

DISEÑO A FLEXIÓN EN ESTRUCTURAS DE MADERA SEGÚN EL CIRSOC 601

BENDING DESIGN OF WOOD STRUCTURES ACCORDING TO THE ARGENTINIAN CODE CIRSOC 601

Cristian O. Bay ⁽¹⁾, **Ricardo D. Bassotti** ⁽²⁾ (P), **Nicolas Cortizo**, **Felipe Genovese** ⁽³⁾

(1) Ingeniero, Doctorando, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Rafael, San Rafael, Argentina

(2) Mg. Ing. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Rafael, San Rafael, Argentina

(3) Ingeniero, Becario graduado, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Rafael, San Rafael, Argentina

Dirección de contacto: cbay@frsr.utn.edu.ar; (P) Presentador

Código de identificación: T6-40

Resumen

Por primera vez en la República Argentina se cuenta con un Reglamento de Estructuras de Madera, CIRSOC 601, el cual se encuentra en Trámite de Aprobación por la Secretaría de Obras Públicas de la Nación luego de haber superado el período de Discusión Pública Nacional. Dentro del Grupo de Estudios de Estructuras (GEDE) perteneciente a la Facultad Regional San Rafael de la Universidad Tecnológica Nacional se conformó un grupo de investigadores para el estudio del proyecto de reglamento y luego poder realizar una transferencia al medio profesional y educacional.

El factor de estabilidad lateral de vigas considera los efectos flexo-torsionales en el diseño a flexión. La determinación del factor se realiza mediante expresiones de mediana complejidad que cuando el diseño se refiere a entresijos o cubiertas de techo de viviendas resulta tedioso para el diseñador. En este trabajo se realizan gráficas y análisis de datos tendientes a simplificar estos valores y aportar al diseñador una forma sencilla de considerar la estabilidad lateral de vigas.

En las estructuras de madera es habitual que el comerciante aconseje al cliente sobre escuadrías a utilizar, sobre todo en construcciones de pequeña envergadura. En tal sentido se presentan tablas y gráficos que ayuden en este sentido y tengan implícito la aplicación del reglamento.

Palabras clave: madera; flexión; CIRSOC; diseño

Abstract

For the first time in Argentina it has a regulation Wooden Structures, CIRSOC 601-2013, which is pending approval by the Ministry of Public Works of the Nation after overcoming the period of National Public Discussion. Within Study Group Structure (GEDE) belonging to the San Rafael Regional Faculty of the National Technological University a group of researchers to study the draft regulation was formed and then to make a transfer to the professional and educational environment. A computational application for designing wooden sections subjected to bending stresses according to the guidelines established in the Regulation is presented. The application has a friendly interface that allows the user to interact with the design parameters, and get results quickly.

Keywords: bending; wood; structure; CIRSOC 601; design

1. INTRODUCCIÓN

El Reglamento Argentino de Estructuras de Madera, CIRSOC 601-2013 (CIRSOC 601, 2013), publicado en 2013 se encuentra actualmente en Trámite de Aprobación en la Secretaría de Obras Públicas de la Nación. El CIRSOC 601 presenta a los profesionales de la ingeniería estructural un marco normativo sin precedentes en nuestro país.

Hasta estos tiempos resultaba habitual, en la comunidad profesional, utilizar la norma alemana, DIN 1052, 2004 (DIN 1052, 2008), para el diseño de estructuras de madera. Incluso algunos reglamentos locales como el CCS-MZA, 1987 (CCS87, 1987), adoptaba dicha norma europea. El problema que se presentaba no radicaba en el diseño estructural propiamente, sino en las propiedades físicas y mecánicas de las maderas utilizadas por la DIN 1052, 2004 (DIN 1052, 2008), las cuales estaban asociadas a su país de origen.

De igual forma que como en su oportunidad se hizo con los reglamentos referidos al hormigón armado, donde la actualización está fundamentada sobre reglamentos ACI en vez de las normas alemanas, el reglamento CIRSOC 601 se ha basado en la norma de Estados Unidos, NDS, 2005 (NDS, 2005). Cabe destacar que países como Chile, con su norma NCH1198, 2010 (NCH 1198, 2010) también han seguido los pasos de la norma americana.

El reglamento CIRSOC 601 contiene una serie de suplementos donde se establecen las propiedades físicas y mecánicas de una serie de especies forestales de nuestro país. Actualmente hay caracterizadas 4 especies forestales, lo que da un fundamento de diseño estructural aún mayor.

Luego de la publicación del reglamento comienza una etapa de transferencia al medio por parte de las instituciones para dar conocimiento a la comunidad profesional de la aplicación del CIRSOC 601. Desde el Grupo de Estudio de Estructuras de la Facultad Regional San Rafael, de la Universidad Tecnológica Nacional se vienen desarrollando tareas con el objetivo de generar la transferencia de los contenidos del reglamento a profesionales y estudiantes de carreras de ingeniería.

El objetivo del presente trabajo es presentar una aplicación para el diseño de vigas de madera simplemente apoyadas sometidas a carga distribuida según los lineamientos del reglamento CIRSOC 601.

En el trabajo se indica, (i) las generalidades del diseño según la visión del CIRSOC 601; (ii) El procedimiento de diseño para secciones rectangulares de madera laminada encolada para uso estructural y madera aserrada; (iii) Aplicación computacional desarrollada en una planilla de cálculo para el diseño a flexión de secciones de madera; (iv) Ejemplo numérico; (v) Conclusiones del trabajo.

2. GENERALIDADES DEL DISEÑO

El reglamento CIRSOC 601 plantea el método de diseño por tensiones admisibles. Esto requiere que las tensiones generadas, en el elemento estructural bajo diseño, por las diversas combinaciones de estados de cargas no superen las tensiones admisibles ajustadas correspondientes al material constitutivo del elemento.

Los valores de tensiones ajustadas se obtienen a través de las tensiones de referencia para cada especie forestal afectada por distintos coeficientes que tienen en cuenta, la duración de la carga, la condición de servicio, la temperatura, la estabilidad lateral, el tamaño de la sección y la distribución lateral de cargas.

Las tensiones de referencia han sido incorporadas al reglamento a través de suplementos. En el suplemento 1 se indican las tensiones de referencia para madera aserrada (MA), en el suplemento 2 para madera laminada encolada para uso estructural (MLE) y en el suplemento 3 para madera de sección circular. Las Tablas 1 y 2 resumen las propiedades de las distintas especies forestales extraídas del suplemento 1 y 2 correspondientes a la última actualización del año 2015. Donde F_b es la tensión de diseño a flexión; F_t es la tensión de diseño a tracción paralela a las fibras; F_v es la tensión de diseño a corte paralelo a las fibras; F_{cp} es la tensión de diseño a compresión perpendicular a las

fibras; F_c es la tensión de diseño a compresión paralela a las fibras; E el módulo de elasticidad; $E_{0,05}$ el módulo de elasticidad para situaciones críticas; E_{min} el módulo de elasticidad para la estabilidad de vigas y columnas y $\rho_{0,05}$ el valor característico de la densidad con un contenido de humedad del 12%. Además cada especie forestal tiene asociada una norma IRAM para su clasificación, así al Pino Paraná le corresponde la IRAM 9662-1 (IRAM 9662-1, 2006), al Eucalipto Grandis la IRAM 9662-2 (IRAM 9662-2, 2006), al Pino Taeda y Elliotis la IRAM 9662-3 (IRAM 9662-3, 2006) y al Álamo la IRAM 9662-4 (IRAM 9663-4, 2015). Esta última incorporada en el año 2015.

Como tensión de referencia se define al valor del percentil del 5% de una serie de ensayos indicados en las normas IRAM 9663 (IRAM 9663, 2011) y IRAM 9664 (IRAM 9664, 2011) para una duración de carga de 10 años afectada por un coeficiente de seguridad de 2.

Tabla 1: Tensiones de referencia extraídas del Suplemento 1 – CIRSOC 601

	DESIGNACIÓN	CLASIF	F_b N/mm ²	F_t N/mm ²	F_v N/mm ²	F_{CP} N/mm ²	F_c N/mm ²	E N/mm ²	$E_{0,05}$ N/mm ²	E_{min} N/mm ²	$\rho_{0,05}$ kg/m ³
MADERA ASERRADA	Pino Parana	CLASE 1	10.6	6.3	1.1	1.0	7.5	13300	8900	5700	440
		CLASE 2	6.6	4.1	0.7	0.8	6.3	11400	7700	4900	390
		CLASE 3	5.0	3.1	0.6	0.8	5.3	10000	6700	4200	390
	Eucalipto Grandis	CLASE 1	9.4	5.6	0.9	1.8	7.2	12000	8100	5100	430
		CLASE 2	7.5	4.4	0.8	1.7	6.6	10800	7200	4600	430
		CLASE 3	5.6	3.4	0.6	1.5	5.6	10000	6700	4200	430
	Pino Ellioti/Taeda	CLASE 1	6.2	3.7	0.7	0.9	6.0	7700	5200	3300	420
		CLASE 2	3.2	1.9	0.4	0.8	4.5	6500	4300	2700	390

Tabla 2: Tensiones de referencia extraídas del Suplemento 2 – CIRSOC 601

	DESIGNACIÓN	CLASIF	F_b N/mm ²	F_t N/mm ²	F_v N/mm ²	F_{CP} N/mm ²	F_c N/mm ²	E N/mm ²	$E_{0,05}$ N/mm ²	E_{min} N/mm ²	$\rho_{0,05}$ kg/m ³
MADERA LAMINADA	Pino Ellioti/Taeda	GRADO 1	6.3	3.5	0.7	0.9	6.3	11200	7500	4700	420
		GRADO 2	4.1	2.3	0.4	0.8	4.1	6700	4500	2800	390
	Pino Parana	GRADO 1	7.5	4.1	0.8	1.0	7.5	13400	9000	5700	460
		GRADO 2	6.3	3.5	0.7	0.9	6.3	11600	7800	4900	400
	Eucalipto Grandis	GRADO 1	7.5	4.1	0.8	1.8	7.5	13400	9000	5700	430
		GRADO 2	6.6	3.7	0.8	1.7	6.6	11600	7800	4900	430
	Álamo	GRADO 1	6.3	3.5	0.7	0.9	6.3	9400	6300	4000	400
		GRADO 2	5.6	3.2	0.6	0.9	5.6	8500	5700	3600	400

3. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE DISEÑO PARA VIGAS

Se realiza una descripción del procedimiento indicado en el reglamento CIRSOC 601 para diseño de vigas sometidas a flexión. Se verifican las tensiones de flexión, corte y aplastamiento en los apoyos. También se verifican los estados de servicio mediante el control de deformaciones y vibraciones. A continuación, se exponen las expresiones para determinar los factores de ajuste y luego se presenta el procedimiento de diseño para vigas simplemente apoyadas sometidas carga distribuida.

3.1 Factores de ajuste

Mediante estos factores se ajustan las tensiones de referencia a las condiciones en que será sometida la estructura de madera.

Factor de duración de carga, C_p

Este factor tiene como objetivo considerar la duración de la carga o combinación de carga a que estará sometida la viga. Se determina de acuerdo a la combinación de carga predominante. Este factor

es indistinto si se trata de madera laminada o madera aserrada para uso estructural. Para una combinación de cargas que incluya cargas de distinta duración actuando simultáneamente, se debe aplicar el factor C_D , correspondiente a la carga de menor duración. En la tabla 3 se muestran los valores del factor utilizados en el diseño de vigas sometidas a flexión.

Tabla 3: Factor de ajuste C_D

DURACIÓN DE LA CARGA	C_D	TIPO DE CARGA	
Permanente	0,90	D	Peso Propio
10 años (duración normal)	1,00	L	Sobrecarga de uso
2 meses	1,15	S	Nieve
10 minutos	1,60	W	Viento

Para determinar C_D se debe afectar a todas las combinaciones de carga posible por sus factores y evaluar cual produce los mayores efectos, expresión (1).

$$U = \left(\frac{D}{0,90} \mid \frac{D+L}{1,00} \mid \frac{D+S}{1,15} \mid \frac{D+W}{1,60} \mid \frac{D+L+S}{1,15} \right)_{MAX} \quad (1)$$

Factor de condición de servicio, C_M

Tiene como función considerar la humedad a que estará sometida la viga durante el período de vida útil. Se determina en función de la humedad promedio de la madera, $H_p\%$, y de la humedad máxima, $H_m\%$, para madera laminada encolada y para madera aserrada rectangular según la tabla 4.

Tabla 4. Factor de condición de servicio, C_M , para MA y MLE.

TIPO	CONDICIÓN	F_b	F_t	F_v	$F_{c\perp}$	F_c	E, E_{min}
MAR	$H_p < 16\%$ y $H_m < 19\%$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	$H_p < 16\%$ o $H_m > 19\%$	0,85 ⁽¹⁾	1,00	0,97	0,67	0,80 ⁽¹⁾	0,90
MLE	$H_p < 16\%$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	$H_p > 16\%$	0,80	0,87	0,87	0,53	0,73	0,83

(1) para $F_b < 7,9 \text{ N/mm}^2$, $C_M = 1$ y para $F_c < 5,2 \text{ N/mm}^2$, $C_M = 1$

Factor de temperatura, C_t

Los valores de tensiones de referencia se corresponden con temperaturas menores a 40°C . Por lo tanto, para estas condiciones el factor $C_t = 1$ para temperaturas mayores el factor disminuye y su valor se debe considerar de la tabla 4.3-4 del reglamento CIRSOC 601. Se excluye de este trabajo dichas condiciones.

Factor de distribución lateral de cargas, C_r

Este factor considera que cuando un conjunto de elementos estructurales se encuentra conectado a través de un sistema continuo que asegure la distribución lateral de cargas, y que los elementos se encuentran con separaciones similares, la resistencia de diseño de referencia se podrá incrementar en un 10% ($C_r = 1,10$). Para los demás casos el factor resultará igual a la unidad. Para considerar este factor todos los elementos deben diseñarse para cargas permanentes y cargas variables. El reglamento deja abierta la posibilidad de utilizar otros métodos para determinar este factor aunque no indica que métodos se deben seguir. Cabe mencionar que la norma chilena, NCH1198 (NCH 1198, 2010), permite utilizar un valor de $C_r = 1,15$ pero establece ciertas condiciones sobre el sistema rígido de

distribución de cargas (elementos no distanciados más de 60cm y entablado de no menos de 5cm, entre otros).

Factor de tamaño, C_F , y factor de volumen, C_V

El tamaño de la sección tiene incidencia sobre la tensión de referencia. En el diseño es considerado mediante el factor de volumen, C_V , para madera laminada encolada y mediante el factor de forma, C_F , para madera aserrada. La tensión de referencia para MLE esta referenciada para una sección de 150 mm x 600 mm y en MA para una sección de 150 mm de alto. Los valores de los factores han sido limitados en el reglamento a 1,10 para el caso de MLE y a 1,30 para MA.

Las expresiones (2) y (3) determinan los valores de los coeficientes para MA y MLE respectivamente. En las expresiones d es la altura y b el ancho de la sección en milímetros.

$$C_F = \left(\frac{150}{d}\right)^{0,20} \leq 1,30 \quad (2)$$

$$C_V = \left(\frac{600}{d}\right)^{0,1} \left(\frac{150}{b}\right)^{0,05} \leq 1,10 \quad (3)$$

En la Figura 1 se muestra a la izquierda la variación de C_V y a la derecha la variación de C_F . Puede observarse que en el caso de MLE para secciones de menos de 250mm de altura el coeficiente alcanza su máximo, de 1,10 y para secciones de MA el máximo se alcanza en secciones de 45mm aproximadamente.

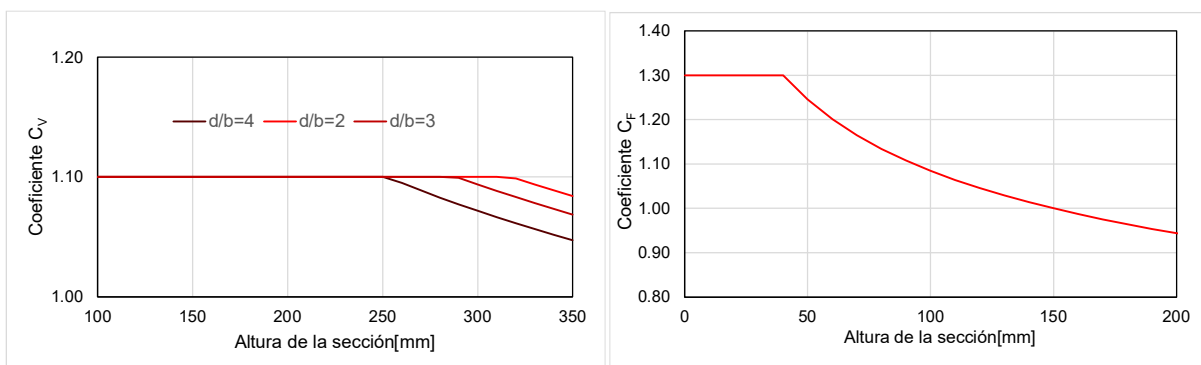


Figura 1: Izquierda. Variación de factor C_V y derecha variación de factor C_F .

Factor de estabilidad lateral de la viga, C_L

La estabilidad lateral de vigas se introduce a través del factor C_L , este factor es indistinto para MA o para MLE. Cuando no existen problemas de estabilidad lateral su valor será igual a la unidad, por el contrario, si existen problemas de estabilidad lateral este factor será inferior a 1 reduciendo la tensión de referencia. Secciones de madera con relaciones entre alto y ancho menores o iguales a 1 no presentan problemas de estabilidad, entonces $C_L = 1$.

El reglamento permite dos formas de considerar este fenómeno, (i) mediante el control de la esbeltez de la sección a través de disposiciones constructivas que eviten el desplazamiento y giro de apoyos, y el desplazamiento de la sección comprimida y (ii) mediante expresiones analíticas basadas en ensayos y estudios teóricos.

Respecto del punto (i) en la tabla 5 se hace referencia a las disposiciones constructivas indicadas en el reglamento. Solo se han indicado secciones con relación de esbeltez hasta 5, relaciones mayores no son frecuentes en la práctica profesional. En este aspecto vale destacar que la norma chilena, NCH1198, solicita el impedimento de todo el borde comprimido para relaciones $d/b > 4$ a diferencia de nuestro reglamento que lo solicita a relaciones mayores de 2.

Tabla 5: Disposiciones constructivas para controlar estabilidad lateral.

$1 < d/b \leq 2$	Se deben restringir los apoyos al giro y desplazamiento
$2 < d/b \leq 5$	Se debe impedir giro de apoyos y sectores que reciben cargas concentradas. Y controlar desplazamiento de sección comprimida.

Para el método analítico, basado en estudios teóricos y ensayos experimentales, según establece el CIRSOC 601, se debe determinar primero la esbeltez lateral de la viga, R_B , de acuerdo a la expresión (4), la cual depende de las dimensiones de la sección transversal y la longitud efectiva de pandeo lateral, L_E . En la tabla 3.2.1-1 del reglamento CIRSOC 601 se indican las longitudes, L_E , para distintos casos de carga y distancias de apoyos transversales. Para el caso de vigas simplemente apoyadas, con $L/d > 7$, sometidas a carga distribuida y sin apoyos transversales la longitud efectiva de pandeo resulta $L_E = 2,06 L$ (siendo L la longitud de apoyo de la viga). Cabe mencionar que el factor R_B , no debe superar el valor de 50. Si se observa la Figura 2, se deduce que para condiciones habituales no hay riesgo de superar este valor.

Con el factor R_B , se debe determinar la tensión crítica de pandeo, F_{bE} , según expresión (5). El módulo de elasticidad E'_{min} se obtiene de los valores de referencia, tabla 1 y 2, afectado por los factores C_M y por C_t .

Finalmente con el valor F^*_b (Tensión de referencia ajustada por todos los valores, excepto C_L) se determina el factor C_L , utilizando la expresión (6).

$$R_B = \sqrt{\frac{l_E d}{b^2}} \leq 50 \quad (4)$$

$$F_{bE} = \frac{1,2 E'_{min}}{R_B^2} \quad (5)$$

$$C_L = \frac{1 + (F_{bE}/F^*_b)}{1,9} - \sqrt{\left[\frac{1 + (F_{bE}/F^*_b)}{1,9} \right]^2 - \frac{F_{bE}/F^*_b}{0,95}} \quad (6)$$

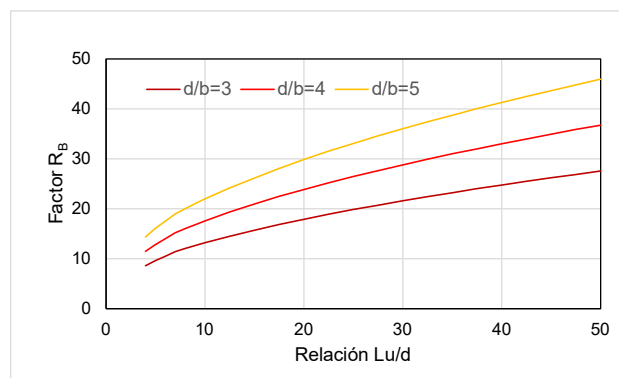


Figura 2: Variación del factor R_b en función de Lu/d .

3.2 Verificación de resistencias

El proceso de diseño consiste en verificar que las demandas generadas por las cargas y sus combinaciones en las vigas no superen las tensiones de referencia afectadas por los factores de ajuste.

En el diseño a flexión la verificación se hace mediante la expresión (7) para madera aserrada u (8) para madera laminada encolada de uso estructural. En las expresiones M , es el momento flexional de demanda asociado a la combinación de carga que produzca los efectos más desfavorables teniendo en cuenta la duración de la carga y S es el módulo resistente elástico de la sección transversal evaluada en correspondencia con el momento M .

$$f_b \leq F_b^* \quad \frac{M}{S} = \frac{6 M}{b d^2} \leq F_b C_D C_M C_t C_L C_F C_r \quad (7)$$

$$\frac{M}{S} = \frac{6 M}{b d^2} \leq F_b C_D C_M C_t C_L C_V C_r \quad (8)$$

En el diseño al corte horizontal (paralelo a la dirección de las fibras) de miembros flexionados se debe plantear mediante la expresión (9), donde V es el esfuerzo de corte máximo y Q el momento estático de una sección. Para sección rectangular se considera $Q=(b d^2)/8$.

$$f_v \leq F_v^* \quad \frac{V Q}{I b} = \frac{3 V}{2 b d} \leq F_v C_D C_M C_t \quad (9)$$

En cuanto a resistencia se refiere, por último, se debe verificar la compresión perpendicular a las fibras, generalmente en los apoyos, según la expresión (10), donde P es la carga de compresión y A es el área bruta de la sección en el apoyo (para el caso de secciones rectangulares, $A=b d$).

$$f_{c\perp} \leq F_{c\perp}^* \quad \frac{P}{A} = \frac{P}{b d} \leq F_{c\perp} C_D C_M C_t \quad (10)$$

3.3 Verificación de las condiciones de servicio

Verificadas las condiciones de resistencia de una viga de madera sometida a carga distribuida es necesario verificar las condiciones de servicio mediante el control de las deformaciones y las vibraciones en el caso que puedan afectar el confort humano.

Respecto del módulo de elasticidad, E , el reglamento permite utilizar el valor promedio, a diferencia de los valores de resistencia donde se utiliza el valor correspondiente al percentil del 5%. No obstante, se deja expresado que si el proyectista lo cree conveniente puede utilizar el $E_{0,05}$ correspondiente al módulo de elasticidad percentil 5%. En el suplemento 1 y 2 del reglamento se indican ambos valores para MA y MLE respectivamente. Cabe destacar que la relación entre ambos, y considerando un factor de variación del 0,20 (propio de las especies consideradas), ronda 1,50.

La deformación de una viga se determina como la suma de una deformación instantánea, $\Delta_{i(CD)}$, y una deformación diferida, $\Delta_{i(LD)}$. La deformación diferida, está afectada por la duración de la carga y el contenido de humedad de la viga. Se determina como el producto de la deformación instantánea de las cargas de larga duración, $\Delta_{i(LD)}$, por un factor K_{cr} que tiene en cuenta la tipología y estado de la madera, Tabla 6.

Como carga de larga duración se considera a las cargas permanentes, D , y las cargas por uso que permanezcan durante 10 años. En este punto el proyectista debe definir qué porcentaje de las cargas vivas por uso, L , y cargas de nieve, S , permanecerán durante 10 años.

Tabla 6: Factor K_{cr} para la determinación de deformación diferida en vigas.

Factor K_{cr}	Condición
1,50	Madera aserrada y madera laminada encolada cargadas en estado seco y que su condición de servicio sea en condición estado seco ($C_M=1,00$)
2,00	Madera aserrada y madera laminada encolada cargadas en estado seco y condición de servicio en estado húmedo ($C_M<1,00$)
3,00	Madera aserrada o sección circular cargadas en estado verde y que secan bajo carga. (No se consideran en este trabajo)

Para el control de las deformaciones debe tenerse en cuenta que deformaciones superiores a $L/300$ comienzan a ser visibles afectado la parte estética de la estructura de madera y para deformaciones superiores a $L/200$ pueden verse afectados los elementos estructurales. En la tabla 3.2.3-1 del reglamento CIRSOC 601 se indica que la deformación instantánea producida por todas las cargas variables no debe superar $L/360$. También indica que cuando se considera la deformación total (instantánea + diferida) no se debe superar el valor de $L/300$ para viviendas y oficinas, $L/240$ para comercio y $L/200$ para construcciones de baja ocupación.

Para el control de las deformaciones de servicio también es importante el control de las vibraciones, sobre todo en los entresijos. El reglamento establece un procedimiento sencillo para verificar las condiciones dinámicas de los entresijos y evitar perjuicios en el confort humano. Cabe señalar que el control de las vibraciones es muy dependiente de la distribución de masas y el amortiguamiento presente en el entresijo, no obstante, una aproximación se puede realizar con la siguiente verificación.

Controlar la rigidez del entresijo para que su frecuencia de vibración sea superior a 8Hz y de ser posible superior a 12Hz. La frecuencia del entresijo puede ser determinada mediante la expresión (11). Donde L , es la longitud libre de la viga, E' es el módulo de elasticidad ajustado de la viga, I , es el momento de inercia de la viga y m_{ua} , la masa del entresijo por unidad de área. También el reglamento establece una condición que indica que una carga de 1,5kN no puede generar una deformación instantánea mayor que un determinado valor, según se indica en la expresión (12), limitado a 1,5mm.

$$f_0 = \frac{\pi}{2L^2} \sqrt{\frac{E'I}{m_{ua}}} > 8Hz \quad (11)$$

$$\Delta_{i(1kN)} \leq \frac{7,5}{L^{1,2}} mm \leq 1,5mm \quad (12)$$

4. DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN

Se presenta una planilla de cálculo interactiva que permite el diseño de vigas de madera aserrada y madera laminada encolada, de sección rectangular, simplemente apoyadas, sometidas a cargas distribuidas. Se verifican las condiciones de resistencia y servicio, según los lineamientos del CIRSOC 601. La planilla consta de una pantalla donde el operador carga los datos y obtiene los resultados.

Figura 3: Imagen de la pantalla de la planilla de cálculo

4.1 Carga de datos

Las celdas que puede modificar el usuario se diferencian por tener fondo blanco y se encuentran en la parte superior de la planilla.

(i) Material. Se debe indicar el tipo de material, la especie y la clase o grado dependiendo si es MA (madera aserrada) o MLE (madera laminada encolada para uso estructural). Admite todas las especies indicadas en el Suplemento 1 y Suplemento 2 del CIRSOC 601.

(ii) Sección. Se debe ingresar las dimensiones nominales de la sección. Ancho (**b**) y Alto (**d**) en milímetros.

(iii) Geometría. Se debe indicar la luz libre de cálculo, **L**, la longitud del apoyo, **La**, y la longitud libre entre arriostramiento, **Lu**. Todas las unidades en metros. También se debe indicar si el sistema tiene arriostramiento continuo y si tiene un sistema de repartición de cargas laterales.

(iv) Cargas. El sistema permite ingresar carga permanente, **D**, carga de uso, **L**, carga de nieve, **S**, y carga de viento, **W**. La carga de viento puede ser ingresada con signo negativo en caso de ser succión. Unidades en kN/m.

(v) Condiciones de servicio. Se debe indicar el destino de la construcción (vivienda, comercial o industrial). El ambiente en el cual estará sometida la viga (seco o húmedo) y el porcentaje de carga viga considerado como larga duración.

4.2 Obtención de resultados

Los resultados se actualizan automáticamente a medida que el usuario modifica los datos. En el cuadro gris sobre le centro de la pantalla la aplicación indica si es el diseño es correcto, OK, o no es correcto, ERROR, desde el punto de vista de la resistencia, la deformación y la vibración.

(vi) Estado de carga máxima. Muestra al usuario la carga máxima en función de las combinaciones de carga establecidas en el punto 1.4 del reglamento. Se considera la duración de las distintas combinaciones en la determinación de valor mayor. A la derecha del valor se muestra la combinación de cargas que produce el mayor efecto. En caso de que la succión del viento sea preponderante el valor se mostrará en negativo.

(vii) Factores de ajuste. Se muestran los factores de ajuste y sus correspondientes valores. Factor de duración de la carga, **C_D**, determinado según tabla 3 (Tabla 4.3-2 del CIRSOC 601). Factor de condición de servicio, **C_M**, según tabla 4 (Tabla 4.3-3 y tabla 5.3-2 del CIRSOC 601). Este factor se define en función del ambiente definido en la carga de datos (v). El coeficiente de forma, **C_f**, para MA se define con la expresión (2), que corresponde a la expresión 4.3-1 CIRSOC 601). El coeficiente

de volumen, C_v , para MLE se define con la expresión (3), (expresión 5.3-1 CIRSOC 601). El coeficiente de estabilidad lateral, C_L , según las expresiones (4), (5) y (6) (punto 3.2.1 del CIRSOC 601). El factor de distribución lateral de cargas, C_r , en función de la casilla de repartición de cargas. El factor de temperatura, C_t , para los alcances de la planilla se adopta siempre un valor igual a 1.

(viii) Diseño a flexión. Se indica el momento de demanda, M , y la tensión de demanda, f_b , en función del módulo resistente. Luego la tensión de referencia del material, F_b , y la tensión ajustada, F'_b , en función de los factores de ajuste (Tabla 4.3-1 para MA y Tabla 5.3-1 para MLE del CIRSOC 601). Por último, se muestra la relación f_b/F'_b .

(ix) Diseño a corte. Se indica el esfuerzo de corte, V , y la tensión de demanda, f_v . La tensión de referencia, F_v , y la tensión de corte ajustada, F'_v , en función de los factores de ajuste (Tabla 4.3-1 para MA y Tabla 5.3-1 para MLE del CIRSOC 601). Por último, la relación f_v/F'_v .

(x) Diseño del apoyo. Se verifica la compresión perpendicular a las fibras. V , es el esfuerzo de corte. f_{cp} , la tensión de demanda, obtenida como $V/(b L_a)$. F_{cp} , la tensión de referencia al corte perpendicular a las fibras y F'_{cp} la tensión ajustada. Por último, se muestra la relación entre tensión de demanda y tensión ajustada.

(xi) Verificación de las deformaciones. (a) Deformaciones instantáneas. Δ_{iMAX} indica la deformación máxima producida por las cargas variables. Se considera el sentido de aplicación de cargas, en caso de ser preponderante el viento en succión se mostrará un valor negativo (aunque también se sigue mostrando el valor positivo). Debajo se indica la deformación instantánea admisible, Δ_{iADM} , en función del destino de la viga de madera, Tabla 3.2.3-1 del CIRSOC 601.

(xii) Verificación de las deformaciones. (b) Deformaciones diferidas. Las deformaciones diferidas se obtienen como $\Delta f_{MAX} = K_{cr} \Delta_{i(LD)} + \Delta_{i(CD)}$, donde K_{cr} está en función de la condición del ambiente, cargado en (v). $\Delta_{i(LD)}$ representan las deformaciones producidas por las cargas de larga duración. Este valor se obtiene en función de la carga de uso, L , afectado por $\%L_i$, indicado en el punto (v). El resto de la deformación de las cargas diferidas será indicado en $\Delta_{i(CD)}$.

Para la determinación de las deformaciones se utiliza el E_{med} . La planilla muestra la relación de deformación diferida respecto de la deformación admisible, Tabla 3.2.3-1 del CIRSOC 601.

(xiii) Verificación de las vibraciones. Se determina la frecuencia actuante, F_o , en función de la carga permanente, D , y un porcentaje de la carga viva, L , definido por $\%L_i \Delta_{i(LD)}$, cargado en el punto (v). Se establece como frecuencia mínima, F_{0min} , 8Hz. También se indica la deformación producida por una carga de 1kN y la deformación permitida por el reglamento para esta carga. Para finalizar, se muestra la relación entre demandas y suministros en deformaciones.

4.3 Mensajes al usuario

En el cuadro inferior pueden aparecer una serie de mensajes al usuario para informarle de algunas cuestiones relacionadas al diseño de la viga.

(a) Si L_U (Longitud de arriostamiento lateral) es mayor que L (Longitud de la viga) indicará al usuario que debe reducir la longitud L_U .

(b) La relación de esbeltez lateral de viga, R_b , no debe superar de 50. Si sucede se indicará un mensaje.

5. EJEMPLO NUMÉRICO DE APLICACIÓN

Con el objeto de mostrar la aplicación desarrollada se realiza un ejemplo del diseño de una viga. Se considera el ejemplo de aplicación M.4.E.1 del Manual de Aplicación de los Criterios de diseño adoptados en el reglamento Argentino de Estructuras de Madera (MANUAL CIRSOC 601, 2013). En la Figura 4 se muestra la geometría de la viga en cuestión. Teniendo en cuenta que el manual se encuentra disponible a la sociedad, no se realiza una transcripción del mismo, solo se muestran las

pantallas de la aplicación con la carga de datos y se realizan comentarios sobre los resultados obtenidos.

En la Figura 5 se muestra la pantalla de la aplicación con los datos cargados. Se ha indicado que se posee un sistema rígido sobre la viga. Luego se harán comentarios al respecto.

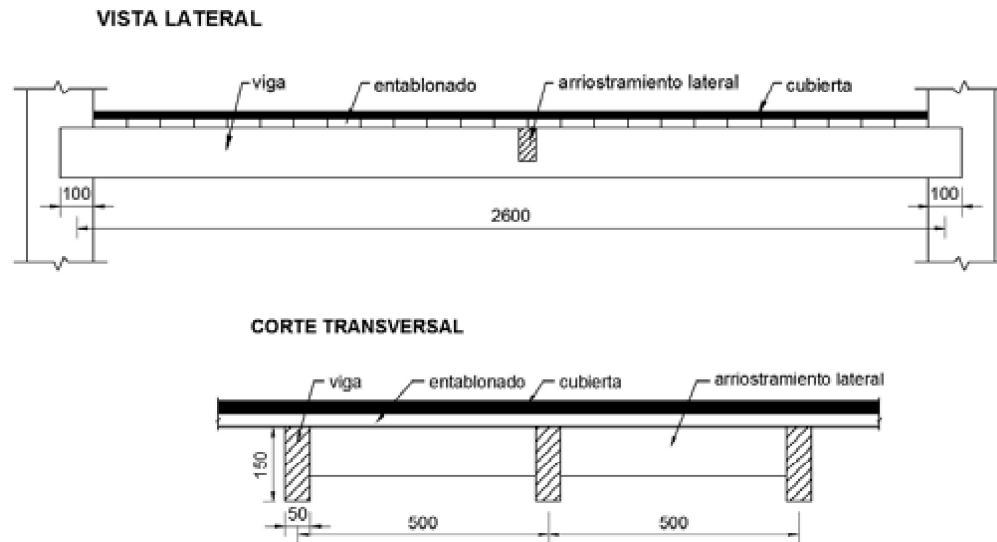


Figura 4: Esquema estructural del ejemplo M.4.E.1. Figura extraída del Manual

El ejemplo en el punto **a** indica determinar la combinación de carga más desfavorable considerando el factor de duración de carga, C_D . En la planilla puede observarse debajo de las cargas, la combinación más desfavorable de 1,70 kN/m, y a su derecha a que combinación representa (D+L). Esto se corresponde con el factor C_D mostrado en la parte inferior izquierda, $C_D=1$.

El punto **b.i** del ejemplo se solicita verificar la resistencia a flexión de la viga. Cabe destacar que por las condiciones geométricas de la sección el factor de estabilidad lateral de vigas, C_L , es igual a uno (se encuentra impedido de rotar el borde comprimido de la sección). Pero a los efectos didácticos en el ejemplo se ha determinado el factor C_L , como si no hubiese un diafragma que controlase el pandeo lateral de la viga, resultando un $C_L=0,98$. Esto motiva la diferencia que existe en el valor de la tensión de referencia ajustada en flexión, F'_b , entre el ejemplo valor de 8,10 N/mm² y la aplicación computacional de 8,25 N/mm².

El punto **b.ii** solicita la verificación de la resistencia al corte paralelo a la dirección de las fibras. Si se comparan los resultados resultan idénticos.

El punto **b.iii** solicita la verificación de los apoyos (compresión perpendicular a las fibras). Se verifica la coincidencia de los resultados obtenidos con la aplicación.

El punto **b.iv** solicita la verificación de las condiciones de servicio, deformaciones. Primero se controlan las deformaciones instantáneas, obteniéndose similares valores entre la aplicación y el ejemplo. En el caso de la deformación final, incluyendo la deformación diferida en el tiempo, también se logran resultados idénticos. En este caso no se verifican los límites impuestos en el reglamento, la planilla muestra un valor de relación de 1,24 para deformación diferida y además muestra un mensaje de ERROR en el cuadro principal de la aplicación.



Figura 5: Pantalla de la aplicación con los datos del ejemplo M.4.E.1

Cabe destacar en este punto que se ha considerado el 100% de la carga viva actuando durante los 10 años ($\%L_i\Delta_i(LD)=100\%$), esto generalmente no es así, y el diseñador puede variar dicho factor a los efectos de considerar que porcentaje de carga viva estará realmente durante por lo menos 10 años. En la Figura 6 se muestra que si el porcentaje de carga viva, L , que afectará la deformación diferida es del 50% la deformación última se reduce de 10.77mm a 9.70mm (aunque tampoco verifica las condiciones impuestas por el reglamento).

Por último, el punto **b.v** solicita la verificación de las vibraciones. Los resultados obtenidos entre la aplicación y el ejemplo son similares a los obtenidos en la Figura 6. Es decir que para la determinación de la masa activa se consideró, además de la carga permanente, D , el 50% de la carga viva, L .

Como puede observarse, mediante la aplicación, es posible llegar a los mismos resultados obtenidos de ejemplo. Vale destacar la ventaja de la aplicación de permitir al usuario interactuar con las distintas variables a los efectos de observar los resultados obtenidos.

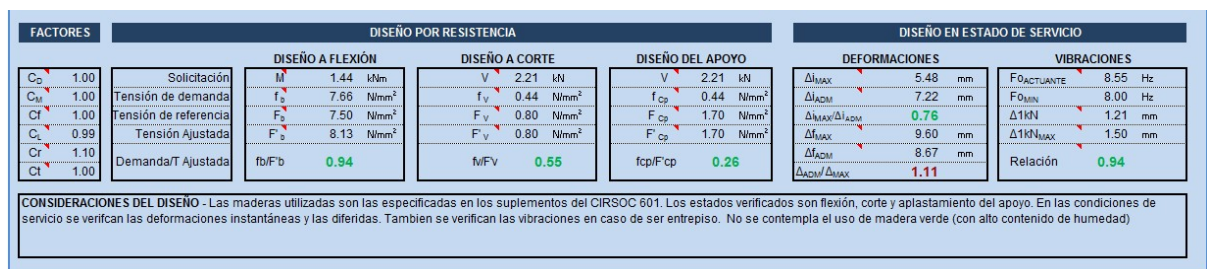


Figura 6: Pantalla de la aplicación con ($\%L_i\Delta_i(LD)=50\%$)

6. CONCLUSIONES

En este trabajo se muestra un estudio sobre la aplicación del Reglamento CIRSOC 601 para el diseño de vigas de madera simplemente apoyadas sometidas a cargas distribuidas. Verifica estados de resistencia flexional, corte paralelo a la dirección de las fibras y compresión perpendicular a la dirección fibras. También estados de servicio en deformaciones y vibraciones.

El trabajo concluye con una aplicación computacional para uso académico y profesional que realiza el diseño y permite al usuario interactuar con los parámetros para observar la incidencia de cada uno en el resultado final.

Como objetivo cercano se plantea la incorporación de vigas de sección circular. Como objetivo general lograr incorporar el diseño a tracción y compresión y por último el diseño de uniones. Todo esto con el objetivo de difundir el reglamento CIRSOC 601.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Tecnológica Nacional por el apoyo dado para el desarrollo del proyecto de investigación. Al Secretario de Ciencia y Tecnología de la Facultad Regional San Rafael, Ing. Felipe Genovese, por el soporte de financiamiento necesario para acceder al equipamiento y el apoyo para realización del proyecto de investigación.

REFERENCIAS

- [1] CIRSOC 601, Reglamento Argentino de Estructuras de Madera, Argentina, 2013.
- [2] DIN 1052, Design of timber structures - General rules and rules for buildings, 2008.
- [3] CCS87, Código de Construcciones Sismo Resistente para la Provincia de Mendoza, Argentina, 1987.
- [4] NDS, National Design Specification for Wood Construction, USA: American Forest & Paper, 2005.
- [5] NCH 1198, Madera – Construcciones en madera – Cálculo., Chile: Instituto Nacional de Chile, 2010.
- [6] IRAM 9662-1, Madera laminada encolada estructural, Clasificación visual de las tablas, Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 2006.
- [7] IRAM 9662-2, Madera laminada encolada estructural, Clasificación visual de las tablas de Eucalyptus grandis, Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 2006.
- [8] IRAM 9662-3, Madera laminada encolada estructural, Clasificación visual de las tablas por resistencia, Parte 3: Tablas de pino taeda y elliotti (Pinus taeda y elliottii)., Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 2006.
- [9] IRAM 9663-4, Madera laminada encolada estructural, Clasificación visual de las tablas por resistencia, Parte 4: Tablas de – Tablas de álamo ‘australiano 129/60’ y ‘Stoneville 67’, Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 2015.
- [10] IRAM 9663, Estructuras de Madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas, Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 2011.
- [11] IRAM 9664, Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y densidad., Argentina: Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 2011.
- [12] MANUAL CIRSOC 601, Manual de Aplicación de los Criterios de diseño adoptados en el Reglamento Argentino, 2013.