

INVESTIGACIONES SOBRE RESIDUOS DE MADERA DE IMPORTACION AGLOMERADOS CON CEMENTO

KATIA MANZANARES* Y M. VELAZQUEZ*

RESUMEN

Se estudian algunas experiencias preliminares acerca de las posibilidades de fabricación a escala de laboratorio de paneles para la construcción, con un módulo de 45 cm x 1,9 cm, elaborados con virutas de pino de importación fundidas bajo presión con cemento PORTLAND.

El trabajo analiza aspectos básicos de la tecnología y propiedades del producto elaborado, tomando en cuenta tres formulaciones del balance material de los componentes del tablero, que contempla diferente cantidad, concentración y tipo de aditivo químico, lo cual permite determinar que el Cl_2Ca es el agente fraguador más adecuado para acelerar el endurecimiento de las muestras. Se comprobó que puede lograrse un panel coherente con un consumo de cemento del orden de 0,69 g/cm³ que corresponde a una relación pulpa-aglutinante de 1:2,75 en peso, con una densidad entre

Manuscrito recibido 10 de enero de 1994

*Centro de Investigación Forestal. Ministerio de la Agricultura,
Ciudad de La Habana. Cuba

1,22-1,38 g/cm³ y una resistencia a la flexión media de 82,04 kg/cm², cifra que sobrepasa el límite permisible instruido por la firma BETONYP, del combinado forestal de Hungría Occidental que establece como resistencia admisible no menos de 18 kg/cm^L.

INTRODUCCION

Aproximadamente el 87 % de las viviendas prefabricadas de la República Federal Alemana se construyen ensamblando elementos elaborados con virutas de madera aglutinadas con cemento (2). Este tipo de surtido llegó al mercado por primera vez en Wunstorf, a principios del año 1976 y rápidamente tuvo gran aceptación por los comerciantes madereros, dada su gran versatilidad de utilización, su fácil manipulación y su alta resistencia a los golpes, rozaduras, heladas, hongos e insectos, contribuyendo así a cubrir las verdaderas brechas en las aplicaciones, donde no respondían los tableros de partículas convencionales.

Sobre la base de estas fundamentaciones se ha intentado reproducir este tipo de panel a una escala pequeña, considerando la inmensa cantidad de residuos de coníferas traídas del exterior de que se dispone en la actualidad, ya que sólo el sector de la construcción consume anualmente alrededor de 100 mil m³ de pino y el 50 % se desecha por concepto de desperdicio después de la puesta en obra de la pieza (7) y, en segundo término, la perspectiva de introducir una línea de producción con este nuevo producto que permitiría, en alguna medida, aliviar el agudo problema de la vivienda que se confronta actualmente en nuestro país.

Así mismo se estudia en este trabajo la influencia de la mineralización de la pulpa en el endurecimiento de los tableros, conociendo que la madera presenta determinados contenidos de azúcares, taninos, resinas, aceites y otras sustancias extractivas que perjudican la acción fijadora del cemento con las partículas maderables.

Para efectuar el proceso de manufactura de las losas, se siguieron los pasos prescritos por la Empresa BISON-WERKE (RFA) en el esquema de flujo tecnológico para la confección de

paneles de madera-cemento, adecuándose a la materia prima y al equipamiento con que contamos en los laboratorios del Centro de Investigación Forestal (CIF).

Los resultados de los ensayos físico-mecánicos se realizaron de acuerdo con las Normas Internacionales vigentes para tableros de partículas ligno-celulosicas y para la interpretación de los valores obtenidos se siguieron los índices de tolerancia establecidos por el combinado BETONYP (Hungría).

Se presenta el procesamiento estadístico tabulado de los tres tratamientos efectuados conforme a un diseño de bloques completamente al azar, y se verifica que la variante con el aditivo Cl_2Ca es la más satisfactoria de las estudiadas.

MATERIALES Y METODOS

Para completar los objetivos propuestos, la ejecución del plan experimental se dividió en dos partes

- a) Manufactura de los paneles
- b) Pruebas de calidad al producto elaborado

a) En la primera fase, se concibió realizar un panel tipo losa de alta densidad, moldeado por el sistema de presión por compactación en frío.

Parámetros de fabricación constantes

- Peso volumétrico teórico (P) $1,10 \text{ g/cm}^3$.
- Espesor (e) 1,9 cm.
- Area de formato $2\,025 \text{ cm}^2$.
- Relación pulpa-aglutinante 1:2,75.
- Humedad inicial de la pulpa 9,7 %.
- Agua de amasado 40 % de **BS** (referente al peso de los sólidos complemento seco).

Parámetros de fabricación variables

Los variables en el proceso serlan la cantidad, concentración y tipo de aditivos qulmicos, integrados en tres formulaciones que se detallan en la Tabla I.

TABLA 1. Parámetros variables del proceso de fabricación.

Variantes	Tipo de aditivo	Concentración de la solución (%)	Cantidad de aditivo basándose en el cemento (%)
Formula- ción No. I	$(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2$ SiO_3Na_2	10 40	1 3,5
Formula- ción No. II	CaCl_2	33	7
Formula- ción No. III	Mg Cl_2	5	1

Los valores en peso de los componentes sólidos del tablero fueron calculados, resolviendo la ecuación siguiente:

$$M_s = x + x (2,75) + x (2,75) /A/ \text{ (según BISON-WERKE)}$$

donde:

M_s = cantidad en peso de la pulpa

/A/= cantidad de aditivos químicos expresada en porcentaje sobre la base del cemento.

TABLA 2. Consumo de componentes de las tres variantes (g/cm^3).

Materias primas del tablero	Variantes		
	I	II	III
Pulpa	0,28	0,27	0,29
Cemento	0,70	0,69	0,71
Aditivos	0,017	0,05	0,007

Descripción del proceso de manufactura

Se fabricaron un total de 18 módulos de madera-cemento, distribuidos a razón de seis elementos por cada variante.

La materia prima básica consistió en astillas de madera de pino procedente de la Unión Soviética, obtenida como residuos en

en las operaciones de cepillado en una unidad de carpintería, y cemento PORTLAND P-350 suministrado por la fábrica del Mariel.

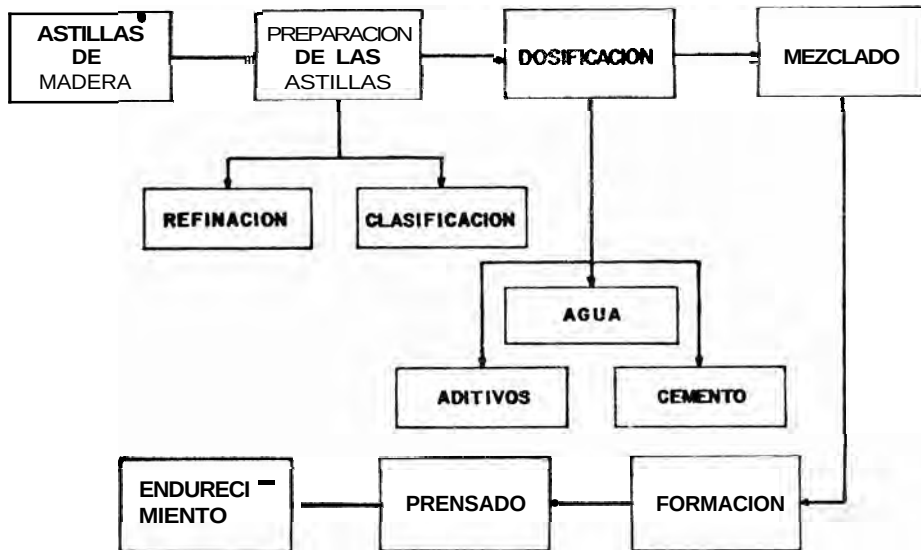
Las dimensiones de las astillas eran de, aproximadamente, 2-5 mm de espesor y una longitud entre 10-25 mm, las cuales fueron desintegradas por molienda manual y clasificadas mediante un juego de tamices de 6 mm x 6 mm y 1 mm x 1 mm de criba.

Esta separación de la pulpa garantizó despejar el aserrín y obtener dos niveles de granulometría para hacer paneles de estructura homogénea con fracciones gruesas y finas, respectivamente. El mezclado se llevó a cabo en un depósito de mixtura mediante una agitación manual durante 4-5 minutos después de la adición de todos los componentes del tablero. La dosificación de los mismos se efectuó en peso, cumpliendo el orden siguiente: pulpa, medios de mineralización, agua y cemento previamente cernido.

En la etapa de formación se efectuaron la distribución y el acondicionamiento de la mezcla suelta en unas hormas especiales, seguidos de una precompactación manual.

La última fase mecánica del proceso es el prensado, que se realizó sometiendo el colchón a una presión hidráulica de 40 kg/cm^2 , que representa una presión específica de $20\text{-}25 \text{ kg/cm}^2$ durante 10 horas, hasta la terminación del fraguado. Los elementos compactados fueron movidos de la posición horizontal a la vertical portando la horma rígida, al día siguiente de haber sido fundidos. El endurecimiento requirió un tiempo de 28 días, adoptándose la forma de curado a la sombra sin recubrimiento.

ESQUEMA DE FABRICACION DE TABLEROS MADERA-CEMENTO



La medición de la humedad de la madera se efectúa en las etapas de preparación de la pulpa y en la de formación, estando aún la mezcla no compacta.

b) A la edad de 28 días fueron sometidos los tableros a una evaluación de calidad.

- Ensayos físicos

Se elaboraron 48 probetas de $10\text{ cm}^2 \times 10\text{ cm}^2$ para las tres variantes. La prueba de densidad se realizó según Norma NC-4309, midiendo la masa de la probeta y su volumen por el método estereométrico.

La humedad se determinó según Norma NC-4310, mediante pesadas sucesivas hasta peso constante, efectuadas con un intervalo de 6 h. Las muestras se secaron en una estufa a temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$.

La dilatación y absorción, conforme Norma MC-4312 se efectuó a través de la medición del aumento del espesor y de la masa de las probetas completamente sumergidas en agua por un tiempo de 24 h.

- Ensayos mecánicos

Para la prueba de flexión estática se midieron las dimensiones de **96** probetas de **34** cm x **5** cm según Norma **NC-4311** para las tres variantes con granulometría fina y gruesa. La muestra se colocó sobre dos soportes cilíndricos de **30** mm de diámetro, separados a una distancia de **28** cm. Se aplicó carga de manera continua y progresivamente creciente, en dirección perpendicular al plano del tablero hasta la ruptura de la probeta.

Para la extracción de tornillo se adoptó una variante a la Norma **B5-181** sobre **48** probetas de **10** cm² x **10** cm², las cuales se sometieron a ensayo inmediatamente después de haberles introducido el tornillo, aplicando una fuerza de una velocidad aproximada a los **6** mm/min en dirección paralela a la superficie y hasta la extracción del tornillo.

La dureza se ejecutó según una variante de las Normas **UNE-41131** y **ASTM D-143152** sobre **48** tiras de **50** mm de ancho a las que se les hizo penetrar completamente una semiesfera de acero que proyecta una huella de **1** cm² sobre la superficie de las probetas.

Los datos obtenidos en cada uno de los ensayos mecánicos realizados en granulometría fina, fueron sometidos a un análisis de varianza, según un diseño de bloques al azar, compuesto por tres tratamientos y **16** repeticiones.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

El tablero de madera-cemento obtenido por las tres variantes resulta un producto seco, puesto que los valores medios de la humedad oscilan entre los límites admisibles de **9 ± 3 %**. La dilatación en el espesor es insignificante en las variantes **II** y **III** y un poco más evidente en la **I**.

Las cualidades de impermeabilidad son excepcionalmente favorables, ya que la prueba de absorción acusa cifras más bajas que el rango establecido por los tableros de resinas sintéticas, que es de **30-50 %** después de su inmersión completa en agua.

Los valores más altos del coeficiente de variación en el peso volumétrico se advierten en la variante **II** y los más bajos en la **I** y **III**, lo que indica que la dispersión de las observaciones en la receta con Cl_2Ca contribuyó a que se alejara un tanto del peso volumétrico teórico, mientras en los otros dos tratamientos sucedió justamente lo contrario..

Se comprobó que el nivel de la granulación influye en las propiedades organolépticas y en la resistencia mecánica del panel, de manera que las muestras fabricadas con partículas finas presentan una apariencia más compacta y no se detectan desprendimientos de la cara superficial, rajaduras o grietas. Además, las tres variantes presentan valores más elevados en los ensayos de resistencia.

Las Tablas 3, 4 y 5 demuestran que los valores más altos obtenidos en las propiedades mecánicas obedecen, en escala descendente, a las variantes II, III y I. Esta última formulación, que concierne a los aditivos sulfato de aluminio y silicato de sodio, ofrece las propiedades organolépticas y mecánicas más pobres, así como una inconsistente dureza superficial y tendencia a la rotura de las esquinas y aristas de las losas. En contraposición, el experimento efectuado con el aditivo cloruro de calcio testimonia Indices de calidad superiores, por lo que se considera el mejor tratamiento desde el punto de vista práctico y por las evaluaciones estadísticas (ver Tablas 6, 7 y 8). Esta cuestión se pudiera argumentar también, por el hecho de que los cloruros de calcio, en cantidad mayor del 1 %, aumentan el fraguado del cemento PORTLAND, al favorecer la disolución de los silicatos y aluminatos, así como aumentar la concentración de iones calcio.

TABLA 3 Variante I. Sulfato de aluminio y silicato de sodio. Prueba de calidad a la edad de 28 días

Ensayo	Valor máximo	Valor mínimo	Valor medio	Desv. típica	Coefficiente variación, CV (%)
Granulometría fina					
Humedad (%)	8,88	6,80	7,58	$\pm 0,52$	6,85
Peso volumétrico g/cm ³	1,21	0,98	1,08	$\pm 0,02$	1,85
Dilatación del espesor % (24 h de inmersión)	12,12	4,91	7,95	$\pm 3,21$	27,80
Absorción % (24 h de inmersión)	12,05	7,43	9,95	$\pm 1,31$	13,16
Esfuerzo ruptura flexión estática kg/cm ²	33,05	6,58	19,12	$\pm 10,14$	53,07
Dureza Janka kg	415,00	245,00	310,63	$\pm 52,91$	17,03
Agarre tornillo kg/cm	26,00	5,60	13,38	$\pm 6,15$	46,04
Granulometría gruesa					
Esfuerzo ruptura flexión estática kg/cm ²	32,58	7,44	21,91	$\pm 7,67$	35,01
Dureza Janka kg	325,00	170,00	220,00	$\pm 60,44$	27,47

TABLA 4. Variante II. Cloruro de calcio. Pruebas de calidad a la edad de 28 días.

Ensayo	Valor máximo	Valor mínimo	Valor medio	Desv. típica	Coefficiente variación CV (%)
Granulometría fina					
Humedad %	9,42	8,82	9,10	$\pm 0,14$	1,55
Peso volumétrico g/cm^3	1,40	1,22	1,32	$\pm 0,14$	10,71
Dilatación del espesor % (24 h de inmersión)	4,21	0,88	2,75	$\pm 0,78$	28,40
Absorción % (24 h de inmersión)	12,05	7,43	9,95	$\pm 1,31$	13,22
Esfuerzo ruptura flexión estática kg/cm^2	93,07	68,61	82,04	$\pm 8,84$	10,77
Dureza Janka kg	730,00	370,00	520,63	$\pm 101,46$	19,48
Agarre tornillo kg/cm	46,00	26,00	35,34	$\pm 5,55$	15,72
Granulometría gruesa					
Esfuerzo ruptura flexión estática kg/cm^2	99,03	57,03	76,78	$\pm 13,16$	17,14
Dureza Janka kg	745,00	225,00	470,44	$\pm 159,39$	33,88

TABLA 5. Variante III. Cloruro de magnesio.

Ensayo	Valor máximo	Valor mínimo	Valor medio	Desv. típica	Coefficiente variación CV (%)
Granulometría fina					
Humedad %	10,22	8,74	9,55	$\pm 0,46$	4,77
Peso volumétrico g/cm ³	1,22	1,09	1,16	$\pm 0,03$	2,72
Dilatación del es- pesor % (24 h de inmersión)	4,61	1,69	3,32	$\pm 0,93$	24,56
Absorción % (24 h de inmersión)	27,92	16,48	22,23	$\pm 4,25$	19,15
Esfuerzo ruptura flexión estática kg/cm ²	95,45	42,76	69,64	$\pm 13,64$	19,59
Dureza Janka kg	555,00	230,00	316,42	$\pm 73,49$	19,52
Agarre tornillo kg/cm	36,40	14,00	21,63	$\pm 5,75$	26,58
Granulometría gruesa					
Esfuerzo ruptura flexión estática kg/cm ²	81,06	47,12	61-05	$\pm 9,91$	16,23
Dureza Janka kg	505,00	218,00	323,18	$\pm 141,06$	43,64

TABLA 6. Análisis de varianza para el ensayo de flexión estática para un diseño de bloque al azar.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F	Significación
Tratamiento	2	31 554,49	15 772,22	169,9	(ⁱⁱ)
Error	43	3 992,40	92,84		
Total	45	35 536,85			

Prueba de Duncan	I	II	III
	19,12	61,05	82,04

TABLA 7. Análisis de varianza para el ensayo de extracción de tornillo.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F	Significación
Tratamiento	2	3 336,64	1 668,32	49,04	(ⁱ)
Error	37	1 258,77	34,02		
Total	39	4 595,42			

Prueba de Duncan	I	II	III
	13,38	21,63	35,34

TABLA 8. Análisis de varianza para el ensayo de dureza Janka.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F	Significación
Tratamiento	2	36,77	18,38	29,65	(ⁱ)
Error	43	26,66	0,62		
Total	45	63,44			

Prueba de Duncan	I	II	III
	310,62	376,42	521,62

(ⁱⁱⁱ) Significación al 1 %.



FIGURA 1. El primer tablero de izquierda a derecha representa la formulación con Cl_2Ca , el central, con Cl_2Mg , y el del extremo derecho, es el resultado obtenido con la utilización del binomio de aditivos $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y Na_2SiO_3 .

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De todos los resultados obtenidos podemos concluir lo siguiente:

1. Se comprobó que no es conveniente la fabricación de un tablero de estructura homogénea con granulometría gruesa, ya que el efecto del volumen de la partícula incide sobre la densidad final del tablero, lo que implica la disminución de las propiedades mecánicas.

Se recomienda, por tanto, emplear esta fracción como relleno en tableros trilaminares, formando parte de la capa intermedia.

2. Se confirmó que es factible obtener un panel coherente con un consumo de cemento de **0,69 g/cm³** empleando como aditivo químico una solución de Cl_2Ca en cantidad de un 7 % sobre la base del cemento. Por su parte, el Cl_2Mg demostró también ser un buen agente fraguador, aunque

los tableros fabricados con esa formulación resultaron ser de más baja calidad. Se recomienda aumentar la concentración de la solución y la cantidad de suministro de Cl_2Mg a la mezcla, de manera de aumentar el consumo hasta $0,05 \text{ g/cm}^3$ tal como establece BISON-WERKE.

3. Se consideró que el binomio de aditivos sulfato de aluminio y silicato de sodio, no cumple satisfactoriamente sus funciones en la formulación, por cuanto los tableros elaborados presentan baja calidad y dificultades con el endurecimiento. Se recomienda probar distintas cantidades y concentraciones de silicato de sodio y suprimir el sulfato de aluminio, teniendo en cuenta que las sales de sulfato no figuran dentro de las mejores aceleradoras de la hidratación del cemento.
4. Los tres tratamientos realizados alcanzaron la tolerancia admisible en el ensayo de flexión estática, pero están por debajo de los índices normalizados por BETONYP que es de $90\text{--}130 \text{ kg/cm}^2$. Se recomienda elevar el peso volumétrico teórico de $1,2 - 1,4 \text{ g/cm}^3$ sin alterar la relación pulpa-aglutinante, con vista a obtener mayor resistencia a la flexión.
5. Los resultados obtenidos en esta investigación, aunque considerados de carácter preliminar, nos abren un campo positivo para enfocar futuros trabajos con las coníferas cubanas, lo cual redundará en valiosos beneficios para la economía nacional y para el desarrollo del tema en particular.

ABSTRACT

RESEARCHES ABOUT RESIDUES OF IMPORTED WOOD AGLOMERATED WITH CEMENT

Some preliminary experiences concerning the possibilities of producing at a laboratory scale panels for construction, with a $45 \text{ cm} \times 45 \text{ cm} \times 1,9 \text{ cm}$ mode elaborated with imported chips under pressure with **PORTLAND** cement are studied.

The paper analyzes basic aspects of the technology and properties of the elaborated product, taking into account three formulations of the material balance of the board components, which contemplates the different amount, concentration and type of the chemical additive, which permits us to determine that Cl_2Ca is the most adequate scheming agent to hasten the harding of the samples. It was proven that a consistent panel can be obtained with a cement consumption in the order of $0,69 \text{ g/m}^3$ which corresponds to a relation pulp agglutinating of 1:2,75 in weight, with a density between 1.22 to $1,38 \text{ g/cm}^3$ and a resistance of the mean flexion

BIBLIOGRAFIA

1. BETONYP. Madera más cemento. Budapest, Combinado Forestal de Hungría Occidental.
2. BISON-WERKE BAHRE & GRETEN. El tablero de madera-cemento. Springe, RFA.
3. BRUTHANS, A. Materiales ligeros de fibras vegetales aglomerados con cemento: cáscara de arroz-cemento. La Habana, Centro de Investigación y Capacitación de la Construcción, 1975. 77 p.
4. CABALLERO, M. Estadística práctica para dasnomos. México, SAG, 1973. 195 p. (Publicación No. 26.)
5. CUBA. Manual analítico para el control de producción de tableros de partículas de bagazo. La Habana, ICIDCA, 1979, p. 43-56.
6. FRASER, H. R. El tablero de partículas de madera-cemento y su gran demanda. World Wood (Holanda) 18 (3) : 11-13 marzo de 1977.
7. GARCIA, J. M. Utilización de los residuos de la explotación del bosque y de los aserraderos. La Habana, CIF, 1974. 47 p.
8. GONZALEZ, MIGDALIA, GLADYS BLANCO y H. NOA. Tendencia mundial de la producción de madera artificial de bagazo. La Habana, ICIDCA, 1975, p. 51-57.

9. VENEZUELA, Aptitud de 82 maderas de los llanos occidentales para la producción de tableros de pajilla de madera y cemento. Mérida, Universidad de los Angeles, 1972, p. 172-175. *
10. ORUS, F. Materiales de construcción. La Habana, Edición Revolucionaria, 1968. 703 p.