

HOMOLOGACIÓN DE MADERA BLANDA Y SEMIDURAS DE LATIFOLIAS PARA SU USO COMO ENCOFRADOS

DR. JUAN MANUEL GARCÍA DELGADO,¹ DR. GUILLERMO REY GARCÍA,²
DR. PEDRO PABLO HENRY TORRIENTE¹ E ING. ALBERTO IBÁÑEZ DRAKE¹

¹ Instituto de Investigaciones Forestales. Calle 174 no. 1723
e/ 17B y 17C, reparto Siboney, Playa, La Habana

² Centro Técnico para el Desarrollo de Materiales
de la Construcción. Carretera Casa Blanca y Calle 70,
Rpto. Bahía, Regla, La Habana

RESUMEN

El uso de madera para encofrado se mantiene en Cuba como una de las primeras opciones para solucionar la problemática de la fundición de hormigón in situ en las construcciones con diferentes objetivos.

Tradicionalmente se ha utilizado con este fin las coníferas autóctonas e importadas, atendiendo a sus buenas características físico-mecánicas y tecnológicas, y debido a su mayor abundancia, siendo las especies predominantes en los bosques templados del hemisferio norte, y encontrándose en grandes extensiones de plantaciones y bosques naturales del hemisferio sur. En los últimos años en Cuba se han manifestado incrementos notables de la actividad constructiva avalados por el interés nacional de edificar 100 000 viviendas anuales, lo cual exige altos volúmenes de madera aserrada con diferentes usos.

El objetivo del presente trabajo es generalizar dentro del diapasón de especies maderables factibles de ser utilizadas en la construcción, algunas latifolias blandas y semiduras presentes en los bosques cubanos, lo cual permitiría aumentar las disponibilidades de este importante material constructivo.

Las especies seleccionadas son Sterculia apetala (Jacq.) Karst. (anacahuíta), Bursera simaruba (L.) Sargent (almácigo), Cecropia

ABSTRAC

The wood use to timbering exists in Cuba like one of the first options to solve the problem of the concrete foundry in situ in the constructions with different objectives.

Traditionally it has been used with this objective the conifer ones autochthonous and imported assisting to their good physical-mechanical and technological characteristics and due to their biggest abundance, being the predominant species in the forests of the north hemisphere and being in big extensions of plantations and natural forests of the south hemisphere.

In the last years in Cuba has shown remarkable increments of the constructive activity endorsed by the national interest of building 100 000 annual housings, that which demands high wooden volumes with different uses.

The objective of the work is to generalize inside the pitch of wooden species feasible of being used in the construction, some broad leaf species ones soft present in the Cuban forests, that which would allow to increase the readiness of this important constructive material.

The species selected are Sterculia apetala (Jacq.) Karst. (anacahuíta), Bursera simaruba (L.) Sargent (almácigo), Cecropia peltata L. (yagruma), Spondias monbin L. (jobo), Samanea saman (Jacq.) Merril. (domestic locust)

peltata L. (*yagruma*), *Spondias monbin* L. (*jobo*), *Samanea saman* (Jacq.) Merril. (*algarrobo del país*) y *Erythrina peoppigiana* (Walp.), A. F. Cook (*búcare*).

Se determinó la densidad normal al 12% de humedad de la madera. Igualmente la flexión estática se calcula utilizando la norma ISO 3133 con probetas de 2 x 2 cm de sección transversal y 30 cm de largo.

Los resultados permiten agrupar a las especies estudiadas en pino macho, grupo 1 (*almácigo*, *algarrobo del país* y *jobo*) y grupo 2 (*anacahuíta*, *yagruma* y *búcare*). Se define que por presentar las especies blandas menores valores de resistencia a flexión, se propone reducir el espacio entre todos los elementos componentes del encofrado, incluido los puntales, en un 66% para las especies consideradas en el grupo 2, y en un 50% para las del grupo 1.

Palabras claves: *encofrado*, *flexión estática*, *hormigón*

INTRODUCCIÓN

No obstante los disímiles materiales con idénticas o similares características utilizados por el hombre con diferentes objetivos, la madera sigue siendo de muy difícil sustitución en el ámbito constructivo.

Si bien es cierto que antes de 1990 Cuba importaba anualmente más de medio millón de metros cúbicos de madera aserrada para su empleo en las diferentes esferas de la economía nacional, principalmente las construcciones, la situación actual es otra, matizada en lo fundamental con las posibilidades de la selvicultura e industria nacional de servir a la economía del país, en lo fundamental mediante las plantaciones creadas después del triunfo revolucionario.

Actualmente la voluntad política y las necesidades de la población cubana exigen aumentar los niveles en la construcción de nuevas viviendas,

and *Erythrina peoppigiana* (Walp.), A. F. Cook (*búcare*).

The normal density was determined to 12% of humidity of the wood. Equally the static bending is calculated using the norm ISO 3133 with specimens of 2 x 2 cm of traverse section and 30 cm of long.

The obtained results allow to contain to the species studied in Pino Macho, group 1 (*almácigo*, *algarrobo* y *jobo*), group 2 (*anacahuíta*, *yagruma* and *búcare*). Is defined that the species softwood resistance drops in value to bending, is propoused to reduce the space among all the component elements of the timbering, included the props, in 66% for the species considered in the group 2, and in 50% for those of the group 1.

Keep words: *timbering*, *static bending*, *concrete*

así como la reparación de viejos inmuebles existentes a todo lo largo del país, para lo cual se dificulta enormemente el poder contar con los requeridos volúmenes de madera que les den respuesta.

Por otra parte, un proyectista, al concebir las soluciones generales de un proyecto, está preestableciendo la utilización de materiales, equipos de construcción, fuerza de trabajo y recursos en general de la nación. De hecho el proyectista «ordena» el empleo de estos recursos en la forma que su experiencia técnica lo indica. Sin embargo, no son solo estos los factores que deben ser considerados por el proyectista en la elaboración del proyecto, ya que la directiva de la economía enmarca e incide decididamente en las posibilidades de empleo de todos los recursos necesarios para la realización de las obras [Roque y col., 1977].

En este caso están un grupo de especies maderables blandas y semiduras nacionales, las cuales siempre se han utilizado localmente, pero que en su uso en las grandes obras que se ejecutan encuentran un gran rechazo, que le limitan posibilidades a la economía cubana de un material suplementario que pudiese facilitar la ejecución de las diferentes obras.

Otra definición importante de Roque y col. (1977) se refiere a que «este balance, de lo proyectado con las posibilidades de construcción, da por resultado la imposibilidad de la utilización de las soluciones generales adoptadas, teniendo el proyecto que realizar las alternativas necesarias de solución, hasta encontrar aquella que por sus características y recursos empleados esté acorde y armonice con la posibilidad de recursos de la etapa de desarrollo económico, en la cual se está realizando el proyecto».

Es importante hacer referencia a Griñán (1967) cuando expresa que es importante que el encofrado se adapte a los diversos tipos (de madera) que existen en el mercado para sus distintos usos. El objetivo del presente trabajo es generalizar dentro del diapasón de especies maderables factibles de ser utilizadas en la construcción, un grupo de especies de latifolias blandas y semiduras que se presentan en los bosques cubanos, lo cual permitiría aumentar las disponibilidades de este importante material constructivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las especies seleccionadas fueron *Sterculia apetala* (Jacq.) Karst.

(anacahuita), *Bursera simaruba* (L.) Sargent (almácigo), *Cecropia peltata* L. (yagruma), *Spondias monbin* L. (jobo), *Samanea saman* (Jacq.) Merril. (algarrobo del país) y *Erythrina peoppigiana* (Walp.), A. F. Cook (búcare). Se cuenta igualmente con las investigaciones realizadas a *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* (pino macho), especie maderable que se toma como patrón para la homologación de las especies blandas y semiduras en las construcciones.

Se determinó la densidad normal, es decir, peso (kg) entre volumen (m^3) con un 12% de humedad de la madera. Igualmente la flexión estática se calcula utilizando la norma ISO 3133 con probetas de 2 x 2 cm de sección transversal y 30 cm de largo.

Según el Micons (1979) Peurifoy (1967), para el diseño de los encofrados de madera los elementos de cálculo que determinan las dimensiones y distribución de los componentes son el módulo de elasticidad (E), del cual dependen las deformaciones a flexión, y la tensión de trabajo admisible a flexión (R_f^*), que limita los momentos de carga que resisten los elementos.

En resumen, diseñando los elementos a flexión de un encofrado, los parámetros determinantes en el uso de las diferentes secciones son el módulo de elasticidad y la tensión admisible a flexión (R_f^*).

Para los puntales, el parámetro determinante es en primer lugar el módulo de elasticidad, y en segundo lugar la resistencia de trabajo a compresión paralela a las fibras (R_{cpa}^*).

Para la homologación que se ha de realizar en encofrados se cuenta con los módulos de elasticidad (E) y la resistencia a la compresión paralela a la fibra (R_{cpa}) de todas las especies. No sucede así con la tensión de trabajo admisible a flexión con el esfuerzo paralelo a la fibra (R_f^*), del cual solo se cuenta con diferentes valores propuestos para el pino macho en la literatura consultada [Micons, 1979; Peurifoy, 1967; Sequeiro, 1984; Información Técnica, 1971].

Se calcula para el pino macho un coeficiente de correlación (K_{cf}^*) entre los valores R_f^* y el módulo de ruptura a flexión estática (R_{rfe}^*), mediante la fórmula:

$$K_{cf}^* = \frac{R_f^*}{R_{rfe}^*}$$

Con el valor del coeficiente de correlación obtenido, y el valor del módulo de ruptura a flexión estática (R_{rfe}^*) de cada especie semidura y blanda, se obtienen los valores de R_f^* . Posteriormente se definen los criterios de homologación, realizándose el resto de los cálculos de la forma siguiente.

Elementos a flexión

Se parte de la determinación del coeficiente de reducción de longitud K_{RL} que afecta en todos los casos la distancia entre los diferentes componentes de encofrados a flexión que se utilizan para el caso de pino macho. Esta es la especie maderable que se toma como referencia debido a que los encofradores tienen hábito de empleo.

El cálculo de los coeficientes de reducción que se expone trata el caso

de los elementos a flexión y la definición por tensiones máximas admisibles entre dos apoyos (G) de sección cuadrada o rectangular, hasta obtener el valor del coeficiente de reducción de longitud por tensiones admisibles para las especies blandas y semiduras, el cual se determinará según la expresión:

$$K_{RL}^{TA} = \sqrt{\frac{R_{feb}^*}{R_{fpm}^*}} \quad [1]$$

donde:

K_{RL}^{TA} : Coeficiente de reducción de longitud

R_f^* : Trabajo admisible a flexión en el esfuerzo paralelo a la fibra

El procedimiento matemático para el cálculo de este coeficiente de reducción (K_{RL}^{TA}) es complejo, y no viene al caso explicarlo al detalle, solo definir que en su realización se utiliza como elementos esenciales la ecuación clásica de resistencia de materiales de tensiones máximas producidas por flexión, la ecuación de la longitud equivalente para uso de especies blandas o semiduras por criterio de tensiones admisibles, y los valores de tensiones máximas producidas por flexión (G) de 90 kg/cm² para el pino macho y el calculado para las especies blandas y semiduras. Posteriormente se determina el valor del coeficiente de reducción por deformaciones admisibles.

En la definición de las deformaciones admisibles se parte de la ecuación para la determinación de las deformaciones máximas para elementos a flexión entre dos apoyos (f) que viene dada por la expresión:

$$f = \frac{KWL^4}{Eb h^3} \quad [2]$$

donde:

K : Coeficiente numérico que depende del caso de carga

W : Valor de la carga distribuida sobre el elemento

L : Distancia entre apoyos del elemento

E : Módulo de elasticidad

b : Ancho de la sección

h : Altura de la sección

El valor de la flecha máxima admisible f se establece por la expresión:

$$f = \frac{L}{270} \quad [3]$$

El valor de f es similar tanto para encofrados de especies blandas o semiduras como para los elaborados con pino macho, y considerando los subíndices pm para el pino macho y eb para las especies blandas o semiduras, se plantea que:

$$\frac{KWL_{pm}^4}{E_{pm}bh^3} = \frac{KWL_{eb}^4}{E_{eb}bh^3} \quad [4]$$

Como K , W , b y d tienen los mismos valores para todas las maderas, se eliminan, y la expresión anterior se simplifica quedando:

$$L_{eb} = L_{pm}^4 \sqrt{\frac{E_{eb}}{E_{pm}}} \quad [5]$$

Despejando el valor L_{eb} :

$$L_{eb} = L_{pm}^4 \sqrt{\frac{E_{eb}}{E_{pm}}} \quad [6]$$

Planteando que el coeficiente de reducción de longitud (K_{RL}^{DA}) es igual a:

$$K_{RL}^{DA} = \sqrt{\frac{E_{eb}}{E_{pm}}} \quad [7]$$

donde la variable E es conocida,

entonces se obtiene que:

$$L_{eb} = L_{pm} K_{RL}^{DA} \quad [8]$$

Elementos a compresión

Al igual que para los elementos a flexión, se requiere la definición de un coeficiente de reducción de distancia entre apoyos K_{RD} que afecte en todos los casos la distancia entre los puntales, muletas o acodalamientos que se utilizaría en el caso del pino macho.

Este coeficiente se obtendrá del cálculo de las tensiones máximas admisibles para las especies blandas y semiduras en comparación con el pino macho.

Para el caso de elementos a compresión (puntales y acodalamientos), los cálculos para la definición de un coeficiente de reducción de distancia entre apoyos se parte de la ecuación del esfuerzo admisible a compresión (P_{adm}), tomado del Micons (1979) y Peurifoy (1967) para el caso más desfavorable, que es el elementos con esbeltez geométrica superior a $\frac{d}{h} = 21$.

$$P_{adm} = \frac{0,274 bd^3 E}{h^2} \quad [9]$$

donde:

h : Altura del puntal

b : Mayor dimensión de la sección transversal

Como el esfuerzo actuante (P_{act}) es proporcional a la distancia entre los elementos, y partiendo que el esfuerzo actuante sea igual al admisible, se plantea la expresión:

$$P_{adm} = P_{act} = WD \quad [10]$$

donde:

D : Distancia entre puntales

Sustituyendo [10] en [9] se obtiene:

$$WD = \frac{0,274bd^3 E}{h^2} \quad [11]$$

Despejando los valores de las variables se determina la expresión:

$$\frac{D}{E} = \frac{0,274bd^3}{Wh^2} \quad [12]$$

Partiendo del caso de sustitución del pino macho por especies blandas y semiduras con elementos de igual sección geométrica y cargas similares, y utilizando los subíndices pm para pino macho, y eb para especies blandas y semiduras, se puede plantear:

$$\frac{D_{pm}}{E_{pm}} = \frac{D_{eb}}{E_{eb}} = \frac{0,27bd^3}{Wh^2} \quad [13]$$

lo que equivale a:

$$[14]$$

Despejando D_{eb} se obtiene que:

$$D_{eb} = \frac{E_{eb}}{E_{pm}} D_{pm} \quad [15]$$

Se plantea definir el coeficiente de reducción de la distancia de apoyo (K_{rd}), mediante la ecuación:

$$K_{rd} = \frac{E_{eb}}{E_{pm}} \quad [16]$$

Entonces, sustituyendo en [15] el valor de K_{rd} en [16] se obtiene la expresión:

$$D_{eb} = K_{RD} D_{pm} \quad [17]$$

Para ambos casos

No resulta conveniente la obtención de un coeficiente de reducción K_{RL} o K_{RD} diferente para cada especie, pues ello haría engorrosa su aplicación debido a la diversidad de variedades que equivaldría a varios coeficientes, y por lo difícil de la clasificación para el personal no especializado en las construcciones. Puede además también ocurrir la mezcla en obra de distintas especies de madera.

Por esto, para la obtención de los coeficientes de reducción K_{RL} y K_{RD} se utilizarán los valores más bajos de R_f^* y E de las especies consideradas en el estudio, y ello equivaldría además a una reserva de seguridad adicional para las especies con valores superiores a los mínimos.

RESULTADOS

A partir de los estudios realizados por el Instituto de Investigaciones Forestales del Ministerio de la Agricultura, en la *Tabla 1* se expresan los valores obtenidos para algunas propiedades de resistencia.

TABLA 1**Valor de las propiedades mecánicas determinadas para las especies maderables**

Tipo de madera (nombre común)	Densidad seca al aire (kg/m ³)	Resistencia dentro del límite elástico (kg/cm ²)		Modelo de ruptura a flexión estática (R ^{*_{fe}}) (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad (kg/cm ³)
		Compresión paralela a la fibra (R ^{*_{cpa}})	Compresión perpendicular a la fibra (R ^{*_{cpe}})		
Pino macho	767	674	166	1415	112 500
Almácigo	340	154	31,9	620	70 000
Anacahuita	400	259	23	416	60 000
Yagruma	680	247	45	507	65 000
Algarrobo del país	551	408	89	703	80 000
Jobo	570	319	81	674	63 000
Búcare	316	177	213	347	55 000

En el pino macho se dispone además del dato de tensión de trabajo admisible a flexión y a compresión paralela a las fibras (R_{fpa}^* y R_{cpa}^*), según diferentes fuentes.

Para la homologación se cuenta con los módulos de elasticidad y la resistencia a compresión paralela a las

fibras de todas las especies (Tabla 1). No sucede así con el valor de la tensión de trabajo admisible a flexión con el esfuerzo paralelo a la fibra (R_f^*), del cual solo se cuenta con diferentes valores propuestos para el pino macho en la literatura consultada [Micons, 1979; Peurifoy, 1967; Sequeiro, 1984; Información Técnica, 1971].

Fuente	R_f^*	R_{cpa}^*
Micons [1979] y Peurifoy [1967]	125 kg/cm ²	100 kg/cm ²
Sequeira [1984]	90 kg/cm ²	50 kg/cm ²
Información Técnica [1971]	90 kg/cm ²	50 kg/cm ²

Dado que este valor resulta también necesario para el cálculo de homologación de las especies blandas, se utiliza para su obtención el siguiente procedimiento:

1. Basado en los datos disponibles para el pino macho se obtiene un coeficiente de correlación (K_{cf}^*) entre los valores R_f^* y R_{rfe} . De los

cuatro valores disponibles se seleccionan los dados por Sequeira (1984) e Información Técnica (1971), que resultan los más conservadores y ofrecen, por tanto, mayor seguridad.

$$K_{cf}^* = \frac{90}{1415} = 0,064$$

2. Basado en el coeficiente de correlación obtenido se determina el valor de R_f^* por utilizar para las especies blandas y semiduras. La posible inexactitud del procedimiento propuesto resulta con una elevada reserva de seguridad, pues los valores calculados no sobrepasan el 6,4% del valor R_{rfe} de cada especie. Entonces los valores de R_f^* se obtienen por la siguiente expresión:

$$R_f^* = K_{cf}^* \times R_{rfe}$$

A partir de la expresión anterior, en la *Tabla 2* se reflejan los valores de R_f^* (kg/cm²). Estos resultados permiten definir un agrupamiento de las especies maderables. De esta forma se establece un grupo 1 constituido por las especies almácigo, jobo y algarrobo del país, y un grupo 2 formado por las especies búcare, anacahuita y yagruma.

TABLA 2
Valores de R_f^* calculados para cada una de las especies

<i>Especie</i>	<i>Valor de R_f^* (kg/cm²)</i>
Almácigo	39,4
Anacahuita	26,5
Yagruma	32,2
Algarrobo del país	44,7
Jobo	42,0
Búcare	22,1

Es muy importante definir las consideraciones sobre las que se basa el criterio de homologación seleccionado, las cuales se relacionan a continuación:

- El resultado de este trabajo pretende ofrecer criterios simples para el empleo de las especies de maderas incluidas en los grupos 1 y 2 en los trabajos de encofrado. Entiéndase de forma masiva, tomando en cuenta que en diferentes zonas del país muchas de estas especies se utilizan sin mayores dificultades.
- Los resultados no implican la anulación de la metodología de cálculo

establecida en el diseño de encofrados, la cual es imprescindible utilizarla en los encofrados de envergadura o con implicaciones de riesgo, incertidumbre o peligrosidad.

- Generalmente en las construcciones el diseño y elaboración de los encofrados es realizado por carpinteros especializados que no dominan la metodología de cálculo y aplican solo sus criterios de experiencia. A ellos van dirigidos los resultados de este estudio a los efectos de brindar recomendaciones muy simples que permitan la utilización de las especies consideradas en el estudio.

- En la definición del criterio de homologación se tiene como orientación determinar coeficientes de reducción del espaciamiento entre los elementos de soporte, cierre y rigidización, tales como viguetas, largueros, cepos, carretas, montantes, costillas, puntales y muletas, de manera de que en forma muy simple el personal que diseña y ejecuta los trabajos de encofrado pueda introducir las especies blandas y semiduras en condiciones de igual o mayor capacidad, resistencia o rigidez que en el caso de uso del pino macho. Este criterio resulta de más fácil aplicación y reporta más economía de madera.

Resultados para elementos a flexión

El valor del coeficiente de reducción de longitud por tensiones admisibles (K_{RL}^{FL}) para las especies del grupo 1 y 2 se determina por la expresión [1] reflejada en la metodología. A partir de esta fórmula el valor del coeficiente para las diferentes especies se refleja en la *Tabla 3*.

Los resultados corroboran la clasificación en grupos 1 y 2 propuesto a partir de la *Tabla 2*.

Posteriormente se calcula el coeficiente de reducción de longitud por deformaciones admisibles (K_{RL}^{DA}) para cada una de las especies, seleccionando el valor más bajo del módulo de elasticidad determinado para el búcare. La forma de cálculo es mediante la expresión [8]. De esta forma:

$$K_{RL}^{DA} = \sqrt{\frac{55000}{112500}} = 0,84$$

De los coeficientes de reducción obtenidos, los valores por tensiones admisibles para las diferentes especies oscilan entre 0,5 y 0,7 (*Tabla 3*); sin embargo, el menor valor calculado por deformaciones admisibles resulta de 0,84. De esto se concluye que la necesaria reducción de las distancias entre apoyos y elementos de cierre para los elementos a flexión admisibles son los valores entre 0,5 y 0,7 de las dimensiones utilizadas para el pino macho.

El establecimiento de un coeficiente de reducción diferente para cada tipo de especie resulta muy engorroso por las posibilidades de confusión. Por ello se recomienda establecer un coeficiente de reducción único para todas las especies del grupo 2 ($K_{RL} = 0,5$) y un coeficiente único, $K_{RL} = 0,66$, para las especies del grupo 1 (valores mínimos de cada grupo tomados de la *Tabla 3*).

Resultados para los elementos a compresión

Aplicando la ecuación [16] se obtiene el valor de K_{RD} para las diferentes especies, resultados que se reflejan en la *Tabla 4*.

Dado que los valores de la tabla son cercanos entre sí, y que además muy próximos a los obtenidos para los coeficientes de reducción por flexión, se propone la utilización de un coeficiente de reducción de distancia entre apoyos K_{RD} con valor de 0,5 para todas las especies del grupo 2 y un coeficiente $K_{DR} = 0,66$ para todas las especies del grupo 1, similares a los determinados para los elementos a flexión.

TABLA 4
Valor de K_{rd} para las diferentes especies

<i>Especie</i>	<i>(K_{rd})</i>
Almácigo	0,62
Anacahuita	0,53
Yagruma	0,58
Algarrobo del país	0,71
Jobo	0,56
Búcare	0,49

No obstante, la necesidad de realizar investigaciones tendientes a darles un mayor uso a las maderas tradicionales o no empleadas en encofrados, también se debe valorar lo que representa para la economía cubana la utilización en encofrados de la madera aserrada de primera calidad, ya que los valores de las tensiones admisibles utilizadas en los cálculos en algunos casos difieren hasta en quince veces a las tensiones de ruptura, lo cual sin lugar a dudas permiten obtener valores del coeficiente de reducción no tan bajos como los obtenidos en el presente estudio.

Vignote (2006) particulariza que en el sistema de clasificación para el pino gallego en Galicia existen cuatro calidades de madera aserrada: limpia, semilimpia o especial, corriente y encofrado. En esta última categoría señala que se admite cualquier tipo de defecto, aunque una cara debe estar libre de gema. Este mismo autor, al referirse a los sistemas de clasificación de la madera aserrada de coníferas en Suecia y Finlandia, hace referencia a la exis-

tencia de siete calidades. La dos últimas categorías de madera, VI y VII, son las que se recomiendan para encofrados.

CONCLUSIONES

- La utilización de maderas no tradicionales en la construcción de encofrados basada en criterios prácticos de reducción de distancias entre elementos constructivos, en comparación a las utilizadas en la práctica para el pino macho, implica que para las especies del grupo 1 (búcare, anacahuita y yagruma) se debe reducir al 50% la distancia entre todos los elementos componentes del encofrado, incluido puntales, y para las especies consideradas en el grupo 2 (almácigo, jobo y algarrobo del país), al 66%.
- Este criterio de uso práctico aumentaría solamente los volúmenes de los elementos de carga, cierre, rigidización y apuntalamiento, pero no al entablado (tableros).
- Dado que los elementos afectados constituyen hasta un 40% del vo-

lumen de la madera consumida en encofrados, la aplicación del coeficiente de reducción duplicaría el volumen de madera por utilizar en ellos y elevaría hasta en un 40% el volumen total de madera que ha de utilizarse en los encofrados en los usos de especies del grupo 2, y en un 21% en los usos de madera del grupo 1.

- Es importante reiterar que esta propuesta elaborada con fines prácticos no propone la eliminación a la sustitución del cálculo de encofrados como método de diseño, que debe ser aplicado siempre en encofrados de envergadura, o en todo caso que ofrezca dudas en cuanto a su comportamiento estructural.
- Como se ha visto en los cálculos realizados, los valores reales de resistencia de la madera sobrepasan significativamente los valores utilizados en los cálculos, cuestión que justifica la realización de in-

vestigaciones que puedan poner a la madera de especies nativas en su justo lugar, cuestión que sin duda permitirá reducir los volúmenes por utilizar significativamente.

BIBLIOGRAFÍA

- GRINÁN, JOSÉ: *Encofrados*, monografías sobre construcción y arquitectura, Ediciones CEAC, Barcelona, 1967, pp. 19, 20, 27.
- INFORMACIÓN TÉCNICA: *Construcción industrial*, t. 1, La Habana, 1971.
- VIGNOTE, S.; I. MARTÍNEZ: *Tecnología de la madera*, Ediciones Mundi-Prensa, Barcelona, 2006, pp. 218-239.
- «Manual de cálculo y diseño de encofrados de madera», no. 2, Ecoind, Micons, La Habana, 1979.
- PEURIFOY, R.: *Encofrados para estructuras de hormigón*, Edic. Española, 1967.
- ROQUE, ROLANDO Y COLS.: «Cálculo y diseño de encofrados de madera», ECOI no. 2, Micons, La Habana, 1977, pp. 8-10.
- SEQUEIRO, JOSÉ: *Temas sobre materiales de construcción*, Ed. Pueblo y Educación, La Habana, 1984.