglutinante mineral (cemento, yeso o cemento de magnesio).

Se reportaron con anterioridad en el ICIDCA, estudios bibliográficos sobre aglomerados en base a cemento Portland o yeso, por lo que en esta revisión se trató sobre la temática del cemento de magnesio como aglutinante para tableros de partículas y las posibilidades de empleo del bagazo como materia prima lignocelulósica para estos fines.

Por medio del análisis de 13 bibliografías, se reportaron los antecedentes de estos productos y su desarrollo a nivel mundial, las características de las materias primas requeridas, los aspectos generales para la tecnología de producción, las propiedades y uso.

Lehky, M.; León, E. (1983) (28), efectuaron un análisis de la literatura que brindó una orientación general de la producción de productos moldeados, los cuales son usados en varias ramas de la producción como la industria del mueble, la construcción, envases y embalaje, la industria automotriz, etc.

En dicho análisis se incluyeron los productos moldeados de partículas y los de fibras, de los primeros se señalan los principios básicos de producción, los procesos usados para la fabricación: Thermodyn, Collipress y Werzalit y se profundizó en la utilización de los productos moldeados producidos por el proceso Werzalit.

En relación a los productos moldeados de fibras, se reportó, el desarrollo alcanzado con esa tecnología, las tecnologías para la fabricación de esos productos (productos moldeados producidos de tableros de fibra duro plano, los productos moldeados producidos de colchones de fibra plano y los productos moldeados producidos de colchones de fibras moldeados).

También se incluyó las posibilidades de la utilización del bagazo en la fabricación de los productos moldeados y los usos a que se destinan.

Por la forma que adoptan los productos moldeados para su producción requieren de equipos y moldes especiales.

Battle, en 1978 (29) realizó otro informe temático relacionado con las nuevas industrias afines a los derivados, tomando básicamente la información de la revista World Wood, resumiendo la panorámica mundial de las industrias forestales relacionadas con la producción de tableros.

Se reportó la situación de la industria forestal en los distintos continentes y tablas con el número de pantas de plywood, tableros de partículas, tableros de fibras, chapillas, con la producción de cada uno de ellos en m<sup>3</sup>.

Se observó que la economía de los productos forestales se había recuperado de la crisis ocurrida en 1975, al igual que la industria de los tableros de partículas y de fibras, así como el plywood y la chapilla.

En general en el año 1975 la producción de madera aserrada fue de 386 millones de m<sup>3</sup>; la de plywood de 34.5 millones de m<sup>3</sup>; la de tableros de fibras de 7 millones de m<sup>3</sup>; la de tableros de partículas 30,2 millones de m<sup>3</sup> y la de chapillas 3,6 millones de m<sup>3</sup>.

Battle, (1977) (30) realizó un estudio temático sobre la producción de tableros de fibras duros por el método seco, consultó 15 bibliografías y el contenido lo agrupó en el siguiente formato:

Una introducción con antecedentes, definición y usos.

La descripción de la tecnología que comprende: refinado, secado, encolado y aplicación de aditivos, formación, prensado, post-tratamiento.

Esquemas tecnológicos usuales, propiedades de los tableros.

Producción mundial conocida, aspectos económicos y las conclusiones.



De ese estudio se concluyó que la tecnología de tableros de fibras duro por el método seco, tiene como ventajas fundamentales sobre el método húmedo, el menor uso de agua de proceso así como la menor dificultad con la eliminación de efluentes.

Las tecnologías establecidas usaron un mayor o menor grado de resina fenólica para mejorar las propiedades de los tableros.

La tecnología de tableros de fibra de densidad media (MDF), proporciona un producto de mayor calidad si se compara con los tableros de partículas de igual densidad.

En el caso del bagazo es de esperar dificultades de alto consumo de energía en el secado, ya que este material absorbe la humedad con mayor velocidad que la madera según experiencias del Instituto de Investigaciones Forestal de la Madera (SDVU) en Eslovaquia.

El tratamiento superficial de los tableros con chapas sintéticas, Naranjo (1988) (31) permite ampliar su uso, además de en la fabricación de muebles, se emplean en la construcción para el revestimiento interior y exterior de las paredes y los techos (falso techo), con ellos se hacen puertas y armarios, se revisten instalaciones sanitarias y sirven para el entarimado de los pisos, constituyendo un valioso material para la decoración en general.

Las láminas sintéticas para el acabado de superficies están compuestas básicamente de un papel decorativo obtenido de celulosa al sulfato o al sulfito de alta calidad impregnado con una resina que puede ser del tipo termoreactiva o termoplástica como es la urea formaldehído o la melanina formaldehído.

En la búsqueda realizada por la autora, para ampliar los conocimientos sobre esta temática se detalla la tecnología de producción de los folios decorativos que consta

de las siguientes secciones: desbobinado, impregnación, prelaqueado, laqueado, secado y bobinado o corte. Las características que deben reunir el papel y las resinas y mezclas para la impregnación.

Se relacionaron algunas de las instalaciones comerciales existentes en diferentes países, los parámetros tecnológicos para el recubrimiento con folios decorativos y para su realización se revisaron varias patentes en la ONITENM, ABIPC de los años 1956, 1957, 1965, 1986, entre otros.

En el estudio bibliográfico sobre laminados de alta presión, León y Naranjo, (1991) (32), relacionaron literaturas con sus resúmenes que no fueron muy numerosas a pesar del amplio rango buscado.

Las literaturas consultadas fueron: ABIPC, Chemical Abstracts, TAPPI y Holz als Roh und Verstoff.

Esa búsqueda permitió ampliar los conocimientos sobre el proceso de producción de estos laminados, las características del papel base y sobre las resinas que se emplean.

González, (1976) (33), realizó un estudio de 30 referencias, donde se incluyó información sobre la producción de artículos moldeados mediante distintos procesos haciéndose énfasis sobre el sistema Werzalit.

Werzalit es un sistema alemán de fabricación de tableros prensados en moldes, de diversas formas, que se elaboran aglutinando con resina sintética el material fibroso bajo presión y calor en una prensa caliente en un solo paso combinándose el material central con el material superficial decorativo. La adición de hidrófobos reducen los fenómenos de contracción e hinchamiento.

La mayoría de los productos se obtienen sin necesidad de lijado, operación que generalmente resulta en pérdidas de 5 a 11 %. Para obtener un producto final de buena calidad es de suma importancia el estado de la superficie de los moldes, los que son de acero inoxidable con acabado de espejo y se rectifican cada cierto tiempo. El tiempo de vida útil de estos moldes es de aproximadamente 5 – 10 años. Mediante este proceso se fabrican un rango amplio de productos en diversos países. En la Isla de Guadalupe fue el primer país en utilizar el bagazo como materia prima.

Con el proceso Thermodyn, también se producen piezas moldeadas, para lo cual las astillas de madera con una humedad entre 10 y 17 % se cargan en los moldes y se pre prensan en frío a 180 kg/cm<sup>2</sup> y se ponen entonces en un molde hermético de acero especial y se someten a temperatura entre 160 a 290 °C y a presiones de 200 y 300 kg/cm<sup>2</sup>. Varios factores limitaron la aplicación industrial de este proceso.

El proceso Collipress, consiste en mezclar las astillas de madera con una pequeña cantidad de resina sintética y con aditivos que permiten lograr un producto adecuado para los trópicos, resistente al agua, puede almacenarse en frío, etc. El material se prensa en forma de caja con un lado abierto. La presión que se aplica está en el rango entre 60 y 100 kg/cm<sup>2</sup> y la temperatura entre 140 y 180 °C y el tiempo de prensado es sólo de 2 a 5 minutos de acuerdo al grueso.

El término de sellador es empleado comúnmente para definir una película fina de 0.5 a 1.0 mm que se adhiere a la superficie del sustrato y que le da a este propiedades que están en función siempre del polímero y de los rellenos que se le adicionen. Esta película sirve en ocasiones también como base para posibles acabados posteriores con lacas y pinturas, haciendo menos costoso un acabado de este tipo. Además se emplean colorantes, como rellenos del sellador, los cuales le confieren al acabado la tonalidad deseada.

Se realizó un estudio de la bibliografía por Serantes *et al.* (1986) (34), desde los años 1980 hasta el 1986 para buscar información sobre uso de selladores o tapaporos en general y específicamente sobre el empleo de resina urea formaldehído con ese fin, como punto de partida para las investigaciones que se realizarían sobre la búsqueda de la tecnología de uso de un sellador en base a dicha resina, con el objetivo básico de recubrir los tableros de las tres últimas plantas de tableros construidas en el país (Camilo Cienfuegos, Primero de Enero y Jesús Menéndez) que poseen líneas para ese tipo de recubrimiento pero diseñada para trabajar con poliéster.

Se reportaron las características de barnices empleados como selladores, en solución acuosa y en solución orgánica.

Las cargas utilizables en selladores se añaden con dos finalidades: para proporcionar determinadas propiedades o para abaratar el costo de los mismos. Las cargas deben reunir diferentes requisitos, pues no todas sirven como relleno de un polímero en general. Existen dos tipos de cargas: minerales y orgánicas.

Para polimerizar barnices y selladores se utilizan las radiaciones infrarrojas y ultravioletas.

En el ICIDCA en los años 1982 y 83 desarrollaron un sellador en base a urea formaldehído donde se utilizaron diferentes formulaciones con varios rellenos y cloruros de amonio como catalizador, pero se debió profundizar sobre este tema. En la bibliografía consultada no se encontró antecedentes sobre selladores en base de urea formaldehído.

## Bibliografía

1. Espinosa, J. A. Informe temático sobre la producción de tableros de fibras y partículas. ICIDCA. 1971
2. León, E., *et al.* Informe temático sobre elaboración de tableros de partículas de bagazo. ICIDCA. 1974
3. González, M. y colaboradores. Tendencia mundial de la producción de madera artificial de bagazo. ICIDCA. 1975
4. Batlle, E., Alternativas de las diferentes operaciones tecnológicas del proceso de producción de tableros de partículas: desmeollamiento, presecado, almacenamiento, molienda, clasificación y secado. ICIDCA. Informe temático. Parte 1. 1977.
5. Batlle, E., Alternativas de las diferentes operaciones tecnológicas del proceso de producción de tableros de partículas: encolado, formación, prensado, curado y lijado. ICIDCA. Informe temático. Parte 2. 1977
6. La Serna, N.; Almagro, R.; Carvajal, O.; Valdés, J.L.; de la Vega, E. Monografía sobre Productos aglomerados a partir del bagazo de la caña de azúcar. Editorial Científico Técnica. 1982
7. La Serna, N. Carvajal, O. Investigación y desarrollo de productos aglomerados a partir del bagazo. Revista ICIDCA V. 7 Número Especial 1983.
8. León, E. La resina fenólica y su aplicación en la industria del tablero. Revista ICIDCA. V. XVIII No. 1. 1984.
9. Perlac, J., Carvajal, O. Desarrollo en la producción de tableros de partículas (I) Revista ICIDCA Vol. XX No. 2 1986.
10. Perlac, J., Carvajal, O. Desarrollo en la producción de tableros de partículas (II) Revista ICIDCA Vol. XX No. 3 1986.
11. La Serna, N.; Almagro, R.; de la Vega, E.; Valdés, J.L.; Carvajal, O. La Industria de los derivados de la caña de azúcar. Capítulo X. Editorial científico Técnica. 1986.
12. Carvajal, O. La industria de tableros en Cuba. Revista ICIDCA. Vol. XXII No. 2 1988.

13. Trujillo, M.; Cruz, R. Resinas con base lignina estado actual del desarrollo. Revista ICIDCA Vol. XXVI No. 3. 1992.
14. Trujillo, M.; Serantes, M. Perspectivas de los lignosulfonatos en la industria de tableros. Revisión de la literatura. Suplemento Revista ICIDCA. No. 1 (1990).
15. León, E.; Valdés, J.L.; Almagro, R. Algunas consideraciones acerca de la utilización de los tableros de bagazo. Revista ICIDCA Vol. XVI No. 1. 1982.
16. Costales, R. Monografía: La industria de los productos aglomerados. Desarrollo sostenido. Editorial ICIDCA. 2013.
17. de la Vega, E. La producción de tableros a partir de bagazo. Informe interno ICIDCA. 1981.
18. León, E.; Noa, H.; Vázquez Tío, M.; Carvajal, O. Posibilidades técnico económicas de la producción de tableros de partículas a partir de bagazo. Informe interno ICIDCA. 1982.
19. Martínez, M.; León, E. Caracterización de la industria de tableros en el marco nacional e internacional. Informe interno ICIDCA. 1990.
20. León, E. Tecnología y usos de los tableros de fibras de densidad media (MDF) Informe temático. 1987.
21. López, R.; León, E. Características principales de la reacción de la urea con el formaldehído. Informe temático ICIDCA. 1988.
22. León, E. Tratamiento posterior y anterior al tablero para reducir el formaldehído libre. Informe temático ICIDCA. 1988.
23. León, E.; Coronado, C.; Morales, A. Reducción de formaldehído libre en la elaboración de resinas y productos aglomerados. Informe temático ICIDCA. 1988.
24. León, E. Tanino como aglutinante en productos aglomerados. Informe interno ICIDCA. 1988.
25. Valdés, J. L. Productos Aglomerados con Aglutinantes Inorgánicos. Posibilidades de empleo del bagazo. Revisión Bibliográfica. 1986.
26. Valdés, J. L. Estudio bibliográfico preliminar sobre paneles bagazo yeso. ICIDCA. Dpto. Productos Aglomerados. 1987.

27. Valdés, J. L. Revisión bibliográfica de tableros aglutinados con magnesita. ICIDCA. 1990.
28. Lehky, M.; León, E. Desarrollo de los productos moldeados de partículas y fibras y sus usos. Informe interno ICIDCA. 1983.
29. Batlle, E. Nuevas industrias afines de los derivados. Informe temático. ICIDCA. 1978.
30. Batlle, E. Producción de Tableros de Fibras por el Método Seco. Informe temático. 1977.
31. Naranjo, M. E. Estudio bibliográfico preliminar sobre la tecnología de producción de folios decorativos y el recubrimiento de los tableros. Informe ICIDCA. 1988.
32. León, E.; Naranjo, M. E. Estudio bibliográfico sobre laminado de alta presión. ICIDCA. 1991.
33. González, M. Productos moldeados procesos y aplicaciones. Informe temático. ICIDCA. 1976.
34. Serantes, M.; Morales, A. Selladores para tableros de partículas. Informe temático. ICIDCA. 1986.

# Capítulo 4. El bagazo. Desmedulado y tecnologías de almacenamiento para la industria de aglomerados

Dra. Ofelia Carvajal Cabo

En Cuba, la escasez de recursos forestales y el alto desarrollo de la industria azucarera, brindó grandes disponibilidades de bagazo, que dio como resultado que ésta fuera la única materia prima fibrosa empleada en la industria de tableros hasta el presente.

El bagazo es el residuo o remanente de los tallos de la caña de azúcar después que ésta ha sido sometida al proceso de extracción del jugo azucarado, saliendo del último molino con un 50% de humedad y un contenido residual de sacarosa de alrededor del 4 % (base seca).

Las características de este material fibroso aparecen reportadas por Hernández, (2013) (1), en la Memoria Compendiada de Bagazo y son las siguientes:

## Composición física

Físicamente, el bagazo está constituido por cuatro fracciones, cuya magnitud relativa está en dependencia del proceso agroindustrial azucarero.

Fibra	45 %
Sólidos no solubles	2-3 %
Sólidos solubles	2-3 %
Agua	51-49 %



## Composición morfológica

<b>Composición morfológica del bagazo integral (%)</b>	
Fibra	50
Parénquima	30
Vasos	15
Epidermis	5

De acuerdo con la experiencia industrial está claramente demostrado que para la producción de tableros, el bagazo debe ser mejorado morfológicamente separando la mayor cantidad posible de tejido parenquimatoso con lo que se eleva proporcionalmente el contenido de fibras., esta operación se conoce con el nombre de desmedulado o desmeollado, (términos que indistintamente los autores utilizaron, al igual que meollo o médula, en los diferentes capítulos de la presente Memoria).

<b>Propiedades biométricas de la fibra de bagazo</b>			
Longitud promedio (mm)	Diámetro promedio ( $\mu\text{m}$ )	Diámetro del lumen ( $\mu\text{m}$ )	Ancho de pared ( $\mu\text{m}$ )
1,5	20	12	4

En la siguiente tabla se muestran las propiedades químicas del bagazo integral, la fracción fibra y la médula o meollo.

## Composición química del bagazo (%)

	<b>Integral</b>	<b>Fracción fibra</b>	<b>Médula</b>
Celulosa	46,6	47,0	41,2
Pentosanos	25,2	25,1	26,0
$\alpha$ celulosa	38,3	40,4	-
Lignina	20,7	19,5	21,7
Extractivos A/B	2,7	2,3	2,9
Solubilidad en agua caliente	4,1	3,4	4,2
Solubilidad en agua fría	2,2	2,1	4,0
Solubilidad en sosa al 1%	34,9	32,0	36,1
Cenizas	2,6	1,4	5,4

El desmedulado y el almacenamiento son dos de las principales operaciones cuando se utiliza como materia prima lignocelulósica el bagazo de la caña de azúcar, en la producción de los diferentes tipos de aglomerados.

A continuación, se relacionan los principales trabajos, elaborados por los especialistas del Dpto. de Aglomerados del ICIDCA, sobre esta temática.

En la Monografía sobre sistemas y equipos de desmedulado en la industria del bagazo de la caña de azúcar, Lois, (1982) (2), señaló que es un hecho conocido que entre el bagazo y otros materiales lignocelulósicos existen diferencias que, de no tomarse en consideración, pudieran crear serias dificultades en la industrialización de los derivados, siendo una de ellas la que está relacionada con la operación de desmedulado, fundamentada en algunas tecnologías, entre ellas los

productos aglomerados, ante la necesidad de eliminar la médula como componente indeseable.

Como resultado de los esfuerzos aplicados en la industrialización del bagazo, se crearon sistemas y equipos de desmedulado, perfeccionándolos cada vez más, encontrándose muchos de ellos en explotación comercial a gran escala en la actualidad. En esta publicación se hace un análisis del desarrollo de algunos métodos y equipos modernos de desmedulado, exponiéndose características técnicas y datos de capacidades, así mismo, se relacionan equipos auxiliares y otras cuestiones que pudieran ser de interés en esta temática tan importante para las industrias de derivados a partir del bagazo.

En la Monografía: El almacenamiento de bagazo para la industria de derivados, Suárez, *et al.*, (1982) (3), expusieron que uno de los aspectos importantes asociados con el bagazo como materia prima, es el de su almacenamiento, ya que salvo unas pocas excepciones en el mundo, las fábricas de azúcar de caña operan sólo durante una parte del año, por lo cual las industrias consumidoras de bagazo, están obligadas a incluir costosas instalaciones para almacenar la materia prima que consumen durante la época de no zafra.

En esa Monografía, se hace una revisión de las distintas alternativas disponibles para el almacenamiento de bagazo. Se analizó la información de la literatura mundial y las experiencias industriales e investigaciones cubanas sobre esta materia prima, de gran importancia para el efectivo desarrollo de una industria derivada del principal recurso fibroso del país: el bagazo de la caña de azúcar.

En particular se reflejó los diferentes sistemas empleados en las plantas productoras de tableros, existentes en el país.

El almacenamiento del bagazo es una de las operaciones a tener en cuenta en la tecnología de producción de tableros, utilizándose con más frecuencia pacas húmedas o presecadas.

Carvajal, *et al.* (1974) (4), trataron sobre otra posible alternativa, para el almacenamiento de bagazo, se estudió el tipo a granel húmedo, utilizando el bagazo existente en la pila industrial de la papelera capitán “Guillermo Geilín” de Cárdenas, Matanzas, con 14 meses de almacenamiento, empleando 8 y 10% de resina urea formaldehído. Se observó que los hechos con 10% están en el rango de los reportados para tableros de primera calidad y presentan alrededor del  $95 \pm 2\%$  de los elaborados con bagazo almacenado en pacas.

En otro trabajo relacionado con esta temática, Carvajal, *et al.* (1975) (5), estudiaron la influencia del tiempo de almacenamiento en pacas normales, así como presecadas, en las propiedades de los tableros, lo cual se desarrolló mediante muestreo trimestral por un período de 12 meses.

Se analizó la composición granulométrica y morfológica del bagazo empleado y se planteó que el tiempo de almacenamiento y el desmedulado influyen sobre las características del mismo.

Para el bagazo almacenado en pacas los azúcares residuales van disminuyendo bruscamente respecto al tiempo, manteniéndose altos en el mismo período de tiempo para el presecado.

El tiempo de almacenamiento influye sobre las características de la materia prima y en las propiedades de los tableros, con un efecto más marcado para el bagazo almacenado en pacas normales.

Carvajal, *et al.* (1983) (6), realizaron un trabajo que tuvo como objetivo, el estudio del sistema de almacenamiento de la fábrica de tableros de partículas anexa al central Azucarero “Camilo Cienfuegos”, situado en Santa Cruz del Norte.

Se analizaron las características físico – químicas del bagazo almacenado presecado desde el punto de vista químico, biométrico, así como el contenido de fibra y meollo. Se describe las características de la zona de empaque y de almacenamiento de dicha fábrica.

Las características de las pacas fueron las siguientes:

Dimensiones: 800 x 800 x 1 300 mm

Peso: 250 ± 10 kg (b.s.)

Humedad 20 ± 3%

Las que se situaron en tongas en forma de pirámides de 40 x 20 x 10 metros, el entongue se realizó en la forma convencional pero sin canales de ventilación por no ser necesario.

Se concluyó que el bagazo almacenado desmeollado y presecado presentó en el período de tiempo estudiado, poca variación desde el punto de vista de sus características físico-química, manteniendo los requerimientos necesarios para la producción de tableros de partículas con calidad estable durante todo el año.

El proceso de preparación del bagazo como materia prima para la industria de los productos aglomerados incluye, como primera etapa la operación de separación del tejido parenquimatoso de la parte fibrosa de la caña que constituye la materia prima fundamental para la elaboración de estos productos.

La separación del tejido parenquimatoso del fibroso se puede realizar por diferentes métodos y equipamientos, Castellanos, (1984) (7).

El sistema que se analizó en ese trabajo fue el desmeollamiento de bagazo integral al 50 % de humedad y de forma mecánica mediante el equipo desmeollador Pallmann “Centurion 12 – 1200”, que fueron los instalados para esta operación anexa al Central “Camilo Cienfuegos”, suministrador de la fracción fibrosa a la fábrica de tableros del mismo nombre.

En el III Capítulo de la Memoria compendiada en formato digital, sobre el bagazo de la caña de azúcar, Carvajal, (2013) (8), expuso las diferentes etapas de tratamiento a que es sometido el bagazo, para ser utilizado en las industrias de derivados, donde se emplee este residuo fibroso, como materia prima. Entre estas etapas, se describe la operación de desmedulado, exponiendo en qué consiste, el equipamiento que se emplea, entre otros aspectos.

En esa misma obra, en el capítulo IV, Brizuela y otros, expusieron sobre los diferentes métodos de almacenamiento y explica la importancia de esa operación para utilizar el bagazo de la caña de azúcar en la industria de derivados.

En el Manual de los derivados de la caña de azúcar. Parte 2. Materias primas, 2.2 Bagazo, Gastón, (2000) (10), describió sobre el desmedulado del bagazo, su importancia, los diferentes métodos existentes de acuerdo al derivado que se vaya a producir. También explicó la necesidad de almacenar el bagazo para la industria de los derivados, se expuso resumidamente los diferentes tipos de almacenamiento: a granel, pacas húmedas, pacas presecadas y en briquetas.

Uno de los principales aspectos a tener en cuenta para lograr con éxito la conversión del bagazo de la caña de azúcar en tableros aglomerados de partículas es su almacenamiento y conservación durante el receso de la zafra azucarera, Valdés, *et al.* (1990) (11). Con tal fin se han desarrollado diversos sistemas y métodos de almacenamiento, siendo el más difundido la construcción de pilas en forma piramidal. Además se ha generalizado la práctica del desmeollado del bagazo previo

a su empaque, dadas las indeseables características que aporta la médula al producto final entre otras causas.

Por tal motivo, en el ICIDCA, durante varios años se realizaron investigaciones sobre la utilización de un licor microbiológico para acelerar el proceso de secado y mejorar los índices de conservación de bagazo durante su almacenamiento en pacas, en forma húmeda tomando como experiencia trabajos desarrollados en Brasil bajo la nominación de Bagatex. Con el objetivo de analizar el empleo de este producto en la práctica y evaluar los resultados, se realizó una prueba industrial en la planta de tableros “ProCuba” durante el año 1990, donde tuvo lugar la impregnación del bagazo con el licor en la tolva de alimentación a las empacadoras en cantidades aproximadas de 8,25 l/ton.

Los resultados preliminares indicaron un efecto favorable sobre el secado del bagazo, alcanzando cifras que indican que fue posible utilizar el material fibroso con 1 mes de almacenamiento, los tableros elaborados con este material también dieron resultados de acuerdo a los valores establecidos.

A solicitud de la Dirección de Derivados del MINAZ, se procedió a evaluar la calidad del bagazo de la planta de tableros de partículas “Camilo Cienfuegos” en la zafra 1986, para ello se tomaron 18 muestras de ellas 9 correspondían a bagazo integral y 9 a bagazo desmeollado. Valdés, *et al.* (1986) (12).

Se empleó la técnica DP – 1 para el análisis de fibra y meollo y la DP- 2 para el análisis granulométrico, utilizando las mallas con aberturas 6.3, 4.0, 2.0, 1.0, 0.5, 0.2 y el colector. En todos los casos se ambientaron las muestras hasta alcanzar la humedad de equilibrio.

Las técnicas DP-1 y DP-2 utilizadas, aparecen en el Manual Analítico para el Control de la Producción de Tableros de Partículas de Bagazo. 1979. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Fibra y meollo: (Se reportan los valores promedios de las 9 muestras).

<b>Bagazo integral</b>			<b>Bagazo desmeollado</b>		
% fibra	% meollo	% finos y solubles	% fibra	% meollo	% finos y solubles
56,2	31,8	12,0	71,5	16,0	12,5

Los resultados de fibra y meollo para el bagazo integral y desmeollado, se comportaron en niveles adecuados, comparados con los de la zafra de 1980.

Granulometría: (valores promedios de las muestras)

<b>Bagazo integral: % Retenido en mallas con aberturas</b>						
6,3 mm	4,0 mm	2,0 mm	1,0 mm	0,5 mm	0,2 mm	0,0 mm
16,8	12,5	18,0	18,1	20,6	10,8	3,2
<b>Bagazo desmeollado</b>						
5,6	9,5	35,4	26,6	15,8	5,0	2,1

Con estos resultados, se corroboró que es una materia prima apta desde el punto de vista de composición morfológica para obtener tableros de buena calidad.

Como es conocido a mediados de la década del 70, Cuba desarrolló un fuerte proceso inversionista en la rama de los tableros de partículas de bagazo, instalando como se ha mencionado con anterioridad tres nuevas plantas (Camilo Cienfuegos, Primero de Enero y Jesús Menéndez, ésta última con 2 líneas de producción. Estas fábricas fueron concebidas con un sistema de almacenamiento en pacas de grandes dimensiones de bagazo desmeollado y presecado (20 % H. b.s.) con vistas a lograr una buena preservación del material lignocelulósico. Valdés, *et al.* (1990) (13).

A la luz de las insuficientes fuentes energéticas con que cuenta nuestra nación y por iniciativa de los técnicos de la planta de tableros “Jesús Menéndez”, la



tecnología de almacenamiento de dicha planta fue modificada en 1985, introduciendo la modalidad de no presecar el material fibroso y almacenarlo en forma de pacas húmedas, manteniendo las dimensiones originales. Con este procedimiento se persiguió lograr el secado natural del bagazo durante su estancia en el patio de almacenamiento y eliminar por tanto el consumo de combustible en la operación de presecado.

Por lo que con ese trabajo se pretendió evaluar la incidencia que esta modificación pudo tener en las propiedades finales de los tableros elaborados.

Se inició el trabajo caracterizando el bagazo, evaluando las pérdidas durante el almacenamiento en el rango de 2 a 10 meses y determinando las propiedades físico – mecánicas de los tableros producidos.

En las conclusiones del trabajo se expresó que no se apreciaron afectaciones en la composición morfológica del bagazo por un período de hasta 200 días de almacenamiento en pacas desmeolladas y húmedas. El comportamiento frente a la molienda no arrojó diferencias con tiempos de hasta un año. No se observó diferencias en las propiedades de los tableros elaborados con bagazo fresco y bagazo almacenado hasta 175 días. Los ahorros de combustibles pudieron estar entre 10 y 15 gls./m<sup>3</sup> de tableros referidos a la tecnología original.

Como es conocido, nuestro país basa su producción de tableros de partículas, en el uso del bagazo de la caña de azúcar como materia prima. Se sabe que uno de los factores que influyen de manera decisiva en la obtención de tableros con buenas propiedades es la calidad de la materia prima lignocelulósica que se emplee. Para el caso del bagazo dos de los parámetros físicos de mayor importancia para definir su calidad son el contenido de fibra y meollo y la composición granulométrica.

Por lo que Valdés, *et al.* (1986) (14) expusieron los resultados alcanzados en la evaluación física del bagazo suministrado a la fábrica de tableros Camilo

Cienfuegos durante la zafra de 1986. En los resultados, se alcanzaron valores apropiados tanto de la granulometría como en el contenido de fibra y meollo, muy cercanos a los logrados durante la zafra de 1980 en que se realizó una evaluación similar. Los tableros producidos en la etapa en que se realizó el trabajo presentaron buenas propiedades físico-mecánicas.

## **Bibliografía**

1. Hernández, A. Memoria compendiada en formato digital sobre El bagazo de la caña de azúcar. Editorial ICIDCA, 2013.
2. Lois, J. Monografía sobre sistemas y equipos de desmedulado en la industria del bagazo de la caña de azúcar. Editorial científico Técnica. 1982.
3. Suárez, R.; Lois, J.; Bambanaste, R.; Carvajal, O. El almacenamiento de bagazo para la industria de derivados. Monografía. Editorial Científico-Técnica. La Habana 1982.
4. Carvajal, O. *et al.* Influencia del sistema de almacenamiento a granel en las propiedades de los tableros de bagazo. 1974.
5. Carvajal, O.; Machado, L.; Puig, J. Influencia del sistema de almacenamiento del bagazo en las propiedades de los tableros de partículas. 1975.
6. Carvajal, O. Puig, J.; Leal, J, Coronado C.; Antigua, M. Martínez O. Estudio del almacenamiento de bagazo en la fábrica de tableros de partículas “Camilo Cienfuegos”. Revista ICIDCA Vol. XVII No. 1. 1983.
7. Castellanos, O. Evaluación del comportamiento de la instalación de *desmeollado en el Central “Camilo Cienfuegos”*. Zafra 1980 – 1981. Suplemento Revista ICIDCA No. 3 (1984).
8. Carvajal, O. *et al.* Memoria compendiada: El bagazo de la caña de azúcar. Editorial ICIDCA, Formato digital, Capítulo III, 2013.
9. Brizuela, M. A. *et al.* Memoria compendiada en formato digital sobre El bagazo de la caña de azúcar. Editorial ICIDCA, 2013.

10. Gastón, C.; Bambanaste, R.; Lois, J.; Alfonso G.; Herryman, M. Manual de los derivados de la caña de azúcar. Tercera Edición. Parte 2. 2000.
11. Valdés, J. L.; Puig, J. Biosecado del bagazo para la industria de tableros de partículas. Informe interno ICIDCA. 1990.
12. Valdés, J. L. y colaboradores Análisis de la calidad del bagazo en la planta “Camilo Cienfuegos” Caracterización física. Análisis fibra y meollo y granulométrico. ICIDCA. 1986.
13. Valdés, J. L.; Puig, J. Evaluación del sistema de almacenamiento de bagazo desmedulado y empacado en húmedo en la fábrica de tableros “Jesús Menéndez”. Informe Interno ICIDCA. 1990.
14. Valdés, J. L., de Armas, C. y Leal, J. Análisis de la calidad del bagazo de la planta de tableros Camilo Cienfuegos. Zafra 86. Revista ICIDCA Vol. XX No. 3 1986.

## **Capítulo 5. Tecnologías de producción de tableros de fibras**

Dra. Ofelia Carvajal Cabo

Los tableros de fibras, son los productos elaborados, en forma de panel, con fibras de materiales lignocelulósicos, cuya unión se debe, fundamentalmente, al entrelazamiento de las fibras y a las propiedades adhesivas inherentes a las mismas, y en cuya producción pueden actuar factores como temperatura, presión, adición de productos químicos y otros.

En nuestro Instituto, se acometió un plan de trabajo que tuvo por objetivo crear una base tecnológica fuerte que nos permitiera optimizar la tecnología de las plantas existentes y cooperar en el desarrollo de esta naciente industria en el país, los trabajos desarrollados para lograr este fin se exponen a continuación:

Entre los primeros trabajos realizados, Batlle, (1973) (1) brindó información sobre los resultados investigativos logrados en lo referente al proceso húmedo – seco que se utilizaba en la planta Primadera, ubicada en Amancio Rodríguez de Las Tunas, integrada al Central del mismo nombre, del cual recibía bagazo, vapor y energía eléctrica.

El proceso S-2-S (llamado así por tener las dos caras de los tableros lisas, en inglés smooth-2-side) es complejo en su tecnología, que implica pre-hidrólisis acuosa, máxima eliminación de meollo y finos, una dosificación correcta de los aditivos químicos, así como un grado de molienda que permita además de altas propiedades físico-mecánicas, una velocidad de secado apropiada, ya que la diferencia fundamental entre este sistema y los convencionales húmedos, consiste en que después de la formación húmeda, el prensado se hará al colchón previo secado en horno de túnel. En otra etapa de secado la humedad se lleva hasta cerca del 0% y a la vez se eleva la

temperatura en el interior del colchón. De esta forma se puede prensar sin mallas y en un tiempo corto, siendo la temperatura de la prensa de 250 °C.

En el estudio, se analizó la influencia de tres temperaturas de pre-hidrólisis a tiempos variables, obteniéndose, que la mejor temperatura de trabajo fue la de 170°C en el rango de 15-20 minutos de cocción.

Se observó que para el bagazo, los rendimientos en pulpa refinada son inferiores en un 10-15% a los obtenidos con madera a las mismas temperaturas y tiempos de cocción, siendo la temperatura recomendable de trabajo de 170 °C.

Estos resultados sirvieron de base para optimizar la tecnología utilizada actualmente en Cuba.

Battle, (1974) (2), asesoró un trabajo, que permitió tener un criterio sobre la influencia que el factor variedades de la caña de azúcar podría tener en el producto final, o sea, en la elaboración de los tableros de fibra por el método húmedo seco (S-2-S).

Se seleccionaron variedades de caña de azúcar que estuvieran dentro de las más difundidas en nuestro país o en proceso de implantación.

Se observaron diferencias significativas en las propiedades de módulo de ruptura y elasticidad de los tableros obtenidos con las distintas variedades, siendo la B-42-231 la que presentó las propiedades más bajas.

Los mayores rendimientos en pulpa total fueron para las variedades J-60-5, B-42-231 y Mezclada, que pueden estar relacionadas con las características ante de la molida de éstas.

Sobre la tecnología de producción de tableros de fibras, Batlle, *et al.* (1974) (3), analizaron las variaciones en la composición química y morfológica de la materia prima bagazo durante un período de 12 meses de almacenamiento en pacas.

En las condiciones ideales en que fue almacenado este bagazo, la composición química varió ligeramente en el tiempo estudiado pasando a ser luego un material prácticamente estable. Se planteó que con tongas industriales de pacas, las variaciones pudieran ser más marcadas.

Se observó un incremento de la holo y la alfa-celulosa en la materia prima durante los primeros siete meses de almacenamiento y posteriormente un ligero descenso. También se observa la misma tendencia con el contenido de lignina.

Los factores tiempo de almacenamiento y desmeollamiento del bagazo incidieron en la longitud de las fibras elementales del mismo y esto pudo variar según los equipos empleados y la humedad a que se realice esta última operación.

En la segunda parte del trabajo anterior, los mismos autores (1984) (4) estudiaron la influencia del tiempo de almacenamiento en pacas en las propiedades de los tableros de fibras duros por el método húmedo – seco.

Se observó que durante los 7 primeros meses de almacenamiento existió una tendencia a incrementar el valor del módulo de ruptura en función del tiempo, y que a partir de ese punto hasta los 12 meses, este disminuye bruscamente hasta llegar a ser menor que el del punto inicial (bagazo fresco). Ese comportamiento parece estar más relacionado con la composición química que con el grado de molido o la composición granulométrica de la pulpa.

Se hizo un breve análisis de la composición granulométrica del bagazo empleado y se planteó que el desmeollamiento y otras operaciones necesarias en esta tecnología tienen gran influencia en los resultados antes expuestos, pero que en la

práctica industrial es de esperarse un comportamiento semejante o parecido para los parámetros de cocción y tiempo de almacenamiento estudiados.

Sobre la temática de los tableros de fibras, Rodríguez, *et al.* (1975) (5), realizaron una investigación que tuvo como objetivo estudiar los parámetros fundamentales y conocer las calidades de los tableros de fibras por el método húmedo a partir del bagazo.

Se tomaron como variables el tiempo de mantenimiento a la temperatura de cocción (5 – 25 min.), el grado de molido (10 – 20 °SR) y la temperatura de cocción (155 – 175 °C). Las respuestas estudiadas fueron: densidad, módulo de ruptura (MOR), absorción en agua en 24 h e incremento de espesor en 24 horas de inmersión.

Se observó que a un aumento de la temperatura de cocción, que fue la variable de más peso, el grado de molido y el tiempo de mantenimiento a la temperatura de cocción aumentan notablemente la densidad y el módulo de ruptura (MOR), disminuyendo con ambos la absorción y el incremento del espesor en 24 h, siendo estas propiedades favorables a los tableros de fibras.

Se recomendó no trabajar a temperaturas mayores de 175 °C, ni menores de 160 °C, debido a dificultades de operación tales como, demoras en el drenaje en la formación del colchón en el caso de las mayores de 175 °C y alto consumo de energía en la molido en las menores de 160 °C.

Los rangos de operación más favorables al proceso fueron:

Temperatura de cocción 165 – 175 °C

Tiempo de mantenimiento en cocción 15 – 25 min.

Grado de molido 15 – 20 °SR.

Para producir tableros de fibras aislantes, Suárez, (1977) (6), realizó el estudio de las variables tiempo de mantenimiento, temperatura de cocción, así como pruebas

tentativas para la determinación del grado de molienda adecuado, con la finalidad de adquirir el conocimiento tecnológico requerido para su producción en el país.

En Cuba, se elaboraban industrialmente tableros de fibras aislantes sin observar los parámetros que garantizaran la calidad establecida.

La demanda de este tipo de tableros se incrementó por esos años notablemente por el auge de las construcciones y el análisis que definió las ventajas de costo, calidad y resultado que representa su utilización.

Para ese trabajo se utilizaron como variables a estudiar el tiempo de mantenimiento y la temperatura de cocción a 165 – 175 °C y 20 – 40 min.

Las variables que se mantuvieron constante fueron: el % de fibras en bagazo 75 – 80 %, el grado de molienda 15 – 17 °SR, la formación húmeda y el tiempo de elevación en digestión 50 min.

De los datos obtenidos del trabajo experimental se observó que la densidad se mantuvo en un rango entre 0,30 – 0,36 g/cm<sup>3</sup>, los valores de módulo de ruptura oscilaron entre 24 y 39 kg/cm<sup>2</sup>, sin embargo los valores de absorción y dilatación dieron valores muy elevados.

En resumen se pudo establecer que por los resultados obtenidos en la elaboración de tableros aislantes con bagazo a nivel de planta piloto, indicó la factibilidad de su fabricación a escala industrial con bagazo.

Debido a los elevados precios del asbesto en el mercado internacional se estudió la sustitución de este producto por fibra de bagazo de forma parcial o total, con el objetivo de reducir las importaciones utilizando una fibra disponible nacionalmente. Serantes, *et al.* (1984) (7).



Para el proceso de fabricación de estos productos, el asbesto en forma de pulpa se mezcla con cemento en una relación aproximada de 15 a 85 por ciento en peso, y se forma por filtrado una fina capa los cuales se superponen hasta alcanzar el espesor deseado, esta lámina se comprime y moldea con su posterior fraguado en ambiente húmedo y con temperatura.

Para la mineralización de la fibra se utilizó silicato de sodio y sulfato de aluminio. Se utilizó bagazo desmeollado y presecado de la fábrica de tableros “Camilo Cienfuegos” y asbesto con las siguientes proporciones:

<b>Tipo de asbesto</b>	<b>%</b>
P-4-30	21,2
P-5-65	48,5
P-5-50	24,3
P-6-45	6,0

Las variables estudiadas fueron el por ciento de fibra de bagazo, de asbesto, de silicato de sodio y de sulfato de aluminio y las propiedades estudiadas en los productos obtenidos fueron: absorción en agua, densidad, resistencia al impacto y resistencia a la flexión estática.

Los mejores experimentos logrados se obtuvieron con 2-5 % de fibra de bagazo y 0-4 % de fibra de asbesto.

Los valores en las propiedades estuvieron en el rango de 40 – 50 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la flexión, 1,3 – 1,4 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia al impacto, 30 – 40 % de absorción en agua y 1,1 – 1,3 gr/cm<sup>3</sup> de densidad.

Con la introducción de la fibra de bagazo en la producción de paneles de asbesto – cemento , se lograría un ahorro considerable en el costo del producto, así como la reducción de las importaciones de asbesto.

Para el estudio de composites de fibras de bagazo ignífugos, Serantes, *et al.* (2000) (8) produjeron un producto con las características de las utilizadas en la manufactura de moldeados de piezas y partes de la industria automotriz. Se le determinaron las propiedades físico - mecánicas así como también, se realizó un análisis visual de su aspecto físico.

Se presentó el diagrama de flujo utilizado para obtener los composites de fibras de baja densidad. El bagazo empleado provino de la fábrica de tableros de partículas “Camilo Cienfuegos”, donde fue desmeollado y posteriormente presecado y empacado. Las prehidrólisis fueron realizadas en un reactor cilíndrico rotatorio de 15 litros con calentamiento eléctrico con hidromódulo de 6:1 y temperatura de cocción de 170 °C, continuando con el proceso tecnológico característicos de los tableros de fibras.

Para determinar la resistencia al fuego de los composites, se estudiaron tres tipos de productos, los cuales se conocen comercialmente como BX-78, Boral, (cubano) y PCF (francés), el primero a partir de formaldehído, urea y fosfato diamónico y el segundo basado en ácido bórico y el tercero es un producto francés conocido con el nombre comercial PCF.

Propiedades físico-mecánicas de los composites elaborados:

Espesor (mm)	11.20
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	278
Flexión (MPa)	1.83
Humedad (%)	4.37
Dilatación 2h (%)	2.70
Absorción 2h (%)	40.3

En los composites que se elaboraron se obtuvieron propiedades físico-mecánicas apropiadas para el uso previsto en partes y piezas para interiores de autos, falsos

techo etc., con fibras de bagazo de caña de azúcar con un grado de molienda de 24°SR.

Para la aplicación del ignífugo a los composites resultó más adecuado el método por tratamiento superficial.

De los productos estudiados, se logró mejores resultados con el ignífugo con base fosfato de amonio llamado BX-78.

En el Manual de los derivados de la caña de azúcar. Parte 3. Derivados del bagazo, en el punto 3.17, Tableros de fibras de bagazo, Carvajal, *et al.* (2000) (9), expusieron las características del producto, los usos, el proceso tecnológico, los aspectos económicos como el costo de inversión de una planta, los precios y la capacidad instalada de tableros de fibras en Cuba y la producción mundial.

A solicitud del MICONS, se realizó un trabajo con el objetivo de buscar nuevas alternativas de materiales de construcción para la elaboración de viviendas unifamiliares y la panelización de edificios altos, con elementos de producción nacional y que sean ventajosos desde el punto de vista económico.

El trabajo fue ejecutado en la planta piloto del Dpto. de Aglomerados del ICIDCA, por Serantes, *et al.* (1987) (10) utilizando bagazo desmeollado del central “Camilo Cienfuegos” y resinas urea formaldehído y fenol formaldehído sintetizada en los laboratorios del mencionado departamento.

Las variantes realizadas fueron las siguientes:

1. Centro: Tableros de baja densidad con resina UF - Superficies: Tableros de fibras de 3,5 mm de espesor con resina PF.
2. Centro: Tableros de baja densidad con resina UF – Superficies: Tableros de fibras de 3,5 mm de espesor sin resina.

3. Centro: Tableros fenólicos de baja densidad – Superficies: Tableros de fibras de 3,5 mm de espesor con resina fenólica.
4. Centro: Tableros de baja densidad con resina UF - Superficies: Tableros de fibras de 3,5 mm de espesor con tratamiento de aceite.

Se realizaron 4 paneles de cada variante.

Una de las propiedades de mayor importancia para el uso a que se destinarían estos paneles, fue la dilatación por inmersión en agua durante 24 h, los resultados obtenidos de dicha propiedad en las 4 variantes fueron satisfactorias, aunque como era de esperar con la variante 3 se obtuvo un valor ligeramente más bajo, ya que ambos tableros contenían resina fenólica.

Por el valor de la totalidad de las propiedades, se recomendó las variantes 3 y 4, de acuerdo a la disponibilidad de materias primas.

En cuanto a la selección del tipo de recubrimiento, la variante con folio, es la de mayor estética y podrían ser utilizadas para construcciones especiales.

Ahora bien, la decisión final debió ser valorada por los especialistas del MICONS, teniendo en cuenta los aspectos económicos y las facilidades constructivas.

Batlle, *et al.* (1973) (11) efectuaron un estudio exploratorio de las características químicas del bagazo almacenado a granel por el sistema empleado en la papelera. “Técnica Cubana” así como las propiedades de los tableros de fibra duros por el método S~2-S obtenidas con este bagazo y se compararon con bagazo en pacas de diferentes procedencias y edades.

Se observó para los tableros elaborados con bagazo almacenado a granel en condiciones apropiadas, un 90% de las propiedades del bagazo en pacas almacenado en condiciones ideales. Para los tableros de zonas de alta degradación

se observaron valores del 70 % del de bagazo en pacas antes mencionado. La zona de alta degradación corresponde al 5-7 % del total de la pila y normalmente en la operación industrial se desecha.

Se observó un ligero incremento en el rendimiento en pulpa total del bagazo almacenado a granel.

La fábrica de tableros de fibras PRIMADERA, perteneciente al CAI "Amancio Rodríguez" en Las Tunas, utilizó tradicionalmente como material lignocelulósico el bagazo de la caña de azúcar. Carvajal (1994) (12).

A principio de la década del 80, esta planta fue modernizada, alcanzando una capacidad de 7000 m<sup>3</sup>/año, para lo cual se modificó sustancialmente el sistema de preparación de la pulpa, sustituyéndose los digestores por termodefibradores con el objetivo de obtener tableros de superior calidad.

Años más tardes los digestores fueron utilizados en una pequeña planta anexa que se construyó para la producción de furfural.

Debido a la situación económica que presentó el país, la producción de ambas plantas se paralizó y se hicieron análisis desde el punto de vista técnico económico con el objetivo de definir las mejores alternativas para la posible explotación de las mismas.

Se analizaron dos variantes:

- La planta de tableros de fibras con su producción tradicional por el método húmedo seco o modificándola para producir por el método húmedo, lo cual permitiría eliminar el secador y por tanto disminuir los consumos energéticos.
- La planta de tableros de fibras integrada a la producción de furfural, utilizando la celolignina residual del proceso para producir tableros.

Del trabajo realizado se comprobó la factibilidad técnica a escala de laboratorio del uso de la celolignina para la producción de tableros de fibras. Obteniéndose mejores resistencia a la flexión en los tableros elaborados por el método húmedo. Se alcanzaron valores aceptables para el resto de las propiedades.

Serantes, (2005) (13) estudió el efecto de la densidad y el porcentaje de resina fenol formaldehído, soluble en agua, en las propiedades de los composites de fibras de bagazo de caña de azúcar. Se realizaron experimentos preliminares sobre las variables a estudiar, seleccionándose densidades entre 400 y 800 kg/m<sup>3</sup> y porcentaje de resina entre 5 y 10 %.

El método utilizado fue el método húmedo convencional de producir tableros de fibras y la resina se añadió en el proceso de formación de los mismos, no se añadió sulfato de cobre ni ácido sulfúrico para ajustar pH para comprobar el efecto verdadero de la resina fenol - formaldehído añadido.

Se obtuvieron buenos resultados cuando la densidad estuvo en el orden de 650 a 800 kg/m<sup>3</sup>.

La variable que tuvo mayor efecto en la resistencia a la tracción y la resistencia a la flexión fue la densidad.

En la dilatación en 24 horas la variable de mayor influencia fue el % de resina fenol formaldehído.

La influencia del tiempo de almacenamiento del bagazo en pacas en las propiedades de los tableros de fibras duros elaborados por el método húmedo – seco, fue analizado en este trabajo por Batlle, *et al.* (1977) (14)

El muestreo del bagazo para la realización de esta tarea fue realizado en el Central F.N.T.A. en Las Villas, donde fue pre-desmeollado en equipos Horkels, seguido de cernidores rotatorios y posteriormente empacado.

Los tiempos de muestreo fueron inicial, 1, 3, 7, 10, y 12 meses.

De los datos de este trabajo, se infirió que el tiempo de almacenamiento o edad del bagazo influye sobre las propiedades de los tableros.

A partir del 7 mes de almacenamiento, las propiedades físico–mecánicas disminuyeron bruscamente. Aunque durante los 7 primeros meses de hubo un incremento en el valor del módulo de ruptura que al parecer está relacionado más con la composición química de la pulpa que con su grado de molido o composición fraccional.

Sobre esta misma temática del almacenamiento, Batlle, *et al.* (1978) (15) llevaron a cabo investigaciones utilizando el sistema a granel del bagazo con adición de agua, según el método desarrollado en la papelera “Capitán Guillermo Geilín” (Técnica Cubana) de Cárdenas, Matanzas.

Como es conocido, en este tipo de almacenamiento, el bagazo está sometido a prácticamente todos los efectos que tienden a degradar la celulosa. Por lo que en ese trabajo se pretendió establecer la afectación que la materia prima bagazo pudo sufrir, atribuible a este sistema de almacenamiento y preservación.

El muestreo se realizó a la tonga de bagazo correspondiente a la zafra 1972 – 1973, del que habían aproximadamente 40 000 T.M. en base seca de bagazo parcialmente cernido en zaranda vibratoria. Se hicieron en total 5 muestreos.

Se observó que la coloración del bagazo producto de este sistema de almacenamiento, tiende a incrementarse según se profundiza en la tonga, lo que a la vez corresponde a mayor edad del bagazo.

Las coloraciones predominantes en los distintos períodos de muestreo, no evidenciaron tener influencia en la composición química del bagazo.

En los muestreos se evidenció un cierto grado de formación de ácido acético, cuyo efecto no altera la composición química de la materia prima.

Las pérdidas de bagazo en este sistema de almacenamiento son mínimas, del orden del 3 %.

Los datos de holocelulosa, a-celulosa, lignina y pentosanos, no tienen efecto significativo con la edad del bagazo, para el período estudiado.

La edad del bagazo almacenado por este sistema, no influye en la composición morfológica de las fibras, después de la operación de desmeollamiento.

Lo anterior nos permitió afirmar que este sistema de almacenamiento preserva la calidad del bagazo, por lo que es recomendable para esta industria.

Sobre la temática del almacenamiento del bagazo, Rodríguez, *et al.* (1976) (16) efectuaron otro trabajo que tuvo como alcance y objetivo hacer un estudio comparativo del almacenamiento en pacas techadas y a granel y obtener criterios que permitan establecer diferencias entre ambos sistemas.

Tradicionalmente se utilizaba el almacenamiento en pacas en las fábricas de tableros del país, por ser el método más conocido, pero sus desventajas técnico – económica con respecto al almacenamiento a granel para la producción de tableros de fibras ha despertado el interés de estudiar profundamente ambos sistemas.



Se señaló que el trabajo solo tuvo fines comparativos debido a la escala de las pilas tanto de pacas desmeolladas como la pila de a granel, que no fueron representativas para la extrapolación de los resultados a nivel industrial.

Las variables que se estudiaron fueron grado de desmeollamiento, tiempo de almacenamiento y tipo de almacenamiento. Y las variables dependientes fueron el módulo de ruptura, la densidad, absorción y dilatación en agua en 2 y 24 horas y la tracción perpendicular.

Se tomaron muestras de bagazo de los dos tipos de almacenamiento cada 2 meses y con el mismo se le hicieron análisis y se produjeron tableros. De acuerdo a las características físicas, químicas y morfológicas estudiadas, el bagazo almacenado en pacas es más estable en su composición que el almacenado a granel en estas pilas experimentales, a medida que pasaba el tiempo de almacenamiento.

Los rendimientos en todo el proceso fueron superiores en el bagazo almacenado en pacas debido a la alta degradación que ocurre en la pila de granel por sus malas condiciones ambientales y su poco control, sin embargo no se obtuvieron diferencias significativas en los resultados de las pruebas físico-mecánicas de los tableros. Por lo que recomendaron hacer una evaluación económica comparativa de los dos sistemas, pues tecnológicamente puede sustituirse de acuerdo a los resultados obtenidos, el almacenamiento en pacas por el de granel para el caso de los tableros de fibras.

Sobre el estudio realizado por Batlle, *et al.* (1974) (17), sobre el panel interior o alma hueca en base a tableros de fibra, propusieron una variante basada en la sustitución de la madera natural de los marcos por tableros de partículas, pero se destaca que éste no posee la calidad del anterior.

En el trabajo se hizo una breve explicación de la forma de pegar los tableros de partículas entre sí, así como de las resinas a emplear.

Se dieron algunos criterios sobre uniones y fijaciones, se describió la tecnología de elaboración y la metodología para pegar los tableros de partículas entre sí por sus caras.

Finalmente se señaló que el tabique propuesto puede ser una de las posibles soluciones a la problemática de las construcciones.

## **Bibliografía**

1. Batlle, E.; Suárez, J.; Rodríguez, N. Caracterización del proceso de elaboración de tableros de fibra duros a partir del bagazo de la caña de azúcar por el método húmedo- seco. Revista ICIDCA V.7 No.1 1973
2. Ruiz, N. *et al.* Influencia del factor variedad de caña en la elaboración de tableros de fibras duro por el método húmedo-seco. Revista ICIDCA V.8 No. 1 1974
3. Batlle, E.; Suárez, J.; Rodríguez, N. Influencia del método de almacenamiento a las propiedades de los tableros de fibra de bagazo. Afectación del tiempo de almacenamiento en la composición química y morfológica del bagazo en pacas. Revista ICIDCA. V8. No. 3. 1974
4. Batlle, E.; Suárez, J.; Rodríguez, N. Influencia del método de almacenamiento a las propiedades de los tableros de fibra de bagazo. Afectación del tiempo de almacenamiento en pacas en las propiedades de los tableros de fibra duros por el método húmedo-seco. Revista ICIDCA, V.98 No. 1 1975.
5. Rodríguez, N.; Suárez, J.; Hernández, A. Tecnología de producción de tableros de fibras. Método húmedo. Informe interno ICIDCA. 1975.
6. Suárez, J. Estudio de la producción de tableros de fibras aislantes. Informe interno ICIDCA. 1977.
7. Serantes, M. Gómez, I. Sustitución de asbesto por fibras de bagazo en los productos asbesto-cemento. Suplemento Revista ICIDCA No. 3 (1984).
8. Serantes, M.; Leal, J.A.; Carvajal, O.; Rodríguez M.A. Estudio de ignifugantes en composites de fibras de bagazo. Revista ICIDCA Vol. XXXIV No. 3. 2000.

9. Carvajal, O.; Martínez, M. Manual de los derivados de la caña de azúcar. Tercera Edición. Parte 3. 2000.
10. Serantes, M.; Carvajal, O. La producción de tableros de fibras con resina fenólica para su uso en la elaboración de paneles. Informe interno ICIDCA. 1987.
11. Batlle, E.; Suárez, J.; Rodríguez, N. Estudio sobre la influencia del método de almacenamiento a granel tipo Técnica Cubana en la elaboración de tableros de fibras duros por el método húmedo seco (S – 2 – S). ICIDCA. 1973.
12. Carvajal, O. Producción de tableros de fibras con bagazo y celolignina a escala de laboratorio. ICIDCA. 1994.
13. Serantes, M. Composites de de fibras de bagazo y resina fenol formaldehido. ICIDCA. 2005.
14. Batlle, E.; Rodríguez, N.; Suárez, J. Afectación del tiempo de almacenamiento en pacas en las propiedades de los tableros de fibras duros por el método húmedo – seco. 2da. Parte. Informe interno ICIDCA. 1977.
15. Batlle, E.; Suárez, J.; Rodríguez, N.; Garzón del INDAF. Influencia del método de almacenamiento en las propiedades de los tableros de fibras duros por el método S - 2 – S. Parte 3. Almacenamiento a granel según la metodología empleada en la papelera “Cap. Guillermo Geilín” (Técnica – Cubana), de Cárdenas, Matanzas. 1978.
16. Rodríguez, N.; Hernández, A.; Suárez, J. Estudio de métodos de almacenamiento y preparación del bagazo en la producción de tableros de fibras. Informe ICIDCA. 1976.
17. Batlle, E.; Casal, A. Tabiques de alma o interior hueco en base a tableros de fibras. Variante con tableros de partículas en sustitución de la madera natural. Comité Técnico de Paneles. Sector de la Construcción. 1974.

## **Capítulo 6. Tecnologías de producción de tableros de partículas**

Dra. Ofelia Carvajal Cabo

Los tableros de partículas lignocelulósicas son los productos elaborados, en forma de paneles, con partículas de materiales lignocelulósicos, aglomeradas con encolantes orgánicos, bajo ciertas condiciones de temperatura, presión y otras.

Al inicio de las investigaciones sobre la tecnología de producción de tableros de partículas, en el ICIDCA, se desarrollaron un número de investigaciones básicas, para determinar la influencia de algunas variables en las propiedades de los mismos, con el fin de dominar esta tecnología en el país, empleando bagazo, con vistas a apoyar las producciones en las plantas existentes y a futuras inversiones en este campo.

Entre los primeros trabajos realizados se encuentran los relacionados con el empleo de las resinas derivadas del furfural, ya que la resina más comúnmente usada como aglutinante en la industria del tablero, es la de urea-formaldehído, debido a su bajo costo y disponibilidad. También se emplean resinas de fenol-formaldehído o melamina formaldehído, en el caso que se requiera una mayor estabilidad en condiciones de alta humedad.

En Cuba, la industria de los tableros utiliza la resina urea-formaldehído, pero esta resina tiene dos grandes desventajas: es necesario importarla con el consiguiente gasto de divisas y tiene muy baja resistencia al agua, lo que limita grandemente el uso de este material en el clima de Cuba.

Debido a que Cuba no tiene fuentes de resinas fenólicas o de melamina, se decidió investigar la posibilidad de emplear resinas derivadas del furfural, el cual puede obtenerse del bagazo y además es un tema de investigación del Instituto.

Young, *et al.* (1968) (1), presentaron algunos de los resultados obtenidos en la preparación de tableros prensados, con bagazo como material fibroso y con resinas de alcohol furfurílico como aglutinante.

Los parámetros estudiados fueron: la densidad, el contenido de alcohol furfurílico, el catalizador y la temperatura de prensado. Los resultados demostraron que el alcohol furfurílico puede emplearse para obtener tableros prensados con una mayor resistencia al agua que los de urea-formaldehído. Se pudieron obtener tableros con buenas propiedades con un contenido de alcohol furfurílico de 12% y 14%.

Como se mencionó, la resina empleada como aglutinante para los tableros de partículas para ser utilizados en interiores, es la urea formaldehído, con el objetivo de ampliar el uso de los tableros para exteriores o lugares de alta humedad, Carvajal, *et al.* (1974) (2) se realizaron el estudio de la elaboración de tableros de partículas de bagazo utilizando como aglutinante resina fenólica, sintetizada y caracterizada en el laboratorio de Aglomerados del ICIDCA. El contenido de resina estudiado fue de 8 y 12%, y los resultados obtenidos se compararon con los hechos con resina de urea formaldehído al mismo por ciento.

Los elaborados con resina fenólica presentaron mayores módulos de ruptura y resistencia a la humedad, lo que permitirá su empleo en lugares de mayor humedad ambiental.

Carvajal, *et al.* (1974) (3), en un trabajo realizado que tuvo como objetivo, mostrar la dependencia que existe entre las propiedades físico – mecánicas de los tableros de partículas con la densidad, se elaboraron 10 tableros de 19 mm de espesor con densidades entre 0,45 a 0,85 g/cm<sup>3</sup> utilizando bagazo desmeollado y resina urea formaldehído, siguiendo el mismo proceso tecnológico convencional para la producción de tableros de partículas.

Los tableros fueron elaborados con 8 % de resina y con un 1% de emulsión de parafina respecto a la fibra seca.

Las propiedades que se determinaron fueron las siguientes: densidad, módulo de ruptura, tracción perpendicular, absorción en agua en 2 y 24 horas y dilatación en agua en 2 y 24 horas.

Los resultados corroboraron que a mayores densidades las propiedades de resistencia, como el módulo de ruptura, fueron superiores.

Es conocido que en el bagazo sobrante que se utiliza para la producción de tableros de partículas contiene cierta cantidad de azúcar residual, para determinar su influencia en las propiedades de estos tableros, Carvajal, *et al.* (1975) (4) tomaron bagazo almacenado en pacas con 12 meses de almacenamiento y para lograr diferentes niveles de azúcar, para el trabajo experimental se atomizó distintos % de azúcar en solución a este bagazo. Los tableros se elaboraron con resina urea formaldehído y fenol formaldehído, para observar el comportamiento de ambas resinas con los diferentes % de azúcar. Con anterioridad a la elaboración de los tableros se caracterizaron las resinas y se determinaron los tiempos de gelatinización a 100 °C con las mismas cantidades de azúcares que se utilizaron para los tableros.

El resultado obtenido demostró que al aumentar la concentración de azúcar se produce una afectación tanto en las propiedades mecánicas como físicas, para los dos tipos de resinas.

La operación de prensado, es una de las más importantes dentro de la tecnología de tableros de partículas, Puig, *et al.* (1976) (5) realizaron el estudio de las variables: temperatura (155-180 °C), presión (25-35 kg/cm<sup>2</sup>) y tiempo (6-10min), para conocer cómo influyen en las propiedades de los tableros de partículas.

Se elaboraron tableros de tres capas en la planta piloto existente en el Dpto. de Aglomerados del ICIDCA y se determinaron las propiedades físico – mecánicas.

Para el análisis de la influencia de la operación de encolado en las propiedades de los tableros de partículas, Puig, *et al.* (1976) (6) escogieron como variables tecnológicas, la humedad del bagazo al entrar a la mezcladora, la forma de adición de los productos para constituir la mezcla y el contenido de sólidos (peso seco) del aglutinante.

El bagazo utilizado estuvo almacenado en pacas techadas de la zafra 1975 – 1976 procedente del Central Manuel Fajardo, como aglutinante se empleó resina urea formaldehído, la emulsión de parafina tuvo un peso seco de 45 % y como catalizador una solución de cloruro de amonio al 15 %.

Se elaboraron tableros de partículas de tres capas en las instalaciones de la planta piloto del ICIDCA y posteriormente después de climatizados, se evaluaron las propiedades.

Valdés, *et al.* (1978) (7) estudiaron las incidencias que tienen para el proceso de producción y las propiedades de los tableros de partículas de espesores finos de bagazo, los parámetros: tamaño de partículas (0,2 – 0,8 – 1,5 - 1,9 - 2,5 mm), cantidad de resina urea formaldehído (8 – 10 – 12 %) y espesor de los tableros (4 – 5 – 6 mm). Se utilizó bagazo integral del central “Camilo Cienfuegos”.

Lo más significativo de los resultados fue la incidencia que tiene la dilatación en agua en 24 horas con relación al tamaño de las partículas y en menor grado el espesor de los tableros.

Sobre la producción de tableros de partículas, Almagro (1983) (8) realizaron un trabajo para analizar las propiedades físico-mecánicas de los tableros, ya que este conocimiento, cumplió dos objetivos: Por una parte sirvió para orientar las

actividades investigativas que se relacionaron de manera directa con la producción, buscando soluciones a las propiedades deficientes del producto final y por otra constituyó la herramienta básica que definió todos los posibles usos del tablero prediciendo su comportamiento y duración en cada caso.

Entre las principales propiedades estudiadas, se encontró el módulo de ruptura o resistencia a la flexión estática, que se considera una de las más importantes propiedades mecánicas del tablero de partículas. Esta propiedad se encuentra asociada a la utilización del tablero para la fabricación de muebles y a su uso en general, con fines estructurales. De los aspectos físicos, la humedad y la densidad fueron los que se consideraron con mayor influencia sobre el módulo de ruptura y sus valores son competitivos a los tableros de madera.

La ampliación del uso del tablero de partículas para la fabricación del mueble ha demandado mayor preocupación por las propiedades mecánicas y en correspondencia con lo anterior el módulo de elasticidad ha sido tratado de incrementar en los últimos años y los valores están en el rango de 580 a 700 kg/m<sup>3</sup>, ligeramente inferior a los de madera para el rango de densidades estudiado.

El desmeollado del bagazo es una de las operaciones tecnológicas específica de esta materia prima para su utilización en la producción de tableros de partículas. Por tal motivo se desarrollaron diversos métodos y equipos para llevar a cabo esta operación. Para esta industria, el método, más adecuado resulta ser el desmeollado en húmedo con equipos de rotor vertical.

De los resultados obtenidos en el trabajo realizado sobre este tema, por Carvajal, *et al.* (1985) (9) se pudo concluir que a medida que desmeollamos más el bagazo, se obtuvieron mejores propiedades de módulo de ruptura y tracción perpendicular en los tableros de partículas. Para las condiciones empleadas con un 18 % de separación se lograron las propiedades mecánicas establecidas por las normas.



El conocimiento de las características del bagazo, para ser utilizado en la producción de tableros de partículas, resultó de vital importancia para la obtención de un producto final con la calidad establecida por las normas internacionales.

El estudio de la influencia del contenido de meollo sobre la calidad de los tableros de partículas, efectuado por Carvajal, *et al.* (1985) (10) pusieron de manifiesto qué porcentaje de fibras en las partículas de la capa central inferiores a 60 % y en la capa superficial a 50% afectan considerablemente las propiedades mecánicas de los tableros. En las propiedades físicas no se observan grandes incidencias, por lo tanto hay que lograr un compromiso para producir tableros con adecuadas propiedades físico-mecánicas.

Se constató que la tracción perpendicular al plano con el meollo disminuye, contrario a la madera, que como es conocido se mejora esta propiedad con la adición de finos. Esto se debe al carácter esponjoso del meollo y por tanto a la penetración de la resina, lo que afecta de forma negativa esta propiedad. El comportamiento para el resto de las propiedades, módulo de ruptura, dilatación y absorción en agua y la calidad superficial, es similar a los tableros elaborados con madera.

Como un trabajo novedoso, Puig, *et al.* (1986) (11) realizaron la obtención de tableros de partículas decorados superficialmente con pigmentos orgánicos, que se adicionaron a las partículas de la capa superficial junto con la mezcla de resina y otros aditivos, sin utilizar para este fin los métodos tradicionales de tratamiento superficial.

Se estudió la influencia del pigmento sobre la mezcla encolante, las propiedades físico-mecánicas, así como la estabilidad del color ante la exposición solar directa y en sombra, además de la variación de la intensidad del color en el tiempo.

A solicitud del MICONS, Carvajal, *et al.* (1987) (12) realizaron un trabajo que tuvo como objetivo la producción de resina fenol formaldehído y de tableros fenólicos de

baja densidad, para ser empleados en paneles para interiores de edificios y en la construcción de viviendas modulares.

En el mismo se detallaron las características de la síntesis de la resina con sus propiedades, los parámetros utilizados en la producción de los tableros y su evaluación físico-mecánica, así como un breve análisis económico de este tipo de producto. Los resultados alcanzados fueron satisfactorios y trazó una pauta para futuras producciones de tableros fenólicos en Cuba.

Como una alternativa para ampliar el uso de los tableros de partículas como material para la construcción, Trujillo, *et al.* (1988) (13) realizaron un estudio a escala de laboratorio sobre el empleo de fosfato diamónico como agente ignífugo, agregado en forma de solución a la resina urea formaldehído para la producción de tableros de partículas de bagazo.

En el trabajo se evaluó el efecto de diferentes por cientos de ignifugante a través de las propiedades de las resinas y el comportamiento físico-mecánico de tableros de partículas de densidad media. Además se hizo una evaluación de la propiedad de resistencia al fuego. Se presentaron también las tablas y los gráficos, así como la discusión de los mismos. Los resultados obtenidos se tomaron como base para la realización de una prueba industrial en la fábrica de tableros PROCUBA.

Fue recomendable la utilización de 4 % del ignifugante fosfato diamónico, ya que con esta cantidad se logró buenos resultados en las características de la resina, en las propiedades físico-mecánicas de los tableros, así como en el porcentaje de pérdida de masa de los tableros, que la prueba de resistencia al fuego tiene establecida.

En los países productores y consumidores de tableros una de las problemáticas actualmente en discusión es el contenido de formaldehído libre en los tableros debido al efecto nocivo para la salud que estos producen.

Desde comienzos de 1985 Serantes, *et al.* (1991) (14) estuvieron estudiando en el ICIDCA la producción de tableros de bagazo con bajo contenido de formaldehído libre. Del resultado de estos estudios investigativos se obtuvo la tecnología para producir tableros E2 según norma alemana, que plantea que el formaldehído libre en ese tipo de tableros se encuentra entre 10 -30 mg de formaldehído/100 g de tableros seco.

En el trabajo se resumieron los resultados obtenidos al introducir esta tecnología en la práctica social en la fábrica Primero de Enero, en Ciego de Ávila, es decir producir industrialmente tableros con bajo contenido de formaldehído libre (18-20 mg/100 g de tableros). También se presentaron los ajustes que fue necesario realizar en la introducción en lo referente al tiempo de almacenamiento de la resina urea-paraformaldehído, que es la que en ese momento se estaba utilizando.

En la tecnología de producción de tableros de partículas reviste gran importancia el tipo de resina empleada para el aglutinamiento de las partículas. Carvajal, *et al.* (1992) (15).

Para este propósito, como se ha mencionado anteriormente se emplean generalmente las resinas sintéticas urea-formaldehído, fenol-formaldehído y melamina-formaldehído, de ellas la más difundida es la primera, pues aunque representa el mayor índice en el costo de producción de los tableros es la de menor valor comparada con el resto, reservándose las fenólicas cuando se requiere mayor resistencia de los tableros a condiciones de alta humedad, siendo empleada la de melamina para usos especiales.

Debido al incremento de los costos de estas resinas y a las restricciones que se vienen imponiendo con relación a la toxicidad del formaldehído, muchos países se encuentran trabajando en el desarrollo de nuevos aglutinantes para la industria de tableros a partir de taninos, lignina y otros.

Cuba, productor de azúcar de caña, tiene en el bagazo una fuente de materia prima renovable anualmente, que posee en su composición a la lignina en el orden de 18-22% y puede ser obtenida del licor negro residual en las papeleras existentes en el país, de ahí la importancia del objetivo de ese trabajo, que consistió en la elaboración de tableros de partículas sin resina sintética, utilizando licor negro de la fábrica de papel y otros aditivos como plastificantes.

La lignina presente en los licores negros puede representar una fuente apropiada para la elaboración de adhesivos para la industria de aglomerados; además de ser una vía de solución a los problemas de contaminación que el actual vertimiento de estos efluentes ocasionan. Con este objetivo, Santo Tomás, *et al.* (1993) (16) efectuaron un estudio preliminar sobre la influencia del contenido de agua y el tipo de aislamiento en la temperatura de ablandamiento de dos preparados de lignina de bagazo, se elaboraron tableros sin resina sintética de una sola capa, utilizando lignina alcalina como aglomerante y solución amoniacal como agente plastificante. La medición de la temperatura se realizó con un termopar de cromel-alumel.

Los experimentos se realizaron atomizando al bagazo 1, 2 y 3% de hidróxido de amonio (solución amoniacal), como agente plastificante y 2, 4 y 8% de lignina alcalina en polvo como aglomerante. Los mejores resultados se alcanzaron cuando se adicionó un 8% de lignina y 3 % de solución amoniacal como plastificante.

La factibilidad de elaborar tableros de partículas sin resina UF puede representar una alternativa atractiva, por lo que incide la resina en el costo del producto. Los resultados alcanzados en estas investigaciones preliminares indicaron que existen potencialidades de éxito en el uso de la lignina "in situ" como aglomerante para tableros de partículas, lo cual se recomendó continuar estudiando.

Sobre esta misma temática de producción de tableros sin resina, Carvajal, *et al.* (1990) (17) realizaron otro trabajo donde se elaboraron tableros a escala de

laboratorio, utilizando el licor negro residual de dos de las papeleras existentes en Cuba, una con pulpa a la soda y la otra al sulfato.

Para la elaboración de estos tableros además se empleó como aditivo el hidróxido de amonio y el peróxido de hidrógeno, los cuales fueron seleccionados de varios de ellos estudiados con anterioridad, con el objetivo de mejorar el enlace de las partículas y las propiedades plastificantes de la lignina.

Las partículas fueron atomizadas primeramente con el aditivo y posteriormente con el licor negro. Se confeccionaron tableros de una sola capa y una vez prensado fueron climatizados y evaluados según las normas cubanas NC 43 – 08/1986. Se obtuvieron mejores resultados con el licor negro de un pulpeo al sulfato, cuando se combina con el  $\text{NH}_4\text{OH}$  como plastificante.

En trabajos anteriores, se han reportado las experiencias llevadas a cabo en el Dpto. de Aglomerados del ICIDCA, sobre investigaciones realizadas en la producción de tableros de partículas sin resina sintética.

Los resultados obtenidos, Carvajal, *et al.* (1990) (18) en las propiedades físico mecánicas de los tableros, aunque prometedores no alcanzaron los valores requeridos por las normas internacionales, existiendo mayores dificultades en las propiedades de absorción y dilatación en agua.

Para tratar de superar estas deficiencias, se llevó a cabo otro trabajo el cual se dividió en dos partes.

Elaboración de tableros con licor negro, plastificante y la adición de resina urea formaldehído en menores cantidades de las que normalmente se emplean para estas producciones y la otra se realizó impregnando las partículas con ácido con el fin de activar la lignina “in situ” en el bagazo, además de la disminución del pH del medio.

Los tableros elaborados con licor negro, formaldehído como plastificante y un 25 % de resina UF de la cantidad que normalmente se utiliza para la producción de tableros de partículas, dieron buenas propiedades mecánicas, pero las físicas aunque mejores que en los experimentos anteriores, aun no alcanzan los requerimientos de las normas.

En los tableros con la adición de ácido, no se alcanzaron los resultados esperados, por lo que se recomienda continuar profundizando en esta temática que promete ser beneficiosa desde el punto de vista económica, para estas producciones.

Serantes, *et al.* (1998) (19) presentaron un resumen de los aspectos más importantes a considerar en la producción de tableros de partículas de bagazo de alta calidad como son, un mínimo contenido de formaldehído libre y buenas propiedades físico-mecánicas como requisitos indispensables para su comercialización.

Los aspectos tratados en ese trabajo fueron, las propiedades de las resinas urea-formaldehído (UF) y urea-paraformaldehído (UPF) y su efecto en la producción de tableros de partículas de calidad E2 (10 - 30 mg de formaldehído/100 g de tableros seco) y E1 (menor de 10 mg de formaldehído/100 g de tableros seco), según norma alemana DIN 68 763, como los factores de gran importancia a considerar en la producción de tableros de alta calidad.

Para producir tableros de partículas con bajo contenido de formaldehído libre se emplean reductores de formaldehído los cuales se añaden a la resina en el momento de preparar la mezcla encolante junto al cloruro de amonio y la emulsión de parafina.

En el ICIDCA, se logró la producción de un reductor de formaldehído, el cual se denominó RF-112 y RF-306 producidos con formaldehído o con paraformaldehído respectivamente.

Las propiedades de los tableros de partículas con bajo contenido de formaldehído libre son como promedio las siguientes:

La resistencia a la flexión en tableros E2 y E1 ha disminuido a (15-16 MPa) y la resistencia a la tracción a (0,30-0,35 MPa).

El por ciento de dilatación en 24 h aumenta a valores de ( $25 \pm 2$  %) en tableros E1. El por ciento de dilatación en 2 horas está cada día tomando más auge por resultar más rápido el análisis, pudiendo realizarse una extrapolación matemática, la cual depende de varios factores como, tipo de tableros, materias primas, densidad etc.

En el trabajo: Recomendaciones tecnológicas para la modernización de la planta de tableros de partículas Maderas Técnicas, de la Vega, *et al.* (1983) (20) expusieron un breve análisis comparativo de las características de dicha fábrica, situadas en La Salud, provincia de Mayabeque, antes y después de modernizada.

El programa de producción para la fábrica después de modernizada son los siguientes:

Tipo de tableros	Multicapas, desnudos y lijados
Formato básico	3600 x 1830 x 19
Densidad básica	650 kg/m <sup>3</sup>
Capacidad de producción	45 TM/día

Se ofrecieron las recomendaciones tecnológicas efectuadas con vistas a su puesta en marcha, fundamentalmente en los aspectos relacionados con la preparación de las partículas y sobre la adición de productos químicos para obtener tableros de buena calidad.

La sustitución de los principales equipos, así como las modificaciones tecnológicas previstas, permitiría alcanzar un incremento sustancial en la eficiencia técnico – económica de la fábrica esperándose obtener un producto de superior calidad.

Uno de los requisitos que deben cumplir los materiales que se empleen en la construcción es su resistencia a la combustión, por tal motivo, el uso de los tableros de partículas que se utilicen para esos fines, deben ser tratados para aportarles a los mismos propiedades ignífugas.

Con ese objetivo, Carvajal, *et al.* realizaron este trabajo empleando ignifugantes de producción nacional a base de fosfato de amonio y urea, mezclado con el resto de los aditivos químicos que se utilizan en estas producciones. Para nuestras condiciones, la cantidad de ignifugante con la que se obtuvo buenos resultados en las propiedades de la resina y de los tableros fue del 4 %.

En este trabajo que tiene como antecedentes otros realizados sobre tableros de partículas resistentes al fuego, Carvajal, *et al.* (1993) (22) con los parámetros alcanzados en los mismos, referidos a la cantidad y tipos de ignífugos, se elaboraron tableros de partículas finos, lo que requirió la ejecución de un nuevo plan experimental con el fin de su utilización para losas de falso techo de uso en la industria de la construcción. Se emplearon tres productos ignífugos para determinar cuál reportaba mejores propiedades físico mecánicas y de resistencia al fuego, así como la cantidad mínima necesaria a aplicar para la protección de tableros de partículas finos.

Se concluyó que es factible producir tableros finos resistentes al fuego para uso en la construcción con el empleo de fosfato diamónico. Se recomendó aplicar un 5 % del producto ignífugo (en polvo) antes de la impregnación de las partículas de bagazo con el encolante. El costo del m<sup>3</sup> de tablero se incrementa en 6.28 pesos.



En la industria de tableros de partículas una de las operaciones requeridas en el flujo productivo es la clasificación de las partículas con el objetivo de seleccionar los tamaños aptos para conformar las distintas capas que integran el producto.

En ese trabajo, Costales (1984) (23), pretendió hacer una breve descripción de los equipos de clasificación mayormente empleados en la producción de los tableros de partículas, esencialmente aquellos cuyo principio de funcionamiento se encuentra basado en la clasificación mecánica por medio de tamices, lo que permitió conocer algunas características técnicas operacionales, etc.

Existe una gran cantidad de factores que influyen en esta operación, los que se dividen en dos grupos: El primero que depende del material (densidad, forma y dimensiones de las partículas, contenido de humedad, etc.) y el segundo grupo que incluye las características del equipo en sí (forma, y tamaño de la superficie de tamizado, amplitud y frecuencia de las vibraciones, inclinación de la superficie del tamizado, alimentación, etc.).

Entre los clasificadores se encuentran: los mecánicos, los vibratorios, los oscilantes, entre otros. Los equipos basados en el principio alternativo son los que dan mejores resultados en el tratamiento de las partículas de bagazo.

Las experiencias adquiridas durante los primeros meses de puesta en marcha, después de modernizada la fábrica de tableros de partículas de bagazo PROCUBA, Carvajal, *et al.* (1984) (24) las expusieron en este trabajo.

Los proyectos para la realización de esta inversión fueron ejecutados en Cuba con la colaboración de técnicos polacos y el equipamiento tecnológico fue suministrado por la firma PROZEMAK de Polonia y los auxiliares en los talleres especializados del MINAZ o en la propia fábrica.

Como toda puesta en marcha, ésta no estuvo ajena a dificultades y problemas, analizándose las modificaciones a realizar y las dificultades confrontadas, pero se obtuvo una valiosa experiencia, lo cual podrá ser aplicado a futuras inversiones en esta industria.

Con la modernización de esta planta se incrementó su capacidad hasta 75 TM/día de tableros de 3 capas, desnudos y lijados con una densidad básica de  $650 \text{ kg/m}^3$  y 19 mm de espesor con un formato neto de 3048 x 1524 mm y se esperaba obtener los niveles de capacidad programados con la calidad del producto requerido por las industrias consumidoras, fundamentalmente las del mueble y la construcción.

Puig, *et al.* (1990) (25) realizaron un trabajo que tuvo como objetivo conocer la influencia del perfil de temperatura en el centro del colchón cuando varía el espesor final, con la variación de la densidad del tablero y con la humedad del colchón a través de las propiedades mecánicas de los tableros.

Los espesores analizados estuvieron en el rango de 8 a 19 mm, las densidades entre  $500$  y  $800 \text{ kg/m}^3$  y las humedades del colchón entre 10 y 22 %.

Se utilizó bagazo presecado y empacado procedente de la fábrica de tableros "Camilo Cienfuegos", resina urea formaldehído sintetizada en dicha fábrica y emulsión de parafina y cloruro de amonio de la misma procedencia que la resina. Se confeccionaron 5 tableros de 3 capas en la planta piloto del Dpto. de productos Aglomerados del ICIDCA y para determinar la temperatura en el centro del tablero se utilizó un registrador de temperatura Arucomp 4902.

La relación entre la temperatura en el centro y el tiempo de prensado indicó que a densidades menores, más corto es el tiempo para alcanzar los  $100 - 105 \text{ }^\circ\text{C}$ .

En 1984 en la Escuela Superior Forestal y de la Madera de Zvolen, en Eslovaquia, Carvajal (26) realizó un trabajo de tesis para optar por el grado de doctor, siendo el

objetivo de dicho trabajo el estudio de la determinación de la influencia del contenido de meollo en las propiedades de los tableros de partículas de bagazo.

Para el logro de este objetivo se tomó como materia prima el bagazo desmeollado de la Fábrica de Tableros de Partículas Camilo Cienfuegos, situada en Santa Cruz del Norte, la cual se encontraba anexa al central azucarero del mismo nombre.

Las variantes estudiadas fueron desde el bagazo desmeollado a la salida de los desmeolladores del central azucarero, que fue considerado como 0 % de meollo y bagazo con incrementos de 5 % hasta 35 % de meollo.

Para sustentar el análisis de los resultados de las diferentes variantes se realizaron las siguientes determinaciones: caracterización físico química de las diferentes fracciones del bagazo, análisis granulométrico, composición morfológica, análisis biométrico y determinación de superficie específica. Se determinó el contenido de resina para las partículas de las capas superficiales y central con la que se elaborarían los tableros y por último se determinaron las propiedades físico – mecánicas a los tableros con el objetivo de evaluar los resultados.

En el Manual de los derivados de la caña de azúcar. Parte 3. Derivados del bagazo, en el punto 3.15, Tableros de partículas, Carvajal, *et al.* (2000 (27), expusieron las características del producto, los usos, el proceso tecnológico, los aspectos económicos como el costo de inversión de una planta, los precios y la capacidad instalada de tableros de partícula en Cuba.

Es conocido que la temperatura del agua en el baño donde se realizan los análisis de dilatación del espesor en los tableros de partículas, tiene una marcada influencia sobre los valores que se obtienen.

Con el objetivo de encontrar si existe una correlación única entre la temperatura del baño y el hinchamiento para este tipo de tableros de bagazo, considerando los parámetros del proceso dentro de los valores estables o definir la temperatura a que

debe realizarse el ensayo en las condiciones de nuestro país, para que los resultados sean comparables con las normas de otros países, donde utilizan la temperatura del ensayo a  $20 \pm 2$  °C, Valdés, et. al, (1987) (28) efectuaron ese trabajo.

Se encontró que el rango puede estar en el orden de los  $23 \pm 2$  °C, con la posibilidad de comparar con las normas de otros países y al mismo tiempo no se compromete tanto la necesidad de utilizar unidades de refrigeración de agua, recurso que no dispones ninguna de las planta existente en el país.

Existe un gran número de factores que influyen en las propiedades de los tableros de partículas, en este trabajo, Carvajal, et al. (1984) (29), determinaron la influencia que el tamaño de partículas de bagazo ejerce sobre las propiedades de los tableros de partículas. Para el trabajo se utilizó bagazo desmeollado y presecado de la fábrica de tableros “Camilo Cienfuegos”.

Se hicieron análisis granulométrico y biométrico a cada una de las fracciones con que se elaboraron los tableros de tres capas.

Del análisis de los resultados se concluyó que existe una marcada influencia del tamaño de las partículas en las propiedades de los tableros.

En la producción de tableros de calidad E<sub>1</sub> inciden varios factores entre los que se encuentran el tipo de resina, la calidad de la resina, tipo y granulometría de las partículas y factores tecnológicos en general.

Entre los factores tecnológicos se encuentran, las cantidades de resina, catalizador y emulsión de parafina, humedad de las partículas encoladas, temperatura de prensado y ciclo de prensado, por tal motivo el objetivo de este trabajo realizado por Serantes, et al. (1988) (30), consistió en estudiar estos factores tecnológicos, los

cuales son necesario optimizar utilizando como material lignocelulósico el bagazo de la caña de azúcar con las condiciones de las fábrica productoras de nuestro país.

En Cuba, la fabricación de tableros de partículas de bagazo logró una notable producción en los años 80, el incremento productivo ha ido aparejado con una creciente elevación de la calidad. Por lo que en este trabajo Valdés, *et al.* (1988) (31) evaluaron el comportamiento de los parámetros físico mecánicos de los tableros producidos por las tres principales plantas del país durante el año 1987, para lograr este objetivo se realizó un muestreo en las tres fábricas: “Camilo Cienfuegos”, Primero de Enero y “Jesús Menéndez” y se caracterizaron las propiedades en los laboratorios del ICIDCA. Se observó un comportamiento positivo en las propiedades en las tres fábricas evaluadas, durante el año 1987.

Se desarrolló la concepción tecnológica de una fábrica de tableros de partículas a partir de bagazo, Carvajal, *et. al.*, (1979) (32), analizando dos alternativas:

- Utilizando bagazo desmeollado y presecado.
- Utilizando bagazo desmeollado y sin presecar.

Se tomó como base para este trabajo, la tecnología existente en la fábrica de tableros “Camilo Cienfuegos”. El trabajo incluyó la capacidad de producción, las especificaciones del producto, la descripción tecnológica, datos sobre almacenamiento, cálculo estimado del consumo de combustible, insumos principales, ventajas y desventajas de las alternativas, listado de equipos principales y balance de materiales para cada alternativa.

Por la importancia que reviste conocer la profundidad de penetración de la resina en la fibra de bagazo en la producción de tableros de partículas desde el punto de vista tecnológico y económico, Antigua (1981) (33) efectuó ese trabajo que consistió primeramente en un análisis de la literatura sobre este tema y posteriormente unos ensayos preliminares que sirvieran de base para el desarrollo de una técnica para lograr calcular la impregnación del bagazo con resina urea formaldehido.

En la producción de tableros de partículas se utilizan diferentes tipos de aditivos con la finalidad de dotar al producto de determinadas propiedades como son: resistencia al fuego, al ataque de hongos e insectos, etc. De estos aditivos los de uso más difundido son aquellos que sirven para mejorar la estabilidad dimensional, especialmente la dilatación del espesor frente a ambientes húmedos o en agua, de ahí que sea práctica usual de empleo en la mayoría de las plantas de tableros de partículas en el mundo. Valdés, *et al.* (1994) (34).

El producto más extendido para estos fines es la parafina que se añade fundamentalmente en forma de emulsión (entre 36 y 60 % de sólidos) y por general mezclada con la resina en la operación de encolado de las partículas.

Como una vía para la disminución de los niveles de importación de materias primas, sustituyéndola por productos nacionales de menor costo, se analizó en este trabajo la factibilidad técnica de utilizar la cera de caña, en forma de emulsión, como agente hidrófobo para la producción de tableros de bagazo, ya que actualmente existe en el país un abundante potencial de este producto.

Para conocer la potencialidad de uso de la gama de productos disponibles (cera cruda, cera refinada y resina de cera), se procedió a preparar emulsiones con cada una de ellas. Las pruebas con emulsiones de cera refinada y resina de cera, se expondrán en posteriores trabajos. Con la emulsión de cera cruda, se elaboraron tableros y se determinaron las propiedades físico - mecánicas.

Se comprobó la factibilidad a escala de laboratorio del uso de la cera cruda de caña para preparar emulsiones hidrófobas. Valores por encima de 0.75 % de cera sólida en base a bagazo seco permiten dilataciones de espesor en 24 h por debajo de 18%, valor apropiado para este parámetro por las normas internacionales.

Sobre esta misma temática, Valdés, *et al.* (1995) (35), elaboraron este trabajo continuación del anterior donde se utilizó otra variante para la producción de la

emulsión como agente hidrófobo en la producción de tableros de partículas, en esta ocasión se valoró la emulsión con resina de cera de caña a escala de laboratorio.

La emulsión se preparó utilizando ácido esteárico como agente emulsificador y amoníaco como regulador de pH. La emulsión mostró una buena estabilidad en el tiempo así como compatibilidad con la resina urea formaldehído. La concentración máxima permisible fue de 10%, ya que por encima de ese valor, la emulsión se tornó excesivamente viscosa, lo que impide su bombeo.

Con la emulsión elaborada, se produjeron tableros con buenas propiedades, para los niveles de emulsión propuesta.

Serantes, *et al.* en 1994, (36) a solicitud de la Dirección de Derivados del entonces MINAZ, realizó en el ICIDCA la producción experimental de tableros de partículas de bagazo de espesores finos y de calidad E<sub>1</sub> según la norma alemana DIN 68763.

Se reportaron los parámetros tecnológicos del proceso que se emplearon en la elaboración de los tableros, las propiedades físico mecánicas obtenidas en los mismos, incluido el contenido de formaldehído libre, la caracterización de la resina UF utilizada como aglutinante y la del reductor del formaldehído requerido para obtener tableros E<sub>1</sub>. De los resultados se pudo confirmar que los tableros producidos presentan calidad E<sub>1</sub> por tener el contenido de formaldehído libre menor de 10 mg/g de tableros seco.

Con el objetivo de establecer criterios preliminares sobre la factibilidad tecnológica de procesar la paja de la caña de azúcar para ser utilizada en la elaboración de tableros de partículas, Almagro, *et al.* (1981) (37), llevaron a cabo un trabajo donde se desarrolló la caracterización química física de la paja y su comparación con las del bagazo de la fábrica de tableros “Camilo Cienfuegos”, previamente desmeollado y presecado.

Se utilizó paja seca recogida directamente de los campos de caña, la cual se molió en molinos de martillos y se tamizó para separar el polvo. De esta paja molida se tomaron muestras representativas para los diferentes análisis efectuados.

Posteriormente se procedió a la clasificación por tamices para obtener las diferentes fracciones para las capas superficiales y central con el objetivo de elaborar los tableros de paja, utilizando los mismos parámetros de los empleados con bagazo. Las propiedades obtenidas en los tableros están por debajo de los requeridos por las normas para tableros de buena calidad, por lo que se recomendó su empleo en aquellos usos que no requieren altas resistencias como aislantes, decorativos, etc.

La problemática de producir tableros con bajo contenido de formaldehído libre es una de las más generalizadas en la industria de tableros de partículas, así como de los tableros de fibra de densidad media (MDF) Esta viene dada fundamentalmente por la toxicidad del formaldehído que emana de los muebles construidos con tableros y más aún en países que por sus características climáticas tienen que vivir prácticamente a puertas cerradas durante casi todo el año.

Desde 1986, Serantes, *et al.* (38), estudiaron en el Instituto la producción de este tipo de tableros, lográndose la producción de resinas urea formaldehído y urea paraformaldehído con buenas características para obtener tableros con bajo contenido de formaldehído libre, producto de todo un trabajo investigativo de casi 3 años.

Los resultados obtenidos en escala de planta piloto fueron llevados a la industria a finales de 1987 en la fábrica Primeros de Enero en Ciego de Ávila, lográndose la producción industrial de tableros de calidad E<sub>2</sub> (según norma alemana) en ese mismo año.



Por tal motivo se efectuó esta descripción tecnológica con el objetivo que estos resultados fueran extrapolados al resto de las plantas que producen este tipo de tableros y con más apremio en las fábricas exportadoras.

Se señala que la producción de tableros E<sub>2</sub> es el primer paso para la producción de tableros con bajo contenido de formol libre pues el siguiente sería E<sub>1</sub>

En el trabajo se expuso la descripción de la tecnología, para la síntesis de ambos tipos de resina, la cantidad de resina sobre el tablero, la temperatura de la prensa que debe ser utilizada y las relaciones molares para obtener tableros E<sub>2</sub> entre otros aspectos.

Carvajal, *et al.* (1994) (39), realizaron una evaluación para determinar las oportunidades de la producción de tableros de bagazo en Cuba y para ello se tomó la planta de tableros de partículas “Camilo Cienfuegos”, ubicada en Santa Cruz del Norte, actualmente en la provincia de Mayabeque.

El estudio comprendió los siguientes aspectos:

- Introducción y generalidades.
- Diagnóstico técnico de la planta.
- Suministro de bagazo.
- Mercado.
- Valoración económica – financiera.
- Eficiencia económica.
- Análisis organizativo. Estructura organizativa y bases para una posible asociación económica.

El estudio también comprendió:

El listado del equipamiento de las diferentes etapas del proceso de la planta, donde se señaló la cantidad, capacidad y el estado que poseía en el momento de la evaluación, la línea de ciclo corto para el recubrimiento de los tableros terminados,

los servicios auxiliares, el taller de maquinado, las firmas suministradoras, entre otros datos de interés.

También se señaló, el área techada y sin techar, el estado de la obra civil, las necesidades y los costos estimados para la reparación.

Se incluyó el personal requerido, disponibilidad, la gerencia, el personal técnico, los obreros, el personal auxiliar, la distribución del personal de las distintas áreas, etc.

El listado de las materias primas que utilizaba la planta y los índices de consumo, los componentes para la producción de la resina U F.

Las especificaciones generales, los tipos de productos, las propiedades, calidad, normas. Sistema de control de calidad.

Los usos a que se destinaban los tableros.

Capacidad de la instalación. Surtido.

Ubicación de la planta. Acceso y distancia a la fuente o fuentes de suministro de material fibroso (bagazo). Acceso y distancia y medios de transporte para el resto de los insumos. Distancia y medios de transporte a los principales centros de consumo nacional y distancia y medio de transporte a los puertos.

Disponibilidad de energía eléctrica y agua.

Suministro de bagazo.

Mercado. Caracterización del mercado nacional: La Industria del mueble. Panorámica general de la industria. Situación actual y perspectiva. Ubicación de las mayores empresas y talleres. Capacidad de producción instalada. Niveles de

producción. Surtidos y tipos de muebles que necesita el mercado. Principales usuarios.

En la industria de la construcción (carpintería y panelería).

En carpintería. Se detalló la panorámica general de la industria. Las características generales de las instalaciones. Ubicación de las plantas. Capacidad de producción instalada: Niveles de producción. Surtido de producción. Materias primas.

En panelería: Panorámica general de la industria. Características.

Se hizo la caracterización del mercado internacional para la producción de tableros, reportándose los principales productores, importadores y exportadores de tableros.

La producción mundial de tableros de partículas por 1000 m<sup>3</sup>. Exportaciones. La exportación mundial de tableros de partículas por 1000 m<sup>3</sup>. La importación mundial de tableros de partículas por 1000 m<sup>3</sup>.

Eficiencia económica. Rendimiento del capital.

La demanda. Aporte de capital. Precios. Costos. Revalorización del tablero en pesos/m<sup>3</sup>. Análisis de sensibilidad. Medidas técnico – organizativas y conformación de una asociación económica. Variantes.

En fin es un valioso documento de consulta que debe ser analizado, cuando se trate de la producción de tableros de partículas de bagazo.

## Bibliografía

1. Young, M.; Rodríguez, R. Sosa, M. El uso del alcohol furfurílico como resina aglutinante en la preparación de tablas prensada de partículas de bagazo. Revista ICIDCA, V. 2, No. 1 1968.
2. Carvajal, O. *et al.* La resina fenólica en los tableros de partículas de bagazo. 1974.
3. Carvajal, O.; Machado, L.; Puig, J.; Leal, J. Dependencia de las propiedades físico mecánicas con la densidad de los tableros de partículas. Informe interno ICIDCA. 1974.
4. Carvajal, O. y colaboradores. Influencia de los azúcares residuales en las propiedades de los tableros de partículas. 1975.
5. Puig, J; Carvajal, O. y de la Vega, E. Principales operaciones en la elaboración de tableros de partículas (Prensado) ICIDCA 1976.
6. Puig, J; Carvajal, O. y de la Vega, E. Estudio de la operación de encolado en la producción de tableros de partículas. ICIDCA 1976.
7. Valdés J.L. y colaboradores. Estudio de los parámetros de operación del proceso de producción de tableros de partículas de espesores finos a partir del bagazo. ICIDCA 1978.
8. Almagro, R.; Costales, R. Análisis de las propiedades físico-mecánicas de los tableros de partículas de bagazo de la planta "Camilo Cienfuegos". Revista ICIDCA V. XVII. No. 2, 3. 1983.
9. Carvajal, O.; Puig, J.; Sosa, P. Influencia del grado de desmeollado en las propiedades de los tableros de partículas de bagazo. Revista ICIDCA V. XIX No. 1. 1985.
10. Carvajal, O.; Puig, J.; Leal, J. A.; y Rodríguez, M. E. Influencia del contenido de meollo sobre la calidad de los tableros de partículas. Revista ICIDCA V. XIX No. 3. 1985.
11. Puig, J.; Leal, J. A. Coloración de resina para tableros de partículas decorativos. Revista ICIDCA. V. XX No. 1. 1986.

12. Carvajal, O. Serantes, M y Martínez, M. Producción industrial de resina fenólica y su aplicación en tableros de partículas de baja densidad. Revista ICIDCA. Vol. XXI No. 2 1987.
13. Trujillo, M.; Carvajal, O. y Puig, J. Uso del fosfato diamónico como ignifugante para tableros de partículas. Revista ICIDCA Vol. XXII No. 2 1988.
14. Serantes, M.; Martínez, O.; Morales, A. Puig, J.; Sosa P. Producción industrial de tableros de partículas E<sub>2</sub> en la fábrica Primero de Enero. Revista ICIDCA, Vol. XXV No. 1,2 1991.
15. Carvajal, O.; Santo Tomás, J. Puig, J.; Sosa P.; Arbolay S .Tableros de partículas de bagazo sin resina sintéticas. Revista ICIDCA Vol. XXVI No. 2.
16. Santo Tomas, J.F.; Carvajal, O.; Puig, J. Propiedades adhesivas de la lignina. Utilización como aglutinante en la producción de tableros aglomerados. Revista ICIDCA. Vol. XXVII, No. 1 1993.
17. Carvajal, O.; Santo Tomás, J.; Puig, J.; Sosa, P. Producción experimental preliminar de tableros sin resina. Informe Interno ICIDCA. 1990.
18. Carvajal, O.; Santo Tomás, J. Puig, J.; Sosa P.; Arbolay S. Elaboración de tableros de partículas sin resina sintética. Informe interno ICIDCA. 1990.
19. Serantes M.; Carvajal O.; Martínez, O.; Leal, J.A.; Sosa, P. Tableros de partículas de bagazo de alta calidad. Requisitos tecnológicos. Revista ICIDCA Vol. XXXII No. 3. 1998.
20. de la Vega, E.; Carvajal, O. Recomendaciones tecnológicas para la modernización de la planta de tableros de partículas Maderas Técnicas. Suplemento Revista ICIDCA No. 1 (1983)
21. Carvajal, O.; Rodríguez, M. E.; Almarales, G. Tableros de partículas de bagazo con ignifugantes. Suplemento Revista ICIDCA No. 3 (1984)
22. Carvajal, O.; Trujillo, M.; Puig, J. y colaboradores. Producción de tableros finos de bagazo ignífugos para la construcción. Informe interno ICIDCA. 1993
23. Costales, R. Algunas consideraciones técnicas acerca de la operación de clasificación en la industria de los tableros de partículas. Suplemento Revista ICIDCA No. 3 (1984)

24. Carvajal, O.; Almagro, R. Experiencias en la modernización de la fábrica de tableros de partículas PROCUBA. Suplemento Revista ICIDCA No. 3 (1984)
25. Puig, J.; Carvajal, O. Torres, A. Perfil de temperatura en el centro del tablero y su influencia sobre las propiedades mecánicas de los tableros de partículas de bagazo. Suplemento Revista ICIDCA No. 1 (1990).
26. Carvajal, O. Estudio de la influencia del contenido de meollo sobre la calidad de los tableros de partículas. Tesis de doctorado. 1984.
27. Carvajal, O.; Serantes, M.; Martínez, M.; Rodríguez, L. Manual de los derivados de la caña de azúcar. Tercera Edición. Parte 3. 2000.
28. Valdés, J.L. y colaboradores. Influencia de la temperatura del agua en el ensayo de dilatación del espesor en 24 horas para los tableros de partículas de bagazo. ICIDCA Informe interno. 1987.
29. Carvajal, O.; Puig, J.; Leal, J.; Sosa, P. influencia de la granulometría en las propiedades de los tableros de partículas. Informe interno ICIDCA. 1984.
30. Serantes, M.; Puig, J.; Mato, S.; Martínez, O.; Sosa, P. Estudio sobre los factores tecnológicos que inciden en la producción de tableros de partículas de bagazo de calidad E<sub>1</sub>. Informe interno ICIDCA. 1988.
31. Valdés, J. L.; Méndez, J.; Rodríguez, M. E.; Sosa, P. Calidad de los tableros de partículas de bagazo en Cuba. Evaluación del año 1987. Informe interno ICIDCA. 1988.
32. Carvajal, O.; Almagro, R.; Valdés, J.L. Concepción tecnológica para la instalación de una fábrica de tableros de partículas a partir del bagazo. Informe interno ICIDCA. 1979.
33. Antigua, M. Estudio de la impregnación del bagazo para tableros de partículas. Informe interno ICIDCA. 1981.
34. Valdés, J. L. y colaboradores, Posibilidades de uso de la cera de caña como agente hidrófobo en la producción de tableros de partículas. Parte I Informe interno ICIDCA. 1994.
35. Valdés, J. L.; Puig, J.; Rivas, M.; Rodríguez, M. E. Posibilidades de uso de la cera de caña como agente hidrófobo en la producción de tableros de partículas. Parte II. Informe interno ICIDCA. 1995.

36. Serantes, M.; Martínez, O.; Puig, J.; Rodríguez, M. E. Producción experimental de tableros de partículas de bagazo de espesores finos calidad E<sub>1</sub>. Informe interno ICIDCA. 1994.
37. Almagro, R. Investigación preliminar sobre la elaboración de tableros de partículas a partir de la paja de caña. Informe interno ICIDCA. 1981.
38. Serantes, M.; Trujillo, M.; Rodríguez, M. E.; Puig, J.; Martínez, O. Descripción tecnológica de la producción de tableros de partículas de bagazo, categoría E<sub>2</sub>. Informe interno ICIDCA. 1988
39. Carvajal, O.; Valdés, J. L.; Martínez, M.; Gallardo, M.; de Armas, C.; Puig, J.; Martín, I. Oportunidades para la industria de tableros de bagazo en Cuba. Fábrica "Camilo Cienfuegos" Santa Cruz del Norte. La Habana. ICIDCA. 1994.

## Capítulo 7. Aglutinantes y aditivos químicos para tableros

Dra. Ofelia Carvajal Cabo

Otra de las líneas de trabajo del área de Aglomerados del ICIDCA, correspondió a los aglutinantes y aditivos para los tableros, no solo desde el punto de vista investigativo, sino también de apoyo a la industria.

Para continuar los trabajos en el campo de las investigaciones con furfural, en la XXXVIII Conferencia de la ATAC. (1968), Lodos, *et al.* (1) presentaron un trabajo, que tuvo como objetivo obtener tableros de bagazo en base a resinas urea-furfural que puedan sustituir a los que se producían utilizando resina urea-formaldehído, sin disminuir su calidad.

En base a los resultados obtenidos, se propuso un esquema de fabricación de la resina aglutinante y de los tableros obtenidos con ella, que se caracterizaron por ausencia de solventes orgánicos y una mayor economía en la resina.

La resina más difundida para la producción de tableros de partículas, como se ha mencionado con anterioridad, es la resina urea formaldehído (UF), la cual debe reunir ciertas características para su uso, estas se aplican como soluciones, con un contenido de sólidos de 40 a 65 %, siendo la cantidad mínima de resina requerida del orden de 8 a 10 % sobre la base del peso seco de las partículas de bagazo. Casal, *et al.* (1974) (2).

Las demás características que deben reunir estas resinas para un contenido de sólidos de  $65 \pm 1$  % son las siguientes:

Viscosidad (Cp) (20°C).	400 a 900
Formaldehído libre (%)	máx. 1
Tiempo de gelatinización (s) (100°C).	60 a 100
Densidad a 20 °C (g/cm <sup>3</sup> ).	1,25 a 1,28
pH.	7 a 8.



Para reducir el formaldehído libre en las resinas de UF se le añade de 5 a 10 % de urea, sobre la base de la cantidad de resina seca, lo que no influirá en la reactividad de la mezcla de resina.

Otras de las resinas utilizadas en la producción de tableros de partículas es la resina fenol formaldehído, por lo que entre los primeros trabajos ejecutados, se estudió la síntesis y caracterización de este tipo de resina, utilizada como aglutinante en la confección de este tipo de tableros. Se concluyó que dicha resina no presenta gran complejidad en cuanto a su síntesis. Se empleó una relación molar fenol – formaldehído 1 a 2,4 para la obtención de un peso seco de 50% aproximadamente. Posterior a la síntesis de la resina se procedió a la caracterización de acuerdo con los parámetros internacionales. Los resultados arrojaron que la resina posee la calidad adecuada para su utilización.

Para profundizar en los estudios sobre la resina urea formaldehído, en otro trabajo relacionado sobre este tema, Casal, *et al.* (1975) (3) analizaron las condiciones de síntesis de dicha resina usada como aglutinante en la elaboración de tableros de partículas.

Las tecnologías de preparación fueron condensación en medio ácido y en medio alcalino.

Se produjeron resinas con varias relaciones molares, a fin de investigar este efecto en las propiedades finales.

La mejor tecnología fue la condensación ácida, ya que se evita una etapa de alcalinización del formol para posteriormente acidular, el producto obtenido fue más estable. Las mejores relaciones molares fueron 1:1,5 y 1:2 siendo la reacción más controlable y el producto obtenido fácil de reproducir en cuanto a características.

Por la importancia de este tema en el campo de los aglutinantes, Serantes, *et al.* (1985) (4) realizaron otro trabajo donde se presentaron los resultados obtenidos a escala de laboratorio en la síntesis de resina fenol-formaldehido (PF-4) para aglutinar partículas de bagazo en la producción de paneles de alta resistencia a la humedad. Se ofrecen los resultados físico-químicos de caracterización de la resina obtenida y se compararon estos resultados con resinas fenólicas producidas en el mundo.

<b>Parámetros</b>	<b>Valor obtenido en la resina PF-4</b>
Peso seco (%)	44,2
Viscosidad a 20 °C / 4mm (s)	45
Alcalinidad (%)	7,18
Fenol libre (%)	0,005
Formaldehido libre (%)	0,05
Tiempo de gelatinización a 150 °C (min)	5,25

Se mostró, también, el estudio realizado en el ciclo de prensado y el porcentaje de resina utilizada en la elaboración de tableros de partículas, así como las propiedades físico mecánicas obtenidas.

En la producción de tableros de partículas la resina que se emplea como aglutinante del material fibroso constituye uno de los elementos a considerar desde el punto de vista económico y de las características del tablero, pues representa el componente de mayor incidencia en el costo de producción de éstos, además en dependencia del tipo de resina que se empleó, los tableros pueden ser utilizados en ambientes secos o en exteriores. Perlac, Carvajal (1989) (5).

Como se ha mencionado con anterioridad, la resina más difundida para esta tecnología es la de urea-formaldehido, seguida de la fenol formaldehido, pero en la actualidad se trabaja en el desarrollo y aplicación de nuevos tipos de resinas a

causa de los aspectos señalados y a las exigencias relacionadas con la emisión de formaldehído libre de las resinas UF.

Se reportaron los avances alcanzados en la utilización de diferentes resinas y mezclas de ellas, para la producción de tableros de partículas. Entre estas resinas con las que se obtuvieron resultados más prometedores tuvimos las siguientes: mezclas de resina urea formaldehído (UF), melanina formaldehído (MF) y fenol formaldehído (PF), urea formaldehído e isocianato y la combinación de UF, MF, PF e isocianato, estas dos últimas son las que brindan mejores propiedades.

Otras de las resinas en investigación mundialmente son las resinas a base de lignina, las resinas de taninos y el follaje como pegamento, el cual molido y seco de abeto y pino mezclado con partículas, en proporción 1:5, ofrecen al tablero de partículas prensado a temperatura de 150 °C durante 5 min buenas propiedades en seco. Como otra curiosidad se reporta la adhesión de los tableros de partículas con oxidantes, se usa de manera más frecuente el peróxido de hidrógeno y el ácido nítrico.

Uno de los problemas que más atención y estudio ha demandado en los últimos años y que aún no está totalmente resuelto, en lo referente a la tecnología de elaboración y uso de los tableros de partículas producidos con resina U. F. es el que concierne a las emanaciones de formaldehído libre en los mismos. Serantes, *et al.* (1989) (6)

Se estudió el efecto de las relaciones molares finales en la resina urea formaldehído sobre las propiedades físico-mecánicas de los tableros, así como el formaldehído libre en éstos, determinado por el método FESYP. Se obtuvieron ecuaciones por ajuste en regresión múltiple y se dieron conclusiones sobre los mejores resultados obtenidos.

El formaldehído libre en la resina, para obtener tableros de calidad E2, debe estar en el orden de 0,4 a 0,5 %.

Las resinas con relaciones molares superiores a 1,3 son muy reactivas y presentan muy alto formaldehído libre y poco tiempo de vida para esta industria.

Es posible obtener tableros de calidad E<sub>2</sub> con relaciones finales de 1:1,1 con buenas propiedades físico – mecánicas.

El término de sellador se emplea para definir una película fina de 0,5-1,0 mm que se aplica a la superficie del tablero o sustrato adhiriéndose a éste e impartándole sus propiedades, las cuales están en función de la resina y de los rellenos empleados. Serantes, *et al.* (1990) (7)

Esta película sirve como base para un posterior acabado con lacas y pinturas haciendo estos menos costosos. También es posible aplicar colorantes o pigmentos al sellador para conferirle al acabado la tonalidad deseada.

Mundialmente se emplea para este uso la resina de poliéster polimerizada con luz ultravioleta y que contiene rellenos inorgánicos, en el área de Aglomerados, se investigó para obtener un sellador para el acabado de la superficie del tablero de partículas, que tuvo como resina base la resina urea formaldehído, que es la que se producía industrialmente en el país. Conjuntamente se emplearon rellenos inorgánicos secado por rayos infrarrojos.

La cantidad de pintura que se utilizó fue menor y el acabado de la superficie, mucho mejor que cuando no se aplica el sellador y el ahorro está en el orden de 50-60 g/m<sup>2</sup> de pintura de diferencia con sellador que sin éste.

Con el objetivo de disminuir el tiempo de endurecimiento y de esta forma reducir los tiempos de prensado en la confección de tableros de partículas de bagazo,

Serantes, *et al.* (1990) (8) realizaron un estudio de catalizadores para la resina fenol-formaldehído (fenólica). En el trabajo se estudiaron tres diferentes catalizadores: formamida, hexametilentetramina y carbonato de potasio.

Se presentaron los resultados de las propiedades más representativas en la industria de tableros como: resistencia a la flexión, tracción y dilatación mediante tablas y gráficos. También aparecen tabulados otras propiedades como tracción y dilatación V-100 y adhesividad AW-100 para los diferentes catalizadores empleados.

Trujillo y Naranjo, (1991) (9), en otro de los trabajos realizados, efectuaron el estudio sobre la tecnología de producción de resina melamina-formaldehído para la impregnación de papeles de recubrimiento. Se demostró la posibilidad de sustituir el caprolactam (aditivo estabilizador), por sacarosa o sorbitol, de producción nacional, con respuestas aceptables, para el tiempo de almacenamiento, que fue la principal variable estudiada. También se analizó el comportamiento del monoetilenglicol como plastificante y su efecto sobre esta propiedad. Se brindaron las condiciones de síntesis para la resina melamina formaldehído con fines de impregnación de papeles para recubrimiento.

El estudio sobre aditivos estabilizadores y plastificantes indicó que puede ser sustituido el caprolactam (estabilizador), reactivo de importación por sacarosa o sorbitol, de producción nacional aunque se disminuye en 10 días el tiempo de almacenamiento comparado con el caprolactam.

Se reportaron los resultados obtenidos empleando diferentes adiciones de sacarosa (entre 30 y 100 g) con el objetivo de prolongar en lo máximo posible el tiempo de almacenamiento. Como se pudo observar a partir de 50 g se obtuvieron tiempos de almacenamiento aceptables entro (12-15) días. El peso seco se mantuvo en un rango entre (56,0-59,0) %; la viscosidad osciló entre (17,0-25,0) s el tiempo de gel

varió entre (62.0 - 68.0) s. y el pH prácticamente se mantuvo constante entre 8.0-9.0.

En Cuba se importaba el formaldehído para la producción de resinas para la industria de tableros de partículas con una concentración de 37 %, por lo que en este trabajo Martínez, *et al.* (1991) (10), presentaron una comparación en la síntesis de resinas urea-formaldehído U. F. con solución de formaldehído al 37 % y con paraformaldehído al 90 %, por la ventaja que representa desde el punto de vista económico la sustitución de este reactivo que se adquiere al 90 %. Se hizo la comparación paso a paso destacando ventajas y desventajas así como los resultados de las propiedades de las resinas obtenidas y de los tableros de partículas de bagazo confeccionados con las mismas.

Las propiedades físico-mecánicas de los tableros producidos con resinas U .F. y U .Pf. (con relaciones molares finales entre 1,1 y 1,2) da valores dentro de los rangos requeridos para este tipo de producción con calidad E<sub>2</sub>. Los resultados obtenidos tanto en las características de la resina y de los tableros, se demostró que es factible el empleo del paraformaldehído y además se presenta un ahorro de energía por concepto de no evaporar la resina para obtener 60 % de sólidos.

Serantes, *et al.* (1992) (11) realizaron otro trabajo que tuvo como objetivo estudiar el efecto del contenido de metanol en la solución de formaldehído en las propiedades físico-químicas de la resina urea-formaldehído (U.F.), así como en las propiedades de los tableros de partículas confeccionados con la misma. Se estudiaron contenidos de metanol en el orden de (3-17) % el cual se añade a la solución de formaldehído, cuando se prepara la resina.

El metanol se añade al formaldehído para estabilizarlo y evitar que precipite el paraformaldehído, contenido en este.

Como se puede observar de los resultados, el aumento del % de metanol en el formaldehído incrementó el tiempo de gel de la resina haciéndola menos reactiva. El peso seco se mantuvo entre (58-63) %, existiendo un ligero incremento a los 30 días debido fundamentalmente a evaporación del agua de la resina. La viscosidad osciló en el rango de (25-35) s. incrementando su valor, lo que era de esperar a los 30 días, de la resina preparada. El pH se presentó en el rango establecido de 7,5-8,5.

No hubo efecto significativo de las propiedades de la resina durante el almacenamiento, con respecto al incremento del % de metanol, para el rango estudiado.

La problemática de la producción de tableros con bajo contenido de formaldehído libre continúa revistiendo gran importancia a nivel mundial por las razones ya expuestas de la toxicidad del formaldehído. Serantes, *et al.* (1992) (12).

Cómo determinar el formaldehído libre en los tableros es un tema unido a su producción. Existen en la actualidad varios métodos para determinarlo tanto en resina endurecida como en tableros. Dos de estos métodos son el FESYP (Federación Europea de Sindicatos de Paneles de Partículas) y el método WKI (Wilhelm Klauwitz Institut), los cuales se basan en principios diferentes.

El trabajo consistió en realizar un estudio del método WKI en relación con las condiciones de temperatura y tiempo del ensayo y comparar sus resultados con el método FESYP.

Se presentó el estudio de cinco diferentes resinas U.F (en cuanto a su contenido de formaldehído) y se halló la correlación existente entre ambos métodos para determinadas condiciones de temperatura y tiempo.

Los resultados del formaldehído libre por los dos métodos estudiados de las cinco diferentes tipos de resina, se dan a continuación:

<b>Resinas estudiadas</b>	<b>Método FESYP</b>	<b>Método WKI</b>
80% E <sub>2</sub> + 20 % RF	8,49	4,44
90 % E <sub>2</sub> + 10 % RF	14,15	5,75
E <sub>2</sub>	17,46	13,04
E <sub>3</sub>	40,29	23,12
> E <sub>3</sub>	68,75	46,59

RF (reductor)

La resina UF es un aglutinante ampliamente conocido por sus múltiples aplicaciones, principalmente en la producción de tableros, puede ser empleado, con algunas modificaciones, en otras ramas como en la industria del mueble con el objeto de realizar uniones entre partes y piezas sustituyendo así la cola animal, el pegamento 525 (barge) y el acetato de polivinilo (PVAc).

Serantes, *et al.* (1992) (13) realizaron un estudio sobre la obtención de resina de pegado en frío a partir de urea y formaldehído la cual sirvió de base para la preparación de un pegamento que puede ser utilizado para unir madera, tablero, plywood, etc.

Se obtuvo la tecnología de producción de la resina urea-formaldehído (UF), a través del estudio de las relaciones molares finales. Con esta resina UF, rellenos inorgánicos (caolín o talco grado técnico), y otros y catalizador se obtuvo el pegamento mencionado anteriormente el cual se denominó CF-165. Se realizó un análisis económico preliminar de este pegamento así como se presentaron sus posibilidades de uso.

Otros de los trabajos efectuados por Serantes, *et al.* (14), fue el estudio sobre la correlación existente entre las propiedades de la resina urea- formaldehído (U.F.)



endurecida y las propiedades de la resina U.F. líquida cuando las relaciones molares de esta última varían en el rango de 1:0,9 a 1:1,3 U: F.

También se presentaron las correlaciones entre las propiedades de la resina U.F. endurecida y las propiedades de los tableros de partículas de bagazo confeccionados con las diferentes resinas estudiadas. Se presentaron los resultados a través de ecuaciones ajustadas por regresión múltiple, gráficos y tablas correspondientes.

Serantes, *et al.* (1993) (15), describieron las experiencias en la investigación sobre la producción de resinas del tipo lignina-fenol-formaldehído para la fabricación de tableros de partículas. Se estudiaron fundamentalmente la metilolación de la lignina a la soda de bagazo como primer paso de la síntesis de la resina para así favorecer la reacción de la lignina con el formaldehído y producir posteriormente una reacción más eficiente con el fenol. El objetivo primario del trabajo fue el de sustituir fenol por un material que proviene de licores residuales de la cocción del bagazo de caña de azúcar, como fuente renovable en la producción de resinas para la industria de productos aglomerados.

En trabajos anteriores Serantes, *et al.* (1990) (16), demostraron la ventaja económica de producir resina para la producción de tableros de partículas a partir del paraformaldehído, por tal motivo en este trabajo, los autores, presentaron los resultados obtenidos en la producción de tableros con bajo contenido de formadehído libre cuando se producen resina de urea con paraformaldehído. Se analiza el efecto de la relación molar final urea-paraformaldehído en las propiedades de la resina y de los tableros producidos, así como el contenido de formaldehído libre.

Para el estudio se sintetizaron varias resinas con diferentes relaciones molares finales. Las relaciones molares finales estudiadas fueron: 1:0.9; 1:0.95; 1:1.0; 1:1.05; 1:1.10; 1:1.15; 1:1.20 y 1:1.25 y resultó que a medida que disminuye la

relación molar final disminuyó el formaldehído libre en resina y aumentó el tiempo de gel. Con estas resinas se elaboraron tableros de partículas con un ciclo de prensado normal de 7 minutos a  $160 \pm 5$  °C y 25 kg/cm<sup>2</sup> de presión específica. El bagazo utilizado fue de la fábricas de tableros “Camilo Cienfuegos” y preparado en el ICIDCA. La urea y el paraformaldehído fueron de calidad industrial.

El valor mínimo de relación molar encontrado fue de 1:1.15 con buenas propiedades físico mecánicas. El formaldehído en tableros según esa relación molar final está entre 18 – 20 mg/100 g de tableros, es decir calidad E<sub>2</sub>.

Numerosos investigadores en todo el mundo se encuentran estudiando el empleo de la lignina alcalina de bagazo, como aglutinante para la industria de tableros, lo que demuestra lo novedoso, prometedor y lógico que resulta el desarrollo de investigaciones sobre esta resina natural, de la cual el bagazo es una fuente.

En este trabajo, Serantes, *et al.* (1994) (17) abarcaron en general las perspectivas y en lo particular el desarrollo de estos polímeros. Haciendo énfasis fundamentalmente en la producción de adhesivos para la industria de aglomerados de bagazo. Se presentaron los resultados obtenidos desde el desarrollo de la primeras resinas lignina-fenol-formaldehído, el estudio de catalizadores para la reducción de los tiempos de prensado, modificaciones que se realizaron en el proceso de síntesis a través del estudio de las variables del proceso y por último se presentó una estrategia para el desarrollo de un adhesivo en base de lignina y formaldehído solamente, es decir sin el empleo de fenol y que pueda ser utilizado en la industria de tableros de partículas.

En este trabajo Serantes, *et al.* (2001) (18) presentaron las investigaciones realizadas para la obtención de la resina combinada urea formaldehído - paraformaldehído U.FPf., con el objetivo de disminuir energía y tiempo de reacción en la síntesis, por concepto de concentración de la resina.

Se presentó la tecnología de producción de esta resina, así como las propiedades de los tableros de partículas confeccionados con la mejor variante.

Por las propiedades de los tableros según la norma cubana NC 4318/1990 se pudo afirmar que la resina producida con urea formaldehído paraformaldehído presenta muy buenas propiedades.

Las propiedades físico-químicas promedio de la resina fueron:

Peso seco (%)	Formol libre (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Tiempo gel (s)	Viscosidad (s)	Tiempo de vida (h)	Solubilidad en agua
56,5	1,0	1,260	67	35	+ de 7	1:1.5

Las propiedades físico- mecánicas promedio de los tableros fueron:

Espesor (mm)	Flexión (MPa)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Tracción (MPa)	Humedad (%)	Dilatación (2 h) (%)	Dilatación (24 h) (%)
15,85	23,2	646	0,43	4,7	9,4	16,6

El objeto fundamental de esta investigación, ejecutada por Serantes, *et al.* (2001) (19) fue el estudio y desarrollo de modificaciones en la resina urea- formaldehído con relleno inorgánicos nacionales para mejorar o mantener las propiedades adhesivas de la resina y las propiedades físico mecánicas en los tableros con el objetivo de disminuir el costo de producción.

Los rellenos inorgánicos en el caso de la resina urea- formaldehído le imparten muy buena plasticidad pues disminuyen la cristalinidad del retículo polimérico al penetrar las moléculas de los aluminosilicatos en el mismo.

La resina urea formaldehido utilizada procedió de la fábrica de tableros “Camilo Cienfuegos”, al igual que las partículas para las dos capas de los tableros.

Se utilizó como relleno con granulometría menor de 40 micras, zeolita tasajeras, procedente de los yacimientos de la provincia de Villa Clara.

Las propiedades físico- químicas de las mezclas de zeolita y resina UF, fueron:

Muestras	PH	Tiempo de gel (s)	Viscosidad (s)
5%	8.57	142	85
10%	8.67	156	105
15% %	8.62	187	130

Se elaboraron los tableros con los mismos % de zeolita como relleno y resultó que las propiedades de los tableros disminuyeron ligeramente comparados con el tablero patrón sin rellenos.

Teniendo en cuenta el desarrollo adquirido en Cuba en la producción de resina urea-formaldehido, Almagro, (1988) (20), consideró oportuno elaborar una monografía con el objetivo de contribuir a elevar la calificación y el nivel técnico del personal relacionado, de una u otra forma, con esta actividad.

Se señaló que las perspectivas actuales de esta resina no se limitan a su empleo como aglutinante, pues, además, constituye un punto *de* partida importante para el surgimiento y desarrollo de una industria de materiales *de* recubrimiento, sin lo cual los productos aglomerados, en especial los tableros, no podrían sustituir ventajosamente a la madera natural.

Más del 90 % de la producción mundial de tableros se realiza con este aglutinante. Varios factores han incidido para el establecimiento de esta evidente tendencia de

uso. En primer lugar, podemos mencionar el factor económico, complementado satisfactoriamente con las características técnicas de este aglutinante, en segundo lugar, la poca complejidad del proceso de elaboración y las facilidades tecnológicas que ofrece para su aplicación en la industria.

La monografía recoge aspectos sobre las materias primas fundamentales que se utilizan, la química y tecnología de producción, las consideraciones tecnológicas acerca de la resina en la industria de aglomerados y aspectos económicos y las perspectivas del incremento de este tipo de resina.

Serantes, (2002) (21) en la monografía sobre resina fenol formaldehído que tuvo como objetivo poner al alcance de los productores de la industria de tableros un material que sirviera de instrucción y documentación en el conocimiento de este tipo de resina, utilizada en la mencionada industria.

La resina fenol-formaldehído (PF) (fenólica) tiene su mayor aplicabilidad en los tableros que van a ser expuestos a altas condiciones de humedad. Parte de la producción de tableros en las fábricas se confeccionan con resina fenólica para usos especiales, ya que el tablero confeccionado con esta resina posee un costo superior al de la resina urea-formaldehído (U.F) pero, como señalamos, tiene otras ventajas sobre estos últimos con relación a su uso en encofrado y la construcción en general.

Esta monografía, recoge aspectos relacionados con las materias primas fundamentales, teoría, reología y características generales de los aglutinantes. En la misma también aparece el fundamento teórico y la tecnología de producción, las técnicas para caracterizar resinas fenol-formaldehído y las consideraciones en el proceso de producción de tableros fenólicos: ciclo de prensado, viscosidad, la influencia de la humedad en el perfil de densidad, entre otros temas de interés.

La resina fenólica para tableros se produce por la reacción de condensación del fenol con el formaldehído en presencia de hidróxido de sodio como catalizador. Esta

resina obtenida en el ICIDCA presenta características similares a las utilizadas a nivel mundial. Serantes, *et al.* (1985) (22)-

La resina fenol-formaldehido utilizada como aglutinante le confiere a los tableros ciertas propiedades tales como gran módulo de ruptura, mayor resistencia a la humedad, a los hongos y a los microorganismos.

Este tipo de resina es destinada fundamentalmente para la producción de tableros para, construcción de soportes de suelos, encofrados y otros usos que requieren de un material resistente a la humedad. Esta resina se emplea además, en la impregnación de papeles de las capas interiores de la formica, en otros tipos de recubrimientos y en la unión de madera contrachapada.

En el trabajo se expusieron también las características del producto, la situación de las investigaciones que hasta ese momento se habían realizado, la tecnología de producción y los requerimientos para asegurar la producción industrial.

En el Instituto se estuvo estudiando desde el año 1985, por Serantes, *et al.* (1986) (23), la problemática del formaldehido libre en tableros de partículas. Al año siguiente a solicitud de la Dirección de Derivados del MINAZ, se visitaron en dos ocasiones todas las fábricas de tableros de partículas existentes en el país para comprobar el cumplimiento de las técnicas de caracterización de la resina urea formaldehido y la determinación del formaldehido libre en tableros. Esta actividad se inició con un Seminario que se desarrolló en el ICIDCA, donde se impartieron clases teórica y práctica sobre estos temas.

En el informe elaborado se reportaron los resultados de las visitas y las dificultades confrontadas en cada una de las fábricas visitadas, se señala que los niveles de formaldehido libre en tableros en todas las fábricas fueron elevados. Las propiedades de los tableros fueron normales, no se afectaron por el alto contenido de formaldehido libre, las resinas presentaron buenas características excepto el

formaldehido libre que se encontró por encima del establecido, para producir tableros de buena calidad.

Serantes, *et al.* (1989) (24) realizaron investigaciones sobre el desarrollo de la resina urea paraformaldehido para obtener tableros con bajo contenido de formaldehido libre, se estudió el comportamiento en el tiempo de las propiedades de la mezcla de resina y el reductor RF-112, cuando se varían los por cientos de catalizador y emulsión de parafina, además se optimizaron estas cantidades con las propiedades de los tableros, así como el formaldehido libre de estos el cual debe ser menor de 10 mg/100g para alcanzar la categoría de calidad E<sub>1</sub>.

Se obtuvieron las curvas que definen el comportamiento de las propiedades de la resina con el reductor en el tiempo, las curvas de propiedades físico mecánicas y formaldehido libre cuando se varía el cloruro de amonio y la emulsión de parafina, sobre la resina líquida.

Desde hace algunos años se viene estudiando a nivel mundial la problemática de las emanaciones de formaldehido libre en los tableros de partículas, las cuales como es sabido afecta la salud del hombre.

En el Dpto. de Aglomerados del ICIDCA, Serantes, *et al.* (1989) (25) estuvieron investigando desde 1985 como hacer descender estas emanaciones a niveles permisibles, para lo cual se hicieron trabajos utilizando un producto reductor RF-112 sintetizado en base a urea y formaldehido al 37 % el cual fue probado a nivel de laboratorio como en la industria reportando buenos resultados.

En este nuevo estudio se llevó a cabo la síntesis de otro compuesto reductor de formaldehido en el cual se emplea urea y formaldehido sólido (90 – 91 % de concentración) es decir el paraformaldehido y al producto se le nominó RF – 306. Las características obtenidas del compuesto son similares a las obtenidas con el

RF – 112. Las propiedades de los tableros y el formaldehído libre se encontraron en el rango establecido para la producción de tableros calidad E<sub>1</sub>.

Las resinas de urea formaldehído que se emplean de forma generalizada en la industria de tableros, poseen un tiempo de almacenamiento de aproximadamente 3 meses y las de urea paraformaldehído, más reactivas que las primeras, entre 20 – 30 días dependiendo de las condiciones de almacenamiento. Serantes, *et al.* (1989) (26)-

La viscosidad de la resina se incrementa durante el tiempo de almacenamiento, lo que la puede convertir en inutilizable para el proceso de producción de tableros. Por lo que para profundizar en este aspecto, se realizó este trabajo para estudiar la variación de las características de la resina y las propiedades físico mecánicas y el formaldehído libre de los tableros con calidad E<sub>2</sub> y E<sub>1</sub> en función del tiempo de almacenamiento durante 40 días, produciéndose tableros cada 5 días. Del análisis de los resultados se comprobó que las propiedades se mantienen estables en el rango de 5 a 35 días de almacenamiento.

Sobre las determinaciones de formaldehído libre en los tableros, por la importancia del tema y expuestas en trabajos anteriores, se continuaron haciendo estudios por Serantes, *et al.* (1990) (27).

El método más empleado y reconocido internacionalmente es el FESYP basado en la perforación al tablero con tolueno. Posteriormente surgió un nuevo método, el WKI que se basa en la absorción por el agua del formaldehído liberado por una muestra cerrada herméticamente en un recipiente plástico.

Ambos métodos mencionados y otros, utilizan la valoración yodimétrica para determinar el formaldehído en la solución a analizar, dicha valoración es bastante precisa para determinar formaldehído en pequeñas magnitudes como mg/g de tableros.



Por la ventaja de ahorrar reactivos, surgió el método de la determinación fotocolorimétrica donde se utiliza el acetil acetona para desarrollar color y es más preciso en la determinación, como desventaja se puede señalar la necesidad de contar con un equipo fotocolorimétrico o espectrofotométrico.

Por lo que para ese trabajo se realizó el montaje de esta técnica (WIHS 318 – 1985) para ser utilizada en nuestros laboratorios y prospectivamente en las fábricas y los resultados se compararon con las determinaciones por el método FESYP. También se obtuvo la curva de calibración entre los dos métodos comparados con un ajuste de 0,988.

Sobre la temática de las resinas urea formaldehído Serantes, *et al.* (1990) (28) presentaron los resultados de las investigaciones sobre el efecto de la relación molar inicial en este tipo de resinas sobre las variables de la síntesis de éstas así como su influencia en las propiedades físico mecánicas de los tableros.

Se conocen estudios realizados sobre la relación molar final, pero la inicial ha sido poco estudiada en lo referente a su efecto en la síntesis y propiedades físico químicas de la resina así como su influencia en las propiedades de los tableros de partículas.

Con este estudio se logró obtener una resina de bajo contenido de formaldehído libre, que posea suficiente adhesividad como para proporcionarle a los tableros buenas propiedades físico – mecánicas. Como resultado se alcanzó una relación molar inicial de 2,3 – 2,5 y pH 3,0, para la producción de tableros de partículas con bajo contenido de formaldehído libre.

En la industria del mueble se utiliza frecuentemente masilla para rellena pequeños orificios o grietas que se presentan en la madera.

La masilla que se emplea se puede elaborar con diferentes componentes, donde uno de ellos es aglutinante y otro relleno. Como aglutinante se emplean: aceite de linaza, cola animal, etc. y como relleno talco industrial fundamentalmente.

Con el objetivo de sustituir estos tipos de aglutinantes, debido a las dificultades para su obtención, Serantes, *et al.* (1990) (29) realizaron varios experimentos utilizando resina U.F. con diferentes tipos y cantidades de rellenos.

La demanda creciente de tableros con bajo contenido de formaldehído libre ha provocado numerosos estudios en diferentes ramas de investigación debido a la complejidad y alcance de la temática. Entre esos estudios se encontró el referente al ataque de hongos y termitas a este tipo de tableros.

La justificación de estos estudios radicó en el hecho de que los tableros con menor contenido de formaldehído libre son más vulnerables al ataque de hongos y termitas que los tableros confeccionados con anterioridad.

Por ese motivo Trujillo, *et al.* (1990) (30) acometieron el estudio del efecto de diferentes fungicidas, añadidos a los tableros, para comprobar si son o no eficientes y en qué cantidades es necesaria su aplicación.

Se estudiaron 5 diferentes fungicidas 3 de los cuales fueron producidos a partir del furfural y desarrollados en nuestro Instituto.

El método utilizado para aplicar el fungicida fue añadido a la resina antes de ser encoladas las partículas. Se realizó un estudio del comportamiento de la resina U.F. con diferentes proporciones de los productos fungicidas, en cuanto a miscibilidad, tiempo de gel, pH y tiempo de vida.

Con los mejores resultados se elaboraron tableros de partículas de tres capas en la planta piloto del Dpto. de Aglomerados y posteriormente fueron evaluadas sus propiedades físico mecánicas.

Además en colaboración con el Instituto de Investigaciones Forestales, se llevó a cabo la otra parte del trabajo que consistió en la identificación de los hongos que atacan a los tableros sin tratamiento y como segundo aspecto la siembra de hongos en los tableros tratados con diferentes porcentajes de agentes biocidas con sus análisis pertinentes.

De los resultados se comprobó que dos de los fungicidas utilizados hubo que desecharlos por implicar inconvenientes tecnológicos en la industria de tableros. Los tableros elaborados con los restantes fungicidas dieron que no existe una influencia marcada en las propiedades físico -mecánicas, en el rango estudiado.

En el departamento de Productos Aglomerados del ICIDCA, se desarrolló en 1987 por Serantes, *et al.* (1991) (31) un tapaporos en base de resina urea formaldehído (U.F.) que tuvo como relleno caolín en una alta proporción en su composición. Este tapaporos o sellador de superficie está concebido para ser aplicado por el sistema de rodillos.

Para hacer más versátil el uso de este producto se reportaron en ese informe otra variante de trabajos anteriores el cual consistió en desarrollar el mismo sellador utilizando como rellenos: talco y yeso hidratado y anhidro.

En el trabajo se presentaron los resultados obtenidos cuando se varían los % de talco y yeso entre (40-55) % y (45-60) % respectivamente.

Se estudiaron como variables respuesta: materia seca, viscosidad y tiempo de vida, así como resistencia al despegue y rugosidad superficial estas dos últimas propiedades se evaluaron después de aplicado, secado y lijadas las probetas.

Los experimentos se realizaron en escala de laboratorio cuyos resultados sirvieron de base para seleccionar y aplicar las formulaciones óptimas en una máquina de planta piloto en muestras de (1,0 x 1.5) m<sup>2</sup> de superficie.

Serantes, *et al.* (1988) (32), dando continuidad a los trabajo sobre la temática de la disminución del formaldehído libre en tableros (E<sub>1</sub>), acometieron este trabajo, ya que en el año 1987 se estudió el efecto de las relaciones molares iniciales de la urea y el formaldehído sobre la resina UF, pero como en dicho año se comenzó a utilizar el paraformaldehído, se efectuó un estudio similar en las propiedades de la resina urea paraformaldehído.

Plantearon que para lograr este empeño se hizo necesario alcanzar niveles del formaldehído final de la resina entre 0,2 – 0,3, lo que hace que la resina cambie su reactividad y sean entonces menos adhesivas. Por lo que el objetivo central de este trabajo fue lograr un producto que teniendo mejores propiedades compense la falta de reactividad de esta por el bajo formaldehído final. Las mejores propiedades que se obtuvieron en la resina U.Pf. fueron con relaciones molares iniciales de 4 – 4.5 y valores de pH de 4 – 4.5, siendo necesario entre 5 – 10 días de almacenamiento para lograr la estabilidad mínima de las propiedades de la resina urea paraformaldehído.

La reducción del formaldehído libre en los productos aglomerados con resina urea-formaldehído preocupa en la actualidad a todos los productores en el mundo. La resina U.F. es la más utilizada por sus buenas propiedades adhesivas y bajo costo pero el formaldehído emitido es su gran inconveniente.

Desde la década del 70 se viene estudiando esta problemática, existiendo varias formas de disminuir el formaldehído en las resinas U.F. y en los productos elaborados con estas, Serantes (1988) (33), lo que se pudo resumir en cuatro formas:

1. Actuando sobre la relaciones molares en la fabricación de la resina U.F.

2. Añadiendo un producto reductor del formaldehído a la resina antes de aglomerar los tableros u otros productos.
3. Ajustando de forma muy precisa los parámetros tecnológicos como temperatura, humedad, tiempo etc. que intervienen en el proceso de producción.
4. Realizando a los productos aglomerados tratamientos posteriores a su elaboración.

En este trabajo, el autor, trató sobre el último aspecto señalado el cual aunque no conlleva a aplicar tecnologías más refinadas para producir tableros si incrementa el costo de estos pues son necesarios equipamientos adicionales en unos casos y consumo de productos químicos secuestradores de formaldehído en otros. La temática fue bastante extensa por la variedad de procedimientos y productos químicos que pudieron ser empleados.

El tema del formaldehído libre en los tableros de partículas elaborados con resina urea formaldehído ha sido ampliamente estudiado a nivel mundial y Cuba no ha estado ajena a esto, por lo que se habrá podido ver la diversidad de trabajos efectuados relacionados con esta problemática.

En este trabajo, Serantes (1990) (34) trató de resumir los aspectos más importantes a considerar en la producción de tableros con bajo contenido de formaldehído libre. Los puntos tratados fueron: la tecnología de producción de resina U.F. y la tecnología de producción de tableros E<sub>2</sub> y E<sub>1</sub>

Se discuten también aspectos relacionados con la situación actual de esta producción en Europa y en nuestro país.

Martínez, *et al.* (1990) (35) realizaron un estudio de la síntesis de un compuesto reductor de formaldehído libre para tableros de partículas de bagazo empleando como materias primas urea y formaldehído en solución al 37%. Se presentó el

proceso de síntesis así como las propiedades de los compuestos y de los tableros producidos.

Con el reductor obtenido se pudo producir tableros de calidad E<sub>1</sub>. El producto es perfectamente extrapolable a escala de 10 litros y no presentó dificultades a escala mayor.

El porcentaje de RF – 112 a emplear en tableros con el cual se obtienen mejores propiedades está en el rango de 18 – 20 %. El producto no conllevó a un gasto adicional para producir tableros E<sub>1</sub> pues este se considera en su uso como resina U.F.

Morales, A. (36) realizó un estudio preliminar con diferentes recetas a base de resina urea formaldehído (U.F.), un catalizador (cloruro de amonio) y varias sustancias como relleno (cargas).

Con el que se pretendió buscar un producto que fuera capaz de servir como relleno (carga) con la resina U. F. mediante una mezcla con catalizador y tensoactivo y que al exponerlo bajo la influencia de los rayos infrarrojos, fuera capaz de secar entre 20 - 50 segundos no debiendo exceder ese tiempo, para poder sustituir el poliéster en la línea de recubrimiento que existían en las tres fábricas de tableros de partículas (de rayos U.V) por otro tipo de sellador de origen cubano en base a resina U. F.

Se utilizaron diferentes rellenos los que debían reunir las características siguientes:

- Bajo costo
- Baja densidad.
- Estabilidad térmica.
- Ser un producto neutro, ni ácido, ni alcalino.
- Ser de fácil manipulación.
- Tener un grado reducido de absorción de agua.

- Soportar la humedad producida por el agente del aglutinante incorporado en el polímero.
- Que no absorba el grado de plasticidad del polímero.

Además de las propiedades enumeradas debían conferirle ciertas mejoras al producto final, como resistencia mecánica, a los choques y no tener tendencia a agrietarse.

Las recetas utilizadas fueron las siguientes:

- Receta #1. Resina U.F. (60 %), harina de trigo y catalizador  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (20 %).
- Receta #2. Resina U.F. (60 %) (p.s.),  $\text{CaCO}_3$  (relleno) catalizador  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (20 %).
- Receta #3. Resina U.F. (60 %) (p.s.)  $\text{CaCO}_3$  (relleno) Catalizador  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (20 %) y dextrana.
- Receta #4. Resina U.F. (58 %) (p.s.) Almidón (relleno) tensoactivo, catalizador  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (20 %).
- Receta #5. Resina U.F. (58 %) (p.s.) Polvo de lijado (relleno) catalizador  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (20 %).

De todas estas recetas la mejor fue la de almidón, tensoactivo, resina y catalizador.

Costales, (2013) (37) en la Monografía la industria de los aglomerados: desarrollo sostenido Editora ICIDCA, también se refirió a los aglutinantes donde planteó que otros elementos importantes en relación al desempeño nacional en la industria de Aglomerados, están representados por el sector de producción de las resinas o aglomerantes para esta industria. El empleo de la resina urea formaldehído llegó a convertirse en uno de los problemas más graves de estas producciones. Esto se debió a dos aspectos fundamentales: uno relacionado con la importación de la resina líquida, la cual como consecuencia del vencimiento de su vida útil, bien por condiciones no adecuadas de almacenamiento o por exceso del tiempo de transportación, llegaba a las fábricas cerca de su tiempo de polimerización. El

segundo se relacionaba con el costo de la resina y las influencias externas de los mercados accesibles al país, que en muchos casos condicionaba, incluso la capacidad productiva.

Investigadores del ICIDCA se dieron a la tarea, primeramente de modelar la síntesis en sus laboratorios, escalarla y diseñar instalaciones para este fin y anexarlas al propio flujo productivo de las plantas y poder realizar la síntesis *in situ*, como medida racional para vencer las dificultades técnico - económicas del momento. Se ejecutaron estudios comparativos en condiciones de operación estable para sustituir materias primas de más elevado valor por otras más accesibles al mercado o de menor costo, ejemplo de ello lo tenemos en las evaluaciones de la resina urea formaldehído por urea para-formaldehído.

La preocupación por la calidad de los tableros destinados a la producción de muebles no escapó de las regulaciones internacionales, al plantearse la producción de resinas con bajo contenido de formaldehído libre, elemento que instrumenta la diferenciación de las calidades de resinas en E1, E2 y E3 (30 – 60 mg de formaldehído/100 g de tableros seco).

El aprovechamiento de las propiedades adhesivas y aglutinantes de la lignina de bagazo en la industria de materiales aglomerados ha motivado que se realicen diversos estudios para demostrar esa posibilidad.

En investigaciones precedentes realizadas en el ICIDCA, se determinó la temperatura de ablandamiento a la lignina aislada del bagazo, siguiendo el colapso de una columna de polvo de lignina en dependencia de la temperatura a presión constante.

Estos estudios permitieron corroborar la potencialidad que tiene la lignina de bagazo como aglutinante siendo sin dudas este método del pistón el más idóneo cuando se desea emplear el material lignocelulósico con esta finalidad.



El uso de las técnicas del análisis térmico, como la calorimetría diferencial de barrido había sido recomendado al concluirse el primer trabajo, pues la misma permite la determinación de los rangos de temperatura donde ocurre la transición vítrea de los componentes amorfos del bagazo.

Por lo que con este estudio Santo Tomás, (1990) (38) pretendió continuar y profundizar sobre las propiedades termoplásticas de los materiales lignocelulósicos, así como de los principales factores que influyen en la misma. Para la realización del trabajo utilizó bagazo presecado en pacas procedente del central “Camilo Cienfuegos” y lignina de bagazo molida.

La transición vítrea en el preparado de lignina y en la muestra de bagazo molido se determinó mediante la calorimetría diferencial de barrido, resultando que ocurren en el rango de 35 – 73 °C.

Continuando con el tema de la lignina, el mismo autor y colaboradores (1991) (39) reflejó que por su condición de polímero amorfo, al igual que otros materiales poliméricos semejantes, presentan un comportamiento adhesivo en función de la temperatura.

Cuando la lignina, por efecto de la temperatura, se ablanda y se vuelve viscosa exhibe autoadhesión y el aprovechamiento de estas propiedades adhesivas está dado por la potencialidad del polímero lignina capaz de ser transformado y empleado como un adhesivo en la industria de productos aglomerados en sustitución de las resinas sintéticas convencionales. El objetivo de este trabajo desarrollado por Santo Tomás y Carvajal, fue determinar la temperatura de adhesión o enlazamiento en preparados de lignina en polvo, aislada por diferentes métodos o vías del material lignocelulósico, es decir lignina kraft, soda, lignosulfonatos, etc.

Los especialistas buscando soluciones más económicas en la producción de tableros de partículas, propusieron la utilización de una resina de alcohol furfurílico formaldehído en una mezcla con resina urea formaldehído con el objetivo de obtener características especiales en los tableros fabricados con esta mezcla de resinas. Hernández, *et al.* (1979) (40).

Los aspectos principales sobre los cuales se llevó a cabo este trabajo fueron:

- Obtención de una resina con un mínimo de contenido de formaldehído libre.
- Obtención de un peso seco superior al de sus componentes.
- Obtención de un tiempo de gelatinización tecnológicamente adecuado.

Se esperaba que los tableros fabricados con esta resina tuvieran una mayor resistencia a la humedad y a los ataques biológicos debido a su contenido de alcohol furfurílico.

Las variables estudiadas fueron la relación de combinación, el pH inicial y el tiempo de reacción y como respuesta el peso seco, la viscosidad, el formaldehído libre, el tiempo de gelatinización, el tiempo de vida y la densidad.

En los resultados se observó la influencia del pH en el tiempo de gelatinización y en el formaldehído libre. A menor pH inicial se obtiene una disminución en los dos aspectos señalados.

A petición de la fábrica de tableros de partículas Maderas Técnicas, la Lic. Casal, (1977) (41) realizó el presente trabajo con el fin de solucionar algunas deficiencias que se producían en la fabricación y uso de la resina urea formaldehído.

A fin de evaluar las cualidades de ambas formulaciones y corroborar las experiencias de laboratorio, se elaboró un plan de trabajo conjunto en colaboración entre la fábrica y el ICIDCA el cual consistió en lo siguiente:

- Síntesis de la resina a escala industrial según las fórmulas que se utilizaban en ese tiempo y las nuevas propuestas: la de la fábrica y la del ICIDCA
- Caracterización de las resinas sintetizadas
- Fabricación de tableros
- Determinación de las propiedades físico – mecánicas de los tableros.

De acuerdo a los resultados se pudo afirmar que la resina propuesta por el ICIDCA tuvo una calidad adecuada para ser utilizada en la elaboración de tableros teniendo las siguientes ventajas:

- Se reduce el % de formol libre en la resina a un nivel muy similar al que ofrece la propuesta por la fábrica y se consume menor cantidad de urea en la segunda etapa.
- Al mezclarla con el agua no aparecen grumos u otros residuos pegajosos que pudieran ocasionar tupiciones en las tuberías
- No introduce modificaciones de gran complejidad.

Por las grandes exigencias que existen a nivel mundial con respecto al formaldehído libre en los tableros de partículas, por el carácter tóxico de este producto, en el ICIDCA se han realizados numerosos trabajos sobre este tema Serantes (1986) (42).

Para solucionar esta problemática y producir paneles con bajo contenido de formaldehído libre existen varias vías aunque esto no puede considerarse un problema resuelto a nivel mundial. Una de estas vías es confeccionar una resina que sea capaz de aglutinar las partículas, que aporte buenas propiedades a los tableros y que posean un bajo contenido de formaldehído libre.

Este estudio tuvo como objetivo encontrar valores de formaldehído libre en resinas a los niveles establecidos internacionalmente., con propiedades adecuadas en los tableros.

El trabajo consistió en confeccionar varias resinas de urea paraformaldehído, que es el tipo de resina que se estaba produciendo en esos momentos, variando las relaciones molares finales. El rango de relaciones finales escogido para las síntesis de las resinas fueron: 1:0.9, 1:1.1, 1:1.3 y 1:1.5.

Con estas resinas se realizaron tableros con ciclo de prensado de 7 min a  $160 \pm 5$  °C y 25 kg/cm<sup>2</sup> de presión específica. El bagazo utilizado fue de la fábrica de tableros "Camilo Cienfuegos".

Los mejores valores encontrados estuvieron por encima de la relación molar de 1:1,1.

Hernández, *et al.* (1978) (43) trataron una resina de características conocidas con productos químicos de acción fungicida con el objetivo de determinar la afectación que estos pudieran producir en el comportamiento físico y químico del aglutinante y de los tableros confeccionados con las distintas resinas modificadas. Se ensayaron tres compuestos, dos de los cuales son productos comerciales y el tercero es producto de una síntesis del Dpto de Hídrolisis del Instituto.

Cada uno de ellos se adicionó en dos concentraciones según las dosis efectivas recomendadas por sus proveedores, para proteger a los tableros de hongos y bacterias.

Las distintas resinas modificadas y no modificadas fueron caracterizadas y comparadas.

Con los aglutinantes obtenidos se confeccionaron tableros a los cuales se les realizaron las pruebas físico-mecánicas y también fueron enviadas al Dpto. de Microbiología con el fin de conocer el efecto inhibitor de los fungicidas aplicados. Desde que se produce resina urea formaldehído en nuestro país, el formaldehído al 37 % se importa. El metanol es la principal materia prima empleada para producir

formaldehído por lo que en dependencia del proceso de producción este contendrá mayor o menor por ciento de metanol en su composición. También el metanol se añade al formaldehído para estabilizarlo y evitar que precipite el paraformaldehído, además el mismo hace que disminuya el punto de congelación de este.

El efecto del contenido de metanol en la solución de formaldehído en las propiedades físico – químicas de la resina urea formaldehído es el objetivo de este tema, Serantes, et. al. (1990) (44) así como en las propiedades de los tableros de partículas confeccionados con esta resina.

Se estudió el rango del por ciento de metanol referido en la literatura así como por la experiencia de los investigadores del ICIDCA.

El contenido de metanol se estudió entre 5 – 17%. Las resinas se elaboraron con bajo contenido de formaldehído libre es decir para producir tableros E<sub>2</sub>. El formato de los tableros fue de 30 x 30 cm a escala de planta piloto en condiciones de temperatura, presión y ciclo de prensado normales.

El aumento del % de metanol en formaldehído incrementó el tiempo de gel de resina, haciéndola menos reactiva.

Las propiedades físico química de la resina UF se mantuvieron dentro del rango excepto el tiempo de gel que varió.

No hubo efecto significativo de las propiedades de la resina con relación al almacenamiento con respecto al incremento del % del metanol.

No se apreció influencia del % de metanol sobre las propiedades físico mecánicas de los tableros.

El formaldehído libre en los tableros no se afectó por el incremento del % de metanol.

## **Bibliografía**

1. Lodos, J.; Cherkasov, M. Utilización de las resinas furfural-urea en la fabricación de tablas de bagazo. XXXVIII Conferencia de la ATAC. 1968
2. Casal, A.; Carvajal, O. Síntesis y caracterización de resina fenólica para los tableros de partículas de bagazo. 1974.
3. Casal, A.; Machado, L. Síntesis y caracterización de resina urea formaldehído para tableros de partículas. 1975
4. Serantes, M.; Sedliacik, M.; Morales, A. Síntesis de resina fenol-formaldehído para la producción de tableros con alta resistencia a la humedad. Revista ICIDCA V. XIX No. 2. 1985
5. Perlac, J., Carvajal O. Avances en la utilización de resinas para la producción de tableros de partículas para exteriores. Revista ICIDCA Vol. XXIII No. 2. 1989
6. Serantes, M.; Martínez, O. Almarales, G.; Morales, A. Estudio del formaldehído libre en resinas urea formaldehído para la producción de tableros de partículas. Revista ICIDCA Vol. XXIII No. 2. 1989
7. Serantes, M.; Morales, A.; Almarales, G. Sellador en base de resina urea-formaldehído (UF) para tableros de partículas de bagazo. Revista ICIDCA Vol. XXIV No. 1. 1990
8. Serantes, M. Sedliacik, M. Morales, A. Puig, J. Almarales, G. y Sosa, P. Catalizadores en resina fenol-formaldehído para la producción de tableros de partículas de bagazo. Revista ICIDCA Vol. XXIV No. 2 y 3 1990.
9. Trujillo, M.; Naranjo M. E. y Morales, A. Resina melamina formaldehído para laminados, estudio de estabilizadores. Revista ICIDCA, Vol. XXV No. 1,2 1991
10. Martínez, O. Serantes, M. y colaboradores. Estudio comparativo de resina urea-formaldehído y urea paraformaldehído en la producción de tableros de partículas de bagazo. Revista ICIDCA Vol. XXV No. 3. 1991

11. Serantes, M. Trujillo, M. Martínez, O. Almarales, G. Efectos producidos por el contenido de metanol en las propiedades de resina urea formaldehido. Revista ICIDCA Vol. XXVI No. 1. 1992
12. Serantes, M. y colaboradores. Estudio comparativo de las técnicas WKI y FESYP en tableros de partículas de bagazo. Revista ICIDCA Vol. XXVI No. 1. 1992
13. Serantes, M.; Trujillo, M.; Valdés, J. L. y Martínez, O. Adhesivos en base de resina U.F. de pegado en frío CF – 165 para uniones fijas en tableros, madera, formica y otros usos. Revista ICIDCA Vol. XXVI No. 2. 1992
14. Serantes, M.; Trujillo, M.; Martínez, O. Correlación entre las propiedades de la resina U.F. endurecida con las propiedades de los tableros de partículas de bagazo de caña de azúcar. Revista ICIDCA
15. Serantes, M.; Trujillo, M.; Cruz, R.; Arbolay. S. Metilolación de la lignina a la soda de bagazo para producir resina lignina fenol formaldehido. Revista ICIDCA. Vol XXVII No. 1. 1993
16. Serantes, M; Martínez, O; Morales, A; Almarales, G; Puig, J; Sosa, P. Estudio del formaldehido libre en resinas urea-paraformaldehido (u.pf.) para producir tableros de partículas de bagazo. Suplemento Revista ICIDCA No. 1 (1990)
17. Serantes, M.; Trujillo, M.; Arbolaez, S.; Grau, A. y Cruz, R. La lignina alcalina de bagazo. Resultados y perspectivas como aglutinante de tableros de partículas. Revista ICIDCA Vol. XXVIII No. 1 – 3 1994
18. Serantes, M.; Martínez, O.; Leal, J. A.; Sosa, P. Desarrollo de la resina combinada Urea-Formaldehido-Paraformaldehido. UFPf. para la producción de tableros de partículas de bagazo de caña de azúcar. Revista ICIDCA Vol. XXXV No. 2-3. 2001
19. Serantes, M.; Vega, N.; Leal, J. A.; Renté, A.; Rodríguez, M. E. Utilización de zeolitas en la resina U.F. para la industria de tableros para disminuir los costos de producción. Diversificación 2002.
20. Almagro, R. Monografía: La resina UF en la industria de productos aglomerados. ICIDCA. 1988.
21. Serantes, M. Monografía: Resina fenol – formaldehido para la producción de tableros de partículas. ICIDCA. 2002

22. Serantes, M y colaboradores. Estudio de oportunidad de la producción de resina fenólica para tableros de partículas. Informe interno ICIDCA. 1985
23. Serantes, M. Informe final de las tareas: Establecimiento de las técnicas de métodos de ensayo de formaldehido libre y Seguimiento al establecimiento de los métodos de ensayo de la resina U.F. Informe interno ICIDCA. 1986.
24. Serantes, M. Estudio de optimización de la resina U.Pf. E<sub>2</sub> con reductor RF-112 para producir tableros de calidad E<sub>1</sub>. Informe interno ICIDCA. 1989
25. Serantes, M.; Trujillo, M.; Martínez, O.; Puig, J.; Sosa, P.; Almarales, G. Ampliación del estudio del reductor RF-112 con paraformaldehido, Informe interno ICIDCA, 1989.
26. Serantes, M.; Trujillo, M.; Martínez, O.; Puig, J.; Sosa, P.; Almarales, G.; Arbolay, S. Estudio del tiempo de almacenamiento y de vida de la resina E<sub>1</sub>. Informe interno ICIDCA. 1989.
27. Serantes, M.; Trujillo, M.; Arbolay, S.; Almarales, G. Determinación fotocolorimétrica del formaldehido libre en tableros de calidad E<sub>2</sub> y E<sub>1</sub>. Informe interno ICIDCA. 1990.
28. Serantes, M.; Trujillo, M.; Martínez, O.; Morales, A. Estudio de la relación molar inicial en la síntesis y las propiedades de la resina U.F. Informe interno ICIDCA. 1990.
29. Serantes, M. y colaboradores. Estudio sobre masilla para muebles en base de resina U.F. Informe interno ICIDCA. 1990
30. Trujillo, M; Serantes, M.; Martínez, O.; Puig, J.; Guerra, C.; Bartroli, R. Estudio de fungicidas en tableros de bajo contenido de formaldehido libre. Informe interno ICIDCA. 1990.
31. Serantes, M.; Almarales, G; Rodríguez, M. E. Sellador en base de resina urea formaldehido para tableros de partículas de bagazo. Ampliación del estudio con el empleo de talco y yeso como relleno. Informe interno ICIDCA. 1991
32. Serantes, M.; Trujillo, M.; Martínez, O.; Morales, A.; Matos, S.; Sosa, P. Estudio de las relaciones molares iniciales en la resina urea paraformaldehido (U.Pf.) con bajo contenido de formaldehido libre en las características físico química de la resina. Informe interno ICIDCA. 1988



33. Serantes, M. Tratamientos posteriores para la reducción del formaldehído libre en productos aglomerados. Informe interno ICIDCA. 1988.
34. Serantes, M. Experiencias en la producción de tableros con bajo formaldehído libre. II Seminario Internacional de Derivados. 1990
35. Martínez, O.; Serantes, M.; Puig, J.; Sosa, P. Estudio sobre la producción del compuesto reductor de formaldehído libre RF – 112 para producir tableros de partículas de bagazo de calidad E<sub>1</sub>. Informe ICIDCA. 1990
36. Morales, A. Recetas utilizadas para obtener un sellador a base de resina U.F.
37. Costales, R. Monografía la industria de los aglomerados: desarrollo sostenido Editora ICIDCA. 2013.
38. Santo Tomás, J. Estudio de las propiedades adhesivas de la lignina de bagazo. Segunda parte. Empleo de la calorimetría diferencial de barrido en la determinación de la transición vítrea de los componentes amorfos del bagazo. Informe interno ICIDCA. 1990.
39. Santo Tomás, J.; Carvajal, O. Propiedades adhesivas de la lignina técnica para la determinación de la temperatura de adhesión en preparados de lignina. Informe interno ICIDCA. 1991
40. Hernández, A.; Gómez, I.; Serantes, M. Mezclas de resina urea formaldehído modificada. Informe interno ICIDCA. 1979.
41. Casal, A. Proposición de cambio de formulación de resina urea formaldehído. Apoyo a la industria. ICIDCA. 1977
42. Serantes, M. Estudio de las resinas urea paraformaldehído y su efecto en las propiedades físico – mecánicas y el formaldehído libre en tableros de partículas de bagazo. ICIDCA. 1986
43. Hernández, A.; Plaza, A.; Gómez, I. Investigaciones de aplicación de aditivos químicos que modifican las propiedades de los tableros. ICIDCA. 1978
44. Serantes, M.; Trujillo, M.; Martínez, O.; Almarales, G.; Puig, J.; Sosa, P. Estudio del efecto del contenido de metanol en las propiedades de la resina U.F. y en los tableros E<sub>2</sub>. Informe interno ICIDCA. 1990.

## **Capítulo 8. Tecnologías de producción de tableros de fibras de densidad media (MDF)**

Dra. Ofelia Carvajal Cabo

En la Monografía de Productos Aglomerados a partir del bagazo, La Serna, *et al.* (1982) (1) señala que en la década del año 1960 salió al mercado un nuevo tipo de tableros de fibras de densidad media, cuyas características generales tienen una gran similitud con las del tablero de partículas, y pueden superarlos en algunos aspectos técnicos. Su producción se basa en el método seco, lo que permite elaborarlo liso por ambas caras. Por el método húmedo, también es posible elaborar tableros de fibra de mediana densidad, pero su producción para espesores superiores a 12 mm se dificulta, fundamentalmente, en el proceso de formación del colchón.

Los tableros de fibras de densidad media, conocidos en el mundo como MDF, pueden fabricarse en un amplio rango de espesores, aunque los más utilizados son los de 16 y 19 mm. Su densidad oscila de 600 a 800 kg/m<sup>3</sup>, dependiendo del espesor y, además, poseen una lisura superficial y una homogeneidad en los bordes que le proporcionan una gran versatilidad para su elaboración, como perfilados, rebordes y otros.

El bagazo, por su primario carácter fibroso y su baja densidad, ofrece la posibilidad de elaborar los tableros de fibras de densidad media con reducidos consumos energéticos y con una gran compactación y ligereza, lo que le proporciona una gran semejanza a la madera natural.

Por otra parte, una incuestionable ventaja se obtiene para producir el MDF, en relación al almacenamiento de bagazo pues se puede realizar a granel, lo que redundaría en beneficios tales como: menor área de almacenamiento, mayor mecanización de la manipulación y, por tanto, menor fuerza de trabajo, eliminación

de empacadoras y rompepacas, y eliminación de los peligros de incendio en el bagazo almacenado.

También el MDF requiere de menores consumos de resina a causa de la contribución que realiza la propia lignina contenida en los materiales lignocelulósicos y que es activada durante el proceso de fabricación. A juicio de numerosos autores, resulta incuestionable que el tablero MDF tendrá una notable expansión.

El MDF se considera como un fuerte oponente del tablero de partículas, en cuanto a producto se refiere, aunque desde el punto de vista técnico y económico de su producción aún presenta ciertas desventajas.

En otra obra sobre el mismo tema, Carvajal (2000) (2) reportó que los tableros de fibras de densidad media, conocidos por las siglas MDF, fueron desarrollados en los Estados Unidos por Miller Hofft Engineering, siendo construida la primera planta en New York en 1966 por la Barnet Division de Allied Chemical Corporation, con una capacidad de 50 000 m<sup>3</sup>/año. A partir de esta planta y hasta la fecha de elaboración de este trabajo, se habían construido en el mundo 244 plantas de esta tecnología, con una capacidad instalada de 24 131 000 m<sup>3</sup>/año.

El notable crecimiento que se ha experimentado a nivel mundial por este proceso, se debe a las características de estos paneles que permite diferentes operaciones de maquinado, lo que hace posible fabricar muebles de superior calidad. En este trabajo se analizaron aspectos relacionados con las materias primas, tecnología, características del producto, usos, capacidades instaladas, países que lo producen y algunos aspectos económicos, según la información disponible.

La industria del mueble fue el primer consumidor de los tableros aglomerados de partículas, en combinación con los tableros de fibras de espesores finos, para ser utilizados en los respaldos, fondos de gavetas, etc. No es hasta finales de la década

del 60, que surge una nueva tecnología, el tablero de fibras de densidad media, conocido por las siglas MDF, este tipo de tablero tiene la ventaja con respecto a los anteriores que presenta un excelente acabado y la posibilidad de ser maquinado en sus cantos, lo que ha permitido una mayor versatilidad en los diseños. Carvajal (2002) (3)

En ese trabajo se exponen resumidamente, los resultados del estudio comparativo efectuado entre los tableros de partículas y los de fibras MDF, desde el punto de vista tecnológico, de las propiedades, así como de las capacidades instaladas a nivel mundial. También se hace mención a la producción de estos paneles a partir del bagazo.

En la siguiente tabla se reportan los insumos fundamentales para la producción de 1 m<sup>3</sup> de tableros TP y MDF:

<b>Materias Primas</b>	<b>Índices de consumo</b>	
	<b>TP</b>	<b>MDF</b>
Material fibroso (t)	0.8	0.93
Resina UF líquida (55 % sólidos) (kg)	89	93
Cloruro de amonio (sólido) (kg)	0,8	-
Parafina sólida (kg)	4.0	4.2 – 12.7
Ácido esteárico (kg)	0.2	-
Electricidad (kW-h)	230	300
Fuel Oil (kg)	43.4	-
Aire comprimido (Nm <sup>3</sup> )	72	110
Agua (m <sup>3</sup> )	0.066	-
Vapor	-	2 600

Las propiedades físico - mecánicas de tableros TP y MDF, se exponen a continuación:

<b>Propiedad</b>	<b>TP</b>	<b>MDF</b>
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	650 ± 50	760 – 730
Resistencia a la flexión (MPa)	16 (min)	28 (min)
Módulo de elasticidad (MPa)	1 600 (min)	2 500 (min)
Resistencia a la tracción (MPa)	0.35 (min)	0.60 (min)
Dilatación del espesor por inmersión en agua 24 h (%)	18 (máx.)	8 (máx)
Humedad (%)	8 ± 3	8 ± 3

Las características y propiedades de los tableros MDF permiten una mayor calidad y versatilidad en los diseños de los muebles que los que se producen a partir de los TP.

En la actualidad existe un ritmo de crecimiento mayor de las capacidades instaladas en los MDF con relación a los TP.

Después de la madera, el bagazo es la materia prima, más utilizada para la producción de estos aglomerados.

Las propiedades y aspecto externos de los TP y MDF con bagazo cumplen con las exigencias internacionales.

En el Manual de los derivados de la caña de azúcar. Parte 3. Derivados del bagazo, en el punto 3.19, Tableros de fibras de densidad media (MDF), Carvajal, *et al.* (2000) (4) expusieron las características de este tipo de tableros, los usos, el proceso tecnológico, los aspectos económicos como el costo de inversión de una planta, los precios, el números de plantas y la capacidad instalada por regiones hasta 1998.

En la Monografía la Industria de los Aglomerados: Desarrollo Sostenido (2013) (5), el Ing. Costales, reportó la producción de MDF por sectores del mundo al cierre del 2005, siendo la siguiente:

<b>Región</b>	<b>Capacidad m3/a</b>	<b>No de plantas</b>
China	15 690 000	188
Europa	15 416 000	72
Asia Pacífico	7 973 000	53
América del Norte	5 634 000	27
América del Sur	3 292 000	14
África / Medio Oriente	435 000	6
<b>Total global</b>	<b>48 440 000</b>	<b>491</b>

América del Sur es considerada el continente en el cual los MDF han logrado el mayor índice de crecimiento a escala mundial, duplicando su capacidad productiva en muy escaso período de tiempo. Posee su exponente más notorio en Brasil, el cual poseía en 2005 una capacidad productiva superior a 1,21 millones de metros cúbicos por año obtenida por tan solo 5 firmas. El resto de la producción continental, ascendente a 2,41 millones de metros cúbicos por año, se encuentra distribuida en orden descendente entre: Argentina, Chile, Venezuela y Ecuador.

Con esta información se observó el crecimiento que ha tenido este tipo de tableros en el tiempo.

En otro de los trabajos sobre tableros MDF, Carvajal y Costales (2008) (6), señalaron que el proceso tecnológico de estos tableros es una combinación de los tableros de partículas y de los de fibras, ya que después de la preparación del material lignocelulósico mediante desfibrado con tratamiento térmico y un posterior refinado (160-180°C) (6-10 atm), antes del secado se aplica la resina (8-10% UF) y

otros aditivos (parafina fundida), posteriormente se lleva a cabo la formación de los colchones, el prepresado y el presado y por último las etapas de acabado que incluye el canteado, la climatización y el recubrimiento.

Para el recubrimiento de estos tableros, pueden emplearse laminados impregnados, folios, chapillas de madera, etc. lo que le aporta a éstos mayor protección y estética.

Los índices de consumos de estos tableros son:

Bagazo	1,3 kg
Aglutinante	0.03 kg
Agua	48 kg *
Energía Eléctrica	8,4 kwh *
Combustible	0.55 kg *

\* Varían en dependencia de la instalación.

## **Bibliografía**

1. La Serna, N.; Almagro, R.; Carvajal, O.; Valdés, J. L.; de la Vega, E. Monografía Productos aglomerados a partir del bagazo. Editorial Científico – Técnica. 1982-
2. Carvajal, O. Tecnología de producción de tableros de fibras de densidad media (MDF) de bagazo. Diversificación 2000-
3. Carvajal, O. Estudio comparativo de los tableros de partículas y de fibras de densidad media (MDF) para la industria del mueble. Diversificación 2002.
4. Carvajal, O.; Rodríguez, L. Manual de los derivados de la caña de azúcar. Tercera Edición. Parte 3. ICIDCA. 2000.
5. Costales, R. Monografía la industria de los aglomerados: desarrollo sostenido Editora ICIDCA. 2013.
6. Carvajal, O.; Costales, R. Aprovechamiento del bagazo en la industria de los aglomerados. ICIDCA 2008-

# Capítulo 9 Tecnologías de producción de tableros con aglutinantes inorgánicos

Dra. Ofelia Carvajal Cabo

En la Monografía sobre Productos Aglomerados, La Serna, *et al.* (1982) (1), se denominan a los productos aglomerados con materiales inorgánicos (minerales) a los que se obtienen a partir de materiales fibrosos lignocelulósicos y que utilizan como aglutinante sustancias inorgánicas.

Los compuestos químicos empleados como aglutinantes son, entre otros, el cemento *Portland*, la magnesita y el yeso. De estos, el cemento *Portland* de fraguado rápido es el más difundido

En el Dpto. de Aglomerados, también se trabajó en investigaciones relacionadas sobre tableros con aglutinantes inorgánicos, en uno de los primeros trabajos publicados, por el Ing. Valdés, (1984) (2) brindó una información resumida sobre estos productos, en la que se expuso su clasificación, características de las materias primas a emplear y principios de las tecnologías de producción. Por último se hizo una breve referencia sobre las posibilidades de utilizar los residuos agrícolas para estas producciones, así como las experiencias en las investigaciones llevadas a cabo en el ICIDCA sobre el uso del bagazo de la caña de azúcar para estos fines.

Los resultados de estas investigaciones, arrojaron preliminarmente, los siguientes resultados:

Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1300 ± 50
Resistencia a la flexión (MPa)	10 ± 2
Resistencia a la tracción perpendicular (MPa)	35 ± 0.5
Humedad (%)	8 ± 0.5



Se utilizó cemento Portland P 350 de fraguado normal en una relación bagazo – cemento de 1:2.75. Como aditivos se emplearon el silicato de sodio, sulfato de aluminio y cal. El agua se añadió hasta alcanzar mezclas de 45 % de humedad b.s. El contenido total de azúcar en bagazo no excedió el 0.5 %.

En otro trabajo publicado sobre esta misma temática por Valdés, *et al.* (1984) (3), se reportó que los tableros de partículas de alta densidad aglutinados con cemento Portland ocupan en la actualidad un importante lugar dentro de este campo, debido a sus excelentes características como material de construcción por lo que su producción y comercialización muestran un ascenso.

De los resultados que se obtuvieron en el trabajo experimental desarrollado, se estableció que para el rango de densidades entre 1 150 y 1 300 kg/rn<sup>3</sup> se lograron excelentes propiedades para los tableros elaborados con bagazo aglutinado con cemento Portland P-350, teniendo en cuenta los parámetros establecidos, que consistió en confeccionar tableros de 3 capas con un contenido del 35 % en peso del material para las capas superficiales y un 65 % para el centro, el espesor de los tableros fue de 10 mm.

Los valores medios de las propiedades obtenidas fueron:

Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1 300
Resistencia a la flexión (MPa)	6,3
Módulo de elasticidad (MPa)	1 749

Como parte de las tareas desarrolladas en las investigaciones de los paneles de bagazo aglutinados con cemento se analizó de forma preliminar las posibilidades económicas que ofrece la producción de estos paneles de bagazo cemento en nuestras condiciones. Y además se presentó una breve descripción del proceso tecnológico de este panel y se comparó con la situación internacional del panel de madera cemento. Martínez (1985) (4).

La información disponible para esa evaluación permitió señalar que la producción del panel de bagazo cemento resulta ventajosa, teniendo en cuenta el costo calculado, donde los elementos que más inciden en el mismo pueden ser obtenidos nacionalmente, ellos son el bagazo, el cemento y adicionalmente la inversión, siendo el cemento el elemento que más incide en el costo de producción.

La problemática de los tableros con aglutinantes inorgánicos y dentro de este campo el uso del yeso gana cada día un lugar más importante en la industria de materiales de construcción. Valdés, *et al.* (1988) (5).

Para nuestro país la posibilidad de utilizar el bagazo para la producción de tableros de partículas aglutinados con yeso, pudieran brindar una alternativa prometedora teniendo en cuenta los volúmenes de este material lignocelulósico que se obtienen anualmente y la disponibilidad de yeso natural.

Las experiencias investigativas preliminares así como los criterios económicos exploratorios que se han realizado demostraron la factibilidad de llevar a cabo estudios más profundos que permitan avanzar en esta línea, que brindaría, de poderse implementar su producción industrial, una vía más de obtención de paneles ligeros para la construcción a partir de materias primas nacionales.

El autor, describió los avances de esa temática reportados en la literatura, así como nuestras experiencias preliminares en la elaboración de tableros bagazo-yeso en las instalaciones investigativas del ICIDCA.

Sobre la misma temática de los tableros con yeso, Valdés, *et al.* (1989) (6), plantearon que la tecnología de producción de tableros de partículas aglutinados con yeso representa el desarrollo más reciente, con concreción industrial, dentro del campo de los aglomerados destinados a la construcción.

Dado el marcado interés mundial que existe por desarrollar nuevos materiales y técnicas constructivas económicas, se pronosticó un futuro prometedor para este producto.

Se evaluó el comportamiento de los extractivos acuosos del bagazo sobre el fraguado del yeso, así como de los parámetros relación bagazo-yeso y agua-yeso sobre la resistencia a la flexión estática de tableros experimentales.

Se demostró la factibilidad de emplear bagazo como materia prima para la elaboración de tableros aglutinados con yeso.

Valdés, *et al.* (1992) (7), expusieron que los tableros de partículas aglutinados con magnesita constituyen una alternativa más en la búsqueda de soluciones a la amplia demanda de paneles ligeros que requiere la industria constructiva moderna.

Reportaron los antecedentes, estado actual, características de las materias primas, y del proceso productivo así como algunas experiencias del ICIDCA, en el uso del bagazo de la caña de azúcar para producir tableros aglomerados con magnesita.

Los principales parámetros tecnológicos empleados fueron:

Relación magnesita: bagazo = 2:1

Relación agua: magnesita = 0,4:1

Composición del tablero = 40 % material de superficie, 60 % material de centro

Tiempo de mezclado = 2 min (para cada componente)

Condiciones de prensado = 130 °C, 8 min

Climatización de los tableros = 7 días (condiciones ambientales = 30 ± 2 °C;  
80 ± 5 % H .R.)

Los resultados obtenidos en los tableros fueron:

Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1210
Resistencia a la flexión (MPa)	9,4
Dilatación del espesor por inmersión en agua (24 h)	10,2

Esta tecnología presenta la ventaja de poder utilizar instalaciones convencionales para producir tableros de partículas (prensa caliente) efectuando solo pequeñas modificaciones.

Los tableros de partículas de alta densidad de madera-cemento fueron el más reciente desarrollo en ese campo y ganan cada día mayor importancia dadas sus excelentes propiedades. La incorporación de otras materias primas lignocelulósicas, como el bagazo de la caña de azúcar, a estas producciones, pueden representar soluciones muy atractivas para países del tercer mundo donde escasean los recursos forestales. Por tal motivo, en el ICIDCA Valdés, *et al.* (1998) (8), realizaron investigaciones a diferentes escalas de producción para el desarrollo de los paneles bagazo-cemento. Entre estos trabajos, se encuentra una producción demostrativa en una instalación semicomercial ubicada anexa a la planta de tableros de fibras HENETEC, en Cárdenas, en la provincia de Matanzas, cuyos resultados se reportan en el informe.

Las propiedades de los tableros producidos y el análisis económico efectuado evidenciaron que estos paneles son más ventajosos que otros materiales que se emplean en la industria de la construcción.

Rodríguez y Jiménez, (1998) (9), realizaron un trabajo que tuvo como objetivo fundamental el diagnóstico de la situación actual del proyecto de producción de tableros bagazo-cemento mediante distintas técnicas de análisis estratégico que sirvió para obtener orientaciones útiles en la planeación estratégica de la posible inversión y su posterior desarrollo.

La importancia de esa investigación radicó en el hecho de que para ejecutar una inversión en dicho proyecto resultará de gran utilidad contar con prescripciones estratégicas que contribuyan en la definición de las tácticas y acciones a emprender para invertir de la forma más eficiente. Las mencionadas prescripciones se obtuvieron a través de modelos matriciales en los cuales se analizaron distintas variables críticas y su respectiva relación. Dicho análisis se realizaron a partir de la opinión de un grupo de expertos con numerosos años de experiencia en la investigación y producción de tableros de fibras y de partículas.

La realización de ese trabajo requirió estudiar los antecedentes del proyecto referentes a aspectos tales como la localización y capacidad de la planta, aspectos tecnológicos y de equipamiento, mano de obra e indicadores económicos entre otros asuntos de interés, para lo cual se consultaron una propuesta de inversión y un estudio de prefactibilidad previos. Es importante destacar que con ese trabajo se arribó a un grupo de orientaciones y prescripciones que pudieron constituir el punto de partida en la elaboración de la dirección estratégica general tanto del proceso de inversión en el proyecto, como su posterior desarrollo.

El uso de tableros de bagazo con aglutinantes inorgánicos (Cemento Portland y Yeso) en la construcción de viviendas de bajo costo o modulares, posee una serie de ventajas, que fueron expuestos por Carvajal, *et al.* (1998) (10) teniendo en cuenta sus características tales como ligereza, propiedades aislantes, resistencia al fuego, al intemperismo, al ataque de hongos e insectos.

Mostraron otras ventajas en cuanto al ahorro de mano de obra, mayor productividad y menor costo de ejecución, fácil tratamiento con herramientas tradicionales como: sierra, taladros, lijadoras, y el uso de clavos y tornillos etc., además de sus posibilidades de ser pintados, empapelado o enchapado.

En el Manual de los derivados de la caña de azúcar. Parte 3. Derivados del bagazo, en el punto 3.16, Tableros con aglutinantes inorgánicos, Carvajal, *et al.* (2000) (11),

expusieron las características de los tableros de bagazo con cemento y los de bagazo yeso, los usos, los procesos tecnológicos, los aspectos económicos como el costo de inversión de una planta, los precios, la capacidad instalada y la producción mundial de ambos tipos de tableros.

Como se mencionó anteriormente la industria del mueble fue el primer destinatario de los tableros aglomerados de partículas y aun hoy representa su principal consumidor. A partir de la década de los años 50, es que estos materiales comienzan a difundirse en el campo de la construcción, para su empleo en tabiques, muebles divisorios, suelos y techos, prefabricación ligera, paredes exteriores, encofrados, etc. Valdés, *et al.* (2000) (12).

Teniendo en cuenta esos aspectos, se introdujeron una serie de nuevas tecnologías diseñadas especialmente para producir tableros destinados a la industria constructiva, los que han tenido muy buena acogida en el mercado, debido a las ventajas técnico económicas que ofrecen que han abierto una rama conocida como tableros de partículas con aglutinantes inorgánicos o minerales.

Los principales productos desarrollados dentro de este campo son: los tableros con cemento Portland, tableros con yeso, tableros con magnesita y tableros con cemento de escoria de alto horno.

En el ICIDCA dentro de sus perfiles de trabajo dedicaron atención al estudio y traslado de las tecnologías de producción de tableros con aglutinantes inorgánicos utilizando el bagazo de caña de azúcar y desarrollaron investigaciones con la colaboración de otras instituciones que con cuyos resultados permitieron obtener los criterios tecnológicos básicos para la posible implementación industrial de las mismas.

Por lo que en ese trabajo, los autores expusieron, una panorámica general sobre estos procesos, empleando bagazo de caña como material fibroso. Se esperó un

buen futuro para estas tecnologías a nivel mundial dado las ventajas técnico económico que ofrecen.

Dentro del campo de los paneles aglomerados con aglutinantes inorgánicos se reportó el empleo exitoso de la magnesita calcinada en la elaboración de tableros de partículas de madera tanto a nivel investigativo como en producciones industriales. Valdés, *et al.* (1991) (13).

La incorporación de la magnesita calcinada como aglutinante en la industria de tableros de bagazo en Cuba puede ofrecer interesantes atractivos económicos si se tiene en cuenta que existen disponibilidades nacionales de sus principales materias primas y que además es factible utilizar las instalaciones existentes, de producción de tableros de partículas, incorporando algunas modificaciones.

En esta primera parte del trabajo se realizó la identificación de los principales parámetros del proceso definición de los rangos de las variables de mayor incidencia, se realizaron pruebas con diferentes diagramas de prensado y se obtuvieron tableros.

Se encontraron las mejores condiciones de prensado a nivel de laboratorio a 8 min y 130 °C para tableros de 10 mm de espesor.

Se determinó la influencia de la densidad, la relación bagazo – magnesita y la relación agua – magnesita con la flexión estática de los tableros.

Continuando con la temática de los tableros con aglutinantes inorgánicos, se exponen los resultados de las tareas investigativas y de desarrollo llevadas a cabo durante el año 1992 sobre la tecnología de tableros bagazo – magnesita (2da. Parte), realizadas por los mismos autores: Valdés, *et al.* (1992) (14), En el mismo se efectuó la comprobación de la reproducibilidad de las propiedades de los tableros

elaborados con parámetros de operación constante, realizando pruebas con otros espesores.

Se estudió la influencia del tiempo de retardo entre las operaciones de mezclado y prensado sobre la calidad de los tableros para diferentes humedades de las mezclas, así como, la determinación de algunos parámetros físico de la mezcla y definición de algunos criterios básicos para la posible implementación industrial, además se efectuó el desarrollo de un método físico – químico sencillo y rápido para determinar la reactividad de la magnesita.

Para el trabajo se utilizó bagazo de la planta de tableros “Camilo Cienfuegos” y magnesita recalcinada en el laboratorio de CEDECA.

Se concluyó que los trabajos experimentales desarrollados mostraron una adecuada reproducibilidad, así como la factibilidad de elaborar tableros de 19 mm de espesor con propiedades comparables a los paneles de 10 mm.

No se observaron efectos muy marcados de decrecimiento de propiedades para el tiempo de retardo entre la operación de mezclado y prensado hasta una hora entre ambas etapas del proceso.

Se reportaron datos sobre los principales insumos, esquema del proceso, formato de los tableros, indicadores económicos para esta tecnología.

Valdés, *et al.* (1989) (15), como continuidad de estos trabajos, presentaron los resultados de las investigaciones realizadas a escala de laboratorio en las instalaciones del Dpto. de Productos Aglomerados del ICIDCA, durante el año 1989, sobre la tecnología de producción de tableros de partículas de bagazo aglutinados con yeso. Estas investigaciones corroboran la factibilidad técnica de elaborar este tipo de producto de una y tres capas, planteándose que las características de estos



paneles son muy similares a las de los tableros madera – yeso ya industrializados en el mundo.

Se estudió la relación bagazo – yeso y agua – yeso y en la parte final del estudio se evaluó el comportamiento de las propiedades físico mecánicas para tableros de tres capas en función de la relación bagazo – yeso y la densidad, las dos variables tecnológicas más importante, manteniendo la relación agua – yeso en 0,4.

Se concluyó que tableros para propósitos generales pueden elaborarse con densidades entre 1000 y 1200 kg/m<sup>3</sup> y relación bagazo – yeso y agua – yeso de 0,286 y 0,4 respectivamente, competitivo con los productos actualmente en producción en algunos países.

Continuaron las investigaciones sobre los tableros de partículas aglutinados con yeso, Valdés, *et al.* (1990) (16), en esta ocasión se reportaron las propiedades alcanzadas en tableros de tres capas, incluyendo la adición de un retardador del fraguado del yeso.

Las propiedades y el comportamiento del producto obtenido corroboran la factibilidad técnica de producir tableros de partículas de tres capas, aglutinados con yeso.

El retardador de fraguado empleado (bórax) para la elaboración de los tableros, presenta un buen comportamiento en concentraciones de 0,25 % en base al yeso. Los mejores valores de propiedades se encontraron entre 1100 y 1200 kg/m<sup>3</sup>. El módulo de ruptura osciló entre 6 y 8 MPa, la tracción entre 0,4 y 0,45 MPa y la dilatación en 24 horas entre 4 y 5 %, lo que demostró la factibilidad de producir tableros de tres capas de bagazo aglutinados con yeso con buenas características físico mecánicas para su empleo en la industria constructiva.

Valdés, *et al.* (1988) (17), en este informe expusieron un resumen de los resultados de las investigaciones llevadas a cabo a escala de laboratorio, planta piloto e industrial en el período comprendido de 1982 a 1988, como parte de los estudios realizados en el Dpto. de Aglomerados del ICIDCA, con la cooperación de otras instituciones y entidades, para el desarrollo de la tecnología de producción de tableros bagazo – cemento. Además se detallaron con mayor profundidad los resultados a escala de laboratorio de la influencia del tiempo de almacenamiento de la materia prima bagazo y su componente químico (fundamentalmente el contenido de azúcares totales) sobre las propiedades finales del producto.

Para el estudio se tomaron 350 kg de bagazo de la fábrica “Camilo Cienfuegos” y almacenado a granel con un contenido de humedad inicial de 99 % b. s. y pol de 2,145. Cemento Portland P – 350 de la fábrica de Artemisa y silicato de sodio con 45,4 % de sólidos de la fábrica Suchel.

Se caracterizaron todas las materias primas empleadas y se elaboraron tableros con dimensiones de 250 x 280 x 10 mm con una relación bagazo – cemento de 1:2,75. Se elaboraron tableros con varios tiempos de almacenamiento del bagazo. Los resultados indicaron que para valores de contenido de azúcares menores o iguales a 0,5 % b. s. se obtienen buenas propiedades en los tableros, para un tiempo de almacenamiento mayor a 12 días.

Estos resultados, conjuntamente con los alcanzados en trabajos anteriores, permitieron hacer los ajustes finales para disponer con mayor precisión de todos los pormenores de esta tecnología y en un futuro poder hacer su implementación industrial sobre bases sólidas.

Finalizando con la temática de los aglutinantes con materiales inorgánicos, Valdés, *et al.* (1993) (18), seleccionaron el aglomerante puzolana – cal (cemento romano), teniendo en cuenta la disponibilidad de puzolanas en el país, así como la experiencia que sobre el tema se acumuló en Cuba en esos años. Además de la

premisa de desarrollo de un proceso sencillo y viable, sin la necesidad de utilizar una instalación productora de tableros, o sea, alcanzar un producto con bajo grado de compactación, sin necesidad de la operación de prensado.

Partiendo de los trabajos precedentes, en este se propusieron los siguientes objetivos:

- Evaluación del comportamiento de la magnesita en la elaboración de productos aglomerados de bagazo de baja densidad (sin prensar).
- Estudio del comportamiento del aglomerante puzolana – cal y mezclas de puzolana – cal – magnesita en la elaboración de productos aglomerados de bagazo (baja densidad, sin compactación por prensado).

Para cumplimentar el primer objetivo se planificó la elaboración de elementos de ensayo de 4 x 4 x 16 cm con diferentes relaciones bagazo magnesita, desde 1 : 3 hasta 1 : 10 para evaluar el comportamiento del producto en cuanto a su resistencia mecánica y para el segundo se hicieron experimentos con la mezcla de los dos aglomerantes en diferentes proporciones y otros experimentos donde se produjeron probetas de puzolana – cal – magnesita con bagazo en diferentes cantidades.

Para los productos aglomerados de bagazo : magnesita con bajo grado de compactación, para ser utilizado como material de construcción, depende en forma decisiva de que la magnesita tenga una calidad mucho mayor de cuando se obtienen elementos compactados bajo la acción de temperatura. Por los resultados se recomendó realizar estudios más profundos para poder evaluar la factibilidad técnica.

## Bibliografía

1. La Serna, N.; Almagro, R.; Carvajal, O.; Valdés, J.L.; de la Vega, E. Monografía sobre Productos aglomerados a partir del bagazo de la caña de azúcar. Editorial Científico Técnica. 1982
2. Valdés, J. L. Productos aglomerados con aglutinantes inorgánicos (minerales). Revista ICIDCA. V. XVIII No. 1. 1984
3. Valdés, J.L.; Puig, J.; Leal, A.; Rodríguez, M. E.; Sosa, P. Influencia de la densidad en las propiedades mecánicas de los tableros de partículas bagazo-cemento. Revista ICIDCA. V. XVIII No. 2, 3. 1984
4. Martínez, Mayra. Evaluación económica de la producción del panel de bagazo cemento. Revista ICIDCA. V. XIX No. 1. 1985
5. Valdés, J. L., Puig, J.; Rodríguez, M. E. Tableros de partículas aglutinados con yeso. Revista ICIDCA Vol. XXII No. 2 1988
6. Valdés, J.L.; Puig, J.; Torres, A.; Rodríguez, M. E.; Prado, R. Tableros bagazo – yeso. Estudio preliminar de parámetros del proceso. Revista ICIDCA Vol. XXIII No. 3. 1989
7. Valdés J. L., Puig .J. y Rodríguez, M. E. Tableros de partículas aglutinados con magnesita. Revista ICIDCA Vol. XXVI No. 3. 1992
8. Carvajal, O.; Martínez, O.; Sosa, P.; Rodríguez, M.E. Resultados de la producción demostrativa de tableros bagazo-cemento. Revista ICIDCA Vol. XXXI No. 1. 1998
9. Rodríguez, L.; Jiménez, M. Diagnostico estratégico para una inversión en el proyecto de producción de tableros bagazo cemento en la planta MADETEC. Diversificación 1998.
10. Carvajal, O.; Puig, J. Tableros de bagazo con aglutinantes inorgánicos para la construcción de viviendas modulares o de bajo costo. Diversificación 1998
11. Carvajal, O.; Valdés, J. L.; Martínez, M. Manual de los derivados de la caña de azúcar. Tercera Edición. Parte 3. ICIDCA. 2000.
12. Valdés, J. L.; Puig, J.; Rodríguez, M. E. Tableros aglomerados de partículas en la construcción. Informe interno ICIDCA. 1993.

13. Valdés, J. L.; Puig, J.; Leal, J.; Rodríguez, M. E.; Sosa, P. Tecnología de tableros bagazo – magnesita Informe interno ICIDCA. Primera parte. 1991.
14. Valdés, J. L.; Puig, J.; Rodríguez, M. E. Tecnología de tableros bagazo – magnesita Informe interno ICIDCA. Parte 2. 1992.
15. Valdés, J. L.; Puig, J.; Rodríguez, M. E. Paneles de bagazo con aglutinantes inorgánicos. Tecnología de tableros bagazo – yeso. Informe final (2da. Parte) 1989.
16. Valdés, J. L.; Puig, J.; Rodríguez, M. E. Tableros de partículas de tres capas bagazo – yeso. ICIDCA 1990
17. Valdés, J. L. Desarrollo de Tecnología de tableros bagazo – cemento. Informe final. ICIDCA. 1988
18. Valdés, J. L.; Puig, J.; Rodríguez, M. E.; Téllez, E. (CTDMC); Fernández, P. (CTDMC) Tableros de bagazo con aglutinantes inorgánicos. Pruebas preliminares sobre la factibilidad de empleo de puzolanas. Informe interno ICIDCA. 1993.

## Capítulo 10. Moldeados del bagazo

Dra. Ofelia Carvajal Cabo

Los productos moldeados, son elementos prensados de manera análoga a los tableros en prensa caliente con moldes de diferentes formas, con la adición de aglutinantes y para algunos usos se recubren con papeles decorativos, según el elemento que se desee obtener. Por esta tecnología se pueden producir fondos y respaldos de sillas, envases, bandejas, tapas de mesas, piezas para la industria automotriz, elementos para la construcción, entre otros.

El Dpto. de Aglomerados también trabajó en investigaciones relacionadas con esta tecnología con bagazo, entre los primeros temas abordados se encontró el trabajo donde Díaz, *et al.* (1992) (1) expusieron un breve resumen acerca de la tecnología de producción de piezas moldeadas a partir de bagazo de caña aglutinado con resina urea formaldehído. Se hizo referencia a aspectos relacionados con el diseño de los moldes y algunas características del proceso tecnológico propuesto. Se analiza brevemente el comportamiento de las partículas de bagazo en la operación de moldeo. Se incluyen también resultados de pruebas de uso realizadas con una primera serie de cajas elaboradas, de forma experimental, empleando estos moldes.

Se reportó que existen diversos procesos encaminados a la obtención de una gran variedad de productos que pueden ser utilizados en la industria del mueble, la construcción, etc. De estos los que mayor desarrollo han alcanzado son los procesos por vía seca y particularmente la tecnología WERZALIT, que utiliza las partículas del material fibroso encoladas con resinas sintéticas.

Las características de la primera serie de cajas moldeadas elaboradas fueron:

Dimensiones máximas: (largo, ancho, altura) mm (500 x 310 x 250)

Peso estimado (kg) 2.00 (sin la tapa).

Posee cuatro piezas laterales moldeadas, un fondo y una tapa, estos últimos de tableros de fibras o de partículas finos.

Los laterales se unen entre sí mediante presillas.

Una alternativa para la producción de envases, lo constituyen las cajas moldeadas de bagazo aglutinadas con resinas sintéticas.

Como continuación a los trabajos que se han realizado, sobre la tecnología de producción de cajas moldeadas, Carvajal, *et al.* (1994) (2) reportaron los resultados obtenidos con el empleo de dos tipos diferentes de tamaños de partículas en las propiedades de los laterales que conformaron este tipo de caja, así como la evaluación de la resistencia a la compresión de las mismas, colocadas de manera independientes y en estibas. Sobre la evaluación económica de estos envases se reportan algunos comentarios.

Los dos tipos de partículas se obtuvieron colocando en el molino de martillos mallas con aberturas de 9 y 5 mm de diámetro.

De cada tamaño de partículas se elaboraron 110 laterales, de ellos se ensamblaron 24 cajas, 12 con presillas y 12 con alambre, dedicándose 3 de cada tipo para las pruebas a la compresión de las cajas independientes y el resto para 3 estibas de 3 cajas cada una. Para las pruebas físico-mecánicas se tomaron 10 laterales para cada tamaño de partículas.

Los valores promedios de los laterales fueron los siguientes:

Espesor (mm)	5.2
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	618
Flexión (MPa)	17.3
Humedad (%)	7.7
Dilatación en 24 h (%)	12.9

Las mejores propiedades se obtuvieron en los laterales de las cajas elaboradas con partículas molidas con malla diámetro 9 mm. Los valores de resistencia a la compresión resultaron superiores en los laterales con partículas procesadas con malla de Ø 9 mm. No se observó diferencia en el ensamblaje con alambre o con presillas.

En el campo de los moldeados, se efectuó el desarrollo de un composite a partir del bagazo de la caña de azúcar, con características similares a una muestra entregada por la firma FAIST GmbH & Co. K.G. de Alemania, para ser empleado en la elaboración de partes y piezas moldeadas para la industria automotriz. Serantes, *et al.* (2006) (3), estudiaron 3 diferentes grados de molienda (14, 19 y 24 °SR).

A los composites obtenidos se le determinaron las propiedades físico-mecánicas. Los resultados obtenidos aparecen a continuación:

Propiedades / Grado de molienda (°SR)	14	19	24
Espesor (mm)	11.05	11.97	11.20
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	256	264	278
Flexión (MPa)	1.57	1.62	1.83
Humedad (%)	6.17	5.13	4.37
Dilatación en agua 24 horas (%)	10.93	9.93	10.2
Absorción en agua 24 horas (%)	163.3	143.0	140.3

Se obtuvieron propiedades físico-mecánicas apropiadas para el uso previsto en partes y piezas para interiores de autos con fibras de bagazo de caña de azúcar. Los mejores resultados fueron logrados con fibras de bagazo con un grado de molienda de 24°SR.



Ha quedado demostrado por estudios realizados la factibilidad técnico-económica de producir artículos moldeados empleando partículas de bagazo encolado con resinas sintéticas.

En el trabajo realizado por Valdés y Costales (1984) (4), se recogieron los resultados de pruebas efectuadas en las instalaciones de la firma WERZALIT en la producción de cajas moldeadas empleando bagazo cubano.

Se utilizó bagazo con dos diferentes tipos (integral almacenado en pacas con un mes de almacenamiento y desmeollado y presecado fresco), así como diferentes resinas (BASF K 265 y BASF K 750) ya que estos son algunos de los aspectos de mayor interés en la tecnología.

Las cajas producidas fueron embarcadas a Cuba con vistas a realizar, además de la evaluación físico-mecánicas de sus propiedades en el laboratorio, pruebas preliminares de su comportamiento en el envase de frutas y vegetales.

Los resultados de los laterales para las cajas moldeadas obtuvieron en general buenas propiedades y oscilaron como valor medio total de  $665 \text{ kg/m}^3$ , la resistencia a la flexión superiores a  $25.0 \text{ MPa}$  y tracción perpendicular por encima de  $0.35 \text{ MPa}$ .

En el Manual de los derivados de la caña de azúcar. Parte 3. Derivados del bagazo, en el punto 3.18, Productos moldeados del bagazo, Carvajal, *et al.* (2000) (5) expusieron las características de los productos, el proceso tecnológico, los aspectos económicos como el costo de inversión de una planta, los precios, la capacidad instalada y la producción mundial.

El desarrollo de la tecnología de los productos moldeados, es un aspecto dentro del campo de los productos aglomerados que permite la obtención de piezas con recubrimientos o sin él, con las más variadas formas y usos en un mínimo de tiempo y escasa producción de recortaduras, por lo que constituye una solución ventajosa

económicamente en aquellos renglones que han de ser producidos en forma seriada. Costales, *et al.* (1983) (6).

Los resultados obtenidos demostraron la factibilidad técnico - económica de obtener elementos de ésta índole, partiendo del bagazo de la caña de azúcar como materia prima básica para estas producciones en nuestro país.

En el trabajo, los autores, plantearon los resultados de la elaboración de pruebas de elementos moldeados basados en la construcción de moldes propiamente diseñados para estos fines, encaminadas a obtener criterios tecnológicos y constructivos de esta incipiente tecnología en el país.

Se analizaron separadamente las características y peculiaridades del bagazo de la caña de azúcar como materia prima para la producción de estos elementos.

Se concluyó que el bagazo de la caña de azúcar puede constituir una solución ventajosa, para la producción de los elementos moldeados con buenas propiedades, así como la factibilidad técnica de producir una gran variedad de moldes destinados a los más diversos usos para la industria y el hogar.

## **Bibliografía**

1. Díaz D., Valdés J. L., Carvajal, O., Costales R. y Puig .J. Producción experimental de cajas moldeadas de bagazo. Revista ICIDCA Vol. XXVI No. 3. 1992.
2. Carvajal, O.; Puig, J.; Días, D.; Costales, R.; Rodríguez, M.E. Cajas moldeadas para el acopio de los productos del agro. Revista ICIDCA Vol. XXVIII No. 1 – 3 1994.

3. Serantes, M.; Leal, J. A.; Renté, A.; Carvajal, O.; Rodríguez, M. E.; Sosa, P. Composites de bagazo de baja densidad para partes y piezas moldeadas para la industria automotriz. Revista ICIDCA Vol. XL No. 1 (2006).
4. Valdés, J.L.; Costales, R. Experiencias en la producción de cajas moldeadas de bagazo. Suplemento Revista ICIDCA No. 3 (1984)
5. Carvajal, O.; Valdés, J. L.; Martínez, M. Manual de los derivados de la caña de azúcar. Tercera Edición. Parte 3. ICIDCA. 2000.
6. Costales, R.; Puig, J.; Leal, J.; Almarales, G. Desarrollo de pruebas de elementos moldeados. ICIDCA. 1983.

# Capítulo 11. Tecnologías para el recubrimiento de los productos terminados

Dra. Ofelia Carvajal Cabo

Los tableros, al salir de la prensa, se someten a una serie de operaciones con el fin de lograr su terminación. La primera que generalmente se efectúa es el corte de sus bordes (canteado) con lo cual se le imparten sus dimensiones finales, al mismo tiempo que se eliminan los defectos en los bordes. Esta operación se lleva a cabo en sierras circulares, equipadas las más modernas con accesorios para triturar el material sobrante, el cual puede ser recuperado e introducido de nuevo en el proceso. A continuación, los tableros se colocan en estibas por espacio de varios días (5 a 7 como regla general), con el objetivo de lograr el curado final de la resina y la estabilización del contenido de humedad. A esta operación se le denomina climatización.

Después de esta etapa, los tableros están listos para el proceso del recubrimiento de las superficies, lo cual les brinda protección y estética de acuerdo al uso a que se destinen. Existiendo varios tipos, bien con papeles impregnados en resinas sintéticas, folios, selladores o tapaporos, estos últimos para posteriormente aplicarles pinturas o lacas.

El uso de papeles decorativos en el proceso de recubrimiento de los tableros se plantea como una de las variantes más ventajosas desde el punto de vista económico y estético, la cual garantiza una imitación bastante fiel de la madera natural.

Las láminas decorativas empleadas en el acabado superficial de los tableros pueden poseer propiedades autoadhesivas como es el caso de los productos elaborados a base de resina de melamina-formaldehído (M.F.) o aquellas láminas

decorativas a base de resina urea-formaldehído (U.F.) que han recibido un tratamiento adicional para impartirles esta cualidad.

Otros materiales de recubrimiento que no tienen propiedades autoadhesivas requieren de la aplicación de un encolante sobre la superficie del tablero que posibilite la unión adhesiva entre ambos. En la formulación de la mezcla encolante se emplean diferentes rellenos entre los que se destacan la harina de trigo y el  $\text{CaSO}_4$ .

En el Dpto. de Aglomerados del ICIDCA, también se llevaron a cabo estudios sobre el recubrimiento de los productos terminados, los cuales se describen a continuación:

La operación de encolado de la superficie de los tableros, en el proceso de recubrimiento, es un paso determinante en la calidad del producto final. En esta etapa del proceso se pueden emplear diferentes productos con propiedades adhesivas entre los que se destacan por su bajo costo y calidad de la unión adhesiva; las colas en base a resina urea-formaldehído. Naranjo, *et al.* (1989) (1)

En Cuba estas colas se han preparado tradicionalmente añadiendo harina de trigo como relleno. En este primer trabajo se demostró la factibilidad de la sustitución de este producto por nuevos rellenos de producción nacional. Se analiza la formulación del encolante con diferentes adiciones de caolín y  $\text{CaSO}_4$ , anhidro y se comparan los resultados con la harina de trigo y el caolín importado de la firma China Clay.

No se encontró diferencia significativa entre los resultados obtenidos con el caolín de la China Clay y el de producción nacional. En todos los casos los tableros recubiertos presentaron un buen aspecto externo y elevada resistencia al efecto térmico prolongado a  $70^\circ\text{C}$  y una adecuada hermeticidad de la superficie.

Se comprobó que es factible la sustitución de la harina de trigo de la mezcla encolante por caolín de producción nacional o  $\text{CaSO}_4$  anhidro

El objetivo de este trabajo realizado por Naranjo, *et al.* (2000) (2), fue el estudio del proceso de obtención de laminados de alta presión para aplicaciones decorativas. Sobre la base de la experiencia de trabajos anteriores, se analizaron las variables de mayor influencia en las propiedades de los laminados.

Se encontró que la variable de más significación fue el por ciento de impregnación, aunque no se puede despreciar el efecto de la temperatura y el tiempo de prensado.

Los laminados obtenidos presentan buenas propiedades de resistencia, superando en general los valores normados para estos materiales.

El control de la calidad de tableros recubiertos, llevado a cabo por Naranjo, *et al.* (2001) (3) en las fábricas cubanas, en las cuales durante algunos años se realizó un chequeo sistemático de los tableros producidos, en esta ocasión correspondió a las plantas: “Jesús Menéndez” y “Camilo Cienfuegos”, ubicadas en las provincias: Las Tunas y Mayabeque, respectivamente.

Además se realizaron muestreos en las fábricas de muebles de La Habana que utilizaban estos tableros. Fueron evaluadas varias propiedades en el laboratorio de pruebas físico - mecánicas del ICIDCA, especialmente la resistencia al despegue; propiedad que define el nivel de adherencia entre el material de recubrimiento y el tablero portador. Como resultado del trabajo realizado fue posible interactuar con las fábricas, brindando las recomendaciones que permitieron mantener un nivel de calidad en correspondencia con las normas internacionales para este producto.

Sobre la actividad de recubrimientos, Naranjo, *et al.* (1989) (4) realizaron un estudio a escala de laboratorio empleando folios decorativos con y sin efecto de acabado. Se evaluó el efecto de la temperatura, la presión y el tiempo de la operación de

prensado sobre la calidad del tablero recubierto, tomándose como índice fundamental de la calidad la resistencia al despegue de la capa superficial, que fue medida por el método de las superficies circulares. También se analizó la resistencia de la superficie decorativa frente a los efectos térmicos y químicos provocados. Los resultados obtenidos permitieron predecir el comportamiento de los tableros recubiertos en el proceso de elaboración de muebles.

Las emanaciones de formaldehído libre en tableros, se comprobó que se pueden reducir apreciablemente mediante el recubrimiento de los tableros con diferentes materiales, sobre lo cual se han realizado numerosas investigaciones dada la importancia que reviste este tema por las restricciones crecientes que se imponen mundialmente para lograr menores niveles de contaminación de este producto altamente dañino para la salud del hombre. Naranjo, *et al.* (1989) (5)

La evaluación del formaldehído libre en tableros recubiertos es una práctica cotidiana en los países productores de muebles a partir de este producto, empleándose como método fundamental de prueba el WKI y las cámaras de gases.

En ese trabajo, se evaluó el formaldehído libre en los tableros de partículas recubiertos, producidos en la fábrica "Camilo Cienfuegos", para así obtener algún criterio de su comportamiento en nuestras condiciones, ya que no existía ningún antecedente al respecto. Se realizó una comparación del contenido de formaldehído de los tableros antes y después de su recubrimiento con papel DH<sub>3</sub>/E empleando los métodos FESYP y WKI.

Cuando se recubren los tableros en la superficie y los bordes el formaldehído libre disminuye 6 veces comparado con tableros desnudos, es decir se obtiene calidad E<sub>1</sub> por lo que quedó demostrado la importancia de recubrir los tableros, no solo por su valor estético y de resistencia a los efectos externos adversos, sino también porque esto contribuye a reducir su impacto ambiental, preservando así la salud del hombre.

Naranjo, (1990) (6), con este trabajo dio continuidad a los muestreos en distintas fábricas de tableros del país y visitas a la fábrica de muebles “Guillermón Moncada” con el fin de evaluar la calidad de los tableros recubiertos.

Otro objetivo propuesto fue el empleo de nuevos rellenos en la mezcla encolante para recubrimiento de tableros. Se utilizó el caolín y CMC, este último como aditivo.

Las propiedades evaluadas fueron el aspecto externo de la superficie decorativa y la resistencia al despegue del folio.

La fábrica con mejores resultados fue “Camilo Cienfuegos y con valores más bajos MADETEC.

La producción de materiales para el recubrimiento de los tableros de partículas, constituye una problemática de interés creciente en el mundo.

Las necesidades cada vez mayores de muebles para diferentes usos domésticos y sociales, unidos a la escasez manifiesta de madera para este y otros fines industriales, hicieron que muchos países buscaran soluciones a través de los tableros recubiertos.

La RDA se encontró entre los países que habían alcanzado un desarrollo importante en la producción de estos materiales, lo que le permitió enormes avances en la industria del mueble.

En este informe se brindó la información recibida durante el adiestramiento realizado por la Ing. María Elena Naranjo, (1987) (7) en VEB MOBEL FOLIE de la RDA en el período 18-11-86 al 10-12-86.

Esta fábrica está ubicada en la ciudad de Biesenthal y produce folios para el recubrimiento de tableros de partículas para la producción nacional y la exportación,



con una capacidad de 122 00 Mm<sup>2</sup>, cuenta con una plantilla de 540 trabajadores y produce folios rígidos (DH) y flexibles (UP).

Se brindaron datos generales de la fábrica y los valores de producción de esa época. La descripción de los procesos tecnológicos de obtención de los diferentes surtidos, las características de las materias primas, la calidad del papel que se utilizaba y los resultados de impregnación y pruebas de calidad a papeles cubanos, entre otros aspectos.

Continuando con el tema de los recubrimientos para tableros de partículas, Naranjo, *et al.* (1989) (8) en este informe recogió los resultados de los estudios realizados en diferentes temáticas relacionadas con la tecnología de recubrimiento de tableros de partículas en Cuba.

Para el estudio se incluyeron tres tareas fundamentales:

1. Estudio de la tecnología de obtención de resina melanina formaldehído para la impregnación de los papeles con fines decorativos y la aplicación de diferentes estabilizadores, algunos de producción nacional.
2. Estudio de las características óptimas de la resina para el encolado de los tableros, en la que se analizó la influencia del contenido de sólido de la misma (peso seco), así como la adición de dextrana a la mezcla encolante con el objetivo de sustituir la harina de trigo, producto altamente deficitario en el país.
3. También se llevó a cabo la optimización de la superficie tratada con tapaporos en base a resina urea formaldehído, para tratar de reducir los elevados consumos de pintura en el tratamiento superficial de los tableros de partículas.

De los resultados se pudo inferir que en la mayor parte de las síntesis realizadas se alcanzaron buenas características de las resinas que se obtuvieron,

correspondiéndose éstas con los datos de la literatura y el criterio de especialistas consultados al respecto.

No se observó una diferencia significativa en el tiempo de almacenamiento de las resinas preparadas con los diferentes estabilizadores.

Se demostró que la producción de resina melanina formaldehído es técnicamente factible en nuestras condiciones, siempre que la misma se sintetice en la propia fábrica donde se va a emplear dado por su corto tiempo de vida como se realiza en otros países.

En el segundo objetivo del trabajo se observó que la adhesividad y la viscosidad de la resina se incrementa con el aumento del peso seco, mientras que el tiempo de gel, el tiempo de vida, el contenido de formaldehído y la densidad no presentaron variaciones apreciables, la dispersión de los valores de resistencia al despegue, no permitió establecer una tendencia definitiva., aunque los mayores valores se encontraron asociados a la resina de 70 % de peso seco.

Sobre la aplicación de dextrana, se requirieron cantidades mayores que de CMC, lo que conlleva a mayores costos de los tableros recubiertos utilizando este producto.

En la optimización de la superficie tratada con tapaporos, los mejores resultados se obtuvieron con aplicaciones entre 150 – 170 g/m<sup>2</sup>.

Naranjo, (1990) (9) en este trabajo trató sobre el montaje en los laboratorios del Dpto. de Aglomerados del ICIDCA los métodos de ensayos que permitieron conocer las características de los papeles para el recubrimiento de los tableros con el fin de evaluar la calidad de los productos que el país importaba.

Se realizó un estudio de las normas alemanas (TGL) las que fueron resumidas y en algunos casos adaptadas a nuestras condiciones.

Se desarrollaron pruebas de comprobación cuyos resultados se reportaron, en el informe que se elaboró.

Los métodos de ensayos analizados y montados fueron los siguientes:

- Determinación de la humedad.
- Determinación de la absorción de resina en la impregnación del papel.
- Tiempo de impregnación frente a la solución de resina sintética.
- Resistencia a los productos químicos y medios de uso cotidiano.
- Resistencia a la adherencia de los folios y lacas sobre el folio (método de superficies circulares)
- Resistencia a la temperatura, la tracción y a la luz.

Como parte de las investigaciones que se realizaron para la introducción de nuevos rellenos en la mezcla encolante para el recubrimiento de los tableros, Naranjo, *et al.* (1990) (10) realizó este trabajo con el objetivo de dar una solución nacional a este problema.

En trabajos anteriores se estudió la sustitución de la harina de trigo por rellenos nacionales como el caolín y el sulfato de calcio (1). Además de la incorporación de aditivos, entre ellos la dextrana y la C.M.C.

En la evaluación económica de las mezclas obtenidas con anterioridad se demostró la factibilidad de sustituir la harina de trigo por los compuestos mencionados, con la excepción de la dextrana que aunque técnicamente factible resultó una alternativa muy costosa.

Se recogieron los resultados de nuevas formulaciones de la mezcla encolante en las que se analizó la introducción de la bentonita como relleno, así como combinaciones de dextrana – caolín, y dextrana – CaSO<sub>4</sub>, buscando reducir la

cantidad de dextrana en el sistema y con esto abaratar los costos, estas combinaciones mejoraron la viscosidad de estas mezclas comparadas con aquellas que contenían rellenos inorgánicos solamente, a la vez que mejoró el balance económico.

Se trabajó con  $\text{CaSO}_4$  anhidro procedente de Puerto Padre y bentonita adquirida en los laboratorios “Isaac del Corral”, el papel de recubrimiento fue el DH3 alemán, la cantidad de encolante añadido a los tableros varió entre 110 – 130 g/m<sup>2</sup> dependiendo de la superficie de los mismos. Se evaluó la calidad del encolante mediante la prueba de la resistencia al despegue.

Los resultados con el uso de la bentonita compararon con las obtenidas con  $\text{CaSO}_4$  y caolín.

La resistencia al despegue en todos los casos comparó con la mezcla patrón con harina de trigo, siendo superior en el caso de la bentonita, la que reportó muy buenos resultados.

A principio del año 1990 se realizó una prueba de extensión en la fábrica de tableros “Camilo Cienfuegos” con el objetivo de sustituir la harina de trigo por sulfato de calcio en la mezcla encolante para el recubrimiento de los tableros.

El resultado de la prueba de extensión efectuada en la fábrica “Camilo Cienfuegos”, producto de investigativos llevados a cabo en el ICIDCA, por Naranjo, *et al.* (1990) (11) comprobó la efectividad de la sustitución de la harina de trigo, empleando el mismo equipamiento que posee la planta para la mezcla tradicional, al igual que los parámetros de prensado.

Los tableros recubiertos presentaron buen aspecto de la superficie y valores de resistencia al despegue y otras propiedades equivalentes a la que se obtenían

cuando se empleaba la harina de trigo como relleno y permitió liberar ese producto del proceso de recubrimiento de tableros.

Durante el año 1990, Naranjo (12) planificó otro ciclo de muestreos periódicos en coordinación con los directivos de las fábricas de tableros de partículas “Jesús Menéndez”, “1ro. de Enero”, “Camilo Cienfuegos” y Maderas Técnicas.

Se acordó efectuar los muestreos cada 4 meses y visitar la fábrica de muebles “Guillermón Moncada” con la misma periodicidad que los muestreos en las fábricas.

Fue evaluado el aspecto externo de las superficies recubiertas, la resistencia al despegue (índice fundamental de la calidad), la resistencia a productos químicos y el fondo de olla a 180 °C.

Los resultados que se obtuvieron demostraron que la calidad de los tableros recubiertos disminuyeron respecto al muestro del año 1989, siendo las causas fundamentales el estado técnico de las líneas de recubrimiento, fundamentalmente en la planta “Camilo Cienfuegos” y por la calidad de los folios que en ese momento se estuvieron importando.

Los folios decorativos son laminados sintéticos que se obtienen mediante la impregnación de papeles especiales, con una resina sintética o mezclas de resinas, que le impacten al papel una elevada resistencia a los efectos externos.

A partir del año 1988, Trujillo, *et al.* (1990) (13) del Dpto. de Productos Aglomerados del ICIDCA desarrolló investigaciones vinculadas al proceso de impregnación de papeles con el fin de obtener algunas experiencias teórico – prácticas que sirvieran de base a un posible desarrollo perspectivo de estos materiales de recubrimiento en el país.

Con ese fin se realizó un estudio sobre impregnaciones llevadas a cabo empleando diferentes papeles y resinas (furánicas y amínicas), así como mezclas de las mismas, con el objetivo de lograr superficies óptimas.

Se caracterizaron las resinas y lacas empleadas: furfural-fenol-acetona, melanina-formaldehído, urea formaldehído, prelacas y la laca principal. Se realizaron pruebas de impregnación a diferentes papeles, corroborando la necesidad de emplear los papeles adecuados para estos fines, obteniéndose de forma general resultados satisfactorios y una experiencia teórico-práctica en la preparación y aplicación de los productos involucrados en estos procesos.

En las mezclas de resina urea formaldehído y melanina formaldehído no se observó diferencias apreciables, en el rango estudiado, sobre el grado de impregnación y el aspecto externo.

Los valores de resistencia al despegue cumplieron en general con las especificaciones.

En el tema del recubrimiento de los tableros, Naranjo, *et al.* (1992) (14) continuaron trabajando en esa ocasión, sobre la combinación de materiales sólidos (base papel) y acabado líquido (base esmaltes y barnices).

En la primera etapa se desarrolló un papel barrera, elaborado con papel kraft sin blanquear del tipo de los utilizados en los sacos multicapas y resina fenólica.

El uso del papel barrera tiene como objetivo sellar la superficie del tablero para reducir los consumos de materiales líquidos en el proceso de acabado de los mismos.

Un segundo objetivo de ese trabajo fue encaminado al conocimiento de la tecnología de producción de laminados de alta presión conocido como formica, para

lo que se empleó el mismo papel kraft y resina fenólica del papel barrera y para el acabado superficial se utilizó un papel decorativo de celulosa de alta pureza, impregnado con resina melaminada.

Se prepararon láminas de formica de 5, 6, 11 y 12 capas. Los laminados y barreras presentaron una calidad aceptable, teniéndose en cuenta que se correspondió con el inicio de ese trabajo, al igual que los laminados de alta presión (formica).

Los laminados sintéticos de alta presión con fines decorativos, están formados de varias capas de papel kraft impregnadas en resina termoestable, generalmente del tipo fenólica y una capa decorativa de papel impregnado en resina de melamina. Para mayor protección superficial se puede agregar un laminado sintético muy fino (*over – lay*). Naranjo, *et al.* (1993) (15).

Este tipo de laminado es muy utilizado en la producción de muebles de cocina, de baño, superficie de alta exposición, decoración de cabinas, camarotes de barco, etc.

Por lo que se pretendió estudiar la tecnología de producción de laminados decorativos, para los que se analizaron diferentes parámetros que influyen en la calidad del producto.

Se obtuvieron láminas cuyos espesores oscilaron entre 0,8 – 1,2 mm, las que poseyeron propiedades de resistencia que compararon con las especificaciones de calidad de las normas internacionales.

De las variables del proceso, el por ciento de impregnación resultó la de mayor incidencia en las propiedades de los laminados.

Las formulaciones de papel kraft obtenidas en la UIP-Cuba 9 y que fueron utilizadas en el trabajo, presentaron características muy satisfactorias. Esta solución permitiría una reducción considerable en los costos de producción de estos materiales.

Con el interés de encontrar nuevos tipos de resina para la producción de tableros y su recubrimiento, y como se esperaba el desarrollo del furfural en Cuba, se acometió el estudio de la resina furfural-acetona (FURALITA) la cual poseía las siguientes características: Serantes, *et al.* (1980) (16).

- Peso seco 24.38 %
- Tiempo de gel con 6 % de catalizador 86 seg.

Se analizó la influencia del por ciento de catalizador y la masa en el tiempo de gelatinización, en el tiempo de vida y en el peso seco de la resina.

Resultó que no fue necesario utilizar más de 6 % de catalizador para conseguir un buen tiempo de gelatinización. La resina no presentó problemas con el tiempo de vida pues trabajando con cualquier por ciento de catalizador el tiempo es siempre mayor de 20 horas lo cual es una ventaja para su manipulación en la confección de tableros. Sobre el peso seco se observó que con 10 % de catalizador no hay variación por efecto de masa en el rango estudiado y que con 6 % es pequeña la variación.

También se estudió la resina urea formaldehído alcohol furfurílico, con esta resina se impregnó fibra y se formó tableros los cuales aunque no se le realizaron pruebas mostraron características parecidas a los tableros confeccionados con urea formaldehído.

Con el objetivo de probar la resina fenólica soluble en agua, se elaboraron tableros de 3 capas con 8 % de resina en la capa central y 12 % en las superficiales, pero todos los tableros elaborados se pegaron a la platina, lo que impidió hacerle propiedades físico mecánicas.

Con los mismos por cientos de resina en cada una de las capas de hicieron tableros con resina fenólica soluble en alcohol, se elaboraron tableros obteniéndose valores



de módulo de ruptura satisfactorios, sin embargo la absorción en agua dieron valores elevados.

En este tema además se probaron los papeles melaminados (TEGO-TEX) y las chapillas de madera de 0.6 mm de espesor. Con los papeles para obtener mejores resultados fue necesario utilizar temperaturas superiores a las establecidas para el recubrimiento con este tipo de papeles y lijar la superficie con lija no. 120. Se evaluaron los tableros recubiertos. Con las chapillas se hicieron experimentos para la selección de la mezcla para pegar las mismas.

En los años 1987 y 1988, se realizaron investigaciones, Serantes, *et al.* (1989) (17) para la obtención de un sellador que tuviera como base resina urea formaldehído (UF), lo que dio como resultado un tapaporos de base UF utilizando como relleno caolín y óxido de titanio y como catalizador cloruro de amonio, con el empleo de rayos infrarrojos para lograr la polimerización de éste en la superficie de los tableros. Posteriormente, correspondió optimizar el acabado de la superficie tratada, para lo que se seleccionó el tapaporos óptimo y se variaron las cantidades por metro cuadrado así como la utilización de un eficiente lijado de los tableros y su posterior acabado con pintura de esmalte. Como variable respuesta se estudió la rugosidad superficial.

La formulación del tapaporos utilizado fue:

Resina U.F	100 g
Caolín	90 g
Óxido de titanio	10 g

Por los resultados obtenidos se pudo afirmar que la rugosidad de las superficies de tableros recubiertos con tapaporos de urea formaldehído está en el orden de los folios decorativos.

Los mejores resultados se obtuvieron con aplicaciones entre 150 – 170 g/m<sup>2</sup>., siendo más ventajoso la aplicación del tapaporos en dos partes.

La rugosidad de las superficies después de pintados está en el rango de los obtenidos en folios decorativos.

## **Bibliografía**

1. Naranjo, M.E.; Morales, A. Sosa, P.; Puig, J. Uso de  $\text{CaSO}_4$  y el caolín en la mezcla encolante para recubrimiento de tableros. Revista ICIDCA Vol. XXIII No. 3. 1989.
2. Naranjo, M. E., Díaz, D., Nápoles, A. I., Grau, A., Sosa, P. y Rodríguez, M. E. Laminados de alta presión para aplicaciones decorativas. Revista ICIDCA Vol. XXXIV No. 2. 2000.
3. Naranjo, M. E.; Rodríguez, M. E.; Sosa, P.; Díaz, D. Estudio del comportamiento de la calidad de tableros recubiertos en fábricas cubanas. Revista ICIDCA Vol. XXXV No. 1. 2001.
4. Naranjo, M.E.; Rodríguez, M. E.; Puig, P.; Almarales, G.; Sosa, P. Experiencias investigativas en el recubrimiento de tableros de partículas de bagazo. Revista ICIDCA Vol. XXIII No. 1 (1989).
5. Naranjo, M.E.; Serantes, M.; Morales, A. Análisis del formaldehído libre en tableros recubiertos. Informe interno ICIDCA. 1989.
6. Naranjo, M. E. Empleo de nuevos rellenos para mezclas encolantes para recubrimiento de tableros y muestreos en fábrica. Informe ICIDCA. 1990.
7. Naranjo, M. E. Informe sobre el adiestramiento realizado en Veb Mobel Folie de la RDA. 1987.
8. Naranjo, M.E.; Trujillo, M.; Morales, A.; Serantes, M.; Puig, P.; Sosa, P. Tecnología de recubrimiento de tableros de partículas de bagazo. Informe ICIDCA. 1989.
9. Naranjo, M. E. Montaje de métodos de ensayos de folios decorativos importados. Informe interno ICIDCA. 1990.
10. Naranjo, M. E.; Grau, A.; García, R.; Puig, J. Estudio de nuevas formulaciones de encolante para recubrimiento de tableros. Informe interno ICIDCA. 1990.

11. Naranjo, M. E.; Grau, A.; García, R. Sustitución de harina de trigo por  $\text{CaSO}_4$  en la fábrica "Camilo Cienfuegos". Prueba de extensión. 1990.
12. Naranjo, M. E. Muestreos periódicos de tableros recubiertos en las fábricas de tableros de partículas. Informe interno ICIDCA. 1990.
13. Trujillo, M.; Naranjo, M. E.; Grau, A.; García, R. Impregnación de papeles con diferentes resinas para el recubrimiento de tableros. ICIDCA. 1990.
14. Naranjo, M. E.; Grau, A.; Trujillo, M.; Díaz, A. Impregnación de papel kraft para laminados de alta presión y papel barrera. Informe ICIDCA. 1992.
15. Naranjo, M. E.; Grau, A.; Sosa, P.; Rodríguez, M. E.; Díaz, D. Agüero, C. Tecnología de producción de laminados de alta presión con fines decorativos. Informe ICIDCA. 1993.
16. Serantes, M.; Almagro, R.; Machado, L.; Gómez, I. Desarrollo de líneas de recubrimiento y aglutinantes para tableros. Informe final de tema 1980.
17. Serantes, M.; Morales, A. Tecnología de recubrimiento de tableros de partículas. Optimización del acabado de superficies tratadas con sellador (tapaporos) U.F.ICIDCA. 1989.

# Capítulo 12. Calidad y normalización de la industria

Dra. Ofelia Carvajal Cabo

## Calidad

Como en toda industria, la de productos aglomerados, no estuvo exenta de determinar la calidad de sus materias primas y de los productos acabados, para llevar a cabo ese requisito, en cada una de las plantas de tableros y en los laboratorios del Dpto. de Aglomerados del ICIDCA, como parte de las investigaciones que se realizaban y de los servicios que les brindaron a las fábricas, se efectuaban los siguientes tipos de control:

- I. Control de las materias primas
- II. Control de producción
- III. Control de la calidad del producto terminado.

Dentro de los diferentes tipos generales de control, se efectuaron los siguientes análisis: Los métodos analíticos que se reportaron fueron tomados del Manual para el Control de la Producción de Tableros. Castro, *et al.* (1979) (1).

### I. Control de las materias primas

#### a) Bagazo

- Análisis fibra – meollo (norma DP -1 ICIDCA)

Esta norma establece la siguiente composición morfológica del bagazo.

Fibra: 60 %

Meollo: 30 %

Finos y solubles: 10 %

- Análisis granulométrico (norma DP – 2 ICIDCA)

Este método se estableció para determinar la composición fraccional del bagazo, el cual separa la muestra de bagazo en fracciones de acuerdo a las siguientes mallas, para bagazo integral y desmeollado:

Malla 1 mesh            25,4 mm

Malla 2,5 mesh        6,3 mm

Malla 10 mesh        1,8 mm

Malla 16 mesh        1,0 mm

Colector de polvo

- Humedad

Existen varios métodos para la determinación de la humedad del bagazo, dependiendo del equipamiento que se disponga o por diferencia de pesada.

Para trabajos específicos pueden hacerse además densidad, pH y % de azúcar remanente (pol).

b) Resinas y productos químicos

Resina

- Densidad. Se determina por el método del picnómetro.
- % de sólidos (peso seco) Se determina por la diferencia en peso de las muestras de resina antes y después del secado.
- Viscosidad. El método se basa en la medición del tiempo que demora en fluir la resina a través de una copa con abertura de 4 mm de diámetro.
- Tiempo de gelatinización. El método se basa en la determinación del tiempo que demora en endurecer la mezcla de resina – catalizador a la temperatura de 100 °C.
- % de formol libre. Con este análisis se determina la cantidad de formaldehído libre presente en la resina por el método del sulfito de sodio.
- Tiempo de vida. Es el tiempo que demora la mezcla resina - catalizador en endurecerse a la temperatura ambiente.
- pH. Se utiliza para la determinación un medidor de pH o pHmetro

### Catalizador

- Peso específico. Se analiza por medio del aerómetro.

### Emulsión de parafina

- % de sólidos. Se determina por la diferencia en peso de las muestras antes y después del secado.
- pH se medirá por medio de papel de pH o pHmetro.
- Peso específico. Se analiza por medio del aerómetro.

### c) Productos para el recubrimiento de las superficies.

#### Papeles impregnados, folios, sellador

Se realizan las siguientes pruebas de acuerdo a la norma DIN 50014

- Sensibilidad al agrietamiento
- Comportamiento frente a la abrasión
- Resistencia a la quemadura del cigarrillo
- Resistencia al fondo de olla caliente
- Comportamiento frente al agua hirviendo
- Comportamiento frente al vapor de agua
- Resistencia a las manchas

## **II. Control de producción**

Este control es específico para cada una de las producciones y de la fábrica donde se realice.

Por lo general para la producción de tableros de partículas, se controlan los siguientes parámetros:

- a) Control del peso de fibra y meollo en la zona de desmeollado.
- b) Control del encolado de las partículas.
- c) Control del peso de los colchones formados.
- d) Control de los parámetros de prensado.
- e) Control del espesor, largo y ancho de los tableros prensados.
- f) Control rápido de la calidad de los tableros: espesor, densidad, resistencia a la tracción perpendicular y módulo de ruptura.

### III. Control de la calidad del producto terminado

Se realiza para cada tipo de producto terminado las siguientes pruebas físico – mecánicas:

- Densidad. Es el cociente de la masa (peso) de la muestra y del volumen. Se calcula en  $\text{g/cm}^3$  DIN 52 361
- Espesor. Debe determinarse por lo menos en 5 puntos del tablero. DIN 52 361
- Humedad. Es la diferencia entre la masa de la muestra húmeda y de la masa seca a  $105\text{ }^\circ\text{C}$ . DIN 52361
- Módulo de ruptura (Resistencia a la flexión) DIN 52362 Este análisis da la explicación sobre la estabilidad de los tableros sometidos a cargas. Se utiliza un dinamómetro. El resultado se expresa en  $\text{kg/cm}^2$ .
- Resistencia a la tracción perpendicular a la superficie del tablero. Nos informa sobre la capa interior del tablero que presenta la menor resistencia. El resultado se expresa en  $\text{kg/cm}^2$ . Se requiere un dinamómetro. (DIN 52365)
- Dilatación en agua en 2 y 24 horas. Es el aumento del espesor de la muestra después del tiempo señalado en agua, respecto al espesor original. (DIN 52364)
- Absorción en agua en 2 y 24 horas. Es el aumento del peso de la muestra después del tiempo señalado en agua, respecto al peso original. (NC 4312)
- Tolerancia en longitud y ancho. DIN 52 361

Opcionalmente se puede realizar la resistencia a la tracción paralela a las caras del tablero (NF B-51-223) y el agarre al tornillo (BS 1811 Parte 2), según las normas señaladas.

Los parámetros de calidad de las materias primas y productos terminados fueron las siguientes: La Serna, *et al.* Monografía sobre Productos Aglomerados de Bagazo (1982) (2).

## **Especificaciones de propiedades físico-mecánicas para tableros de partículas de bagazo de 19 mm de espesor con resina urea-formaldehido**

Densidad (kg/ m<sup>3</sup>) 650 ± 50

Humedad (%) 5 – 11

Resistencia a la flexión (MPa) 18 – 20

Resistencia a la tracción perpendicular (MPa) 0,40 – 0,45

Dilatación del espesor por inmersión total en agua durante 24 h (%) 14 -16

La calidad de la producción a nivel mundial, se mide por las propiedades físico-mecánicas anteriormente expuestas y por el contenido de formaldehido libre presente en los tableros producidos con resina urea formaldehido debido al comprobado grado de toxicidad de las emanaciones de este producto, por ello, diferentes métodos de control son empleados.

Otra tarea, que se llevó a cabo en el ICIDCA, fue brindarle servicio a Cuba Control para la evaluación de los tableros de partículas que se destinaban para la exportación.

## **Propiedades físico-mecánicas de los tableros de fibras duros**

Densidad (kg/m<sup>3</sup>) 800 - 1 .200

Resistencia a la flexión estática (MPa) 30 - 55

Tracción paralela (MPa) 21 - 40

Absorción por inmersión total en agua durante 24 horas (%) 10 - 30

Dilatación del espesor por inmersión total en agua durante 24 horas (%) 15 - 20

Módulo de elasticidad (MPa) 2.800 - 5 .600



## **Especificaciones de calidad para los tableros aglutinados con materiales inorgánicos**

### Tableros bagazo cemento

Las propiedades obtenidas en las instalaciones de planta piloto del ICIDCA para tableros de bagazo-cemento fueron:

Densidad (kg/m<sup>3</sup>) 1 .250 ± 50

Humedad (%) 9 ± 4

Resistencia a la flexión (MPa) 9.0 (min.)

Resistencia a la tracción perpendicular (MPa) 0.4 (min.)

Dilatación del espesor por inmersión en agua 24 h (%) 2.3 (max.)

### Tableros bagazo yeso

Densidad (kg/m<sup>3</sup>) 1 .000 - 1 .200

Resistencia a la flexión (MPa) 5 .5 - 8.0

Resistencia a la tracción perpendicular (MPa) 0.43 - 0.46

Dilatación del espesor por inmersión en agua durante 24 horas (%) 4.0 - 5 .0

### Tableros bagazo magnesita

Espesor (mm) 10 - 12

Densidad (kg/m<sup>3</sup>) 1 .200 ± 40

Humedad (%) 10 ± 2

Resistencia a la flexión (MPa) 9.0 - 12

Resistencia a la tracción perpendicular (MPa) 0.25 – 0,35

Dilatación del espesor por inmersión en agua 24 h (%) 10 – 13

### Productos moldeados

Como esta tecnología permite producir diversos productos se seleccionó, a manera de ejemplo, la producción de cajas moldeadas para exponer las propiedades de este derivado.

### Cajas moldeadas

Largo 500 (mm)

Ancho 400 (mm)

Alto 300 (mm)

Dimensiones de la tapa y el fondo (mm) 392 x 492

Peso (kg/unidad) 2.75 - 2.85

Capacidad (kg) 20 - 25

Densidad del aglomerado (kg/m<sup>3</sup>) 720

Espesor de las paredes (mm) 4

Resistencia a la flexión (MPa)  $\geq 25$

Dilatación del espesor por inmersión total en agua 24 horas (%)  $\leq 15$

### Tableros de fibras de densidad media (MDF)

Densidad (kg/m<sup>3</sup>) 760 - 730

Resistencia a la flexión (MPa) 28

Módulo de elasticidad (MPa) 2500

Resistencia a la tracción (MPa) 0.60

Dilatación del espesor por inmersión total en agua durante 24 h (%) 6

### Resina UF

Contenido de sólidos (%)  $65 \pm 2$

Viscosidad (mPa.s) a 30 °C 300 a 450

Densidad (g/m<sup>3</sup>) 1,26 a 1,28

Contenido de formaldehído libre (%) 1 max

Tiempo de gelatinización (s) a 100 °C 60 a 90

Tiempo de vida (h) con catalizador 6 min

## Normalización

En esta industria aún no se ha avanzado lo suficiente en la obtención de un sistema de normas único para evaluar la calidad del producto a pesar de los esfuerzos desarrollados por la ISO (International Standard Organization).

Sobre las normas de ensayos para tableros, existe consenso internacional en cuanto a los métodos utilizados para evaluar las propiedades como la densidad, humedad, resistencia a la tracción perpendicular a las caras del tablero, absorción y dilatación por inmersión en agua, etc. lo que facilita la interpretación de los resultados.

Las normas cubanas de ensayo para tableros de partículas (serie 4308/87) concuerdan con las normas DIN y TGL, países de avanzada en esta rama industrial y en muchos casos con las normas internacionales ISO.

Como se ha mencionado en varias oportunidades en esta memoria, el principal usuario de los tableros de partículas y de fibras es la industria del mueble, por tal motivo en el año 2000, se crea el NC/CTN 85 Muebles, conformado por varios grupos y entre ellos el de tableros, con el fin de confeccionar las normas cubanas de especificaciones y de métodos de ensayos para ser utilizados por todos los que utilicen tableros de partículas y fibras uniformemente en el país.

Se realizó un trabajo serio y profundo de revisión de las normas cubanas existentes y algunas internacionales, adoptándose varias de ellas, fundamentalmente las EN, logrando al final la publicación de las siguientes normas cubanas de tableros.

- NC/EN 309 –Tableros de partículas. Definición y clasificación
- NC/EN 316 –Tableros de fibras. Definición, clasificación y símbolos
- NC 314 -Tableros de partículas y de fibras. Acondicionamiento y preparación de probetas para los ensayos

- NC EN 324-1 -Determinación de las dimensiones de los tableros. Parte 1: Determinación del espesor, anchura y longitud.
- NC EN 324 – 2 -Determinación de las dimensiones de los tableros. Parte 2: Determinación de la escuadra y rectitud del canto
- NC/EN 310 -Tableros de partículas y de fibras. Determinación del módulo de elasticidad en flexión y de resistencia a la flexión
- NC/EN 315 -Tableros de partículas y de fibras. Determinación de la resistencia al arranque de tornillos en la dirección del eje
- NC/EN 317 -Tableros de partículas y de fibras. Determinación de la dilatación del espesor después de la inmersión en agua
- NC/EN 319 -Tableros de partículas y de fibras. Determinación de la resistencia a la tracción perpendicular a las caras del tablero
- NC/EN 322 -Tableros de partículas y de fibras. Determinación de la humedad
- NC/EN 323 -Tableros de partículas y de fibras. Determinación de la densidad.
- NC/EN 312 -Tableros de partículas. Especificaciones
- NC/EN 622-1 -Tableros de fibras. Especificaciones
- NC/EN 622 -Tableros de fibras - Especificaciones Parte: 1 Requisitos generales.
- NC / EN 622 -Tableros de fibras - Especificaciones Parte: 5 Requisitos para los tableros de fibras fabricados por proceso seco (MDF)

Después de aprobadas y publicadas estas normas, sustituyeron a las existentes con anterioridad.

## **Trabajos investigativos realizados sobre calidad de los tableros**

En este capítulo, además se exponen trabajos realizados por el personal del Dpto. de Aglomerados, sobre la calidad de los productos aglomerados. En uno de los primeros trabajos publicados, Valdés, *et al.* (1989) (3), se expuso que la industria de tableros de partículas de bagazo en Cuba fue hasta ese año la mayor del mundo con el empleo de esa materia prima. En ese trabajo se evaluó el comportamiento

de los parámetros físico mecánicos en los tableros producidos por las tres principales plantas del país durante el año 1987.

Se observó un incremento porcentual de la calidad con respecto a años anteriores así, como una elevación de las propiedades del producto, en las tres principales industrias del país (“Camilo Cienfuegos”, Primero de Enero y “Jesús Menéndez”), las que satisficieron en general los patrones internacionales y que dedicaron parte de sus producciones para la exportación.

Los valores medios totales de las propiedades como el MOR (19-21,7 MPa), la tracción perpendicular (0,4-0,46 MPa) y la dilatación en 24 h (11,0-13,5 %) para las tres plantas cumplieron satisfactoriamente las exigencias de la Clase 1 de calidad según la norma cubana NC 4318: 86 Tableros de Partículas. Especificaciones de calidad que concuerda con la mayoría de las normas de calidad reconocidas mundialmente.

En otro trabajos realizado por el mismo autor, Valdés, *et al.* (1991) (4) se expuso informaciones de carácter general sobre aspectos cualitativos y de uso para los tableros de partículas de bagazo. El reporte incluyó la evaluación de propiedades de muestras representativas de tableros producidos en la industria cubana según las normas NC (Cuba), BS (Inglaterra) e ISO (Organización Internacional do Normalización).

En la siguiente tabla se reportan las propiedades que se obtuvieron:

Propiedades físico-mecánicas para los tableros de bagazo, según NC 4318:

Espesor (mm)	Humedad (%)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	MOR (MPa)	Tracción $\perp$ (MPa)	Dil. 24 hr. (%)
16.1 – 16,6	7.9 – 8.6	585 - 657	18.3 – 23.7	0.37 – 0.60	12.6 – 17.4

Se demostraron las excelentes propiedades de los aglomerados evaluados, como muestras representativas de las producciones en esa etapa en Cuba, los que exhibieron excelentes propiedades y características para su posible comercialización internacional.

Valdés, (1990) (5) expuso en otro trabajo informaciones generales acerca de propiedades y aspectos normalizativos en el campo de los tableros aglomerados.

Las propiedades de los tableros de partículas de forma integral pueden dividirse en:

- Propiedades generales
- Propiedades físicas
- Propiedades mecánicas
- Propiedades tecnológicas (referidas fundamentalmente al uso)

Las propiedades generales caracterizan al producto en cuanto a sus dimensiones (longitud, anchura y espesor), así como las tolerancias permitidas. Se incluye la calidad superficial y la aplicación de algún tipo de acabado.

En cuanto a las propiedades físicas, las de mayor importancia son: densidad, contenido de humedad, absorción y dilatación por inmersión en agua o por exposición en ambiente húmedo, conductividad térmica y propiedades acústicas.

Las propiedades mecánicas definen el comportamiento de los tableros en cuanto a resistencia y elasticidad. Son de importancia en este grupo la resistencia a la flexión estática (MOR), resistencia a la tracción perpendicular y paralela al plano del tablero, el módulo de elasticidad (MOE), la dureza superficial y la resistencia al impacto.

Desde el punto de vista de uso, las propiedades tecnológicas y de resistencia frente a agentes destructivos más relevantes son: estabilidad superficial, facilidad para el procesamiento (maquinabilidad, resistencia al agarre de clavos y tornillos, a la

abrasión, al ataque de hongos e insectos, al fuego y al contenido de formaldehído libre, aspecto este de gran importancia.

Una gran parte de estas propiedades se encuentran normalizadas, tanto en lo referente a los métodos de ensayos, como a los parámetros de calidad.

En el trabajo, además, se señalaron las principales propiedades que deben reunir los tableros para ser usados en la industria del mueble y en la construcción que son los principales consumidores de los tableros de partículas.

Se reportaron resultados sobre la calidad de los tableros de partículas de bagazo de caña de las industrias cubanas en los últimos años, comparables con los productos de primera clase que se comercializan en el mundo en base a madera, con la ventaja de ser más ligeros.

Con este trabajo, Rodríguez, *et al.* (2001) (6) efectuó la evaluación del comportamiento de los parámetros físico mecánicos de los tableros producidos en 3 plantas del país, para la actualización de las normas cubanas de métodos de ensayos y especificaciones de calidad.

Las plantas evaluadas fueron:

- “Camilo Cienfuegos” – tableros de partículas
- “Jesús Menéndez” – tableros de partículas de espesores finos tipo Mende
- Henetec – tableros de fibras

Las normas consultadas fueron:

- UNE – EN (española)
- ISO (Internacional)
- FR-EN (francesa)
- DIN – EN (alemana)
- BS (alemana)
- ASTM (norteamericana)

De las investigaciones realizadas sobre estas normas se encontraron dos aspectos importantes: el tamaño de las probetas para la determinación de las propiedades se incrementó con relación a la norma vigente con anterioridad y se incorporó en las normas de especificaciones de calidad revisadas los valores de módulo de elasticidad en flexión.

## **Bibliografía**

1. Castro, J.; Martínez, O.; Valdés, J. L.; de Armas, C.; Sierra, C. Manual Analítico para el Control de la Producción de Tableros de Partículas de Bagazo. 1979
2. La Serna, N. Almagro, R. Carvajal, O. Valdés, J.L. de la Vega, E. Monografía sobre Productos aglomerados a partir del bagazo de la caña de azúcar. Editorial Científico – Técnica. 1982.
3. Valdés, J.L., Méndez, J., Rodríguez, M. E. y Sosa, P. La calidad de los tableros de partículas de bagazo en Cuba. Revista ICIDCA Vol. XXIII No. 1 1989
4. Valdés, J. Rodríguez M. E.; Sosa P. Tableros de partículas de bagazo aspectos cualitativos y de uso. Revista ICIDCA Vol. XXV No. 1,2 1991.
5. Valdés, J.L. Propiedades y calidad de los tableros de partículas de bagazo. II Seminario Internacional de Derivados. 1990.
6. Rodríguez, M. E.; Torres, M.; Sosa, P.; Carvajal, O.; Serantes, M. Investigación para la actualización de las normas de especificación de calidad y métodos de ensayos en los tableros de bagazo, XIV Forum de Ciencia y Técnica. 2001.



## Capítulo 13. Investigaciones económicas y de mercado de la industria de aglomerados

Dra. Ofelia Carvajal Cabo

Los estudios económicos fueron tradicionalmente realizados en el Instituto, cuando se trataba de nuevas temáticas de investigación, con el objetivo de ver la factibilidad de su posible realización e introducción.

Como apoyo a las investigaciones, a decisiones inversionistas y para planes prospectivos de desarrollo de los productos aglomerados, en 1979, Vázquez Tío, (1) realizó un estudio del costo de producción de los tableros en la planta “Camilo Cienfuegos”, tomando en consideración los precios de importación de las materias primas, desglosando los costos por área de moneda, así como el componente importado de las de producción nacional.

Se ofreció información de los precios de tableros en países del área del Caribe a partir del estudio de mercado realizado por una firma inglesa por encargo del MINCEX.

En ese año, el costo de producción del tablero obtuvo entre 76 y 90 pesos por m<sup>3</sup> dependiendo de la resina que se utilizara. Del análisis de sensibilidad efectuado donde se calculó un costo máximo de 115 pesos/m<sup>3</sup>, se concluyó que la producción de tableros de partículas en la mencionada fábrica era atractiva.

En el estudio económico realizado por Vázquez Tío, *et al.* (1988) (2), tuvo como objetivo analizar la posibilidad de alargar el ciclo de prensado de forma que en la prensa se eliminara el exceso de formaldehído libre y los tableros alcance la calidad requerida sin cambios en la resina.

Esto, como se ha mencionado en varias ocasiones en la Memoria, se debe a que las emanaciones de formaldehído libre en los tableros de partículas se han convertido en los últimos años en un factor que afecta la comercialización de los mismos por cuanto muchos países no aceptan tableros que sobrepasen ciertos límites de contaminación. Los tableros que se fabricaban en Cuba hasta ese año (1988) no reunían las características que se exigían en el mercado internacional. Por lo que para solucionar ese problema se investigó la formulación de resina modificada que permitieran alcanzar los parámetros de calidad exigidos y como vía alternativa para resolver este problema como se señaló anteriormente, también se estudió la prolongación del ciclo de prensado sin cambios en la resina. Lo que se consideró factible ya que las plantas de tableros en esa época solamente operaban al 50% de su capacidad y se propuso el incremento de dos minutos en el ciclo de prensado.

En nuestro país se producen cajas de cartón y plásticas a partir de materias primas importadas para el acopio de productos del agro. Las cajas moldeadas de bagazo podrían sustituir estas cajas de forma ventajosa. Martínez, M. (1992) (3) realizó la evaluación económica de las cajas moldeadas de bagazo comparadas con las de cartón y plástica.

La caja moldeada de bagazo superó a la de cartón tipo telescópico para cítricos con un ahorro de 4,43 pesos totales por m<sup>3</sup> de productos a transportar y 4,63 pesos en divisas.

Con relación a ésta la caja moldeada ahorraría 1 811,7 t/año de liner y 1 050 t/año de cartoncillo con un valor total de 728,4 miles de pesos divisas.

La caja moldeada presentó ventajas económicas sobre las de cartón de solapa y plástica, si se logra reutilizar más de 2 y 6 veces respectivamente.

La investigación económica realizada permitió determinar un nivel de competitividad de la caja moldeada con las de cartón y plásticas, con vistas a su futura introducción en los envasaderos; así como orientar a la investigación acerca de los aspectos que podrían convertir más ventajosas a las cajas moldeadas de bagazo y sobre los que debieron profundizarse en posteriores etapas de investigación.

La eficiencia en la gestión económica resulta imprescindible para la agroindustria azucarera y de derivados cubana. La reducción de los costos de producción es esencial en el logro de dicha eficiencia. En este análisis Rodríguez, *et al.* (2000) (4) realizaron la comparación del costo de producción de los tableros de bagazo mediante dos alternativas: utilizando resina de urea formaldehído producida nacionalmente a partir de paraformaldehído o empleando resina en polvo importada. El costo de producción en divisas directas de la resina nacional resultó un 45,45 % menor que el costo de la resina en polvo importada, por tal motivo resultó más económico producir tableros con la resina nacional.

Con el fin de evaluar preliminarmente desde el punto de vista económico la producción de tableros sin resinas, temática que se estuvo investigando en el Instituto, Martínez, (1991) (5) llevó a cabo la evaluación económica exploratoria para determinar la factibilidad de continuar con estas investigaciones, ya que las mismas se encontraban en una etapa primaria, pero los trabajos efectuados hasta el momento demostraron que las propiedades estudiadas se mantenían dentro de un rango permisible con excepción de la dilatación la cual aun presentó cierta afectación.

Para esa evaluación se tuvieron en cuenta todos los factores que pudieran incidir en el costo de producción de los tablero y su comparación con los que tradicionalmente se producían con resina UF.

De lograrse la producción de tableros sin resina con las propiedades requeridas, el costo del mismo, se reduciría en un 19 % representando 30 y 36 pesos /m<sup>3</sup> en pesos

totales y en divisas respectivamente. Al nivel de la capacidad de una planta de tableros el ahorro que se obtendría sería del orden de los 1,2 millones de pesos totales y 1,4 millones en divisa.

No obstante, se puede decir que la posible introducción de estas investigaciones, mejoraría los resultados económicos alcanzados hasta el momento, siempre que se mantuviera la calidad del producto final.

Vázquez Tío, en 1982 (6), realizó un trabajo que tuvo como objetivo ofrecer información general sobre la industria de tableros en Cuba, los usos más generalizados de este producto, así como el costo de producción de los mismos. También se hizo un análisis económico de los factores más determinantes y se brindó algunos indicadores económicos.

Para calcular el costo de producción, considerando tableros de partículas de 19 mm de espesor y  $650 \text{ kg/m}^3$ , la resina producida en una planta integrada a la misma fábrica a partir del formaldehído y la urea importada y el bagazo sustituido por petróleo con una equivalencia de 6 ton de bagazo/una de petróleo, resultó:

<b>Concepto</b>	<b>Costo en dólares</b>
Bagazo	61
Otras materias primas	29
Electricidad	15
Combustible	14
Otros gastos	32
Depreciación	18
Total	169

A continuación se presentan algunos indicadores económicos que reflejaron la factibilidad económica de la producción.

Precio de venta	214 \$/m <sup>3</sup>
Valor de la producción	11 770 miles de dólares
Costo de la producción	9 295
Rentabilidad	19 %

Ramos, *et al.* (1985) (7), en ese trabajo de varios donde se analizaron la incidencia económica que tiene la producción de resina en la elaboración de los tableros de partículas, planteó que se han confrontado dificultades con la adquisición de la resina urea formaldehído en el mercado, ya que la misma se importaba del área capitalista a elevados precios.

Como esta resina tiene una incidencia significativa en el costo de producción de los tableros, se analizó la posibilidad de producirla en el país a partir del formaldehído importado, ya que resulta económicamente más ventajoso que la importación de la resina. Por lo que se programó instalar plantas de resinas anexas a las plantas de tableros.

Ahora bien, esta solución trajo aparejado que hay que importar grandes volúmenes de formaldehído en solución al 37 %, debido a esto se estudiaron distintas variantes de producción de resina a partir del formaldehído importado, producido nacionalmente y elaborada con paraformaldehído.

Por tal motivo en este trabajo, se analizó la influencia del formaldehído en el costo de producción de la resina, existiendo varios trabajos vinculados con esta misma temática.

Como mencionó anteriormente, Ramos, *et al.* (1986) (8), sobre este mismo tema, se analizó en esta ocasión el empleo del paraformaldehído importado para la producción de resina que se empleó como aglutinante en el proceso productivo de tableros de partículas.

Debido a que el paraformaldehído se compraba en área de moneda convertible y a la incidencia que la resina tiene en el costo del tablero, el componente en divisas del mismo casi se duplicó, afectando seriamente la rentabilidad de esta producción.

En la búsqueda de una solución, se planteó la posibilidad de instalar en el país una planta para la producción de formaldehído utilizando metanol importado, con esto se favorecería la producción de dicha resina, por lo que el objetivo de este trabajo fue analizar la incidencia que tiene la producción nacional de formaldehído en la industria de tableros de partículas y la ventaja económica, que podría significar para esta industria y para el país.

El desarrollo de la industria de tableros en nuestro país alcanzó en esos años, niveles superiores basándose en la experiencia mundial y en las necesidades nacionales de madera.

El trabajo desplegado por los investigadores del ICIDCA, tuvo como finalidad proporcionarle al país una fuente estable de materias primas para diferentes sectores de la economía nacional fundamentalmente para el sector de la construcción.

Teniendo en cuenta estos aspectos, en 1985, Martínez, (9) realizó el análisis económico de la producción de tableros fenólicos y a la vez en el mismo se valoró económicamente la elaboración de la resina fenol formaldehído con la que se produjeron dichos tableros.

Desde la década de 1980, se vino desarrollando e introduciendo a nivel mundial distintas técnicas para reducir el formaldehído libre en los tableros de partículas, por las afectaciones que puede producir en la salud de los hombres lo que impide el desarrollo exitoso de la comercialización de estos productos. Martínez, (1989) (10). Como se ha mencionado con anterioridad, las calidades que contemplan el contenido de formaldehído libre en tableros son: E<sub>1</sub> (0-10), E<sub>2</sub> (10-30) y E<sub>3</sub> (30-60 mg

de formaldehído/100 gr de tableros seco), sin embargo la finalidad de los trabajos, fue alcanzar tableros E<sub>1</sub>. La fábrica Primero de Enero a mediados de 1987 comenzó a producir tableros E<sub>2</sub>, la planta “Camilo Cienfuegos” en 1989 inició los trabajos de ajuste e introducción de esa tecnología y “Jesús Menéndez” en 1990, se consideró que de forma paulatina se iría llevando a cabo la producción de los tableros E<sub>1</sub>.

Para el análisis económico del tablero E<sub>1</sub> se calcularon 4 variantes: Costo de producción del tablero con bagazo y resina U.F., costo del tableros con bagazo sustituido por fuel oil y resina U.F., costo de producción del tablero y resina U.P.f y costo de producción del tablero con bagazo sustituido por fuel oil y resina U.Pf.

Se concluyó que la producción de tableros E<sub>1</sub> reportaría al país las siguientes ventajas: se obtiene un producto de calidad superior, mejorando la gestión de ventas, se incrementan los precios de exportación sin realizar inversiones significativas ni elevar los costos. La incidencia del aglutinante en el costo de estos tableros fue menor que en el resto de los tableros. Existiría un efecto económico positivo para todas las variantes analizadas.

Entre los trabajos realizados por los investigadores del área de Aglomerados del ICIDCA, se encontró el estudio de una tecnología de producción de resina utilizando el formaldehído y el paraformaldehído en la síntesis de producción.

La mezcla de ambos productos en la producción de la resina no requiere de la etapa de evaporación de cuando se utiliza solamente el formaldehído.

Por la novedad nacional del tema Martínez, (1992) (11) analizó desde el punto de vista económico las ventajas que ofrece una resina para tableros empleando en la síntesis una mezcla de formaldehído y paraformaldehído.

Se realizó el cálculo económico y se arribó a las siguientes conclusiones: el empleo de esta alternativa tecnológica para la producción de la resina combinada permitiría contar con una mayor racionalización de materias primas.

Los ahorros obtenidos con relación a la resina U.F. serían de alrededor de 232,2 miles de pesos totales/año y 225,0 miles de pesos en divisas/año. La nueva alternativa permitiría producir entre 9 y 10 mil m<sup>3</sup>/año de tableros debido al aumento del volumen de producción de resina combinada.

Generalmente como se mencionó con anterioridad, en la tecnología de tableros de partículas se utiliza la resina urea formaldehído. Sin embargo, en la búsqueda de un panel resistente a la humedad, específicamente para ser utilizado en la construcción, se efectuaron ensayos con resina fenólica y resina melanina formaldehído, por conferirle éstas al tablero propiedades especiales contra la humedad.

En el informe exploratorio, Martínez, (1986) (12) trató de ofrecer una panorámica de la forma de obtención de la resina melanina formaldehído, las características del producto, la tendencia de su uso y la comparación económica con la resina fenólica. Para el desarrollo de este trabajo se efectuó una búsqueda en el Chemical Abstract y en la ABIPC, donde se abarcó un período de 10 años. Del análisis de la literatura se pudo afirmar que el uso más generalizado de la resina melanina formaldehído es como recubrimiento superficial. El tratamiento superficial de los paneles con papel melaminado hace que éstos mejoren sus propiedades, a la vez que lo hacen más decorativos para ser utilizados en paredes, puertas, etc.

Los costos de producción de la resina melanina formaldehído y de la resina fenólica fueron elevados siendo en el primer caso casi el doble de la otra.

El amplio conocimiento que posee el ICIDCA acerca de la producción de resinas para tableros dieron lugar a nuevas investigaciones de resinas de pegado en frío,



las cuales pueden ser utilizadas en una amplia gama de usos como: encolado de muebles como sustituto de cola animal, revestimientos con laminados de alta presión (formica) o papel folio o uniones en general.

Nuestro Instituto con tales fines desarrolló un adhesivo llamado CF-165, el cual está compuesto por resina urea formaldehído, un relleno inorgánico que proporciona plasticidad y un catalizador.

Se evaluó el costo de producción, Martínez, (1991) (13), de las distintas variantes: caolín nacional, caolín importado y talco importado, que desde el punto de vista económico podrían emplearse. El uso del caolín nacional como relleno en la mezcla encolante produjo un ahorro con respecto al resto de las variantes de 74 y 82 pesos /t respectivamente. Para todas las variantes la sustitución del barge y el acetato de polivinilo resultaron atractivos produciendo ahorros en divisas que oscilaron entre 659 y 741 pesos/t para el barge y entre 1934 y 2016 pesos/t para el acetato de polivinilo.

Vázquez Tío, (1987) (14), analizó el costo de los materiales fundamentales en la producción de un sellador nacional a base de caolín y resina urea formaldehído para ser aplicado a los tableros de partículas desnudos de forma que permitiera reducir el gasto de pintura.

También se hizo un análisis económico del sellador señalando las premisas que hubo que tomar en consideración para posteriormente definir las ventajas económicas de este producto. Para el análisis se investigaron 4 variantes, en los resultados, se informó el costo de las materias primas de cada una de ellas, no fue posible realizar una evaluación económica por no disponerse de la información requerida y las investigaciones estuvieron en una fase preliminar.

Como es costumbre, aunque todavía no se habían concluido las investigaciones para la producción de tableros con bajo contenido de formaldehído libre, se estimó

conveniente extrapolar a nivel industrial los resultados obtenidos a escala de planta piloto y realizar un análisis económico bajo estas premisas, con el fin de orientar a la actividad investigativa para la posible posterior introducción definitiva en la práctica.

Para ello, Martínez, (1986) (15) tomó la información resultante de la prueba realizada con 12 kg de resina UF, con la cual se produjeron cuatro tipos de resinas con diferentes características modificando la relación molar final. Se escogió la relación 1 – 1,1 que fue la que dio mejores resultados.

Se obtuvo como resultado de la evaluación que el costo total de la resina modificada se elevaría en 42 pesos /t lo que representa un 16 % de incremento por encima del obtenido con el proceso normal. El porcentaje de incidencia de la urea en el costo de producción de la resina modificada fue de 37 %, mientras que el de la resina normal era de 29 %. También se analizó el costo del tablero producido con resina modificada categoría E<sub>2</sub> y se planteó que una disminución del formaldehído libre en el tablero bajo las condiciones evaluadas no implica cambios en el comportamiento económico de este producto.

Como es conocido, mundialmente para la producción de tableros de partículas se utilizan como aglutinante resinas orgánicas y materiales inorgánicos (minerales), estos últimos menos desarrollados. Entre los materiales inorgánicos se encuentran el cemento, el yeso y la magnesita.

El empleo de la magnesita fue el más reciente de ellos, es por ello que el objetivo de este trabajo, Martínez, (1991) (16), fue valorar económicamente la factibilidad de producir en las condiciones nacionales este tipo de panel, cuyo uso en la construcción de paneles ligeros presentan una demanda considerable.

Estos paneles entre sus características más importantes, se señaló su resistencia al fuego y buenas propiedades aislantes térmicas y acústicas. Pueden ser cortados

en sierras con puntas reforzadas, taladrado, atornillado, clavado, etc. Presentan una buena calidad superficial, por lo que su terminación se simplifica considerablemente. Pueden ser pintados, recubiertos con papeles decorativos, enchapillados, etc.

Para el análisis económico se consideró la introducción del tablero bagazo magnesita en la fábrica de tableros “Maderas Técnicas” como estaba previsto obteniéndose un costo del tablero de 343 y 350 pesos/m<sup>3</sup> con y sin sal de magnesio respectivamente.

El Dpto. de Productos Aglomerados del ICIDCA, se dio a la tarea de investigar la obtención de los paneles bagazo – yeso, empleando el conocimiento acumulado durante años en la producción de tableros.

Es por ello que este trabajo tuvo como objetivo realizar el análisis económico de las posibilidades que brinda este panel. Martínez, (1988) (17).

El valor de la inversión fue estimada para una planta de 125 m<sup>3</sup>/día en 17 millones de pesos. El costo de producción estuvo dado por m<sup>2</sup> de panel, debido a su uso en paredes y falso techo, estando en el rango de 2,30 a 2,54 pesos/ m<sup>2</sup> de acuerdo a si el bagazo era sustituido por fuel oil.

Se consideró que una planta de paneles bagazo – yeso resultaría rentable y se recuperaría la inversión en un período de tiempo muy favorable.

Vázquez Tío, (1985) (18) tomó de los trabajos ejecutados en el Instituto, la definición de productos moldeados como aquel que adquiere su forma final mediante el prensado en moldes calientes elaborado a partir de partículas de madera u otros materiales lignocelulósicos, previamente preparadas con o sin la adición de resinas. Estos productos tienen diferentes usos como pueden ser en la industria electrónica para hacer gabinetes de radios, televisores y grabadoras, componentes para la

industria del mueble, contenedores para transporte y almacenamiento, elementos ornamentales para la construcción y otros artículos de otras industrias.

Para la evaluación económica se seleccionó la producción de cajas moldeadas para el acopio, transportación y distribución de los productos del agro, por la necesidad creciente de este artículo en la distribución de alimentos para la población y para los productos para la exportación.

El ICIDCA desarrolló algunas experiencias tanto en instalaciones del exterior como en nuestro país, que unido a elementos que se poseen de esta tecnología, permitió desarrollar nuestro propio *know - how*, evitando este gasto de divisas.

Para la instalación de una planta de cajas, de la capacidad que se requiere el valor de la inversión sería de 4 485 miles de pesos correspondiéndole el 34% a moneda nacional, 23 % a divisas indirectas y el 42 % a divisas directas. El costo de producción anual sería de 2 204 pesos donde el 32 % es moneda nacional y el 68% correspondería a divisas. La eficiencia económica sería de 74 % y el precio de venta unitario sería de 2,99 pesos.

El trabajo incluyó todos los aspectos necesarios a tener en cuenta para la inversión de una planta de cajas moldeadas, con la evaluación económica financiera, costo de producción anual, los indicadores económicos principales y otros indicadores económicos.

A solicitud de la Oficina Nacional de Diseño Industrial (ONDI), Carvajal y Martínez, (1987) (19), realizaron un trabajo que tuvo como objetivo efectuar un estudio técnico económico sobre la factibilidad de producir elementos moldeados para la industria del mueble a partir del bagazo de la caña de azúcar, aglutinados con resinas sintéticas.

En el mismo se reportaron las características del bagazo, sus usos y potencialidades, los parámetros tecnológicos para la utilización de esta materia prima en la producción de moldeados, los resultados de experimentos realizados y el análisis económico del proceso productivo.

Con esta tecnología se puede acometer en una planta la producción de una gran variedad de productos moldeados con solo cambiar el molde.

Los elementos moldeados de bagazo pudieran contribuir de forma ventajosa a solucionar los problemas de diseño y altos precios que presentan los muebles ofertados a la población, con el consiguiente ahorro de materias primas e incremento de la eficiencia económica de la industria.

El análisis de la efectividad económica comprendió la alternativa de producción y la capacidad de una planta aislada con equipamiento completo y otra aprovechando el equipamiento de una planta de tableros, con la excepción de la formadora, la prensa y la línea de recubrimiento, se brindaron las ventajas y desventajas de ambas alternativas. También se analizó la capacidad de producción, el balance demanda capacidad, entre otros aspectos económicos.

En el año 1991, resultó importante realizar una actualización de la situación de las industrias consumidoras y productoras de tableros, así como su desarrollo en ese año y prospectivo con vistas a analizar en qué medida pudiera satisfacerse la demanda de estos paneles, siendo esto el objetivo principal de este trabajo, elaborado por Martínez, M. (1991) (20).

Para el análisis de la demanda se consultaron distintos organismos, básicamente los mayores consumidores. Las necesidades de otros organismos fueron estimadas a partir de informaciones ofrecidas por los mismos.

En el trabajo se analizó brevemente la satisfacción de la demanda en el período analizado, para lo cual se realizó un resumen de la situación de la industria de tableros y de los problemas que presentaba, así como las posibilidades de importar y exportar tableros.

La demanda total de tableros para 1995 y 2000 fue de 196 743 m<sup>3</sup> y 257 829 m<sup>3</sup> respectivamente, de la cual el 77 y 82 % es de tableros de partículas y el 23 y 18 % es de tableros de fibras para los años señalados.

Existió en esos años demanda de tableros recubiertos y de tableros resistentes a la humedad. El tablero más demandado fue de 16 y 19 mm y el consumidor que requiere mayor volumen de tableros fue la industria del mueble con un 50 % del total de la demanda.

Según la tendencia de la producción real hasta 1991 no se garantizaría la satisfacción del nivel de la demanda de tableros para esos años.

Ramos, *et al.* (1981) (21), en ese trabajo realizaron un estudio comparativo de la incidencia de la resina urea formaldehído en el costo de producción del tablero de partículas, analizando tres posibilidades de obtención del aglutinante.

La resina urea formaldehído utilizada como aglutinante en la producción de tableros de partículas fue un producto que se importaba del área capitalista, teniendo un alto precio en el mercado que oscilaba en esos años, entre 600 y 700 pesos por toneladas (sólida).

Siendo significativa la incidencia de este producto en el costo de producción del tablero, aproximadamente un 33 % del costo total. Además esta resina tiene un tiempo de vida limitado, alrededor de un año, lo que hace imposible su almacenamiento por largos períodos.

Teniendo en cuenta estos criterios se decidió analizar, desde el punto de vista económico, la incidencia que tendría, en el costo del tablero, la utilización de resina producida en una instalación anexa a la fábrica de tableros o en una para la producción de la misma en mayor escala que satisficieran las necesidades de todas las plantas de tableros, comparando ambas con la utilización de resina de importación.

Los resultados del trabajo arrojaron que la fabricación de la resina en el país, tanto en la planta anexa a la de tableros como en la fábrica que produjera en gran escala fue mucho más ventajoso, que la resina de importación ya que representaría un ahorro considerable de divisas a la economía nacional. Lo mismo sucedería con la producción de tableros utilizando resina de producción nacional en cualquiera de las dos variantes.

La producción nacional de tableros de partículas confrontó dificultades con la adquisición de la resina urea formaldehído, la cual se importaba a precios elevados con el consiguiente gasto de divisas.

Teniendo en cuenta los resultados del trabajo anterior se concibió instalar 3 plantas de resina, anexas a las fábricas de tableros, pero debido a las dificultades con la transportación del formaldehído que se comercializa al 37 %, lo que implicaba pagar altos precios de fletes por un producto con más del 60 % de agua, se analizó la conveniencia de realizar un estudio técnico económico de la instalación de una planta de formaldehído en el país, a partir de metanol, así como su incidencia económica en la producción tanto de la resina UF como del tablero de partículas.

Ramos y Martínez (1986) (22,) expusieron las características generales de la producción de formaldehído, sus características y usos, el proceso tecnológico de la producción a partir del metanol, la situación del mercado nacional de formaldehído, el análisis económico y el análisis de la incidencia en el costo de la resina y en la producción de los tableros.

La producción de formaldehído a partir de metanol en Cuba se estimó que no presentaría ningún tipo de limitación, ya que las tecnologías de producción son ampliamente conocidas en el mundo y se ofertan plantas de diferentes capacidades, de acuerdo a las necesidades de los usuarios, la capacidad de la planta propuesta fue de 33 000 toneladas anuales.

La incidencia del formaldehído dentro del costo de producción de la resina urea formaldehído fue de 60 – 72 % en dependencia de la variante analizada.

El tiempo de recuperación de la inversión fue favorable.

Si el país hubiera tenido que importar la resina necesaria para producir el volumen de tableros planificados para ese año habría que invertir 3,23 millones de pesos anuales. De todos los análisis efectuados se evidenció que de todas las variantes de producción de tableros analizadas, la que emplea resina UF con formaldehído nacional resultaba la más ventajosa económicamente con un 78% de incidencia del comportamiento importado en el costo total y sólo el 13 % es componente en divisa.

Los resultados obtenidos en el análisis económico realizado sobre la factibilidad de la producción nacional de formaldehído, evidenció la conveniencia económica de producir este producto, así como el efecto económico que pudiera provocar en la producción de resina UF, materia prima fundamental para la producción de tableros de partículas.

## **Bibliografía**

1. Vázquez Tío, M. Análisis económico de los tableros de partículas en las condiciones actuales. Informe interno ICIDCA. 1979
2. Vázquez Tío, M; Ramos, I.; Blanco, G. Evaluación económica del aumento del ciclo de prensado en tableros de partículas. Informe interno ICIDCA. 1988



3. Martínez, M. Evaluación económica de las cajas moldeadas de bagazo en sustitución de cajas de acopio. Revista ICIDCA Vol. XXVI No. 3. 1992
4. Rodríguez, L.; Serantes, M.; Carvajal, O. Evaluación de la incidencia de la resina urea formaldehído en el costo de producción de los tableros de partículas de bagazo. Diversificación 2000.
5. Martínez, M. Evaluación económica exploratoria de la producción de tableros de partículas sin resina sintética. Informe interno. ICIDCA. 1991
6. Vázquez Tío, M. Consideraciones económicas de la producción de tableros de partículas. Informe interno ICIDCA. 1982.
7. Ramos, I.; Martínez, M. Incidencia económica del formol en la producción nacional de la resina urea formaldehído. Informe interno ICIDCA. 1985.
8. Ramos, I.; Herryman, M.; Martínez, M. Factibilidad económica de la producción de tableros de partículas con resina fabricada a partir de formaldehído nacional. Informe interno ICIDCA. 1986
9. Martínez, M. Evaluación económica de la posible producción nacional de tableros fenólicos. Informe interno ICIDCA. 1985.
10. Martínez, M. Evaluación económica de la producción de tableros E<sub>1</sub> en Cuba. Informe interno ICIDCA. 1989.
11. Martínez, M. Evaluación económica de la producción de resina combinada urea formaldehído – paraformaldehído. Informe interno ICIDCA. 1992
12. Martínez, M. Informe preliminar de la resina melanina formaldehído. Informe interno ICIDCA. 1986
13. Martínez, M. Análisis económico preliminar de la sustitución de encolantes para muebles por el adhesivo CF- 165. Informe interno ICIDCA. 1991.
14. Vázquez Tío, M. Información económica para el análisis de un sellador nacional a base de resina urea formaldehído. Informe interno ICIDCA. 1987.
15. Martínez, M. Evaluación económica preliminar de la obtención de tableros con bajo contenido de formaldehído libre. Informe interno ICIDCA. 1986.
16. Martínez, M. Evaluación exploratoria de producción de tableros con magnesita. Informe interno ICIDCA. 1991

17. Martínez, M. Ventajas económicas de la producción de paneles de bagazo – yeso en Cuba. Seminario XXV Aniversario del ICIDCA. 1988.
18. Vázquez Tío, M. Estudio de oportunidad sobre productos moldeados de bagazo. ICIDCA. 1985.
19. Carvajal, O.; Martínez, M. Estudio técnico económico sobre la factibilidad de producir elementos moldeados para la industria del mueble. ICIDCA. 1987.
20. Martínez, M. Estudio de la demanda de Productos Aglomerados. ICIDCA. 1991
21. Ramos, I.; Herryman, M.; Almagro, R. Estudio de la incidencia de la resina urea – formaldehído en los costos de producción de tableros. Informe ICIDCA. 1981
22. Ramos, I.; Martínez, M. Análisis de la factibilidad técnica económica de la producción nacional de formaldehído y su incidencia en la industria de tableros. ICIDCA. 1986

# Capítulo 14. Industria de los productos aglomerados en el mundo. Actualidad y mercados

Ing. Raúl Costales

No se conoce con precisión, cuando el hombre comenzó a unir por primera vez piezas de madera aplicando adhesivos, sin embargo existen indicios de que aproximadamente 1500 años A.C. los antiguos egipcios ya realizaban aplicaciones de este tipo, acerquémonos en el horizonte para aquellos momentos en que ya despuntaron como productos industrializados en el ámbito mundial en el 1920 con el surgimiento de los tableros de fibras, quizás como resultado de una combinación de intereses que hasta hoy se ha mantenido fija para el desarrollo de la industria y pensamiento fijo de todos aquellos relacionados con la industria; en primer término a satisfacción de las necesidades del hombre y su desarrollo, y por otra parte la acumulación de conocimientos encaminados a brindar el mejor aprovechamiento de la madera como uno de los recursos más dóciles que ha brindado la naturaleza e igualmente el más diversificado.

Resulta comprensiblemente difícil abarcar en escasas cuartillas el desarrollo industrial transcurrido tras casi un siglo de febril de introducciones y adelantos tanto tecnológicos como de la industria de la maquinaria, sin la cual resultaría imposible brindarle respuesta y facilitar la introducción de los adelantos técnicos en el mercado, para el cual se debe a la industria. De lo anterior que se circunscriba este espacio a aquellas tecnologías que más se han impactado en la sociedad y cuyo volumen de producciones apreciativamente las coloque dentro del entorno que calificamos como de crecimiento rápido y maduración cuyos atractivos al mercado nacional pueden resultar de interés para el futuro desarrollo nacional.

Dentro de las industrias de fibras el mejor exponente que se puede mencionar son los tableros de fibras de densidad media conocidos por las siglas MDF (**M**edium **D**ensity **F**iberboard), los cuales parten de una preparación típica de tableros de fibra

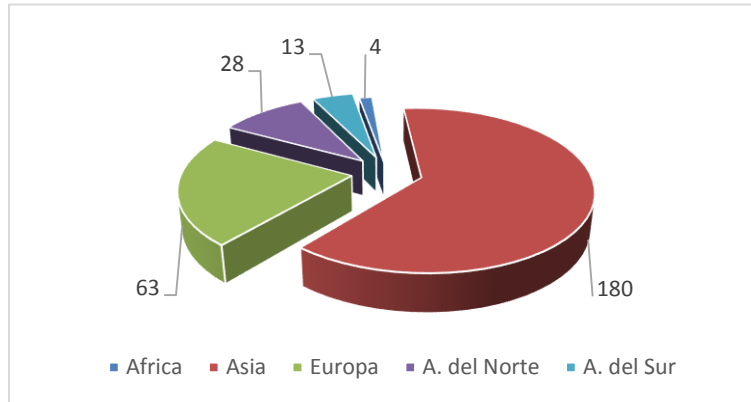
para proceder finalmente al encolado y prensado a similitud de los tableros de partículas. Con este proceder se logra un perfil de densidad muy cerrado a todo lo ancho y largo del panel, reconocidas propiedades físico mecánicas, excelentes calidades superficiales y muy escasa generación de residuos, aspecto fundamental para su mantenimiento dentro de las preferencias dentro de las exigencias del mercado.

Esta tecnología no solo se ha desarrollado de forma impactante en Europa sino también en los países asiáticos, sobre lo cual abordaremos algunas de sus características en lo adelante.

Dentro de la Comunidad Europea las estadísticas para el año 2001 establecen una producción de unos 9,6 millones de m<sup>3</sup>, cifra que implantó un nuevo record mundial de producción de tableros, con un 30 % superior, el que fuera implantado en el año 2000. Dentro de los exponentes más notables se mantiene Alemania, país que en adición a su potencial se incorpora una industria pesada a disposición de los adelantos técnicos que le dieron origen.

Resulta importante resaltar algunos elementos que reflejan las literaturas relacionadas con la industria al cierre del año 2005 y que contrastaremos con la figura anteriormente expuesta. La primera de ellas se relaciona con el número de instalaciones existentes en el continente asiático y que lidera la escala mundial con 16 millones de m<sup>3</sup> con 361 líneas de producción.

En la figura No 1 se aprecia el número de instalaciones reportadas en funcionamiento en el mundo para el año de estudio.



**Figura No 1.** Instalaciones para la producción de MDF en el mundo. Año 2001

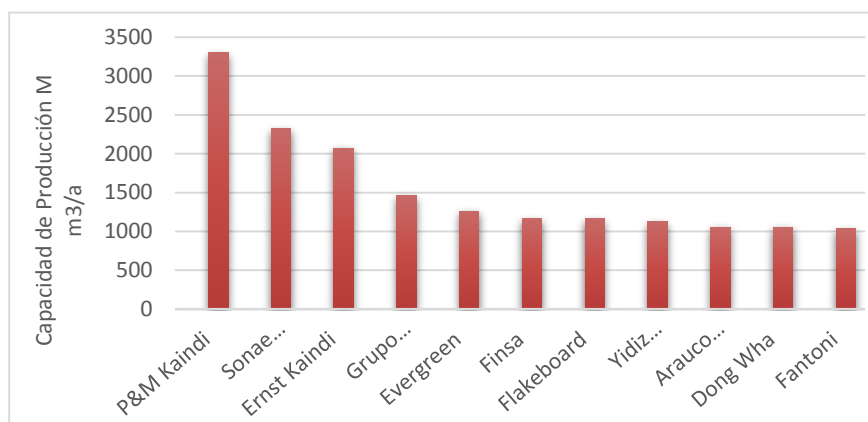
La Comunidad Europea en este entorno contaba solamente con 72 instalaciones abarcando una producción de 15,4 millones de m<sup>3</sup>, lo cual brinda una medida del potencial productivo de sus instalaciones resaltando que muchas de ellas poseen tecnología de punta. América del Norte con 27 instalaciones enfrenta una capacidad productiva de 5,6 millones y América del Sur con solo 14 unos 3,3.

La receta del crecimiento productivo persigue satisfacer las demandas del mercado, el cual posee marcadas exigencias en cuanto a apariencia y resistencia del producto para aplicaciones que mayormente se enfoca hacia la industria del mueble y por ende junto a ella polos transformadores de esta producción.

Una característica común en la industria consiste en la marcada tendencia a la formación de agrupaciones internacionales, consorcios resultaría mejor expresado, mediante los cuales se concentran producciones mundiales que no solo acogen la producción de tableros sino también la venta de madera aserrada, en rolos entre otras expresiones del mundo de la madera. La figura No 2, muestra al término del año 2008 las mayores agrupaciones en cuanto a la producción de MDF, de ellas nótese existe una representación americana en Chile (Arauco).

Para concluir el tema de los tableros de fibras como genérico de la industria, Cuba en esta dirección solo posee una instalación en explotación que opera por la muy antigua tecnología del método húmedo, con bagazo, por lo tanto nos queda mucho camino por andar para actualizar la industria nacional en este sector productivo. Debe resaltarse que la inmensa mayoría del sector emplea como materia prima madera, fundamentalmente pino o eucaliptus-

El camino futuro depende del desempeño de la industria azucarera, tributario de la fibra que se emplea en estos derivados y que ha mostrado en más de una oportunidad la calidad de las elaboraciones que con la misma se logran y que en muy poco se diferencian a las obtenidas a partir de la madera, solo que resultan ser ambientalmente amigables y en la mayoría de los casos más económicas en consecuencia con su forma de entrega y potencial de concentración en un solo punto de colecta.

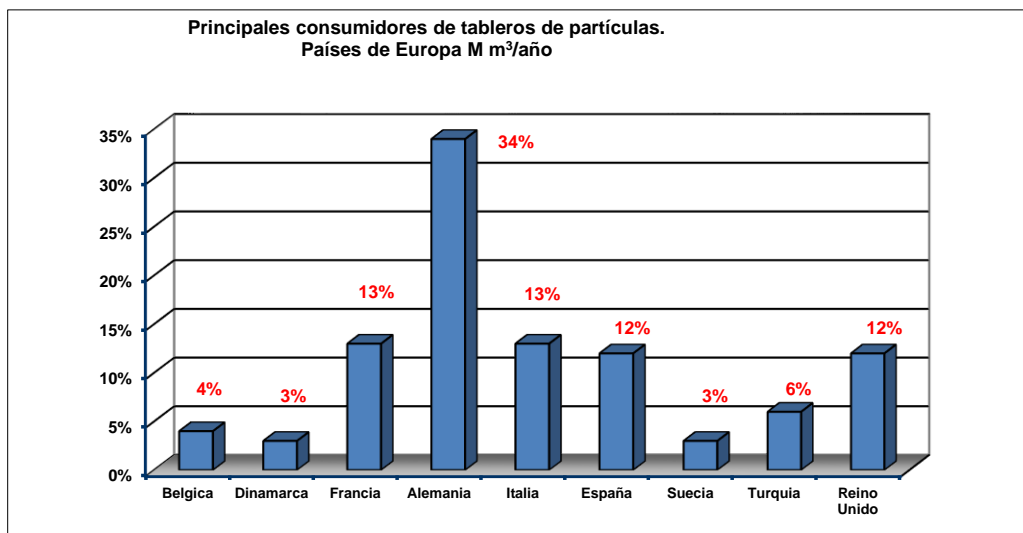


**Figura No 2.** Mayores agrupaciones en la producción de MDF. Año 2008.

La tecnología de producción conocida como de partículas posee las primeras patentes referidas al período comprendido entre 1936 y 37, a partir del cual comenzó un profundo e importante desarrollo, que abarcó tanto a la tecnología como al equipamiento requerido para la misma. En 1941 se estableció la primera instalación industrial con solo 10 t/día y ya para 1969 existían instalaciones con capacidades de 150 a 170 m<sup>3</sup>/d, y en la actualidad pueden superar los 1000 a 1200

m3. En este inmenso incremento productivo el empleo de las prensas continuas conocidas como ContiRoll o Conti Panel System según sea su productor (Siempelamp o Dieffenbacher), las cuales se emplean igualmente en la producción de los MDF.

Muchos países se destacan en esta producción en el mundo; en Europa por ejemplo Rusia y Polonia con 250 y 284 mil m<sup>3</sup>/año puntúan en la lista, en la Unión Europea como tal, Alemania vuelve a descollar con una producción ascendente a 889,2 miles de m<sup>3</sup>/año, reafirmando no solo como uno de los más grandes productores de tableros sino también de los más grandes consumidores en el mercado mundial como se muestra en la figura No 3.



**Figura No 3.** Principales consumidores de paneles de partículas de Europa.

Un sector de especial interés en la producción de los tableros de partículas y en particular para Cuba reside en la producción de los tableros de espesores finos, que se logra por la conocida tecnología Mende o de prensado en prensas del tipo calandria, que surgió en la pasada década del 70 mediante la cual se pueden producir tableros entre 3 y 6 mm de grosor con capacidades que no sobrepasan los 130 m<sup>3</sup>/d. De esta tecnología aún existen algunas instalaciones funcionando en el mundo y en todas ellas coexisten dos elementos de alto impacto en la calidad de la

producción y por lo tanto del costo de las instalaciones, las cuales son; la banda metálica sobre la cual se forma y prensa el material y los tambores de la prensa en particular el llamado de prensado, los cuales acaparan la atención en la distribución de los capitales de mantenimiento e inversiones.

Hasta este punto se han analizado las producciones de interés que emplean resinas sintéticas para aglutinar las partículas, entre las cuales se mantiene las del tipo urea formaldehído encabezando el mercado debido al costo frente a cualquier otra que se analice cuando se enfrentan producciones encaminadas a la industria del mueble. En relación a esto, vale significar, como se expresó anteriormente, que el mercado ha establecido fuertes regulaciones en cuanto al contenido del formaldehído residual en los productos terminados, restricciones que incluso se han extendido a las plantas productoras, en cuanto a ello fundamentalmente en el sector de prensado.

Los productores cercanos a nuestro país como pueden ser Brasil, Colombia, Méjico, Estados Unidos, Argentina por solo mencionar algunos, normalmente se han de registrarse como productores de resinas calidad E1, E2 o mezclas de ambas si pretenden acceder al mercado mundial, donde existen serias restricciones montadas debido a la proclamación del formaldehído como compuesto irritante y agente carcinógeno del Grupo 1. Existen países muy rígidos en cuanto a este aspecto, pero en la inmensa mayoría de los casos ya vinculado a los ambientes de trabajo se establece que en concentraciones menores a 0.1 ppm no es detectable, de 0.1 a 0.5 ya es detectable por el olor y produce ligeras irritaciones en ojos, nariz y garganta en personas sensibles, de este umbral a 1.0 ppm, las irritaciones antes mencionadas afectan a la mayoría de la gente y superado este ya produce incomodidad extrema.

Precisamente este campo constituye una de las regulaciones más grandes de mercado de los aglomerados en los últimos años con resinas sintéticas en base a formaldehído (urea formaldehído, fenol formaldehído, melanina fenol formaldehído,



melanina formaldehído) y como tal regulan el mercado de los productos de venta a escala mundial (vírgenes o procesados). Por lo tanto si se desea que las producciones nacionales puedan acceder a estos mercados o asimiladas por el mercado turístico en el país se tienen que cumplimentar estas regulaciones.

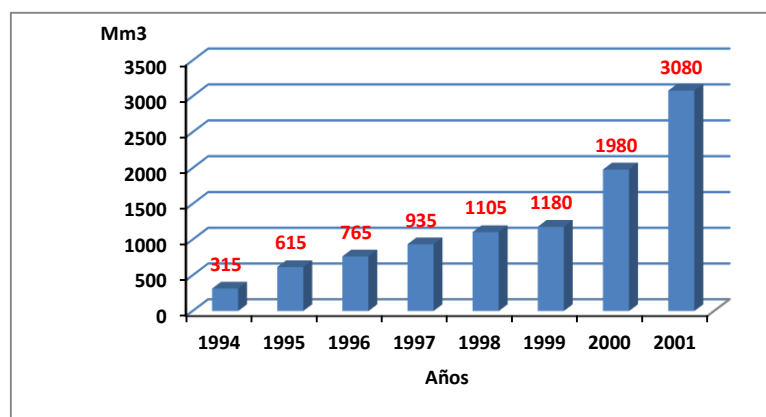
Estas restricciones en adición a lo planteado pueden tener determinadas implicaciones en el proceso productivo ya que al ser los niveles de formaldehído tan bajos, la reactividad de la resina se reduce y esto conlleva a tiempos de prensado superiores, contracciones en las propiedades físico mecánicas entre otras, por lo que la industria químico sintética asociada a esta industria ha tenido que revisar sus procedimientos a fin de que los procesos productivos continúen en el mercado con la preferencia de un público cada día más exigente y restrictivo.

Otros productos aglomerados a partir de la madera (hasta el momento exclusivo de ellas) han encontrado otras expresiones productivas que se han apoderado de un amplio y muy significativo espacio de mercado de muy significativa connotación social; el de los materiales de construcción.

Cuando se mencionan materiales de construcción inmediatamente la conciencia se proyecta hacia el empleo de bloques de cemento con áridos, ladrillos de arcilla cocidos y otros que aquí se tratan como tradicionales. En este caso los paneles por su gran área dimensional han ido aumentando en estimación y aplicaciones en el mercado, existiendo algunos de ellos que se confeccionan con resinas como las anteriormente mencionadas en base a formaldehído como es el caso de los OSB y otros que apelan al uso de partículas con aglutinantes inorgánicos como el cemento, el yeso o la magnesita que igualmente han demostrado calidad, resistencia y superficies adecuadas para aplicaciones en interiores y exteriores. Por su importancia y volumen de producción mundial se profundiza con algunos apuntes de interés general.

Los aglomerados conocidos como OSB (por sus siglas en inglés **O**riented **S**tructural **B**oard) se producen a la usanza de distribución en tres capas, logrado en 1980, asemejándose a la elaboración del plywood por la deposición transversal de las fibras entre capas, que proporciona el incremento de su módulo de ruptura a la tracción (MOR) con valores muy superiores a cualquiera de los productos con deposición aleatoria de material, incluso pueden emplearse aglutinantes selectivos por capas si así fuera necesario. Estos presentan densidades que abarcan desde 500 hasta 750 kg/m<sup>3</sup>, y emplean adhesivos resistentes al agua. Los espesores engloban desde 9 hasta 38 mm, lo que permite su uso en como producto de tipo estructural acorde a las exigencias de variadas solicitudes de esfuerzos en los proyectos constructivos.

En la actualidad son seriamente considerados como sustitutos del plywood, que a mediados de la década del 80, acumulaban hasta un 80% de la demanda total de paneles estructurales. Esta afirmación sobre todo se hace válida para los países que comprenden la América del Norte empleándose como elemento fundamental en la construcción de viviendas, monopolizando un volumen correspondiente a casi las dos terceras partes del total de los paneles producidos bajo esta nominación. La capacidad montada en esta región de mundo se muestra en la figura No 4.



**Figura No. 4.** Capacidad de producción de OSB en América del Norte.

Las resinas más empleadas a este fin son: fenol formaldehído y las cadenas de uretano conocidas también como isocianatos, las que a pesar de introducir componentes superiores al costo del panel, proporcionan ventajas adicionales en cuanto a resistencia a la humedad y en propiedades físico mecánicas, que permiten reducir la densidad del producto final sin detrimento de las propiedades y equilibrar el costo por el insumo de madera con la resina. Emplean otros aditivos como agentes hidrófugos, ignífugos u otros, acordes a las propiedades deseadas en el producto final tal cual se realiza en otros productos comunes dentro de la industria de los aglomerados y que fueron anteriormente enunciadas.

Estados Unidos es el principal productor mundial de este producto y sus mayores exportaciones se realizan hacia Canadá, que es capaz de asimilar hasta el 98% de las mismas, aún y cuando, solo la provincia de Quebec posee un inmenso potencial productivo contando con 14 plantas que ofrecen trabajo a más de 2 000 personas. De hecho, en el 2002, produjeron cerca de 4 MM de m<sup>3</sup> de tableros de los cuales, el 44% fueron OSB y el resto se distribuyó entre los TP, MDF y HDF.

Los OSB constituyen en la actualidad una familia de productos diseñados según el uso y con ello las propiedades mecánicas y de resistencia que presentarán a la humedad: OSB/1, adecuado para uso general y aplicaciones interiores y secas (incluyendo mobiliario); OSB/2, para uso en ambiente seco; OSB/3, ambiente húmedo, y OSB/4 para cargas elevadas y uso en ambiente húmedo.

Actualmente en América del Norte el uso de estos paneles representa aproximadamente el 70% de todos los componentes madereros presentes en la construcción de viviendas que se inició en diciembre del 1999 con el objetivo de superar 1,6 millones de unidades anuales, récord que fuera establecido por Estados Unidos solamente 9 años antes. Entretanto, Europa emplea materiales constructivos diversos entre los que podemos mencionar los aglomerados con aglutinantes inorgánicos y debido a ello, las diferencias tan notables en cuanto a demandas y capacidades productivas instaladas en relación a este producto.

Se refiere que en Austria alrededor del año 1914, se elaboró el primer panel de tipo estructural acorde a este proceso empleando magnesita como aglutinante. Para el año 1963, tan solo 49 años después, y precisamente en este mismo país, ya se producían cerca de 600 M m<sup>2</sup> de paneles elaborados por la compañía Heraklith, la cual llegó a abarcar en su época cerca del 50% del total de este tipo de material consumido en el mundo. Posteriormente se amplió la gama de aglutinantes inorgánicos, empleándose en 1928 el cemento y finalmente el yeso. En dependencia de la interacción de cada uno de estos aglutinantes y el relleno fibroso empleado, se presenta un producto que variará en propiedades y de ello, las diferencias y aplicaciones dentro del sector de la construcción.

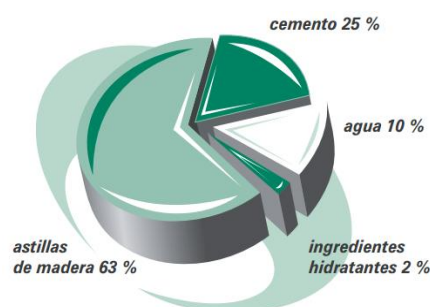
Estas tecnologías con aglomerantes inorgánicos no apelan a reacciones químicas que los une a prensas calientes y reacciones químicas con resinas, en su lugar se realiza un prensado en frío hasta alcanzar el grosor solicitado, el cual es mantenido apropiadamente en tanto fragüe el aglutinante y se alcance la estabilidad del producto.

Estos composites utilizan en su formulación una gran cantidad de aglomerante en comparación con las proporciones de la fibra que se emplea en el proceso. En el caso particular del cemento, se emplean normalmente relaciones de hasta 3:1 (cemento / fibra), y en consecuencia, poseen una elevada densidad (mayor a 1300 kg/m<sup>3</sup>). Técnicamente resultaría deseable lograr productos de menor densidad reduciendo la proporción de cemento que influiría muy positivamente en la economía del proceso, pero atendiendo a que al igual que ocurre con el resto de los aglomerados anteriormente mencionados, la densidad condiciona de forma importante las propiedades físico mecánicas que se obtienen en los productos finales; por lo cual existen límites en cuanto a las proporciones.

Los tableros de partículas aglomerados con cemento tuvieron sus inicios en 1940 y la primera planta fue fundada en Suiza en el año 1967, desde ese momento han ido incrementando mundialmente su aceptación logrando certificaciones de calidad

como la ISO 9002, la de calidad acreditada por la Lloyd's Register Quality Assurance, y la CE que brinda conformidad dentro de la Comunidad Europea.

La figura No 5 muestra un ejemplo de composición física que aplica uno de los más grandes productores de Europa y que participa activamente en el mercado de los productos para la construcción con CEDE establecida en la República Checa.



**Figura No 5.** Composición del panel de madera cemento CETRIS.

La gama de espesores que producen por esta tecnología se aprecian en la tabla que adjunta a continuación.

**Tabla No 1.** Grosos de los productos y sus tolerancias.

Grosos de los paneles CETRIS®	Desvíos límites de 1ª calidad		
	de grueso	de ancho	de largo
8, 10	± 0.7	± 5	± 5
12, 14	± 1.0	± 5	± 5
16,18	± 1.2	± 5	± 5
20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40	± 1.5	± 5	± 5

Para el año 1971 la cantidad de plantas existentes en el mundo ascendían a 203, resultando interesante que entre ellas en el contexto americano se ubican dos instalaciones en Brasil, 3 en Chile, 1 en Guatemala y 1 en Méjico. Cuba por intermedio del Grupo AZCUBA está realizando los análisis inversionistas correspondientes para establecer esta producción empleando el bagazo de la caña de azúcar lo que la diferenciaría en relación a todo lo existente hasta el momento.

Las formas de empleo eficientemente probadas con estos materiales se reúnen en la construcción de viviendas de bajo costo, encofrados permanentes y temporales, elementos de paredes y tabiquerías para interiores y exteriores, cielos rasos, revestimientos de fachadas, paneles publicitarios y elementos decorativos entre los más empleados. Estas facilidades son las que conjuntamente con sus propiedades físicas y mecánicas se muestran como las cartas de triunfo de estos elementos.

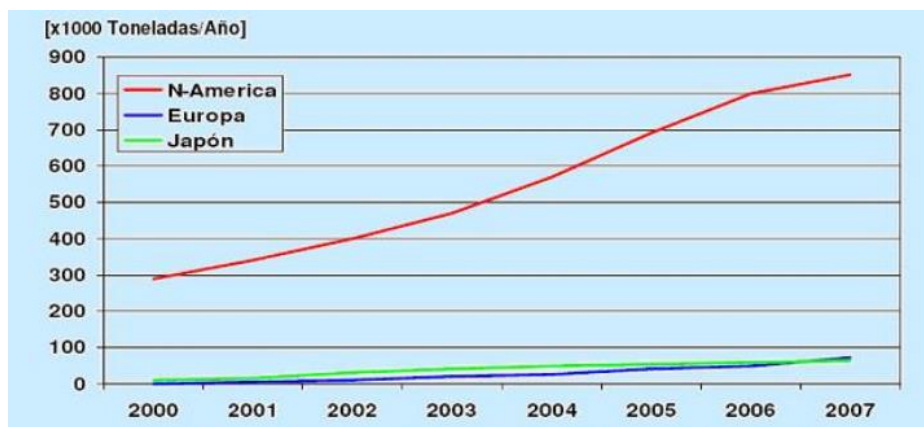
Como se mencionara a inicios del artículo, no todos los productos aglomerados representan en forma plana y aun cuando contengan muchas operaciones tecnológicas similares y hasta las propias resinas sintéticas empleadas en los tableros de partículas y los MDF, poseen operaciones tecnológicas que los diferencian de los demás aglomerados mencionados; los elementos moldeados. Temática igualmente interesante y que ha ido acrecentando su presencia en el mercado internacional.

Los productos moldeados han pugnado un espacio dentro del mercado que garantizan por las facilidades de alcanzar productos con muy variadas configuraciones, y que reducen al mero hecho de prensado para alcanzar la forma definitiva que incluye además los recubrimientos superficiales que los protegen de los rayos UV, humedad, ralladuras, ataques de ácidos entre otras particularidades que los diferencia entre sí. De esta forma se obtienen envases, tapas de mesas, fondos y respaldares de sillas, entre muchas aplicaciones que se descubren en el mercado popular, todo ello sin mencionar sus aplicaciones en la industria de la construcción y que de alguna forma redondean los programas constructivos y la participación de las fibras (madera u otras) en la vida cotidiana. Alemania en esta dirección ha incursionado de forma importante y posee uno de los elementos más representativos del mercado en la firma Werzalit que posee un número de sucursales en el mundo produciendo una gama impresionante de productos.

Esta tecnología recientemente ha engranado a la perfección con el uso de plásticos para que a través de procesos de inyección o extrusión o propiamente por compresión (según el caso) se produzcan perfiles de alta resistencia, envases,

planchas para pisos y paredes, tejas y otros que dependen de moldes o formas que propiamente responden a estos productos y que condicionan en determinada medida la economía de la empresa. Desde este punto de vista la industria productora de autos emplea un grupo importante de piezas logrados por estas tecnologías sustituyendo metales, fibras de vidrio y de carbono por solo mencionar algunos de los más conocidos en estas aplicaciones y que en el mercado se reconocen por las siglas en ingles WPC (**W**ood **P**lastic **C**ompound), que son capaces de emplear en sustitución de plásticos hasta un 30 a 40% de relleno aunque en procesos de extrusión pueden incrementarse de forma significativa.

La figura No 6 muestra el desarrollo de la tecnología desde sus inicios en el año 2000 hasta el año 2007 en lo cual Norteamérica avizoró rápidamente su potencial, solo en el año 2000 produjeron cerca de 1.85 millones de m<sup>3</sup> de materiales para ser empleados a manera de pisos. En cuanto a la producción de cercados vinculados a la vivienda, corrales y otros, en el 2002 se estimaba que este alcanzaba los 2,6 mil millones de unidades con un crecimiento latente del 5% anual hasta superar los 3,3 mil millones en el 2007; en esto la madera participó en un 45%, 44% a los metales y el 7 a los plásticos y el resto de los materiales, esto brinda una idea del inmenso trecho a recorrer para alcanzar condiciones de economía y reducción de afectaciones al medio ambiente a través de la tala de árboles, entre otras conocidas.



**Figura No 6.** Mercado de los perfiles WPC en el año 2007.

Un elemento de interés en esta producción radica en que pueden aplicarse doctrinas de recuperación de plásticos procedentes de la vida moderna y que constituyen cantidades apreciables de materiales que constituyen un impacto ambiental importante al considerar los periodos de vida de los mismos. Lo mismo puede analizarse al sustituir parte del plástico virgen que entra en el proceso y reciclaje de piezas que no han logrado la totalidad de sus atributos (forma, color, etc.) y que retornan en cantidades de hasta el 5% en la producción, atribuyéndoles además la bondad de su durabilidad ante muy variadas condiciones de explotación.

Hasta este punto se ha comentado sobre la industria de los productos aglomerados y su estrecha vinculación con el mercado internacional apuntando hacia esferas de tanto valor en la sociedad como la necesidad de contar con un espacio donde residir, durable y de bajo costo o no tan elevado como el posible de enfrentar ante las formas tradicionales; el confort de la misma expresado por medio del mobiliario que requiere, envases y embalajes de formas muy variadas y muchas otras aplicaciones que le son conocidas y a ello se le debe añadir que proporciona empleo a millones de trabajadores proporcionándoles una forma decorosa de sustentación, lo cual resulta fundamental para poder disponer de esos atributos que nos brinda la industria y otros que conforman la cotidianidad de la existencia del hombre.

Sin embargo y pese a lo anterior existe un elemento que no se puede pasar por alto, el impacto de esta escalada mundial sobre el medio ambiente. Téngase en cuenta que la inmensa producción antes mencionada se sustenta en el empleo de la madera natural para estos fines, solo una pequeña proporción recurre a especies de escaso valor comercial o no maderables como son otras maderas que no se emplean para ningún fin comercial y que de alguna forma significan desvíos del historial de aplicación de la tierra o la destrucción de bosques naturales por bosques industriales diseñados para la industria y en esto se ha de incluir la industria papelera cuyo impacto resulta similar al de los aglomerados.



El propio medio ha impuesto las medidas restrictivas al desmedido incremento de las producciones, resultando en muchos casos necesario importar madera para propiciar las producciones y el incremento de sus precios regulan la voluntad de los productores. A escala mundial el mercado de la madera en el año 2005 ascendió a 326 millones de m<sup>3</sup>, en lo cual se ubican por magnitud los estados Unidos y China en primer y segundo escaño respectivamente.

Un estudio publicado por el Forest Product Journal resalta que el consumo de madera para el 2010 sería de 385,2 millones de m<sup>3</sup> y pronosticaba 420 millones para el 2020; a ese paso es de esperar un impacto ambiental enorme aún y cuando las tecnologías de rápido crecimiento u otras traten de mitigar semejante carga devastadora.

Inexorablemente este panorama afecta tanto a latitudes norteñas como sureñas siendo este una expresión de desarrollo en el cual se combinan rápido nivel de crecimiento con la existencia de tierra barata, proliferando problemas sociales acaecidos por estos modelos de desarrollo.

La durabilidad de los productos impone un ritmo de recambio periódico pero no es igual entre las esferas de más bajos insumos económicos que involucra a sectores poblacionales infinitamente mayores a los pudientes que pueden asumir leyes de mercado a su propia conveniencia y sin ninguna obligatoriedad. No obstante una debida reflexión, ¿cuánto de todo esto podría ser sustituido por fibras naturales que en la mayoría de los casos constituyen residuos de las producciones que satisfacen demandas alimenticias de la sociedad?

## **Bibliografía**

1. Costales, R. Monografía la industria de los aglomerados: desarrollo sostenido Editora ICIDCA. 2013.

# **Capítulo 15. Situación actual de la industria de tableros en Cuba. Perspectivas y proyecciones**

Ing. Raúl Costales

## **La industria de tableros en el año 2016**

La industria de los tableros ha sido uno de los derivados a partir de la caña que más ha sufrido en el proceso de redimensionamiento y como es natural con el período especial también. De todas las plantas que existían en el país solo quedo una planta de tableros de partículas por la tecnología Mende y la vetusta planta de tableros de fibras por método húmedo en capacidad de funcionar establemente no sin presentar algunos problemas importantes en relación a la calidad de los productos terminados debidos fundamentalmente a deficiencias en su equipamiento.

La contracción de las capacidades industriales y el mantenimiento de una parte de las necesidades del mercado nacional implicó el crecimiento de las importaciones desde países tanto Europeos como de Asia, en particular España y China respectivamente. De Centroamérica los aglomerados con aglutinantes inorgánicos yeso y magnesita para trabajos en interiores y fijos techos, implicando una cifra importante de derogaciones de divisas. En tal sentido se manifiestan los productores de muebles y constructores que en ningún caso se cubre la demanda del país, menos aún en estos momentos que existe una elevada tendencia al conocimiento de Cuba tras 50 años de bloqueo.

De esta suerte resulta evidente que no resultará posible asumir con las importaciones las demandas del país para lograr el número de habitaciones que se planifican en el entorno de un decenio y con ello el amueblamiento y establecimiento del confort adecuado para estas construcciones. En todo ello, la satisfacción creciente de las demandas de nuestra sociedad. Este es el escenario en el cual la

industria debe aportar soluciones, de calidad, por cuanto se analiza un mercado de opción, vivo, creciente y conocedor de las soluciones que tiene a su derredor.

¿Cómo enfrentar el reto que se ha planteado?, ¿se alcanzará cubrir al menos parte de la demanda con las características necesarias?, la respuesta a esto quedará para un futuro inmediato para lo cual AZCUBA ha planteado algunos elementos que brindan una medida intencional a dirigir esfuerzos y recursos para la industria como no se veían al menos desde 10 años atrás.

### **La rehabilitación de la industria**

En la actualidad se están realizando un número de acciones en la industria, en primer lugar se practicó un diagnóstico industrial en la planta Máximo Gómez de la provincia de Las Tunas, más conocida por Jesús Menéndez, nombre del enclave de la misma mediante en la cual existen problemas que afectan tanto la calidad del producto terminado como la capacidad de la instalación única que produce tableros de espesores finos en el entorno de 4 a 6 mm. Determinándose que algunos problemas se debían resolver nacionalmente realizando oportunas modificaciones técnicas en los procesos, pero que resultaba indispensable rescatar la disciplina tecnológica para lograr las premisas del proceso.

De igual forma se operó en relación a la planta de tableros de partículas gruesos en el entorno de 8 a 25 mm ubicada en el central 1° de Enero en la provincia de Ciego de Ávila, la cual estuvo cerrada por espacio de un decenio. Afortunadamente se preservó de forma excelente la instalación y poco a poco se han venido reactivando sus máquinas y sistemas para realizar las corridas en vacío y con carga plena la instalación. En este caso se determinó que un número de equipos que ya habían cumplimentado su vida útil y por la importancia de sus funciones deberían ser renovados. Un parte de estos elementos han sido aportados por la planta ubicada

en lo que fuera el central Camilo Cienfuegos, cuya estructura productiva y funcional era idéntica.

Un elemento de vital importancia para la producción consiste en posibilitar que todo el bagazo que pueda ser entregado por la industria llegue a las plantas de tableros con la calidad requerida y en las cantidades necesarias para cumplimentar los planes productivos. Con esta finalidad se han confeccionado dos tareas técnicas para los centros tributarios de bagazo para la planta de tableros Jesús Menéndez, en la cual se potencia el enriquecimiento de la fracción fibra aceptada, lograr el grado de compactación adecuado para reducir las pérdidas en el patio de bagazo y la inclusión de un preservante microbiológico. Todas estas medidas están encaminadas a mejorar los indicadores económicos de la producción por medio de la reducción de los índices de bagazo.

Resaltando la importancia del proceso de rehabilitación para el país, se decidió realizar un acercamiento a algunos de los productores de equipos y poseedores de la ingeniería de procesos requerida para estas instalaciones con la finalidad de analizar medidas de desarrollo tecnológico adicionales que pudieran encausar positivamente la rehabilitación de las plantas. En tal sentido se retomaron intenciones de ejecución con firmas alemanas y dentro de ellas se seleccionó a su antiguo proveedor Bison, en la actualidad renovado en el mercado de la industria bajo el nombre de Binos, afianzado por una de las firmas que opera en el mercado latinoamericano que brinda asesoría ingeniera y sistemas, que además representa un número de empresas europeas importantes para este fin. Analizándose la necesidad de realizar un proceso inversionista con financiamiento externo que logre a corto plazo obtener el deseado cambio en las instalaciones.

Se modifica la forma de proyectarse la industria, esta debe ser independiente y aplicar el concepto de aplicación de cadenas de valor a fin de hacer la producción cada día más rentable. ¿Cuáles son las proposiciones realizadas?; estas y sus respuestas se analizaran de forma independiente:

**Planta de tableros Máximo Gómez:** Producción tableros de partículas finos entre 4 y 6 mm de espesor, por tecnología Mende, en cantidad de 120 m<sup>3</sup>/día, operando 3 turnos de labor y 300 días al año.

*Calidad:* tableros de calidad para la industria de la construcción y del mueble. Se plantea introducir una línea para la aplicación de productos líquidos superficialmente que además de sellar la superficie se logren matices de interés para estas aplicaciones.

*Diversificación:* se plantea diversificar la industria ubicando en la instalación una línea para la construcción de puertas como forma terminada que incremente el valor del producto bruto. Se planifica introducir las tecnologías de moldeados aprovechando la sinergia de las tecnologías fundamentalmente para el caso del moldeo a compresión, lo cual ha sido un viejo anhelo del ICIDCA como centro tecnológico de todo este movimiento y mediante el cual se plantea lograr una producción anual para empezar a cobrar espacios de mercado y sustituir madera u otros productos de importaciones en cantidad de no menos de 35,000 unidades por año. La tecnología es bastante noble, se dominan muchos de sus secretos y el país está en condiciones de construir la casi totalidad del equipamiento requerido incluyendo los moldes requeridos para alcanzar las formas terminadas.

Otros productos de alta demanda para la sociedad y la construcción son igualmente contemplados a producir mediante esta tecnología con el paso del tiempo y una vez afianzado el dominio sobre la misma en la producción.

Otra vía para diversificar el uso del bagazo en esta instalación radica en la posibilidad de obtener compuestos de plásticos reforzados con fibras de bagazo, esta tecnología es mucho más reciente y ya cuenta con unos 15 años de expansión en el mercado internacional. La misma dirigida a emplear productos acompañantes o “cargas” como se le denomina en el argot técnico más amigables que las fibras de carbono o lana de vidrio que entre otras se emplean a este fin, por una fibra

natural, obtenida estacionalmente, ecológica y que se tiene en las concentraciones necesarias en el central azucarero. Mediante esta tecnología se pueden lograr productos de alta demanda resistentes en espacios exteriores y que brindan a emplear soluciones tales como el empleo de plásticos reciclados en sustitución de los vírgenes, lo cual en cierta medida habla de una resolución más ecológica y económicamente más ventajosa también.

Resulta importante anotar que independientemente de que se trabaje por lograr una producción de tableros económica, estas formas terminadas inclinan la balanza económica de la empresa toda vez que el valor intrínseco de las producciones en comparación con los tableros es superior. Esto lo demuestra el estudio de oportunidad que ha realizado el ICIDCA acerca de esta instalación, mostrando que la diversificación muestra un campo muy prometedor para esta instalación y que le puede servir como vía de sustento y existencia, caso de que las producciones de muebles no abarquen la totalidad de la capacidad o las preferencias se manifiesten hacia los MDF que igualmente pueden brindar espesores finos y que además sus propiedades igualan a los de partículas con algunas mejoras en las superficies entre otras ventajas.

***Planta Omar Rosado, 1° de Enero:*** tras un decenio si trabajar el resultado previsto con la rehabilitación radica en alcanzar un volumen de producción de 100 m<sup>3</sup>/día, trabajando 3 turnos por día y 300 días por año. Esta producción de tableros de partículas se caracteriza por cubrir una gama de espesores entre 8 y 25 mm, que para el caso del cálculo nominal se toman 19 mm, para las condiciones la capacidad de la planta se prevé alcance los 36,000 m<sup>3</sup>/anuales.

***Diversificación:*** teniendo en cuenta que la demanda del país en espesores gruesos supera las proporciones que esta instalación puede brindar no se prevé emplear la fibra para otros usos, solo que las producciones se solicitan lijadas por ambas caras, con aplicación de papeles melaminados o en lo posible soluciones de pinturas igualmente llamativas y su conversión en producto terminado a manera de muebles.

Se analiza que la industria de la construcción puede asumir parte de la capacidad de la planta en sustitución de madera para encofrados que cada día se encarece más en el mercado internacional, para este fin se analiza la sustitución de la resina UF por fenol –urea formaldehído, melanina urea formaldehído e igualmente el empleo algún aditivo que incremente las propiedades de resistencia a la humedad. Todo esto en planes prospectivos por cuanto la construcción igualmente debe prepararse técnicamente para este fin.

***Planta Camilo Cienfuegos:*** definitivamente condenada a desaparecer debido a la inexistencia de tributarios de bagazo para mantenerla en funcionamiento, se decidió desmantelarla y emplear parte de su equipamiento en la rehabilitación de las plantas anteriormente mencionadas.

Para la misma se analiza la posibilidad de reconvertirla para producir paneles de bagazo y cemento, una disciplina tecnológica en la cual el ICIDCA ha acumulado experiencias que potencia esta producción como una de las salidas técnicas y económicas más importantes en el proceso que se analiza. La producción se encamina a soportar futuros y casi inmediatos planes de desarrollo para la construcción de viviendas, remodelación de parte del parque existente y sustentar la introducción de tecnologías constructivas como la esquelética que permite un avance importante para la el crecimiento en el número de habitaciones, facilidades temporales y almacenes entre otros destinos.

Para la misma se estima una capacidad productiva entre 120 y 150 m<sup>3</sup>/día que al igual que en los casos anteriores se analiza llevar a producto terminado, en principio cortados y preparados a la medida de los proyectos constructivos, más adelante involucrando la producción de forma directa en la construcción de viviendas u otras soluciones. Independientemente de que la adquisición de una planta ya en el año 2016 no representa el mismo negocio que un decenio atrás, el alto valor de la producción, sus parámetros de resistencia mecánica y propiedades anti fúngicas,

alta resistencia a la combustión, aislamiento acústico y demás, hacen de este producto un eslabón de importancia para el desarrollo del país.

## **Bibliografía**

1. Hidalgo, T., Costales. R. Tareas técnicas para la rehabilitación de los tributarios de bagazo, Antonio Guiteras y Majibacoa. ICIDCA 2016.
2. Costales, R. Estudio de prospección y desarrollo de la industria de tableros de Cuba. Informe a AZCUBA, 2015.
3. Costales, R. Estudio de Oportunidad sobre la rehabilitación de la producción de tableros de partículas. ICIDCA 2016.



## **Ofelia Carvajal Cabo**

Graduada en la CUJAE de Ingeniería Química en el año 1971. Culminó el doctorado en Ciencias Técnicas en el año 1984, en la Universidad de Tecnología de la Madera de Zvolen, Eslovaquia. Investigadora Titular. Veinte y tres años de trabajo en el campo de los productos aglomerados de bagazo, donde realizó diversas investigaciones relacionadas con el tema y trabajos de apoyo a la industria de tableros. Posee numerosas publicaciones en revistas y libros y participó durante su vida laboral en eventos y congresos nacionales e internacionales. Ha impartido cursos de superación a trabajadores de la rama. Participó en misiones técnicas de trabajo a Eslovaquia, Polonia, Alemania, Rusia, Venezuela y Brasil.

## **Raúl Costales Sotelo**

Graduado de Ingeniero Mecánico en la especialidad en Construcción de Maquinarias, en el Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría (ISPJAE), en 1978. Comenzó su vida laboral en el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) en el año 1979, trabajando de forma directa en el Departamento de Tableros como investigador. Ha participado en un importante cúmulo de proyectos de investigación y desarrollo en Cuba. Ha realizado consultorías y proyectos en otros 10 países. Posee un total de 25 publicaciones científico técnicas en revistas nacionales e internacionales y 9 trabajos de introducción de tecnologías en el país y en el exterior. En la actualidad desempeña funciones como investigador auxiliar dentro de la Dirección de Derivados del ICIDCA

## **Oscar Almazán del Olmo**

Investigador Titular y de Mérito

Profesor Titular, Miembro Titular de la Academia de Ciencias de Cuba, Doctor en Ciencias Biológicas y Doctor "Honoris Causa" en Ciencias Técnicas, Premio por la Obra de la Vida por su notable aporte de la I&D en la esfera agroindustrial azucarera y de sus derivados. Profesor Invitado de las Universidades de Osaka, Waterloo (Notario), Durban (SA), Port Louis (Mauricio), Panamá, New Delhi y el Centro de Estudios Avanzados de IPN de México. Miembro de Honor Vitalicio de la International Society of Sugar Cane Technologists (ISSCT), de la Sugar Technical Association of India y la Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba, Fundador del ICIDCA con 47 años de experiencia en la I&D en la Biotecnología y la Microbiología Industrial.

## **Eduardo Casanova Cabeza**

Académico de Mérito de la Academia de Ciencias de Cuba. Licenciado en Química, Universidad de la Habana. Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Central. Investigador Titular. Profesor Adjunto del Centro Nacional de Capacitación Azucarera. Miembro de la Cátedra Álvaro Reynoso de la Universidad de la Habana. Auditor Líder Internacional IRCA, formado por el Bureau Veritas. Ha participado en diversas actualizaciones sobre temas de auditorías convocados por la ONN. Ha publicado más de 120 trabajos en publicaciones nacionales y extranjeras. Entre ellas se destacan 5 libros y en la actualidad se encuentra uno en preparación. Ha asistido a más de 40 eventos dentro de la especialidad en calidad de ponente y conferencista, tanto en el país como en el extranjero. Ha impartido durante 25 años diversos cursos de postgrado en diversas instituciones y universidades.