

EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL MÉTODO DISEÑO DE LOS ESTADOS LIMITES (LSD) PARA ESTRUCTURAS DE MADERAS (CAPÍTULO II)

Ermin Escala¹, Edward Thomson² y Wilver Contreras³

Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, ¹Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado (CEFAP-ULA), ²Facultad de Ingeniería Civil (FIC), ³Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF), Sección de Investigación y Desarrollo de la Vivienda y el Mueble (SIDEVIM-LNPF), Mérida-Venezuela. Email: ethomson@telcel.net.ve / wilver_c@hotmail.com

RESUMEN

La filosofía del método de cálculo estructural de madera del *diseño por estados límites (LSD)* empleado actualmente en el Brasil, Nueva Zelanda, Canadá y buena parte de los países europeos, ó el método similar al anterior de los Estados Unidos denominado *diseño por factores de resistencia y carga (LRFD)* ó *método de diseño de los esfuerzos últimos (USD)* descrito en el Capítulo I publicado en la *Revista Forestal Venezolana* 44(1)2000, 27 – 35, los cuales son aplicados en el presente artículo a dos casos prácticos de elementos estructurales de madera: uno a solicitaciones de flexión y otro a tensión. Paralelamente se realizan los cálculos en ambos casos utilizando el método de diseño tradicional (ASD ó WSD) expuesto en el manual de diseño de la Junta del Acuerdo de Cartagena de 1989, y luego por el método de esfuerzos últimos, con el objeto de comparar ambos procedimientos. Como norma principal se consideró el Proyecto de Estructuras de Maderas de la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT, 1996); pero también se hace una breve mención de otras normas como el Eurocódigo 5 y la norteamericana de la American Society of Civil Engineers (ASCE, 1995) para estructuras de maderas.

Palabras clave: Métodos de diseño, estructuras de madera, normas, Eurocódigo 5, estados límites (LSD), esfuerzos admisibles (WSD).

ABSTRACT

The philosophy for the structural design method for timber known as Limit States Design (LSD), which is used presently in Brazil, New Zealand, Canada and many European countries, or the similar method used in the United States called Load and Resistance Factor Design (LRFD) or Ultimate States Design (USD), which are described in Chapter I, published in the *Revista Forestal Venezolana* 44(1)2000, is applied in this paper to two practical cases of structural design of timber elements: one subjected to flexure and another subjected to axial tension. As a comparison, calculations are also developed using the traditional design method (ASD or WSD) exposed in the design manual of the Junta del Acuerdo de Cartagena, of 1985. The main Building Code used was the Project of Timber Structures by the Brazilian Association of Technical Codes (ABNT, 1996); however, a brief mention is made of other Codes like the Eurocode 5 and the North-American code for timber structures from the American Society of Civil Engineers (ASCE, 1995).

Key words: design methods, timber structures, codes, Eurocode 5, limit states design (LSD), working stress design (WSD).

INTRODUCCIÓN

Venezuela se ha visto muy disminuida en los últimos años en el ámbito de la investigación respecto al campo del diseño y cálculo estructural con madera, producto de no tener establecida en la cultura constructiva nacional el uso de productos forestales para la solución de sus apremiantes necesidades espaciales. Pero muy especialmente a la madera de los bosques naturales y de plantación como componente fundamental en la elaboración de estructuras de edificaciones, a pesar que en el presente existe un repunte del uso de la madera en rolas dentro de la concepción muy en boga de las

tecnologías constructivas alternativas y el sincretismo de los materiales.

Ese contexto repercutió de forma significativa a que no se profundizaran las líneas de investigación en las aplicación de normas y métodos de cálculo con maderas venezolanas acordes con los adelantos científicos y tecnológicos de los países desarrollados y con tradición en el empleo de los productos forestales. Esta realidad en nuestro país es opuesta respecto a los materiales tradicionales de la arquitectura moderna como el acero, hierro y concreto.

Por tales razones es que se considera importante hacer una primera aproximación a forma de introducción y resumida del estado de la técnica respecto a los conceptos que rigen la metodología del cálculo estructural con madera a partir de las experiencias foráneas más recientes, pero correlacionándolas en la medida de lo posible a nuestros propios requerimientos, los cuales son muy particulares desde el punto de vista de las propiedades anatómicas y físico-mecánicas de los aún vastos recursos forestales con los cuales Venezuela cuenta en la actualidad.

El objetivo del trabajo es la aplicación práctica de los conceptos básicos del *diseño de estados límites (LSD)* para el diseño de estructuras y edificaciones con maderas, y compararlos con el método tradicional de cálculo empleado en Venezuela de *los esfuerzos admisibles (ASD) ó de trabajo (WSD)* expuesto en el Manual de Diseño de JUNAC (1989).

MATERIALES Y MÉTODOS

Siguiendo la misma metodología expuesta en el Capítulo I, se empleó un proceso metodológico basado fundamentalmente en la realización de una exhaustiva revisión bibliográfica, procediéndose luego a la evaluación, discusión y análisis de cada uno de los tópicos que se consideran en materia del cálculo estructural con madera. Una vez comparados ambos métodos LSD y WSD, se procedió a la realización de los distintos pasos requeridos para los cálculos estructurales con madera, su respectiva comparación y discusión, así como las debidas recomendaciones técnicas que deben considerar los profesionales de la ingeniería civil al momento de su ejecución.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

I. Dimensionamiento estructural con maderas venezolanas, empleando el diseño de estados límites (LSD)

Los esfuerzos actuantes en las piezas estructurales de madera deben ser calculados de acuerdo con los principios de la estática de las construcciones, admitiéndose en general la hipótesis del comportamiento elástico de los materiales (ABNT, 1996).

De acuerdo también con la ABNT, 1996 los esfuerzos resistentes de las piezas estructurales de

madera en general deben ser determinados con la hipótesis elasto-frágil del material, esto es, con un diagrama tensión deformación lineal antes de la rotura tanto en compresión como en tracción paralela a las fibras (Figura 1).

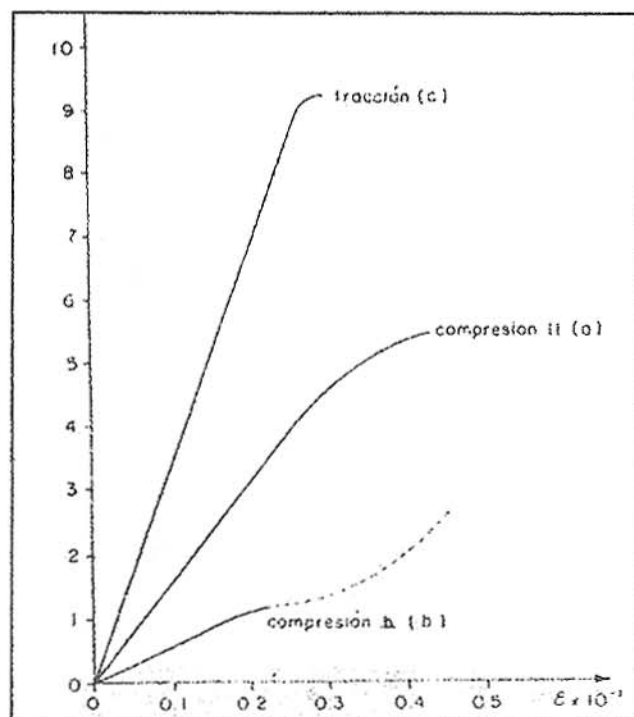


Figura 1. Diagrama tensión-deformación en tracción y compresión paralela a las fibras.

Entre las sollicitaciones normales tenemos:

- a. *Tensión*: en las barras tensionadas axialmente la condición de seguridad es expresada por:

$$\sigma_{td} \leq f_{td}$$

donde s_{td} es el esfuerzo en tracción producidos por las cargas y f_{td} es el esfuerzo resistente en tracción.

- b. *Compresión*: en las barras cortas comprimidas axialmente la condición de seguridad es expresada por:

$$\sigma_{tc} \leq f_{tc}$$

donde s_{tc} es el esfuerzo en compresión producidos por las cargas y f_{tc} es el esfuerzo resistente en compresión.

- c. *Flexión simple*: en las barras sometidas a flexión la condición de seguridad es expresada por:

$$\sigma_{tc} \leq f_{tc}$$

donde s_{bd} es el esfuerzo en flexión producidos por las cargas y f_{bd} es el esfuerzo resistente en flexión.

I.1. Ejemplo práctico, caso A:

Diseñar las dimensiones de las viguetas de madera maciza de 4 metros de luz, sometidas a una carga permanente de 52Kg/m² (incluyendo el peso propio), una sobrecarga de uso de 200Kg/m² considerada de mediana duración y una sobrecarga de tabaquería de 100 Kg/m² de duración permanente. Se utiliza madera de Algarrobo (*Hymenaea courbaril*), la condición del contenido de humedad de servicio es aproximadamente de 15%. La separación entre viguetas es de 40cm.

I.1.1. Diseño y cálculo por el método de esfuerzos admisibles (ASD) según el manual de diseño de JUNAC (1989):

PASO 1

Análisis de carga:

Carga muerta (permanente) 52 Kg/m²

Cargas vivas

Sobrecarga de uso 200 Kg/m²

Sobrecarga permanente 100 Kg/m²

Total cargas 352 Kg/m²

Por lo tanto la carga distribuida por metro lineal (w) es igual a:

$$w = 352 \text{ Kg/m}^2 * 0.40 \text{ m} = 140.8 \text{ Kg/m}$$

PASO 2

Tipo de madera: se usa madera de algarrobo cuya densidad al 12% de contenido de humedad es igual a 0,981 g/cm³ de acuerdo con el Estudio Tecnológico de 144 maderas de la Guayana Venezolana, 1969; y por lo tanto pertenece al grupo A, tabla N° 1 de los Esfuerzos de Diseño para Maderas venezolanas (Centeno, 1983).

PASO 3

Esfuerzos de diseño

De la tabla N° 1 de los Esfuerzos de Diseño para Maderas venezolanas (Centeno, 1983) tenemos que los esfuerzos admisibles y módulo de elasticidad para las maderas del grupo A son:

Flexión (fm) 200 Kg/cm²

Cizallamiento (fv) 15 Kg/cm²

Módulo de Elasticidad (E_{prom.}) 140.000 Kg/cm²

Módulo de Elasticidad (E_{0,05}) 110.000 Kg/cm²

PASO 4

Efectos máximos: máximo momento flector M y máxima fuerza cortante V. Del diagrama N° 7 (viga simplemente apoyada carga uniformemente distribuida) del manual de diseño del JUNAC (1989), tenemos:

$$M_{max} = \frac{WL^2}{8} = \frac{140,8 * 4^2}{8} = 281,6 \text{ kg} * \text{m} = 28160 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$V_{max} = \frac{WL}{2} = \frac{140,8 * 4}{2} = 281,6 \text{ kg}$$

PASO 5

Determinación del módulo de sección requerido.

a) Flexión

$$F_m \leq fm : \text{donde } F_m = \frac{M_{max}}{S} \text{ y } S = \frac{bh^2}{6} ;$$

(S= módulo de sección)

$$F = \frac{M_{max}}{F_m} = \frac{28160}{200} = 140,8 \text{ cm}^3 ; \text{ tal que:}$$

Para un b = 4cm, tenemos:

$$h = \sqrt{\frac{6 * S}{b}} = \sqrt{\frac{6 * 140,8}{4}} = 14,53 \text{ cm}$$

Se debe usar una sección de 4 x 15 cm.

b. Cizallamiento o corte:

$$F_v \leq f_v$$

$$F_v = \frac{3 * V_{max}}{2 * A} = \frac{3 * 281,6}{2 * 5 * 15} = 5,63 \text{ kg/cm}^2 < 15 \text{ kg/cm}^2;$$

La sección es adecuada.

c) *Chequeo por deflexión:*

Por ser nuestras maderas de bosque natural muy elásticas, a pesar de sus altas densidades, y que al ser sometidas a cargas constantes una vez acondicionadas y puestas en servicio, las mismas producen deflexiones en el tiempo si no son consideradas al momento del cálculo estructural. Las mismas pueden ocasionar desde riesgos de colapso en la estructura y dificultades constructivas producto

de la inestabilidad dimensional en los componentes constructivos que conforman la edificación, especialmente en cielos razos y cerramientos, lo cual acarrea problemas de inseguridad en los que habitan la edificación, devaluación de su edificación al momento de venderla y finalmente la imposibilidad de realizar una hipoteca bancaria a cambio de un préstamo en una entidad bancaria.

Por tales circunstancias es fundamental el chequeo por deformación diferida ó en el tiempo y que en el presente artículo no se realizó por considerar que esta muy bien explicada en su capítulo correspondiente del JUNAC (1989).

I.2. *Cálculo estructural empleando el método de diseño de estados límites (LSD), según el proyecto de estructuras de maderas de la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT, 1996), Eurocódigo N° 5 y la norma ASCE (1995):*

PASO 1

Análisis de cargas:

Cargas muertas (permanentes) W_p .

$$W_p = (52 + 100) \text{Kg/m}^2 * 0,4\text{m} = 60,8 \text{ Kg/m}$$

Carga viva W_v (mediana duración).

$$W_v = 200 \text{ Kg/m}^2 * 0,4\text{m} = 80 \text{Kg/m}$$

PASO 2

Combinación de acciones: se consideran combinaciones últimas normales, las cuales de acuerdo con el proyecto de Estructuras de Madera de Brasil (ABNT, 1996) vienen dadas por:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_g F_{g,i,k} + \gamma_q \left[F_{g,i,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{oj} F_{q,j,k} \right]$$

donde:

$F_d = U =$ solicitación última.

$F_g = W_p =$ carga muerta.

$F_q = W_v =$ carga viva.

γ_g y $\gamma_q =$ factores de combinación dados en las tablas 5,6 y 7 del capítulo I de este mismo paper.

Para el caso particular de este ejemplo resultarían las siguientes combinaciones:

Combinación 1.

$$U = 1,4W_p = 1,4 * 60,8 = 85,12 \text{ Kg/m}$$

Combinación 2.

$$U = 1,3W_p + 1,4W_v = 1,3 * 60,8 + 1,4 * 80 = 191,04 \text{ Kg/m}$$

Para los efectos de diseño y cálculo consideramos la combinación más desfavorable, en este caso es la combinación 2.

PASO 3

Resistencia de cálculo de la madera.

a) Se usa madera de Algarrobo (*Hymenaea courbaril*), que de acuerdo con los Esfuerzos de Diseño para maderas Venezolanas (Centeno, 1983) corresponde al grupo A y presenta los siguientes valores característicos:

Flexión (fb)	470 Kg/cm ²
Corte o Cizallamiento	.65 Kg/cm ²
Módulo de Elasticidad (promedio)	140.000Kg/cm ²
Módulo de Elasticidad (5 ^{to} percentil)	110.000Kg/cm ²

b) Valor de cálculo X_d .

$$X_d = K_{\text{mod}} * \frac{X_k}{\gamma_w}$$

De acuerdo con el Proyecto de Estructuras de Madera (ABMT, 1996) tenemos que:

$$K_{\text{mod}1} = 0,8 ; K_{\text{mod}2} = 1,0 ; K_{\text{mod}3} = 1,0$$

$$K_{\text{mod}} = K_{\text{mod}1} * K_{\text{mod}2} * K_{\text{mod}3} = 0,8 * 1,0 * 1,0 = 0,8$$

El coeficiente parcial de seguridad (g_w) para las combinaciones fundamentales o normales para los estados límites últimos es 1,3 (AITIM, 1996).

$$f_{b,d} = 0,8 * \frac{470}{1,3} = 289,23 \text{kg/cm}^2$$

$$f_{v,d} = 0,8 * \frac{65}{1,3} = 40 \text{kg/cm}^2$$

PASO 4

Esfuerzos combinados (máximo momento flector y máxima fuerza cortante)

$$M_{\max} = \frac{U * L^2}{8} = \frac{191,04 * 4^2}{8} = 382,08 \text{ kg} * \text{m} = 38208 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$V_{\max} = \frac{U * L}{2} = \frac{191,04 * 4}{2} = 382,08 \text{ kg}$$

PASO 5

Determinaron del módulo de sección (S) requerido:

a) Flexión:

$$\sigma_{bd} \leq f_{bd}; \text{ donde } f_{bd} = \frac{M_{\max}}{S} = S = \frac{M_{\max}}{f_{bd}} = \frac{38208}{289,23} = 132,1 \text{ cm}^3$$

Para un b = 4cm, tenemos:

$$h = \sqrt{\frac{6 * 132,1}{4}} = 14,07 \text{ cm}$$

lo que significa que una sección de 4 x 15 cm es adecuada.

b) Corte:

$$\sigma_{vd} \leq f_{vd}; \text{ donde } \sigma_{vd} = \frac{3}{2} * \frac{V_{\max}}{bh} = \frac{3}{2} * \frac{382,08}{5 * 15} = 7,64 \text{ kg/cm}^2 < 40 \text{ kg/cm}^2$$

la sección de 4 x 15 cm es adecuada.

Comparando los módulos de sección requeridos (S) en cada uno de los métodos de diseños (LRFD y ASD), se observa que utilizando LRFD se requiere un módulo de sección 6% más bajo que el módulo de sección requerido por ASD. Pero debido a esa diferencia tan pequeña la sección final de la viga es idéntica usando cualquiera de los dos procedimientos.

Pollock y Williamson (1994), presentaron una comparación de ASD y LRFD para un elemento de madera sometido a compresión simple indicando que las dimensiones de la sección transversal requeridas para columnas en LRFD son equivalentes ó ligeramente más grandes que las dimensiones de la sección transversal para columnas cargadas idénticamente en ASD.

II. 1. Ejemplo práctico, caso B:

Se comparan los métodos LRFD y ASD considerando un elemento de madera del grupo estructural A, con un contenido de humedad de 15% aproximadamente, el cual es sometido a esfuerzos de tracción. Los

cálculos para LRFD son realizados tomando en cuenta los factores de resistencia de la norma brasileña, la norma española y de la norteamericana ASCE (1995), para estructuras de madera.

I) Método de esfuerzos admisibles (ASD)

De acuerdo con los Esfuerzos de Diseño para Maderas Venezolanas (Centeno, 1983), el esfuerzo de diseño para tracción paralela a la fibras (F_t) para el grupo A es igual a 140 kg/cm².

Para elementos en tracción se deberá cumplir la siguiente condición:

$$\sigma_t \leq F_t; \text{ donde } \sigma_t = \frac{N}{A}; \text{ siendo } N = \text{carga axial y}$$

A = área de la sección de elemento.

$$\text{Tal que: } A_{ASD} = \frac{N}{A} = \frac{N}{140}; \text{ donde } N = CM + CV$$

II) Método de los estados límites (LRFD)

De acuerdo con los Esfuerzos de Diseño para Maderas Venezolanas (Centeno, 1983), el valor característico para tracción paralela a las fibras ($F_{t,k}$) para el grupo A es igual a 325 kg/cm².

El valor de cálculo ($F_{t,d}$) viene dado por:

$$F_{t,d} = K_{\text{mod}} * \frac{F_{t,k}}{\gamma_w}; \text{ donde } K_{\text{mod}} = 0,8 \text{ y } \gamma_w = 1,8 \text{ (ANBT, 1996)}$$

$$F_{t,d} = 0,8 * \frac{325}{1,8} = 144,44 \text{ kg/cm}^2$$

Para el caso de la norma española se considera un $\gamma_w = 1,3$ (AITIM, 1996), obteniendo el siguiente valor de cálculo:

$$F_{t,d} = 0,8 * \frac{325}{1,3} = 200 \text{ kg/cm}^2$$

Por su parte el factor de resistencia para esfuerzos de tensión (f) según la ASCE de 1995 es de 0,8 y un factor de duración de carga (l) de 0,6; que arroja el siguiente valor de cálculo:

$$F_{t,d} = \lambda * \phi * 325$$

$$F_{t,d} = 0,8 * 0,6 * 325 = 156 \text{ kg/cm}^2$$

Para elementos en tracción se deberá cumplir la siguiente condición:

$$\sigma_{t,d} \leq F_{t,d}; \text{ donde } \sigma_{t,d} = \frac{N_u}{A}; \text{ siendo } N_u = \text{carga axial y}$$

A= área de la sección de elemento.

$$\text{Tal que: } A_{LRFD} = \frac{N_u}{F_{t,d,brasil}} = \frac{N_u}{144,44}$$

donde $N_u = 1,3 \text{ CM} + 1,4 \text{ CV}$

$$A_{LRFD} = \frac{N_u}{F_{t,d,España}} = \frac{N_u}{200}$$

donde $N_u = 1,3 \text{ CM} + 1,4 \text{ CV}$

$$A_{LRFD} = \frac{N_u}{F_{t,d,ASCE}} = \frac{N_u}{156}$$

donde $N_u = 1,3 \text{ CM} + 1,4 \text{ CV}$

La ecuación general para compara los métodos ASD y LRFD es definida de la siguiente manera:

$$\frac{A_{LRFD}}{A_{ASD}} = \frac{\frac{N_u}{144,44}}{\frac{N_u}{140}} = \frac{140}{144,44} * \frac{N_u}{N_u} = 0,97 * \frac{1,3CM+1,4CV}{CM+CV}$$

Si hacemos el siguiente cambio de variable:

$X = CV / CM$; tal que $CV = XCM$;
transforma en:

$$\frac{A_{LRFD}}{A_{ASD}} = 0,97 * \frac{1,3CM+1,4XCV}{CM+XCV} = 0,97 * \frac{(1,3+1,4X)}{1+X}$$

que es la ecuación general de comparación entre los dos métodos para esfuerzos de tensión para el caso de Brasil.

Para el caso de los coeficientes de seguridad de la norma española la ecuación general sería:

$$\frac{A_{LRFD}}{A_{ASD}} = \frac{140}{200} * \frac{(1,3+1,4X)}{1+X}$$

Y para la norma ASCE (1995), tenemos la siguiente ecuación general:

$$\frac{A_{LRFD}}{A_{ASD}} = \frac{140}{156} * \frac{(1,3+1,4X)}{1+X}$$

A continuación se presenta la representación gráfica de cada una de las ecuaciones expuestas anteriormente:

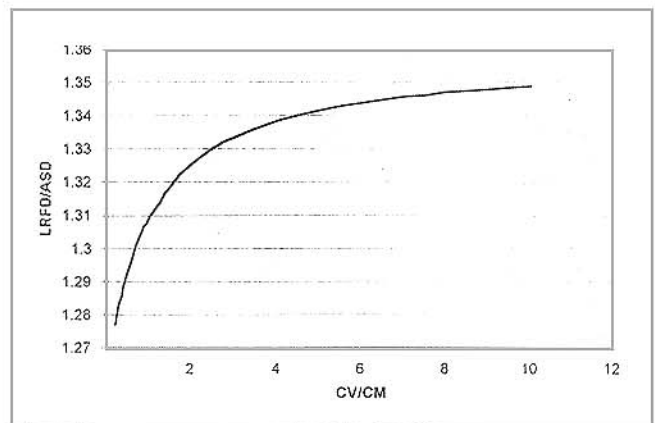


Figura 2. Comparación de los dos métodos, caso norma brasileña ANBT (1996).

De acuerdo con la curva de la figura 2 se deduce que las dimensiones de las secciones transversales de elementos sometidos a tracción son siempre mayores cuando se diseñan por LRFD en comparación con ASD.

La curva que muestra la figura 3 nos dice que utilizando el método LRFD para diseñar elementos estructurales de maderas sometidos a tracción, siempre vamos a obtener dimensiones (sección transversal) menores que las obtenidas por el método ASD.

De acuerdo con esta curva (Figura 4) se deduce que las dimensiones de las secciones transversales de elementos sometidos a tracción son siempre ligeramente mayores cuando se diseñan por LRFD en comparación con ASD.

En conclusión el hecho de que los miembros o elementos estructurales basados en LRFD sean iguales o estén típicamente dentro del ±10% del tamaño de los miembros obtenidos usando el método tradicional (ASD), es indicativo de que los niveles históricos de seguridad continúan siendo mantenidos en el uso de cualquiera de los dos formatos de diseño.

Sin embargo, los consistentes niveles de confiabilidad proporcionados por los procedimientos

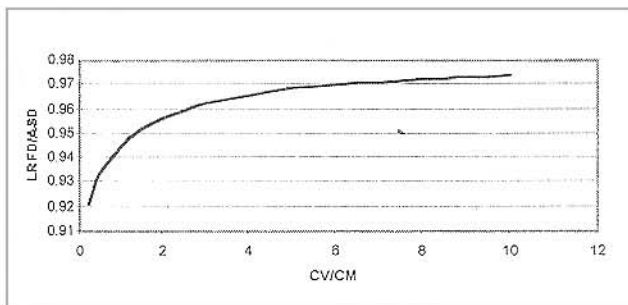


Figura 3. Comparación de los dos métodos, caso norma española AITIM (1996).

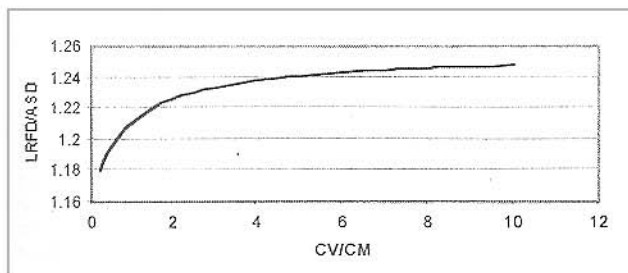


Figura 4. Comparación de los dos métodos, caso norma norteamericana ASCE (1995).

LRFD para todos los elementos de una estructura dada, permite la disminución de costos para sistemas estructurales que tradicionalmente han sido sobre dimensionados.

En lo que respecta al análisis y diseño de miembros sometidos a solicitaciones de tracción utilizando LRFD, la aplicación de los coeficientes de seguridad establecidos en la norma brasileña dan como resultado que las dimensiones obtenidas siempre sean superiores en comparación con las que se obtienen con el método tradicional utilizado en Venezuela (ASD).

Igual comportamiento se observa con la aplicación de los coeficientes de seguridad de la norma norteamericana ASCE (1995) para estructuras de madera, aunque en una proporción más baja. Mientras que aplicando los coeficientes de la norma española se obtienen siempre dimensiones (sección transversal) menores con el procedimiento LRFD en comparación con ASD.

Finalmente la diferencia del valor numérico de los coeficientes de seguridad en las normas mencionadas puede atribuirse a la variación de las características anatómicas de las maderas que se encuentran en los distintos países (Brasil, Estados Unidos y España), y a la rigurosidad en la clasificación de la madera de calidad estructural.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABMT. 1996. *Projeto de estruturas de madeira*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Río de Janeiro, Brasil.
- AITIM. 1996. *Estructuras de Madera: diseño y cálculo*. Asociación de Investigación Técnica de la Industria de la Madera y Corcho (AITIM). Madrid, España. pg: 404-437.
- ASCE. 1995. *Load and Resistance Factor Design Standard for Engineered Wood Construction*. American Society of Civil Engineers (ASCE). New York, USA. Pp: 16-95.
- APLIN, E. y F. KEENAN. 1977. Limit States Design in Wood: A Canadian perspective, *Forest Products Journal*. Julio. Vol. 27. P: 14-18.
- CARSON, J. y R. LEICESTER. 1994. *Australian standards for structural timber*. Proceedings of the 1994 Pacific Timber Engineering Conference, Gold Coast. Sidney, Australia.
- CENTENO, J.C. 1983. *Esfuerzo de Diseño para Maderas Venezolanas*. Instituto Forestal Latinoamericano-IFLA. Mérida-Venezuela.
- ARROYO, J. 1969. *Estudio tecnológico de 144 especies de la Guayana Venezolana, 1969*. MAC-ULA. Laboratorio Nacional de Productos Forestales. Mérida, Venezuela.
- EUROCÓDIGO N° 5. 1996. *Design of Timber Structures*. European Commission on standardization. London, England.
- JUNAC. 1989. *Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino*. Junta de Acuerdo de Cartagena. Lima, Perú.
- LING-EN H., Y. WEI - WEN y T. GALAMBOS. 1990. Method for Cold - Formed Steel Structural Members. AISI LRFD. *Journal of Structural Engineering*, 116, 2: 500-517.
- POLLOCK, D. y T. WILLIAMSON. 1994. LRFD Vs ASD. *Proceedings of the 1994 International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium*. American Society of Civil Engineers (ASCE), New York - New York.
- POLLOCK D., T. WILLIAMSON y D. GROMALA. 1995. *Evolving Design Methods*. Chapter 4. www.ce.vt.edu/iass/pollock/pollock.html.
- WALFORD, G. 1989. *Conversion of the New Zealand timber design code to LSD format*. Proceedings of the 1989 Pacific Timber Engineering Conference, Auckland, New Zealand.