



CASA DE BALNEARIO EN SOLANAS DE ESTRUCTURA DE POSTE Y VIGA DE EUCALITPTUS CON BAJA ENERGÍA INCORPORADA EN SU PRODUCCIÓN

SOLANAS HOUSE WITH POST AND BEAM STRUCTURE WITH EUCALYPTUS TO LOW ENERGY INCORPORATED IN ITS PRODUCTION

Nogara, Pier¹; Benitez, Alejandro²

¹Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Uruguay;

²CUT Centro Universitario Tacuarembó, Uruguay

Resumen

El proyecto y ejecución de la Vivienda se realizó desde la consigna de los propietarios, de utilizar materiales constructivos de baja transformación que conjugaran con el entorno natural de pinos marítimos en el Balneario Solanas de Punta del Este. A partir de esta premisa se realizó el proyecto en base a un Sistema Constructivo de Poste y Viga con rollizos de Eucalyptus Grandis de 25 cm. de diámetro promedio tratados con sales de Cromo-Cobre-Arsénico. La propuesta implicó para su ejecución una metodología de armado que contemplara el posicionamiento de los postes (algunos continuos en dimensiones de 8 m. de altura) con sus aristas exteriores coplanares para ser revestidas con un emplacado exterior de OSB en toda su envolvente. La propuesta constructiva utilizó piezas estructurales de muy baja transformación a partir de madera en rollizos que incorporan baja energía en su proceso de producción, reduciendo las emisiones de dióxido de carbono y favoreciendo una Arquitectura más sustentable. La reducción de energía en la etapa de producción de los elementos constructivos de un edificio es una estrategia directa y efectiva para reducir las emisiones de dióxido de carbono que afectan al cambio climático, generando de esta manera construcciones más amigables con el medio ambiente.

***Palabras-clave:** Casa de balneario, Estructura de Poste y Viga, baja energía incorporada*

Abstract

The project and execution of the Housing was made from the precept of the owners to use low-construction building materials which combine with the natural environment of marine pines in the Solanas Spa of Punta del Este. Based on this premise, the project was carried out based on a Post and Beam Constructive System with Eucalyptus Grandis logs with diameter of 25 cm. of average treated with Chromium-Copper-Arsenic salts. The proposal involved an assembly methodology for the positioning of the posts (many of them continuous in dimensions of 8 m height) with their coplanar outer edges to be covered with the exterior OSB in its entire envelope.

The construction proposal used structural pieces of very low transformation form wood in logs that incorporates low energy in its production process and reduces carbon dioxide emissions, favoring a more sustainable architecture. The reduction of energy in the production stage of the building elements is a direct and effective strategy that reduces the greenhouse effect and the consequences of climate change generating more sustainable constructions.

***Keywords:** House, Post and Beam Structure, low energy incorporated*



1. INTRODUCCIÓN

Desde la etapa de anteproyecto de la vivienda los propietarios tuvieron la idea de utilizar materiales constructivos de baja transformación y particularmente la utilización de maderas nacionales que conjugaran con el entorno natural de pinos marítimos en el Balneario Solanas de Punta del Este. En una primera etapa del anteproyecto se consideró la elección de un Sistema Constructivo de entramado ligero como solución estructural pero a posteriori y con la intención de lograr una estética espacial interior que dialogara con el paisaje de los pinares de Solanas, se planteó desde el proyecto dejar expuesta la estructura, buscando integrar la idea de la “cabaña primitiva” (Laugier, 1755) con una resolución estética de materiales de mayor acabado en las terminaciones. Fue a partir de estas dos concepciones, de utilizar materiales de baja transformación y de lograr una estética interior que conjugara con el entorno inmediato que se decidió optar por un Sistema Constructivo de Poste y Viga con rollizos de Eucaliptus Grandis de 25 cm. de diámetro promedio tratados con sales de Cromo-Cobre-Arsénico (CCA), conformando un cerramiento entre los vanos estructurales con paneles de entramado ligero de 2” x 4” de Pino Elliotti y Taeda con tratamiento de CCA. La rigidización de toda la estructura se realizó mediante paneles de OSB de 11 mm. de espesor y como terminación de la envolvente se utilizó un revestimiento exterior en tablas cementicias con textura de madera y revestimiento interior con placas de yeso de 12 mm de espesor manteniendo visible parte de la estructura conformada por los rollizos de Eucaliptus Grandis.

Contemplando las premisas iniciales, la propuesta constructiva utilizó piezas estructurales de muy baja transformación a partir de madera en rollizos que incorpora baja energía en su proceso de producción, siendo esta una de las medidas más eficaces para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero GEI en la industria de la construcción que intervienen en las causas del cambio climático (Libro Verde, 2005). La reducción de energía en la etapa de producción de los elementos constructivos de un edificio tiene consecuencia directa en la baja de emisiones de los GEI hacia la atmósfera y es una estrategia efectiva para reducir las causas del cambio climático, generando construcciones más amigables con el medio ambiente y una Arquitectura sustentable.

2. METODOLOGIA PARA LA EJECUCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE POSTE Y VIGA

En relación a la resolución formal de la vivienda se buscó materializar una imagen de plano continuo de fachada, lo que exigiría la continuidad material del revestimiento y su estructura auxiliar a ser anclada a la estructura principal de poste y viga. A su vez la resolución material de las fachadas debía mantener la verticalidad en sus dos ejes (eje de fachadas con orientación norte-sur y eje este-oeste). Una dificultad que esto presentaba era que al utilizar rollizos de madera sin maquinar, los mismos presentarían variaciones dimensionales tanto en el diámetro como en su conicidad (debido al crecimiento natural irregular del fuste), por lo que se debería recomponer un plano tangente a los postes desde el lado exterior a estos y que a su vez fuera perpendicular al plano horizontal para que tanto los paneles rigidizadores de OSB como el revestimiento exterior adosado a este quedaran perfectamente alineados en los ejes de fachada y aplomado respecto al



plano vertical. Las dimensiones de los rollizos-postes, por sus características naturales son irregulares y debido a la esbeltez necesaria que solicitaba el proyecto estructural (piezas de 4 a 8 metros de longitud, con diámetros variables aproximados a los 25 cm.) los mismos presentaban una conicidad natural que generaba piezas diferentes con diámetros variables en cada uno de los postes. La propuesta implicó para su ejecución un metodología de armado que contemplara el posicionamiento de los postes con sus aristas exteriores coplanares para ser revestidas con el emplacado exterior de OSB en toda su envolvente y el posterior anclaje del revestimiento de terminación exterior conformado por tablas cementicias con textura de madera.



Figura 1: Modelo-vista fachada principal. Figura 2: Modelo-vista interior de entrepiso

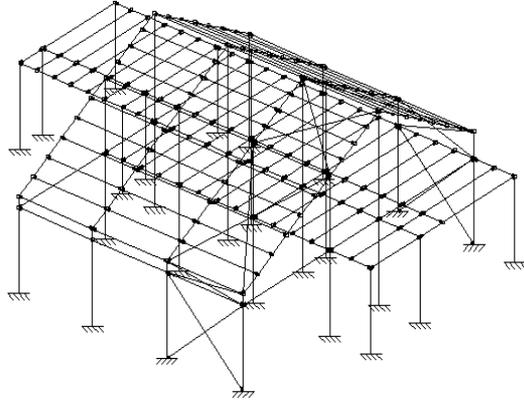
3. EJECUCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE PILAR Y VIGA.

3.1 ETAPA PROYECTUAL

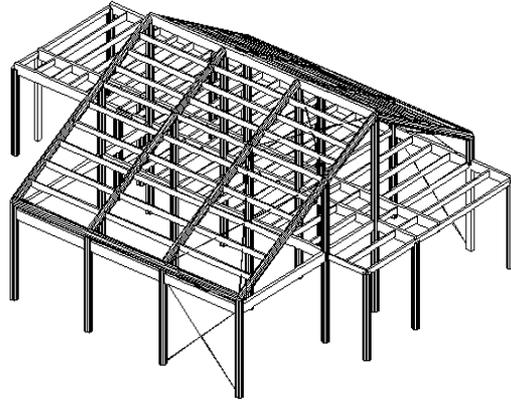
El proyecto se conformó en base al Sistema Constructivo de Poste y Viga en madera de Eucalitus Grandis de diámetro promedio 25 cm. dimensionado en base a una modulación de 2, 3 y 4 metros en planta y con alturas de los postes entre 3 a 8 m., tabiques entre vanos de estructura conformados por entramados de Pino Elliotti y Taeda de 2" x 4", vigas de entrepiso y correas de techo de 3" x 8" de Pino Elliotti y Taeda, con arriostramiento general en placas de OSB de 11 mm., revestimientos exteriores de tablas cementicias con textura de madera, placas interiores de yeso-cartón de 12mm, con aislación impermeable de lámina microporosa tipo Tyvek, aislación térmica y acústica de lana de vidrio y lámina barrera de vapor de polietileno 200 micras.



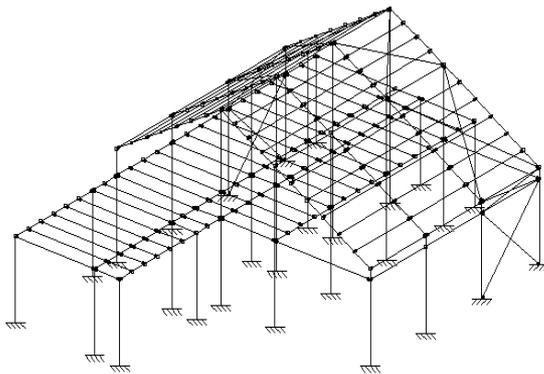
Estructura 1: 3D



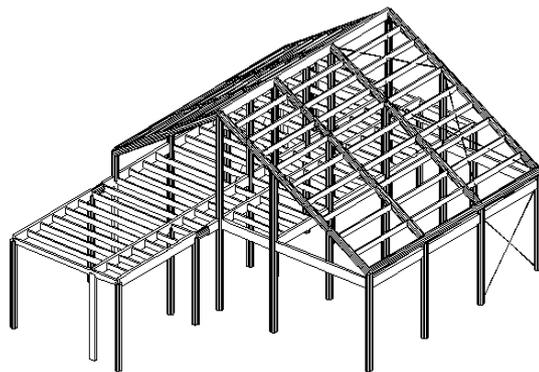
Estructura 1: 3D



Estructura 1: 3D



Estructura 1: 3D



ENTREPISO:
TIRANTES DE PINO 3 X 8 Cada 0.60
ESTRUCTURA GENERAL:
ROLOS DE EUCALIPTUS DIAM.MIN. 25 CM
ENTREPISO:
ROLOS DE EUCALIPTUS DIAM.MIN. 25 CM
CORREAS DE PINO 3 X 8

vivienda en solanas –
Estructura 1
Norma de acero laminado: NBR 8800: 2008
Norma de madera: Eurocódigo 5
Acero laminado: A-36 250Mpa
Madera edt_RML: D35
Madera edt_CMG: C18
Escala: 1:100

Figura 3: Modelo-Vistas axonométricas del diseño estructural del Sistema Poste y Viga

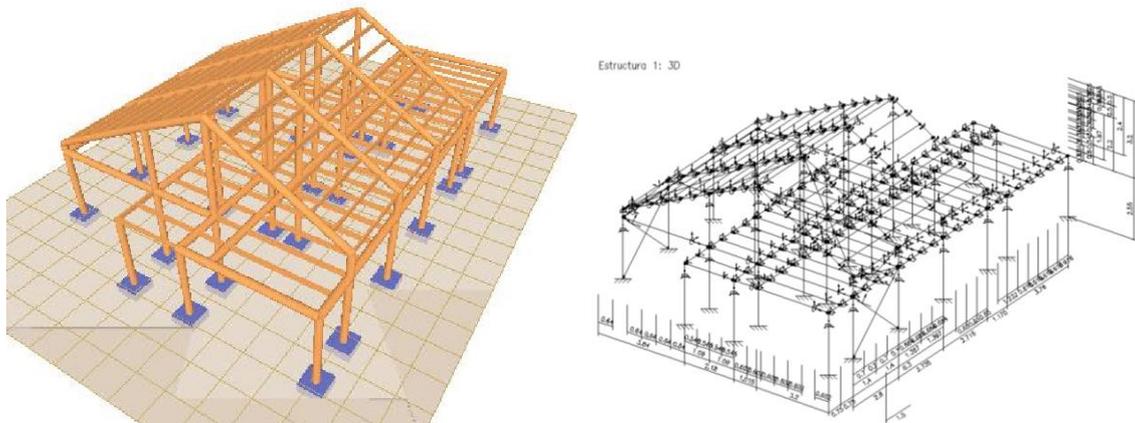


Figura 4: Modelo-Vistas axonométricas del diseño estructural del Sistema Poste y Viga

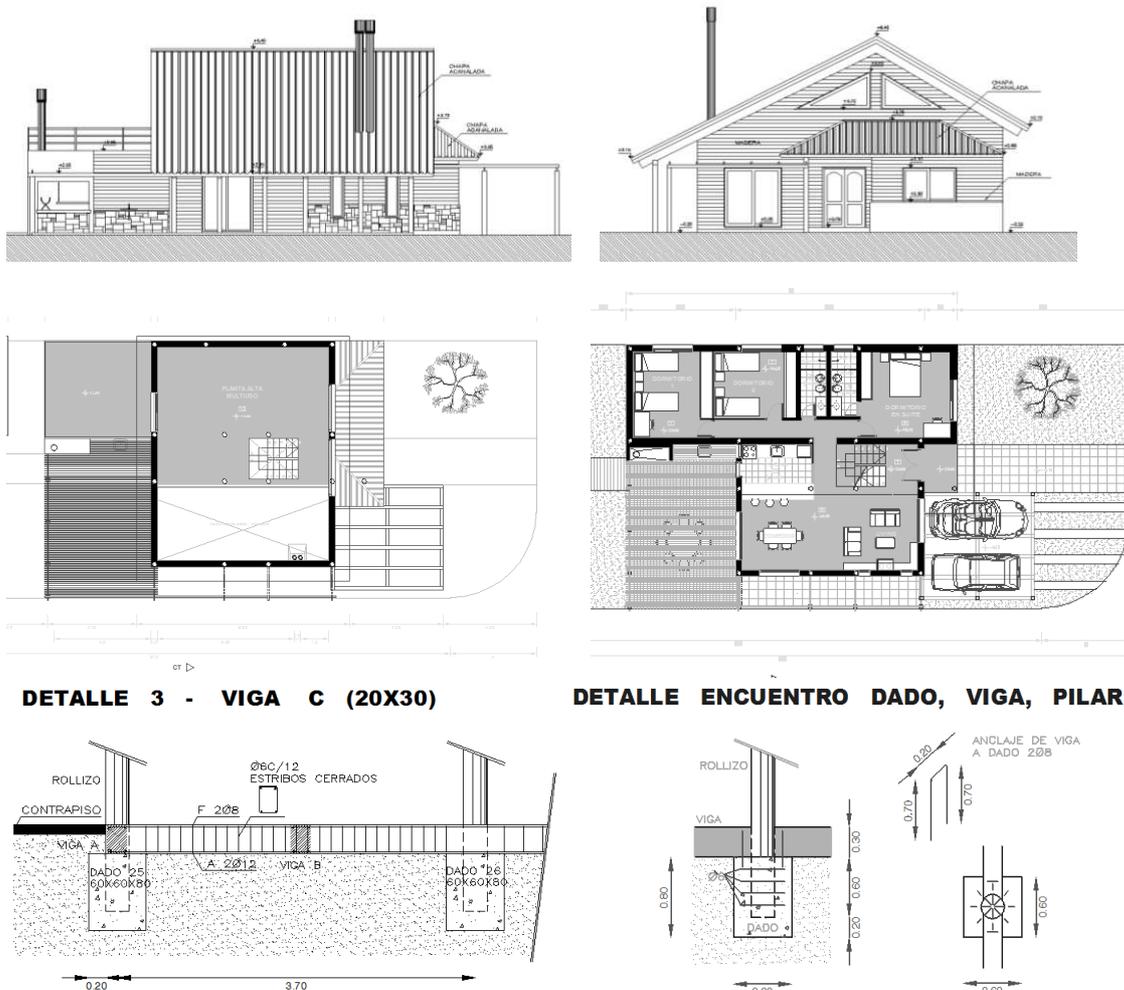


Figura 5: Plantas, Fachadas y detalles estructurales – Vivienda en Solanas



3.2 EJECUCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE POSTE Y VIGA

El procedimiento para recomponer los planos verticales donde se ancla el emplacado de OSB se realizó mediante procedimientos de replanteo posicionando los postes a nivel de cimentación sujetos provisoriamente mediante puntales y tablas auxiliares para lograr la verticalidad en relación a su arista exterior que sería la línea de tangencia y punto de contacto con el panel de arriostamiento de OSB. Una vez arriostado cada poste, se procedió al llenado de la base (dados de hormigón ciclópeo de 60 x 60 x 80 cm.).





A partir e que el hormigón ciclópeo se encuentre en un 70 % de su resistencia (aproximado a los 7 días de llenado) se comenzó la colocación de las vigas de rollizos de Eucaliptus Grandis, conformando el entramado estructural general de Poste y Viga, mediante tornillos tirafondos galvanizados y platinas metálicas.

Posteriormente se colocó la panelería de 2" x 4" de Pino Elliotti y Taeda conformando el cerramiento entre los vanos estructurales de la estructura de Poste y Viga, alineando las caras exteriores de las escuadrías de 2" x 4" con los planos de tangencia de los rollizos de postes y vigas. Para lograr un correcto anclaje de las escuadrías de 2" x 4" sobre los rollizos, se colocaron cuñas de complemento de madera de la misma madera de pino uniendo la zona de curvatura de los rollizos con las caras de las escuadrías de 2" x 4" (el anclaje se realizó mediante tirafondos galvanizados). A continuación se colocaron las placas de OSB mediante tornillos específicos de cabeza rasante atornillados al entramado de 2" x 4" y a la estructura de poste y viga, previendo de complementar las posibles variaciones coplanares entre los postes y las placas de OSB mediante láminas de madera que permiten el apoyo del panel sin perder la alineación del plano vertical. De esta manera se logró anclar las placas de OSB manteniendo la verticalidad y alineación coplanar para luego colocar la película microporosa impermeable y la terminación de tablas cementicias con textura de madera como recubrimiento exterior, utilizando para ello tornillos galvanizados de cabeza fresada para lograr una terminación al ras de la tabla.

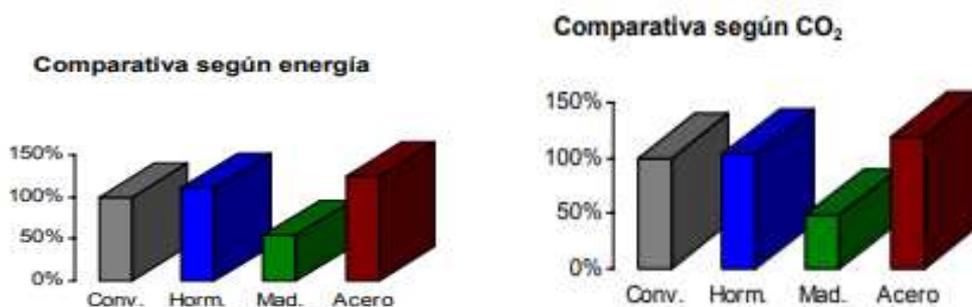
3. ANALISIS DE RESULTADOS

Simplificando el modelo de análisis, se relaciona el estudio comparativo del consumo de energía y las respectivas emisiones de CO₂ de cuatro sistemas constructivos para la construcción de una vivienda (convencional de ladrillo, hormigón, madera y acero), se



analizó la energía incorporada de cada uno y sus correspondientes emisiones de CO₂ (Wadel, 2009).

Tabla 1: Comparativa de Sistemas constructivos convencional, de hormigón, madera, acero para las fases de extracción y fabricación de materiales



Se observa en las gráficas de barras que el sistema constructivo en madera es el que consume menos energía en el proceso de fabricación y su equivalencia de emisiones de CO₂.

Tabla 2: Valores comparativos de energía incorporada de los cuatros Sistemas Constructivos (convencional, hormigón, madera y acero) para la construcción de una vivienda.

Sistema	Peso		Energía		Emisiones	
	kg/m ²	%	MJ/m ²	%	KgCO ₂ /m ²	%
Convencional	1464,55	100%	5380,28	100%	600,49	100%
Modular hormigón	945,86	65%	5986,60	111%	615,48	102%
Modular madera	506,826	35%	2932,44	55%	292,85	49%
Modular acero	408,566	28%	6685,21	124%	708,66	118%

En las gráficas y en la tabla se observa el estudio comparativo realizado sobre la energía incorporada en los sistemas constructivos modulares (prefabricados) y convencional de ladrillo. El sistema constructivo en madera es el posee menor energía incorporada y recíprocamente de menor emisión de dióxido de carbono (el gas mayoritario de los GEI).

4. CONCLUSIONES

La utilización del Sistema Constructivo de Poste y Viga para su aplicación estructural, permitió dejar a la vista una parte de los rollizos (mitad circunferencia) cumpliendo con el interés del cliente de conjurar la estructura vista con el paisaje de pinos de Solanas.

El replanteo de los postes y su posicionamiento manteniendo la arista exterior coplanar entre todos ellos, permitió la colocación de los rigidizadores de OSB que fueron de gran eficacia en el arriostre y monolitismo de toda la estructura. En el proceso del montaje de la estructura, se logró un buen resultado de ejecución práctica y eficacia estructural, a partir de los componentes que funcionan integrados a través de la continuidad material

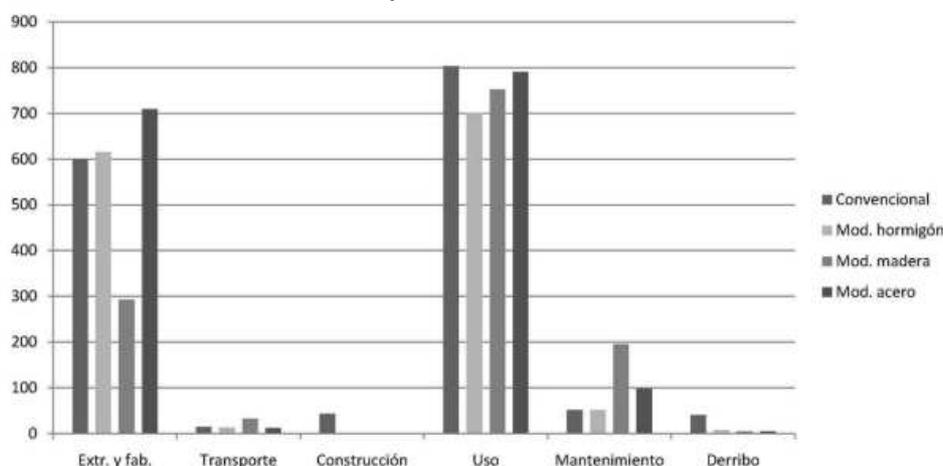


de las piezas estructurales, anclaje y uniones. La utilización de Postes y Vigas como elementos estructurales de baja transformación para conformar la estructura de la vivienda, permitió llegar a una solución estructural de bajo consumo energético tanto por el aporte de los rollizos que poseen muy baja energía incorporada en su proceso de fabricación (salvo el descortezado, el proceso de impregnación de sales CCA y el dimensionado longitudinal) no tuvieron otro proceso de incorporación de energía en su industrialización hasta llegar a la obra y el proceso de armado a pie del obrador se redujo a simples operaciones manuales tanto humanas como de maquinaria de pequeño porte. Se deberá tener en cuenta la energía incorporada de los elementos complementarios del sistema estructural de Poste y Viga, como son los rigidizadores de OSB, las escuadrías de Pino Eliotti y Taeda de los entramados entre poste y viga y las estructuras de techo, los dados de hormigón ciclópeo y las vigas de hormigón armado que arriostran la cimentación, anclajes metálicos y uniones que permiten el armado y ensamble estructural.

En relación a las ventajas de utilizar productos de madera y en particular de baja transformación como es el caso de los rollizos de Eucaliptus para uso estructural favorece a la disminución de los GEI que genera la industria de la construcción reduciendo por tanto las consecuencias del efecto invernadero. De las conclusiones de Wadel (Wadel, 2009) se deduce que las estructuras de Poste y Viga de madera reforestada de Eucaliptus Grandis son las de menor energía incorporada en el proceso de fabricación de una vivienda comparativamente a las estructuras convencionales de ladrillo, hormigón y acero, impactando en la reducción de los gases GEI y consecuentemente en las causas del efecto invernadero.

En la Tabla N° 3 (Wadel, Avellaneda, Cuchí, 2010) se realiza un análisis comparativo entre sistemas constructivos Convencional (ladrillo), prefabricado de hormigón, prefabricado de madera y prefabricado de acero, concluyendo que los sistemas constructivos en madera son los de más baja energía incorporada en el proceso de extracción y fabricación de los elementos constructivos, confirmando las ventajas de la madera en la reducción de los GEI y las consecuencias del efecto invernadero.

Tabla N° 3 Emisiones de CO₂ en relación al consumo de energía de cada uno de los sistemas en el Ciclo de vida de un edificio. (Wadel, Avellaneda, Cuchí, 2010)





AGRADECIMIENTOS

El cálculo de todos los componentes estructurales de la vivienda fue realizado por el Dr. Juan José Fontana. Su participación permitió que los procedimientos constructivos fueran más confiables a la hora de la ejecución a pie de obra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Laugier, M. A. (1755). An Essay on Architecture

Libro Verde, (2005) Huella de carbono, Aragón

Wadel, G. (2009). La Sostenibilidad en la Construcción Industrializada

Wadel, Avellaneda and Cuchí.(2010). La Sostenibilidad en la Construcción Industrializa. Cerrando el Ciclo



UN PRODUCTO INNOVADOR PARA VIVIENDAS: LOSETAS NERVADAS PREFABRICADAS EN MADERA

AN INNOVATIVE PRODUCT FOR HOUSING: RIBBED SLABS PREFABRICATED IN WOOD.

Torán, Susana⁽¹⁾, Calone, María⁽²⁾, Bozzano Blanca⁽³⁾, Gallardi Luis⁽⁴⁾, Fontana, Juan⁽⁵⁾,
Fernández María Esther⁽⁶⁾

⁽¹⁾Asistente. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de la República

⁽²⁾Arq. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay

⁽³⁾Arq. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay

⁽⁴⁾Arq. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay

⁽⁵⁾Dr. Arq. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay

⁽⁶⁾Dra. Arq. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay

*Contacto: storan@fadu.edu.uy

Resumen

La madera es la única materia prima renovable que se utiliza en la construcción y cuyo aprovechamiento no daña el ambiente. La disponibilidad actual de madera en Uruguay representa una oportunidad única para desarrollar nuevos productos madereros destinados a la construcción de viviendas. Se presenta aquí un producto estructural inédito en el país: una loseta nervada de 60x18x330cm compuesta de madera maciza y tableros de virutas orientadas (OSB) para entresijos y/o cubiertas, factible de emplearse en las cooperativas de viviendas por ayuda mutua, ya que pueden fabricarse en obra con herramientas sencillas y mano de obra no calificada con asistencia técnica. Antes de fabricar las losetas, en el laboratorio se mide el contenido de humedad de la madera y se clasifica visualmente, controlando los defectos permitidos por las normas UNIT 1261 y 1262 para pino y eucalipto. Posteriormente, las losetas se ensayan hasta la rotura de acuerdo a la norma ASTM E-72-2015. La carga se incrementa gradualmente midiendo la deformación en el período elástico. Se obtiene la deformación inicial, a los 5 minutos y residual. Luego, sin medir la deformación, se lleva la carga en forma continua hasta la rotura del elemento estructural. Con los registros de carga y deformación se obtuvieron los valores de tensión de rotura y módulo de elasticidad de las losetas y en el ensayo se observa el comportamiento de los clavos y la forma de rotura. El trabajo concluye que la madera de pino no clasifica como calidad EC1 o EC0 definida en la norma UNIT 1261, y se observó que el eucalipto presenta deformaciones residuales menores que el pino.

Palabras-clave: losetas nervadas, prefabricación en madera, vivienda social.

Abstract

Wood is the only renewable raw material that is used in construction and its use does not harm the environment. The current availability of wood in Uruguay represents a unique opportunity to develop new wood products for housing construction. We studied a structural product unprecedented in the country: one direction ribbed slab of 60x18x330cm composed of solid wood and oriented chipboard (OSB) for mezzanines and or roofs, feasible to be used in housing cooperatives for mutual help, as they can be manufactured on site with simple tools and unskilled labor with technical assistance. Before making the tiles, the moisture content of the wood is measured in the laboratory and classified visually, controlling the defects allowed by the UNIT 1261 and 1262 standards for pine and eucalyptus. Subsequently, the tiles are tested until rupture according to ASTM E-72-2015. The load is gradually increased by measuring the deformation of the elastic period. The initial deformation is obtained, at 5 minutes and residual. Then, without measuring the deformation, the load is carried, continuously until the structural element breaks. With this test the phenomena can be registered as: warping, behavior of the nails, local damages and form of breakage. With the loading and deformation records, the values of breaking tension and modulus of elasticity of the tiles were obtained. The work concludes that the pine does not classify as EC1 or EC0 quality defined in the UNIT 1261 standard and, it was observed that the eucalyptus presents lower residual deformations than the pine.

Keywords: ribbed slab, prefabrication in wood, social housing.



1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la preocupación por el cuidado del ambiente ha cobrado mayor importancia y la Arquitectura no es ajena a esta situación. La tendencia es realizar construcciones más sostenibles, utilizando materiales que consuman la menor cantidad de energía en su producción.

La madera es la única materia prima renovable que se utiliza en la industria de la construcción y cuyo aprovechamiento no daña el ambiente (Hernández, 2010). A su vez, los avances tecnológicos han permitido mejorar y crear nuevos productos derivados de la madera y perfeccionar su desempeño cuando se usa combinada con otros materiales. La posibilidad de unir piezas de madera en forma confiable aumenta la calidad de los productos constructivos (Argüelles, 2015) y facilita el desarrollo de procesos de obra industrializados. De este modo se han ampliado los ámbitos de aplicación y uso de la madera a nivel mundial.

La necesidad de innovación y de nuevas tecnologías para incentivar el consumo de madera en la industria de la construcción en los países europeos, Estados Unidos y Canadá, llevó a la fabricación de productos con ingeniería incorporada denominados *engineered timber products* (ETP) con el objetivo de obtener productos con mayor valor agregado, de calidad controlada y tipificados.

Cuando hablamos de productos ETP nos referimos a los avances realizados en los procesos de industrialización de la madera maciza dando origen a nuevos materiales con características y propiedades mecánicas distintas a la madera original. Podemos mencionar numerosos productos o elementos constructivos derivados de esos procesos tales como: madera contralaminada (CLT), madera microlaminada (LVL), madera laminada encolada (MLE), madera atarugada (DLT, o NLT cuando el medio de unión es acero), vigas doble T (*I Joists*), placas-cajón entre otros. Todos estos productos se ofrecen normalizados y clasificados por resistencia.

La disponibilidad de madera en Uruguay representa una oportunidad única para fomentar su uso en la construcción, especialmente, cuando el volumen de madera aserrada de coníferas aumentó de 145 a 356 miles de m³ entre 2012-2018⁵ y, se estima una oferta anual aproximada de 3 millones de metros cúbicos de madera de pino según datos de la Dirección Nacional de Industrias del MIEM. En este contexto es ineludible promover y desarrollar *nuevos productos estructurales* -que le otorguen mayor valor agregado a la madera aserrada- destinados principalmente a la construcción de viviendas de interés social, que es uno de los objetivos del equipo de investigación *Tecnología de la construcción en madera* de FADU.

⁵ Encuestas elaboradas por la División Evaluación & Información. Dirección General Forestal del MGAP. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/unidad-organizativa/direccion-general-forestal/informacion-tecnica/estadisticas-y-mercados/boletines-estad%C3%ADsticos/boletin-estadistico-2019>



En el medio local no ha existido una tradición de construir en madera. La construcción se ha realizado con materiales tradicionales; ladrillo, bloques, hormigón. Si bien esto es debido a una fuerte influencia mediterránea, no es menos cierto que nunca se tuvo madera de buena calidad, utilizándose la madera de pino nacional principalmente en encofrados.

El incremento de las áreas forestadas, el manejo de los bosques, los trabajos de raleos y podas, las mejoras técnicas en muchos aserraderos además de la incorporación de secaderos industrializados, permiten en la actualidad obtener en el mercado nacional madera aserrada adecuada para su uso en la construcción.

En cuanto a los productos en madera con innovación tecnológica adecuada a nuestro país, el equipo de investigación de FADU ha desarrollado en los últimos años los siguientes productos:

- Tableros de chapas unidireccionales de madera nacional de *Pinus taeda* (LVL)
- Placas tensadas de madera de pino para entresijos.
- Vigas de madera laminada de pino y eucalipto, encolada con adhesivo de resorcinol (MLE).
- Vigas doble te de madera aserrada y tablero contrachapado.

Las losetas nervadas se suman a los productos con tecnología incorporada que ha estudiado el equipo. En este trabajo se presentan los resultados del proyecto I+D “Losetas nervadas prefabricadas en madera para entresijos y cubiertas de viviendas. Su aplicación en cooperativas por ayuda mutua y autoconstrucción asistida” que fue financiado por la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC) de la Universidad de La República.

En el proyecto se desarrolló un producto estructural en madera, inédito en el país, compuesto de escuadrías de madera maciza y tableros de virutas orientadas (OSB) conformando una loseta nervada de sección compuesta para utilizarla principalmente, en entresijos y cubiertas de viviendas, posible de ser construida por mano de obra no calificada con asistencia técnica.

Las losetas nervadas prefabricadas de madera son sistemas superficiales que se ofrecen en Europa normalizados y clasificados por resistencia como alternativa a las prácticas constructivas con elementos individuales de madera. Existen varias empresas europeas - Lignatur, Lignotrend, Novatop- que ofrecen estos elementos estructurales industrializados que se pueden emplear en entresijos, cubiertas y paredes.

Una de las ventajas de las losetas nervadas es que son elementos estructurales multifuncionales. Brindan un nuevo potencial de diseño al proyectista, ya que cumplen función estructural y de terminación a la vez. Otra ventaja es la posibilidad de incorporar tanto las instalaciones como los aislantes térmicos y acústicos alojándolos en las oquedades de las secciones pudiendo además, conformar una superficie de cerramiento homogénea ya terminada.

2. METODOLOGÍA



2.1 Probetas pequeñas

Antes de fabricar las losetas a escala real y con el objetivo de tener una primera aproximación a la resistencia mecánica de las losetas, se construyeron dos series de pequeñas losetas a escala 1:25, 4 probetas con elementos transversales y 4 probetas sin esos elementos, encoladas y clavadas (Fig. 1). Se ensayaron con la norma ASTM E-72 en una Prensa universal, C5642, con indicador de fuerza digital para un rango de 0 KN - 100 KN.

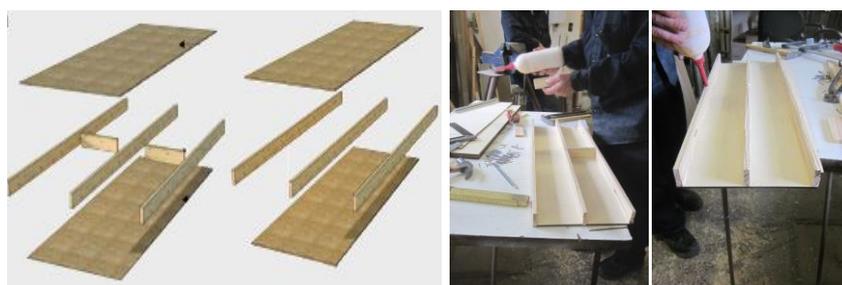


Figura 1: Pequeñas losetas, con y sin elementos transversales.

Si bien no fue posible disminuir la velocidad del ensayo a menos de 1 segundo, se aplicó una carga continua hasta la rotura, y se obtuvo empíricamente la carga máxima de rotura. Se filmaron los ensayos para observar si la falla se producía en el tablero, en la madera, o en el medio de unión (clavo). Se constató que fallaba la madera en los dos tipos de losetas (Fig. 2).

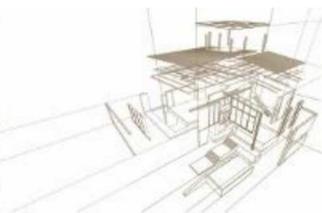


Figura 2: Prensa universal Controls y formas de rotura de las losetas.

2.2. Probetas a tamaño real

En una primera instancia se fabricó una loseta de 122cm de ancho y 330cm de longitud con 3 escuadrías de madera aserrada de pino de 2"x8", sección definida por el modelo de cálculo teórico. La loseta pesaba más de 100 kilos por lo que se decidió fabricar las siguientes de 61cm de ancho ya que uno de los objetivos es que este elemento estructural lo fabriquen y utilicen los usuarios de las cooperativas de vivienda por ayuda mutua.

Previo al armado de la loseta a tamaño real se verificó el contenido de humedad (CH) de la madera y se clasificaron visualmente las escuadrías de acuerdo a los defectos permitidos por las normas de reciente aprobación para pino y eucalipto (normas UNIT 1261:2017, UNIT 1262:2018).



Cabe señalar que las losetas fabricadas a lo largo del proyecto fueron variando en cuanto al número de vigas, dimensiones, tamaño y distancia entre los clavos.

En general las losetas tienen 6 cm. de ancho, 330cm. de longitud y 3 o 2 vigas longitudinales de sección 4,5x15cm (bxh) y 3 tramos transversales de igual sección, ubicados en la mitad de la longitud y a 43cm de los extremos. Ambas caras se cubrieron con tableros de viruta de fibras orientada (OSB) de espesor 1,5cm.

La estructura de madera está vinculada con clavos de 4". La fijación del OSB en un inicio se hizo con clavos de 4" y posteriormente se usaron clavos de 2 1/2"

Primero se construyeron las losetas de pino. Las normas UNIT de clasificación visual definen una sola calidad de madera para elementos primarios trabajando a flexión, en el caso de la madera de pino no fue posible obtener madera EC1 (conífera estructural 1) por lo que se construyeron 2 probetas de esa calidad y luego se construyeron 5 probetas de calidad estructural ME2 de acuerdo a la norma UNE 56544. Posteriormente, el estudio se centró en las losetas con madera de *Eucalyptus grandis* calidad estructural EF1 (Fig.3).

Losetas de eucalipto, madera procedente de una empresa forestal.

6 losetas: 61 x 330 cm, con 3 vigas de 2 x 6", calidad EF1, clavos de 4" cada 27cm en los 2/4 central y cada 20cm en los 1/4 extremos.

6 losetas: 61 x 330 cm, con 2 vigas de 2 x 6", calidad EF1, clavos de 4" cada 27cm en los 2/4 central y cada 20cm en los 1/4 extremos.

6 losetas: 61 x 330 cm, con 2 vigas de 2 x 6", calidad EF1, clavos de 2 1/2" cada 10 en toda la longitud.

Losetas de eucalipto, madera procedente de barraca, Montevideo.

6 losetas: 61 x 330 cm, con 3 vigas de 2 x 6", calidad EF1, clavos de 4" cada 27cm en los 2/4 central y cada 20cm en los 1/4 extremos.

Losetas de pino, madera procedente de empresa forestal.

1 loseta: 122 x 330cm, con 3 vigas de 2 x 8", calidad EC1, clavos de 4" cada 27cm en los 2/4 central y cada 20cm en los 1/4 extremos.

1 loseta: 61 x 330 cm, con 3 vigas de 2 x 6", calidad EC1, clavos de 4" cada 27cm en los 2/4 central y cada 20cm en los 1/4 extremos.

Losetas de pino, madera procedente de barraca, Montevideo.

5 losetas: 61 x 330cm, con 3 vigas de 2 x 6", calidad ME2, clavos de 4" cada 27cm en los 2/4 central y cada 20cm en los 1/4 extremos.



Figura 3: Losetas con 2 y 3 vigas longitudinales



Ensayos físicos y mecánicos. Se realizaron 3 tipos de ensayos.

- i). Ensayos para determinar la densidad y contenido de humedad (CH) en pequeñas probetas libres de defecto según Norma UNIT 237:2008 “Determinación de la densidad aparente en maderas” y UNIT 223-2:2007 “Contenido de humedad de la madera”
- ii) Ensayos a flexión estática a tamaño real hasta la rotura para determinar las características mecánicas de vigas de pino y de eucalipto previamente clasificadas, Norma UNIT 1191:2010 Madera – Determinación de las propiedades mecánicas a través de ensayos de flexión estática.
- iii) Ensayos a flexión a tamaño real hasta la rotura, se determinaron las características mecánicas de las losetas según Norma ASTM E72-15 *Standard Test Methods of – Conducting Strength Tests Panels for Building Construction*.

i) Determinación de la densidad y contenido de humedad en pequeñas probetas libres de defectos de madera de pino y eucalipto.

De las vigas de pino y eucalipto ensayadas se extrajeron pequeñas probetas libres de defectos para determinar la densidad aparente de la madera de acuerdo a los procedimientos que establece la norma UNIT 237:2008 “*Determinación de la densidad aparente en maderas*”, y para el ensayo de contenido de humedad en base seca, por el método de secado en estufa de acuerdo a los procedimientos que establece la norma UNIT 223-2:2007 “*Contenido de humedad de la madera*”.

Muestreo y preparación de las probetas a ensayar

Las probetas de madera de *Pinus Elliottii-Tadea* se identificaron con la letra P y un número. Las probetas P01 a P20 corresponden a la empresa forestal con montes en el sur del país y las probetas P21 a P30 a la barraca de Montevideo, cuya madera proviene de distintas partes.

Las probetas de *Eucalyptus grandis*, se identificaron con la letra E y un número. Las probetas E01 a E28 corresponden la empresa forestal y las probetas E29 a E70 se extrajeron de escuadrías adquiridas en barracas de Montevideo, se desconoce la procedencia de la madera.

Procedimiento

Se estacionaron las probetas en una habitación con atmósfera controlada a una humedad relativa de $(65\pm 1)\%$ y temperatura de (20 ± 3) °C durante 24 hs. Transcurrido ese lapso se realizó una primera medición de masa y volumen, con una balanza de 0,001gr de precisión y un calibre digital *Mitutoyo* de 0,01mm de exactitud. Se tomaron las 3 dimensiones desde los puntos medios de las respectivas caras opuestas (a, b y c) y luego se calculó volumen de la probeta realizando el producto de los tres valores: $v = a \times b \times c$ (Fig. 4).

Luego se secaron las probetas en estufa eléctrica *Novus N480D* a una temperatura de 103 °C hasta masa constante. Para ello se realizaron mediciones de masa en intervalos no menores a 8 hs hasta que la variación fue menor al 0,2 % entre pesadas sucesivas. Para esta última medición de masa se realizó también un relevamiento del volumen de cada probeta por medición directa, sin sacar las probetas de la sala controlada (Fig. 5)



En madera de pino se estudiaron 20 probetas de la empresa forestal y 10 probetas de barraca de Montevideo. En madera de eucalipto se estudiaron 25 probetas de empresa forestal y 24 probetas de madera adquirida en barraca de Montevideo

Con los datos obtenidos se determinó la densidad aparente, la densidad anhidra y el contenido de humedad de las probetas



Figura 4. Probetas de pino depositadas en sala controlada.



Figura 5: Balanza de precisión y probetas en el horno de secado

ii) Ensayos a flexión estática a tamaño real hasta la rotura de vigas de pino y eucalipto

Se realizaron en total 15 ensayos de vigas, 5 de madera pino adquirida en barracas de Montevideo, 5 de madera de eucalipto de empresa forestal y 5 de barraca de Montevideo.

Las vigas fueron sometidas a ensayo de flexión estática hasta la rotura según la norma UNIT 1191:2010 “Madera-Determinación de las propiedades mecánicas a través de ensayo de flexión estática” basada en la norma ASTM D198 “*Statistic Tests of Lumber in Structural Sizes*, cuya filosofía es la realización de ensayos de probetas a *tamaño real* (tamaño de uso).

Sobre una probeta simplemente apoyada con una luz igual a 18 ± 1.5 veces la altura de la probeta, se aplica la carga en dos puntos ubicados en el tercio central hasta la rotura, y se mide la deformación en el punto medio de la luz. Esta configuración de carga simula la aplicación de una carga uniformemente distribuida en toda la luz y produce momentos flectores de magnitudes similares.

Los ensayos se realizaron en la prensa Universal Tinus Olsen con capacidad de 30000 a 60000 libras de capacidad. Dicha prensa permite una luz libre de hasta 600cm. Cuenta con un marco rígido para soportar la probeta y a la vez facilitar su deformación sin restricciones, una cabeza de carga que reparte en dos puntos la fuerza aplicada y una viga de reacción que asegura la rigidez del sistema.



La probeta se apoya en rodillos que posibilitan su rotación alrededor de la reacción a medida que se va flexando. La carga se mide con un dinamómetro Dillon ubicado en una de las reacciones y la deformación con un calibre Digimatic Mitutoyo. La carga aplicada en dos puntos, al tercio y dos tercios de la luz, permite obtener una región entre esos dos puntos sujeta a Momento flector constante, libre de corte. Se determinó experimentalmente la Tensión de Rotura y el Módulo de Elasticidad en flexión estática.

Con los ensayos destructivos se obtienen pares de valores de carga-deformación. Se determina la carga en la zona de proporcionalidad entre el 10% y 40% de la carga de rotura. Con el delta carga y el delta deformación se obtiene el Módulo de Elasticidad (E) y con la carga de rotura la Tensión de Rotura o Módulo de Rotura (MOR).

iii) Ensayos a flexión a tamaño real hasta la rotura de las losetas de pino y eucalipto

Se siguió el procedimiento la Norma ASTM E72-15, que establece el método para comprobar la resistencia de las losetas prefabricadas a las cargas verticales permanentes y de uso. Las losetas a tamaño real se ensayaron en el Pórtico de carga equipado con una prensa hidráulica ENERPAC de 15ton, manómetro digital modelo DGP de 1000 PSI (Fig. 6).

Sobre una probeta simplemente apoyada se aplica la carga en dos puntos ubicados en los 2 cuartos centrales, carga que se incrementa gradualmente y se mide la deformación producida en cada incremento de carga en el período elástico del material. Luego en un período de 5 minutos de mantenimiento de la carga se registra de deformación, a continuación se retira la carga y se anota la deformación. Se obtienen la deformación inicial, la deformación a los 5 minutos y la deformación residual en cada escalón de carga. Al final sin medir la deformación se lleva la carga en forma continua hasta la rotura de la loseta.

Previo al comienzo del ensayo se determina el número y valor de los escalones de carga. Estos deben ser suficientes para obtener datos en el período elástico del ensayo. Este ensayo además de obtener las características mecánicas de la probeta, permite registrar los fenómenos que se producen como alabeos, comportamiento de los clavos, daños locales y forma de rotura.



Figura 6: Ensayo de loseta a tamaño real.

Con las lecturas efectuadas durante el ensayo se dibujan los gráficos que establecen la relación carga-deformación para obtener los valores de carga de rotura y módulo de



elasticidad de las losetas. Con dichos datos se realizaron las planillas de cálculo. Paralelamente se procedió al estudio de la norma europea Eurocódigo 5 “Diseño de Estructuras de Madera” para definir el modelo estructural teórico más apropiado para calcular las losetas prefabricadas en madera

Planillas de cálculo: Se realizaron planillas con 2 modelos de cálculo:

1. Losetas con uniones mecánicas (clavos), unión flexible
2. Losetas con uniones rígidas (encoladas)

En ambos casos se analiza una viga central de la loseta y se determina el ancho eficaz de las alas de OSB teniendo en cuenta la distribución no uniforme de tensiones normales debidas al retraso por cortante y abolladura.

Se consideran como cargas permanentes (G) el peso propio de la loseta y 35 daN/m^2 de carga muerta, y como carga variable (Q) 150 daN/m^2 de sobrecarga de uso.

Para el control de las deformaciones, estados límite de servicio, se toma como límite $1/300$, $1/350$ y $1/300$ para el control en cuanto a criterios de integridad, confort y apariencia, respectivamente, de acuerdo a las especificaciones del DB-SE del Código Técnico Español. En el control de los criterios de integridad se considera la flecha debido a la fluencia de la carga permanente, la flecha instantánea debido a la carga de uso y la flecha por la fluencia de la parte casi permanente de la carga de uso. El control respecto a los criterios de confort se considera la flecha instantánea debido a la carga de uso. Para el control de acuerdo a los criterios de apariencia se considera la flecha final debido a las cargas permanentes (combinación casi permanente de las acciones).

En el caso de uniones flexibles no se considera el efecto del esfuerzo cortante en las deformaciones. Y en el caso de uniones rígidas se consideran tanto las deformaciones por flexión como aquellas por cortante.

Se procesaron planillas electrónicas para el Cálculo de un entrepiso con vigas de eucalipto.

Cálculo teórico de una loseta con unión rígida - vigueta central doble te y Cálculo teórico de una loseta con unión flexible - vigueta central doble te

Finalmente las Planillas de análisis de las losetas, la que se muestra a continuación.



CV %	1.96	3.14
valor característico	0.516	0.378
Contenido de humedad		
CH %	14.6	13.0
EUCALIPTO		
	Forestal	Barraca
Densidad aparente al 12% CH		
valor medio	0.547	0.513
desv. est.	0.027	0.025
CV %	4.93	4.88
valor característico	0.500	0.469
Densidad anhidra		
valor medio	0.513	0.494
desv. est.	0.025	0.023
CV %	4.88	4.58
valor característico	0.469	0.454
Contenido de humedad		
CH %	11.9	13.2

Con los ensayos a tamaño real de las losetas (ensayos destructivos) se realizaron los gráficos de carga-deformación. Se determinó la carga en la zona de proporcionalidad entre el 10% y 40% de la carga de rotura. Con el delta carga y el delta deformación se obtuvo el Módulo de Elasticidad (E) y con la carga de rotura se obtuvo la Tensión de Rotura (MOR) (Tabla 4).

Tabla 4: Módulo de Elasticidad y Módulo de Rotura para madera de pino y eucalipto

PINO	Tensión de Rotura		UNIT 1261 MPa	E		UNIT 1261 Mpa
	K/cm2	MPa		K/cm2	MPa	
Media	290	28.41		86328	8460	7139
Desv Est.	43	4.18		15800	1548	
CV	15%	15%		18%	18%	
Resist Caract. 5%	206.71	20.26	15.52			

EUCALIPTO empresa forestal	Tensión de Rotura		UNIT 1261 MPa	E		UNIT 1261 Mpa
	K/cm2	MPa		K/cm2	MPa	
Media	694	68.08		160371	15727	11960
Desv Est.	134	13		9990	980	
CV	19%	19%		6%	6%	
Resist Caract. 5%	432.42	42.41	21.4			

EUCALIPTO barraca	Tensión de Rotura		UNIT 1261 MPa	E		UNIT 1261 Mpa
	K/cm2	MPa		K/cm2	MPa	
Media	477	46.74		159963	15676	11960
Desv Est.	121	11.86		31419	3079	
CV	25%	25%		20%	20%	
Resist Caract. 5%	240.92	23.61	21.4			

La separación entre los clavos y el tamaño de los mismos no tuvo una incidencia significativa en la forma de rotura de la probeta. Independiente que se trate del modelo de loseta con tres o dos escuadrías la carga en la pieza central funciona como una viga doble te, por lo tanto se pueden analizar todas las vigas sin importar el modelo para hallar la distancia máxima a cubrir por la loseta. Las losetas fabricadas con madera de eucalipto proveniente de la empresa forestal, puede cubrir una luz máxima de 4.20 metros. Para las losetas fabricadas con madera de eucalipto de barracas la luz a cubrir es de 3.80 metros



El Módulo de elasticidad medio (E_{med}) de la madera de eucalipto de la empresa forestal es 100.000 DN/cm^2

El Módulo de elasticidad medio (E_{med}) de la madera de eucalipto de barraca es 85.000 DN/cm^2

Debido a la dificultad de conseguir madera de pino de acuerdo a la calidad EC1, tal como se señaló, se fabricaron 5 probetas con madera de pino de calidad ME2 (de la norma española) por lo tanto los valores obtenidos son solamente indicativos, las losetas se podrían utilizar en las cubiertas.

El modelo de la loseta con la unión encolada y clavada es una solución intermedia - producto del cálculo entre la unión rígida y una unión flexible- ya que se verificó que las alas no producen un aporte resistente significativo si están solamente clavadas. El cálculo teórico de la misma solución de losetas, pero con uniones rígidas entre alma y alas, sí permite concluir que el aporte resistente de las alas es relevante

Uno de los resultados obtenidos es que se pudo constatar que es factible fabricar las losetas con mano de obra no calificada, especialmente las de $61 \times 18 \times 330 \text{ cm}$ con dos vigas, en un plazo razonable. Este modelo, teniendo todos los materiales previamente cortados se realiza en 1 y 1/2 hora y cuyo peso va de 70 a 74 Kg las de eucalipto, y las de pino de 65 a 67 Kg. Como ya se dijo la loseta de pino de $120 \times 18 \times 330 \text{ cm}$, con 3 escuadrías se decidió no fabricarla por tener un peso de 147 kg, no es viable utilizarlas en viviendas por ayuda mutua o autoconstrucción.

4. CONCLUSIONES

Una de las dificultades más importantes para el uso de la madera como elemento estructural en la construcción es la variabilidad que existe en cuanto a la calidad de las escuadrías que se ofertan en el mercado nacional. Este es uno de los problemas en el cual se han dado pasos importantes al aprobarse las primeras normas nacionales de clasificación de la madera, pero no es suficiente hay que avanzar hacia un código de la construcción con madera.

En cualquier caso, resulta claro que un factor fundamental para producir las losetas es la formación previa de los carpinteros y técnicos de los IAT en la selección y uso de la madera; que los equipos técnicos tomen consciencia para dar tiempo a esa formación; asimismo esto coloca a FUCVAM y sobre todo a los institutos de asistencia técnica (IAT), a quienes se contrata expresamente para esa tarea, ante un desafío de gran responsabilidad para obtener resultados adecuados en el uso de las losetas. Es claro, asimismo, que el IAT debe estar convencido de usar la tecnología de la construcción en madera para que gestione y se comprometa a impulsar su uso.

Finalmente un logro muy importante fue la definición del modelo de cálculo teórico de las losetas nervadas, elemento estructural del cual no existen antecedentes nacionales y tampoco a nivel del Mercosur. Fue decisivo el asesoramiento del Ing. Mario Wagner para el ajuste final del modelo de cálculo.

AGRADECIMIENTOS



Un reconocimiento a Matilde Pomi, Jessica Mesone, Nicolás Rey y Emiliano Monné, por su entusiasta colaboración en la fabricación y ensayos de las losetas, también al personal del laboratorio del Instituto de la Construcción. Por último un especial agradecimiento al Arq. Carlos Meyer que nos dio el impulso inicial para que nos especializáramos en la construcción en madera. Este trabajo está dedicado a él.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Argüelles, Ramón; arriaga, Francisco. Estructuras de Madera. Bases de Cálculo. 2ª edición. Madrid. AITIM, 2013, 570 p.

Saldadori, M.G. and Baron, M.L. (1961). Numerical Methods in Engineering. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA.

ASTM 72 (2015). Standard Test Methods of Conducting Strength Tests of Panels for Building Construction 1. ASTM International.

AENOR. (2006). Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera Parte 1-1 Reglas generales y reglas para la edificación. UNE 2006-1-1: Madrid.

AENOR. (2011). Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas. UNE-56544: Madrid.

AENOR (2009).. Estructuras de Madera. Métodos de ensayo. Uniones estructurales con clavos, tornillos, clavijas y pernos. UNE-EN 1380: Madrid.

AENOR (2007).Tableros de virutas orientadas (OSB). Definiciones, clasificación y especificaciones. UNE-EN 300: Madrid.

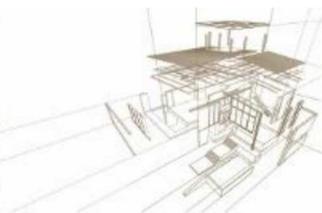
UNIT. (2017) Madera aserrada de uso estructural - Clasificación visual madera de pino taeda y pino elliotti. UNIT 1261: Montevideo.

UNIT. (2018) Madera aserrada de uso estructural - Clasificación visual madera de eucaliptus grandis. UNIT 1262: Montevideo.

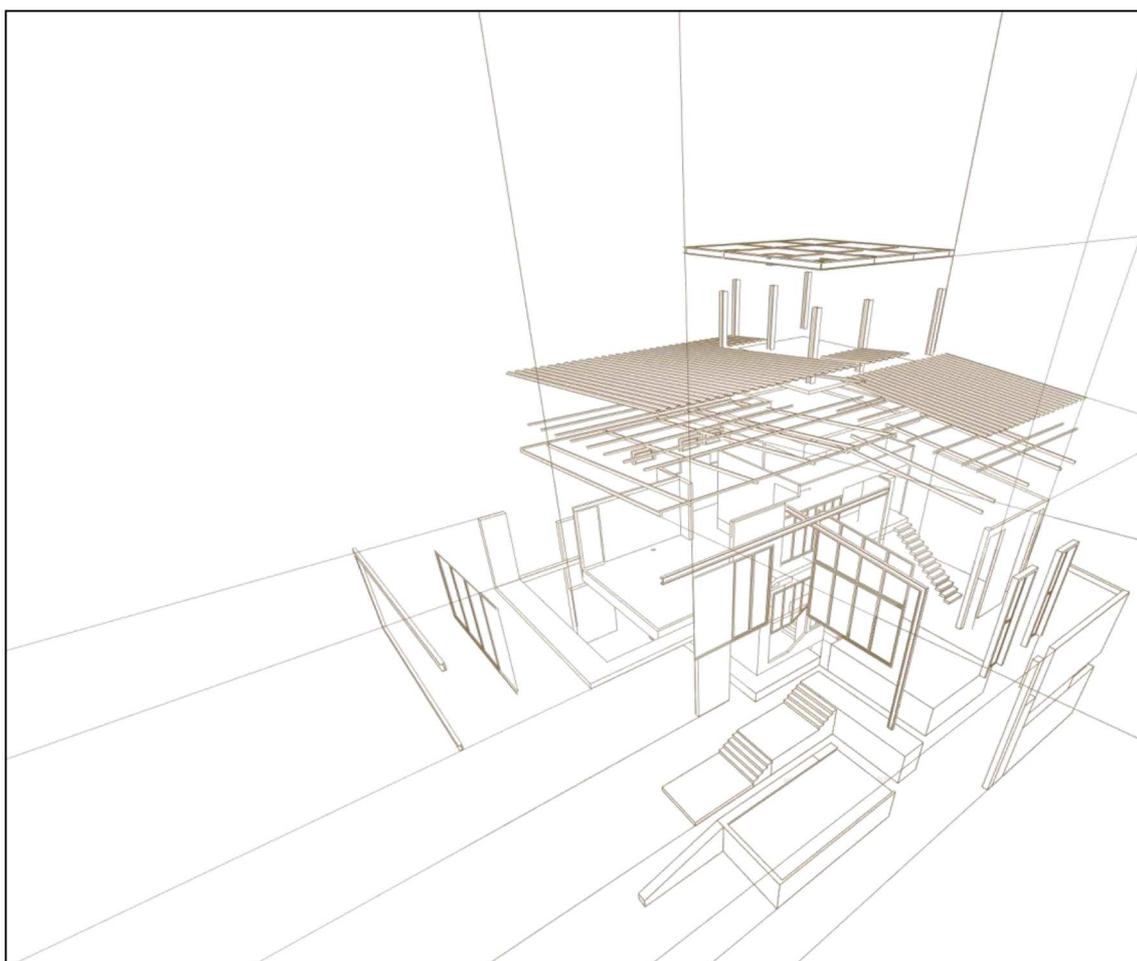
UNIT (2010).Madera. Determinación de las propiedades mecánicas a través de ensayos de flexión estática. UNIT 119: Montevideo.

UNIT (2007) Contenido de humedad de la madera. Estimación por el método de resistencia eléctrica. UNIT 223: Parte 2 Montevideo.

UNIT (2007). Determinación de la densidad aparente en maderas. UNIT 237: Montevideo.



IX. Inspección y restauración de estructuras de madera





PROJETO E EXECUÇÃO DE REABILITAÇÃO DE ASNAS DE MADEIRA NUM PAVILHÃO POLIVALENTE

DESIGN AND EXECUTION OF THE REHABILITATION WORK OF THE TIMBER TRUSSES OF A MULTIUSE PAVILLION

Negrão, João ⁽¹⁾ *

⁽¹⁾ Professor Associado. Universidade de Coimbra. Coimbra, Portugal

* Contacto: jhnegrão@dec.uc.pt

Resumo

A Escola Secundária Alves Martins, antigo Liceu Central de Viseu, foi construída em 1948, no âmbito do programa de construções escolares do Estado Novo. Nela se inclui o pavilhão da Sala Polivalente, com dois pisos, dos quais o superior é ocupado pela sala propriamente dita. A estrutura da cobertura é constituída por um sistema de asnas duplas de madeira, parcialmente ocultas por um forro de madeira de tipo abobadado. Em setembro de 2017, ocorreu a rotura de um apoio de uma asna, estando outro também em situação de pré-rotura. A ocorrência só não teve consequências graves porque uma redistribuição de cargas evitou o colapso generalizado das asnas acidentadas e se procedeu prontamente ao seu escoramento. A inspeção realizada à estrutura permitiu concluir que a causa primária do acidente foi a rotura, por tração perpendicular ao fio, de peças de madeira maciça intercaladas entre as pernas e linhas duplicadas de cada asna e que transmitem a carga gravítica destas aos apoios. Na discussão técnica subsequente, estiveram em confronto duas possibilidades de reparação, respetivamente a substituição integral por uma cobertura metálica e a reabilitação da estrutura de madeira existente, com intervenções pontuais de reparação dos apoios acidentados e reforço nos restantes. Tendo em conta a qualidade intrínseca das asnas originais e o seu bom estado de conservação genérico, optou-se por esta última solução, a qual veio ainda a revelar-se mais económica do que a alternativa. Este artigo pormenoriza todo o processo, desde a fase inicial de diagnóstico até à execução da solução de reparação, com ênfase especial nos aspetos estruturais, essenciais para o sucesso da intervenção.

Palavras-chave: Asnas de madeira, reabilitação, projeto, execução.

Abstract

The Alves Martins Secondary School, formerly Central Viseu High School, was built in 1948 in the frame of the scholar facilities program of the Estado Novo. It includes a two-storey pavilion with a Multiuse Room in the upper floor. The roof structure consists of a set of parallel double timber trusses partially hidden above a curved light-weight timber ceiling. In September 2017 occurred the failure of one of the supports of one truss and the ongoing failure was observed in another one. The load redistribution to the adjacent trusses and the prompt underpinning of the truss prevented its complete collapse. The structural assessment led to the conclusion that the primary failure cause was tension perpendicular to the grain in the solid timber elements placed between and connected by bolts to the double rafters and the double tie-beams and whose role is to drive the gravity loads to the sustaining walls. In the subsequent technical discussion, two recovery alternatives were under consideration, either the full replacement of the existing trusses by steel ones or the rehabilitation of the existing timber structure, with repair and strengthening works focused on the failed supports and all the others. Considering the intrinsic quality and the good material condition of the original trusses, the latter proposal prevailed, with the additional advantage of being cheaper than the alternative. This paper details the whole process, from the initial inspection and diagnosis stage up to the execution of the repair solution, with the emphasis on structural aspects, of utmost importance for the success of the intervention.

Keywords: Timber trusses, rehabilitation, design, execution.



1. INTRODUÇÃO

A Escola Secundária Alves Martins foi fundada em 1849, com a designação de Liceu Central de Viseu, tendo recebido o nome atual em 1911. As instalações em que atualmente funciona foram construídas em 1948, no âmbito do programa de construções escolares do Estado Novo. A Figura 1-a) é uma vista geral do complexo escolar, destacando-se com um círculo o pavilhão, representado na Figura 1-b), sujeito à intervenção referida neste artigo.



Figura 1: a) Complexo escolar (fonte: GoogleEarth) b) Pavilhão polivalente

1.2. Caracterização funcional e estrutural

O pavilhão tem dois pisos, sendo o térreo ocupado pelo refeitório escolar. No piso superior funcionou o ginásio escolar, mas a construção recente de um ginásio maior e com melhores condições permitiu desafetar o espaço daquela função exclusiva, funcionando atualmente como sala polivalente. A sua forma é retangular, com dimensões interiores aproximadas de 14m x 20m. O acesso é feito pelo topo Norte. No topo Sul existe um pequeno palco com boca de cena. A cobertura é de 4 águas, com inclinação a rondar os 25º.

A superestrutura e o pavimento do 1º andar são em betão armado. Os pilares são dispostos perifericamente com espaçamento de cerca de 4m, vão preenchido com alvenaria nos 3m inferiores e janelas rasgadas no restante pé-direito. A cobertura é suportada por asnas principais triangulares paralelas em madeira de pinho, com aproximadamente 14m de vão, apoiadas nos pilares periféricos. Na zona dos topos, as asnas são oblíquas e acompanham os espigões da cobertura, sendo a resolução das cargas mais complexa do que na zona das asnas paralelas. As 4 asnas paralelas visíveis do interior da sala (Figura 2-a) têm pernas e linhas duplas, espaçadas de 10cm, entre as quais se inserem montantes e diagonais simples. As duas asnas paralelas coincidentes com os topos, bem como as que acompanham os espigões, são constituídas por elementos simples. A secção dos elementos das pernas e linhas é de 120mm x 240mm. As dos montantes e diagonais têm uma largura constante de 120mm, mas a altura é de 120 ou 200mm, consoante o elemento. O teto da sala é constituído por um forro de madeira, horizontal numa faixa perimetral de cerca de 2m de largura e de forma poliédrica na zona central, ver Figura 2-a e esquema da Figura 2-b.



2. INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO DA ESTRUTURA DE MADEIRA

2.1. Rotura dos apoios

Em setembro de 2017, coincidindo com o início do ano escolar, foi identificada a rotura de um apoio (identificado por um círculo a vermelho na Figura 2-a) numa asna de cobertura, e uma situação de pré-rotura noutra (círculo a amarelo). A existência de redistribuição de forças para outros sistemas de apoio, ainda que não expressamente concebidos para tal ou inteiramente compreendidos na inspeção subsequente, e o pronto escoramento das asnas e zonas afetadas, para mitigar os efeitos e a progressão da rotura, impediram o colapso das asnas afetadas.

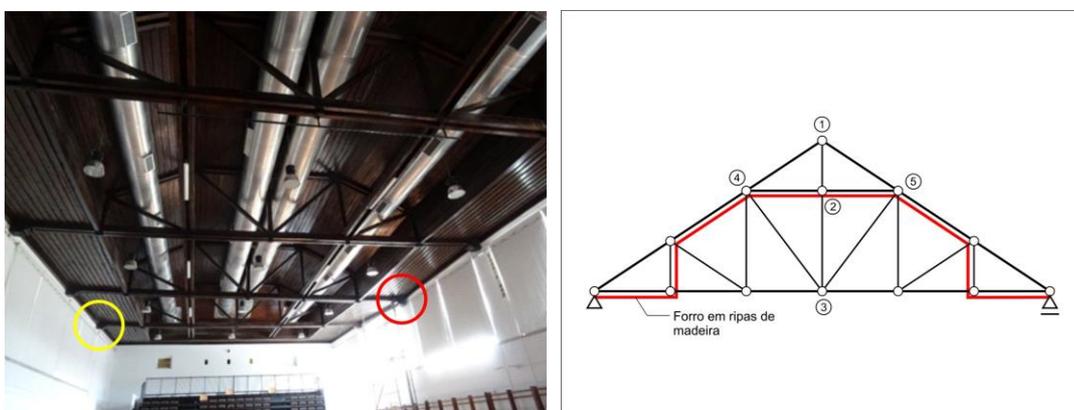


Figura 2: a) Vista interior da sala e localização dos danos b) Corte esquemático

A subsequente inspeção da zona acidentada revelou que a causa do acidente foi rotura perpendicular ao fio num elemento de apoio de madeira. A sequência das figuras seguintes ajuda a compreender o mecanismo de rotura verificado.

Como referido, as pernas e as linhas das asnas principais são duplas. Na inspeção estrutural verificou-se que, nos apoios, as duas pernas e as duas linhas eram ligadas, cada par, a uma peça central de madeira, com dimensão igual à das duas peças ligadas, sendo esta que penetrava em profundidade na espessura da parede, Figura 3-a. Essa ligação era realizada por dois parafusos de 24mm de diâmetro, implicando a rotura de um parafuso a formação do mecanismo de rotura esquematizado na Figura 3-b.

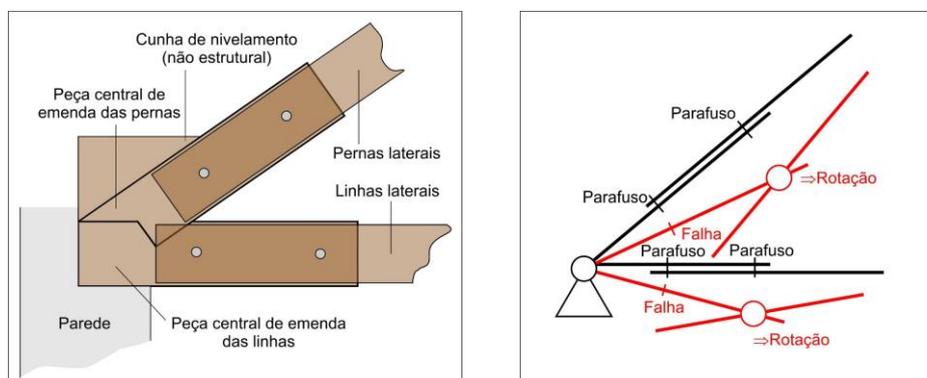


Figura 3: a) Arranjo existente nos nós b) Mecanismo potencial



Há várias possibilidades para que tenha sido adotada esta disposição, nomeadamente: i) a insuficiência de comprimento das pernas e das linhas para realizarem o equilíbrio de forças no ponto teórico de apoio (situação esquematicamente representada na Figura 3-a); ii) a insuficiência de comprimento da linha, além da secção do entalhe que recebe a perna, para evitar a rotura por corte do “taco” exterior; iii) a excentricidade do ponto de concorrência dos eixos da(s) perna(s) e da(s) linha(s) em relação ao ponto teórico de apoio, que origina um binário que tem de ser equilibrado por flexão destas; iv) a garantia de posicionamento da carga da asna no eixo (na direção longitudinal da parede) do apoio; v) uma combinação das anteriores.

Para melhor compreensão, representa-se nas figuras seguintes a sequência de eventos que resultou na rotura representada de forma simplificada na Figura 3-b, a qual concorda de forma exemplar com o registo fotográfico do acidente.

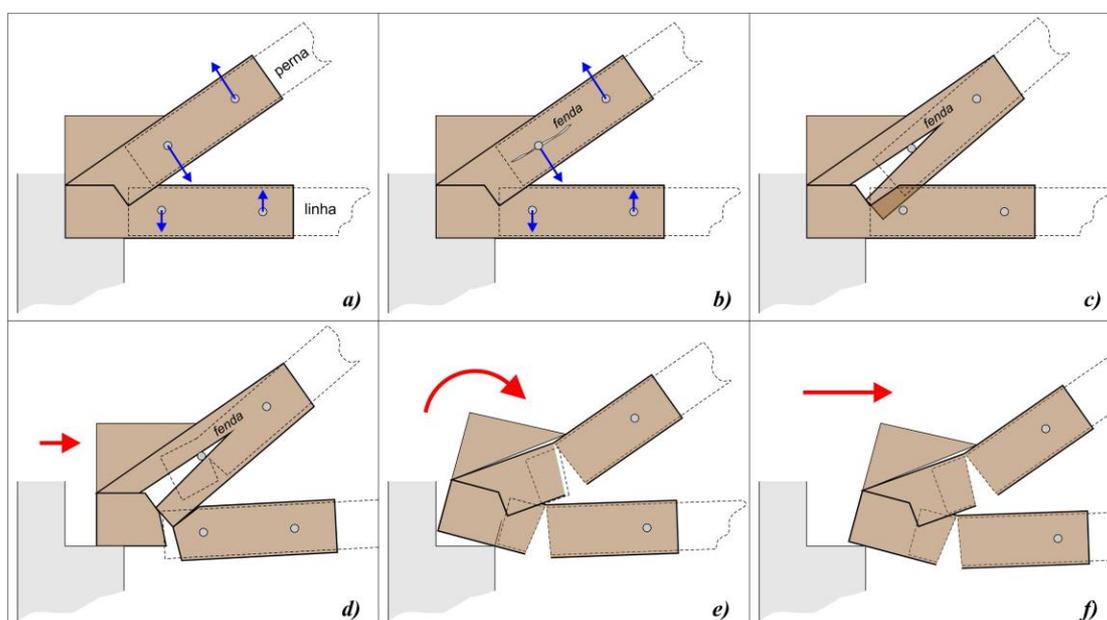


Figura 4: Sequência de eventos conducentes à rotura do apoio

As Figuras 5-a-b são as representações reais deste mecanismo. Na figura 5-a pode ver-se, em primeiro plano, a peça central fraturada, com origem no furo do parafuso, igualmente visível. Na Figura 5-b observa-se o mecanismo de rotura consumado. A ligação das pernas falhou primeiro e, ao rodarem, estas causaram a rotura da ligação das linhas, situadas sob aquelas.



Figura 5: a) Rotura da peça central b) Rotura da ligação

2.2. Outras patologías

Para além das roturas nos apoios, ocorrências críticas que suscitaram a peritagem e subsequente obra de reabilitação, a inspeção estrutural revelou outras deficiências, de risco variável mas, em todo o caso, requerendo a aplicação de medidas corretivas. As mais importantes foram as roturas das emendas de tipo “raio de Júpiter” (Figura 6-a) existentes em todas as linhas, em posições variáveis. Estas ocorreram por corte do dente de imbricamento das peças, segundo a superfície indicada na Figura 6-b. Embora a geometria da ligação seja genericamente correta, a altura do dente – e, por conseguinte, a área de corte daquela superfície – é demasiado pequena. Recorda-se que esta altura devia corresponder a 1/3 da das peças a unir, muito mais do que o que se observa na figura. Estas roturas, suscetíveis de causar o colapso das asnas, só não tiveram esse resultado graças à redundância proporcionada pela cavilha de estabilização contra a separação das peças, visível na Figura 6-c. No entanto, a transferência para esta da força anteriormente transmitida pelo dente originou a sua plastificação e rotação, com a consequente abertura da ligação, e ainda a rotura por tração da cunha de madeira contra a qual a cavilha exerceu força de compressão, também visível na Figura 6-c.



Figura 6: a) Vista geral b) Rotura por corte c) Abertura da junta d) Plastificação do ligador

A inspeção no desvão situado entre o forro e a cobertura propriamente revelou que os elementos estruturais principais (asnas, madres e vigas de travamento, Figura 7-a) se encontram em boas condições, apresentando ataques pontuais e pouco importantes por caruncho e não evidenciando apodrecimentos. Situação diferente é a dos elementos secundários, nomeadamente barrotes de apoio do forro inferior e algumas tábuas deste, boa parte dos quais se encontram fortemente deteriorados por carunchos (Figura 7-b), sem outra hipótese de reparação que não a sua substituição. A causa provável desta diferença é a de estes serem horizontais e terem maior superfície específica (logo, terem maior suscetibilidade à deposição de ovos) e, possivelmente, serem de madeira de qualidade mais fraca.



Figura 7: a) Estrutura principal em boas condições b) Elementos secundários degradados

Já durante a execução da obra de reabilitação, foram observadas duas anomalias não detetadas na inspeção preliminar, sendo uma crítica e a outra secundária. A primeira era uma linha partida, devido à presença de um nó de grandes dimensões no elemento de madeira, reduzindo sensivelmente a secção útil da peça (Figura 8-a). A outra era uma deformação excessiva da zona em consola do forro de madeira, causada por deformação da estrutura de apoio (Figura 8-b).



Figura 8: a) Linha fraturada b) Deformação excessiva no forro

3. PROJETO DE REABILITAÇÃO

Numa primeira fase, anterior à disponibilização do relatório de inspeção, a Parque Escolar E.P.E., proprietária do imóvel, considerou a possibilidade de proceder à demolição da cobertura e à sua substituição por uma solução em aço. No entanto, as recomendações do relatório apontaram no sentido da reabilitação da estrutura existente tendo em conta, nomeadamente:

- O seu bom estado geral, apontando apenas para a necessidade de reforço dos apoios;
- A menor intrusividade e custo da reabilitação da cobertura existente;
- A qualidade arquitetónica e valor patrimonial da cobertura atual.



Estes argumentos prevaleceram, tendo-se optado pela recuperação da estrutura de madeira.

3.1. Reabilitação e reforço dos apoios

Foram realizadas a análise estrutural e a verificação da estabilidade dos elementos e segurança das secções e ligações da solução existente. Estas últimas seguiram as disposições das partes relevantes das EN 1991-1 (Eurocódigo 1-Ações em edifícios) e EN 1995-1 (Eurocódigo 5-Estruturas de madeira) (2004). Como se antecipava, com base no conhecimento das práticas antigas de dimensionamento de estruturas de madeira, as secções revelaram-se confortavelmente aptas a suportar os esforços induzidos pelas ações regulamentares, devidamente combinadas. Essa expectativa não se confirmou para as ligações do dispositivo de apoio descrito na secção 2, ainda que aptas para fazer face aos valores correntes das ações, como o confirmam os 70 anos de serviço. Por isso, considerando que a rotura observada não decorreu, ao que se sabe, de nenhum evento de intensidade excepcional, admite-se que na sua origem tenha estado o efeito de longa duração, porventura associado a menor capacidade resistente daqueles apoios em particular, tenha sido por inferior qualidade da madeira ou por degradação localizada de origem biológica. Em todo o caso, é sintomático que a rotura se tenha iniciado pela fratura da peça central, a qual foi chamada a suportar forças (e tensões), perpendiculares ao fio, duplas das correspondentes nas duas pernas/linhas que a ela se ligavam, como ilustra a Figura 4-a. Por isso, a medida fundamental do projeto de reabilitação consistiu na substituição daquela peça, em todos os apoios, por outra com superior capacidade resistente. Considerando que, em cada apoio, existe uma peça central para as pernas e outra para as linhas, e que as duas se ligam de acordo com a representação da Figura 3-a, para permitir o equilíbrio de forças horizontais, optou-se por aplicar uma peça em “V”, constituída por perfis RHS de largura igual à das peças centrais originais (uma vez que essa dimensão não pode ser alterada), ligando-se um ramo da peça às pernas e outro às linhas. A solução pode ver-se na Figura 9 na qual se representa, à esquerda, a peça central metálica e, à direita, o reforço das pernas/linhas situadas de cada lado daquela.

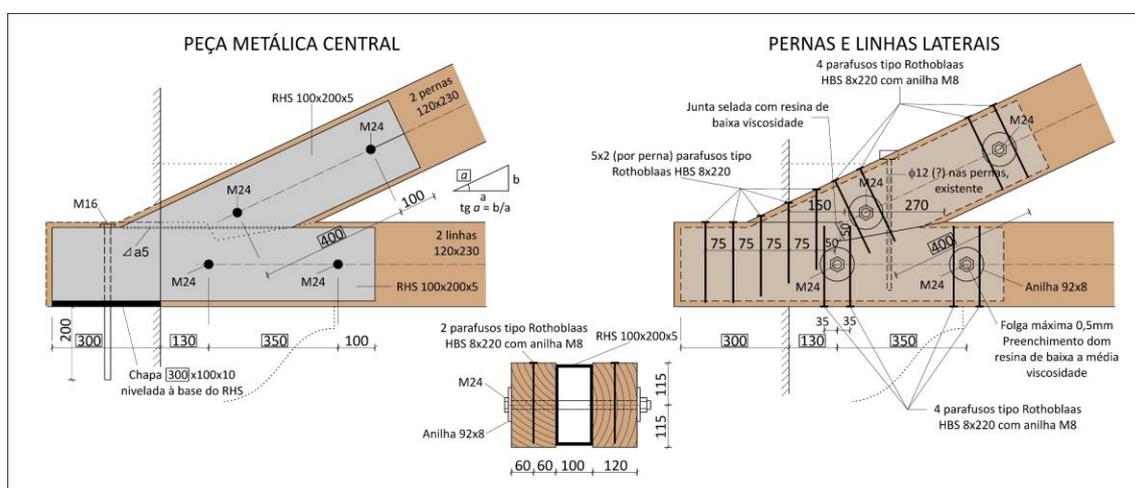


Figura 9: Solução de reabilitação/reforço das ligações de apoio



Dado o desconhecimento do estado de conservação das extremidades das linhas, que devem resistir ao impulso horizontal proveniente das pernas, a superfície de rotura potencial por corte foi reforçada por 5 parafusos de enroscar (*tirefonds*). Deve assinalar-se, no entanto, que as ligações aparafusadas pernas/linhas-peça central foram dimensionadas para suportar a totalidade do esforço axial da barra, pelo que funcionam como sistema redundante para a ligação perna-linha entalhada, que é o sistema de transferência tradicional. Do mesmo modo, para reforçar a segurança à rotura por tração perpendicular ao fio, foram inseridos 2 para fusos de cada lado dos parafusos M24 que ligam as pernas/linhas e a peça central.

Nos apoios colapsados, para além da substituição da peça de madeira central, houve que substituir também os troços de pernas e linhas que sofreram danos em razão do colapso daquela peça. Pretendeu-se inicialmente realizar a ligação da madeira nova à antiga com próteses baseadas em resina epoxy e varões roscados, mas a falta de empresas habilitadas para esse trabalho obrigou a recorrer à solução convencional de ligação por chapas de aço externas (Figura 10). Esta solução foi igualmente utilizada para a emenda de reparação da fratura de Figura 8-a.

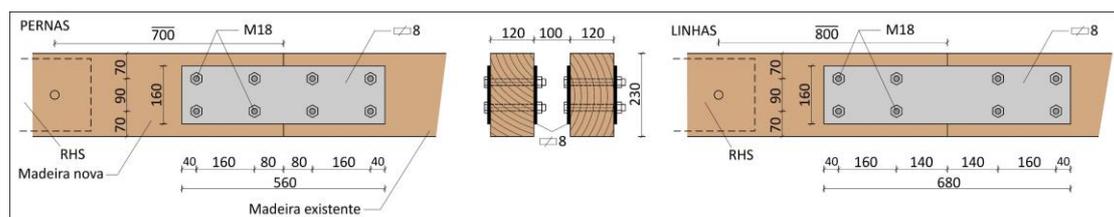


Figura 10: Emendas das pernas e linhas fraturadas

Para as emendas de tipo “raio de Júpiter”, utilizou-se ainda uma solução semelhante a esta, apenas com o requisito adicional de ser suficientemente longa para que os furos dos parafusos fossem praticados para além do limite da zona da ligação de carpintaria

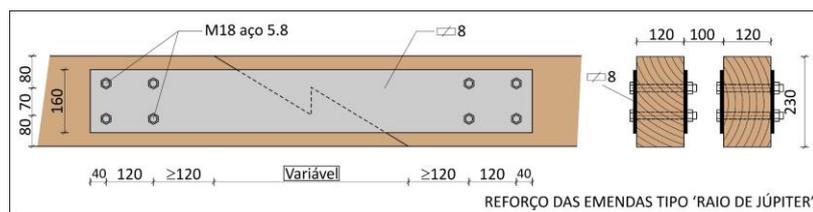


Figura 11: Emendas das ligações de tipo “raio de Júpiter”

(Figura 11).

4. PROJETO DE REABILITAÇÃO

4.1. Processo construtivo

A vantagem comparativa desta solução em relação à metálica dependia essencialmente da possibilidade de evitar o desmantelamento das asnas e, conseqüentemente, de toda a cobertura, procedendo apenas a intervenções locais nas zonas a reparar ou reforçar. A substituição das peças centrais e/ou de troços de pernas/linhas impedia o funcionamento normal das asnas. Então, para garantir a sua estabilidade, foi necessário escorar os nós mais próximos do apoio intervencionado. Assim, a carga transita diretamente da



cobertura para os apoios pelas escoras da asna, mantendo-se o funcionamento de treliça na parte não escorada da asna, ainda que com uma distribuição de forças diferente e valores menores destas. A recuperação da distribuição de forças original requeria a descarga dos elementos da asna durante a reparação, o que podia conseguir-se quase integralmente procedendo ao nivelamento dos nós da linha à cota de projeto, com recurso a macacos hidráulicos, e destelhamento da cobertura, para aliviar a compressão nas escoras, proporcionando segurança e estabilidade adicionais durante o processo de execução. Prescindiu-se desta última condição na execução, tendo em conta a significativa redução do tempo de execução que assim se obtinha. O processo construtivo utilizado, formulado com vista a atingir os objetivos acabados de enumerar, consistiu então nos passos seguintes:

- 1) Colocação de prumos de escoramento sob os nós 1, 2 e 3 (Figura 12-a), com um intervalo livre de 0,30m entre o topo do prumo e a base dos nós e centrados com a asna na direção perpendicular ao plano desta;
- 2) Contraventar os prumos paralela e perpendicularmente ao plano da asna;
- 3) Destelhar a cobertura na área de influência da asna a reparar (não executado);
- 4) Nivelar e fixar um feixe laser e um alvo nas paredes de apoio opostas (Figura 12-b). Com uma régua ou um alvo móvel graduado, medir as distâncias d_1 , d_2 , d_3 e, a partir destas, os assentamentos ($e_i = d - d_i$) dos nós 1, 2 e 3;
- 5) Com macacos hidráulicos aplicados sob os nós 1, 2 e 3, restabelecer a horizontalidade da linha da asna, aplicando as forças de forma gradual e rotativa pelos nós, até se registarem deslocamentos iguais a $-e_i$, $i=1,2,3$ (Figura 12-c);
- 6) Remover o forro horizontal e vertical entre o apoio partido e o primeiro montante da asna (Figura 12-d);
- 7) Iniciar as reparações descritas na Secção 3 deste artigo.

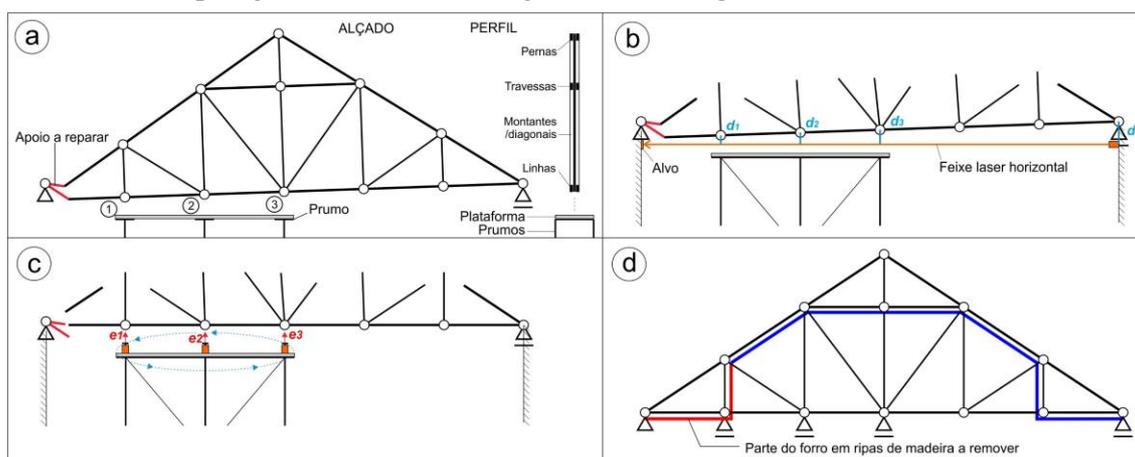


Figura 12: Processo construtivo para a intervenção de reabilitação

4.2. Execução

As imagens seguintes ilustram alguns passos do processo de execução.



Figura 13: Perfuração com Resistógrafo

Tendo havido dúvidas, quando o forro foi removido (Figura 12-d), relativamente ao estado de conservação e nível de ataque biológico de alguns elementos, foi programada a campanha de perfurações com Resistógrafo (Figura 13) representada na Figura 14, que confirmou o bom estado geral das madeiras estruturais não se exigindo, por conseguinte, nenhuma alteração do plano de execução anteriormente descrito.

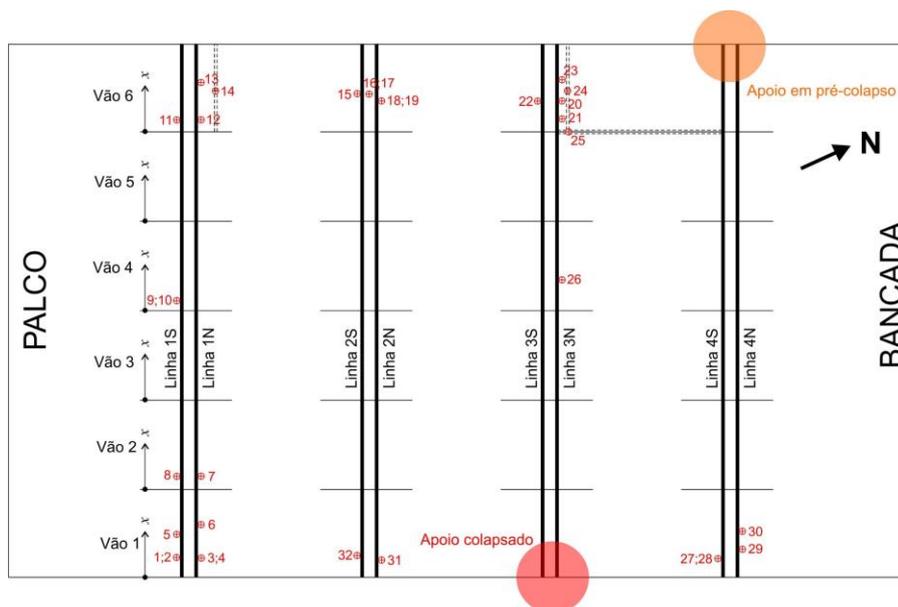


Figura 14: Programa da campanha de perfurações com Resistógrafo

Na Figura 15 podem ver-se, as peças metálicas de emenda nos apoios, a emenda da linha partida representada na Figura 8-a e a emenda de uma ligação raio de Júpiter.



Figura 15: Execução a) Peças metálicas; b) linha partida; c) raio de Júpiter



5. CONCLUSÕES

Com uma definição judiciosa do processo de reabilitação, conseguiu preservar-se uma estrutura de madeira de grande valor patrimonial, evitando a sua substituição por uma estrutura metálica que descaracterizaria o espaço e teria um custo superior ao que foi efetivamente dispendido.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Parque Escolar E.P.E., proprietária do imóvel, e ao ITECONS, instituto no âmbito do qual foi prestada a consultoria, a permissão para a divulgação pública deste trabalho.

REFERÊNCIAS

European Standardization Committee (CEN) (2004). EN 1991-1-1- Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings.

ITeCons (2018). Documento PJT.CNS014/18: Cobertura da sala polivalente da escola Secundária Alves Martins em Viseu – Projeto de recuperação estrutural.



QUATORZE ANOS DE USO DAS PONTES DE MADEIRA DO CAMPUS II DA EESC/USP: INSPEÇÕES PERIÓDICAS NDT

FOURTEEN YEARS OF USE OF THE TIMBER BRIDGES OF THE CAMPUS II EESC/USP: PERIODIC INSPECTIONS NDT

Dussarrat Brito, Leandro⁽¹⁾; Pigozzo, Julio César⁽²⁾; Calil Junior, Carlito^{(3)*}

⁽¹⁾DSc. Pesquisador Pós-Doutorado. Departamento de Engenharia de Estruturas. Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, Brasil.

⁽²⁾DSc. Professor Titular. Departamento Engenharia Civil. Universidade Estadual de Maringá. Maringá, Brasil.

^{(3)*}PhD. Professor Titular. Departamento de Engenharia de Estruturas. Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, Brasil.

*Contacto: calil@sc.usp.br

Resumo

Usualmente, se espera um bom desempenho nas estruturas de pontes de madeira. Os fatores chaves para isto são o desempenho e a durabilidade da madeira que devem ser garantidos desde as etapas de elaboração do projeto, planejamento, execução da obra e principalmente na realização contínua com monitoramento e avaliações com inspeções não destrutivas, aliadas quando necessário com manutenções preventivas durante a vida útil prevista para a estrutura. Neste contexto, este artigo descreve uma avaliação de resultados de trabalhos realizados em quatorze anos de uso e monitoramento em inspeções periódicas preventivas com avaliações NDT nas emblemáticas estruturas de madeira das pontes do projeto temático no Campus II na Escola de Engenharia de São Carlos, na Universidade de São Paulo, Brasil. No decorrer destes anos, para garantir um desempenho adequado na utilização destas pontes, estas estruturas passam por monitoramento contínuo com pesquisas científicas em avaliações NDT, com inspeções visuais periódicas preventivas, com provas de carga e correlações em análises numéricas computacionais. Diante do bom desempenho no comportamento estrutural, na ausência de necessidade de manutenção rigorosa nestas estruturas, o resultado destes trabalhos realizados periodicamente, demonstra a importância de realização de monitoramento com inspeções NDT para a garantia adequada de desempenho na utilização de estruturas construídas com este nobre material renovável “madeira”.

Palavras-chave: inspeções; pontes; estruturas; madeira.

Abstract

Usually, good performance is expected in the timber bridges structures. The key element to this is the durability of the wood, which must be guaranteed from the design stages, the execution of the work and, mainly, the continuous evaluation and monitoring with non-destructive periodic inspections, allied when necessary, with preventive maintenance during the life useful for the structure. Within this context, this paper describes the assessment of the results of fourteen years of use and monitoring of preventive periodic inspections with NDT evaluations in the timber structural bridges of the Campus II at the São Carlos School of Engineering, University of São Carlos, Brazil. During these years, to ensure adequate performance in the use of these bridges, these structures underwent continuous monitoring in NDT evaluations with periodic visual inspections, with load tests and numerical computational analyzes. In view of the good performance in structural behavior, in the absence of severe pathological manifestations, and considering the absence of severe maintenance in these structures, the results of these works performed periodically, evidenced the importance of conducting NDT inspections to guarantee adequate performance in the use of structures constructed with this noble renewable material "wood".

Keywords: inspections; timber; bridges; structures.



1. INTRODUÇÃO

Espera-se sempre um bom desempenho na vida útil dos elementos estruturais de uma ponte. O elemento chave para esta previsão é a durabilidade, definida como a capacidade de um produto manter seu desempenho acima de valores mínimos preestabelecidos, em consonância com os usuários, nas condições previstas de uso (Calil Junior et al, 2006). Na ausência de avaliações em inspeções periódicas, aliada a reparos e/ou manutenções preventivas, determinados agentes ambientais podem reduzir a durabilidade e/ou performance da madeira ao longo do tempo. Entende-se por inspeções periódicas as vistorias contínuas e sistêmicas, realizadas para a avaliação de sinais visuais que possam induzir a manifestações patológicas em elementos estruturais e/ou construtivos de madeira de uma ponte, tais como: manchas e descolorações; áreas úmidas; condensações; infiltrações; dentre outros. Enquanto que as manutenções preventivas e os reparos têm por finalidade remover sujeiras para evitar formação de acúmulos de umidade; limpar e desobstruir drenos e coletores de águas pluviais; reparar os acabamentos protetores em tempo adequado. Assim, para prevenir manifestações patológicas severas, as quatro pontes do Campus II da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), da Universidade de São Paulo (USP), passam periodicamente por inspeções e avaliações não destrutivas (NDT) realizadas por pesquisadores do Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM), desde que as mesmas foram liberadas para o tráfego de veículos.

2. METODOLOGIA

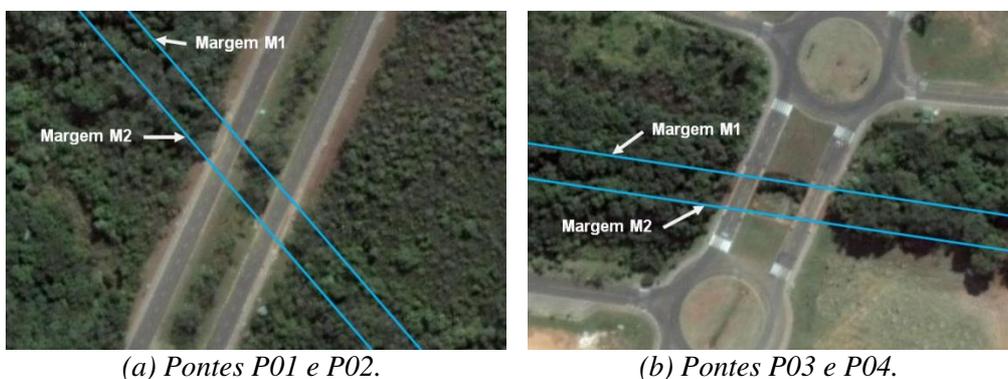
No decorrer dos anos de utilização das pontes P01; P02; P03 e P04 do Campus II-EESC/USP, para garantir o desempenho adequado, estas estruturas passam por monitoramento contínuo, diante de realizações de pesquisas científicas em avaliações com técnicas não destrutivas NDT, com inspeções visuais periódicas e preventivas, com avaliações de provas de carga e correlações com análises numéricas computacionais.

3. ANÁLISE E RESULTADOS

A situação com as indicações no posicionamento de implantação das pontes P01; P02; P03 e P04 do Campus II EESC/USP são indicadas na Figura 1. O posicionamento referencial para identificação das margens dos córregos das pontes P01 e P02 das margens do córrego das pontes P03 e P04 são indicados na Figura 2.



Figura 1: Posicionamento das Pontes P01; P02; P03 e P04. Fonte: Calil Junior et al (2012)



(a) Pontes P01 e P02.

(b) Pontes P03 e P04.

Figura 2: (a) Identificação das margens do córrego das Pontes P01 e P02; (b) Identificação das margens do córrego das Pontes P03 e P04. Fonte: Calil Junior et al (2012)

3.1. Descrição e avaliação das pontes do CAMPUS II – EESC/USP

3.1.1. Ponte P01: sistema de ponte em placa mista madeira-concreto

O primeiro estudo trata-se da ponte experimental denominada “P01” construída no Campus EESC/USP”. Esta ponte P01 consiste em um sistema de tabuleiro em placa mista madeira-concreto. O tabuleiro misto desta ponte P01 foi construído com vigas roliças de Eucalyptus citriodora tratadas com CCA, com grampos de aço CA 50, no formato “X” colados com adesivo estrutural epóxi, atuando-se como conectores para ligações de interface ao concreto armado. Esta ponte foi liberada ao tráfego em 15 de janeiro de 2005 (Pigozzo et al, 2014). Ou seja, o sistema se constitui basicamente de uma laje de concreto armado moldada “in loco” sobre uma série de longarinas de vigas roliças de madeira, dispostas paralelamente lado a lado e com posicionamentos de diâmetros de base e topo alternados. Neste sistema a solidarização parcial entre os materiais pode ser garantida por uma série de conectores metálicos colados com adesivo estrutural epóxi, que fazem a interface de ligação entre o concreto armado e a madeira, de tal modo que o comportamento conjunto dos materiais trabalhe atuando em conjunto. Ou seja, os materiais são empregados na sua melhor condição, isto é, a madeira na tração e o concreto na compressão (Calil Junior et al, 2006).



Para acompanhamento dos aspectos visuais no estado de conservação das longarinas do tabuleiro da ponte P01 com vigas de eucalipto citriodora tratados com CCA, têm-se registrado fotos digitais capturadas em inspeções periódicas realizadas desde a época da execução da estrutura desta ponte. Na Figura 3, ilustram-se duas destas fotos capturadas em épocas distintas, onde pode-se notar numa visão geral, os aspectos visuais no estado de conservação com vigas de eucalipto citriodora tratados com CCA que constituem as longarinas do sistema em placa mista do tabuleiro desta ponte P01. A foto da Figura 3(a) foi registrada em inspeção visual realizada em 06 de março de 2012 e a da Figura 3(b), registrada em 11 de outubro de 2018. Vale destacar que sobre a camada de concreto armado desta ponte P01 possui revestimento asfáltico, que favorece como fator impermeabilizante, proporcionando maior proteção e durabilidade das toras de madeira tratadas.



(a) Foto: BRITO (06/03/2012)



(b) Foto: BRITO (11/10/2018)

Figura 3: Inspeções visuais - aspectos visuais no estado de conservação das longarinas do tabuleiro da ponte P01 com vigas de eucalipto citriodora tratados com CCA.

Além de inspeções visuais, na ponte P01 foram realizados testes NDT, com provas de carga com carregamento estático em 24 de setembro de 2005, e em 14 de maio de 2011, utilizando-se a carga real de um caminhão com três eixos totalmente carregado, posicionado longitudinalmente sobre o tabuleiro de tal forma que os eixos traseiros ficassem centrados no vão, e transversalmente o caminhão foi posicionado em três hipóteses: na lateral da margem M1, no centro e na lateral da margem M2. (Pigozzo et al, 2014). Os deslocamentos verticais em vários pontos na direção transversal, no centro do vão, foram medidos com e sem os carregamentos, por meio de uma régua milimétrica, utilizando-se um nível óptico com sensibilidade de 1,0mm. Conforme ilustrações indicadas nas figuras de 4 a 6 são demonstrados os resultados de Pigozzo et al (2014), onde foram comparados com os deslocamentos verticais obtidos por avaliações numéricas e também comparados com resultados obtidos na primeira avaliação experimental, que indicam o bom comportamento estrutural, além da ausência de manifestações patológicas graves, considerando-se pouca manutenção realizada nesta ponte P01.



(a) Fonte: Pigozzo et al (2014)



(b) Fonte: Pigozzo et al (2014)

Figura 4: Prova de carga no tabuleiro da ponte P01 - (a) Detalhe do posicionamento dos níveis ópticos. (b) Procedimento de leitura dos deslocamentos verticais.

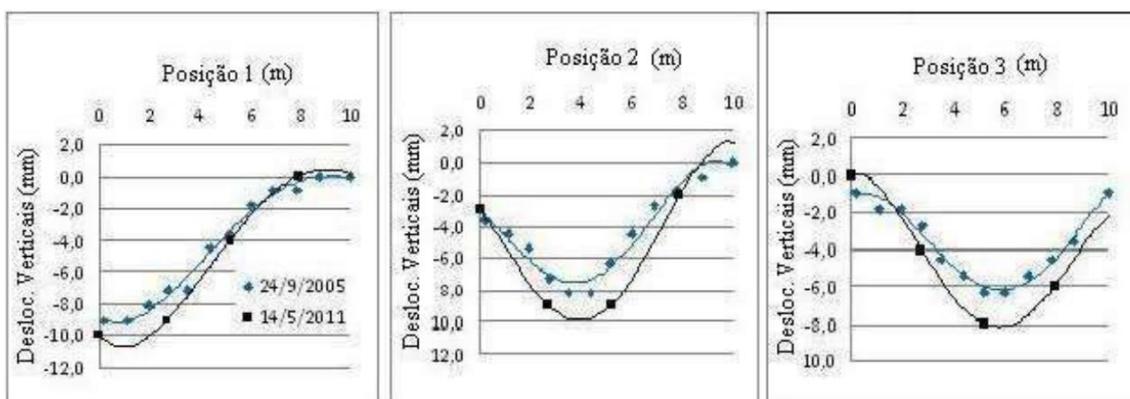


Figura 5: Resultados de deslocamentos verticais na linha central, apresentados por Pigozzo et al (2014) em prova de carga na Ponte P01.

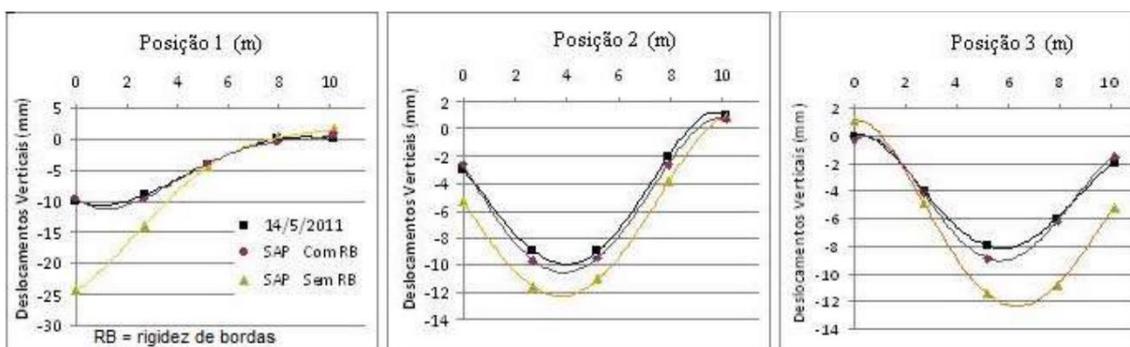


Figura 6: Valores obtidos de deslocamentos verticais na linha central, valores dos deslocamentos teóricos com e sem rigidez de borda, apresentados por Pigozzo et al (2014) em análise ao comportamento da Ponte P01.

Quanto os aspectos visuais dos elementos estruturais de madeira construídas para as defensas nesta ponte P01, conforme ilustrações indicadas nas fotos das Figuras 4 e 5, é notável o quanto a ausência de reparos em manutenções periódicas preventivas, sem a tomada de cuidados contínuos na proteção superficial de pinturas stain, ou seja, quando



as madeiras ficam expostas às intempéries, estas podem ficar susceptíveis as deteriorações superficiais por ações atmosféricas de luz ultravioleta e biodeterioração por umidade. Este fator, quando associado a fendas expostas sujeitas ao armazenamento interno de umidade, são regiões que tendem naturalmente a um potencial de risco de biodeterioração da madeira por apodrecimento. Em análise as ilustrações das fotos capturadas após em cinco anos e sete meses Figuras 7(b) e 8(b) nota-se os aspectos visuais na evolução das manchas de fungos emboloradores e manchadores, nas regiões entre as fendas, tornando-se as peças de madeira das defensas susceptíveis ao ponto de partida para biodeterioração por fungos apodrecedores. Como fator fundamental de medida preventiva para proteção superficial destas peças de madeira expostas recomendam-se manutenções imediatas com raspagem, lixamento e aplicações de três demãos de pinturas com stain fungicida hidrorrepelente. A ação hidrorrepelente de pintura stain pode favorecer de sobremaneira como proteção superficial, que proporcionaria maior durabilidade e prolongamento da vida útil das peças de madeira expostas.



(a) Foto: BRITO (06/03/2012)



(b) Foto: BRITO (11/10/2018)

Figura 7: Inspeções visuais - aspectos visuais no estado de conservação das peças da defesa da margem M1 da ponte P01. Nota-se a evolução de manchas de fungos manchadores e emboloradores, pela ausência de manutenção de pintura superficial “stain fungicida hidrorrepelente”, indicada em 2012.



(a) Foto: BRITO (06/03/2012)



(b) Foto: BRITO (11/10/2018)

Figura 8: Inspeções visuais - aspectos visuais no estado de conservação das peças da defesa da margem M1 da ponte P01. Nota-se a evolução de manchas de fungos manchadores e emboloradores, pela ausência de manutenção de pintura superficial “stain fungicida hidrorrepelente” indicada em 2012.



3.1.2. Ponte P02: sistema de ponte em placa mista madeira-concreto

Nas avaliações visuais dos elementos estruturais de madeira da ponte P02, analogamente ao sistema da ponte P01, nota-se aspectos no estado de conservação das peças de eucalipto citriodora tratados com CCA que constituem as longarinas do tabuleiro da ponte P02, conforme ilustrações indicadas na Figura 9. Nota-se neste período de inspeção a evolução dos limos esverdeados sobre a estrutura do muro de concreto da cabeceira da ponte P02, como pode ser observado nas fotos da margem M1 ilustradas também na Figura 9.



(a) Foto: BRITO (06/03/2012)



(b) Foto: BRITO (11/10/2018)

Figura 9: Inspeções visuais – aspectos no estado de conservação das longarinas do tabuleiro da ponte P02 de eucalipto citriodora tratados com CCA.

3.1.3. Ponte P03: sistema multicelular de compensado e madeira protendida

Nas avaliações visuais dos elementos estruturais de madeira da ponte P03, construída com sistema multicelular de compensado e madeira protendida, pode-se notar os aspectos no estado de conservação das peças após treze anos e oito meses de utilização, conforme ilustrações indicadas na Figura 10.

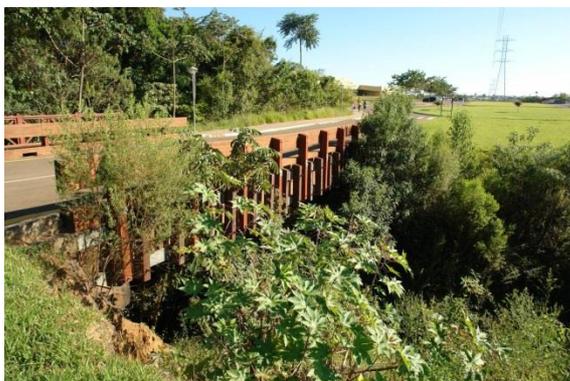


(a) Cabeceira M1. Foto: BRITO (11/10/2018)



(b) Tabuleiro. Foto: BRITO (11/10/2018)

Figura 10: Inspeções visuais - aspectos visuais no estado de conservação das peças de madeira serrada e compensados do sistema de tabuleiro multicelular protendido da ponte P03.



(a) Foto: BRITO (06/03/2012)



(b) Foto: BRITO (11/10/2018)

Figura 11: Inspeções visuais – vegetação densa sob a ponte P03.



(a) Foto: BRITO (06/03/2012)



(b) Foto: BRITO (11/10/2018)

Figura 12: Inspeções visuais – aspectos visuais da defesa na região da vegetação densa sob a ponte P03. Devido a presença desta vegetação densa, nota-se a evolução de manchas de fungos manchadores e emboloradores, principalmente pela ausência de manutenção preventiva de pintura superficial “stain fungicida hidrorrepelente”, indicada em 2012.

3.1.4. Ponte P04: sistema multicelular com vigas MLC e peças de madeira protendidas lateralmente

Nas avaliações visuais dos elementos estruturais de madeira da ponte P04, construída com sistema multicelular com vigas MLC e peças de madeira protendidas lateralmente, pode-se notar os aspectos no estado de conservação das peças após treze anos e oito meses de utilização, conforme ilustrações indicadas na Figura 13.



(a) Tabuleiro. Foto: BRITO (06/03/2012)



(b) Cabeceira M1. Foto: BRITO (06/03/2012)

Figura 13: Inspeções visuais - aspectos visuais no estado de conservação das peças de madeira serrada e compensados do sistema de tabuleiro multicelular protendido da ponte P03.



(a) Foto: BRITO (06/03/2012)



(b) Foto: BRITO (11/10/2018)

Figura 14: Inspeções visuais – aspectos visuais da defesa na margem M2 na ponte P04. Nota-se a evolução de manchas de fungos manchadores e emboloradores, pela ausência de manutenção de pintura superficial “stain fungicida hidrorrepelente”, indicada em 2012.



(a) Foto: BRITO (11/10/2018)



(b) Foto: BRITO (11/10/2018)

Figura 15: Inspeções visuais – aspectos visuais da defesa na margem M2 na ponte P04.

4. CONCLUSÕES

Entende-se que este trabalho trata-se de uma visão geral na apresentação de resultados de algumas das inspeções realizadas nas estruturas das pontes P01, P02 P03 e P04 nos últimos anos. No entanto, é notável o quanto se faz importante à realização de inspeções periódicas em pontes de madeira, em favor a durabilidade e prolongamento da vida útil



dos elementos estruturais e construtivos além a fim de garantir a segurança aos usuários prevista em projeto de estruturas. Nota-se que sobre os tabuleiros das quatro pontes periodicamente vem sendo recapeada a camada asfáltica. Entretanto as peças expostas de madeira das estruturas das defensas e dos guarda-corpos de todas estas pontes somente receberam proteção superficial com pintura stain na etapa de sua construção, e ainda assim, não apresentam sinais visuais graves de biodeterioração por fungos apodrecedores nem ataques por insetos. Para tanto, torna-se fundamental a aplicação deste produto em manutenções periódicas preventivas. Como sugestões para trabalhos futuros recomenda-se a realização de inspeções NDT detalhadas, para avaliações internas nos elementos estruturais de madeira destas pontes, com auxílio do uso do Resistograph.

AGRADECIMIENTOS

À FAPESP, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. À Comissão de Pesquisa (CPq) do programa de Pós-Doutorado, ao Departamento de Engenharia de Estruturas e ao Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira, da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, pelas oportunidades nas realizações de pesquisas neste trabalho.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2018). Texto base de etapa do projeto de revisão de norma ABNT NBR 7190: 2018. Projetos de estruturas de madeira. Texto base de etapa do Projeto de Revisão, disponibilizado em reunião do CB-02. Brasil.

Brito, L. D.; CALIL JUNIOR, C (2013). Uso do Resistograph IML-RESI-F500-S em inspeções NDT para avaliações internas de elementos estruturais de madeira. In: IX International Congress on Pathology and Recovery Structures. João Pessoa, Brasil.

Brito, L. D (2014). Patologia em estruturas de madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação. Tese (Doutorado em Engenharia Civil/Engenharia de Estruturas) Departamento em Engenharia de Estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, Brasil.

Brito, L. D.; Calil Junior, C. (2016). Metodologia de inspeção para proposta de reabilitação da passarela pênsil de Piracicaba. XV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Curitiba, Brasil.

Calil Junior, C. et al. (2006). Manual de projeto e construção de pontes de madeira. Suprema. ISBN 85-98156-19-1. São Carlos, 2006. Disponível para download gratuito em: <<<<< <http://www.set.eesc.usp.br/portal/pt/livros/361-manual-de-projeto-e-construcao-de-pontes-de-madeira>>>>> Acesso em: 29 julho de 2019.

Calil Junior, C.; Pigozzo, J. C.; Brito, L. D.; (2012). Laudo técnico: inspeção visual nos elementos estruturais das quatro pontes de madeira do acesso ao campus II – EESC/USP e provas de carga. Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, Brasil.



Calil Junior, C.; Brito, L. D. (2015). Inspection and rehabilitation of timber structural elements. Manual of design and construction of timber bridges. 1ed.Saarbrücker: LAP LAMBERT Academic Publishing, v. , p. 117-131.

Calil Junior, C.; Brito, L. D. (2018). Relatório de inspeção periódica e manutenções preventivas: inspeção visual nos elementos estruturais de madeira das quatro pontes de acesso ao Campus II – EESC/USP. Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, Brasil.

Calil Junior, C. (2011). Assessment of historic timber structures in Brazil. Anais SHATIS'11: International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures. Lisbon, Portugal, 2011.

Pigozzo, J. C.; Saad, N. S. Calil Junior, C. (2014). Avaliação experimental da Ponte P01-CAMPUS II-USP, com tabuleiro misto de madeira e concreto, após seis anos de utilização. In: XIV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Natal, Brasil.



ESTUDIO DEL ESTADO DE BIODETERIORO DE ELEMENTOS PATRIMONIALES DE MADERA MEDIANTE MICROSCOPIA ÓPTICA

STUDY OF WOODEN HERITAGE ASSETS BIODETERIORATION STATE BY MICROSCOPY OPTICS

Alfieri, Paula V. ⁽¹⁾*; Alves, Daniel ⁽²⁾; Traversa, Luis P. ⁽³⁾

⁽¹⁾ Dra. Investigadora Adjunta CIC, LEMIT. La Plata, Argentina

⁽²⁾ Técnico, LEMIT. La Plata, Argentina

⁽³⁾ Investigador Emérito CIC, LEMIT. La Plata, Argentina

* Contacto: paulaalfieri@gmail.com

Resumen

Se desarrolló una técnica de preparación de cortes delgados que permita plasmar sin modificaciones del material deteriorándose. Este estudio permitirá no solo saber cómo se está degradando el material sino también permitirá generar nuevas técnicas de protección y conservación del mismo. El estudio del biodeterioro de bienes patrimoniales de madera es de suma importancia para evitar la pérdida completa del mismo. Este proceso es muy complejo y depende de variados factores: cada organismo particular, la interacción con otros organismos que están degradando contemporáneamente, el material, el estado del mismo, la humedad relativa, porosidad, entorno donde se encuentra el material, entre tanto factores más. Por lo tanto, podemos decir que cada material con un proceso de biodegradación es un ecosistema diferente. Es por ello, que el objetivo de este trabajo es el estudio por imágenes de microscopía óptica del mecanismo físico de la degradación. Para esto se desarrolló una técnica de preparación de cortes delgados que permita plasmar sin modificaciones la madera deteriorándose. Este estudio permitirá no solo saber cómo se está degradando el material ya que permite obtener la mejor calidad de imagen en el microscopio óptico sin modificar la estructura molecular del material ni del organismo sino también permitirá generar nuevas técnicas de protección y conservación del mismo.

Palabras-clave: biodeterioro-maderas- patrimonio-microscopía.

Abstract

A technique for the preparation of ultrathin cuts was developed, which allows the study of the wood biodeterioration process. This study will allow not only knowing how the material is degraded nonetheless also to generate new protection and conservation techniques. The study of wooden heritage assets biodeterioration is one of utmost importance to avoid the complete loss of it. This process is very complex and depends on several factors: each particular organism, the interaction with other organisms that are degrading at the same time, the material, the state of the same, the relative humidity, porosity, environment where the material found, among other factors. Therefore, we can say that each material with a biodegradation process is a different ecosystem. That is why; the objective of this paper was the study by optical microscopy images of the physical mechanism of biodegradation. For this, a technique of preparation of ultra-thin cuts was developed to allow reflecting the wood decay without any modification in process. This study will allow not only knowing how the material is degraded since it allows obtaining the best image quality in the optical microscope without modifying the molecular structure of the material or the organism. It also will allow generating new techniques of protection and conservation of the same.

Keywords: biodeterioration-wood-heritage- microscopy.



1. INTRODUCCIÓN

El estudio del biodeterioro de materiales es de suma importancia para evitar la pérdida completa del mismo. Este proceso es muy complejo y depende de variados factores: cada organismo particular, la interacción con otros organismos que están degradando contemporáneamente, el material, el estado del mismo, la humedad relativa, porosidad, entorno donde se encuentra el material, entre tanto factores más. Por lo tanto, podemos decir que cada material con un proceso de biodegradación es un ecosistema diferente. Es por ello, que el objetivo de este trabajo es el estudio por imágenes de microscopía óptica del mecanismo físico de la degradación. Para esto se desarrolló una técnica de preparación de cortes delgados que permita plasmar sin modificaciones el material deteriorándose.

Este estudio permitirá no solo saber cómo se está degradando el material sino también permitirá generar nuevas técnicas de protección y conservación del mismo.

La técnica tiene como objetivo en la realización de un corte delgado para obtener la mejor calidad de imagen en el microscopio óptico sin modificar la estructura molecular del material ni del organismo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio se utilizaron muestras de madera, mampostería y recubrimiento protectores. Para todos se pudo implementar el mismo proceso de preparación de muestra, siendo esto relevante, ya que, es una técnica de fácil aplicación para cualquier tipo de material y además, el tamaño de muestra necesario es mínimo, por lo que la hace una técnica muy atractiva para el estudio de biodeterioro de bienes patrimoniales.

Sintéticamente el proceso de preparación de la muestra está conformado por las siguientes etapas (Humphries, 1992):

- Secado
- Impregnación (estabilización)
- Desbaste y pulido (I)
- Pegado en portaobjetos
- Desbaste y pulido (II)
- Pegado de cubreobjetos

El proceso de preparación de la muestra se inicia con un secado en estufa a 80 °C del material durante 24 h, con el fin de obtener una humedad relativa del material que se encuentre entre 5 y 10%. Ya con la muestra seca, se continúa con la impregnación con resina epoxi mediante aplicación de vacío (tamaño mínimo 1 mm²).

La resina es vertida sobre la muestra en condiciones de alto vacío (15 µHg). Este paso es el que preserva el estado original de la muestra y le da la estabilidad estructural necesaria para los pasos siguientes. El comportamiento mecánico es muy similar al de una roca de dureza media (5 en escala de mohs) (Figura 1).

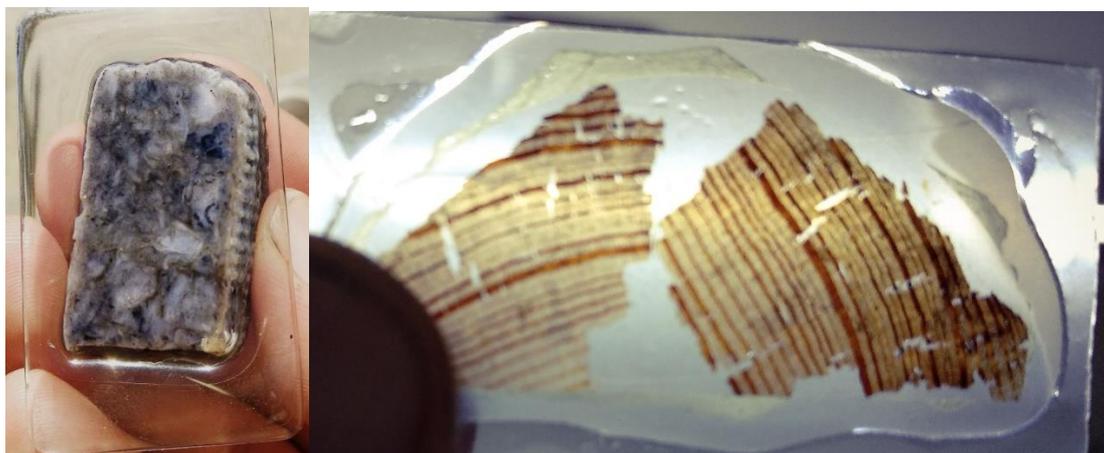


Figura 1: Estado de la muestra posterior a la impregnación al vacío con resina epoxi. El comportamiento mecánico de la misma queda muy similar al de una roca de dureza media.

Luego, se somete a la muestra a sucesivos desbastes sobre disco rotativos de acero rectificando. La primera etapa de desbaste es en húmedo, con el cual se busca obtener una superficie plana y pulida. Para ello se utilizan abrasivos de SiC (carburo de silicio) y Al₂O₃ (alúmina) en diferentes granulometrías.

Finalizada la primera etapa de desbaste, se procede a pegar la muestra sobre un portaobjetos, y mediante una segunda etapa de desbaste del mismo modo que el antes citado, obteniendo se obtiene una lámina delgada de aproximadamente 15 μ m, espesor ideal para el análisis de materiales biológicos. Por último, se vuelve a secar la muestra pulida y se procede a pegar un cubreobjetos usando un pegamento de metacrilato con endurecimiento mediante luz ultravioleta. La elección de este pegamento en particular se basó en acortar los tiempos de realización del corte delgado ya que el procedimiento tiene muchas etapas y lleva varios días. Por otra parte, la experiencia en la manipulación del mismo influye en la duración del preparado. Realizada esta última etapa, la muestra ya está lista para ser observada al microscopio (Humphries, 1992).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta técnica desarrollada fue probada en una gran cantidad de materiales de diferente naturaleza, dando resultados exitosos en la estabilización estructural de los materiales así como también logrando una excelente la calidad óptica del corte delgado para su análisis microscópico (Lei, 2019).

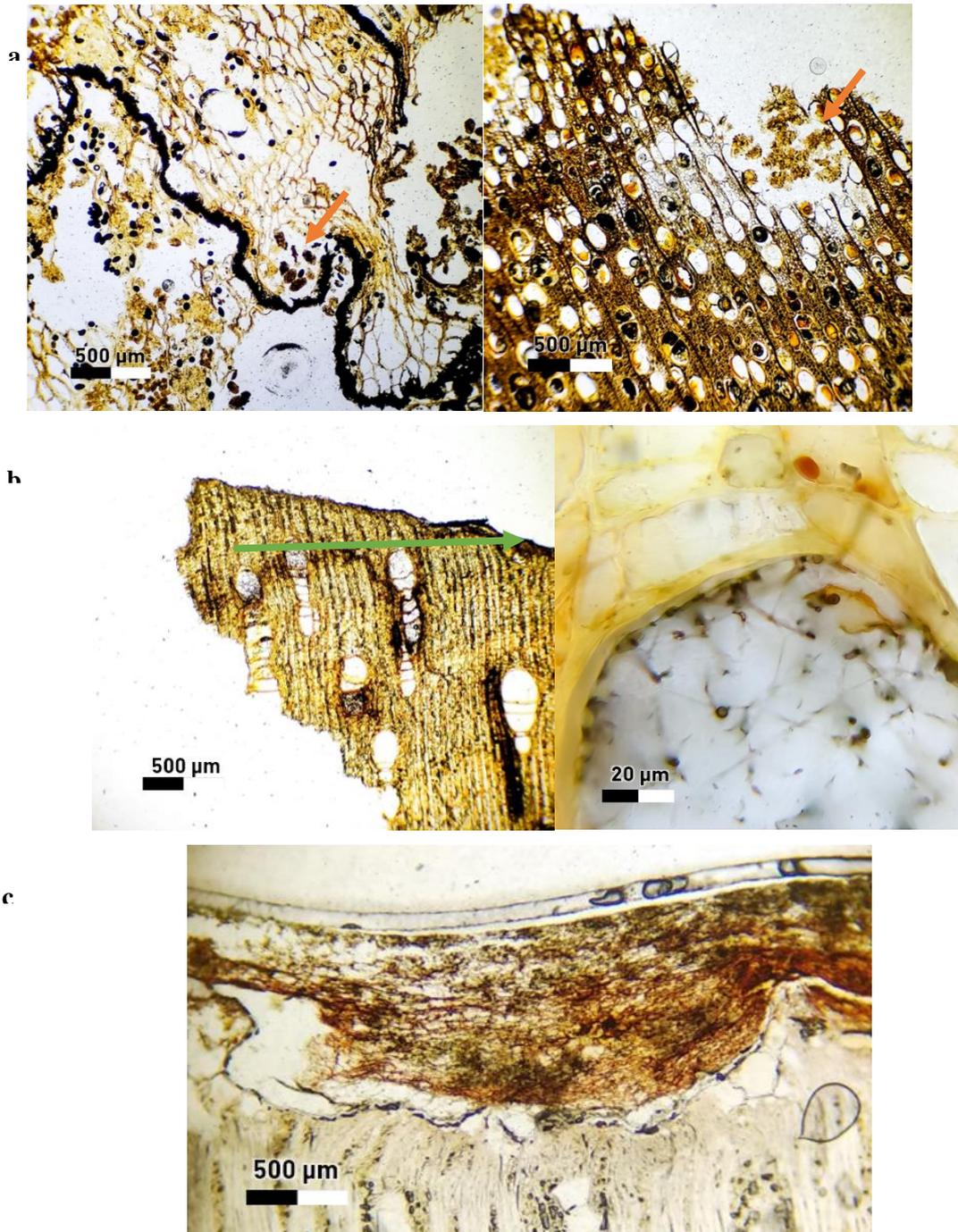


Figura 2: Maderas patrimoniales biodeterioradas: a) Madera del primer monumento Nacional, b) Madera de la casa de Benoit quien diseño la Ciudad de La Plata y c) Madera de la Estación de trenes Meridiano V de la Ciudad de La Plata

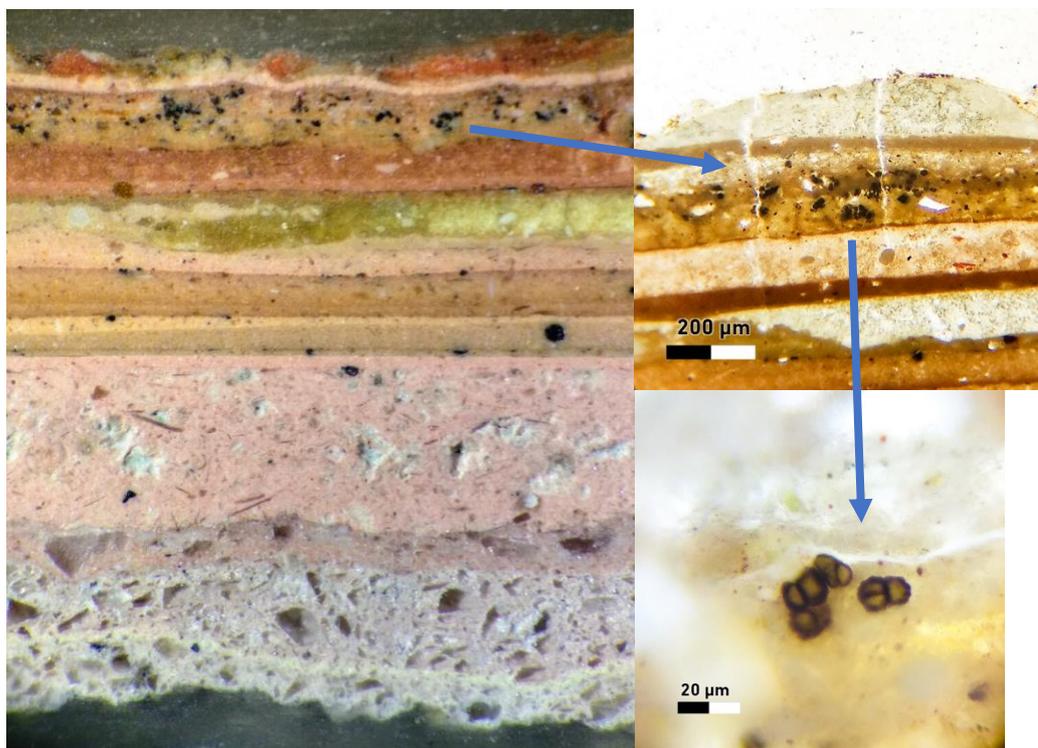


Figura 3: Mampostería y recubrimientos patrimoniales deteriorados: se puede observar claramente en que capa de recubrimiento se encuentran las estructuras fúngicas dando una indirecta idea de la composición carbónica de algunos componentes de esta.

En las Figuras 2 y 3 se muestran algunas muestras de diversos materiales obtenidos de diferentes bienes patrimoniales biodeteriorados estudiados por esta técnica. En la Figura 2 se observan diferentes maderas: en la Figura 2 a imagen se observa un corte de una viga de madera obtenido del centro de la pirámide de mayo, primer monumento nacional realizado en 1811 en homenaje a la Revolución de Mayo en su primer aniversario. Con esta imagen se pudo obtener la identificación de la especie de madera en cuestión (*Prosopis sp.*) y la identificación de algunos de los hongos xilófagos que estaban degradándola (*Oideodendron sp.*, *Aureobasidium pullulans*, *Pleruostomophora sp.*, y *Acremonium sp.*, entre otros).

En la Figura 2 b se observa una muestra de madera obtenida de una casa de madera utilizada por Pedro Benoit, quien diseñó la ciudad de La Plata. Esta fue declarada Monumento Histórico Provincial por la Ley 10.926 en 1990. Se trata de una de las pocas viviendas de la época fundacional, importada desde los Estados Unidos, que se mantienen en pie.

Con esto también se pudo identificar la madera (*Quercus sp.*) (Geoffrey, 2016) y el tipo de biodeterioro mediante el análisis de las estructuras reproductivas de los mismos (*Trichocladium sp.*, *Acremonium sp.*, entre otros) (Hiscox, 2018)

Por último, en la Figura 2 c, se observa la estructura fructífera de un hongo xilófago (*Chaetomium globosum*) encontrado sobre una lápida de madera (*Aspidosperma Quebracho Blanco*) situado en el cementerio de Algarrobo, Carlos Casares, provincia de



Buenos Aires (Geoffrey, 2016; Hiscox, 2018). El cementerio de Algarrobos fue fundado por la Asociación de Colonización Judía en 1891, y es un reflejo de un evento histórico importante: el establecimiento de los judíos en Argentina, que está vinculado a la inmigración judía masiva a Argentina, principalmente desde el Imperio ruso en el Finales del siglo XIX.

Por otro lado, en la Figura 3 se observa la mampostería y las capas de pinturas pertenecientes a un importante edificio gubernamental patrimonial de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. En esta se puede ver todas las intervenciones que se produjeron y como fueron cambiando los pigmentos y los espesores de pintura. Además, también se observó que capa de recubrimiento se está degradando y cual no, lo cual da indicios de que formulación tiene más contenido orgánico que otra, dado una datación aproximada e indirecta de cada formulación (Bing 2018).

En cuanto a los sistemas protectores, podemos observar también la interfase material-recubrimiento lo cual es de relevancia para el estudio de adhesión y compatibilidad del sistema.

Como se observa, esta técnica permite ver el estado de la paredes celulares, lo cual son indicadores del tipo de pudrición presente (blanca, parda o blanda) por lo que es un indicador más que se obtiene: se puede saber indirectamente el estado estructural de la misma, ya que según el tipo de pudrición que se observa es el polímero que se está degradando en mayor proporción, además de ser otro dato relevante para la identificación de las especies degradativas involucradas (Li, 2019).

En cuanto a los mecanismos de acción, se observa como las hifas fúngicas penetran las células de la madera y se puede observar también como el depósito de las estructuras reproductivas, Figura 4. Esto permite corroborar por ejemplo el por qué los tratamientos de madera del tipo barrera (recubrimientos), no son eficientes (Loyd, 2018; Schwarze, 2007).

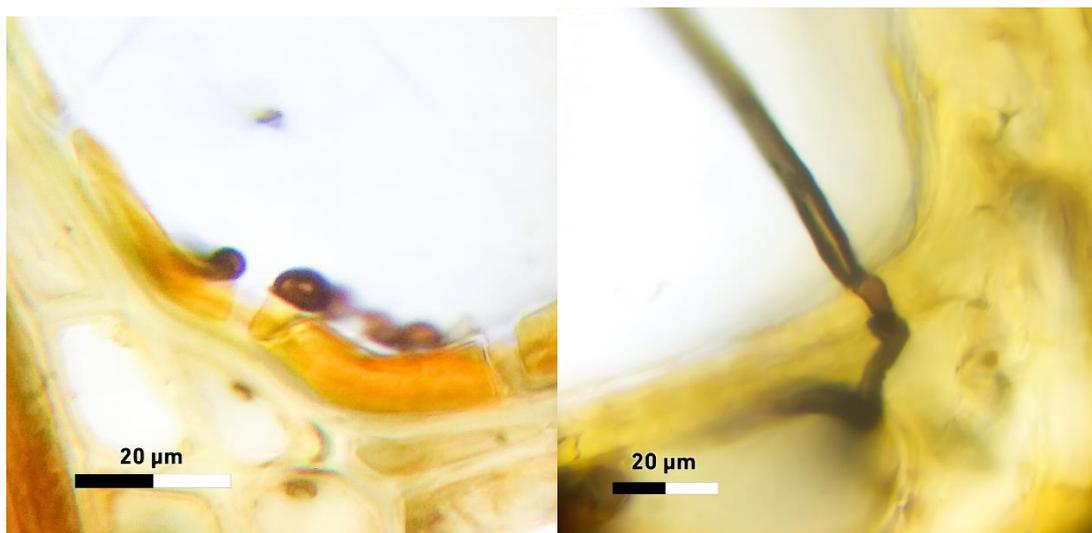


Figura 4: Mecanismo de acción. Esta técnica permite ver en detalle la interacción organismo-material. A la izquierda se observa como hay un canal abierto en la pared celular y el depósito de los conidios en su entorno. A la derecha se puede observar como una hifa atraviesa el lumen celular de la madera sin modificar físicamente su estructura.



CLEM

2019

18 al 20 de noviembre
Hotel Cottage
Montevideo - Uruguay



4º CONGRESO
LATINOAMERICANO
DE ESTRUCTURAS
DE MADERAS

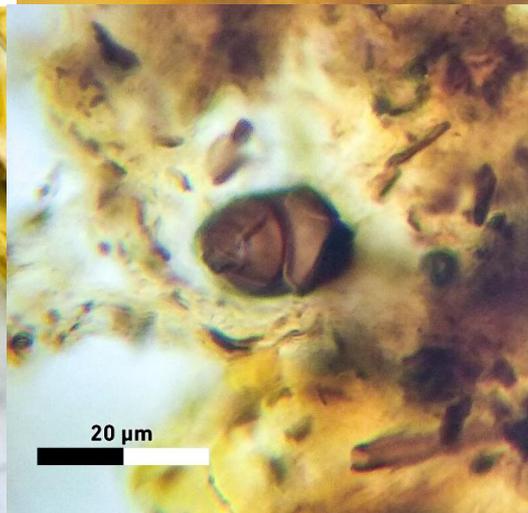
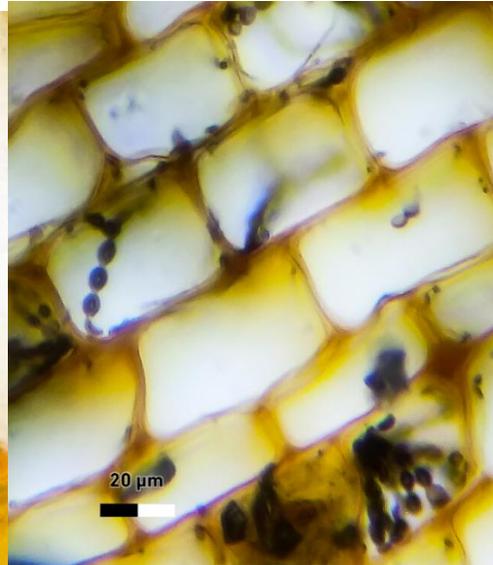
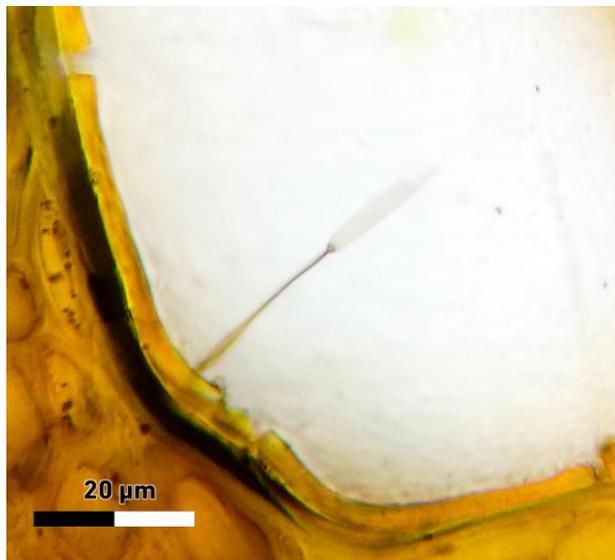


Figura 5: Conidiforos encontrados que permitieron identificar las diferentes especies mencionadas

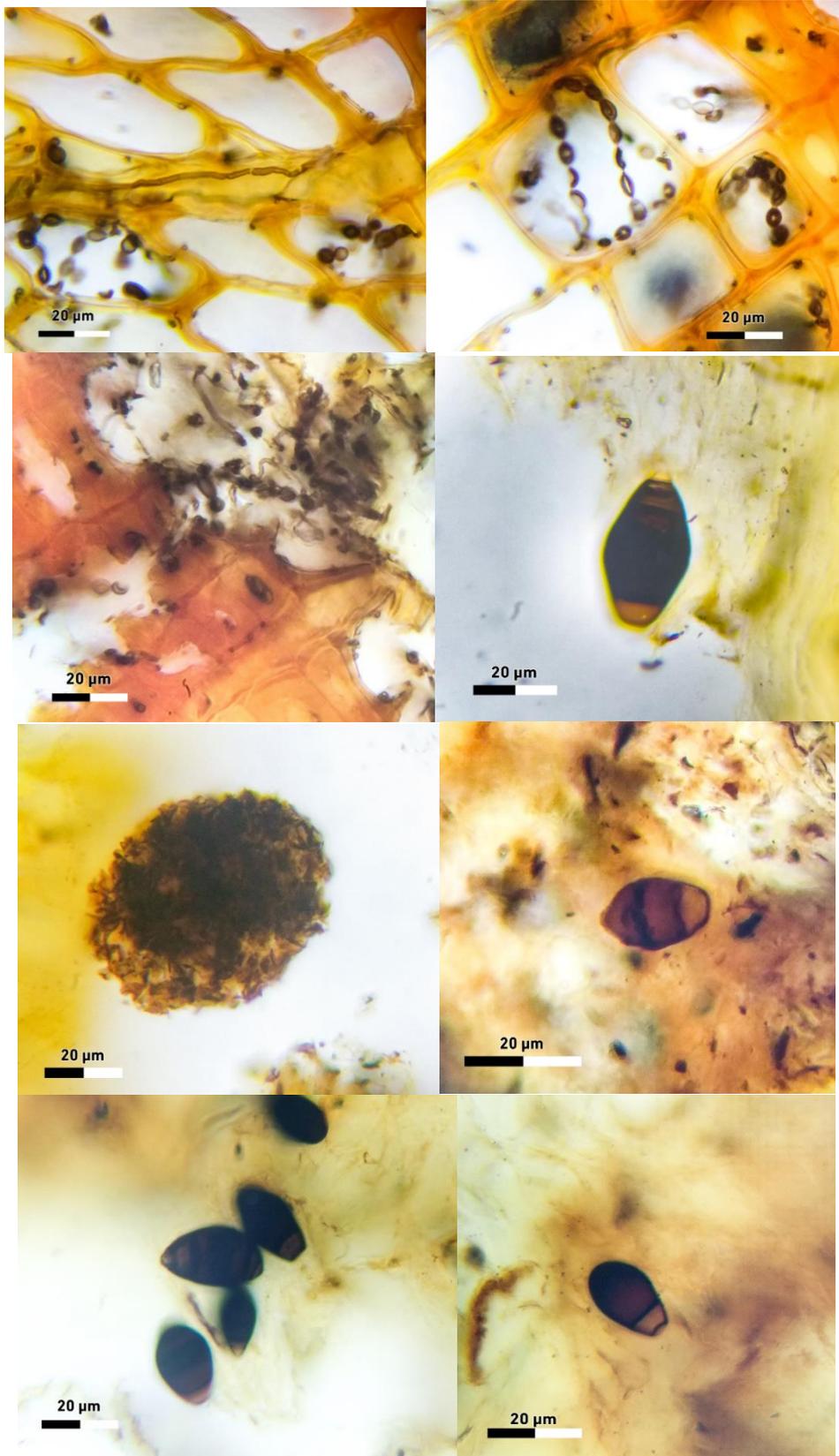


Figura 6: Conidios encontrados que permitieron identificar las diferentes especies



Por último, la técnica permite obtener fotografías con una excelente definición en aumentos elevados (1500X), lo cual es importante a la hora de poder clasificar taxonómicamente a los agentes degradadores. Como se observa en la Figura 5 y 6, se puede obtener imágenes claras de las estructuras reproductivas (conidios y conidioforos) de los hongos xilófagos lo cual permite saber de que especie se trata y con ello, saber que enzimas están involucradas en el proceso degradativo y deteriorante, lo cual otorga datos de que polímero es el más atacado, lo cual también indirectamente da idea de el estado estructural del mismo.

Es importante mencionar que estas muestras obtenidas también pueden ser utilizadas por otras técnicas como por ejemplo para hacer microscopía SEM o Espectroscopía de Infrarrojo.

4. CONCLUSIONES

Se puede concluir entonces que esta técnica es de suma relevancia para el estudio de la degradación de materiales pertenecientes a bienes patrimoniales, ya que la información que esta revela es la necesaria para diagnosticar el estado de deterioro del bien con una mínima toma de muestra, teniendo en cuenta la ley de mínima intervención.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo realizado en el marco del Proyecto "Estado de conservación del patrimonio arquitectónico: Técnicas de reparación y promoción de posibles circuitos turísticos en localidades, pueblos y ciudades de la provincia de Buenos Aires" subvencionado por el CICPBA dentro del programa "Proyectos de Innovación y Transferencia en Áreas Prioritarias de la Provincia de Buenos Aires", resolución de directorio N° 428/16.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bing, D., Wang, Y., Bai, J., Du, R., Wu, G., Liu, L. (2018) Optical contrast for identifying the thickness of two-dimensional materials. *Optics Communications*, v. 406, pp. 128-138
- Geoffrey, D. (2016) *Microscope Techniques for Understanding Wood Cell Structure and Biodegradation*. *Secondary Xylem Biology*, pp. 309-343
- Hiscox, J., O'Leary, J. and Boddy, L. (2018) Fungus wars: basidiomycete battles in wood decay. *Studies in Mycology*, v. 89, pp. 117-124
- Humphries, D.W. (1992) *The preparation of thin section rocks, minerals and ceramics*. Royal Microscopy Society. *Microscopy Handbooks*, n.24, Oxford ; New York : Oxford University Press, p. 83.
- Lei, J., Qu, J., Wang, P., Jiang, H., Shi, H., Sun, X. and Gao, B. (2019) A facile method for precise layer number identification of two-dimensional materials through optical images. *Optics Communications*, v. 440, p. 21-25



Li, Y., Kong, Y., Peng, J., Yu, C., Li, Z., L, P., Liu, P., Gao, C. and Wu, R. (2019) Rapid identification of two-dimensional materials via machine learning assisted optic microscopy. *Journal of Materiomics*, In Press, Corrected.

Loyd, A.L., Held, B.W., Linder, E.R., Smith, J.A. and Blanchette, R.A. (2018) Elucidating wood decomposition by four species of *Ganoderma* from the United States. *Fungal Biology*, v. 122, n. 4, pp. 254-263.

Schwarze, F. (2007) Wood decay under the microscope. *Fungal Biology Reviews*, v. 21, n. 4, p. 133-170



ESTIMACION DE LA PÉRDIDA DE RIGIDEZ LATERAL DE MUROS CLT DE 2 PISOS CON TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS

ESTIMATION OF THE LOSS OF LATERAL STIFFNESS OF 2-STORIES CLT WALLS BY NON-DESTRUCTIVE TECHNIQUES

Opazo-Vega, Alexander ^{(1)*}; Benedetti, Franco ⁽¹⁾; Rosales, Victor ⁽²⁾; Jara, Alan ⁽¹⁾; Sepúlveda Sebastián ⁽¹⁾, Oyarzo, Claudio ⁽³⁾

⁽¹⁾ Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad del Bío-Bío. Concepción. Chile

⁽²⁾ Departamento de Ciencias de la Construcción. Universidad del Bío-Bío. Concepción. Chile

⁽³⁾ Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Católica de la Santísima Concepción. Concepción.

* Contacto: aopazove@ubiobio.cl

Resumen

En Chile el sistema constructivo de paneles madera contralaminada (CLT) está surgiendo como una alternativa para alcanzar las metas de construcción sustentable en un país con alta sismicidad. La rigidez de este sistema estructural depende principalmente de sus conexiones, que generalmente consisten en elementos metálicos de pequeño espesor que se clavan o atornillan a la madera. Cuando ocurren movimientos sísmicos estas uniones pierden rigidez debido al daño provocado por la fluencia de los conectores y aplastamientos en la madera. Estos daños generalmente quedan escondidos por los revestimientos de terminación de muros y losas, por lo que es difícil inspeccionarlos luego de un evento sísmico. El objetivo del presente trabajo es estimar la pérdida de rigidez de muros CLT a través de ensayos no destructivos basados en vibraciones. Se construyen 2 muros de CLT de sección H de 2 pisos (2400mm x 4200 mm x 1200 mm), con sus respectivos conectores, y posteriormente se someten a ensayos cíclicos no reversibles de carga horizontal. Los muros se instrumentan con acelerómetros y se aplican ensayos de impacto modal después de cada ciclo de carga horizontal, obteniéndose la variación de sus propiedades dinámicas. Los resultados experimentales demuestran que cuando la rigidez tangente global del muro alcanza el 28% del valor original, el periodo fundamental de vibración aumenta en 1.52 veces. De esta forma se observa el potencial de esta técnica no destructiva para la inspección y rehabilitación sísmica de edificios con paneles CLT.

Palabras-clave: madera contralaminada, análisis modal experimental, daño sísmico.

Abstract

In Chile, the construction system of cross-laminated timber panels (CLT) is emerging as an alternative to achieve the goals of sustainable construction in a country with high seismicity. The stiffness of this structural system depends mainly on its connections, which generally consist of steel elements of small thickness that are nailed or screwed to the wood. When seismic movements occur, these joints lose stiffness due to the damage caused by the fluence of the connectors and crushing in the wood. These damages are usually hidden by the finishing boards of walls and slabs, so it is difficult to inspect them after a seismic event. The objective of the present work is to estimate the loss of stiffness of CLT walls through non-destructive vibration-based tests. Two CLT walls of two-story height (section H 2400mm x 4200mm x 1200mm) are constructed, with their respective connectors, and then subjected to non-reversible cyclic horizontal load tests. The walls are instrumented with accelerometers, and modal impact tests are applied after each horizontal load cycle, obtaining the variation of their dynamic properties. The experimental results show that when the global tangent stiffness of the wall reaches 28% of the original value, the fundamental period of vibration increase by 1.52 times. In this way, the potential of this non-destructive technique for seismic inspection and rehabilitation of buildings with CLT panels is observed.

Keywords: cross laminated timber, experimental modal analysis, seismic damage.



1. INTRODUCCIÓN

En Chile el sistema constructivo de paneles madera contralaminada (CLT) está surgiendo como una alternativa para alcanzar las metas de construcción sustentable en un país con alta sismicidad. La rigidez de este sistema estructural depende principalmente de sus conexiones, que generalmente consisten en elementos metálicos de pequeño espesor que se clavan o atornillan a la madera. Cuando ocurren movimientos sísmicos estas uniones pierden rigidez debido al daño provocado por la fluencia de los conectores y aplastamientos en la madera. Estos daños generalmente quedan escondidos por los revestimientos de terminación de muros y losas, por lo que es difícil inspeccionarlos luego de un evento sísmico.

Una de las formas de detectar el nivel de daño en edificios estructurados con muros CLT es medir la variación de su frecuencia fundamental de vibración lateral. Esta técnica ha sido utilizada frecuentemente en edificios compuestos por otros materiales, tales como hormigón armado, albañilería y acero. En términos generales, si se asume que un edificio no sufre cambios relevantes en su masa, la pérdida de rigidez se podría estimar indirectamente a partir de la disminución de su frecuencia fundamental lateral. Por lo anterior, usualmente se hacen mediciones comparativas de frecuencias de vibración, antes y después de algún evento que se estima podría provocar algún daño estructural.

La medición de frecuencias de vibración en edificios estructurados con muros CLT, ha sido motivo de interés para diversos investigadores, tanto en condiciones de laboratorio (Ceccotti et al. 2006, Ceccotti et al. 2013, Hristovski et al. 2013, Flatscher et al. 2015, Popovski et al. 2015, Yasamura et al. 2016, Hristovski et al. 2017) como en terreno (Reynolds et al. 2015, Reynolds et al. 2016). En general estos estudios reportan frecuencias laterales de vibración que van entre 1.76 Hz para edificios de 7 pisos, hasta 16.21 Hz para prototipos de 1 piso. En algunos estudios de laboratorio también se midieron las disminuciones en las frecuencias laterales antes y después de alguna sollicitación lateral que inducía daño. Estas disminuciones generalmente variaban entre un 5% y un 36% dependiendo del tipo de sollicitación lateral.

Los resultados de las investigaciones mencionadas en los párrafos anteriores, aunque son una muy buena referencia y guía, no pueden aplicarse directamente a la práctica de construcción de edificios estructurados en CLT en Chile. La principal especie maderera utilizada en Chile para fabricar paneles CLT es el Pino Radiata, proveniente de bosques de rápido crecimiento asociados a la industria de la celulosa. Por lo tanto, estas piezas de madera tienen densidades y propiedades mecánicas inferiores a las informadas por otros investigadores. Además, en Chile, el desarrollo relacionado con la fabricación y montaje de los paneles CLT es aún incipiente. De esta forma se justifica realizar ensayos adicionales compatibles con la realidad constructiva chilena.

El objetivo del presente trabajo es estimar la pérdida de rigidez lateral de muros CLT de 2 pisos, construidos en Chile, a través de ensayos no destructivos basados en vibraciones. Para lograr lo anterior, se intercalaron ciclos incrementales de carga lateral estática a los muros, con golpes de baja energía que inducían pequeñas vibraciones. De esta forma, instrumentando los muros con acelerómetros y utilizando técnicas de análisis modal experimental, se analizaron las posibles relaciones entre la pérdida de



rigidez lateral estática y la disminución de la frecuencia lateral fundamental de vibración. Los datos obtenidos son información valiosa para la futura implementación de esta metodología en los próximos edificios estructurados con muros de CLT que se construirán en Chile.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Descripción de prototipos de muros e implementación ensayos vibratorios

Se ensayaron 2 prototipos de muros CLT de 2 pisos, fabricados con piezas de madera de Pino Radiata, grado estructural mecánico C16, y pegados con adhesivos del tipo poliuretano. Se configuraron paneles de 3 capas, con espesores finales de 100 mm. Un módulo 3D típico de 2 pisos de altura se configuro con el ensamble de 10 paneles. En la Figura 1 se muestran algunas vistas del prototipo y las dimensiones nominales.

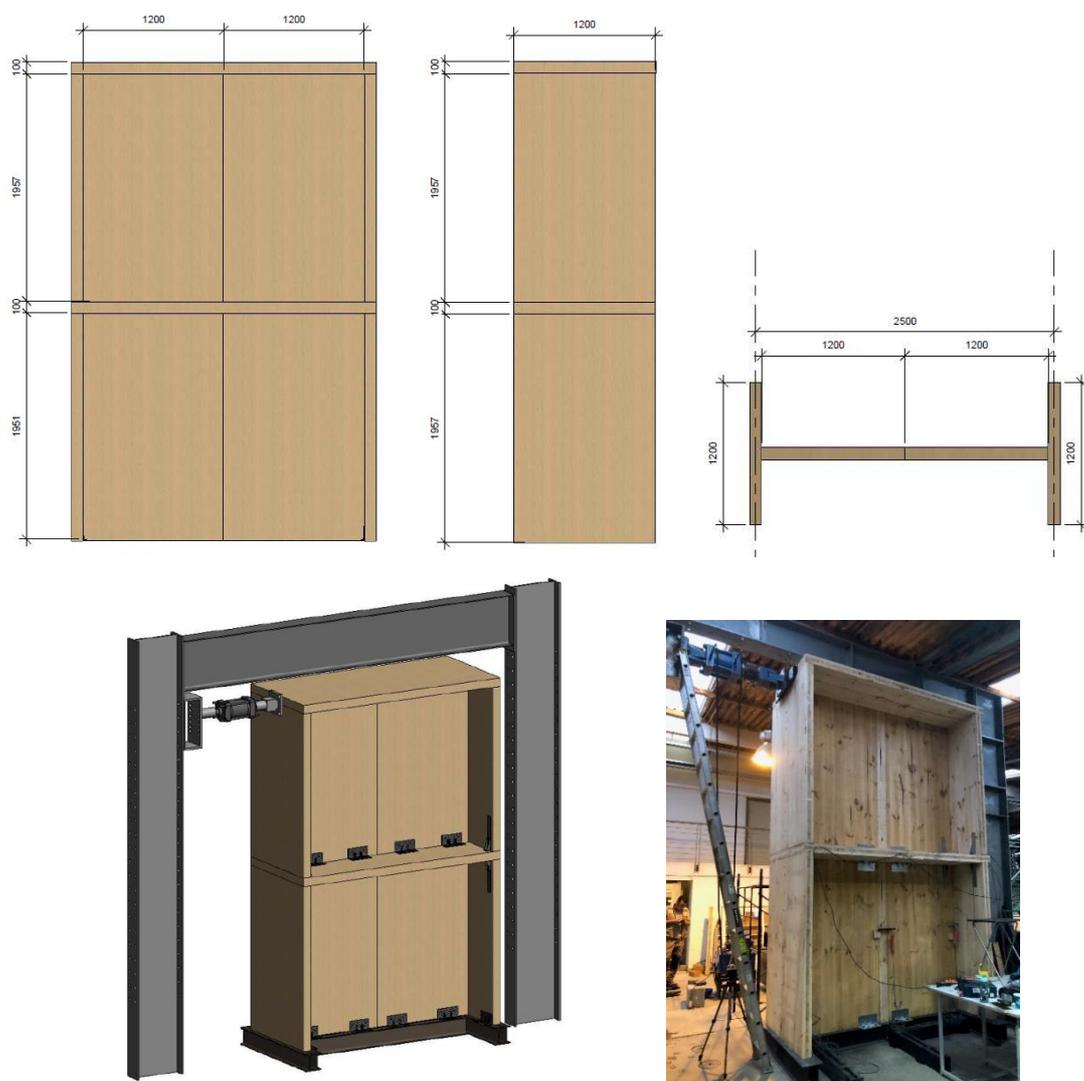


Figura 1: Dimensiones, vistas de los muros e implementación en laboratorio



La diferencia entre los 2 muros construidos básicamente radica en los tipos de herrajes metálicos y elementos de conexión entre paneles. Todos estos fueron donados por la empresa Simpson Strong Tie. En la Tabla 1 se detalla los elementos constructivos de unión utilizados.

Tabla 1: Características de los elementos de unión en los muros

Tipo de union	Uniones en muro 1	Uniones en muro 2
Muros laterales (alas) con losas	Hold down HTT4, clavos anulares CNA 4x60, tornillos SDWS22800	Hold down HTT4, clavos anulares CNA 4x60, tornillos SDWS22800
Muros centrales (alma) con losas	Hold down HTT4, Angle brackets ABR255, clavos anulares CNA 4x60, tornillos SDWS22800	Angle brackets ABR255, clavos anulares CNA 4x60, tornillos SDWS22800
Muro central con muro central	Unión tipo spline con pieza madera pino radiata y tornillos DSVT3R	Unión tipo spline con pieza madera pino radiata y tornillos DSVT3R
Muros laterales con muros centrales	tornillos SDWS22800	tornillos SDWS22800

El ensayo de carga estática lateral cíclica no reversible se realizó a través de un actuador hidráulico ubicado a nivel superior del segundo piso de los muros. Además, se instalaron una serie de transductores de desplazamientos para monitorear el comportamiento de los muros en las direcciones horizontales y verticales, tanto en términos globales como relativos entre paneles. Se realizaron ciclos de carga-descarga, con incrementos de 0.5 T hasta llegar a las 5 T. De esa carga en adelante, se aplicaron incrementos de 1 T hasta la falla del muro, o una eventual pérdida de estabilidad que pusiera en peligro a los operarios y la instrumentación.

Para realizar los ensayos no destructivos basados en vibraciones se instalaron 6 acelerómetros uniaxiales, en el muro lateral ubicado en el sector opuesto a la aplicación de carga del actuador hidráulico. Los acelerómetros fueron distribuidos en toda la altura del muro, tenían una sensibilidad de 100 mV/g y sus señales fueron registradas a una frecuencia de muestreo 1652 Hz. La excitación vibratoria de los muros se realizó a través de una serie de impactos de baja energía, aplicados a distintas alturas, pero en la misma dirección de la carga estática.

2.2. Técnicas de identificación de las frecuencias de vibración de los muros CLT

Para identificar las propiedades modales de los muros (frecuencias, razones de amortiguamiento y modos de vibrar) se utilizaron herramientas de análisis modal operacional (OMA), ya que estas requieren conocer solo la respuesta vibratoria de una estructura, pero no necesariamente el valor de la excitación. Dentro de los posibles métodos OMA se seleccionó el de Identificación de Subespacios Estocásticos (SSI) (Van Overschee and De Moor 1996), debido a las ventajas que presenta en términos de precisión al trabajar en el dominio del tiempo directamente. El software ARTeMIS Modal Pro fue utilizado para encontrar los modos de vibrar y las respectivas frecuencias vibratorias de los muros CLT al ser sometidos a impactos de baja energía.



SSI es un método paramétrico que se fundamenta en el análisis de la respuesta tiempo-historia o funciones de correlación. El objetivo principal del método SSI es ajustar un modelo paramétrico directamente a la serie de datos bruta. En ese contexto, se entiende un modelo paramétrico como un modelo matemático que posee ciertos parámetros que pueden ser modificados para cambiar la forma en que el modelo se ajusta a los datos medidos. Este set de parámetros puede minimizar la desviación entre la respuesta simulada (modelada) y la respuesta medida del sistema. El propósito de la estimación con modelos paramétricos es determinar un modelo adecuado, con un número razonable de parámetros (orden del modelo), tal que el comportamiento dinámico y estadístico sea correctamente representado. En general, en el método SSI no es posible determinar de antemano el orden del modelo (dimensión “n”). Por lo tanto, es necesario repetir el análisis con diferentes valores de “n” y verificar la repetibilidad de los resultados. Este procedimiento iterativo se logra construyendo un diagrama de estabilización. Si se hace el seguimiento a la evolución de los modos, para distintos ordenes incrementales del modelo, es posible identificar aquellos que tienen sentido físico, ya que se alinean verticalmente de una forma estable. En cambio, los modos espurios matemáticos tienden a ser más desalineados e inestables. Mas detalles del método SSI se pueden encontrar en el libro de Rainieri et al. (2014).

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Respuestas de los muros bajo cargas estáticas

En la Figura 2 se muestran las curvas de carga lateral versus desplazamiento lateral en el piso 2, para los 2 muros en estudio.

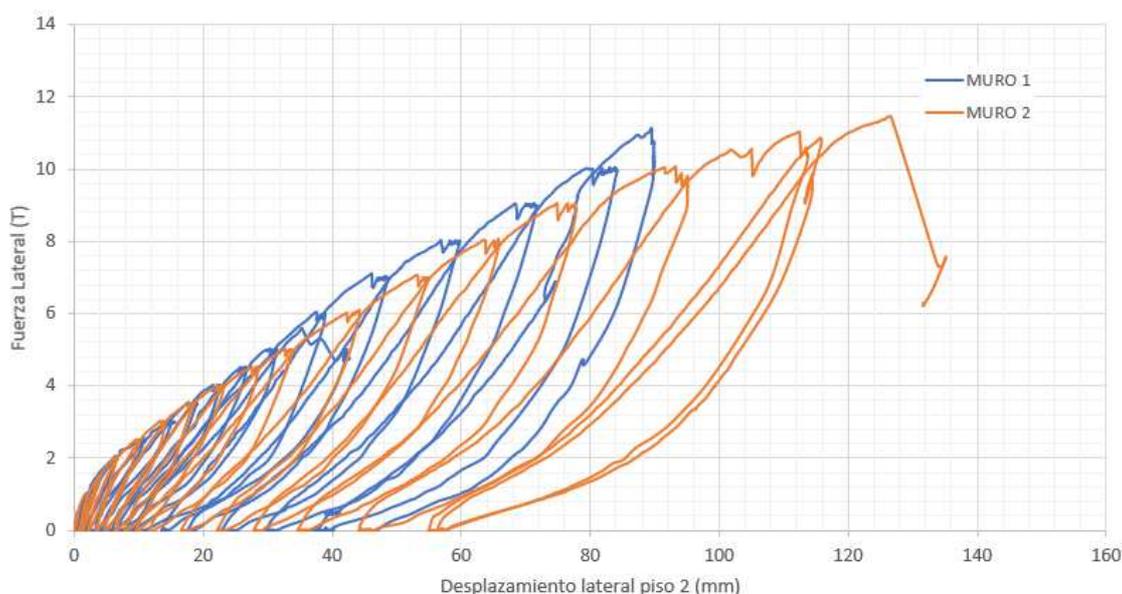


Figura 2: Curvas carga lateral vs desplazamiento lateral piso 2

Como se puede ver de la Figura 2, en los dos muros se generaron comportamientos globales bastante similares, con pérdidas de rigidez lateral evidentes a medida que se



aumentaba la carga. Esto se debió a que los distintos conectores fueron ingresando de manera secuencial a su rango no lineal, principalmente en los herrajes anti-levantamiento (hold-down) de los extremos cercanos a la carga, y los tornillos instalados en la unión del tipo spline entre los paneles centrales. Ambos muros fueron capaces de resistir cargas hasta las 11 T aproximadamente, sin embargo, el muro 2 tuvo una capacidad de deformación lateral mayor antes de fallar.

3.2. Frecuencias detectadas en los muros

En la Figura 3 se muestra un ejemplo de detección de las frecuencias de vibración lateral de los muros, inducidos por impactos de baja energía, a través del diagrama de estabilización del método SSI.

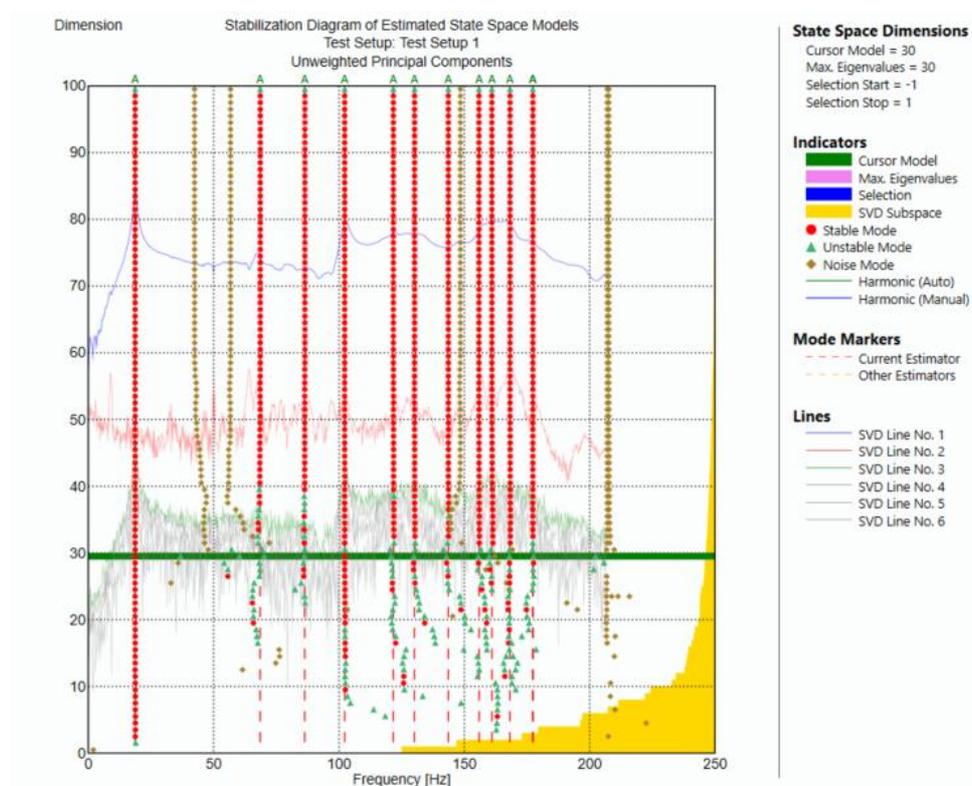


Figura 2: Diagrama de estabilización para la detección de frecuencias de vibración a través de SSI (muro1, carga lateral de 2.5 T)

De la Figura 2, se observan una serie de líneas verticales rojas, que se ordenan para distintos valores de frecuencias. La frecuencia lateral fundamental del muro para este caso fue de 18.67 Hz. En la Figura 3 se muestran las frecuencias laterales fundamentales obtenidas después de cada ciclo de carga lateral estática, para el muro 1.

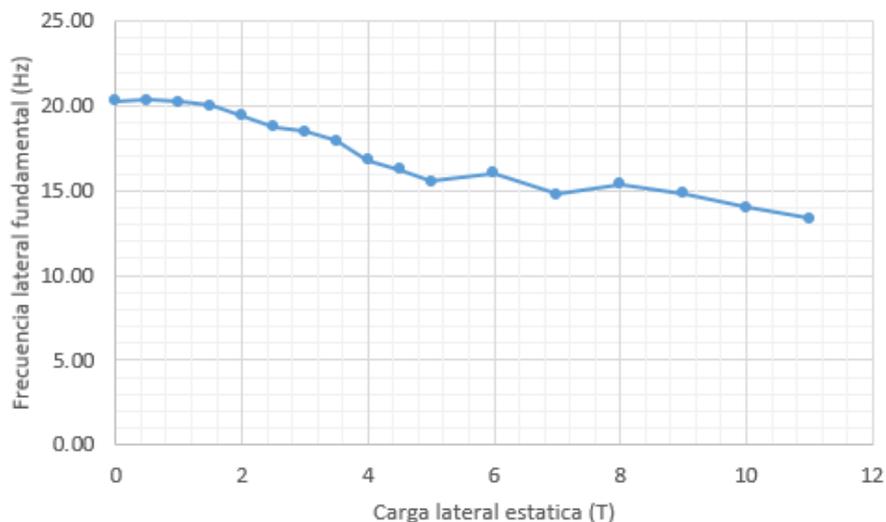


Figura 3: Variación de las frecuencias fundamentales laterales detectadas por el método SSI para distintos niveles de cargas laterales estáticas (muro1)

Como se puede ver de la Figura 3, la frecuencia fundamental en el muro 1 disminuyó desde un valor de 20.30 Hz (antes de aplicar cargas laterales estáticas, muro sin daño) hasta un valor de 13.38 Hz (muro con daño previo al colapso). Esta disminución de un 34% en la frecuencia fundamental, también se podría enunciar como un aumento en el periodo de vibración de 1.52 veces. Para esa condición de daño extremo, la rigidez tangente global del muro solo alcanzó a ser 0.28 veces la rigidez inicial. En la Figura 4 se muestra el nivel de daño que presentó el muro previo al colapso.



Figura 4: Modos de falla del muro 1 previo al colapso



4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo, se ha logrado establecer una relación entre la pérdida de rigidez lateral y el aumento del periodo natural de vibración de un prototipo de estructura de 2 pisos conformada por paneles CLT fabricados y montados en Chile. Para el caso de estudio se concluyó que un aumento de 1.5 veces en el periodo fundamental de vibración de la estructura (con respecto a su condición sin daño), corresponde a una pérdida de rigidez considerable, asociada a un estado previo al colapso. Con los resultados obtenidos en este estudio se pueden comenzar a plantear criterios de evaluación del daño estructural de este tipo de estructuras en terreno, a través de la medición periódica de la frecuencia natural de vibración, utilizando métodos no destructivos en base a vibraciones.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado dentro del contexto del Grupo de Investigación “Desarrollo de Sistemas Estructurales en Madera” de la Universidad del Bío-Bío, y del programa de Doctorado en Ingeniería Civil de la Universidad Católica de la Santísima Concepción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARTeMIS Modal Pro, Version 5.3, Structural Vibration Solutions A/S, Aalborg Denmark, Copyright 1999–2013.
- Boscato, G.; Russo, S.; Ceravolo, R. (2015). Global sensitivity-based model updating for heritage structures. *Comput-Aided Civ. Inf.*, v.30, n. 8, p. 620-635.
- Ceccotti, A., Sandhaas, C., Okabe, M., Yasumura, M., Minowa, C., & Kawai, N. (2013). SOFIE project – 3D shaking table test on a seven-storey full-scale cross-laminated timber building. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 42(13), 2003-2021. <https://doi.org/10.1002/eqe.2309>
- Flatscher, G., & Schickhofer, G. (2015). Shaking-table test of a cross-laminated timber structure. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings*, 168(11), 878-888. <https://doi.org/10.1680/stbu.13.00086>
- Hristovski Viktor, Dujic Bruno, Stojmanovska Marta, & Mircevska Violeta. (2013). Full-Scale Shaking-Table Tests of XLam Panel Systems and Numerical Verification: Specimen 1. *Journal of Structural Engineering*, 139(11), 2010-2018. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0000754](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000754)
- Hristovski, V., Mircevska, V., Dujic, B., & Garevski, M. (2018). Comparative dynamic investigation of cross-laminated wooden panel systems: Shaking-table tests and analysis. *Advances in Structural Engineering*, 21(10), 1421-1436. <https://doi.org/10.1177/1369433217749766>
- Popovski Marjan, & Gavric Igor. (2016). Performance of a 2-Story CLT House Subjected to Lateral Loads. *Journal of Structural Engineering*, 142(4), E4015006. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001315](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001315)



Rainieri, C.; Fabbrocino, G. (2014). *Operational modal analysis of civil engineering structures*. Springer, New York.

Reynolds, T., Harris, R., Chang, W.-S., Bregulla, J., & Bawcombe, J. (2015). Ambient vibration tests of a cross-laminated timber building. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials*, 168, 121-131.

Reynolds, Thomas, Casagrande, D., & Tomasi, R. (2016). Comparison of multi-storey cross-laminated timber and timber frame buildings by in situ modal analysis. *Construction and Building Materials*, 102, 1009-1017. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.09.056>

Van Overschee, P.; De Moor, B.L. (1996). *Subspace identification for linear systems: Theory—Implementation—Applications*, Kluwer Academic Publishers; The Netherlands, Dordrecht.

Yasumura Motoi, Kobayashi Kenji, Okabe Minoru, Miyake Tatsuya, & Matsumoto Kazuyuki. (2016). Full-Scale Tests and Numerical Analysis of Low-Rise CLT Structures under Lateral Loading. *Journal of Structural Engineering*, 142(4), E4015007. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001348](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001348)



EVALUACIÓN COMPARADA DE MÉTODOS DE ENSAYO DESTRUCTIVOS SOBRE MADERA DE UN EDIFICIO EN REHABILITACIÓN

COMPARED TEST METHODS ASSESSMENT FOR THE EVALUATION OF MECHANICAL PROPERTIES ON WOOD OBTAINED FROM A BUILDING UNDER RENOVATION

Luengo, Emilio ^{(1)*}; Cabrero, Juan Carlos ⁽²⁾; de Villota, Javier ⁽³⁾; Hermoso, Eva ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Ing. de Montes. AITIM, Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera. Madrid, España

⁽²⁾ Ing. Industrial. CIFOR-INIA. Laboratorio de Productos de Madera Para la Construcción. Madrid, España

⁽³⁾ Arquitecto, Máster en Patología de la edificación. Profesional liberal, Madrid, España

⁽⁴⁾ Dra. Ing. de Montes. CIFOR-INIA. Laboratorio de Productos de Madera Para la Construcción. Madrid, España

* Contacto: e.luengo@aitim.es

Resumen

Dentro de los proyectos de rehabilitación de edificios de cierta antigüedad uno de los interrogantes principales gira en torno a conocer las propiedades mecánicas asignables a la madera de la estructura. No obstante esta es una tarea afectada por importantes limitaciones debido a la variabilidad de la madera y a la dificultad para la obtención de material destinado a ensayos, especialmente si estos son de carácter destructivo. Si bien es frecuente el uso de técnicas no destructivas, estas no muestran siempre buena correlación en la predicción de valores de resistencia, por lo que la realización de ensayos destructivos sobre el material continua siendo una técnica aconsejable. En esta línea, el objetivo de este estudio ha sido realizar una valoración comparada en piezas de gran escuadría de los resultados de diferentes métodos de ensayo destructivos con tamaños de probeta pequeños y medianos con respecto a los obtenidos en ensayos de flexión de vigas a tamaño real según la norma EN 408. Los ensayos con probetas a tamaño real mostraron propiedades mecánicas relativamente reducidas, quizás asociadas a la presencia de madera juvenil. Se observó así mismo que los ensayos de pequeñas o medianas dimensiones obtenidas a partir de estas vigas no son adecuados para la valoración de la resistencia de las mismas, y se aprecia que el ensayo de flexión de probeta de pequeñas dimensiones y el de compresión de probeta mediana podrían ser útiles para la estimación del módulo de elasticidad, si bien se requerirían estudios más detallados.

Palabras-clave: Métodos de ensayo, Propiedades mecánicas, Rehabilitación de edificios antiguos

Abstract

A frequent problem that arise in old building renovation projects is to assess the mechanical properties that could be assigned to the wood present in the structure. This is a task affected by important limitations due to the high variability expected in the structural wood and the difficulty in obtaining test specimens, especially if they are going to be used in destructive tests. Although it is frequent to use non destructive techniques, these not always show a good correlation in the prediction of strength results, and for this reason to perform destructive testing is still recommended. The present study performs a compared assessment using small and medium size specimen tests methods compared to full-size bending tests according to EN 408 for beams of large size cross-sections. The results from the full-size bending tests showed low mechanical properties, possibly related with the presence of juvenile wood. In the other hand the tests performed shows that the small and medium size tests are not suitable methods to assess the bending strength of the beams from which the specimens were taken, and that small size bending tests and medium size compression tests could be useful to estimate the modulus of elasticity of the beams, although more research will be needed in order to assess its performance.

Keywords: Test methods, Mechanical properties, Old building renovation



1. INTRODUCCIÓN

El efecto del tamaño de la probeta en ensayos de flexión es conocido desde la primera mitad del siglo pasado, así Newlin y Trayer (1924) ya apreciaron reducciones en la resistencia a flexión de piezas libres de defectos con el incremento de altura de estas. Estos efectos continuaron siendo estudiados posteriormente en madera libre de defectos por otros autores, por ejemplo Tucker (1941) y Comben (1957).

Por otro lado a partir de los trabajos realizados por Madsen en los años 70 del pasado siglo (Madsen, 1976), el uso de ensayos con probetas libres de defectos ha venido siendo abandonado para la caracterización de propiedades mecánicas de madera estructural en favor del uso de probetas de madera de tamaño y calidad comercial. Debido a que se detectaban diferencias entre los modos de fallo y valores de resistencia de las probetas pequeñas libres de defectos y las de madera comercial.

En España también se han realizado para especies nacionales estudios respecto a los efectos sobre la resistencia de la altura (Hermoso, Fdez-Golfín y Díez, 2002) y del volumen de las piezas, (Fdez-Golfín, Hermoso y Díez, 2002). En los que se apunta a diferencias en los factores de corrección de la resistencia debidos a la altura según la especie.

El uso de ensayos de madera con tamaño y calidad comercial introdujo cambios importantes en las metodologías de cálculo y también incorporó el empleo de la clasificación de la madera para uso estructural en madera nueva, por ejemplo en España con el uso de la norma UNE 56544 (2011) para coníferas.

Sin embargo cuando se presenta la necesidad de estudiar las propiedades mecánicas de piezas de madera antigua instaladas en edificios se presentan numerosos problemas ya que este material en origen no ha sido clasificado con las especificaciones de la normativa vigente, y aunque su ensayo a tamaño real proporciona información muy relevante, es complejo por requerir demoliciones o difíciles extracciones de piezas.

En este contexto surgieron las técnicas no destructivas para el estudio de propiedades mecánicas por ejemplo en el ámbito de España por Arriaga et al (2005) o Montero (2013), si bien se han mostrado más útiles en la estimación del módulo de elasticidad del material que en la predicción de la resistencia. Así mismo en el uso de estas técnicas aún existe un importante camino por recorrer en el estudio de especies, la unificación de modelos y el estudio de factores de ajuste, Íñiguez et al. (2015).

En España por similitud con la forma de trabajo que se emplea en el estudio o caracterización de otros materiales como el hormigón es frecuente que se soliciten ensayos empleando cantidades pequeñas de material extraídas de la estructura de una obra, y ello pese a que se informa a los prescriptores sobre las dificultades que presenta la madera en su caracterización y la falta de adecuación de este procedimiento en un material con la variabilidad y características específicas de la madera.

El presente estudio plantea el estudio de propiedades mecánicas de material procedente de un lote de vigas obtenidas de un edificio antiguo mediante ensayos de tamaño pequeño, y especialmente como posible técnica de mejora en tamaño mediano, comparados con ensayos de material a tamaño real.



Además de permitir ejemplificar mediante un caso concreto las dificultades que genera el uso de ensayos con cantidades reducidas de material, se ha considerado interesante realizar estos ensayos para estudiar si pese a ello se pueden obtener datos útiles en la caracterización de la madera, especialmente en casos con dificultades importantes en la obtención de material a tamaño real. También se considera importante la realización de estudios aplicados sobre material procedente de obras, como este, ya que al analizar material presente en las edificaciones también aflora información importante a tener en cuenta.

El material utilizado para el desarrollo de este estudio procede de las vigas principales de un forjado de suelo perteneciente a una antigua fábrica de harinas en proceso de rehabilitación, (Figura 1). El edificio se encuentra en Fuentepelayo, localidad del noroeste de la provincia de Segovia (España) inserta en la comarca denominada “tierra de pinares”. Su planta, en forma de “L”, está constituida por una sucesión de naves de distinto carácter cuya agrupación se ha materializado a lo largo del tiempo en función de las necesidades a cubrir.

La primera referencia histórica sobre el edificio data del año 1873, en cuyo solar se encontraba en funcionamiento una fábrica de fósforos, cuya actividad se mantuvo hasta la entrada en vigor del monopolio estatal sobre la fabricación de este producto de 1893. Durante la segunda década del siglo XX se remodela para convertirse en fábrica de harinas. En abril de 1948 sufre un incendio, que reduce a cenizas los forjados, las cubiertas y la maquinaria del edificio. Los trabajos de reconstrucción se iniciaron de inmediato dotando a la fábrica de un nuevo sistema de producción, que se encomendó a una prestigiosa consultora suiza.

La última gran transformación de la fábrica se gestó a lo largo del año 1951, pocos meses después de finalizar los trabajos de reconstrucción, cuando se hizo imprescindible ampliar la superficie de los almacenes, motivo por el cual se edificó una nave anexa contra la fachada norte del edificio principal: de su derribo en la actualidad se han extraído las piezas de madera necesarias para la este estudio.



Figura 1: Izquierda aspecto de uno de los forjados del que se extrajeron vigas. Derecha extracción y manipulación de una viga en la obra.



2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se obtuvieron 7 vigas principales para su ensayo mecánico. Las piezas presentaban sección aproximadamente rectangular con escuadrías comprendidas entre 180 x 180 mm y 220 x 220 mm, y longitudes aproximadamente entre 4,2 y 4,8 m. Algunas estaban afectadas por gemas importantes y en algún caso caras cóncavas debidas a resinación.

Estas vigas se ensayaron a flexión en tamaño real según la norma UNE-EN 408:2011+A1 (2012) con medición de deformación en su parte inferior (Figura 3, izquierda). Además se obtuvieron muestras para determinación del contenido de humedad, y se realizó identificación microscópica de la especie de madera en dos de las vigas.

Por otro lado, de los extremos de las piezas ensayadas, fuera de las zonas afectadas por la rotura, se procedió a obtener dos tramos separados de viga, Secciones A y B, de 600 y 1000 mm de longitud respectivamente, destinadas a la obtención de las probetas adicionales para el resto de ensayos mecánicos del estudio (Figura 2).

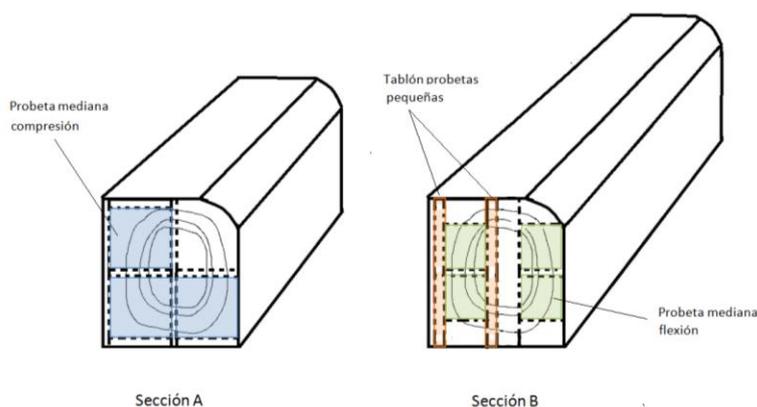


Figura 2: Ejemplo de despiece de probetas a partir de las secciones de viga

Las probetas de pequeño tamaño se obtuvieron a partir de dos tablones de 25 mm de grosor extraídos en dos localizaciones de la sección transversal, una de ellas más próxima a la zona central de la pieza, y otra más exterior. Estos tablones fueron alistonados para obtener probetas de flexión de 20 x 20 x 300 mm y probetas de compresión de 20 x 20 x 60 mm.

Se descartaron las probetas pequeñas de flexión que presentaban desviación de fibra superior al 25% o defectos que abarcaban más de 2/3 de la sección en dos caras de la pieza. El resto de probetas se ensayaron sin realizar una clasificación específica con el fin de muestrear lo más completamente el material de cada tablón. Posteriormente se registraron los defectos presentes en las probetas para discriminar las probetas libres de defectos⁶. Las probetas de compresión pequeñas se tomaron libres de defectos.

⁶ Se clasificaron como libres de defectos las piezas sin nudos y con desviación de fibra inferior o igual al 10%.



Se obtuvo así mismo la mayor cantidad posible de probetas de tamaño mediano tanto de compresión, de tamaño 90 x 90 x 540 mm, como de flexión, de tamaño 50 x 50 x 900 mm. Estas probetas no fueron clasificadas según sus singularidades.

En total se ensayaron 217 probetas de flexión de probeta pequeña (entre 27 y 33 probetas por viga), de las cuales 72 resultaron ser piezas libres de defectos. También se ensayaron a compresión 28 probetas pequeñas libres de defectos (4 probetas por viga). En probetas de tamaño mediano se ensayaron 25 probetas de flexión (entre 2 y 6 probetas por viga) y 18 probetas de compresión (de 1 a 4 probetas por viga, generalmente entre 2 y 4 unidades por pieza). Todas fueron acondicionadas en condiciones estándar de 20° C y 65 % de humedad relativa previamente a su ensayo.



Figura 3: Izquierda ensayo de viga a tamaño real. Derecha, Compresión de probeta mediana.

Las probetas medianas de compresión fueron ensayadas según la norma UNE-EN 408:2011+A1 (2012), Figura 3, derecha. Las piezas medianas de flexión fueron ensayadas sobre dos apoyos separados 800 mm (16 veces la altura de la pieza) y bajo dos cargas centrales empleando el protocolo de ensayo de UNE-EN 408.

Los ensayos de flexión de pequeñas dimensiones se realizaron según la norma UNE 56537 (1979) sobre dos apoyos separados 240 mm y bajo una carga central. La medición de deformación no está incluida en esta norma pero se realizó para obtención del correspondiente módulo de elasticidad empleando un extensómetro colocado en el centro del vano por la parte inferior de la probeta. Por último los ensayos de compresión de pequeñas dimensiones se realizaron según la norma UNE 56535 (1977).

Para el cálculo de las propiedades mecánicas de los ensayos según la norma UNE-EN 408 se emplearon las expresiones contenidas en la norma en sus correspondientes apartados. Para los ensayos a flexión bajo una carga central (probeta pequeña) se utilizaron las siguientes expresiones matemáticas, ecuaciones 1 y 2:

$$E_{m,0} = \frac{L^3}{4 \cdot b \cdot h^3 \cdot k} \quad (1) \quad f_{m,0} = \frac{3 \cdot F_u \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (2)$$



Siendo:

L Luz entre apoyos en mm;

h y b Altura y anchura respectivamente de la probeta en mm;

F_u y k Carga de rotura en N y pendiente fuerza-deformación en mm/N respectivamente.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados de los ensayos

Las Tablas 1 y 2 resumen los resultados medios por viga de los diferentes ensayos.

Tabla 1: Resumen de resultados medios de resistencia por tipo de ensayo

Viga	Probeta pequeña			Probeta mediana		Viga
	Flexión $f_{m,0}$ (N/mm ²)		Compresión $f_{c,0}$ (N/mm ²)	Flexión $f_{m,0}$ (N/mm ²)	Compresión $f_{c,0}$ (N/mm ²)	Flexión $f_{m,0}$ (N/mm ²)
	Todas	Sin defectos	Sin defectos			
1	87,7 [13%]	92,2 [10%]	34,1 [40%]	81,0 [7%]	31,4 [7%]	37,4
2	47,8 [34%]	67,5 [27%]	38,1 [21%]	18,7 [47%]	21,0 [2%]	14,4
3	46,2 [21%]	53,6 [11%]	29,1 [21%]	23,4 [15%]	26,6 [5%]	13,0
4	51,5 [16%]	52,6 [17%]	28,6 [22%]	17,3 [61%]	27,0 [9%]	15,5
5	68,4 [23%]	78,0 [12%]	33,8 [19%]	30,7 [34%]	20,2 [15%]	20,8
6	59,7 [32%]	67,8 [23%]	32,7 [11%]	23,7 [53%]	19,3 [6%]	14,2
7	44,1 [25%]	50,7 [41%]	24,3 [25%]	20,6 [54%]	18,9 [--%]	18,2
2 a 7	53,2 [31%]	64,0 [25%]	31,1 [23%]	22,9 [47%]	23,0 [18%]	16,0 [18%]

Notas:(1) Viga 1de madera de olmo (Ulmus ssp.). Vigas 2 a 7 similares, de madera de pino pinaster (P. pinaster Ait.). Se tratan como dos grupos de material diferente. (2) Entre corchetes se muestran los valores del coeficiente de variación en tanto por ciento. (3) Fila final viga 2 a 7, muestra la media de los ensayos de este grupo. (4) Contenido humedad en las vigas entre el 10 y el 11,5 %.

Tabla 2: Resumen de resultados medios de módulo de elasticidad por tipo de ensayo

Viga	Probeta pequeña		Probeta mediana		Viga
	Flexión $E_{m,0}$ (N/mm ²)		Flexión $E_{m,0}$ (N/mm ²)	Compresión $E_{c,0}$ (N/mm ²)	Flexión $E_{m,0}$ (N/mm ²)
	Todas	Sin defectos			
1	10173 [15%]	10949 [11%]	11483 [5%]	7989 [20%]	8331
2	5726 [31%]	8462 [16%]	4576 [11%]	4994 [7%]	6286
3	4879 [21%]	5827 [19%]	4483 [19%]	5058 [32%]	4527
4	6393 [12%]	6697 [11%]	4500 [7%]	6372 [8%]	6341
5	7686 [18%]	8507 [11%]	7401 [27%]	5584 [31%]	6771
6	6559 [29%]	7661 [18%]	5531 [25%]	5022 [12%]	5056
7	5067 [17%]	5696 [25%]	4408 [32%]	4067 [--%]	4643



2 a 7	6093 [27%]	7400 [19%]	5504 [33%]	5444 [23%]	5604 [17%]
Aplican las mismas notas que en la Tabla 1.					

3.2. Análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de flexión de vigas

Con respecto a los valores obtenidos en el ensayo de vigas a tamaño completo se detectan varias cuestiones interesantes:

- La presencia de una pieza, viga 1, con una resistencia claramente mayor que el resto, que fue posteriormente identificada mediante análisis microscópico como de madera de olmo, mientras que el análisis practicado en otra pieza del grupo menos resistente se identificó como pino pinaster (la especie esperada inicialmente).
- La obtención de valores de resistencia y módulo de elasticidad a flexión inferiores a las habituales recogidas en el sistema de clases resistentes en las vigas 2 a 7. El módulo de elasticidad medio en estas piezas es de 5604 N/mm² inferior al de una clase resistente C14. Una posible explicación podría ser la presencia de madera juvenil, o bien que el material proceda de una población con propiedades especialmente bajas.

3.3. Análisis de los datos de resistencia obtenidos en ensayos de probetas pequeñas y medianas

Del estudio de los datos de la Tabla 1 se puede inferir que la resistencia a flexión obtenida en los ensayos de pequeñas dimensiones es claramente mayor que la obtenida en los ensayos de probetas medianas y de vigas completas. Así mismo los ensayos de medianas dimensiones presentan una resistencia media mayor que la obtenida en los ensayos de flexión de vigas de tamaño completo.

La primera derivación de estos resultados es que el uso directo de la resistencia obtenida en ensayos de probeta de pequeña y mediana dimensión para la estimación de la resistencia de vigas de tamaño real es inadecuado.

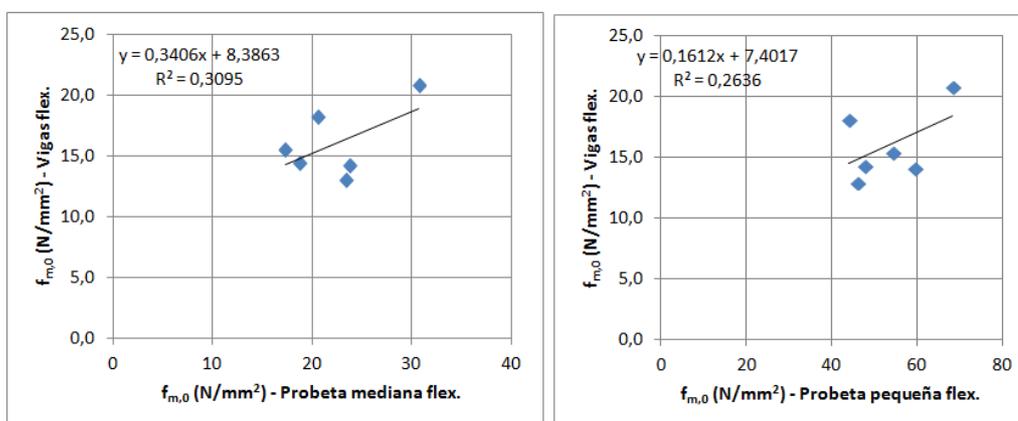


Figura 4: Gráficos que relacionan resistencias a flexión de varios ensayos en las vigas 2 a 7.

El estudio de relación entre resultados de resistencia con los métodos de probeta pequeña y mediana con los resultados obtenidos en las vigas 2 a 7, véase Figura 4,



indica que no se aprecian correlaciones y los coeficientes de determinación que se pueden obtener mediante regresión simple son bajos. Esto implica que en estas vigas los resultados obtenidos con los ensayos medianos o pequeños en cada pieza no informan sobre los resultados de resistencia esperados.

Este resultado tiene lógica si atendemos al hecho de que el tamaño de las vigas es muy superior al de las probetas medianas o pequeñas, y la proporción o presencia de defectos en unas y otras es diferente. Los menores valores en las vigas serían probablemente explicables por la teoría del eslabón más débil (Madsen y Buchanan, 1986).

Numéricamente en este caso el ensayo más próximo al de flexión de las vigas completas es el de flexión de probeta mediana, especialmente si se aplica una corrección por factor de altura según lo indicado en la norma UNE-EN 384:2016+A1 (2019) para el grupo de vigas 2 a 7, ya que se obtendrá un valor medio próximo al obtenido en las vigas.

No obstante este ensayo de flexión mediana presenta una elevada variabilidad en los resultados de probetas en cada viga, asociados a la presencia de nudos y otros defectos, que lo hacen poco fiable como predictor. Además como se ve en la Figura 4 (izquierda) no hay una correlación fuerte entre los valores medios obtenidos por viga con estos ensayos y los obtenidos en los propios ensayos de las vigas.

Los ensayos de compresión en lo referente a la resistencia del material presentan un comportamiento análogo al descrito sobre los ensayos de flexión y también presentan baja correlación en la predicción de resistencia de las vigas. Su uso directo como estimación de la resistencia del material de tamaño real sería igualmente incorrecto.

3.4. Análisis de los datos de módulo de elasticidad obtenidos en ensayos de probetas pequeñas y medianas

Los valores de módulo de elasticidad a flexión entre probetas pequeñas o medianas con respecto a las vigas a tamaño real presentan menores diferencias dentro de la muestra de vigas 2 a 7, que las observadas para la resistencia.

En el caso de la viga 1 la situación es diferente ya que los valores del ensayo de flexión pequeña y mediana son claramente superiores a los obtenidos en la viga correspondiente.

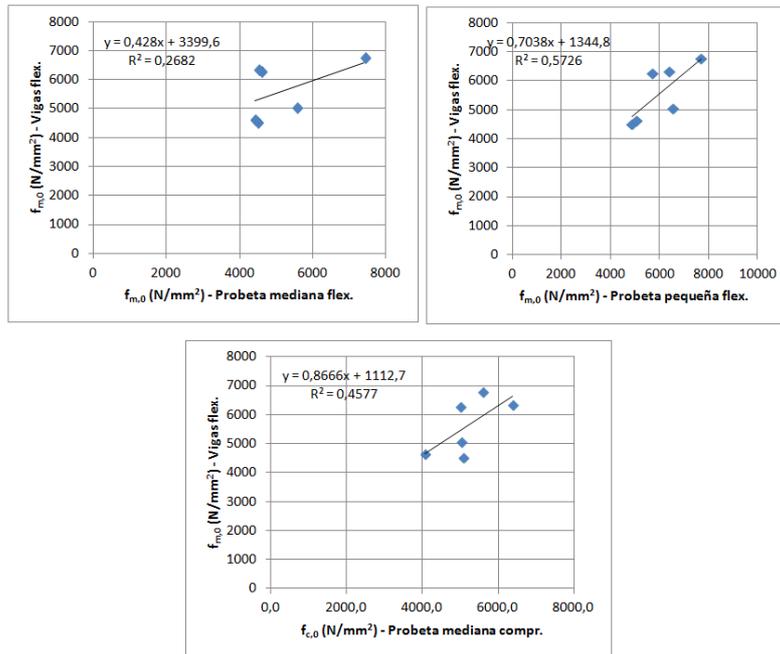


Figura 5: Gráficos que relacionan módulos de elasticidad de varios ensayos en las vigas 2 a 7.

Como se puede apreciar en la Figura 5, para el ensayo de flexión de probeta pequeña y para el ensayo de compresión de probeta mediana se observa correlación entre los valores de módulo de elasticidad medios por viga de los diferentes ensayos y los obtenidos en las vigas. Por lo que estos ensayos podrían ser un estimador global medio del módulo de elasticidad del grupo, si bien debido a que la muestra es pequeña debería realizarse un estudio más completo.

Por otro lado en la Tabla 2, como se indicaba, se detecta que el valor de módulo de elasticidad a flexión de probeta mediana en la viga 1 es muy superior al análogo de la viga, lo que difiere de lo visto en las vigas de pino. Esto podría indicar diferencias en la comparación de los resultados de ensayo debidas a la especie, en línea con lo indicado por otros autores (Fernández-Golfín, Hermoso y Diez, 2002). Lo que implicaría la necesidad de una investigación que incluya diferentes especies en varios lotes para evaluar las prestaciones de estos métodos como estimadores del módulo de elasticidad.

Como se puede apreciar en la Tabla 2 los ensayos de pequeñas y medianas dimensiones presentan dispersión, lo que indica que su uso requiere de la realización de un número relativamente importante de probetas por cada viga o pieza en estudio.

En el caso de los ensayos de compresión de probeta mediana se aprecian vigas con baja variabilidad (probetas con resultados muy similares entre sí) junto a otras que muestran diferencias más importantes entre sus probetas, quizás asociadas con presencia de madera juvenil, si bien no se ha podido extraer un patrón concreto de comportamiento que pueda usarse para confirmar este aspecto. Como resultado también es recomendable cuando se realice este ensayo el uso de varias probetas por pieza en estudio.

Con respecto a la posible detección de madera juvenil mediante el ensayo de probetas pequeñas en dos tabloncillos por viga, no se han detectado patrones claros de diferencias



entre las probetas de los tabloneros interiores (más próximos a la médula y con mayor posibilidad de presentar áreas de madera juvenil) con respecto a los tabloneros exteriores.

4. CONCLUSIONES

Se han realizado ensayos a flexión de tamaño real de 7 vigas principales procedentes de una obra en rehabilitación en España. Se observa una viga de mayor resistencia y rigidez que fue identificada como de madera de olmo (*Ulmus ssp.*), y un grupo de 6 piezas similares de madera de pino pinaster (*P. Pinaster Ait.*), estas últimas con una resistencia reducida en torno a una clase resistente C14 y un módulo de elasticidad por debajo del indicado para esta clase.

Con el fin de valorar la viabilidad de usar ensayos de menores dimensiones en casos especiales en los que fuese complejo tomar material de tamaño completo se extrajeron de estas vigas probetas de pequeñas dimensiones y probetas medianas en zonas no afectadas por la rotura, para su ensayo a flexión y a compresión según diversas metodologías.

Los resultados de estos ensayos indican que como era esperable según la bibliografía, la resistencia de las probetas pequeñas y medianas es superior a la obtenida en las vigas, y además los resultados medios de resistencia obtenidos con estos ensayos no muestran correlación con los resultados de las diferentes piezas ensayadas a tamaño real.

Por tanto queda justificado el rechazo de la metodología para valorar la resistencia de vigas completas a partir de valores medios obtenidos con probetas pequeñas o trozos parciales de las mismas.

Por otro lado en el estudio del módulo de elasticidad en el grupo de piezas de pino se ha obtenido correlación entre los ensayos de flexión de pequeña dimensión y de compresión de probeta mediana con los obtenidos en las vigas. Ambos ensayos apuntarían a ser posibles métodos de estimación del módulo de elasticidad, si bien se requeriría un estudio más amplio que el realizado para valorar su funcionamiento.

Por último los resultados de los ensayos de flexión de probeta pequeña y mediana de la viga de olmo presentan valores muy superiores a los obtenidos en el ensayo de la viga, por lo que se abre la posibilidad de que el funcionamiento de estos métodos varíe con la especie, cuestión que también debería estudiarse en futuros trabajos más detallados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arriaga, F., Esteban, M. and Relea, E. (2005) Evaluation of the load carrying capacity of large cross section coniferous timber in standing structures. *Mater. Construcc.* Vol. 55, nº 280.

Comben, A.J. (1957) The effect of depth on the strength properties of timber beams, with an analysis of the stresses and strains developed. Great Britain Dep. Sci. and Ind. Res., Forest Prod. Res. Spec. Rep. No. 12, London.

Fdez-Golfín J.I., Hermoso, E., Díez R. (2002) Análisis del efecto del volumen sobre la resistencia característica a flexión de la madera de los pinos silvestre y laricio de procedencia española. *Materiales de Construcción* vol. 52, no. 268: 43-55.



Hermoso, E. & Fdez-Golfin, J. and Díez, R. (2002). Análisis del factor de altura kh en la madera aserrada estructural de pino silvestre. Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales, Vol. 11, Nº 2.: 441-448.

Iñiguez-Gonzalez, G., Arriaga, F., Esteban, M., Fernández-Llana, D. (2015) Reference conditions and modification factors for the standardization of nondestructive variables used in the evaluation of existing timber Structures. Construction and Building Materials 101.

Madsen, B.; Nielsen P.C. (1976) In-grade testing: size investigations on lumber subjected to bending. Structural Research Series Report No. 15. University of British Columbia, Department of Civil Engineering, Canada.

Madsen B., Buchanan, A.H. (1986) Size effects in timber explained by a modified weakest link theory. Canadian Journal of Civil Engineering, 13:218-232.

Montero, M.J. (2013) Clasificación de madera estructural de gran escuadría de Pinus Sylvestris L. mediante métodos no destructivos. Tesis Doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

Newlin, J.A. and Trayer, G.W. (1924) The influence of the form of a woodem beam on its stiffness and strength, II. Form factors of beams subjected to transverse loading only. NACA Ann. Report 9 (Tech Rept. 181). Reprint by Forest Products Laboratory in 1941, Madison, US.

Tucker, J. (1941) Statistical theory of the effect of dimensions and of method of loading upon the modulus of ruptura of beams. Amer. Soc. For Testing and Materials Proc. 41: 1072-1094.

UNE 56544 (2011) Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de conífera. AENOR, Madrid, España.

UNE 56537 (1979) Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de la resistencia a la flexión estática. IRANOR, Madrid, España.

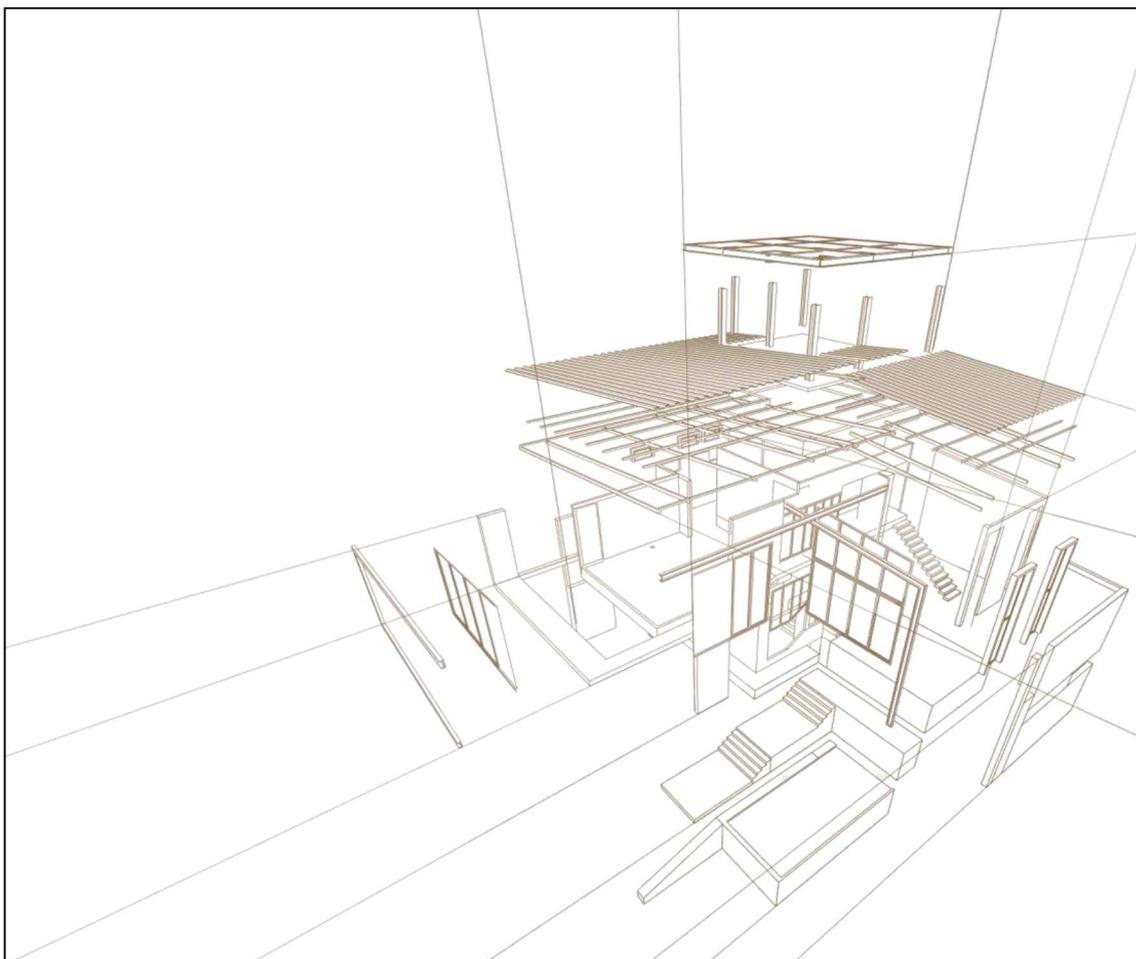
UNE 56535 (1977) Características físico-mecánicas de la madera. Determinación de la resistencia a la compresión axial. IRANOR, Madrid, España.

UNE-EN 384:2016+A1 (2019) Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad. AENOR, Madrid, España.

UNE-EN 408:2011+A1 (2012) Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas. AENOR, Madrid, España.



X. Educación





DESIGN OF TIMBER STRUCTURES IN CIVIL ENGINEERING EDUCATION

Quapp, Ulrike ⁽¹⁾; Holschemacher, Klaus ^{(2)*}

⁽¹⁾ Assessor iuris. Faculty of Civil Engineering, HTWK Leipzig. Leipzig, Germany

⁽²⁾ Prof. Dr.-Ing. Structural Concrete Institute, Faculty of Civil Engineering, HTWK Leipzig. Leipzig, Germany

* Contacto: klaus.holschemacher@htwk-leipzig.de

Abstract

While developing a civil engineering curriculum, there are intensive discussions which courses should be included in the study program and to what extent. It is challenging to consider and to balance the interests of the scientific community and other stakeholders. Especially, the opinions regarding the inclusion of educational contents relating to timber structures vary among the higher education institutions in Germany. The authors investigated civil engineering study programs of 8 universities and 8 universities of applied sciences all over Germany regarding their timber design contents. They compared the contents of the respective courses and their extent in the civil engineering curriculum. The paper concerns with the question whether and to what extent timber design courses should be included in civil engineering higher education. It gives advises, if and how timber design topics should be included in civil engineering study programs. The conclusion is that courses in design of timber structures are necessary to ensure graduates' employability and the qualification to work professionally. Depending on the localization of the investigated higher education institutions in Germany, timber design is traditionally more or less important. Except from specialized programs, civil engineering graduates do not have to become timber design experts. Teaching basic knowledge is sufficient to enable them dealing with this topic in depth when needed in their future worklife.

Keywords: design of timber structures, civil engineering education, employability.



1. INTRODUCTION

Developing a higher education study program is a delicate process involving many people under considering and balancing different interests and demands. Especially in engineering sciences, graduates employability must be kept in mind to qualify for the demanding and safety relevant engineering jobs.

After checking diverse German civil engineering programs, it is to state that education in design of timber structures only plays a minor role, while professional associations of civil engineers and the building industry require at least graduates' basic knowledge in this field. This is a legitimate requirement because timber is one of the basic building materials beside concrete, masonry and steel.

The paper concerns with the question whether, to what extent and on which level timber design courses should be included in civil engineering education.

2. GERMAN HIGHER EDUCATION SYSTEM

In Germany, two types of higher education institutions offer study programs to students – universities and universities of applied sciences. The difference can be explained by their educational target. Universities offer scientific oriented higher education and universities of applied sciences practical oriented higher education (Saxon University Freedom Act 2019). In this paper, the authors decided for “higher education institution” as umbrella term for both institution types. If a fact applies to one special institution type only, the terms “university” or “university of applied science” are used for differentiation.

3. INVESTIGATION

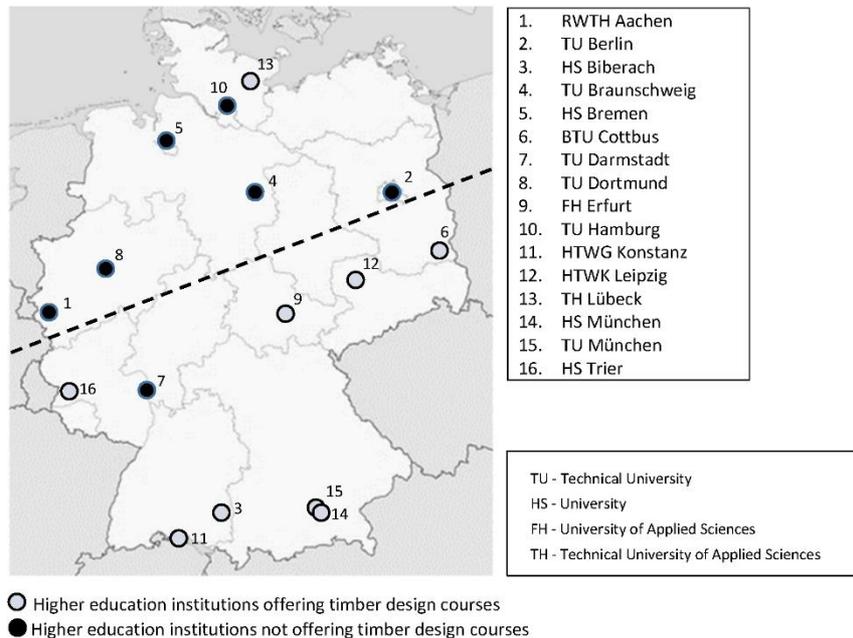
The authors searched for offers of timber design contents in German civil engineering study programs of 8 universities as well as 8 universities of applied sciences. The examined higher education institutions are well spread all over Germany to take region-specific differences in higher education into consideration (Figure 1). It was the intention to include equally both German types of higher education institutions – universities as well as universities of applied sciences – in the investigation. This is to acknowledge their different educational targets.

This paper compares study plans and course content descriptions of 16 German civil engineering bachelor and master programs available on the higher education institutions' websites. To identify the knowledge of all program graduates, the authors only searched for compulsory courses in the curricula. That is why compulsory optional or elective courses were not included in this investigation.

There were two options to measure the extent of timber design education in civil engineering programs – contact hours or credit points, whereby credit points seemed to be the most reasonable. Information about them are accessible more easily and they include the self-study time students must spend for deepening the knowledge from the courses. Credit points used in the European Credit Transfer and Accumulation System



(so called ECTS-Points) are calculated from contact hours, for example in lectures and seminars, from examination time and self-study phases of students. One ECTS-Point in Germany normally corresponds to 30 students' working hours (Standing Conference of



the Ministers of Education and Cultural Affairs of the Länder in the Federal Republic of Germany 2010). That means, if a course requires 90 hours of students' working time, students award 3 ECTS-Points after successfully completing the course. Thus, ECTS-Points show in a more realistic way the time students have to spend for timber design education than only contact hours.

Figure 1: Overview about courses in timber design at German higher education institutions

4. INCLUSION OF TIMBER DESIGN CONTENTS IN CIVIL ENGINEERING PROGRAMS

4.1. RESULTS OF THE INVESTIGATION

The authors examined civil engineering programs of 16 German higher education institutions on bachelor and master level regarding included timber design courses.

In advance it is to mention that for German universities and universities of applied sciences do not exist any binding specification from the federal states regarding the contents of civil engineering higher education, such as for example a fixed study plan. There are only recommendations, mainly from non-academic stakeholders such as building industry or the federal state chambers of engineers, which try to influence civil engineering programs in their interest. However, each higher education institution can individually decide about the contents of its study programs which results from the constitutionally guaranteed Right of Self-Administration and the Right of Free Teaching, Article 5 Section 3 (Basic Law for the Federal Republic of Germany 2019, Quapp & Holschemacher 2015). It allows the professors to define content and method



of their courses, especially topic, form (such as lectures, seminars, practical and non-practical exercises), structure as well as duration (Fehling 2012).

Compulsory timber design contents were found in 9 of 16 examined civil engineering bachelor curricula (Figure 2). If universities and universities of applied sciences offer compulsory contents, then the courses award between 2.5 ECTS-Points and 5 ECTS-Points (Figure 2), which corresponds with a share between 1.2% and 2.8%, dependent on the total ECTS-Points awarded for bachelor programs (in Germany between 180 and 210 ECTS-Points). This can include topics in structural timber or timber material sciences.

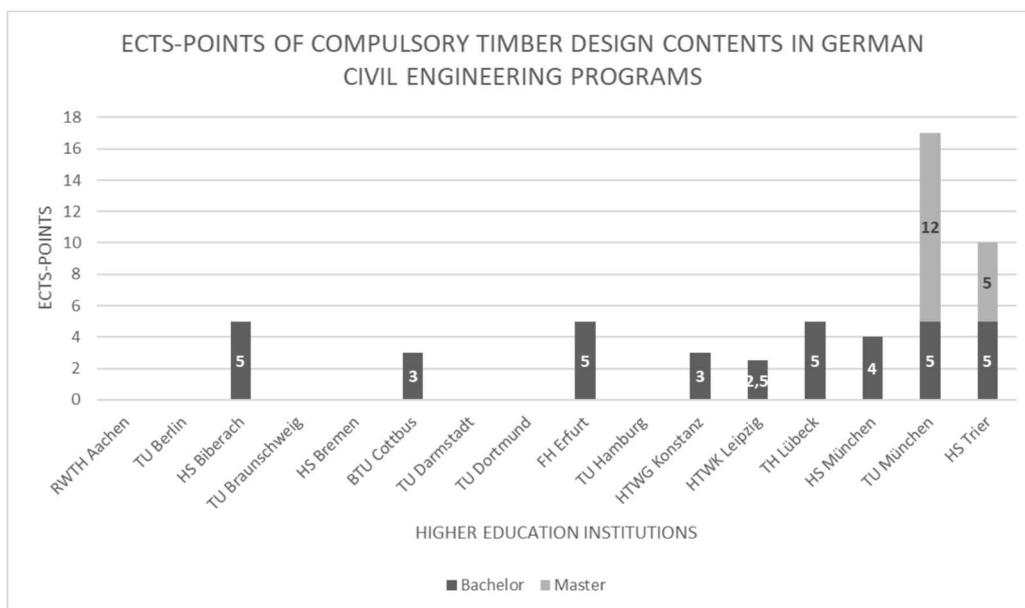


Figure 2: Extent of ECTS-Points awarded for timber design at German higher education institutions

In investigating master programs, the authors experienced only one university and one university of applied sciences offering compulsory timber design education. The percentage of educational share, 5 and 12 ECTS-Points (Figure 2) corresponding with 4.2% and 13.3%, was calculated dependent on the total ECTS-Points awarded for the respective master program (90 or 120 credit points). In seeing the bachelor and master program as a unity, it is to state that, if higher education institutions offer timber design courses, than in a share between 0.8% and 5.7% of the total 300 ECTS-Points, necessary to award for bachelor and master degree in total.

7 of 8 examined universities of applied sciences offer compulsory timber design education in bachelor programs while only in 2 universities' bachelor programs (BTU Cottbus and TU Munich, see Figure 2) compulsory timber design courses are included. Reason for that could be that universities of applied sciences try to ensure students employability already in bachelor programs because they consider the possibility of graduates leaving the higher education institution after bachelor graduation. Universities



seem to expect bachelor graduates' enrolment in a master program directly after graduation. On master level, students can choose between more optional courses and specializations, which reduces the number of compulsory courses such as in timber design.

It is to state that in having a closer look at the location of higher education institutions there is a difference between higher education institutions located more in the north of Germany and institutions in the south, marked by a dashed line in Figure 1. Universities and universities of applied sciences in the southern half of Germany seem to educate in line with the high interest and demand for timber materials in new constructions in the south of Germany (see Figure 3). The situation report 2018 of the timber construction industry (Federation of German Master Carpenters 2019) about the number of state authorized buildings in timber construction method corresponds in a great extent to the location of German higher education offers in timber design. Except of the southern higher education institutions, the German federal state of Schleswig-Holstein, in the north of Germany, offers timber design education as well (at TH Lübeck – see Figure 1), corresponding to the over average percentage of authorized timber construction in residential buildings and non-residential buildings.

It is to mention that at almost all except one of the examined higher education institutions not offering compulsory timber design courses, elective courses could be found. However, they are not objects of this paper.

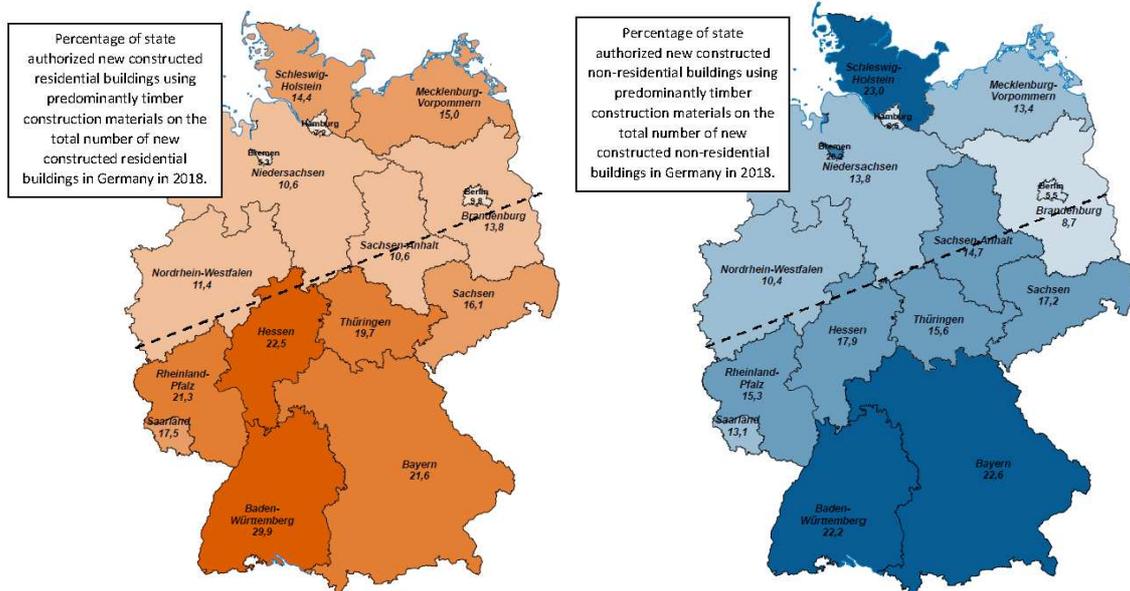


Figure 3: Percentage of state authorized new constructed buildings using predominantly timber construction materials on the total number of new constructed buildings in Germany in 2018 (Federation of German Master Carpenters 2019).

4.2. REASONS FOR INCLUSION AS COMPULSORY COURSES



After investigating the educational situation in Germany regarding timber design, the authors now give recommendations for including this topic in civil engineering curricula.

Of course, there are advantages and disadvantages of including timber design topics in civil engineering programs. Without any timber design teaching, there would be more time for other engineering contents in the programs. In Germany, materials like masonry or concrete are much more often used as structural building materials than timber (German Federal Statistical Office 2019). As shown above, only around 10% to 30% of the state authorized construction projects in Germany in 2018 were using predominantly timber construction materials. Nevertheless, the number of constructions where timber as building material is not used at all (e.g. in reinforced concrete bridges, steel halls, tunnels) is limited. That is why all graduates must have knowledge in timber design to know how the different building materials will act with each other. This is a highly safety relevant matter. Furthermore, civil engineers must be able to decide about the best construction material for a building project. In Future, an increasing importance of timber as building material is to expect, due to sustainability reasons.

Of course, the extent of necessary timber design education also depends on the employers and the specialization, graduates will choose after finishing their studies. As stated above, timber construction materials play a greater role in southern parts Germany and in the federal state of Schleswig-Holstein. However, to enable graduates to be flexible between the federal states, it seems to be reasonable, teaching all of them a fundamental knowledge in timber design, which allows going deeper in the topic by themselves if necessary.

Thus, the conclusion is that courses in timber design are necessary to ensure graduates' employability and the qualification to work professionally.

4.3. EDUCATIONAL LEVEL AND OBLIGATION

It must be discussed on which higher education level compulsory courses in timber design should be included in the curriculum.

Resulting from the Bologna Process, the European Higher Education Area knows three higher education cycles (Bologna Working Group on Qualification Frameworks 2005):

- First Cycle: Bachelor's level
- Second Cycle: Master's level
- Third Cycle: Doctorate.

4.3.1. Bachelor level

With the bachelor degree that builds upon a general secondary education, graduates should have the skills to work professionally in their field of study or to undertake further study in higher education. That means, bachelor graduates must have a broad and balanced basic education in civil engineering with only limited elective options (AS Bau 2018).

Non-university organizations recommend timber design contents on bachelor level without specifying a special extent of credit points (AS Bau 2018). Included in the



structural engineering education of civil engineers, students should acquire knowledge about timber products, material properties, durability and fire resistance, design of simple timber structures in the serviceability and the ultimate limit states, connection elements and timber panel construction (AS Bau 2018).

In the opinion of the authors, it depends on the educational cycle and the chosen study specialization if higher education institutions should include compulsory or elective timber design contents. Design of timber structures must be a compulsory course in bachelor programs to ensure graduates' employability and a comparable educational level of all bachelor students.

It can be discussed, if there should be a difference between timber design bachelor education for students at universities and universities of applied sciences. Even if the two university types have different educational targets, their tasks are the same and there is no difference between the degrees awarded by universities and universities of applied sciences (Saxon University Freedom Act 2019). Graduates of both university types will have the same professional qualification and the same field of work. Thus, there is no argument to differentiate between timber design education in civil engineering bachelor programs of both of these higher education types.

4.3.2. Master level

Professional associations, construction industry and chambers of engineers recommend an inclusion of timber design in master programs as well (AS Bau 2010) but, again, without specifying a special number of credit points.

On master level, universities and universities of applied sciences should use the chance to offer more detailed timber design contents, but as elective courses or specialized programs.

On master level should be differentiated between timber design education for students at universities and universities of applied sciences. Universities of applied sciences should offer a more practical education while universities should teach more scientific oriented topics, e.g. analysis of timber structures with Finite Elements.

4.3.3. PhD level

On PhD level, timber design education should only play a role if it is relevant to the topic of the doctoral thesis.

4.4. EXTENT

Furthermore, it must be discussed to which extent courses in timber design should be included. Universities and universities of applied sciences need to teach only as much timber design contents as necessary in civil engineering programs in order to ensure enough time for other engineering contents. In deciding which timber design topics will help their graduates to work professionally, curricula developers must keep in mind in which field and on which level the graduated civil engineers will work potentially.



Of course, teaching detailed timber design knowledge in a civil engineering bachelor program will not be possible. However, the fundamental understanding of the material properties and the design system, relevant technical codes and regulations as well as some basics in timber load-bearing behavior are sufficient for students to use this construction method and for deepening their knowledge by themselves if necessary.

In bachelor programs, teaching timber design contents also can be combined with other topics such as building materials, basics of design, bridge design, fire protection contents and composite structures.

Specialization is a matter mainly in master courses. Normally, German universities and universities of applied sciences offer a wide range of master programs on various fields or with many elective options. Timber design education mainly can be found in building construction or structural engineering specializations. Contents and hours of timber design education depends on the field and specialization of the master program. Examples for possible contents in master courses are

- detailed topics in timber design (including safety concept, modification factors, second order effects, time-dependent behavior)
- timber joints
- specific information about durability and fire resistance
- laminated timber products
- timber-concrete composite
- examples for timber applications in practice.

As result of the above mentioned, the authors recommend 3 contact hours per week in 14 weeks and 4 credit points for compulsory timber design education in bachelor programs. 4 credit points in Germany correspond with 120 students' workload (Kultusministerkonferenz 2010). The extent for elective timber design courses on master level depends on the specialization and structure of the respective master program.

5. CONCLUSION

The conclusion is that compulsory courses in design of timber structures are necessary to ensure civil engineering bachelor graduates' employability and the qualification to work professionally. Depending on the localization of the investigated higher education institutions in Germany, timber design is traditionally more or less important. Except from specialized programs, civil engineering graduates do not have to become timber design experts. It is sufficient to teach them basic knowledge to enable dealing with this topic in depth when needed in their future worklife. On master level, higher education institutions should offer elective courses to deepen the timber design knowledge. By this, interested students are able to prepare ideally for their future tasks on labor market.

REFERENCES

Books:



Fehling, M. (2012). Article 5.3 (Wissenschaftsfreiheit). In: Dolzer, R. (ed.), Bonner Kommentar zum Grundgesetz. C. F. Müller, Heidelberg, Germany.

Conference papers:

Quapp, U. and Holschemacher, K. (2015). Curricula Development in Civil and Structural Engineering Education. Proc., Eight International Structural Engineering and Construction Conference – ISEC-8, ISEC, Sydney.

Acts and statutes:

Basic Law of the Federal Republic of Germany in the version of May 23, 1949. Published in the Federal Law Gazette III, No. 100-1, last amended by the act of March 28, 2019, Federal Law Gazette I, p. 404.

Saxon University Freedom Act (2019) in the version of January 15, 2013, published in the Saxon Law Gazette 2013, p. 3, last amended by the act of April 5, 2019, Saxon Law Gazette, p. 245.

Standing Conference of the Ministers of Education and Cultural Affairs of the Länder in the Federal Republic of Germany (2010). Common structural guidelines of the Länder for the accreditation of Bachelor's and Master's study courses, https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2003/2003_10_10-Accreditation-Bachelors-Masters-study-courses.pdf.

Reports and technical documents:

AS Bau - Alliance for the Accreditation of Courses of studies in Construction (2010). Accreditation and Quality Assurance of Current Courses of Studies in Civil Engineering at German Universities. Germany.

AS Bau - Alliance for the Accreditation of Courses of Studies in Construction (2018). Reference Frame for Courses of Studies in Civil Engineering (Bachelor). Germany.

Bologna Working Group on Qualification Frameworks (2005). A Framework for Qualifications of the European Higher Education Area: 59. Bredgade: Ministry of Science, Technology and Innovation, Denmark.

Federation of German Master Carpenters in the National Association of the German Construction Industry e.V. (2019). Situation Report 2018. https://www.holzbau-deutschland.de/fileadmin/user_upload/eingebundene_Downloads/Holzbau_Deutschland_Lagebericht_2019_web.pdf.

German Federal Statistical Office (2019). Bauen und Wohnen. Baugenehmigungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden nach überwiegend verwendetem Baustoff. https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Bauen/Publikationen/Downloads-Bautaetigkeit/baugenehmigungen-baustoff-pdf-5311107.pdf?__blob=publicationFile.



O ENSINO DO SISTEMA CONSTRUTIVO *WOODFRAME* AUXILIADO POR *SOFTWARE BIM*

WOODFRAME CONSTRUCTIVE SYSTEM TEACHING AUXILIATED BY BIM SOFTWARE

Schulz, Victor ⁽¹⁾ *; Ponzio, Angelica P. ⁽²⁾

⁽¹⁾ Mestrando, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil
⁽²⁾ Professora Doutora, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil
*Contato: victorschulz.arq@gmail.com

Resumo

Este trabalho, parte de uma dissertação de mestrado intitulada Contribuições da Tecnologia BIM para o Ensino de Projeto Arquitetônico de autoria de Victor Schulz, pretende discutir o uso desta tecnologia na prática do ensino do sistema construtivo *woodframe* em uma disciplina de projeto arquitetônico. Até o segundo semestre de 2016 os alunos desenvolviam seus projetos a partir de arquivos digitais independentes: modelo 3D em Sketchup e documentação 2D em CAD. No entanto, percebeu-se que tais práticas resultavam em problemas de compatibilização entre modelo e representações, acarretando em uma maior dificuldade na compreensão da técnica construtiva. Diante de uma certa complexidade característica deste sistema construtivo, se faz necessário a previsão de estratégias didáticas que favoreçam a capacidade de visualização e entendimento do objeto projetado por parte dos acadêmicos. Sendo assim, no primeiro semestre de 2017 começou a ser disponibilizado na disciplina o emprego de *software BIM* (ArchiCAD) associado não somente ao desenvolvimento dos projetos, mas também como meio e processo projetual. Desde então, novas dinâmicas de ensino vêm ocorrendo em sala de aula. Pode-se citar como estratégia central, no intuito de introduzir esta técnica construtiva aos estudantes, um exercício dirigido que envolve a construção virtual de uma unidade em *woodframe* por meio de *software BIM*. O objetivo deste artigo é, portanto, discutir as alterações que o emprego do BIM vem promovendo no ensino de um projeto acadêmico realizado em *woodframe*, destacando os resultados gerados a partir de tais experiências nesta disciplina.

Palavras-chave: Woodframe, Ensino, BIM.

Abstract

This paper, part of an undergoing Master's thesis entitled BIM Technology Contributions for Architectural Design Teaching authored by Victor Schulz, intends to discuss the use of this technology in the practice of teaching of woodframe constructive system in a discipline of architectural design. Until the second semester of 2016, students developed their projects using independent digital files: 3D models in Sketchup and 2D documentation in CAD. However, it was noticed that such practices resulted in problems of compatibilization between model and representations, resulting in greater difficulty in understanding the constructive technique. Considering the certain complexity characteristic of this constructive system, it is necessary to foresee didactic strategies that favor the capacity of visualization and understanding of the designed object on the part of the academics. Thus, in the first semester of 2017, ArchiCAD (BIM) was introduced into the discipline, associated not only with the development of academic projects, but also as a resource and design process. Since then, new teaching dynamics have been taking place in the classrooms. We can cite as a central strategy, as a way to introduce the technique to the students, the development of a directed exercise that involves the virtual construction of an unit in woodframe through BIM software. The purpose of this paper is to discuss the changes that BIM has promoted in the teaching of the woodframe construction technique pointing out the results generated from such experiences in this discipline.

Keywords: Woodframe, Teaching, BIM.



1. INTRODUCCIÓN

Según Stamato (2013), las técnicas de construcción en seco como el woodframe, que ya es popular en lugares como Europa y América del Norte, actualmente están ganando terreno en la industria de la construcción en todo el mundo, tanto por la sostenibilidad ambiental y económica, como por la velocidad de ejecución de la obra. El autor también señala que, en Brasil, aunque estas iniciativas son puntuales, han tenido éxito, como el trabajo realizado por la empresa Tecverde de Curitiba. Después de haber comenzado sus actividades en hogares de lujo, esta compañía ha cambiado gradualmente su enfoque al diseño y producción de viviendas sociales, incluyendo condominios y más recientemente edificios de estructura de madera. En este sentido, Stamato (2013) señala que, en un país como Brasil, a pesar de la gran demanda de viviendas asequibles, el retraso en el uso de la tecnología de la madera en la construcción es una contramedida. Un paso importante hacia este cambio es la reciente iniciativa para desarrollar un estándar específico para la construcción en madera (ABNT NBR 7190).

Paralelamente a esto, se puede mencionar que actualmente muchas empresas en el área de AECO (arquitectura, ingeniería, construcción y operación) han adoptado la tecnología BIM, causando una creciente demanda por profesionales que dominen este concepto (Barison y Santos, 2011). Carvalho y Savignon (2012) señalan que, en todo el mundo, las escuelas de arquitectura han estado implementando gradualmente esta tecnología, así como buscando actualizar sus planes de estudio, asegurando un proceso de enseñanza más coherente con la era digital. Sin embargo, los autores enfatizan que estas experiencias son relativamente nuevas y se basan en pedagogías no consolidadas.

Alentada por estos factores, la disciplina de Proyecto Arquitectónico II (PA-II C) de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Federal de Rio Grande do Sul ha estado implementando la enseñanza de esta técnica de construcción en seco desde el segundo semestre de 2015. En la segunda mitad de 2016, los académicos estaban desarrollando modelos 3D en Sketchup y diseño arquitectónico y detalles 2D en software CAD. Sin embargo, se observó que estas prácticas a menudo resultaban en problemas de compatibilidad entre el modelo y las representaciones bidimensionales, además de obstaculizar la comprensión del sistema. Para combatir estas dificultades, desde el primero semestre de 2017, el sistema BIM se ha ofrecido como una alternativa para el desarrollo de proyectos académicos, aliado a estrategias didácticas que tienen como objetivo facilitar la comprensión de la técnica constructiva y permitir una nueva dinámica de enseñanza y evaluación.

Corroborando estos esfuerzos, en el segundo semestre de 2018, el autor (1) de este trabajo comenzó su maestría en esta institución (UFRGS), cuyo enfoque de su investigación es la implementación de BIM en la enseñanza de proyecto. Desde entonces, ha estado realizando una pasantía docente con la disciplina y evaluando cómo y si la tecnología BIM puede influir en la comprensión de una técnica de construcción en seco, concretamente el marco de madera.

El objetivo de este documento es, por lo tanto, discutir los cambios que el uso de BIM ha estado promoviendo en la enseñanza de un proyecto académico realizado en madera, destacando los resultados generados a partir de tales experiencias en este tema. El objetivo es estudiar estrategias que puedan implementarse en cursos o disciplinas que



aborden la estructura de madera, fomentando y mejorando el proceso de enseñanza y aprendizaje de esta tecnología.

2. METODOLOGÍA

Siendo Proyecto Arquitectónico II (PA-II C) el lugar de apoyo para esta propuesta pedagógica, que está vinculada a la investigación de un maestro, es necesaria una breve caracterización de la disciplina, así como la disertación.

PA-II C es parte del cuarto período del curso de Arquitectura y Urbanismo en la Universidad Federal de Rio Grande do Sul, y se imparte tres veces por semana, con un total de 150 horas semestrales. Tiene un número máximo de 15 estudiantes para un maestro y un monitor de pregrado, lo que también permite la presencia de un maestro interno de maestría, actualmente representado por el autor (1) de este trabajo. El tema del proyecto desarrollado específicamente en este curso es el diseño de un hotel design, donde cada estudiante desarrolla una unidad de alojamiento con un área de aproximadamente 60 m² utilizando la técnica de construcción con estructura de madera. El uso de técnicas de construcción en seco, especialmente estructuras de madera, se ha empleado en PA-II C desde la segunda mitad de 2015 en vista de sus aspectos de sostenibilidad económica y ambiental, y agilidad en el proceso de construcción. Cuando se trata del proceso del proyecto abordado para el desarrollo del proyecto académico a lo largo del semestre, se desarrolla en cuatro temas correspondientes a diferentes escalas de trabajo, a saber; 1. Conceptual, 2. Ambiental, 3. Programático y 4. Material (Ponzio y Machado, 2015). Centrándose en las herramientas utilizadas por los estudiantes para llevar a cabo el proyecto, específicamente en el paso 4. Material, que incluye el desarrollo del modelo 3D y los documentos que integran el diseño arquitectónico, hasta el primer semestre de 2016, los académicos utilizaron Sketchup para modelar el volumetría y AutoCAD para los planos y detalles. Sin embargo, se observó que tales prácticas generaban problemas de compatibilidad entre el modelo y las representaciones bidimensionales, así como una mayor dificultad en el proceso de visualización y comprensión del sistema constructivo. Con el objetivo de resolver los problemas presentados de representación, compatibilidad y comprensión de la técnica constructiva, desde el primer semestre de 2017, el sistema BIM, a través del software ArchiCAD, se ha probado como una estrategia pedagógica alternativa para la comprensión estructural y su representación, no solo asociada con el desarrollo de proyectos académicos, pero también como un medio y proceso de diseño. En dos momentos aislados dentro de este período, se aplicaron ejercicios paso a paso para construir una unidad de estructura de madera usando ArchiCAD (BIM). Este modelo sirvió como referencia para el desarrollo del proyecto. Además de esta versión, un modelo de referencia en AutoCAD y otro en Sketchup ahora están disponibles, lo que permite a los estudiantes desarrollar sus proyectos en el software de su elección. El material didáctico proporcionado incluye un polígrafo informativo (PL1) sobre la técnica de construcción, con el objetivo de apoyar todo el paso de dimensionamiento de las partes que componen la estructura, y otra información técnica relevante del sistema.



En cuanto a la investigación de maestría asociada con esta disciplina, se caracteriza como cualitativa en relación a los resultados (Prodanov y Freitas, 2013), y exploratoria como tema (Michel, 2009). Los procedimientos metodológicos propuestos comparten la estrategia didáctica de PA-II C, que incluye el ejercicio dirigido, un polígrafo sobre la técnica (PL1) y observaciones en los paneles de evaluación final. Además, la investigación del Máster incluye en su metodología la revisión del modelo de referencia, así como la elaboración de un polígrafo de ensamblaje de modelo de estructura de madera utilizando el software BIM (PL2), así como cuestionarios estructurados para evaluar las estrategias propuestas. En el primer semestre de 2019, el ejercicio se aplicó por primera vez, comenzando la recopilación de datos y el análisis de los resultados de la investigación.

A continuación se incluye una descripción de los procedimientos metodológicos, a saber, el ejercicio dirigido, los polígrafos 1 y 2 (PL1 y PL2), las observaciones realizadas durante los cuadros de indicadores y los cuestionarios estructurados. A continuación se explicarán los resultados obtenidos en la investigación hasta el momento.

2.1. Ejercicio dirigido

Algunos autores, como Delatorre (2014), enfatizan que en la enseñanza de proyectos, BIM debe implementarse gradualmente, a partir de proyectos más pequeños, aumentando el nivel de complejidad y detalle mientras el académico adquiere mayor conocimiento y madurez. Por lo tanto, para facilitar la implementación del sistema BIM como estrategia para enseñar la técnica constructiva de estructura de madera, se desarrolló un modelo de referencia de baja complejidad formal. El objetivo era abdicar aspectos plásticos formales complejos para priorizar la comprensión y ejecución de la estructura.

Sin embargo, antes de entrar en la explicación del ejercicio dirigido, debe ubicarse dentro del contexto del semestre, ya que el momento de la aplicación está vinculado a otras estrategias de diseño. Lo mismo ocurre generalmente después del lanzamiento de la fiesta arquitectónica resultante de las etapas 1. Conceptual, 2. Ambiental y 3. Programática (cuando el tema del diseño del hotel design se presenta a los académicos, después de la visita al sitio y su análisis ambiental y programático de los mismos).

El ejercicio basado en la premisa planteada por Ponzio y Machado (2015), que enseña a diseñar es ejercer el proceso que lidera la producción documental arquitectónica, es decir, implica la proposición de un método de trabajo teórico-práctico basado en la idea de aprender haciendo. Como introducción al ejercicio, se lleva a cabo una clase teórica sobre conceptos fundamentales del sistema de construcción con estructura de madera basada en el polígrafo 1 (PL1) y referencias de Ching (2010) y Thallon (2009).

Inicialmente, se planeó aplicar el ejercicio dirigido en un solo paso donde se realizaría toda la secuencia de ensamblaje del modelo completo, después de lo cual los académicos lo reproducirían en los proyectos individuales. Sin embargo, resultó ser más productivo dividirlo en tres etapas, intercalando la ejecución del ejercicio dirigido con la construcción del proyecto de cada estudiante. La secuencia se produjo de la siguiente



manera: **Paso 1. Estructura:** comprende cementos (bloques de cementos y pilotes); Estructura de planta baja (vigas, barras y OSB); Paredes de la planta baja (guías y montantes), estructura de la planta superior (vigas, barras y OSB); Paredes del piso superior (guías y montantes) y estructura del techo (martes, vigas, vigas cuando sea necesario); **Paso 2. Cierres;** y finalmente, **Paso 3. Aperturas.**

Por lo tanto, se aplica el paso 1 del ejercicio y se realiza un descanso para que los académicos apliquen el conocimiento adquirido sobre la estructura en sus propios proyectos. Lo mismo se repite después de los pasos 2. Cierre y 3. Aperturas. También es importante destacar que después de la aplicación del paso 1, y su transposición a los proyectos individuales, la didáctica cuenta con la visita de un ingeniero especialista en madera, para garantizar el correcto dimensionamiento y lanzamiento de la estructura de los proyectos académicos.

Dicha estrategia demostró ser de gran importancia para acercar el estudiante al sitio de construcción, ya que el modelo virtual necesita ser construido literalmente, siguiendo la misma lógica del trabajo in loco, corroborando aún más la comprensión de la secuencia de ensamblaje. Durante el ejercicio dirigido, los estudiantes contaron con la ayuda del polígrafo 2 (PL2) y, al armar su proyecto individual, utilizaron la ayuda del polígrafo 1 (PL1).



Figura 1: Modelo de referencia utilizado en la aplicación del ejercicio dirigido en diferentes pasos de ensamblaje.

Es de destacar que el objetivo propuesto por el ejercicio dirigido no es simplemente enseñar comandos operativos en el software BIM, sino probar y evaluar, además de las capacidades paramétricas, de visualización y documentación del software, la inducción de la noción constructiva fundamental para la comprensión y la materialización de una técnica constructiva, a saber, estructura de madera, a través de la construcción virtual de una unidad.



Figura 2: Modelo de referencia utilizado en la aplicación del ejercicio dirigido.



2.2. Polígrafos informativos 1 y 2 (PL1 y PL2)

El polígrafo informativo 1 (PL1) fue desarrollado por el autor (2) de este trabajo, también profesor de la disciplina PA-II C, con la ayuda de un monitor de proyecto, y estuvo disponible para los académicos en el primer semestre de 2017, con el objetivo de proporcionar un repertorio teórico de una manera más didáctica y accesible, facilitando la comprensión de la técnica constructiva. El polígrafo está estructurado de acuerdo con la secuencia de ensamblaje del sistema, proporcionando tablas de pre-dimensionamiento estructural y cálculos de acuerdo con las referencias bibliográficas de Ching (2010) y Thallon (2009).

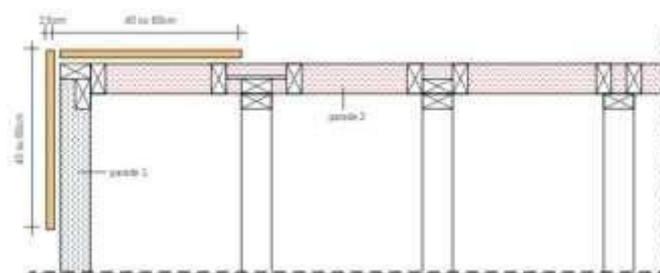


Figura 3: Ejemplo de imagen ilustrativa presente en el polígrafo 1 (PL1).

Hasta la fecha, el polígrafo 1 (PL1) ha sido revisado y enfocado en el desarrollo de proyectos de disciplina, ya sea en BIM / Archicad, AutoCAD y / o Sketchup. Basado en la secuencia didáctica del polígrafo 1 (PL1), desde el primer semestre de 2019, el polígrafo 2 (PL2) estuvo disponible. Esto, a su vez, está destinado a servir como una guía paso a paso en el ejercicio dirigido que facilita la comprensión de la técnica.

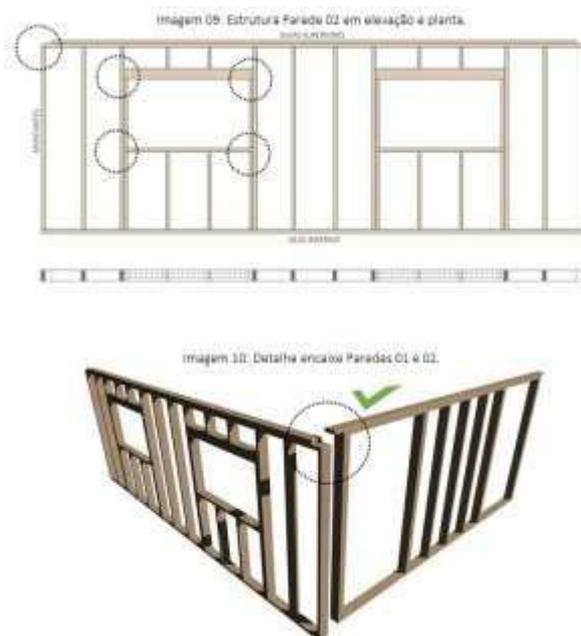


Figura 4: Ejemplo de imagen ilustrativa presente en el polígrafo 2 (PL2).



2.3 Cuestionario de evaluación y observaciones durante el panel final

Hasta la fecha, se ha aplicado un cuestionario de evaluación a los estudiantes que asistieron a PA-II C durante el primer semestre de 2019. Este cuestionario tuvo como objetivo identificar la contribución del ejercicio dirigido al uso de BIM como estrategia para aprender la técnica constructiva, y como participante en el proceso de diseño. Corroborando esto, también se hicieron observaciones durante el panel de evaluación final del semestre, con el fin de recopilar datos cualitativos sobre las estrategias. Aunque estas acciones son parte de los procedimientos metodológicos de la investigación del autor (1) del maestro de este trabajo, sus resultados también son de interés para PA-II C, ya que ayudan a mejorar la didáctica aplicada en la enseñanza de estructuras de madera.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se utilizaron dos procedimientos para la recopilación de datos y el análisis posterior de los resultados de las estrategias didácticas propuestas, que fueron el cuestionario de evaluación y las observaciones durante el panel final.

Dentro del cuestionario hay tres preguntas de interés para este trabajo:

1. El modelado tridimensional del edificio en BIM permitió una mayor asociación con el edificio real y la comprensión de sus componentes?
2. Ahora, conociendo el menú del curso y la tipología de diseño que trabajó en él (diseño del hotel design, considerando la técnica constructiva), usted cree que el uso del software BIM facilitó la comprensión y visualización del sistema de construcción con estructura de madera?
3. En su opinión, el ejercicio impulsado por software BIM ha facilitado su aprendizaje del sistema estructural de estructura de madera?

Teniendo en cuenta que en el semestre en el que se aplicaron estas estrategias (2019/1), 14 de 15 estudiantes que tomaron el curso participaron en los cuestionarios, el 100% de ellos respondieron afirmativamente a las tres preguntas anteriores, lo que demuestra que hasta ahora, el ejercicio dirigido, así como el uso del software BIM para el desarrollo de proyectos académicos contribuyó a la comprensión y visualización de la técnica de construcción con estructura de madera, permitiendo una mejor asociación con la construcción real y la comprensión de sus componentes.



Figura 5: Ejemplo de un gráfico generado a partir de las respuestas del cuestionario aplicado.



A su vez, las observaciones realizadas en el panel de evaluación final permitieron una recopilación de datos cualitativos sobre la influencia del ejercicio dirigido en el desarrollo de proyectos académicos.

Se observó en 2019/1 que, aunque el proyecto propuesto tiene una baja complejidad programática y un área pequeña, algunos académicos no se limitaron a investigar soluciones para resolver problemas relacionados con la ejecución de fiestas arquitectónicas que tenían algunas limitaciones cuando se trata de estructuras de madera, incluyendo paredes inclinadas, columpios, cubierta vegetal, etc. Tales restricciones no limitaron a los estudiantes a explorar los detalles del proyecto, como se puede ver en las siguientes imágenes.



Figura 6: Secuencia de montaje del proyecto académico Pedro Cohen Pereira



Figura 7: Proyecto académico Perspectivas Pedro Cohen Pereira



Figura 8: Junta técnica del proyecto académico Pedro Cohen Pereira



Al tratar con el nivel de detalle alcanzado en los proyectos en el primer semestre de la experiencia de 2019, se notó que al usar BIM, que interactúa entre el modelo 3D y las representaciones, algunos académicos ya no representan detalles técnicos solo en forma bidimensional, y comencé a modelarlos, agregando calidad al proyecto. Por lo tanto, la información que anteriormente era inmaterial (líneas), ganó corporeidad (objeto), haciendo que el estudiante tenga un mayor dominio de lo que está construyendo.

Además, se dio cuenta de que usar BIM como un proceso de diseño y medio permite la entrega de productos finales diferenciados, como la realidad virtual (RV), que permite la inmersión en el proyecto, lo que permite una nueva forma de visualización.

Finalmente, se ha utilizado la aplicación BimX, que interactúa con el modelo 3D, todas las representaciones bidimensionales, incluidos los paneles técnicos, que hacen con que el proyecto sea digital. Dicha interfaz facilita la comprensión de ciertos detalles constructivos, ya que uno puede visualizarlos navegando entre diferentes formas de representación.

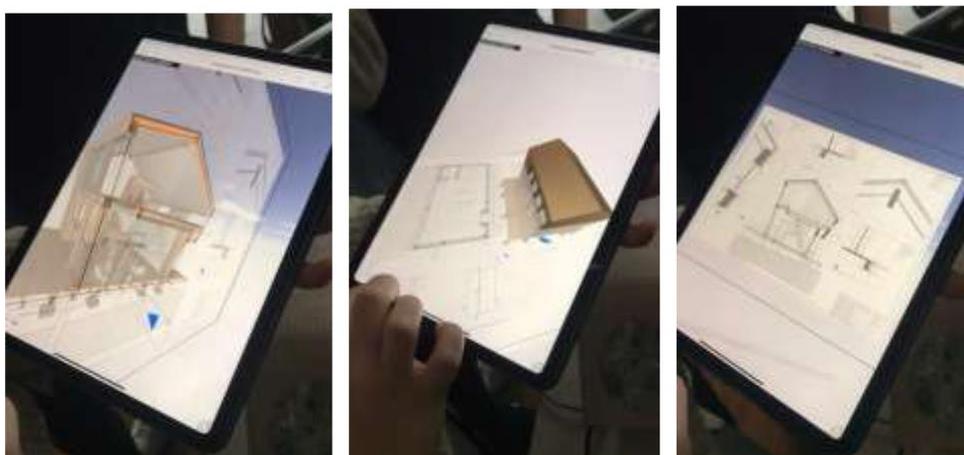


Figura 9: Proyecto académico de Luiza Dala Rosa en la versión BimX

4. CONCLUSIONES

El autor (1) de este trabajo realizó previamente una pasantía docente en la disciplina PA-II C en el segundo semestre de 2018, que se renueva durante 2019. Además de facilitar la planificación, el desarrollo y la aplicación de actividades de investigación, esta experiencia le permite al autor abordar los problemas que involucran el proceso de enseñanza y aprendizaje de este sistema de construcción en seco, solo identificado en la rutina del estudio.

Se puede ver desde el principio que al enfocarse en los beneficios relacionados con la comprensión de la técnica, la inserción de la tecnología BIM en el estudio / laboratorio ha influido en una nueva dinámica de asesoramiento basada en modelos virtuales y ya no en representaciones bidimensionales. Dicha práctica permite la identificación de errores con mayor precisión a través de potenciales BIM como la detección de



conflictos, porque las orientaciones y correcciones ya no se basan solo en representaciones, sino en modelos.

Al final del semestre, el uso del software BIM también permite la entrega de productos finales alternativos como un medio de evaluación, como el modelo virtual ArchiCAD, el modelo BimX y el uso de técnicas de realidad virtual y realidad aumentada. Además de permitir y facilitar la impresión de prototipos físicos, no solo tableros técnicos, una práctica común entre las facultades de arquitectura.

El principal hallazgo hasta ahora, de interés para este trabajo, es que el ejercicio dirigido propuesto como estrategia pedagógica, así como el uso del software BIM (ArchiCAD) para el desarrollo del proyecto, contribuye a la comprensión de la técnica constructiva de estructura de madera y permite una mejor asociación con el edificio real y la comprensión de sus componentes.

Finalmente, considerando que el desarrollo de esta investigación continúa, lo que se puede verificar es que, además de las grandes contribuciones de las investigaciones teóricas que se están desarrollando en el área, las experiencias prácticas y la presencia y observaciones in loco son fundamentales para la construcción de guías que fomentan y contribuyen al proceso de enseñanza-aprendizaje de tecnologías y procesos constructivos en arquitectura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARISON, M. B.; SANTOS, E. T. Ensino de BIM: tendências atuais no cenário Internacional. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, São Carlos, v. 6, n. 2, p. 67-80, dez. 2011.

Disponível em: < http://www.uel.br/pessoal/barison/Artigos_Tese/TIC2011b.pdf >. Acesso em: Jan de 2019

CARVALHO, R. S. de; SAVIGNON, A. P. de. O professor de projeto de arquitetura na era digital: desafios e perspectivas. *Gestão & Tecnologia de Projetos: Revista científica do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP*, São Carlos, v. 6, n. 2, fev. 2012. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/51007/5507>. Acesso em: Jan de 2019

CHING, F. D. K. *Técnicas de Construção Ilustradas*. 4. ed. Porto Alegre – RS: Bookman, 2010. 480p.

DELATORRE, Vivian. *Potencialidades e Limites do BIM no ensino de arquitetura: uma proposta de implementação*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

PONZIO, A. P.; MACHADO, A. S. O uso de métodos criativos visando a inovação no ensino de projeto arquitetônico. *InSitu–Revista Científica do Programa de Mestrado Profissional em Projeto, Produção e Gestão do Espaço Urbano*, v. 1, n. 2, p. 109–130, 2015.

THALLON, R. *Graphic Guide to Frame Construction*. 3. ed. Newtown: Taunton Press, 2009. 256p.

STAMATO, G. C. *Moderno é Construir com Madeira*. *Gazeta do Povo*. (Curitiba) Curitiba – PR. 30 Mar. 2013.



REFUGIO EN MADERA CONSTRUIDO POR ESTUDIANTES Y DOCENTES DE FADU Y VECINOS DEL PARQUE PUNTA YEGUAS

WOODEN SHELTER BUILT BY FADU STUDENTS AND TEACHERS AND NEIGHBORS OF PUNTA YEGUAS PARK

Pierre Nogara^{1*}, Cirstian Palma², Ariel Ruchansky³

¹ Msc. Arq. Fac.de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Instituto de la Construcción, UdelaR , Montevideo, Uruguay

² Arq. Facultad de Arquitectura, Música y Diseño, Universidad de Talca. Talca, Chile

³ Msc. Arq. Fac.de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Instituto de la Construcción, UdelaR , Montevideo, Uruguay

* Contacto: piernoga@gmail.com

Resumen

En el año 2018, el Espacio de Gestión del Parque Público Punta Yeguas (PPPY) solicitó a la Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo el asesoramiento para el proyecto de un salón multipropósito SUM en el parque. La propuesta fue recepcionada por el Instituto de Construcción IC de la Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo desde la Unidad Curricular de Construcción 3 (C3) quien realizó un ejercicio curricular en el segundo semestre del año con la selección de 13 proyectos sobre la premisa de construcciones sustentables, donde la mayoría de los proyectos propusieron estructuras de madera que fueron de insumos para avanzar en las ideas del proyecto definitivo. Como insumo metodológico la Unidad Curricular de Construcción 3 realizó un curso de verano de Febrero a Mayo de este año con la participación de estudiantes de Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo y vecinos del parque en la modalidad de curso teórico-práctico realizado en aulas de la Facultad e instalaciones del parque PPPY. El curso tuvo entre sus consignas la construcción de un prototipo, el cual debería cumplir un doble rol, por una parte permitir experimentar la materialidad de las tecnologías que se encontraron como apropiadas para la solución del SUM y por otro configurar en sí mismo un equipamiento - refugio-mirador- a ser incorporado como equipamiento al parque. El mismo fue construido mediante marcos de pilar y viga en madera de pino elliotti, con cimentación de hormigón y techo verde con la incorporación de flora autóctona, conformando un cerramiento vertical de respaldo entre pilares con cuatro paneles experimentales de tecnologías de baja transformación (entramado ligero de pino, SIP en placas de OSB, adobes y fajina).

Palabras-clave: Refugio en Madera, estudiantes y docentes FADU, Parque Punta Yeguas

Abstract

In 2018, the Management Area of Punta Yeguas Public Park (PPPY) asked Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo FADU to advice for the project of a multipurpose SUM lounge in the park. The proposal was received by the FADU Instituto de Construcción IC from the Construction Curriculum Unit 3 (C3) who carried out a curricular exercise in the second semester of the year with the selection of 13 projects on the premise of sustainable constructions. Most of the projects proposed wooden structures that were inputs to advance the ideas of the final project. As a methodological input C3 conducted a summer course from February to May of this year with the participation of FADU students and residents of the park in the modality of theoretical-practical course held in FADU classrooms and PPPY facilities. The course had among its precepts the construction of a prototype, which should fulfill a double role, to experience the materiality of the technologies that were found appropriate for the SUM and on the other to configure an equipment - refuge-oriel - to be incorporated as equipment to the park. It was built using column and beam frames in elliotti pine wood, with concrete foundations and a green roof with the incorporation of native flora, conforming a vertical closing of support between columns with four experimental panels of low transformation technologies (wood frame of pine, SIP of OSB, adobes and fajina)

Keywords: Wooden shelter, students and teachers FADU, Punta Yeguas Park



1. INTRODUCCIÓN

Respondiendo a la iniciativa del Espacio de Gestión del Parque Público Punta Yeguas (EGPPPY) para recibir asesoramiento sobre un proyecto de salón multipropósito SUM, el Instituto de la Construcción IC de la Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo FADU desde la Unidad Curricular de Construcción 3 (C3) realizó un ejercicio curricular en el segundo semestre del año 2018 con la selección de 13 proyectos sobre la premisa de construcciones sustentables, en su mayoría con proyectos de estructuras de madera que fueron precedentes para avanzar en las ideas de un proyecto definitivo que contemplara el programa de salón de usos múltiples SUM para el Parque PPPY.

El PPPY, ocupa 113hás. en el área costera y rural oeste del departamento de Montevideo (Uruguay). Es Parque desde el año 2006 y a iniciativa de la gestión desarrollada por los vecinos de la zona entre el 2002 y el 2006, se propició la compra de padrones por parte de la IM, para declararlos Parque Público y área de recuperación ambiental de interés patrimonial, a ser gestionado democráticamente por el colectivo de vecinos en conjunto con la Intendencia de Montevideo IM. El decreto municipal n.º 732/10, de 2010, define: “al Parque Público Punta Yeguas como una unidad ambiental y de gestión, cuyos objetivos son: a) la preservación del patrimonio ambiental a través de la recuperación ecológica y de la biodiversidad; b) la preservación y desarrollo del patrimonio histórico y cultural a través de líneas de acción con fines educativos, recreativos, turísticos, productivos y de investigación científica.”

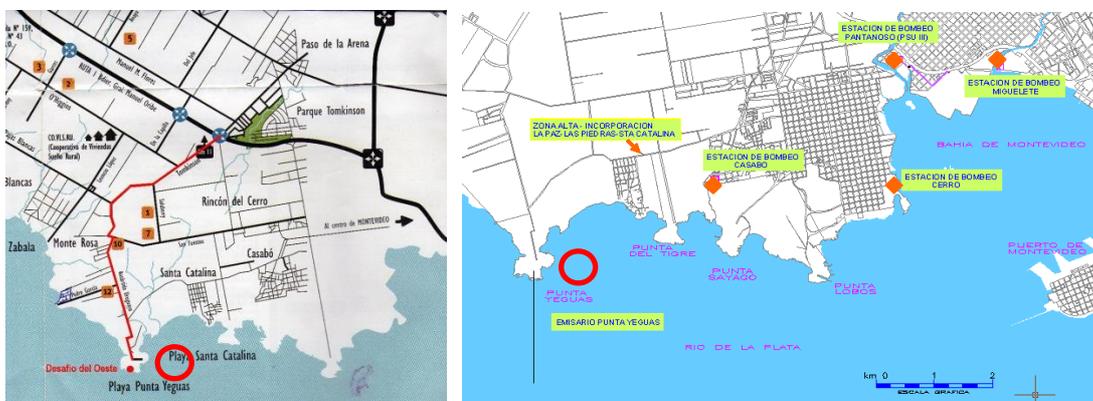


Figura 1 y Figura 2: Ubicación del Parque Punta Yeguas en el contexto de Montevideo

Desde este contexto, mediante un acuerdo de la FADU con la Intendencia de Montevideo (IM) se desarrolló un curso de verano basado en el intercambio de saberes entre estudiantes, docentes de FADU y vecinos del Parque PPPY. El mismo, con características de curso-taller que se dictó desde Febrero a Mayo de este año en la modalidad teórico-práctica fue realizado en aulas de FADU y en el propio parque PPPY.

Entre los objetivos del curso se planteó el desarrollo y la construcción de un prototipo en base a las tecnologías de baja transformación en madera y tierra a partir de una estructura de madera de marcos de pilar y viga de pino elliotti, paneles de entramado ligero de pino, paneles SIP en placas de OSB, paneles de adobes, paneles de fajina y



techo verde, incorporándose al Parque la producción del prototipo como un equipamiento de “refugio-mirador”.



Figuras 3 y 4: Clases en el Curso de verano en el edificio de FADU

2. METODOLOGIA PARA LA REALIZACIÓN DEL PROTOTIPO

A partir del acuerdo FADU-IM se realizó una primera etapa de trabajo gestionada en dos cursos curriculares de grado para el segundo semestre de 2018, que abordaron distintas escalas: “Arquitectura de Temática Específica” (ATE.TVZ) y Construcción3 (C3), el último, con foco en indicadores de sostenibilidad: energía incorporada, huella ecológica, ciclo de vida, diseño bioclimático y gestión de agua. (C.I.B.1999, I.S.O.2006, I.S.O.2014). Posteriormente como ya se mencionara, se realizó el curso-taller de verano de Febrero a Mayo de 2019, en continuidad al curso C3 realizado en el segundo semestre de 2018 que tenía como objetivo elaborar proyectos básicos de arquitectura ajustados del salón SUM para el Parque PPPY con resolución de detalles constructivos, en base a tecnologías que incluyeran materiales naturales de baja transformación.

Las 13 propuestas resultantes fueron puestas a consulta y observación por parte del EGPPPY y los vecinos del Parque en dos instancias durante el curso del segundo semestre de 2018. A partir de las observaciones, se preseleccionaron tecnologías a ensayar en escala real, que fueran posibles de materializar en la construcción del salón SUM. Como consecuencia de esto se diseñó un prototipo acordado con el EGPPPY y la IM, que pudiera incorporarse como equipamiento del Parque y ser utilizado como “mirador y punto de acceso”. A partir de esta consigna se definió en conjunto con los actores la ubicación del mismo, para ser construido como uno de los objetivos específicos del curso-taller de verano.

La metodología general del curso-taller comprendió clases teóricas y taller práctico en el Parque. El equipo docente se integró por áreas complementarias del Instituto de Construcción (IC), y se incluyeron conversaciones con emprendedores del medio local: techos vivos y reciclaje de residuos de construcción y demolición.

En las clases se trabajaron temáticas como “Producción colectiva de proyecto”, “Sustentabilidad en arquitectura”, “Construcción con madera y con tierra”, “Sistemas ecológicos de saneamiento”.



Figura 4: Modelización del prototipo Refugio-mirador, vista frontal



Figura 5: Modelización del prototipo Refugio-mirador

3. PRODUCCION DEL PROTOTIPO “REFUGIO-MIRADOR”.

3.1. Etapa proyectual

El proyecto del prototipo se conformó en base a marcos estructurales de madera de pino elliotti en secciones de 2”x 4”, 2”x 6” y 2”x 8” con tratamiento de preservación en profundidad con sales minerales de CCA por el método de vacío-presión, la fundación prevista de hormigón, en el techo verde se planteó con un cajón de placas contrachapadas fenólicas de 15 mm. de espeso, dentro del cual se resolvió el techo vivo, utilizando el sistema de drenaje de Verde fácil (patente uruguaya) y la incorporación de flora autóctona del parque, y cuatro paneles verticales de respaldo: panel multicapa de madera de pino elliotti de entramado ligero 2” x 4”, de panel estructural aislante SIP compuesto por alma de EPS de 80 mm. de espesor y rigidizadores de placas de OSB de 11 mm, panel de fajina y panel de adobe de espesores de 120 mm. cada uno. Las terminaciones de los paneles se realizaron para el caso del panel multicapa de madera de entramado ligero en base a revestimiento en tablas machimbradas de madera de pino elliotti de 1” de espesor en interior y exterior, aplicándole a este último un proceso de pirogenación a las tablas a pie de obra, para el otro panel multicapa de madera en base a panel SIP interiormente se recubrió con revestimiento de tablas machimbradas de pino elliotti de 1” y al exterior se utilizó chapa metálica ondulada reciclada. Para el caso del



panel de fajina se le aplicó una terminación con revoques en tierra y para el panel de adobe rellenando todas juntas con revoques en tierra. Corresponde mencionar que las alternativas propuestas para los cuatro casos de paneles responde a los objetivos experimentales que se persiguieron en el curso en suerte de “monitoreo” para la toma de decisiones futuras en el proyecto del salón SUM.

Se confeccionaron las piezas gráficas y se realizó el listado de materiales que luego fue suministrado por proveedores de la IM (materiales compositivos del prototipo, herramientas de mano y de mesa para la construcción del refugio-mirador.

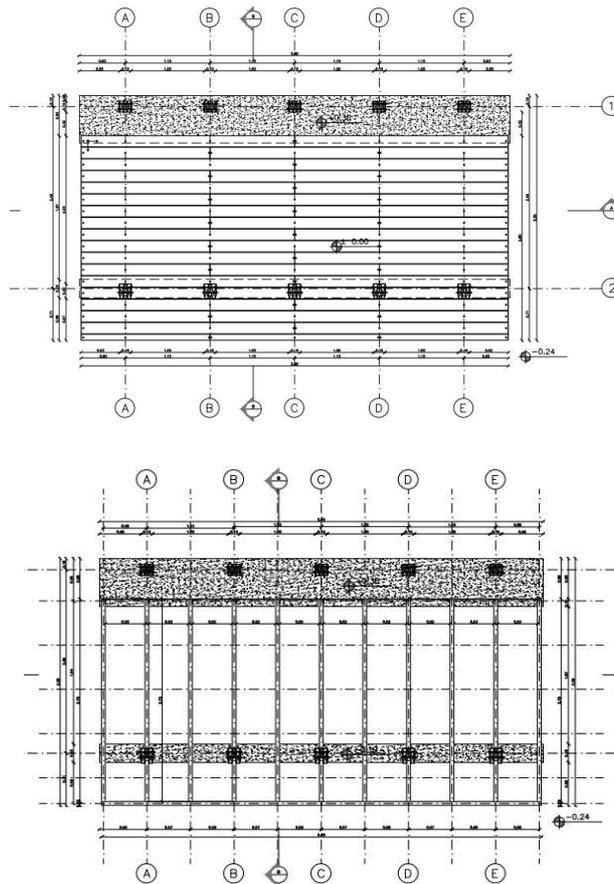
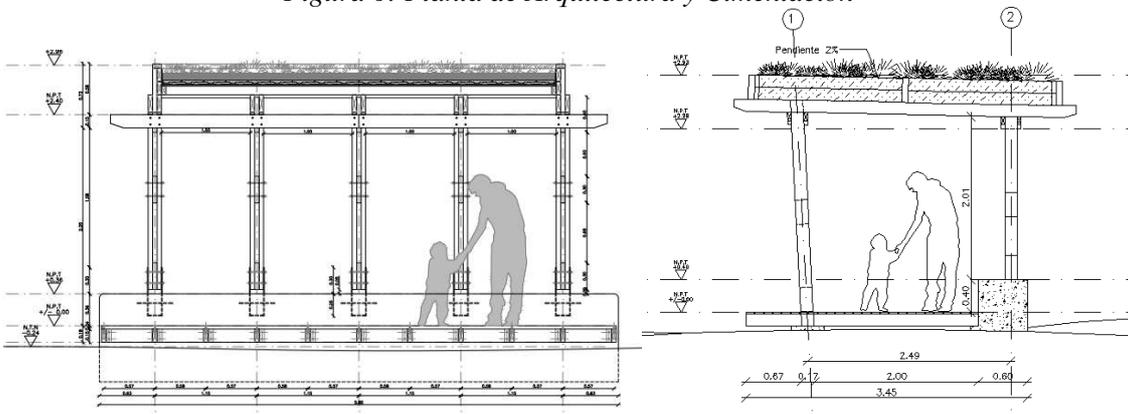


Figura 6: Planta de Arquitectura y Cimentación





CLEM

2019 | 18 al 20 de noviembre
Hotel Cottage
Montevideo - Uruguay



4º CONGRESO
LATINOAMERICANO
DE ESTRUCTURAS
DE MADERAS

Figura 7: Vista frontal y lateral del prototipo

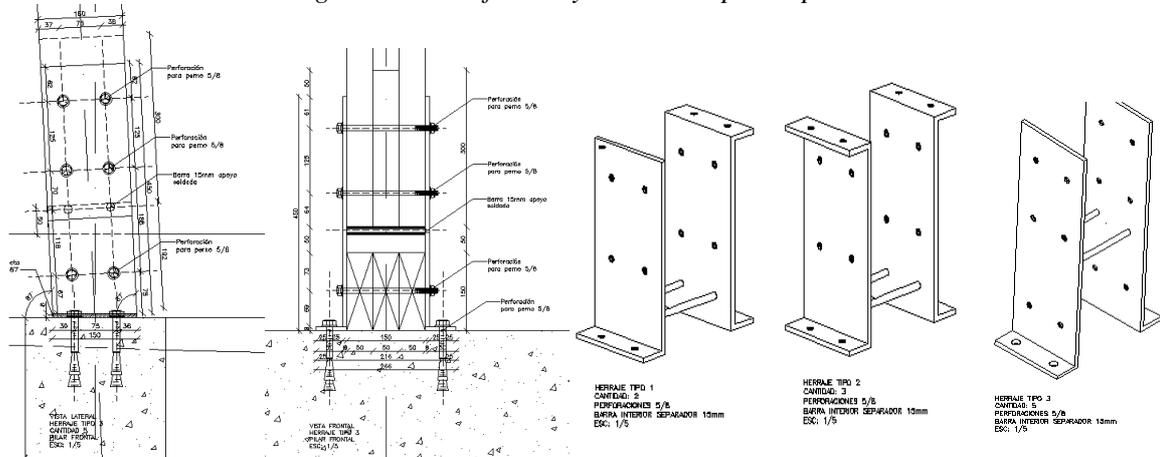


Figura 8: Detalle de platinas en anclajes de pilares

DETALLE DE PIEZAS MADERA_PROTOTIPO				
Partida de Obra	Detalle de Pieza Madera	Escuadría	Largo (m)	Cantidad
Vigas y pilares marcos	Viga Superior Marco	2" x 8"	4,5	11
	Pilares Frontales	2" x 6"	3,3	14
	Pilares Traseros	2" x 6"	2,4	12
Arriostramientos	Viga Arriostramiento Marco	2" x 6"	3,3	10
Estructura Cubierta	Soportes Techo Verde	2" x 4"	3,3	2
	Viga Marco Techo Frontales	2" x 6"	2,4	9
	Viga Marco Techo Laterales	2" x 6"	4,5	4
	Coronación Techo Verde	2" x 4"	3,3	8
	Vigas Secundarias Techo	2" x 4"	4,5	10
Vigas Piso	Viga Piso	2" x 6"	3,3	14
Deck Madera	Deck Tablas Pref.	1 1/2" x 6"	4,2	20m2
Terminación Cubierta	Contrachapado 18mm Plywood	1,22x		
		2,44		8

Detalle de Pieza Madera	Escuadría	Largo	Cantidad
Vigas superiores	2" x 8"	4,5	11
Pilares	2" x 6"	4,5	4
Pilares	2" x 6"	3,3	38
Pilares	2" x 6"	2,4	21
Vigas secundarias	2" x 4"	4,5	10
Vigas secundarias	2" x 4"	3,3	8

*TOTAL DE PIEZAS EN PINO NACIONAL CEPILLADO Y TRATADO CON SALES MINERALES EN PROFUNDIDAD: CCA o CCB

Figura 9: Listado de las piezas de madera

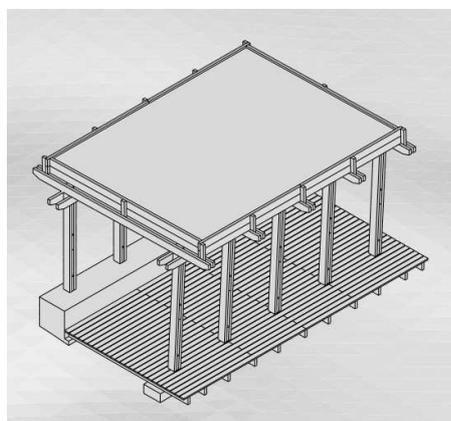
3.2. Ejecución del prototipo



En los talleres realizados en el Parque PPPY se adquirieron prácticas de construcción mediante el trabajo en equipos rotativos en las diversas tareas, integrados cada uno de ellos, por docentes referentes, estudiantes y vecinos para la realización del prototipo. Durante la ejecución de las tareas de obra se intercambiaron, colectivizaron y practicaron diferentes formas de “aprender haciendo”; se priorizó la mirada crítica, el ensayo de diferentes iniciativas, observación de resultados e intercambio de saberes. (Castellanos y Figuerola, 2018).



Figuras 10, 11, 12: Etapa de producción del prototipo “refugio-mirador” en el Parque PPPY



- ETAPA 01_Excavaciones
- ETAPA 02_Fundaciones
- ETAPA 03_Montaje marcos
- ETAPA 04_Arriostramientos
- ETAPA 05_Marco Cubierta Verde
- ETAPA 06_Base 01 C. Verde
- ETAPA 07_Base 02 C. Verde
- ETAPA 08_Relleno Cubierta
- ETAPA 09_Estructura Deck
- ETAPA 10_Instalación Deck

Figura 13: Etapas de producción del prototipo “Refugio-mirador”

5. ANALISIS DE RESULTADOS

La construcción del prototipo en las instancias prácticas de taller, permitió la experimentación con tecnologías de baja transformación en madera y tierra analizadas en el curso y vistas como apropiadas para la solución del proyecto a futuro de Salón SUM, objetivo primario del EGPPPY que motivó su acercamiento a la FADU.

En el proceso constructivo del prototipo se logró desarrollar una experiencia formativa de extensión curricular, inclusiva, destinada a vecinos del Parque y estudiantes de arquitectura, acercando herramientas teóricas y prácticas a ser aplicadas en el futuro proyecto del salón SUM. A su vez a través del taller de obra y la adquisición de práctica



en relación a tecnologías de baja transformación como la construcción con madera y tierra, permitió para el caso propuesto, producir el mirador-refugio que ya es utilizado como equipamiento del parque PPPY.



Figuras 14, 15 y 16: Proceso de producción del prototipo

6. CONCLUSIONES

El curso-taller condensó logros como experiencia educativa que desplegó múltiples formas de inclusión en el territorio, de compleja combinación en un mismo proyecto educativo. La creciente demanda por parte de los estudiantes de experiencias educativas en obra que signifiquen un aporte al contexto; y el entusiasmo de los vecinos por concretar otro hito en el camino de la gestión asociada de espacios públicos para beneficiar a la comunidad, dieron lugar a motivación y compromiso constante con los objetivos pautados. Los indicadores principales considerados superaron las expectativas en cuanto al logro de los objetivos: como experiencia educativa y en cuanto a la calidad de los productos entregados, tanto en relación al prototipo construido como a los proyectos; ambos tipos de productos se destacaron en el cuidado puesto en el detalle y su resolución, denotados en la prolijidad de la ejecución y en la incorporación de los aprendizajes adquiridos en obra y en el proyecto.

Otro indicador considerado fue el nivel de asistencia constante en el proceso, uno de los riesgos asumidos, dada a la alta exigencia de la experiencia.

Se observa y concluye que existieron aportes significativos de la participación en obra y de la elaboración de un prototipo a escala real, al aprendizaje en la resolución proyectual, que redundan en un crecimiento del proyecto y el logro en la calidad y profundidad de resolución.

Se observó el enriquecimiento de propuestas y de resolución de problemas, a través de la integración de estudiantes y vecinos en el curso, con aportes complementarios, lo que colaboró con la integración de personas y saberes en la concreción de los objetivos en el trabajo en equipo.

La demanda por parte de los vecinos y de los estudiantes de futuras instancias similares, es otro indicador satisfactor desde el punto de vista educativo y de experiencia de desarrollo colectivo.. La propuesta de estructura de madera de pilar y viga trabajando como un marco rígido resultó ser una solución efectiva para el montaje y construcción del prototipo. El desarrollo de la técnica de conectar una columna y una viga



rígidamente permitió un proceso de ensamblado controlado y esperable a través de la construcción de los marcos que facilitaron el proceso de armado.

Se observaron y analizaron los procesos y el comportamiento de los materiales con la tecnología utilizada en el sitio, de cara a medir su desempeño, así como el grado de aceptación por parte de los usuarios, para verificar su viabilidad en la futura construcción del salón SUM.

El prototipo construido permitió aportar herramientas prácticas a los participantes, en relación a tecnologías de bajo impacto que puedan ser replicadas en el espacio doméstico y en particular en la región Oeste de Montevideo donde la práctica de autoconstrucción es ampliamente utilizada.



Figuras 17, 18 y 19: Proceso de producción del prototipo

AGRADECIMIENTOS

A todos los estudiantes, vecinos, docentes, instituciones y fuerzas vivas relacionadas al parque PPPY que hicieron posible que el prototipo “Refugio-mirador” pudiera realizarse.

REFERENCIAS

C.I.B.(1999). Agenda 21 on sustainable construction. [online] Disponible en: <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB4675.pdf>

ISO 14044:2006(es) “Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Requisitos y directrices” Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14044:ed-1:v1:es>

ISO 14046:2014(es) “Gestión ambiental — Huella de agua — Principios, requisitos y directrices” Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14046:ed-1:v1:es>

Castellanos Noda, A y Figuerola Domenech, M. (2018.). De la educación popular a la investigación acción participativa. Perspectiva pedagógica y validación de sus experiencias. En: InterCambios. Dilemas y transiciones de la Educación Superior, 2018 v. 5, n.1 pp. 12-29. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12008/21061>

