

Nota Técnica

Uso estructural de vigas DÚO y TRÍO. Vigas de madera compuestas por dos o tres piezas: una alternativa ideal para estructuras ligeras de alta exigencia estética

Structural use of DÚO and TRÍO beams. Glued laminated beams composed of two or three lamellas: for light and esthetically high quality structures

Julia Ahvenainen*, Manuel García Barbero**

RESUMEN

El mundo moderno de la construcción es cada día más complejo, dado que los técnicos y profesionales del sector se han de someter a normas cada vez más exigentes que pretenden garantizar la calidad final de la edificación. Paralelamente a lo mencionado existe otra evolución que repercute en todo el espectro de materiales y sistemas constructivos, también en la madera. Convertir la madera en un material con características estandarizadas es una tarea compleja pero llena de soluciones inteligentes. El concepto DÚO y TRÍO es una muestra más de ingeniería de materiales que surge de la adecuada realización de análisis de las características propias del material y una aplicación técnica consecuente de los conocimientos del mismo para generar un nuevo producto industrial de alto valor añadido.

Este concepto concreto consiste en la unión, por medio de encolado, de piezas de madera de formatos superiores a las láminas corrientes de vigas laminadas. Esta unión se realiza de forma tal que dichas piezas queden con la superficie de encolado en posición vertical, de tal modo que las caras con los anillos de crecimiento más exteriores queden en el interior de la viga y las caras que se situaban más interiormente en el tronco original, queden vistas hacia fuera. Las ventajas son múltiples: desde el punto de vista visual los cortes más interiores presentan menos nudos y son éstos los que aparecen en la cara exterior en el sistema DÚO. Desde el punto de vista de la geometría de las vigas, las deformaciones de las mismas son menores y el fendado lateral casi inexistente. Desde el punto de vista de las propiedades mecánicas, se consigue una optimización en el uso de la madera de costeros del tronco originario, de una mayor resistencia, uniéndose para conformar piezas de mayor cuadría.

850-13

Palabras clave: vigas DÚO y TRÍO, clase resistente, valor característico, finger-joint.

SUMMARY

The modern world of construction is getting more and more complex. Building technicians and professionals have to fulfil the always more demanding standards, the objective of which is to guarantee the final quality of a building. At the same time there is a parallel progress which has an effect on the whole spectrum of building materials and systems, timber being one of them. Standardisation or harmonisation of timber, which is known to be very heterogeneous material, is a complicated matter and requires highly intelligent solutions. DÚO and TRÍO as a concept is another proof of material engineering, which surges from an adequate realization of a characteristics analysis and from a technical application to create a new industrial product with an added value.

DÚO beam is produced by gluing large size timber lamellas together. Glued surfaces are the tangentially sawn pieces from the outer part of the log and the outer part of the lamellas (which can be seen) are the sawn surfaces from inner part of the log. The glue line is in vertical direction, whereas in glued laminated beams glue lines are horizontal. Several advantages can be gained by doing this. From the esthetical point of view, the advantage comes from less knots and defects, due to the fact that the outer surface of the DÚO (or TRÍO) lamella has been sawn from internal part of the log. Other visual effects are the solid appearance of DÚO, as there is just one glue line (in case of DÚO), and almost no shakes in the surface. Mechanical properties are improved by using sideboards which have high strength values. From the geometrical aspect of the beams, the deformations can be minimized by using glued structure and well dried lamellas. Gluing two or three sideboards together, also large cross sections can be produced. All these advantages give architects and other specifies a lot of flexibility and new possibilities in design of buildings.

Keywords: DÚO and TRÍO beams, strength class, characteristic value, finger-joint.

*Lda. en Ingeniería de la Madera

**Arquitecto

Persona de contacto/Corresponding author: (Julia Ahvenainen)

1. PRODUCTOS DE ALTO NIVEL TECNOLÓGICO QUE GARANTIZA UNA CALIDAD HOMOGÉNEA Y PERCEPTIBLE

Las últimas décadas han sido testigos de una revolución silenciosa en el sector de los productos de madera para la construcción. El alto nivel del avance científico y tecnológico que nuestra sociedad ha vivido en los últimos decenios, ha encontrado también su aplicación en la ciencia de materiales y, cómo no, en la madera. La madera, producto extremadamente complejo pero con características mecánicas y físicas muy buenas, que se había resistido a los esfuerzos de homogenización y estandarización como material por nuestra parte, está comenzando a ser también utilizada en España. Así, el estudio, análisis y comprensión de su naturaleza anisotrópica, heterogénea y caprichosa ha llevado a desarrollar estrategias para conseguir cierta homogeneidad y estandarización en forma de productos industriales avanzados de enorme diversidad. Un ejemplo de este tipo de productos desarrollado científicamente y producido industrialmente, es el llamado DÚO y TRÍO, que en realidad forma una familia en base a ciertas afinidades conceptuales que trataremos de desglosar en este artículo.

La garantía de una buena calidad de un producto de madera empieza realmente ya en el bosque, cuando se elige la materia prima. Cuanto antes se sepa el uso final de la materia prima, más fácil será optimizar el uso del tronco. En el caso de productos para construcción todavía no se utiliza la "tomografía" de los troncos de forma generalizada, aun cuando esto podría ayudar a mejorar el rendimiento de la clasificación de la materia prima. Con la "tomografía" uno puede "mirar" dentro de la propia materia de los troncos (nudos, grietas, deformaciones etc.) y clasificar previamente la materia prima con precisión para su uso final.

Para el uso en vigas Dúo y Trío casi todo el tronco es aprovechable cuando es originario del centro o norte de Europa. Lo importante, entre varios factores, es la densidad de la materia prima dado que la densidad de madera esta directamente relacionada con la resistencia.

Normalmente la densidad del abeto rojo (*Picea abies* Karst), aproximadamente 440 kg/m³ es algo menor que la densidad del pino rojo (*Pinus sylvestris* L.). Aun así, tradicionalmente se utiliza más la madera de abeto para las vigas de madera en Europa. Otros factores que están relacionados con la resistencia de la madera son, como ya es sabido, la existencia de nudos así como

su tamaño y posición, desviación de la fibra, espesor de los anillos y modulo de la elasticidad.

Normalmente se intenta aprovechar al máximo el interior del tronco durante el aserrado para producir los tablonos para vigas por una razón lógica; las mayores dimensiones que se pueden obtener en los tablonos. Las dimensiones de los tablonos varían entre los 5 y 8 cm de anchura y los 14 y 24 cm de altura. Los tablonos para formatos más grandes suelen ser difíciles de presentar, dada la escasez de troncos de grandes diámetros.

2. DEFINICIÓN DE LAS VIGAS DÚO Y TRÍO

A veces puede resultar difícil de comprender o explicar por qué una viga de dos o tres piezas encoladas entre sí no se llama viga laminada como su "primo" de más de tres. La razón para esta diferencia es una implicación directa de la aplicación de la norma Europea de vigas laminadas EN 386 (1). Según esta norma, las piezas que se utilizan para producir una viga no deben tener más que 45 mm de grueso (en clase de servicio 1 y 2). En caso de vigas dúo o trío resulta que las piezas normalmente sobrepasan esta limitación. Es decir, que las piezas son más gruesas.

En estos momentos no existe ninguna norma propia para vigas dúo y trío pero su uso estructural está regulada con la alemana "Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, Z-9.1-440" (2) del "Deutsches Institut für Bautechnik". Este certificado define las características de las vigas dúo y trío, la producción, marcado y control de las mismas. El diseño y cálculo de estructuras con las vigas dúo y trío es idéntico al aplicable al resto de vigas de madera de clasificación estructural similar.

Las diferencias características más grandes respecto a las vigas laminadas son los siguientes:

- el grueso de la pieza individual tiene un máximo de 80 mm en caso de vigas dúo/trío. En caso de viga laminada el máximo es 45 mm.

- La composición de la viga es diferente. Las vigas laminadas están formada con piezas colocadas en posición horizontal y de un mismo grosor. Todas las piezas tienen el corazón con la misma orientación (hacia abajo). Por el contrario, las vigas dúo/trío tienen las piezas posicionadas verticalmen-

te y la zona más cercana al corazón mirando hacia fuera.

Como los propios nombres indican, la viga dúo se genera pegando entre sí dos tablones de madera, que han sido industrialmente secados ($15\% \pm 2\%$), clasificados estructuralmente según la norma DIN 4074-1 (3), en la clase resistente S10 (que corresponde a la clase resistente C24 según DIN 1052 (4)) y cepillados en dos caras (las que se pegan). En el caso de viga trío se pegan entre sí tres tablones de madera. Estos tablones individuales pueden tener una unión longitudinal por ensamble tipo finger-joint (según la norma DIN 68140 (5)). Así el largo de las vigas está realmente limitado por el transporte (hasta 13 m), no por la producción.

El adhesivo utilizado para pegar las piezas entre sí y también los empalmes por finger-joint tiene que superar las pruebas según las normas DIN 68141:1995-08 (6), DIN EN 301:1992-08 (7) y DIN EN 302-1-4 (8) para el uso estructural. También está permitido el uso de tablones con clases resistentes diferentes para formar una viga pero entonces se tiene que clasificar la viga entera según la resistencia de la pieza con los valores más bajos.

Existen dos “tipos de calidad” para las vigas dúo y trío, las cuales se diferencian según la calidad visual de las superficies. Las denominaciones son: “Si” para calidad vista y “NSi” para calidades en las que la alta calidad visual no sea relevante.

3. COMPRENDIENDOLA COMPOSICIÓN INTERNA DE LAS VIGAS DÚO Y TRÍO

Las reglas de diseño de estructuras utilizando vigas dúo o trío son similares a las que utilizamos con las otras vigas de madera. La clase resistente (lo más habitual es C24) define todos los valores característicos como el módulo de elasticidad o flexión. Calculando con lo regulado en el CTE (Código Técnico de Edificación) en su DB-SE-M (Documento Básico de Seguridad Estructural en Madera) proveniente del Eurocódigo 5, el uso de estos valores resulta fácil y rápido. El arquitecto puede obtener un poco más de tranquilidad diseñando adecuadamente con estas vigas que utilizando vigas de madera aserrada o bien de madera aserrada empalmada (KVH en su terminología alemana), dado que se trata de un producto más elaborado y optimizado para su uso estructural como luego veremos.

El diseño con vigas Dúo y Trío es absolutamente similar al que se realiza con la madera aserrada o con KVH. Sin embargo es conveniente conocer un poco mejor cómo funcionan las tensiones dentro de las secciones de las vigas Dúo y Trío, ya que han sido pensadas para sacarle el máximo partido a las características anisotrópicas de la madera. En las figuras que se acompañan podemos apreciar claramente cómo funcionan las vigas Dúo, las Trío siguen el mismo concepto, añadiéndosele un tablón más al grupo. En el apartado 1 de la figura 1 vemos cómo las resistencias características de las maderas de coníferas utilizadas para este tipo de productos aumentan conforme nos alejamos del corazón. Aquí vemos un hipotético esquema de aserrado del tronco (en la realidad el esquema de aserrado puede variar ligeramente según el fabricante, el tronco, etc.), del que obtenemos los tablones costeros que conformarán los dúos y tríos y las resistencias relativas de éstos en el diagrama inferior. En el apartado 2 podemos apreciar cómo uniendo los tablones obtenidos por la parte exterior donde los anillos de crecimiento del tronco son más estrechos y resistentes, se consigue generar una disposición tal de éstos, que las mayores resistencias locales del material se sitúan en las zonas que más interesan en una viga, esto es, en las de máxima tracción o compresión, (piénsese en algo similar a la optimización de tensiones internas que una viga de acero en doble T). El apartado 3 revela cómo los tablones más exteriores del tronco aportan aún mayor resistencia que los interiores por ser extraídos de una zona de madera más densa. Esto es interesante para el diseñador puesto que se pueden asumir cargas y tensiones similares, bien utilizando dúos con mayor escuadría y menor resistencia característica o utilizando aquéllos con menor escuadría y resistencias mayores.

Una cuestión importante a reseñar es la siguiente, si bien con el proceso de configuración estilo Dúo conseguimos un aumento de la resistencia a flexión que puede llegar a andar en torno al 30%, (9), esto sólo se cumple en el uso estructural si el plano de máximas tensiones se aplica en el mismo plano de unión de los tablones. Esto quiere decir que, si por ejemplo usáramos dúos o tríos de escuadría recta de 100 x 100 mm a modo de parecillos de cubierta, podríamos contar con una mejoría de aproximadamente hasta un 30% en la resistencia de la madera de esta pieza, pero sólo si la colocamos con la línea de encolado en posición vertical. Colocarla tumbada no supondría ninguna mejora en la resistencia de la madera original. Otra de las ventajas que se obtiene al encolar los tablones, consiste en la compensación de

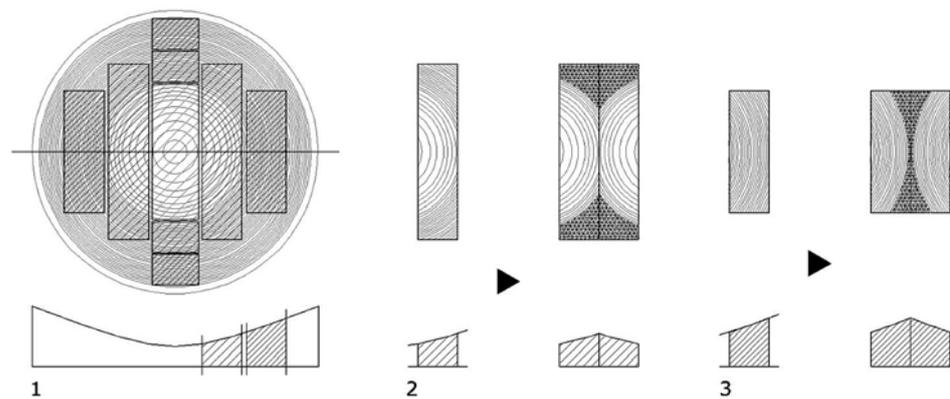


Figura 1. Distribución de los cortes del tronco para la producción de piezas para DÚO (MGB).

Nota: los diagramas situados a los pies de las piezas son meramente simbólicos e ideados para una mejor comprensión del aprovechamiento que el método DÚO hace de las características anisotrópicas de la madera.

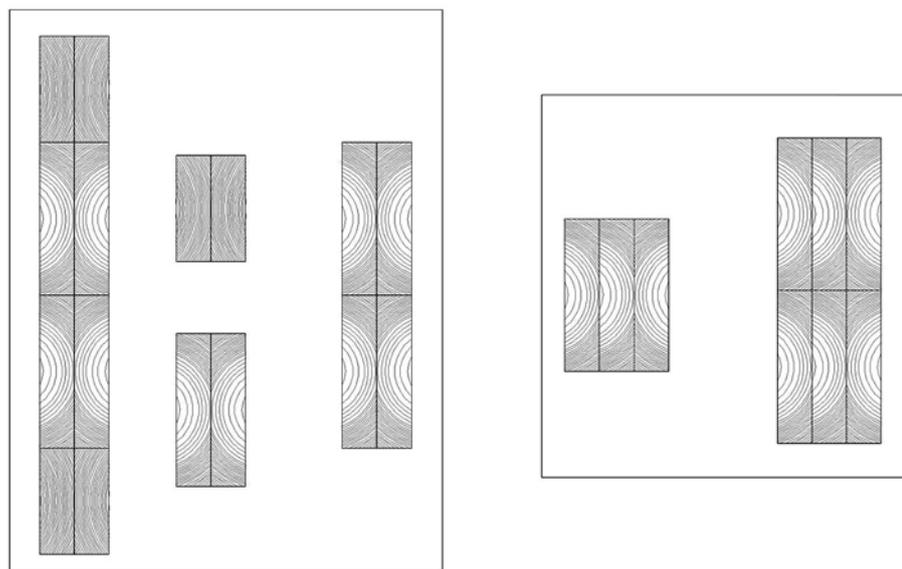


Figura 2. Ejemplo de posibles combinaciones de los productos DÚO y TRÍO en nuevos formatos de mayor tamaño (MGB).

tensiones de secado, que son las culpables de generar las fendas, revirados, etc., en la madera aserrada. En esta última, la madera más resistente, que es la que al secarse genera mayores tensiones de secado está fuera, por lo que se fenda. En el caso del sistema Dúo, encontramos encolada la cara que más tiende a abrirse con lo cual queda atada y no puede deformarse en demasía. Por otro lado, la parte que queda vista está compuesta por un tipo de madera menos sensible a las deformaciones y que, al secarse, no tiende a abrirse formando grietas o fendas sino que pasa a comprimirse ligeramente.

4. DISEÑO Y USO DE VIGAS DÚO Y TRÍO EN ESTRUCTURAS

Las vigas estándar son de clase resistente C24 pero también es posible producirlas con clase C30. Por su calidad y resistencia el uso habitual es en la estructura ligera de viviendas, como postes de las paredes, vigas

en los techos o en los tejados. Muchas veces las vigas se dejan vistas.

Los prescriptores eligen este material por su estupenda óptica y lo utilizan hasta para las estructuras más complicadas. También se utilizan los dúo y trío en la construcción de porches, garajes y otros usos decorativos por sus dimensiones generosas. En cualquier caso, el material no debería estar expuesto al contacto directo con el agua ni a cambios extremos de temperatura de forma continuada.

Si las vigas dúo o trío van a trabajar en el exterior (expuestas al aire libre), éstas tienen que haber sido sometidas a un tratamiento químico aprobado. En general es recomendable evitar una sobreexposición a la intemperie a través de un diseño constructivo adecuado de la estructura, protección constructiva de la madera.

Las limitaciones de las vigas de madera en general -y especialmente en las vigas con

líneas de encolado- están normalmente en el uso exterior (como quedó explicado en el capítulo anterior). En estos casos el diseño es muy importante para evitar el contacto directo con agua y también con el sol. Aunque las vigas dúo y trío sean bastante resistentes a pequeños cambios de humedad, temperatura, etc., el contacto continuo con agua o sol perjudica seriamente a las vigas en poco tiempo si la estructura no está bien diseñada. La unión encolada o empalmada, no supone, sin embargo, ninguna zona problemática desde el punto de vista mecánico ni en el caso de incendio. La producción de estos tipos de productos ha de tener garantizada una respuesta adecuada de las colas para estos casos a través de controles en la producción, avalados por los correspondientes certificados que así lo indiquen.

Después de haber mencionado en el apartado anterior el funcionamiento interno de las piezas de Dúo y Trío es importante no olvidar diseñar las estructuras pensando en el eje de simetría de propiedades que éstos presentan.

Así, en un hipotético caso de sección perfectamente cuadrada, si quisiéramos garantizar unas prestaciones mecánicas mayores en las piezas en su uso a flexotracción como en parecillos, vigas, etc., es de gran relevancia el diseñar siempre orientando los planos de pegado verticalmente. Su disposición horizontal presentaría las resistencias mecánicas normales según la clasificación de la propia madera, C24.

Una vez diseñada la estructura de esta forma, es muy importante indicarlo de forma adecuada en la documentación del proyecto de ejecución y controlarlo en obra.

La ventaja principal del uso de estas vigas para el prescriptor, aparte de su calidad estética, es la de saber que si se diseña y usa de forma adecuada, probablemente se presentarán a la larga flechas ligeramente inferiores que las flechas de cálculo correspondientes a su clase resistente, en comparación con vigas similares de madera aserrada, KVH o madera laminada.

5. NUEVOS HORIZONTES PARA EL CONCEPTO DÚO Y TRÍO

El concepto DÚO/TRÍO ha supuesto una pequeña revolución que sigue abriendo caminos. Ya se están probando diversas combinaciones en los centros tecnológicos de los países de origen para producir piezas de mayores escuadrías y algunos con propiedades especialmente bien pensadas. Uniendo piezas DÚO (Figura 2), podemos obtener piezas innovadoras como la viga de la izquierda, en ella tenemos la madera más resistente en las fibras de mayor tracción y compresión, y la menos resistente en el alma. También se están comenzando a producir diferentes combinaciones, tales como la QUATTRO, o una pieza compuesta por seis tablones como resultado de la unión de dos piezas Trío. Estas nuevas aportaciones nos permitirán, en un futuro cercano, contar con escuadrías impensables hoy por hoy.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) EN 386: Glued laminated timber: Performance requirements and minimum production requirements, European Committee for Standardization, 2001.
- (2) Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung Z-9.1-440. Duo-Balken und Trio-Balken. Deutsches Institut für Bautechnik, 2002.
- (3) DIN 4074-1: Sortierung von Holz nach Tragfähigkeit - Sortierkriterien für Nadelholz, Deutsches Institut für Normung, 2003.
- (4) DIN 1052: Holzbauwerke - Teil 1: Berechnung und Ausführung, Deutsches Institut für Normung, 1996.
- (5) DIN 68140: Keilzinkenverbindungen von Holz - Teil 1: Keilzinkenverbindungen von Nadelholz für tragende Bauteile, Deutsches Institut für Normung, 1996.
- (6) DIN 68141: Holzklebstoffe - Prüfung der Gebrauchseigenschaften von Klebstoffen für tragende Holzbauteile
- (7) DIN EN 301: Klebstoffe für tragende Holzbauteile - Phenoplaste und Aminoplaste - Klassifizierung und Leistungsanforderungen, 2006
- (8) DIN EN 302-2, Ausgabe: 2004 - 10 Klebstoffe für tragende Holzbauteile - Prüfverfahren - Teil 2 Bestimmung der Delaminierungsbeständigkeit DIN EN 302 - 3, Ausgabe: 2006-02 Klebstoffe für tragende Holzbauteile - Prüfverfahren - Teil 3: Bestimmung des Einflusses von Säureschädigung der Holzfasern durch Temperatur- und Feuchtezyklen auf die Querkzugfestigkeit DIN EN 302 - 4, Ausgabe: 2004-10 Klebstoffe für tragende Holzbauteile - Prüfverfahren - Teil 4: Bestimmung des Einflusses von Holzschwindung auf die Scherfestigkeit
- (9) Endbericht Feasabilitystudie ‚Produktentwicklung DUO- bzw. TRIO-Balken‘ - 2003 - Robert-August Jöbstl y Gerhard Schickhofer, Technische Universität Graz, Institut für Holzbau und Holztechnologie.

* * *