

Anexo B Programa complementario de ensayos

AB.1 Introducción

El diseño de estructuras de madera debe brindar seguridad frente a la rotura y asegurar un correcto funcionamiento durante la vida útil prevista (Thelandersson, 1995a & 1995b). En particular para las vigas sometidas a flexión, el último aspecto, relacionado a las deformaciones, suele determinar las dimensiones finales del elemento estructural. La falta de consideración de este proceso, o una interpretación equivocada de los factores que inciden sobre él, es causa frecuente de comportamientos insatisfactorios.

La deformación final de una pieza estructural puede descomponerse en dos partes: i) la deformación elástica instantánea, dependiente del módulo de elasticidad, o sea de su rigidez, y ii) la que se produce posteriormente, variando en función del tiempo y de otros factores, como la duración e intensidad de las cargas, y las condiciones de servicio que determinan el contenido de humedad de la pieza y su variación. Esta última componente se conoce comúnmente como deformación diferida.

Se han llevado a cabo numerosas investigaciones diseñadas para estudiar el efecto de las diferentes variables controladas en laboratorio (Bengtsson, 2001; Ranta-Maunus, 1995), y una cantidad más reducida se ha desarrollado en condiciones de clima natural, ya sea en ambiente interior o exterior (Thelandersson, 1995a). El estudio de las deformaciones ha merecido una especial atención a partir de las plantaciones de especies de rápido crecimiento, pues los árboles, cortados a temprana edad, presentan en estos casos una importante proporción de madera juvenil, la que brinda en general menores valores de resistencia y rigidez como consecuencia de la conformación que adquiere la importante capa intermedia de la pared secundaria en la estructura celular (Hunt, 1999).

No obstante, los resultados de trabajos realizados con *E. grandis* (Bamber et. al., 1982) no presentan diferencias estadísticamente significativas para la densidad básica y el tamaño de las fibras, en árboles de rápido y normal crecimiento. Asimismo, datos obtenidos de ensayos con muestras de *Picea Abies* (Bengtsson, 2001) tampoco muestran diferencias importantes, en este caso para la deformación diferida, en árboles de crecimiento rápido y lento. En cambio, los resultados de estos últimos, dentro de un mismo árbol, registran variaciones de consideración cuando se comparan las probetas con mayor proporción de madera juvenil, cercanas a la médula, con las más alejadas, presentando mayores valores las primeras.

La madera, siendo un compuesto polimérico natural, es altamente susceptible a las

deformaciones lentas. Hunt (1999) ha descrito los diferentes mecanismos responsables del proceso de deformación diferida: i) componente dependiente del tiempo o viscoelástica, la cual para permanecer constante requiere que otras variables, como la temperatura y la humedad, permanezcan constantes, ii) componente mecano-adsortiva, originada por los cambios de humedad en la madera, iii) pseudo-deformación y recuperación atribuida al hinchamiento y contracción de la madera. La simultaneidad de actuación de estos mecanismos hace muy difícil predecir el comportamiento referido a la deformación diferida de piezas estructurales sometidas a flexión bajo condiciones de servicio reales.

La deformación diferida en una pieza es función del contenido de humedad, de la duración de las cargas, del nivel de esfuerzo en la pieza y de la temperatura ambiente. El contenido de humedad, junto a la duración de la carga, es el parámetro que mayor incidencia tiene en la deformación lenta. Esta crece con el contenido de humedad de la pieza y se acelera, alcanzando valores aún mayores, cuando experimenta cambios de humedad bajo carga, resultando de mayor importancia la intensidad de las variaciones de humedad que el contenido absoluto de la misma (Martensson & Thelandersson, 1992; Thelandersson, 1995a & 1995b). Investigaciones realizadas (Armstrong & Kingston, 1962) con madera de Fresno Alpino, han mostrado distintos comportamientos para piezas que han presentado variadas condiciones de humedad durante el tiempo en que fueron sometidas a cargas, obteniendo la mayor relación entre la deformación final y la instantánea para el caso en que la madera se cargó en estado verde y se secó bajo carga.

La duración de las cargas causa un incremento de la deformación lenta aunque las condiciones de servicio, y, en consecuencia, el contenido de humedad de la pieza, se mantengan invariables. Bajo carga constante es posible encontrar que el valor de la deformación diferida luego de veinte años, alcance valores iguales a dos veces, o incluso cuatro veces, el que se experimentaba a los seis meses (Andriamitantsoa, 1995).

Es conocido que los materiales de construcción experimentan un importante incremento de la deformación en función del tiempo cuando alcanzan niveles de esfuerzos cercanos a los de la rotura. Para el caso de la madera, cuando los mismos son inferiores al 35% del de rotura, la evolución de las deformaciones en función del tiempo se mantiene estable luego de experimentar un crecimiento rápido, el cual ocurre en forma inmediatamente posterior a la deformación instantánea (Andriamitantsoa, 1995). Acerca de la influencia de la temperatura, teniendo en cuenta que la madera es un compuesto polimérico natural, puede afirmarse que cuanto mayor es ésta, mayor es la deformación, pero en general es muy poco importante frente a los otros parámetros que se han descrito, cuando alcanza valores inferiores a 50°C.

Para determinar la influencia del tamaño de la pieza se han desarrollado comparaciones de las deformaciones diferidas experimentadas por probetas pequeñas, libres de

defectos, con otras de tamaño estructural. Estas muestran que en las primeras es menor la componente viscoelástica, dependiente del tiempo y sin experimentar variaciones de humedad, como consecuencia de la ausencia de defectos y de presentar una pequeña desviación de sus fibras. En cambio, las piezas de tamaño estructural acusan una componente mecano-adsortiva menor, pues la influencia de las variaciones cíclicas de humedad las afectan menos por tener mayores dimensiones (Ranta-Maunus, 1995; Thelandersson, 1995b). Sin embargo la influencia del tamaño pareciera que se atenúa con el transcurso del tiempo (Martensson & Thelandersson, 1992).

La mayoría de los experimentos se han llevado a cabo utilizando cuerpos sometidos a flexión, porque resulta más simple medir las deformaciones en este caso que aquellas pequeñas variaciones longitudinales originadas por esfuerzos de tracción o compresión. Por otro lado, en el uso estructural de la madera reviste mucho más importancia, en general, el fenómeno de las deformaciones diferidas en elementos flexionados que en los sometidos a esfuerzos axiales. Si bien el comportamiento del material no es exactamente igual frente a los distintos tipos de esfuerzo debido a la influencia de la anisotropía que lo caracteriza, a los fines prácticos se puede asumir un comportamiento común (Ranta-Maunus, 1995).

El Eurocódigo 5 contempla el cálculo de las deformaciones diferidas a través de un coeficiente, k_{def} , que varía en función de la duración de las cargas y del contenido de humedad de la pieza, así como de su variación. El producto de este coeficiente por la deformación instantánea provee el valor de la deformación diferida. La norma establece cinco clases de duración de cargas: i) carga permanente, cuando su duración supera los diez años, ii) carga de larga duración, para un tiempo comprendido entre seis meses y diez años, iii) carga de media duración, actuando de una semana a seis meses, iv) carga de corta duración, con un tiempo de actuación menor a una semana, v) carga de muy corta duración. Para considerar el contenido de humedad de la pieza, así como su variación, la norma define tres condiciones de servicio, i) condición de servicio 1, correspondiente a un clima donde solamente algunas semanas en el año se superen 20°C de temperatura y 65% de humedad relativa ambiente, ii) condición de servicio 2, para igual temperatura y 85% de humedad relativa ambiente, iii) condición de servicio 3, para situaciones más desfavorables (Arbeitsgemeinschaft Holz e. V. & Bruderverlag, 1995).

Como ya se expresó en el Capítulo 3 de este trabajo, en el sistema europeo el cálculo del módulo de elasticidad se realiza a través de un ensayo estandarizado con velocidad controlada para la aplicación de la carga y un contenido de humedad del cuerpo de prueba del 12%. En caso de diferir las condiciones de ensayo de las establecidas, los valores obtenidos se deben corregir a la condición de referencia. De esta manera, al quedar definida la velocidad de aplicación de la carga, y consecuentemente el tiempo de actuación, así como el contenido de humedad en las probetas al momento de determinar el valor del módulo de elasticidad mediante un ensayo, la aplicación del

coeficiente k_{def} ya mencionado, es el que tiene en cuenta la influencia de ambos parámetros en la deformación diferida. El Eurocódigo 5 no contempla la influencia del tamaño ni de la calidad de la pieza sobre el valor de las deformaciones finales.

En el Capítulo 4 se diseñó un método de clasificación visual por resistencia para la madera de *Eucalyptus grandis* de Argentina, con los correspondientes valores característicos de resistencia, rigidez y densidad para los grados de calidad propuestos. Es posible conocer, a partir de esos datos, tanto la resistencia como la rigidez de cada clase resistente, y en consecuencia calcular las deformaciones instantáneas en condiciones de servicio. Teniendo en cuenta la importancia que revisten las deformaciones diferidas, surge la necesidad de investigar el comportamiento de esta especie bajo cargas de larga duración. Con ese fin se ha diseñado y comenzado a ejecutar un programa complementario de ensayos con piezas de tamaño estructural sometidas a cargas constantes de un año de duración. La causa que motivó el comienzo inmediato de este programa complementario radica en la importancia que para el diseño revisten los datos indagados, así como en la complejidad y tiempo necesarios para llevar a cabo los ensayos.

AB. 2 Objetivos

- 1) Conocer el comportamiento de las deformaciones diferidas en vigas aserradas de *Eucalyptus grandis* de Argentina, sometidas a cargas constantes de un año de duración.
- 2) Conocer la influencia que la calidad de la madera ejerce sobre el valor de las deformaciones diferidas.

AB. 3 Materiales y métodos

El programa complementario se realiza sobre un total de 40 vigas conforme al detalle indicado en la Tabla AB.1. Los cuerpos de prueba fueron seleccionados al azar de la producción de un aserradero, y corresponden a una plantación de *Eucalyptus grandis* realizada en el Departamento de Concordia, Entre Ríos, en 1986 con semilla provista por el INTA de Concordia. Luego de logrado un secado natural, a través de un estacionamiento en espacio cubierto, se procedió al cepillado de la madera. A través de la aplicación del método de clasificación visual por resistencia ya mencionado se formaron los grupos de cuerpos de prueba indicados.

Con el fin de mantener niveles de carga y de deformación similares a los empleados en las estructuras usuales, se sometió a los cuerpos de prueba a la acción de una carga concentrada

en el centro. Los ensayos se llevan a cabo en el laboratorio del Departamento de Construcciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata y en el laboratorio del Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad Regional Concepción del Uruguay de la Universidad Tecnológica Nacional. El ambiente de realización corresponde a las condiciones naturales en espacio cubierto. En el momento del montaje se determinaron las dimensiones reales de las vigas, la densidad aparente y el contenido de humedad, así como la deformación instantánea. Con posterioridad, y con una frecuencia inicial de una semana, se continúa registrando las deformaciones, lo cual se contempla efectuar hasta completar un año de duración.

Tabla AB.1 Cuerpos de prueba del programa de ensayos bajo cargas de larga duración

(1) Conforme al método visual de clasificación por resistencia desarrollado y presentado en el Capítulo 4; (2) y (3) primer y tercer grados de calidad del perfil e), Tabla 4.6, respectivamente.

Cantidad	b <i>mm</i>	h <i>mm</i>	l <i>m</i>	Carga <i>kN</i>	Grado de calidad ⁽¹⁾
8	50	100	1,80	2,0	1 ⁽²⁾
8	50	100	1,80	2,0	3 ⁽³⁾
12	50	100	2,80	0,85	1 ⁽²⁾
12	50	100	2,80	0,85	3 ⁽³⁾

El registro de las deformaciones se lleva a cabo en el centro de cada viga. Los instrumentos y procedimientos para registrar las dimensiones, la densidad aparente, el contenido de humedad y las deformaciones ya fueron descriptos en el Capítulo 3. La Figura AB.1 muestra esquemáticamente el montaje de las pruebas, con la fuerza concentrada en el centro y el dispositivo inferior de medición de las deformaciones.

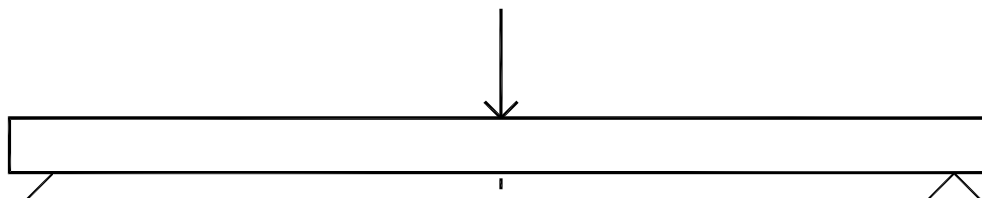


Figura AB.1 Esquema de carga y registro de las deformaciones

