

EVALUACION DEL ENSAYO DE COMPRESION EN PROBETAS DE MADERA - CEMENTO

KATIA MANZANARES¹, DIGNA VELAZQUEZ², M. SOSA³ Y J. M. MONTALVO³

RESUMEN

Se describen los resultados obtenidos en el hormigoneado de probetas cúbicas de 10 cm de lado, producidas con madera de importación de la especie Pinus silvestris L.

Se discute y analiza el comportamiento del módulo de ruptura a compresión por efecto de la introducción de tres variables en el sistema: aditivos químicos, tratamiento con agua de las astillas y curado de los elementos endurecidos.

Se presentan los mejores resultados en los experimentos V₄ y V8, a los cuales se les aplicó hidrotratamiento por aspersión y mineralización con CaCl₂, que superaron las especificaciones de las normas soviéticas y cubanas para elementos constructivos destinados para muros de cierre.

Manuscrito recibido para su publicación 22 de julio de 1988

¹ Investigadores agregados, ² investigador aspirante y ³ técnico medio
Instituto de Investigaciones Forestales
Calle 174 No. 1723 entre 17B y 17C,
Síboney, Playa, Ciudad de La Habana, Cuba

INTRODUCCION

El alto costo de los materiales de construcción y la carencia de viviendas han provocado que en muchos países se promueva el uso de los productos aglomerados. A base de madera-cemento, los cuales se comercializan en forma de bloques, piezas prefabricadas moldeadas y tableros pesados o ligeros (1, 5, 4). En el mundo se informa, según la FAO, la existencia de alrededor de 200 instalaciones que se dedican a la producción de estos compuestos (2); de ellas, la mayor es la planta de Hungría que alcanza una capacidad diaria de 100 m^3 de tableros (1, 4).

En nuestro país, actualmente se trabaja para garantizar desde 1990 hasta el 2000 una oferta de viviendas ascendente a 100 000 unidades/año (6), cifra que significa la elevación de los índices de ejecución por cada 1 000 habitantes hasta niveles similares a los establecidos por los países más desarrollados del CAME (3).

La utilización de los productos de madera con aglomeración mineral, en forma de bloques estándares, representa en el futuro mediano, una modesta solución constructiva para el cumplimiento de este esfuerzo por satisfacer las demandas habitacionales del país, y a la recuperación de los residuos maderables de la actividad de aprovechamiento forestal.

Dado el interés despertado por esta temática dentro de la rama de la agricultura, se han continuado las investigaciones sobre las posibilidades de fabricación de un elemento de pared de madera-cemento con un diseño semejante al bloque hueco de hormigón de 40 cm x 20 cm. Este trabajo tiene como objetivo evaluar los rendimientos de las probetas hormigonadas de madera-cemento con relación a la aplicación de aditivos químicos en combinación con métodos de curado de los elementos endurecidos y el tratamiento con agua de las astillas.

MATERIALES Y METODOS

Los trabajos se ejecutaron en los laboratorios del Departamento de Aprovechamiento e Industrias de la Madera del Instituto de Investigaciones Forestales.

Materia prima. Se emplearon astillas de madera de importación de la especie Pinus silvestris. L. identificada en el Laboratorio de Anatomía de la Madera, procedente de los residuos de la fabricación de lápices. Las astillas se seleccionaron en tamices de 6 mm x 6 mm y 2 mm x 2 mm de criba. Se utilizó cemento P-350 producido en la fábrica del Mariel.

Preparación de la muestra. Las probetas se hormigonaron según lo establecido por la tecnología ARBOLIT (8). Se seleccionó una relación madera-cemento de 1:1,8, que corresponde a un consumo de cemento de

320 kg/m³, y se compactó por apisonamiento manual en moldes de madera triples de 10 cm x 10 cm x 10 cm colocados sobre una lámina de acero inoxidable (Figura 1). Se aplicó sucesivamente una presión estática de 20 kgf/cm² a los tres cubos y al cabo de 48 horas se desmoldaron. Como indicadores constantes de fabricación se estableció una densidad de 550 kg/m³ y una humedad inicial de la madera de un 9 %.

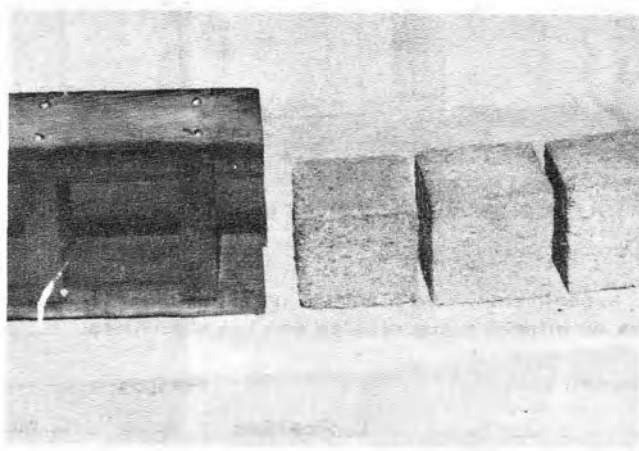


FIGURA 1. Moldes de fundición y probetas desencoformadas a las 48 horas de fundidas.

Ensayo de las muestras. Se probaron 72 probetas a los 7, 14 y 28 días, respectivamente (Figura 2). Se midieron las aristas de los cubos para la determinación de la superficie y el volumen con un pie de rey y se pesaron todas las muestras en una balanza monoplato marca Caltorius. La capacidad soportante de los especímenes a la acción de las cargas de compresión se determinó en una máquina modelo Avery en escala de 4 t según la Norma cubana NC 54-109 (17). La carga fue aplicada durante un tiempo promedio de 60 segundos perpendicular a la cara de fundición de las probetas.

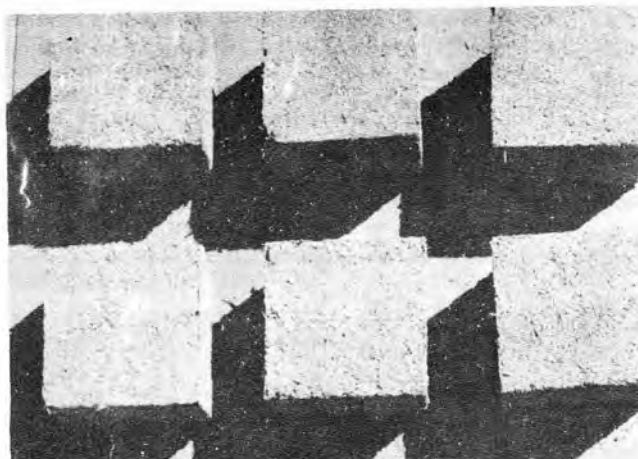


FIGURA 2. Probetas cúbicas en proceso de curado.

Diseño experimental. Se planificó un experimento trifactorial 2^3 ; los factores de interés y sus niveles son los siguientes:

Variables codificadas	Rangos	
	1. Positivo	2. Negativo
A Aditivos químicos (CaCl_2)	A_1 5 % base al cemento	A_2 Sin aditivo
B Curado de elementos endurecidos	B_1 Bajo techo y sin recubrimiento	B_2 Rociado por aspersión
C Tratamiento con agua	C_1 Lavado de astillas	C_2 Agua de añadidura

Para el caso de las variables independientes **A**, **B** y **C** se ha determinado que las ocho experiencias que se deben realizar están dadas por la matriz siguiente (10):

Experimento	Integración de factores
$V_1 (A_2-B_2-C_1)$	Sin aditivo- rociado por aspersión- lavado de astillas
$V_2 (A_1-B_2-C_1)$	Con aditivo- rociado por aspersión- lavado de astillas
$V_3 (A_2-B_1-C_1)$	Sin aditivo- bajo techo- lavado de astillas

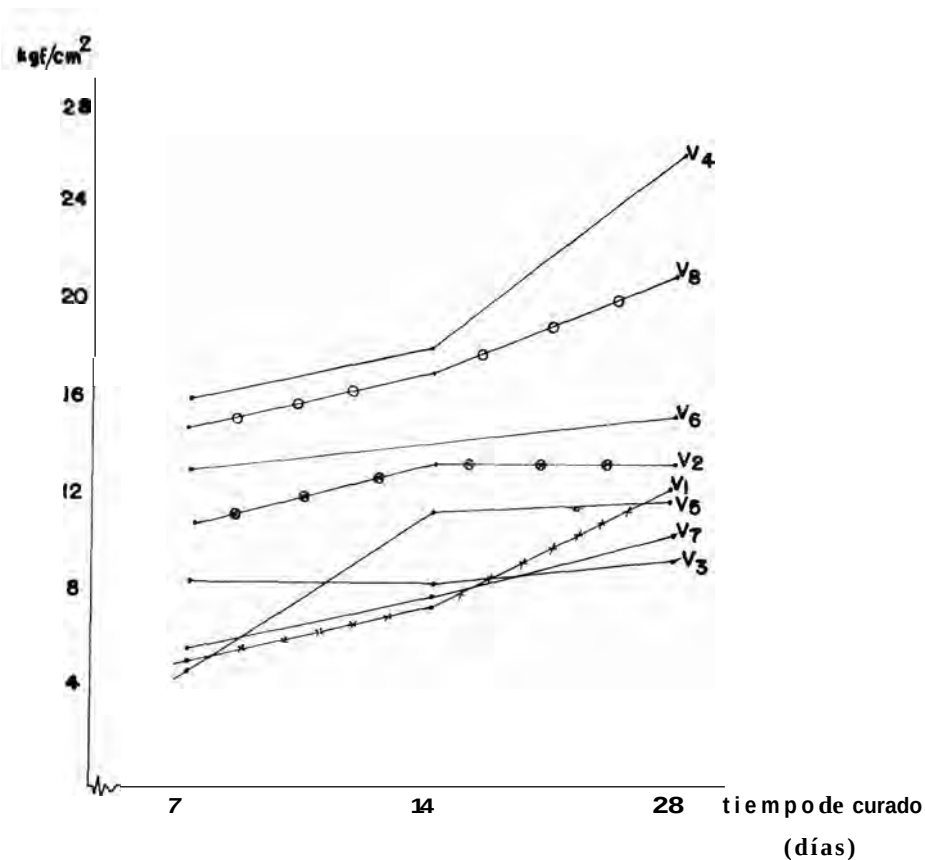


FIGURA 3 . Relación entre el módulo de ruptura a compresión y tres edades de curado de las ocho variantes del sistema.

$V_4 (A_1-B_1-C_1)$	Con aditivo- bajo techo- lavado de astillas
$V_5 (A_2-B_2-C_2)$	Sin aditivo- rociado por aspersión- agua de añadidura
$V_6 (A_1-B_2-C_2)$	Con aditivo- rociado por aspersión- agua de añadidura
$V_7 (A_2-B_1-C_2)$	Sin aditivo- bajo techo- agua de añadidura
$V_8 (A_1-B_1-C_2)$	Con aditivo- bajo techo- agua de añadidura

Agua de amasado y aditivos. Se aplicó agua de añadidura a la mezcla en una relación agua/cemento de 0,72, que representa en volumen 260 mL y como segunda alternativa, se remojaron las astillas en inmersión de agua corriente durante 24 horas, seguido de un escurrimiento en una malla metálica hasta eliminar el exceso de humedad. Se utilizaron como aditivo químico, soluciones de CaCl_2 al 33 % de concentración.

Evaluación estadística. Se realizó un análisis trifactorial 2^3 con tres repeticiones en cada experimento para el cálculo de los coeficientes significativos. A los valores del esfuerzo de ruptura a compresión, Se les hallaron los estadígrafos fundamentales y una prueba de rangos múltiples de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSION

Atendiendo a la prueba de compresión aplicada a las muestras, se determinó que la formulación contenida en los experimentos V_4 y V_8 presenta los mayores rendimientos, del orden de 26,17 y 21,30 kgf/cm^2 , respectivamente (Tabla 1). Estos valores pueden ser comparados con los índices de tolerancia de las Normas cubanas 54-209-81 para bloques huecos de hormigón (12), las cuales establecen rangos entre 20–25 kgf/cm^2 de resistencia característica a compresión en elementos para muros de cierre del tipo 1 (20 cm), II (15 cm) y III (10 cm).

Conforme a los datos normalizados anteriores, se deriva que los experimentos V_4 y V_8 son aptos para ser equiparados con la clase A de los bloques huecos de hormigón de 10 cm, con la calidad C de 20 cm y, además, la muestra V_4 satisface los requerimientos de la categoría B de 15 cm de espesor.

Las normas GOST 1922–1973 citadas por Nagy (8) prescriben resistencias mecánicas mínimas de 10–15 kgf/cm^2 para materiales de virutas de madera y cemento destinados a limitar y conectar espacios. Para alcanzar estos indicadores, es posible utilizar cualquier variante de las producidas, con excepción de la V_3 la cual tiene un rendimiento de 9,61 kgf/cm^2 . Sin embargo, de acuerdo con la British Standard (BS) referida por Eruthans (13), este valor puede considerarse aceptable en la categoría de bloque C que no soporta cargas, ya que supera el índice inferior instruido por dicha norma, 7 kgf/cm^2 (13).

Al examinar la variable independiente a aditivos químicos), se confirma que la adición de una solución de CaCl_2 a la mezcla eleva

TABLA 1. Influencia del rendimiento (MOR compresión) de las ocho variantes elaboradas a los 28 días de curado.

No. de experimentos	Variables codificadas	(MOR) kgf/cm ²			Desviación típica	Coeficiente de variación (CV %)	Masa volumétrica (g/cm ³)
		Valor medio	Valor máximo	Valor mínimo			
V ₁	(A ₂ -B ₂ -C ₁)	12,88	15,95	9,05	3,51	27,25	0,57
V ₂	(A ₁ -B ₂ -C ₁)	13,20	15,83	10,88	2,47	18,71	1,05
V ₃	(A ₂ -B ₁ -C ₁)	9,61	11,83	7,87	2,02	21,03	0,71
V ₄	(A ₁ -B ₁ -C ₁)	<u>25,17</u>	28,63	23,02	2,86	10,96	0,70
V ₅	(A ₂ -B ₂ -C ₂)	12,13	14,71	8,07	2,51	20,74	0,80
V ₆	(A ₁ -B ₂ -C ₂)	15,70	16,49	14,55	0,50	3,18	0,74
V ₇	(A ₂ -B ₁ -C ₂)	10,95	14,74	8,06	3,42	31,23	0,55
V ₈	(A ₁ -B ₁ -C ₂)	<u>21,30</u>	23,41	17,31	3,45	16,19	0,62

de forma notable la resistencia a compresión (14, 2, 15). En la Tabla 1 se advierte que los ensayos que contienen el nivel A₂ (sin aditivo químico en su composición) presentan las variables dependientes MOR más bajas (V₁, V₃, V₅, V₇). Lee y Hong (5) informan que adiciones de CaCl₂ en un 3 % en base al cemento, provocan un incremento en la resistencia a compresión en probetas cilíndricas y reducen el tiempo de hidratación del cemento. Esta última conclusión justifica el comportamiento de los experimentos (V₂, V₄, V₆, V₈), los cuales a la edad de siete días alcanzaron los indicadores mínimos establecidos por la norma soviética (Figura 3).

Se observa también una marcada interacción entre los factores B y C (curado de los elementos endurecidos y tratamiento de agua de las astillas de madera), cuando cambian los niveles de las variables. En el caso del curado con hidrotratamiento (B₂) se logra un discreto aumento de la resistencia a compresión cuando se introduce el lavado (C₁); porque cuando participa el factor (C₂) agua de añadidura, la respuesta de la variable dependiente es aún más baja (V₅). Este fenómeno se explica por el hecho de que la inmersión de las astillas en agua provoca un efecto eliminador de las sustancias solubles en agua perturbadoras del fraguado del cemento (1); solamente el punto V₆ se escapa de esta tendencia, porque está favorecido por la acción de los agentes del

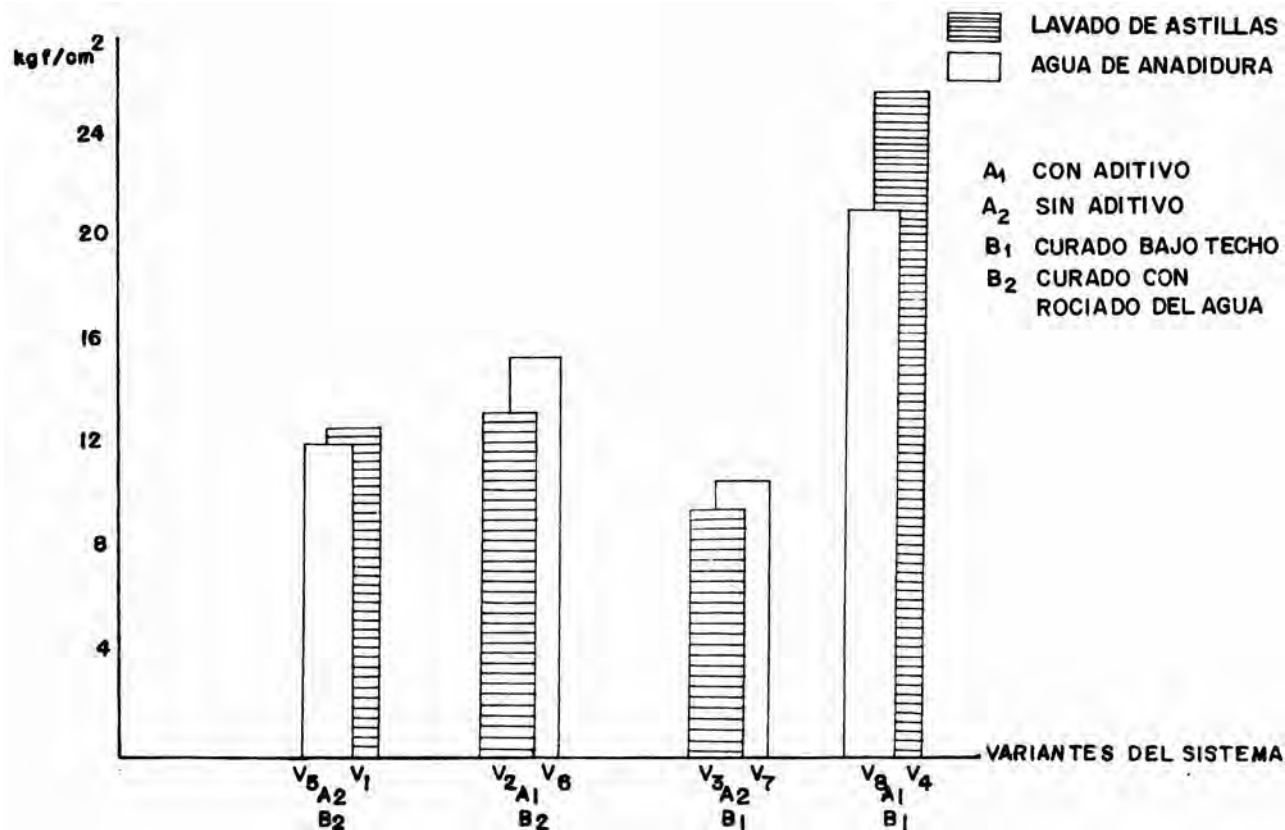


FIGURA 4. Efecto del tratamiento de las astillas de madera sobre el rendimiento de las muestras a la edad de 28 días.

TABLA 2 Resultados del análisis de varianza de los rendimientos (factorial 2³).

F. de variación	GL	SC	CM	F
Tratamientos	7	676,192 4	96,598 91	11,338 (**)
Aditivo (A)	1	1,771 973	1,771 973	0,208 NS
Curado (B)	1	76,683 6	76,683 6	9,000 (***)
Tratamiento astillas (C)	1	351,593 8	351,593 8	41,266 (***)
(A x B)	1	8,978 028	8,978 028	1,054 NS
(A x C)	1	4,199 219	4,199 219	0,493 NS
(B x C)	1	201,957	201,957	23,704 (***)
(A x B x C)	1	31,008 79	31,008 79	3,639 NS
Error	16	136,321 3	8,520 081	
Total	23	812,513 7		

(** Significativo para $P < 0,05$

(*** Significativo para $P < 0,01$

(**** Significativo para $P < 0,001$

Media general = 15,222 5

Coeficiente de variación = 19,18 %

Error estándar de las medias de tratamientos = 1,685 2

Error estándar de las medias del factor A = 0,842 6

Error estándar de las medias del factor B = 0,842 6

Error estándar de las medias del factor C = 0,842 6

Error estándar de las medias de la interacción A x B = 1,191 6

Error estándar de las medias de la interacción A x C = 1,191 6

Error estándar de las medias de la interacción B x C = 1,191 6

Resultados de la prueba de rango múltiples de Duncan de los tratamientos.

Nivel de significación = 0,05

Tratamientos	V ₄	V ₈	V ₆	V ₂	V ₁	V ₅	V ₇	V ₃
Promedios	26,17	21,30	15,42	13,30	12,88	12,13	10,95	9,60

Nivel de significación = 0,01

Tratamientos	V ₄	V ₈	V ₆	V ₂	V ₁	V ₅	V ₇	V ₃
Promedios	26,17	21,30	15,42	13,30	12,88	12,13	10,95	9,60

Interacción B x C

Nivel de significación = 0,05

Factores	B ₂ C ₂	B ₁ C ₂	B ₁ C ₁	B ₂ C ₁
Promedios	23,78	14,36	12,50	10,28

Nivel de significación = 0,01

	B ₂ C ₂	B ₁ C ₂	B ₁ C ₁	B ₂ C ₁
	23,78	14,36	12,50	10,28

endurecimiento y por el curado en medio ambiente húmedo, el cual estimula el crecimiento de la resistencia, al proporcionar agua para activar las partículas de cemento para formar nuevos cristales (15) (Figura 4).

Por otra parte, el curado bajo techo y sin recubrimiento (B_1) es recomendable cuando se conjuga con la aplicación de aditivos, de lo contrario, el módulo de ruptura decrece notablemente, porque las probetas no están selladas contra la evaporación superficial y no aseguran una hidratación completa (16) (V_3 y V_7). Hernández y Presa (15) plantean que las muestras almacenadas en seco aumentan menos su resistencia mecánica por sufrir pérdida de agua por evaporación en el largo proceso de petrificación del mortero, y las partículas de cemento no reaccionan químicamente a plena capacidad, obteniéndose así resistencias mínimas a los siete días, sin que haya incremento acentuado a la edad de 28 días (V_5 , V_6 , V_7) (Figura 1).

Los valores del peso específico de los experimentos se mueven dentro del intervalo de $550\text{--}770 \text{ kg/m}^3$ propuesto por la tecnología soviética ARBOLIT (8), excluyendo el ensayo V_2 , que registró $1\,050 \text{ kg/m}^3$, debido a una sobreadición de agua por efecto del lavado de la pulpa y el riego por aspersión de las probetas hormigonadas.

CONCLUSIONES

1. Hubo diferencias significativas entre los tratamientos, siendo las interacciones entre las variables B (curado de los elementos endurecidos) y C (tratamiento de las astillas) muy fuertes.
2. La formulación contenida en las variantes V_4 y V_8 son las más favorables porque además de superar las especificaciones de las normas soviéticas, pueden ser equiparadas con las clasificaciones de los bloques huecos de hormigón, por haber obtenido un MOR a compresión de $26,17$ y $21,30 \text{ kgf/cm}^2$, respectivamente, el cual se corresponde con las calidades exigidas para muros de cierre interior de los tipos 10, 15 y 20 cm de espesor.
3. Los componentes de los experimentos V_3 y V_7 , que corresponden con la combinación de factores curado bajo techo sin aplicación de aditivos químicos alternando los tratamientos de las astillas con agua, son no satisfactorios por reportar los valores más

bajos del módulo de ruptura, inferiores o muy cercanos a las tolerancias de las normas GOST.

4. Se comprobó que en la fabricación de los cubos de prueba de madera-cemento, el curado por hidrotratamiento durante 28 días funciona en sentido del incremento de la resistencia mecánica si está combinado con el tratamiento de las astillas por inmersión en agua, pero se advierte una desviación del valor teórico del peso específico, a expensas del exceso de agua de amasado.
5. El experimento V_6 , integrado por la combinación de factores agua de añadidura, aditivo químico y riego por aspersión es considerado como aceptable por superar las especificaciones de las normas GOST.
6. Se recomienda el experimento V_8 como el más satisfactorio, porque alcanzó uno de los valores más altos en el módulo de ruptura a compresión, para una masa volumétrica de $0,62 \text{ g/cm}^3$, lo cual debe facilitar la colocación del elemento de pared en la obra, por aligeramiento de la carga.
7. Se lograron obtener probetas de material sólido y con características pétreas, combinando armónicamente tres factores importantes que intervienen en la unión de las partículas, siendo de sumo interés el papel del cloruro de calcio en su interferencia con las demás variables del sistema estudiado.

ABSTRACT

EVALUATION OF COMPRESSION TESTS ON CEMENT-WOOD SAMPLES

Results are given of concrete cubic blocks of 10 cm sides made with imported wood from Pinus silvestris L. Performance in modulus of rupture is analysed and discussed. Three variables were used: chemical additives, treatment with water for chips and curing of hardened elements. The best results were obtained with experiments V_4 and V_8 , where water treatment was applied by aspersion and mineralization with CaCl_2 , and complete satisfaction of Soviet and Cuban specifications of standards for construction elements refering to closing walls were attained.

BIBLIOGRAFIA

1. VALDES, J. L. Productos aglomerados con aglutinantes inorgánicos (minerales). Revista ICIDCA 13 (1): 18-23, 1984.
2. VALENZUELA, W. y T. CRUZ. Aptitud de la madera de cinco especies forestales para fabricar tableros de fibro-cemento. Revista Forestal del Perú 11 (1-2): 3-16, 1982-1983.
3. CUBA. MINISTERIO DEL AZUCAR. DIRECCION DE INVERSIONES BASICAS. Propuesta de inversión planta paneles de bagazo-cemento. -- Ciudad de La Habana: Ministerio de la Industria Azucarera, 1984. --- 122 p.
4. FERNANDEZ, J. I. Tableros de partículas de madera encoladas con cemento. AITIM 127: 16-21, 1987.
5. LEE, A. y Z. HONG. Compressive strength of cylindrical samples as an indicator of wood-cement compatibility. Forest Products Journal 36 (11-12): 87-90, 1986.
6. CUBA. MINISTERIO DE LA CONSTRUCCION. Estudio integral de la construcción de viviendas en el período 1981-2000. -- Ciudad de La Habana: Ministerio de la Construcción, 1982. -- 115 p.
7. ONUDI. Elaboración de la madera para países en desarrollo: Planchas a base de madera o de astillas de madera aglomeradas con cemento. -- Viena: ONUDI, 1975. -- 91 p.
9. NAGY, V. Informe final asesoría técnica extranjera. -- Ciudad de La Habana: Instituto de Investigaciones Forestales, 1986.-- 38 p.
9. VALDES, J. L. Perspectivas de la producción de paneles de bagazo-cemento en Cuba.-- Ciudad de La Habana: Academia de Ciencias de Cuba, 1985. -- 162 p.
10. LOPEZ, R. Estadística y diseño experimental. -- Ciudad de La Habana: Centro Nacional de Investigaciones Científicas, 1984.-- 113 p.
11. BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. Woodcement particle board- a technical assessment. Paper information, Inglaterra, 1983. 4p.

12. NC 54-209-86. MATERIALES Y PRODUCTOS DE LA CONSTRUCCIÓN. Bloques de hormigón. Especificaciones de calidad. 8 p.
13. BRUTHANS, Z. Materiales ligeros de fibras vegetales aglomeradas con cemento. Cáscara de arroz - cemento.-- Ciudad de La Habana: Centro de investigación y Experimentación de la Construcción, 1975.-- 79 p.
14. SERNA N., de la, et al. Productos aglomerados a partir del bagazo de la caña de azúcar.-- Ciudad de La Habana: Ed. Científico-Técnica, 1982.-- 99 p.
15. HERNANDEZ, E. y E. FRESA. Tecnología de los productos de hormigón. -- Ciudad de La Habana. Ed. Pueblo y Educación. 1987.-- 148 p.
16. SEQUEIRA, J.E. Temas sobre materiales de construcción -- Ciudad de La Habana: Ed. Pueblo y Educación, 1987. -- 365 p.
17. NC 109-85. Materiales y productos de la construcción Hormigón. Ensayo a compresión en probefas cilíndricas., 4 p.