

TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN CON MADERA EN URUGUAY. ESTADO DEL ARTE Y PERSPECTIVAS

RESUMEN

El presente trabajo describe el estado del arte de la tecnología de construcción con madera en Uruguay. El objetivo fue la generación de un cuadro de necesidades de investigación y desarrollo en el ámbito de la madera estructural que permita definir un plan para el desarrollo de la tecnología de construcción con madera en el país.

La disponibilidad de madera y de productos de ingeniería de la madera, el cuerpo normativo y la mano de obra fueron analizados y considerados como los factores clave para el desarrollo de la tecnología. Se presentan, además, resultados parciales de los proyectos de investigación llevados a cabo actualmente en Uruguay y que contribuyen a la generación del plan.

Palabras clave: construcción con madera, madera estructural, productos de ingeniería de madera, normativa

ABSTRACT

This study describes the state of the art of timber construction technology in Uruguay. The objective was to generate a flow chart with research and innovations needs in order to write a plan focused on timber construction development. Structural timber, engineered wood products, standards, and human resources and labor are the key factors discussed here. Partial results from research and projects developed in Uruguay are also presented.

Keywords: wood construction, structural timber, engineered wood products, standards

1 INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, la construcción de edificios y obras civiles en Uruguay utiliza materiales y tecnologías de hormigón armado, cerámica, y acero, relegando el empleo de la madera y sus productos derivados en escasos y aislados ejemplos. Sin embargo, en los últimos años, dos factores principales vienen cambiando lenta pero sostenidamente esta situación: el primero, está relacionado con los procesos, costos y plazos de producción de obras de arquitectura y de ingeniería civil, y el segundo con la disponibilidad de madera y productos de ingeniería de madera (EWP, del inglés “Engineered Wood Products”) en el mercado nacional. Así, pueden verse ejemplos de construcciones con estructura de madera en distintas zonas del país (Fig 1).



Figura 1. Ejemplos de construcciones con estructura de madera en Uruguay

En algunos casos, la construcción ha sido realizada con madera de producción nacional, carente de especificaciones técnicas, y en todos los casos siguiendo lineamientos de construcción establecidos en reglamentos extranjeros, ya que en Uruguay no existen códigos ni normativa de construcción nacionales.

Existe por tanto, una oportunidad de desarrollo para el sector productivo forestal-maderero, y una demanda de conocimiento sobre características, prestaciones y usos de los productos de madera por parte del sector industrial de la construcción.

En general, el desarrollo y la adopción de una tecnología de construcción requiere contar con tres insumos básicos: i) materiales aptos, con especificaciones técnicas conocidas; ii) un cuerpo normativo que abarque desde la caracterización y especificaciones de fabricación de productos y componentes, hasta el diseño, cálculo estructural y la ejecución de obras; y iii) recursos humanos capacitados. El estado de situación cada uno de estos insumos en Uruguay, se describe a continuación.

i) Materiales: madera estructural y productos de ingeniería de madera

Uruguay cuenta en la actualidad con aproximadamente 1 millón de ha de plantaciones forestales de especies de rápido crecimiento, fundamentalmente de pinos y eucaliptos (MGAP 2010). Parte de esta masa forestal, que ha sido plantada para fabricar productos de ingeniería de madera y para producir madera sólida estructural, está siendo cosechada a edades de 15 y 25 años (MOYA et al., 2013).

Si bien en la última década ha habido un incremento significativo de la disponibilidad de madera de procedencia local, motivada por el impulso de políticas gubernamentales de incentivo a la forestación, Ley Forestal N° 15.939, (MGAP, 1989) en conjunción con la creación de instrumentos de apoyo financiero específicos para proyectos de I+D en el área de la madera, la información sobre las propiedades estructurales de las especies de madera nacional y de algunos productos de ingeniería de madera, es aún limitada y requiere de más investigación. La tendencia hacia la construcción sostenible hace entonces necesaria una revisión de las características de la madera estructural y de los productos de ingeniería de madera disponibles en el mercado nacional.

i1. Madera aserrada

a) de procedencia nacional. Se trata de piezas de madera de pino y eucalipto que no cuentan con especificaciones técnicas, esto es, sin clasificación estructural. Si bien algunas empresas productoras de madera realizan su propia clasificación según sus requisitos productivos, esta clasificación es interna, y no se refleja en los productos disponibles en el mercado local. En cuanto a la protección de la madera, en la actualidad, tanto el pino como el eucalipto se venden impregnados en sales CCA (Cobre, Cromo y Arsénico), aunque no siempre se especifica el grado de penetración del mismo.

b) de procedencia extranjera. Actualmente es posible encontrar en el mercado uruguayo madera aserrada certificada de origen extranjero, en particular de especies de pinos (*P. echinata*, *P. elliotii*, *P. palustris* y *P. taeda*) del sur de Estados Unidos. Las principales ventajas de esta madera con respecto a la comercializada y de producción local, es que se trata de piezas cepilladas en sus cuatro caras, con sección transversal rectangular o cuadrada constante a lo largo de su eje, y con especificaciones técnicas conocidas: propiedades estructurales, contenido de humedad, y tratamiento preservante, si fuera el caso. El tipo de preservante y las características del proceso de impregnación también son especificados. En particular, es posible encontrar en Uruguay, madera preservada con Azoles de Cobre-Micronizado (MCA) para prevenir el ataque de insectos y hongos, y el

proceso de tratamiento (tecnología MicroPro) también cuenta con certificación de calidad.

i2. Madera laminada y encolada

Al igual que en el caso de la madera aserrada, la madera laminada encolada de producción nacional se comercializa en el país sin certificación de calidad. Más aún, su producción se realiza sin ningún marco normativo que establezca requisitos mínimos de fabricación, ni que reglen su calidad física y estructural, así como las condiciones de comercialización, diseño y construcción. Si bien la técnica del laminado encolado no es nueva en el país (introducida en la década de los noventa) y al menos tres empresas están dedicadas a su producción, la madera laminada encolada que se fabrica en la actualidad no cumple con los requerimientos técnicos de un material estructural. Uno de los principales motivos es que no se utilizan adhesivos estructurales entre caras de láminas y/o en la unión *finger-joint* de unión de las testas de las láminas, requerimiento fundamental para considerar estructural estas vigas.

i3. Tableros estructurales

a) de procedencia local. En Uruguay se fabrican tableros contrachapados con chapas de madera de eucalipto y pinos, y adhesivos estructurales para uso en interior y exterior, en dimensiones de 1,22 x 2,44 m y en espesores de 12, 15, 18 mm. Los tableros cuentan con sello de certificación emitido por la agencia estadounidense TECO y las especificaciones técnicas se encuentran disponibles en la página web de la única empresa que produce este producto en Uruguay.

b) de procedencia extranjera. Se encuentran disponibles en el mercado local, tableros de fibra orientada, comúnmente denominados por su acrónimo OSB (oriented strand board), en dimensiones de 1,22 x 2,44 m y con espesores de 9, 12, 15, 18 y 25 mm (CSA, 2010). Los tableros cuentan con sello de certificación de calidad estructural y las especificaciones técnicas se encuentran disponibles en las páginas web de las empresas productoras.

ii) Cuerpo normativo

Las normas técnicas son realizadas a nivel nacional por comités especializados y publicadas por el Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (UNIT). Se detallan a continuación los campos normativos necesarios para la construcción con madera.

ii1. Caracterización y clasificación de la madera estructural

No existe a la fecha ninguna norma nacional que regule los procedimientos de clasificación estructural de la madera. No obstante, hay información y datos publicados de valores medios y/o característicos de propiedades físicas y mecánicas para las especies de uso estructural del grupo de Pino y de Eucalipto (*Pinus elliottii*, *Pinus taeda* y *Eucalyptus grandis*). La mayoría de los datos obtenidos se focalizaron en muestras de madera sin agrupación en función de una clasificación previa.

Países como EEUU (Normas ASTM) o como los países europeos (Normas EN), tienen bien definida la normativa de caracterización de la madera estructural y ésta está asociada a una clasificación visual previa, así como a una clasificación mecánica. Éstas siguen unos lineamientos específicos que permiten, posteriormente, realizar el cálculo estructural según la normativa y el método de cálculo empleado en cada país.

ii2. Requisitos de fabricación de los productos de ingeniería de madera

La caracterización estructural rige también para los productos de ingeniería de la madera que, previamente, deben haber sido fabricados según unos requisitos mínimos que aseguren su calidad estructural. En Uruguay no existe normativa local que fije los requisitos mínimos de fabricación para ninguno de los productos. Esto supone un problema, tal y como se comentaba anteriormente, a la hora de la venta de, por ejemplo, las vigas de madera laminada encolada, donde cada empresa establece su propio procedimiento.

ii3. Normativa de cálculo estructural

En cuanto al cálculo estructural, hay dos tendencias a nivel internacional en cuanto al método empleado. El método de los estados límites es el que sigue el cuerpo normativo europeo y países como Brasil. El método de las tensiones admisibles es el que siguen Argentina y Chile. EEUU plantea la dualidad de ambos sistemas en sus normativas de cálculo estructural. Por lo tanto, hay dos maneras de presentar los valores característicos de las propiedades mecánicas de la madera en función del sistema de cálculo empleado.

En la actualidad no existe norma UNIT de cálculo estructural con madera. El único documento publicado que hace referencia a una metodología de cálculo, en base al método de las tensiones admisibles, es el IE4-50, elaborado por el Instituto de Estructuras y Transporte de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República en el año 1950 (IET, 1950). Al final del documento se incluyen cuadros con las propiedades mecánicas para diferentes especies de madera, aunque ninguna de ellas se basa en datos provenientes de ensayos sobre madera de procedencia uruguaya y se desconocen tanto el nombre científico como si los datos presentados se corresponden con valores medios o característicos.

iii) Recursos humanos

La educación formal en Uruguay se organiza básicamente en tres niveles: primario, secundario y terciario. El nivel secundario-técnico es el destinado para la formación en los oficios, como por ejemplo carpintería, construcción, etc. En Uruguay, quienes llevan adelante estos programas son instituciones estatales, como la Universidad del Trabajo del Uruguay (UTU) u organizaciones privadas. Ninguna institución de enseñanza ofrece en la actualidad un programa completo de construcción con madera. En UTU se dictan una serie de clases sobre construcción con madera dentro de un curso curricular de carpintería de muebles y aberturas. A nivel terciario universitario, no existen cursos específicos que abarquen la temática completa de diseño y construcción con madera. Sin embargo, a nivel de posgrado, y desde hace tres años, la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República viene dictando el curso “Construcción con madera. Diseño y cálculo” que se enmarca dentro de la maestría de Ingeniería Estructural, impartida por el Instituto de Estructuras y Transporte (IET).

En base a los antecedentes de la madera estructural en Uruguay, es por lo tanto, objetivo del presente trabajo, la generación de un cuadro de necesidades de investigación y desarrollo en el ámbito de la madera estructural que pueda definir un plan para el desarrollo de la tecnología de construcción con madera en Uruguay y presentar los resultados parciales de los proyectos de investigación llevados a cabo en Uruguay.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales

Tanto la metodología como los resultados presentados se centran en las dos especies con potencial estructural de mayor producción en Uruguay, el grupo de los Pinos (que incluye a las especies *Pinus elliottii* y *Pinus taeda*, y que normalmente no se diferencian en el mercado) y el *Eucalyptus grandis*.

2.2. Metodología

Con la finalidad de contribuir al desarrollo de la tecnología de construcción con madera, se definió un esquema para la elaboración del plan para el desarrollo de la tecnología de construcción con madera en Uruguay. Para la configuración de dicho plan, se realizaron las siguientes tareas:

- 1) Relevamiento de la disponibilidad de madera y productos de ingeniería de madera en el mercado nacional
- 2) Revisión de literatura nacional referida a la caracterización de productos de madera
- 3) Identificación de productos de ingeniería de la madera que podrían ser desarrollados en Uruguay a partir de la materia prima disponible
- 4) Revisión de la normativa internacional y planteo de la normativa a utilizar en Uruguay en tres ámbitos: i) ensayos físico-mecánicos y químicos; ii) caracterización estructural y clasificación visual y/o mecánica y iii) cálculo estructural para el diseño y la construcción con madera
- 5) Revisión de los sistemas constructivos presentes en Uruguay y posibilidad de desarrollo de otros nuevos
- 6) Definir potenciales usos de la madera en la construcción de vivienda, edificación civil y puentes, entre otros.

A la fecha existe una serie de proyectos en ejecución que contribuyen al alcance de los objetivos de las líneas de investigación y desarrollo definidas en el plan y que se numeran a continuación:

- 1) Caracterización estructural de madera aserrada de pinos (*P. elliottii* y *P. taeda*) asociada a grados estructurales (FONDO MARÍA VIÑAS-ANII, 2010)
- 2) Diseño de puentes realizados con madera de procedencia local para el paso de vehículos pesados en el sector agrícola y forestal (FPTA-INIA, 2012)
- 3) Estudio de las propiedades estructurales de vigas de madera laminada encolada de *Eucalyptus grandis* producida en Uruguay para su asignación a clases resistentes (INNOVAGRO-ANII, 2013)
- 4) Evaluación de la madera de pino por clasificación visual para uso estructural (FONDO INDUSTRIAL-DNI, 2013)
- 5) Documentos técnicos base para la normalización de estructuras y construcción con madera (FONDO INDUSTRIAL-DNI, 2014)
- 6) Determinación experimental del comportamiento elasto-plástico de la madera de *Pinus elliottii* de procedencia uruguaya y aplicación en el desarrollo de modelos de elementos finitos para el cálculo estructural (BECA INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN-ANII, 2014)
- 7) Determinación de las constantes elásticas de madera de *Pinus elliottii* y *Pinus taeda* (BECA INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN-ANII, 2014)
- 8) Panel estructural autoportante de madera contralaminada (CLT) a partir de madera de pino proveniente de raleos (DESARROLLO DE PROTOTIPOS-FUNDACIÓN RICALDONI, 2014).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 2 muestra la propuesta de “Plan para el desarrollo de la tecnología de construcción con madera en Uruguay”. Con un asterisco se marca alguno de los temas en los que se está trabajando actualmente o se dispone de información proveniente de trabajos de investigación previos y con una “x” los productos estructurales que todavía no están caracterizados y en los que se debería investigar para el desarrollo de la tecnología de la construcción con madera en Uruguay.

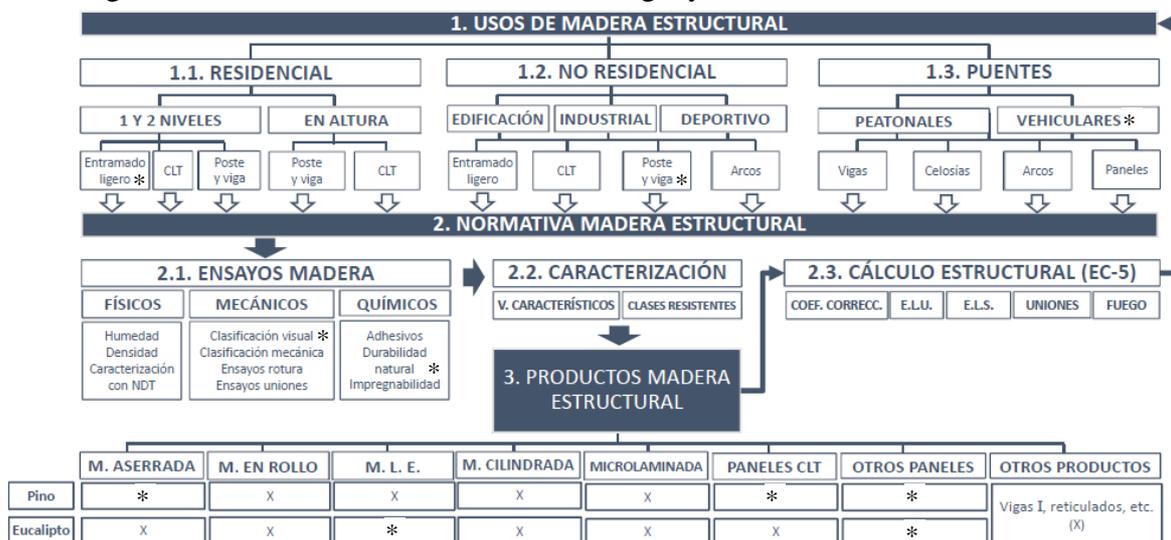


Figura 2. Plan para el desarrollo de la tecnología de construcción con madera en Uruguay

El esquema presenta los potenciales usos de la madera estructural en Uruguay en tres grandes áreas (residencial, no residencial y puentes) y establece los sistemas constructivos que se podrían emplear para cada uso (entramado ligero, sistema poste y viga, paneles de madera contralaminada-CLT-, otros tipos de paneles estructurales y soluciones con arcos y celosías o reticulados).

Para poder diseñar y construir con estos sistemas constructivos es necesario definir el sistema de cálculo a emplear y, en base a ello, la normativa de madera estructural se debe desarrollar en tres áreas básicas. La primera es la que rige los ensayos para la determinación de las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la madera; la segunda es la que especifica cómo caracterizar la madera aserrada para obtener los valores característicos de las propiedades mecánicas y relacionar dichos valores con una clasificación visual y/o mecánica de la madera y, por último, la normativa de cálculo estructural para el dimensionamiento de los elementos constructivos en base a los valores obtenidos siguiendo la normativa anteriormente definida.

Los productos de madera estructural identificados con posibilidad de uso en Uruguay son la madera aserrada, la madera en rollo, la madera laminada encolada (MLE), la madera cilindrada, la madera microlaminada, los paneles CLT, otros paneles estructurales (contrachapados, OSB, etc.) y otros productos de ingeniería de la madera, como son las vigas I, reticulados, etc.

Se han realizado avances en la caracterización de alguno de estos productos, así como en las bases normativas para la caracterización y cálculo estructural en Uruguay y algunos sistemas constructivos. Se presentan a continuación los resultados parciales obtenidos en

base a los proyectos de investigación en curso definidos anteriormente en el apartado de metodología.

3.1. Valores característicos de las propiedades mecánicas de la madera aserrada

Los documentos técnicos base que se están generando para la normalización de estructuras y construcción con madera se basan en el cuerpo normativo europeo (normas EN). Para ello, se analizaron los datos de ensayos de vigas de madera de *Pinus elliottii/taeda* de tamaño estructural procedente de diferentes regiones forestales de Uruguay. La caracterización estructural se realizó siguiendo la norma prEN 384 (CEN, 2014) para obtener sus valores característicos en base a tres propiedades básicas: resistencia a flexión, módulo de elasticidad y densidad.

Aunque en la actualidad el número de muestras analizadas es pequeño, y se requiere de más resultados experimentales para afinar los resultados, se puede predecir que la madera de pino de procedencia uruguaya se clasificaría estructuralmente en una clase resistente C14, según la definición de la norma prEN 338 (CEN, 2012), siendo el módulo de elasticidad el valor que limita su asignación (MOYA et al., 2015). Asimismo, se generó una tabla de clasificación visual de las muestras de madera de pino estudiadas que asegure una clase resistente C14 en las piezas clasificadas. Parte del presente trabajo forma parte del proyecto final de tesis de maestría de A. Cardoso (LATU). Existen, además, datos publicados de valores medios de las propiedades mecánicas de la madera de *E. grandis* (PÉREZ DEL CASTILLO y VENTURINO, 2003) aunque se requeriría de nuevas investigaciones para obtener sus valores característicos en base a la normativa europea.

Con el fin de determinar alguna de las demás propiedades mecánicas de la madera de pino, así como sus constantes elásticas, se están realizando ensayos estructurales de compresión, tracción y flexión en pequeñas probetas, aunque a la fecha actual todavía no se han procesado los resultados obtenidos.

3.2. Madera laminada encolada

Aunque, como se mencionó anteriormente, se produce y comercializa madera laminada encolada de *E. grandis* en Uruguay, ésta no se puede definir como un producto estructural, pues no sigue los requerimientos de fabricación y control de calidad mínimos que exigen las normativas internacionales. Hasta la fecha, las vigas fabricadas utilizaban adhesivo estructural en la unión entre láminas, pero no en las uniones de las testas de las láminas. El proyecto en curso (INNOVAGRO-ANII, 2013) proporcionó unos primeros resultados, no muy satisfactorios, de los ensayos de flexión de cuatro puntos de las uniones dentadas (*finger-joint*) empleando adhesivos estructurales (EPI-Emulsión Polímero Isocianato bicomponente; y PUR-Poliuretano monocomponente de curado con humedad) aplicados manualmente, por lo que se está trabajando en la mejora del proceso de encolado de dichas uniones (Fig. 3-a y 3b). Dicho trabajo está formando parte de la tesis final de maestría de C. Pérez-Gomar (MVOTMA). Existen, además, experiencias en Uruguay de fallos estructurales por este tipo de unión en estructuras después de 10 años puestas en obra (Fig. 3-c) que llevaron al colapso de la estructura (BAÑO et al., 2015).

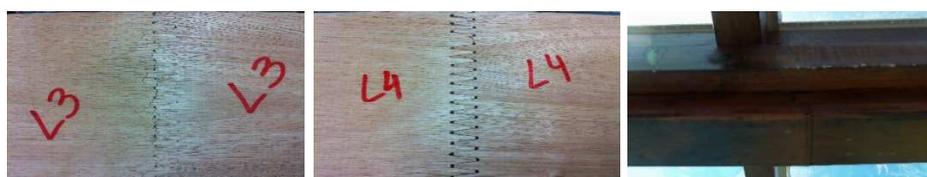


Figura 3. Uniones finger-joint: a) Rotura por madera en ensayo de flexión; b) Rotura por adhesivo en ensayo de flexión; c) Fallo estructural de una correa puesta en obra

3.3. Paneles de madera contralaminada (CLT)

En cuanto a los paneles CLT, se están desarrollando en Uruguay las primeras experiencias en su fabricación y en la determinación de sus propiedades mecánicas. Para ello se ha utilizado madera de pino proveniente de raleos, con propiedades mecánicas bajas que no alcanzan la clase resistente C14. La idea de este desarrollo es dar salida a la madera que actualmente no tiene aprovechamiento industrial. Dicho trabajo constituye el trabajo final de la tesis doctoral de D. Godoy (IEM-Facultad de Ingeniería.) y parte de la financiación proviene de la Fundación Ricaldoni. Para su fabricación se han utilizado adhesivos tipo EPI, distintos espesores de lámina y diferente número de capas, aunque todavía no se dispone de valores de propiedades mecánicas del panel CLT. La figura 4 presenta un esquema del proceso constructivo de los paneles en Uruguay.



a) Tablas madera b) Clasificación c) encolado tablas d) prensado e) paneles CLT

Figura 4. Proceso de fabricación de los paneles CLT en Uruguay

3.4. Desarrollo de sistemas estructurales con madera de procedencia local

En cuanto al desarrollo de los sistemas estructurales de construcción, se ha avanzado bastante en la construcción con entramado ligero para la fabricación de vivienda, principalmente de interés social, promovido por el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (Fig. 5-a).

Se ha realizado también una experiencia de construcción de una pasarela peatonal utilizando madera aserrada de pequeñas dimensiones disponible de venta al público en aserraderos y barracas, utilizando para su construcción un sistema reticulado o en celosía y siguiendo las directrices de cálculo del Eurocódigo 5 en su parte 1 y 2 (CEN, 2010) y que fue presentado en Ingeniería de Muestra de la Facultad de Ingeniería en el año 2014 (Fig. 5-b). Esta experiencia se elaboró en colaboración con la escuela de carpintería de la UTU, que aportaron los conocimientos de montaje y la mano de obra para el armado del puente. Las flechas experimentales obtenidas superaron ligeramente las esperadas según el cálculo estructural. Esto pudo ser debido a varios motivos, el principal ligado a que la madera no se encuentra clasificada estructuralmente en Uruguay y las propiedades mecánicas de cada tabla son diferentes y a que el contenido de humedad de venta de la madera normalmente supera lo exigido en la normativa.

Se encuentra también en desarrollo un proyecto de investigación para la realización de un prototipo de puente de madera para el paso de vehículos pesados en el sector agrícola y forestal utilizando madera de procedencia local. Tras la evaluación de los sistemas constructivos habitualmente utilizados para este tipo de puentes (BAÑO et al., 2014) y de las propiedades mecánicas y de durabilidad natural de la madera local, el diseño se está enfocando a la utilización de vigas de madera laminada encolada de pino impregnado y tablero colaborante de panel CLT también en madera de pino impregnado (Fig. 5-c).



Figura 5. Sistemas constructivos en desarrollo en Uruguay: a) entramado ligero; b) reticulado; c) Puente con vigas de MLE y tablero con paneles CLT

4 CONCLUSIONES

Se presenta un cuadro de necesidades de investigación y desarrollo en el ámbito de la madera estructural, definiendo así el esquema del “Plan para el desarrollo de la tecnología de construcción con madera en Uruguay” y marcando las necesidades de investigación en los diferentes ámbitos.

En base a un análisis de la normativa existente y de los trabajos de investigación en curso, se ha optado por seguir los lineamientos del cuerpo normativo europeo (normas EN) para el desarrollo de la normativa estructural en madera en Uruguay.

En una primera aproximación a la caracterización estructural de la madera de pino, se obtuvo que los valores característicos de sus propiedades mecánicas se podrían englobar en una clase resistente C14 según la norma EN 338.

La madera laminada encolada que se produce y comercializa actualmente no cumple con los requisitos mínimos de fabricación de normativas internacionales debido, principalmente, al uso de adhesivos no estructurales en las uniones *finger-joint*, aunque se está trabajando actualmente en la mejora del proceso de fabricación.

Se presentaron, además, los avances en el desarrollo de nuevos productos de ingeniería de la madera (paneles CLT) y en los sistemas estructurales utilizados para la construcción de edificaciones y de puentes.

El plan de desarrollo de la tecnología de la construcción en Uruguay debe incluir, por lo tanto, tanto proyectos de investigación y desarrollo, como actividades de difusión y promoción de la tecnología y de formación de recursos humanos y mano de obra capacitada.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración y el aporte de información de las tres instituciones que principalmente están trabajando en el desarrollo de los proyectos presentados en el presente trabajo: Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República (Institutos IET e IEM), Facultad de Arquitectura de la Universidad ORT Uruguay y Departamento de Productos Forestales del Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU). Asimismo se agradece a las instituciones financiadoras de los proyectos: Agencia Nacional de Investigación en Innovación (ANII), Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas (INIA), Fundación Ricaldoni, Dirección Nacional de Industria del Ministerio de Industria, Energía y Minería.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baño, V.; Domenech, L.; Cetrangolo, G.; Morquio, A. (2015). Inspección y restauración de la cubierta de madera laminada encolada de una piscina climatizada. Congreso CONPAT. Setiembre 2015, Lisboa (en publicación).

Baño, V.; Dieste, S.; Calil Junior, C.; Giuliano, G.M.; Moya, L. (2014). Revisión de las tipologías estructurales de puentes de madera de pequeñas luces para el paso de vehículos pesados. XXXVI JSIE. Noviembre 2014. Montevideo, Uruguay.

Böthig, S.; Sánchez, A.; Doldán, J. (2008). Durabilidad natural de madera de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden de plantaciones de rápido crecimiento. INNOTECH-7, No.3. Publicación anual del Laboratorio Tecnológico del Uruguay, LATU.

Böthig, S. (2008). *Preservación de madera en Uruguay*. IRG/WP 08-30492. IRG American Regional Meeting. Costa Rica

CSA (2010). CSA O437. OSB and Waferboard. Canadian Standard Association.

CEN (2010). EN 1995-1-1. Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para la edificación

- CEN (2010). EN 1995-2. Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 2: Puentes
- CEN (2012). prEN 338. Madera estructural. Clases resistentes
- CEN (2014). prEN 384. Madera Estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad
- FONDO INDUSTRIAL-DNI (2013). Dirección Nacional de Industrias del MIEM. Proyecto "Evaluación de madera de pino por clasificación visual para uso estructural"..
- FONDO INDUSTRIAL-DNI (2014). Dirección Nacional de Industrias del MIEM. Proyecto "Documentos técnicos base para la normalización de estructuras y construcciones con madera". Exp. No. 2013-8-2-0003823.
- FONDO MARÍA VIÑAS-ANII (2010). Caracterización estructural de madera aserrada de pinos (*P. elliotii* y *P. taeda*) asociada a grados estructurales. Agencia Nacional de Investigación e Innovación. PR FMV 2009_1_2772
- FONDO FPTA-INIA (2012). Diseño de puentes realizados con madera de procedencia local para el paso de vehículos pesados en el sector agrícola y forestal en Uruguay. Fondo de Promoción de Tecnología Agropecuaria. Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas, INIA. Proyecto No. FPTA-306.
- FONDO INNOVAGRO-ANII (2013). Estudio de las propiedades estructurales de vigas de madera laminada encolada de *Eucalyptus grandis* producida en Uruguay para su asignación a clases resistentes". Agencia Nacional de Investigación e Innovación. FSA_1_2013_1_12897
- FONDO BECA INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN-ANII (2013). Determinación experimental del comportamiento elasto-plástico de la madera de *Pinus elliotii* de procedencia uruguaya y aplicación en el desarrollo de modelos de elementos finitos para el cálculo estructural. Agencia Nacional de Investigación e Innovación. INI_X_2013_1_1012202
- FONDO BECA INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN-ANII (2013). Determinación de las constantes elásticas de madera de *Pinus elliotii* y *Pinus taeda*. Agencia Nacional de Investigación e Innovación. INI_X_2013_1_101164
- FONDO DESARROLLO DE PROTOTIPOS-FUNDACIÓN RICALDONI (2014). Panel estructural autoportante de madera contralaminada (CLT) a partir de madera de pino proveniente de raleos. Programa de fomento al emprendedurismo. F.R. F07-2014.
- IET (1950). IE4-50:1950. Norma para proyectos de estructuras de madera para edificios. Instituto de Estructuras y Transporte. Facultad de Ingeniería. Universidad de la República
- MGAP (1989). Ley Forestal N° 15.939. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca
- MGAP(2010). Monitoreo de los recursos forestales. Inventario forestal nacional. Resumen de resultados. Dirección General Forestal, , Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.
- Moya, L.; Laguarda, M.F.; Cagno, M.; Cardoso, A.; Gatto, F.; O'Neill, H. (2013). Physical and mechanical properties of Loblolly and Slash pine Wood from Uruguayan plantations. Forest Products Journal. Vol. 63, No. 2
- Moya, L.; Cardoso, A.; Cagno, M.; O'Neill, H. (2015). Caracterización estructural de Madera aserrada de pinos cultivados en Uruguay. Maderas-Cienc Tecnol 17 (not assigned): 2015. Ahead of Print. DOI: 10.4067/s0718-221x2015005000053.
- Pérez del Castillo, A. y Venturino, A. (2003). Resumen de propiedades mecánicas de *Eucalyptus grandis*, *Pinus elliotii* y *Pinus taeda* de distintas zonas del Uruguay. Informe de Investigación N°14. LATU. 31pp.