

DIFERENTES METODOS DE CURADO EN CUBOS DE PRUEBA DE MADERA - CEMENTO

KATIA MANZANARES¹, DIGNA VELAZQUEZ² Y M. BOBA³

RESUMEN

Se hormigonaron con cemento gris 36 probetas de la especie Pinus silvestris L. siguiendo la metodología soviética Arbolit con el objetivo de examinar el efecto de cuatro métodos de curado con relación a la respuesta de la ruptura por compresión. Se determinó que el curado bajo techo con recubrimiento es el más favorable para alcanzar un discreto aumento de la variable estudiada ($7,87 \text{ kg/cm}^2$) y que la permanencia de las muestras con tratamiento en la estufa a 80°C durante 6-8 horas provoca el aumento de la resistencia de los cubos de prueba a edades tempranas (7 días) ($5,38 \text{ kg/cm}^2$), pero al transcurrir el período de endurecimiento no se advierte una evolución sustancial de dicho indicador.

INTRODUCCION

En el flujo tecnológico de la fabricación de aglomerados de madera-cemento se produce una fase fundamental denominada curado

¹ Investigador agregado, ² investigador aspirante y ³ técnico medio
Instituto de Investigaciones Forestales
Calle 174 No. 1783 entre 17 B y 17 C, Siboney. Playa,
Ciudad de La Habana, Cuba.

de las muestras, la cual consiste en suministrarle a la pieza moldeada un grado de humedad estable y una temperatura controlada para mantener las condiciones ideales para el proceso de hidratación del cemento (1), particularmente, durante la primera semana del período de endurecimiento.

El empleo del cemento Portland como aglutinante hace crecer inicialmente la resistencia mecánica de las probetas, pero un curado que proporcione una temperatura apropiada y medio ambiente húmedo, estimula intensamente el aumento de este indicador.

Todo sistema de curado tiene la finalidad de impedir una evaporación rápida del agua de la muestra y evitar variaciones bruscas de temperaturas que puedan provocar tensiones internas o deformaciones (2).

Un elemento constructivo fisurado y con baja resistencia **mecánica** no puede ser empleado con toda confianza en el levantamiento de un muro, y sus capacidades portantes estarán limitadas por este concepto. La evitación, durante los primeros días, de todas las causas externas que puedan agrietar al producto que ha comenzado a endurecer, tales como las vibraciones, impactos o golpes, sobrecargas, caídas y arrastres, son vitales para garantizar su calidad final y se proporciona a través de los cuidados que se tengan durante las etapas de curado.

Por otra parte, Hernández y Presa (3) afirman que el estado higrométrico de la atmósfera es un factor determinante en la duración e intensidad del curado. Se fijan plazos mínimos de siete días para los cementos corrientes, pero en período seco o en las estaciones de gran intensidad de los rayos solares, se requieren incrementos de los tiempos mínimos de curado hasta de 50 %. En estos casos es más conveniente emplear los procedimientos que retienen la humedad mayor tiempo, ya que aumenta el peligro de cuarteos de la superficie que exigen riegos muy frecuentes. A modo de ilustración, el método por hidrotratamiento requiere en la época de verano, un riego por aspersión de dos horas durante tres veces al día, mientras que en invierno, puede reducirse el tratamiento a razón de una hora por la mañana y otra por la tarde. De ahí se desprende la importancia que posee el proceso de curado y su aplicación correcta.

El trabajo que nos ocupa tiene como objetivo evaluar el efecto de cuatro métodos de curado con relación a la respuesta a la prueba de compresión en probetas de madera-cemento fabricadas con Pinus silvestris L.

MATERIALES Y METODOS

Este experimento se realizó en el Laboratorio de Tecnología de la Madera del Instituto de Investigaciones Forestales.

Elaboración de las muestras

Se prepararon 36 probetas cúbicas de **100** mm x 100 mm x **100** mm de lado, utilizando astillas de madera de importación de Pinus silvestris L. seleccionadas en tamices de 6 mm x 6 mm y de 2 mm x 2 mm de criba a través de un tarrizador mecánico. Se aplicó agua de amasado a las partículas de madera y se homogeneizó en húmedo con cemento **P-350** siguiendo las indicaciones del sistema Arboit descrito por Nagy (6).

Las probetas se prepararon con la formulación que se describe a continuación:

Relación de componentes	Composición gravimétrica (g)
Madera	170
Cemento gris	300
Agua	360

Además se adicionó solución de CaCl_2 en cantidad de 4 % sobre la base del cemento (12 mL).

Sistema de curado

Para favorecer el proceso de fraguado y endurecimiento de las muestras, se establecieron cuatro sistemas de curado aplicados durante los meses de abril-mayo de 1988:

- En estufa con temperatura de $75 \pm 5^\circ\text{C}$ durante **6-8** horas.
- Al aire sin recubrimiento
- Al aire con recubrimiento
- Bajo techo con recubrimiento.

Las muestras se desmoldaron al cumplir 48 horas de fundidas y después se almacenaron en el ambiente de curado seleccionado,

en grupos de nueve probetas por cada método. .. las edades establecidas (7, 14 y 20 días), fueron retiradas las probetas del respectivo tratarriento, marcadas y pesadas individualmente.

Diseño experimental y evaluación estadística

Se realizó un modelo bifactorial con cuatro niveles para el primer factor y tres niveles para el segundo, para una corrida de 12 tratamientos (Tabla 1). Se hizo un análisis de varianza de acuerdo con el diseño empleado y una prueba de rangos múltiples de Duncan.

TABLA 1. Modelo del diseño bifactorial.

Factor A Métodos de curado	Factor B Tiempo de curado		
	B ₁ 7 días	B ₂ 14 días	B ₃ 28 días
A ₁ Estufa a 80°C durante 6-8 horas	A ₁ B ₁	A ₁ B ₂	A ₁ B ₃
A ₂ Al aire sin proteccibn	A ₂ B ₁	A ₂ B ₂	A ₂ B ₃
A ₃ Al aire protegido	A ₃ B ₁	A ₃ B ₂	A ₃ B ₃
A ₄ Bajo techo protegido	A ₄ B ₁	A ₄ B ₂	A ₄ B ₃

Ensayo de compresión

Se realizóel ensayo de acuerdo con una variante de la NC 109-85 (11) en una máquina universal en escala de 4 t destinada a la aplicacibn de cargas lentas, a razón de tres réplicas por cada tiempo de curado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los datos que aparecen en la Tabla 2 se muestra que el tratamiento V_{12} (curado bajo techo con recubrimiento a los 28 días) alcanzó $7,87 \text{ kg/cm}^2$ en la prueba de resistencia a compresión para una densidad de $0,55 \text{ g/cm}^3$, resultando ser el más alto de todas las variantes. Bruthans (5) plantea que la mayor resistencia se obtiene en caso de los elementos colocados a la sombra protegidos con laminas de polietileno durante todo el período de endurecimiento.

El tratamiento V_3 (curado en estufa a 80°C de 6 a 8 horas y ruptura a los 28 días) manifestó muy poca variación ($6,57 \text{ kg/cm}^2$) con respecto al tratamiento V_1 ($5,38 \text{ kg/cm}^2$), ya que prácticamente a la edad de siete días alcanzó el 80 % de la resistencia obtenida a los 28 días. Salas *et al.* (12) informan que en el curado acelerado se consiguen altas resistencias a edades tempranas, pero ocurre un estancamiento después de los siete días, y terminado el período de endurecimiento no se experimenta un incremento acentuado de este indicador.

Los tratamientos V_4 , V_5 , V_6 referidos a la disposición a la intemperie y destapadas, mantuvieron una respuesta a la compresión similar y no significativa (Tabla 3), mientras que las variantes V_7 , V_8 , V_9 , protegidas con mantas de polietileno, registraron valores comparativamente superiores a las edades de 14 y 28 días, debido a que estos materiales aislantes impiden la transferencia de agua de un medio a otro y protegen a los elementos horrigonados contra el viento, frío y sol, lo cual permite aprovechar el calor desprendido al fraguar el cemento para así activar el endurecimiento de la mezcla y al mismo tiempo mantener las condiciones húmedas beneficiosas para la hidratación del cemento, al obstaculizar el intercambio acuoso en el sistema probeta-atmósfera (3).

Según Bruthans (5), la colocación de las losas al sol y sin protección con laminas de polietileno disminuye la resistencia en comparación con las protegidas durante todo el tiempo de exposición. En la Figura 1 se muestra con evidencia que al término de los siete días el tratamiento en estufa V_1 alcanza el valor más elevado de la resistencia. Por su parte, el factor A_3 (al aire protegido) presenta un descenso de la resistencia a los 28 días con relación a la edad de 14 días; lo que sugiere en la práctica realizar un corte de este procedimiento de curado, a partir de las dos semanas, porque además

TABLA 2. Resultados de la prueba de compresión en los tratamientos (kg/cm²).

Tratamientos Métodos de curado	Tiempo de curada					
	B ₁		B ₂		B ₃	
	7 días		14 días		28 días	
	Resistencia compresión	Densidad (g/cm3)	Resistencia compresión	Densidad (g/cm3)	Resistencia compresión	Densidad (g/cm3)
A ₁	V ₁		V ₂		V ₃	
Estufa a 80°C durante 6-8 horas	5,38	0,52	4,52	0,48	6,57	0,58
A ₂	V ₄		V ₅		V ₆	
Al aire destapado	4,99	0,62	5,03	0,54	4,85	0,54
A ₃	V ₇		V ₈		V ₉	
Al aire protegido	3,20	0,70	6,18	0,55	5,58	0,72
A ₄	V ₁₀		V ₁₁		V ₁₂	
Baja techo protegido	2,84	0,70	4,10	0,59	7,87	0,55

TABLA 3. Prueba de tanger múltiples de Duncan.
Variable analizada: Resistencia a compresión

Tratamientos	12	8	3	9	1	5	4	6	2	11	7	10
promedios	7,87	6,58	6,57	5,58	5,38	5,04	4,99	4,85	4,52	4,11	3,20	2,84



Variables significativas	Error estandar	Media general = 4.85
A - Metodos de curado ^(*)	0,18	Coefficiente de variación = 11.23 %
B - Tiempo de curado ^(**)	0,16	
Tratamientos	0,31	
P x B Interacciones ^(***)	-	

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

^(**)Significativo para $P < 0,001$.

- | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Estufa 7 d (5,38) | 7. Al aire protegido 7 d (3,20) |
| 2. Estufa 14 d (4,52) | 6. Al aire protegido 14 d (6,58) |
| 3. Estufa 28 d (3,75) | 9. Al aire protegido 28 d (5,58) |
| 4. Al aire descubierto 7 d (4,99) | 10. Bajo techo protegido 7 d (2,84) |
| 5. Al aire descubierto 14 d (5,04) | 11. Bajo techo protegido 14 d (4,11) |
| 6. Al aire descubierto 28 d (4,85) | 12. Bajotecho protegido 28 d (7,87) |

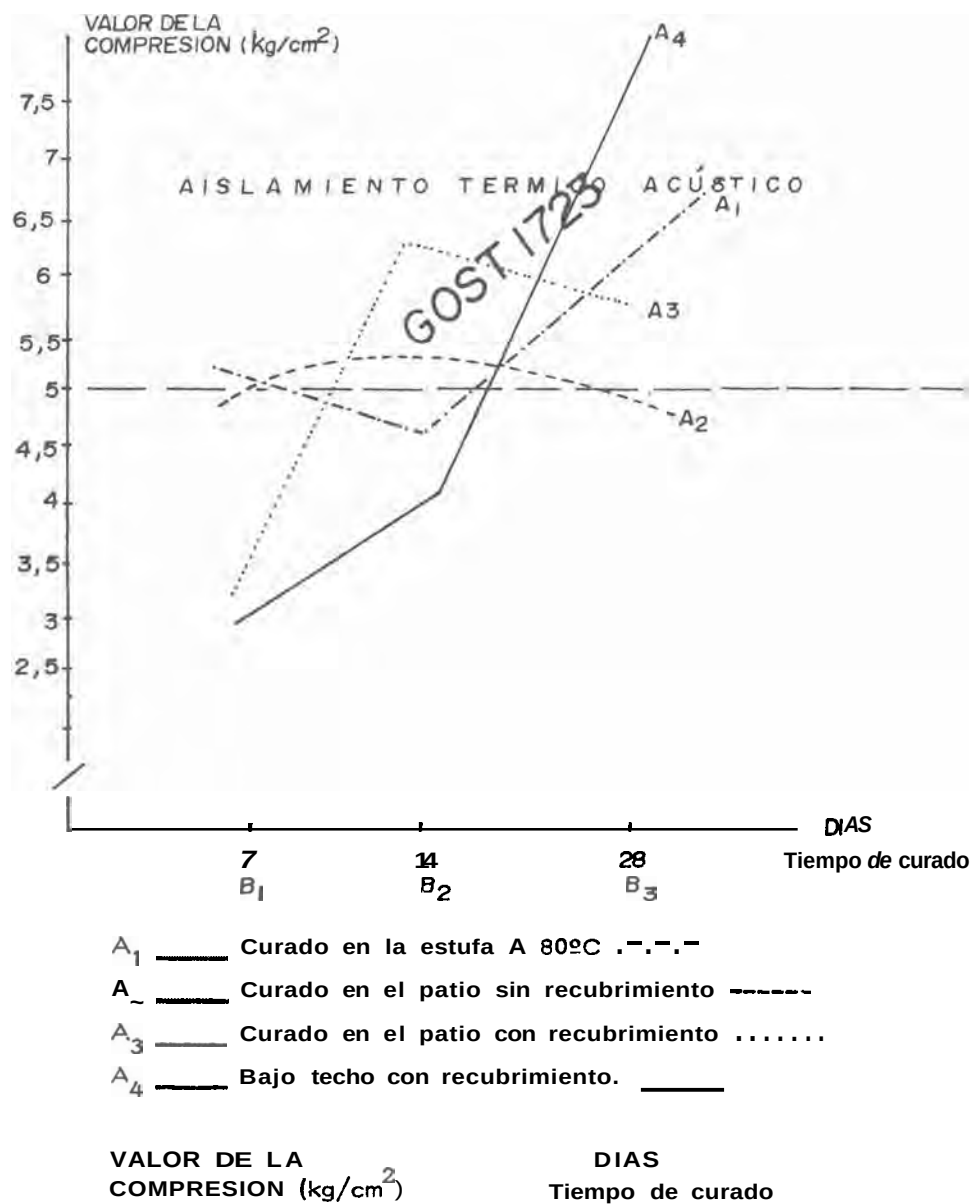


FIGURA 1. Influencia de distintas edades de curado con relación a la resistencia a compresión de las muestras.

desde el punto de vista estadístico, son significativos los rendimientos en la prueba del esfuerzo de ruptura.

Sotolongo et al. (8) informan que la exposición a la intemperie manteniendo húmedo el elemento y tapado durante la primera semana, permitirá alcanzar las propiedades mecánicas normalizadas en morteros preparados con materiales fibrosos. Las variantes V_{10} , V_{11} , V_{12} , enmarcadas dentro del factor A_4 (bajo techo protegido) acusan una evolución de la resistencia mecánica proporcional a los tres tiempos de curado (B_1 , B_2 , B_3), siendo significativos los valores de la variable dependiente (Tabla 3).

Las normas GOST 192273 referidas por Nagy (6) prescriben resistencias a compresión entre 5 y 9 kg/cm² para elementos de pared con fines de aislamiento térmico-acústico. De acuerdo con estas especificaciones, las probetas colocadas al aire protegidas a los 14 días, las situadas bajo techo y en estufa al término de cuatro semanas, pueden ser usadas para la división de espacios interiores (V_3 , V_8 , V_{12}), con el fin de crear un ambiente cálido, fresco y de confort auditivo propio para el trabajo de hospitales, salas de música y otras instalaciones públicas (13).

En la Figura 2 se aprecia que a lo largo del período de endurecimiento, una gran cantidad de muestras mantuvieron la densidad establecida por las normas para el uso de termo-aislantes

acústicos, la que oscila en el intervalo de 0,40 a 0,60 g/cm³. En general, se observa un aligeramiento de la masa volumétrica en la medida en que aumenta el período de curado, a consecuencia de la gradual eliminación del agua contenida en el gel y cristalizaciones subsiguientes debido a la hidratación de los constituyentes anhidros del cemento (1).

En la Tabla 4 se advierte que el curado al aire con recubrimiento no tiene diferencias significativas con respecto al curado bajo techo protegido, lo cual en la práctica y desde el punto de vista teórico es contradictorio. La variable tiempo de curado a los 28 días presenta valores significativos con relación al resto de las edades, cuestión que se corresponde justamente con la literatura consultada.

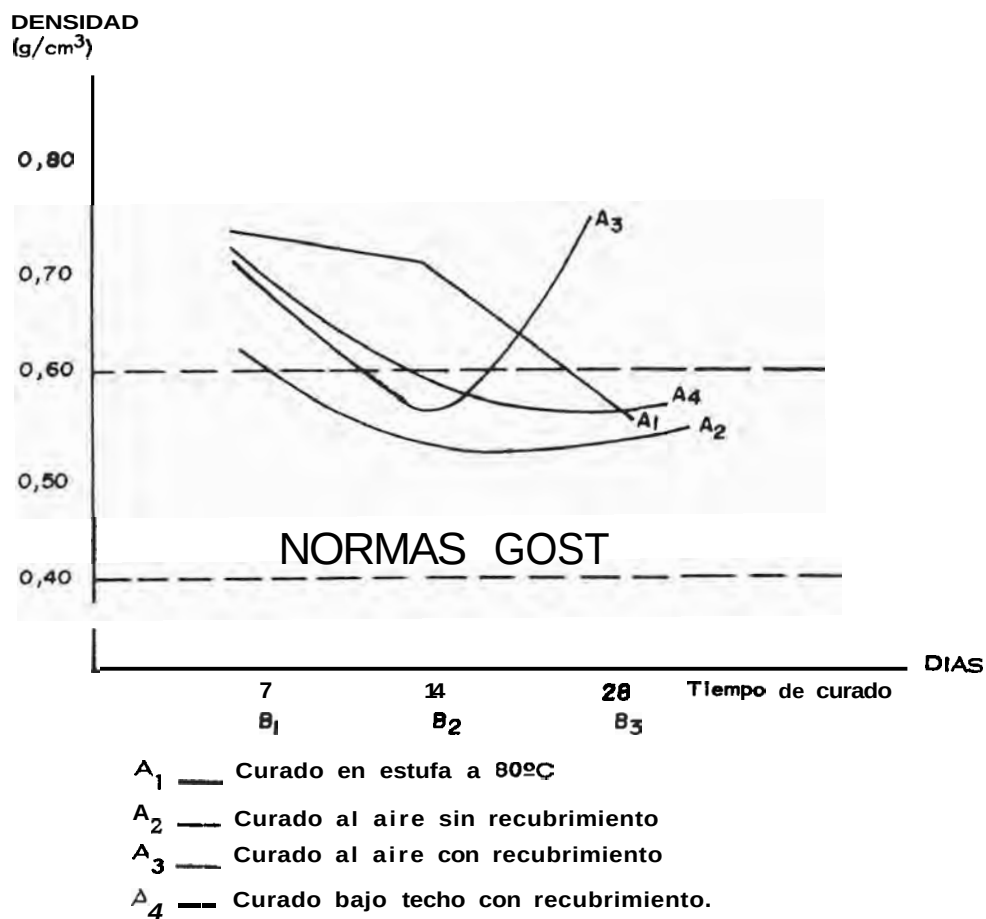


FIGURA 2. Comportamiento de la densidad durante las diferentes etapas de curado de las muestras.

TABLA 4. Prueba de Duncan de los factores A y B.

Promedio	5,49	5,12	4,96	4,94	A ₁ - En estufa
Niveles	A ₁	A ₃	A ₂	A ₄	A ₂ - Al aire destapado
n = 9	Factor A: Métodos de curado				A ₃ - Al aire protegido
					A ₄ - Bajo techo protegido
Promedio	5,51	4,96	4,08		B ₁ - 7 días de curado
Niveles	B ₃	B ₂	B ₁		B ₂ - 14 días de curado
n = 12	Factor B: Tiempo de curado				B ₃ - 28 días de curado

CONCLUSIONES

1. El tratamiento bajo techo con recubrimiento es el más recomendable, ya que registró el valor más alto en la prueba de compresión ($7,87 \text{ kg/cm}^2$) y difiere significativamente con el con el resto de las variantes estudiadas.
2. Se comprobó que el curado acelerado con temperatura de 80°C durante 6-8 horas resulta un método muy beneficioso para alcanzar la resistencia normalizada a edades tempranas (siete días), sin apreciarse una evolución acentuada de dicho indicador al término del período de endurecimiento (28 días).
3. Se verificó que la disposición de las probetas a la intemperia protegidas con manta de polietileno no debe prolongarse a un período superior a los 14 días, ya que después brindan una respuesta significativamente decreciente al ensayo de resistencia mecánica.
4. Los cubos de prueba representados en los tratamientos V₃, V₈, V₁₂ (en estufa 28 días, en ambiente exterior protegido 14 días, bajo techo recubierto, 28 días) pueden destinarse para tabiquería ligera con fines de aislamiento térmico-acústico por alcanzar los indicadores de resistencia y una baja densidad comprendida dentro de las tolerancias de las normas GGST para ese uso.
5. Las probetas sometidas a curado natural (al aire sin recubrimiento) no alcanzaron los indicadores de resistencia normalizados, por lo que este tratamiento es poco recomendable.

6. La disminución de la humedad traducida en la pérdida de peso de los tratamientos estudiados es más evidente en las dos primeras semanas de endurecimiento y se mantuvo poca variación a partir de esa edad de curado.

ABSTRACT

DIFFERENT HARDENING METHODS FOR TEST CUBES MADE OF WOOD-CEMENT

Thirty six cement-wood probes were prepared with gray cement and wood from Pinus silvestris L. according to a soviet methodology Arbolit to test the effect of four hardening methods when related to compression strength answer. Roof-hardening with a cover gave the best results with a small increment of the studied variable

(7,87 kg/cm²) and kiln treatment at 80°C during 6-8 hours increments test cube strength at early stages

(7 days) (5,38 kg/cm²), but there is no substantial increment in this Parameter.

BIBLIOGRAFÍA

1. HERMANDEZ, P. Materiales de construcción, estática y elementos de hormigón armado. La Habana: Ed. Pueblo y Educación, 1988.-- 296 p.
2. ICIDCA. Manual de los derivados de la caña de azúcar.-- México: GEPLAE, 1988.-- 251 p.
3. HERNANDEZ, E. y M. PRESA. Tecnología de producción de hormigón. -- La Habana: Ed. Pueblo y Educación, 1987.-- 148 p.
4. SEQUEIRA., J. Temas sobre materiales de construcción.A- La Habana: Ed. Pueblo y Educación, 1988.-- 365 p.

5. PRLITHANS, Z. Materiales ligeros de fibras vegetales aglomerados con cemento. Cáscara de arroz-cemento.-- Ciudad de La Habana: Centro de Investigaciones y Experimentación de la Construcción, 1975.-- 79 p.
6. NAGY, V. Informe final de asesoría técnica extranjera.-- Ciudad de La Habana: Instituto de Investigaciones Forestales, 1986. -- 38 p.
7. MANZANARES, KATIA, DIGINA VELAZQUEZ, M. SOSA y J.M. MONTALVO. Evaluación del ensayo de compresión en probetas de madera-cemento. Revista Forestal Baracoa 18 (2), 1988.
8. SOTOLONGO R, NOEMI RIVERA y R. PRADO. Contribución al estudio de la cáscara de arroz y la ceniza de bagazo de caña como material de construcción. -- Ciudad de La Habana: Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción, 1988. -- p. 19.
9. BANCO NACIONAL DA HABITACAO (BNH). Utilização de fibras vegetais no fibro-cimento e no concreto-fibra.-- Rio de Janeiro: Centro de pesquisas e desenvolvimento CEPED, 1982.-- 67 p.
10. LEE, A. and Z. HONG. Compressive strength of cylindrical samples as an indicator of wood-cement compatibility. Forest Products Journal 36 (11-12), 87-90, 1986.
11. NC 109-85. Materiales y productos de la construcción. Hormigón. Ensayo de compresión en probetas cilíndricas.-- sust. a NC 54-109: 78; Vig. desde 86: 12.-- p.4.
12. SALAS, J., G. GOMEZ y J. VERAS. Hormigones con ceniza de cáscara de arroz (RHA): Influencia del curado y del agua de amasado.-- Madrid: Ed. E. Torroja de la Construcción y el Cemento, 1987.-- 32 p.
13. MATERIALES DE FABRICACION DE TERMO ASBESTO S. A. Seminario de aislamientos térmicos y acústicos. -- México, DF: Termo Asbesto EA, 1987. -- 120' p.

.Manuscrito recibido para su publicación 14 de junio de 1989.