



ARQ

ISSN: 0716-0852

revista.arq@gmail.com

Pontificia Universidad Católica de Chile
Chile

Saleh Pascha, Khaled

CONSTRUCCIONES DE MADERA COMPUESTAS PARA CERRAMIENTOS AUTOPORTANTES

ARQ, núm. 84, mayo-agosto, 2013, pp. 76-83

Pontificia Universidad Católica de Chile

Santiago, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37528909014>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Khaled Saleh Pascha

Profesor, Technische Universität Wien, Viena, Austria

Macizo o hueco? Pesado o ligero? Negro o blanco? Es una utopía la así llamada “pureza de materiales” en arquitectura, que consistiría en usar básicamente un solo material en la edificación. Si se construye, ¡se mezcla! A medida que empezamos a planear edificios siempre pensamos en diferentes materiales; queremos dar al edificio las variadas cualidades que solo permite el uso de una combinación. Construir significa adaptarse a las condiciones específicas de la tarea, de la normativa, de la demanda y del lugar, usando las distintas propiedades de los materiales disponibles.

La asociación de diferentes materiales para conseguir en su combinación algo nuevo y mejor que la mera suma de las propiedades de cada uno ya tiene tradición, como muestra el ejemplo de construcciones con el uso del hormigón armado. Sin duda, esta combinación de hormigón con acero crea un compuesto extraordinario que aprovecha las ventajas de un material que principalmente trabaja comprimido y otro que lo hace a la tracción. Pero el mismo ejemplo también muestra el límite de esta construcción: la parte superior de la placa compuesta trabaja como zona de compresión, mientras el resto de la sección transversal inferior lleva la fuerza de tracción, por lo cual el hormigón principalmente sirve para dar una matriz para la armadura. La parte inferior de la losa carga un peso muerto, desproporcionado del sistema global.

Una alternativa es ejecutar la losa como una placa perfilada de nervios en su parte inferior, que resultaría en el ahorro de una cierta cantidad de material de hormigón; pero al mismo tiempo se aumenta el coste de producción, con lo que esta medida solo es económica en los países con bajos costes laborales. El ejemplo muestra que no solo el análisis estructural es relevante, sino también otros aspectos como la economía, la física y la estética en la elección de los materiales de la construcción.

La madera, como material de construcción, tiene grandes ventajas por ser ligero, durable y ecológico. Por ser un material en base a fibras de celulosa dentro de una matriz, hecha de lignina y pectina –las sustancias que hacen pegar las fibras para crear un continuo molecular tridimensional– la madera combina dos cualidades importantes para el uso en la construcción. En relación con su densidad, es estructuralmente muy resistente, muy dúctil y puede soportar fuerzas extremas por corto tiempo sin fallar. Al mismo tiempo, su estructura en base de tubos de fibras da al material ligereza y buen comportamiento como material aislante.

Su baja transmitancia térmica da al material excelentes propiedades aislantes y ayuda a reducir el problema de puentes térmicos, como es el caso en sus más importantes competidores en el área de construcción: el hormigón y el acero. Sin embargo, hay criterios en que la madera no puede competir con los otros materiales, particularmente en el tema de la protección contra fuego, el comporta-

miento acústico y la poca inercia térmica (la capacidad de activar la masa de almacenamiento de calor para prevenir un rápido efecto de calentamiento o enfriamiento). Lo último es un directo resultado de su poca densidad y mala transmitancia. Al mezclar la madera con otros materiales como el hormigón y la piedra (tal como siempre han existido construcciones compuestas en la historia de la arquitectura en madera), la masa de almacenamiento requerida puede ser alcanzada fácilmente. Sobre todo, esta medida mejora el comportamiento de todo el edificio durante un incendio, como también sus propiedades acústicas.

Un clásico ejemplo histórico es la tipología del entramado de madera –que en realidad es una mezcla entre elementos portantes de madera con todas las ventajas que tiene al respecto (alta capacidad de soportar cargas, alta ductilidad)– y un lienzo de pared de materiales sólidos (barro, albañilería) que da otro comportamiento deseado (masa térmica, protección acústica, capacidad de absorción de humedad) a la envolvente; cosas que la madera sola no es capaz de dar. Combinar materiales para poder conseguir el óptimo estructural, física y económicamente es aun más importante hoy en día, dada la alta exigencia multifacética que se requiere de la envolvente de un edificio actual.

I. MADERA-HORMIGÓN

Una solución provechosa es el conjunto de la madera con el hormigón en el caso de las losas, donde la parte de baja del elemento está formada por un tablero de paneles prefabricados (hechos de reticulados de madera o madera maciza) que trabaja a la tracción, mientras los esfuerzos a la compresión son tomados por el hormigón que se vierte en obra sobre el tablero de madera de la losa compuesta. El tablero de madera provee una superficie superior completamente sellada (ya sea en base a estructura de entramado o construcción masiva) y, de esa manera, el tablero de madera actúa como encofrado perdido para el hormigón. El compuesto madera-concreto para losas está constituido por una superficie de piezas de madera (tablas sobre un envigado de madera o solamente una losa de madera sólida) y sobre ella una capa de hormigón vertido fresco y moldeado en el lugar. Al hacerlo así, las propiedades de cada material se amalgaman positivamente en la estructura. El elemento sometido a fuerzas de torsión es la superficie de madera en la parte inferior de la losa, que tiene alrededor del 60 % de la altura total. Este tímpano de madera toma los esfuerzos de tensión mientras la capa de concreto se encarga de las fuerzas de compresión asegurando el peso neto requerido y minimizando vibración y ruido (Natterer, Hamm y Favre, 1996). Como en el concreto normalmente únicamente ocurren compresiones, solo es necesario un mínimo reforzamiento para evitar las fisuras. Las fuerzas de corte entre el

Palabras clave: Edificación, estructura de madera, cerramientos, envolvente, componente constructivo.

concreto y la madera se transfieren por medio de estrías de aserradero en la superficie de la madera o a través de pernos, tornillos o de anclajes metálicos diseñados específicamente.

En el proyecto de investigación “La Buena Casa: Diseño de envolventes horizontales para la Vivienda de Madera”¹ se hizo el estudio de un elemento de entrepiso hecho de madera con una loseta colaborante de hormigón. Uno de los objetivos fue ver si era posible desarrollar un elemento de madera prefabricada que, al complementarlo con una losa de hormigón hecha en el sitio, pudiera combinar las ventajas del hormigón (la calidad acústica, la masa térmica, la protección al fuego y la sismo-resistencia) con el compuesto, reducir los gastos en esfuerzos logísticos y disminuir los plazos de la construcción en comparación con una losa convencional de hormigón (fig. 1).

Los resultados de la investigación muestran que con la construcción compuesta madera-hormigón es posible salvar luces de hasta 10 m y que es económicamente factible construir elementos de entrepisos que se extiendan sin soportes sobre una envergadura de más de 7 m (Fritz y Ubilla, 2012). Por ejemplo, para una losa con una luz de 7 m, 2.0 kN/m² de carga de trabajo y aproximadamente 1.0 kN/m² de carga muerta, un espesor de 24 cm (14 cm altura de vigas y 10 cm de concreto) es suficiente.

Además, los beneficios físicos de la construcción se dan por la interrelación entre los materiales. La placa de madera provee un ambiente o atmósfera confortable (alta temperatura superficial, compensación de humedad). La de concreto genera, por su parte, protección al ruido y protección al fuego² hasta F90 (fig. 2).

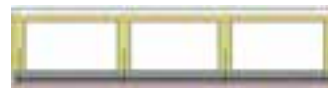
1 FONDEF D06i1034 “La Buena Casa. Diseño de envolventes horizontales para la vivienda de madera”. Pontificia Universidad Católica de Chile. Escuela de Arquitectura. Centro de Innovación y Desarrollo de la Madera CORMA-UC (CIDM).

2 Ensayos estructurales para solución EP09 (EP03 en la nomenclatura usada para los ensayos), un entrepiso compuesto de madera sólida y una losa de hormigón. El testeo se compone de dos piezas prefabricadas de 600 mm de ancho, conformadas por madera aserrada de pino radiata de 1 ½ x 6” (30 x 138 mm) y de 1 ½ x 4” (30 x 92 mm) adheridas con un adhesivo formaldehído. Sobre la placa de madera sólida se encuentra una capa de 20 mm de aislante de lana, un polietileno de 0,2 mm, un aislante acústico de 5 mm, y sobre estos una losa de hormigón grado H-20 de 45 mm de espesor, armada con una malla para proteger contra el agrietamiento por retracción del hormigón. Respecto a la propuesta original, el compuesto no es colaborante, es decir el hormigón trabaja de manera independiente sin elementos de conexión entre los dos materiales. Este ensayo consiste en aplicar cargas puntuales a los tercios de la longitud libre del entrepiso. De esta forma se consigue una zona del entrepiso sometida a momento flector puro (el tramo central) y dos zonas sometidas a corte uniforme y momento variable lineal (los dos tramos exteriores). Para cargar la probeta se usaron gatos de 20 ton, que cargan sobre dos vigas de acero. Las vigas se apoyan sobre polines y dos piezas de roble de sección 6 x 6”, que descansan sobre la losa de hormigón, ubicadas aproximadamente a los tercios de la luz de 380 cm entre apoyos. La deflexión se midió mediante 4 transductores en la mitad de la luz del entrepiso. En cada ensayo se realizó un ciclo de carga hasta el nivel de servicio, seguido por un ciclo de carga hasta el nivel de falla del entrepiso. Los ensayos realizados, supervisado por los profesores uc Hernán Santa María y Rafael Riddell, han permitido evaluar el factor de seguridad a la falla (momento resistente / momento de servicio). La solución posee una resistencia a la flexión de 2.395 kg/m², un valor 10 veces mayor que las cargas temporales consideradas para el uso del piso como habitación, oficina etc. de 200 kg/ m². El respectivo factor de seguridad a la falla para el caso de carga total (fs) es de 6,5, mientras que el momento de servicio es de 0,87.

Fig. 1. Soluciones propuestas para entrepisos con losas en madera y hormigón. Proyecto de Investigación “Diseño de envolventes horizontales para la vivienda de madera”. Las soluciones con la losa de hormigón encima de la madera (EP01, EP03, EP08, EP10) son estáticamente más provechosas, pero tienen la desventaja de no aprovechar la alta masa térmica del hormigón debido a la presencia de materiales aislantes (madera, aislamiento acústico) en ambos lados del entrepiso. Las soluciones con la placa de hormigón en la parte inferior de la losa (EP02, EP04) permiten de mejor manera aprovechar la masa térmica del hormigón, pero son menos efectivas estructuralmente. Tabla del autor.



EP01 Sistema de vigas, placa OSB, hormigón, losa colaborante.
Construcción: Aislamiento acústico; losa de hormigón $e = \pm 90$ mm; conectores metálicos madera-hormigón; OSB estructural $e = 15$ mm; vigas de madera de 140 x 60 mm.



EP02 Sistema de vigas, loseta de hormigón por abajo, losa colaborante.
Construcción: Loseta de hormigón $e = \pm 45$ mm; aislamiento acústico; OSB estructural $e = 11$ mm; vigas de madera; losa estructural de hormigón $e = \pm 90$ mm.



EP03 Sistema de vigas, loseta de hormigón no estructural.
Construcción: Loseta de hormigón $e = \pm 30$ mm; aislamiento acústico; losa de hormigón $e = \pm 100$ mm; OSB estructural $e = 11$ mm; encofrado removible o no; vigas de madera 140 x 60 mm.



EP04 Sistema de vigas, placas de hormigón no estructural.
Construcción: Loseta de hormigón $e = \pm 45$ mm; aislamiento acústico; OSB estructural; vigas de madera; sujeciones metálicas; losetas prefabricadas de hormigón.



EP08 Postes en mitades, hormigón, losa colaborante.
Construcción: Loseta de hormigón $e = \pm 30$ mm; aislamiento acústico; losa de hormigón solidaria con madera $e = \pm 110$ mm; conectores metálicos madera-hormigón; postes de madera en mitades.



EP09 Madera sólida, loseta de hormigón, losa colaborante.
Construcción: Loseta de hormigón $e = \pm 45$ mm; aislamiento acústico; losa de hormigón solidaria con madera $e = \pm 90$ mm; conectores metálicos madera-hormigón; vigas de madera mismo espesor del hormigón.



EP10 Madera sólida tipo CLT, losa colaborante.
Construcción: Loseta de hormigón $e = \pm 45$ mm; aislamiento acústico; losa de hormigón solidaria con madera $e = \pm 110$ mm; conectores metálicos madera-hormigón; paquete prefabricado de madera sólida.



Fig. 2. Fotografías: Álvaro Carboni. Photos: Álvaro Carboni.

Fig. 3. Ensayos estructurales para solución EP01 (EP04 en la nomenclatura usada para los ensayos), una losa colaborante de vigas laminadas de pino de 88 x 185 mm de ancho, espaciadas a 600 mm. Sobre las vigas va una losa de hormigón grado H-25 de e=65 mm, armada con una malla ACMA electrosoldada C92. Las llaves de corte son trapecios de hormigón de 50 mm de profundidad y del ancho de la viga, 80 mm, y en su interior llevan un perno de acero de 10 mm de diámetro con golilla entre los tuercas de 20 mm. Como resultado de los ensayos de flexión la solución EP01 posee una resistencia a la flexión de 1.934 kg/m², un resultado satisfactorio, tomando en cuenta que solamente 23% de la cantidad de madera fue necesaria para conseguirlo en comparación de la solución anterior. La cantidad de hormigón en la losa que ahora colabora con la madera se aumentó levemente a 144%. El respectivo factor de seguridad a la falla para el caso de carga total (FS) es de 5,6, mientras que el momento de servicio es de 0,83. Fotografías: Álvaro Carboni.



Fig. 5a. Glass Tower de la empresa Schindler en Alemania, con paneles de vidrio-madera. Schindler Glass Tower, Germany. Built with glass-wood composite boards.



Fig. 3. Structural tests for solution EP01 (EP04 in the nomenclature used for tests), a composite slab of laminated pine beams 88 x 185 mm wide, spaced 600 mm apart. Over the beams lies 65 mm H-25 grade concrete slab, reinforced with a ACMA mesh welded C92. The cut keys are concrete trapezoids 50 mm deep and 80 mm wide, and inside carry a 10 mm diameter steel screw between the 20 mm nuts. The results of the bending tests EP01 solution possesses a bending resistance of 1,934 kg/m², a satisfactory result taking into account that only 23% of the wood was necessary to achieve it in comparison with the previous solution. The amount of concrete in the slab that now works with the wood was augmented slightly to 144%. The respective security factor to failure for the case of total load (FS) is 5.6, while the service moment is 0.83. Photos: Álvaro Carboni.

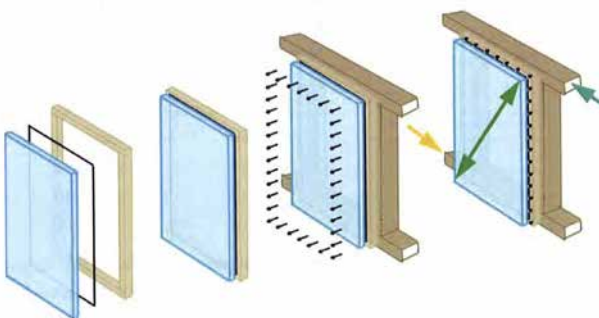
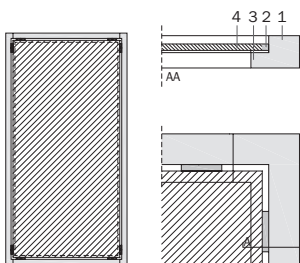


Fig. 4. Principio de fijación del vidrio con madera. Los puntos de transferencia de cargas fueron desarrollados de tal manera que solamente permiten introducir fuerzas de presión de manera controlada al vidrio, evitando que fuerzas de tracción o momentos dañinos sean transmitidos a él. Fuente: Thomas Edl. Wood with glass fixation principals. The transfer points of the loads were developed in such a way that only allow for the introduction of pressure forces in a controlled way, avoiding that traction forces or moments be transmitted to the glass which be harmful to them. Source: Thomas Edl.



Fig. 5b. Vista interior con paneles de vidrio pegados a los perfiles de madera. Fotografías: P. Schober. Interior view, showing glass panes fixed to the wood frame. Photos: P. Schober.

Fig. 6. Sistema de fijación. Solamente en los ángulos del marco hay elementos de junta que son resistente a compresión así dejando introducir las respectivas fuerzas al vidrio que pueden ser transmitidas en dirección diagonal a lo largo del panel de vidrio. El sistema no permite la transmisión de tracciones, por lo cual solamente un lado va a ser activado estructuralmente al mismo tiempo. Al restringir la introducción de fuerzas en los ángulos, no se producen momentos y fuerzas de flexiones en el cristal. La silicona permite transmitir fuerzas de empuje por dilatación hasta un cierto grado. Fuente: elaboración propia.



Leyenda
1. Marco adaptador / Adapter frame
2. Marco interior / Block setting
3. Capa de adhesivo / Glue line
4. Panel de vidrio / Glass pane

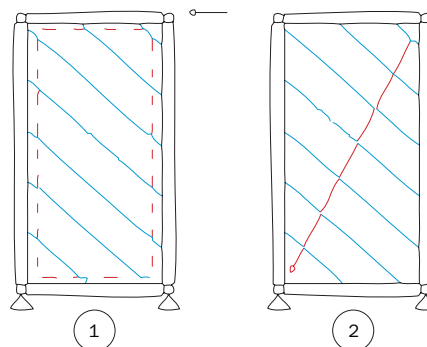


Fig. 7. Dos principios de introducción de cargas al vidrio: 1 - por empuje, que se produce en la línea de contacto entre madera y vidrio cuando se aplica una carga; se generan momentos y fuerzas de torsión dentro del plano del vidrio. 2 - por una diagonal comprimida, al introducir las cargas solamente en las esquinas de la placa. La idea de la solución propuesta es que se reduce la componente del empuje al mínimo posible (por usar un adhesivo de silicona con alta ductilidad) a favor de una concentración de introducción de la carga a través de unos tacos en los puntos angulosos de la placa del vidrio. Fuente: elaboración propia.

Two introductory principles of glass loads: 1 - pushing: produced in the line of contact between glass and wood when load is applied; moments and torsion forces within the glass pane. 2 - compressed diagonal: upon introducing loads only on the corners of the plate. The idea of the proposed solution is that the pushing component is reduced to the minimum possible (through using a highly malleable silicone adhesive) in favor of a concentration of introduction of the load by means of some dowels in the angled points of the glass plate. Source: Author's image.

Joint system. Only in the frame angles are there joint elements that resist compression and thus allow the respective forces to the glass that can be transmitted in a diagonal direction along the glass pane. The system does not allow the transmission of traction and as such only one side will be structurally activated at a time. By restricting the introduction of forces at the angles, moments and bending forces are not produced on the glass. The silicone transfers the pushing forces from dilatation up to a certain point. Source: Author's image.



Fig. 8. Prototipo de una fachada con elementos compuestos en madera y vidrio realizado en el marco del proyecto de investigación "Holz-Glas-Verbundkonstruktionen: Berechnung und Bemessungskonzept", financiado por la OFG, 2008-2011 (Holzforschung Austria, Technische Universität Wien, 2010). Fotografías: Khaled Saleh Pascha. Prototype (2010) of a façade with glass-wood composite elements realized in the investigative project "Holz-Glas-Verbundkonstruktionen: Berechnung und Bemessungskonzept", financed by the OFG, 2008-2011 (Holzforschung Austria, Technische Universität Wien, 2010). Photo: Khaled Saleh Pascha.

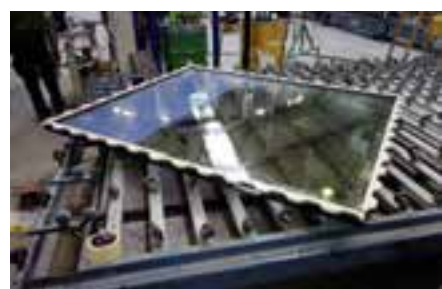


Fig. 9. Prototipo de un elemento vidrio-madera con una barra de acoplamiento de contrachapado de abedul (Petschenig Glastec GmbH, Austria). Basado en un proyecto de investigación de la Holzforschung (Centro de Investigación de la Madera) en Austria en el cual se desarrolló un elemento compuesto de vidrio y madera usando una línea de adhesivo que trabaja en base a la fuerza de empuje. Este elemento prefabricado en vidrio y madera ya viene con el elemento conector de madera encolado con el vidrio desde el taller. El bastidor adaptador se atornilla a la estructura de soporte de carga en el sitio de construcción. De esta manera el panel es intercambiable. Fotografía: Khaled Saleh Pascha

Fig. 9. Prototype of a glass-wood element with a birch plywood coupling-bar (Petschenig Glastec GmbH, Austria). Based on an investigative project from the Holzforschung (Center of Investigation for Wood) in Austria in which a wood-glass composite element is developed using a line of adhesive that works in base of pushing force. This prefabricated wood-glass element already comes with the wood-connecting element glued to the glass in production. The adaptor chassis is screwed to the load bearing structure on site. This way the panel is interchangeable. Photo: Khaled Saleh Pascha.

Los ensayos acústicos mostraban que la reducción de ruido, comparada con los clásicos entrepisos de madera (entramados de plataforma), es superior. Una losa tipo estándar de vigas de madera 140/200 mm con una placa de OSB de 21 mm de espesor encima tiene un factor de aislamiento acústico a ruido aéreo $R'w$ de 26 dB. La misma construcción, con una placa de hormigón de 45 mm puesta encima, ya tiene un factor $R'w$ de 51 dB³, un valor mucho mejor y correspondiente a la normativa europea para obra nueva de entrepisos en viviendas, colegios, hoteles, etc. Además, las construcciones compuestas de madera-hormigón tienen un muy buen comportamiento al fuego, por lo que si fracasa la construcción de madera, la loseta de hormigón todavía queda intacta aunque con mayores deformaciones, lo que es aceptable en situaciones de emergencia (fig. 3).

Esta tecnología no solamente puede aplicarse en construcciones nuevas, también es muy interesante hacerlo en la remodelación de edificios existentes y en el reforzamiento de antiguas vigas de madera. La nueva tecnología tiene la ventaja de ser más económica y resulta en menos pérdida en cuanto a la substancia original que el reemplazo del maderamen. En la nueva construcción destacan las ventajas físicas con respecto a la protección contra incendio, contra ruido y vibraciones, así como las ventajas de las posibilidades de la prefabricación. Los estudios y las experiencias de varios países muestran que el compuesto de madera-hormigón tiene gran capacidad de soportar cargas y un excelente comportamiento frente al problema de deformación.

II. MADERA-VIDRIO

El vidrio portante unido con una subestructura metálica tipo “Structural Sealant Glazing” es muy aplicado y tecnológicamente común, por ejemplo, en la construcción automovilística, donde ya al principio se usa el vidrio como parte del casco estructural en la carrocería. En el área de la construcción su aplicación es generalmente infrecuente, debido a inconvenientes derivados del aumento de escala de sus elementos, al comportamiento a largo plazo y a las tensiones de compresión que se producen entre el metal y el vidrio cuando se expanden por la diferencia térmica. El efecto es mucho mayor en la construcción que en la construcción automovilística, debido al tamaño de los componentes.

Como alternativa, la combinación de vidrio con madera tiene una serie de ventajas que van desde un comportamiento estructural muy favorable, por existencia de propiedades físicas similares (como la dilatación térmica) (Hochhauser, 2011), hasta la posibilidad de protección mutua entre materiales (el vidrio, usado en el lado exterior, protege la madera de la intemperie y la madera protege el vidrio del incremento de fuerzas en el contacto, aprovechando su flexibilidad y ductilidad). Debido a su estructura en base de fibras, la madera presenta buenas propiedades de resistencia a la tracción, mientras que el vidrio soporta muy bien las fuerzas de compresión, aunque puede mostrar una tendencia de peligro de rotura cuando las fuerzas sobrepasan ciertos límites (Blyberg, Serrano y Enquist, 2012). En este sentido la madera, contrariamente, actúa a la inversa: bajo la exigencia de altas cargas, la madera suele deformarse plásticamente hasta que falla completamente, manteniendo una capacidad portante por cierto tiempo, incluso en situaciones de carga muy por encima de los estudios de cálculo.

Así, la combinación de madera y vidrio resulta muy beneficiosa debido a esa combinación favorable de dos materiales con propiedades estructurales tan distintas (fig. 4). En los últimos años, elementos compuestos de madera y cristal han sido analizados en algunos proyectos de investigación (Blyberg, Serrano y Enquist, 2012; Weinand, 2007) y en diversas disertaciones terminadas (Hochhauser, 2011; Neubauer, 2011; Wellershoff, 2006). Como resultado, hoy día

ya existen primeros prototipos de edificios con elementos compuestos de madera y vidrio (fig. 5) (Kreher, Natterer, 2004).

El objetivo del proyecto de investigación “Elementos compuestos vidrio-madera”⁴ de la Pontificia Universidad Católica de Chile es el desarrollo de un nuevo elemento constructivo compuesto, en base a madera y vidrio, que reúna en sí mismo dos aspectos que hasta el momento se consideran contradictorios: ser portante y, al mismo tiempo, altamente transparente (fig. 6).

La meta es desarrollar productos industrializados basados en madera y vidrio con criterios y estándares de calidad, que incorporen conceptos de eficiencia constructiva y tecnológica, que respondan a las solicitudes y requerimientos estructurales, a las exigencias del clima, a la resistencia frente al fuego y que resuelvan los problemas de humedad, de modo de abrir nuevos mercados, tanto nacionales como internacionales, para productos con valor agregado provenientes del sector forestal chileno⁵.

Se estudiaron dos principios básicos diferentes para el montaje del panel de vidrio: el primero, mediante una línea de adhesivo de unión continua a lo largo del perímetro del panel y el segundo, usando una combinación de adhesivo flexible y bloques rígidos en las esquinas para la transferencia de la carga al plano del vidrio. La última variante requiere un adhesivo que es lo suficientemente dúctil como para transferir esfuerzo cortante de una manera eficiente, y lo suficientemente rígido como para no causar deformaciones excesivas. En este caso, el panel de vidrio se utiliza como un elemento de compresión dejando una diagonal comprimida de la placa de vidrio, la cual se activa durante la aplicación de cargas (fig. 7).

La tecnología aplicada para la transmisión de fuerzas entre el cristal y la madera se hace en base a un marco de forma especial, lo que garantiza el montaje de elementos de grandes dimensiones, puesto que solamente requiere ser montado en el lugar de la obra. Al mismo tiempo, simplifica la prefabricación, la cual se ha hecho en las condiciones de un taller con estándares de limpieza, temperatura y ambiente. Además de permitir una rápida instalación sin la necesidad de enmarcar, este sistema mantiene la posición del panel de vidrio bajo cargas, de una manera que permite el movimiento debido a la expansión térmica diferencial, deflexión de carga inducida y el asentamiento de la estructura (fig. 8).

Este elemento formará parte de la envolvente del edificio, de manera que actúe como un elemento portante convencional que porta carga pero suele ser opaco. Su posición dentro del edificio puede variar de la misma manera: integrado a la fachada, en el techo, en el interior como tabique e, incluso, como elemento de piso (fig. 9).

En este proyecto se desarrollará un elemento estructural compuesto en base a vidrio y madera para una variedad de posibles aplicaciones constructivas. En Chile, en el ámbito de la arquitect-

³ El profesor de la Universidad Católica Leonardo Meza hizo un cálculo acústico de la solución EP01 (ver fig. 3) del aislamiento acústico a ruido aéreo y nivel de presión acústica con el programa INSUL v 6.0.

⁴ CORFO, Línea 1, Perfil de I+D Aplicada, 12IDL1-13097 - Elementos compuestos vidrio-madera. Por parte de la Pontificia Universidad Católica de Chile están involucrados los profesores Khaled Saleh Pascha, Waldo Bustamante, Claudio Vásquez, Francisco Chateau y Christian Bartlau (colaborador científico). Co ejecutores por parte de la industria son INFODEMA y Solimpeks/Vicmar. Chile forma parte de un equipo internacional formado por instituciones académicas, instituciones de investigación técnica e importantes fabricantes de vidrio y madera en Europa (Austria, Alemania, Suecia, Eslovenia, Turquía) y Brasil, bajo el nombre “URBAN WOOD. Wood based construction for multi-storey buildings. The Potential of Application of Timber-Glass Composite Structures for Building Construction” (Joint Call of the ERA-NET WoodWisdom-Net 2 y ERA-NET Bioenergy Programm).

⁵ Como los miembros europeos del proyecto basan su esfuerzo en el desarrollo tecnológico de los componentes del elemento compuesto –por ejemplo, en la Universidad Técnica de Dresden están los expertos en ingeniería de pegamento del vidrio; en el caso de Suecia, los expertos en vidrio; y en Austria aquellos en madera; en el caso de Eslovenia, en la Universidad de Ljubljana, destacan los expertos en ingeniería sísmica–, la parte chilena en el desarrollo del proyecto consistirá en gran parte en desarrollar posibles productos en base a esta tecnología.



Fig. 10. Principio de fijación de termo panel.
Fuente: Khaled Saleh Pascha, Vitalija Rosliakova.
Thermal panel fixation principle.
Source: Khaled Saleh Pascha, Vitalija Rosliakova.

tura se podría incluir en edificios de oficinas, casas prefabricadas e invernaderos, tanto a nivel de elementos de fachada portante, como elementos estructurales de un sistema que mejore una construcción existente, así como en viviendas prefabricadas con sistemas integrados de energía solar térmica y fotovoltaica (fig. 10).

Este innovador producto puede cumplir con una serie de demandas. Desde nuestro punto de vista, proporcionaría nuevas perspectivas y aplicaciones:

- Permitiría una solución económica para edificaciones con fachadas transparentes y de tamaño menor, como viviendas unifamiliares, pequeños almacenes, etc. Aquí la fachada misma soporta parte de las cargas del edificio y rigidiza en parte también el edificio.

- Plantea una alternativa a las fijaciones convencionales de fachadas y sus estructuras portantes, aprovechando la sencilla adherencia entre el vidrio y la madera. La madera como material de producción nacional podría sustituir la importación de perfiles metálicas especializadas.

- En el caso de construcciones tradicionales, esta tecnología puede ser utilizada para mejorar el comportamiento estructural y sísmico de su estructura. La gran cantidad de casas antiguas, hechas de adobe u otro material que lleva mucho tiempo respondiendo a cargas, suelen sufrir muchísimo en situaciones sísmicas debido a su materialidad y su tipo constructivo. Estos edificios no resisten bien cargas horizontales y cargas de tracción, propias del evento sísmico, por lo que desarrollar una solución simple y efectiva para una segunda piel en base a esta tecnología, reforzaría la construcción existente y permitiría transferir las cargas del sismo en nuevas áreas, lo que colaboraría con las partes antiguas de la construcción. Una fachada vidriada puesta delante de la fachada existente, además de protegerla contra el clima, no borra preexistencias.

- Posibilita la creación de envolventes energéticamente activas que capten la energía solar, integrando colectores solares térmicos y colectores fotovoltaicos en casetones de techo y fachadas estructurales. Dichos elementos contarían con los atributos de impermeabilidad propios del vidrio; es decir, como material de cubierta. Serán elementos estructurales con funciones múltiples, lo que los hará más eficientes y viables económicamente (fig. 11).

CONCLUSIONES

Hay cambios profundos en la demanda de edificios en cuanto a la cantidad, la calidad, el tamaño, la funcionalidad, la flexibilidad. Las posibilidades técnicas se han multiplicado, existen nuevos materiales, nuevos métodos de construcción y nuevos conocimientos sobre los aspectos ambientales y los criterios de la sostenibilidad.

Junto a esta tendencia, la arquitectura contemporánea se ha orientado hacia la calidad de vida y la promoción de un bajo consumo energético. También el objetivo de reducir las emisiones de CO₂ y de gases de efecto invernadero significa que los edificios tendrán que lidiar con conceptos de diseño solar y materiales ecológicos. La fachada vidriada con su transparencia selectiva es el componente más

importante para obtener ganancias energéticas por energía solar.

La madera como material sostenible y ecológico tiene oportunidad de aumentar su impacto en el mundo de la construcción. El muy buen comportamiento sísmico y estructural de la madera y su alta disponibilidad en Chile alimenta esa tendencia. La combinación de madera con vidrio ofrece una nueva opción de proyectar edificios sísmicamente resistentes con una construcción liviana, transparente y estéticamente atractiva.

Chile, hoy en día, no solo tiene una producción de pino radiata de gran calidad (por las ventajosas condiciones de clima y de suelo del sur del país), sino que además cuenta con una preparada industria maderera. El problema/oportunidad radica en que esta industria se ha enfocado principalmente a mercados extranjeros, con productos de bajo valor agregado, y ha descuidado el mercado nacional. La tecnología de "Elementos compuestos vidrio-madera" podría aprovechar esta capacidad industrial instalada para innovar y mejorar la edificación en Chile, abriendo a su vez oportunidades de comercialización en otros países de la región con productos de mayor valor agregado.

El desarrollo de la industrialización de estos componentes, con productos de buena calidad, generaría impulso empresarial con creación de empleo en trabajos mejor calificados y mejor remunerados. Estos beneficios se expandirían a la industria de la madera al incentivar el uso del pino radiata y a los beneficios generados por la eficiencia energética que pueden alcanzar las edificaciones que combinen madera y vidrio. Este cambio tecnológico tendrá por efecto en el país el aumento en el valor del producto, que permitirá posicionar a Chile en el contexto internacional como un país productor de sistemas compuestos de construcción en base de madera, en vez de solo un país maderero. **ARQ**

Khaled Saleh Pascha | Máster en Ingeniería Dipl.-Ing. Arch., 1995 y Doctor en Ingeniería Dr.-Ing. Arch., 2004, Technischen Universität Berlin. Su investigación se centra en el área de la construcción, con énfasis especial en madera, arquitectura bioclimática y sistemas de fachadas. Es autor de diversos artículos y capítulos en libros sobre temas de construcción de madera, eficiencia energética y teoría de la arquitectura; ha publicado artículos en Inglaterra, Austria, Alemania y Chile. Actualmente es director y responsable investigador del proyecto de investigación CORFO "Diseño y aplicación de elementos estructurales compuestos en base a vidrio y madera para la construcción de edificios" 12IDL1-13097 y es profesor asistente de la Pontificia Universidad Católica de Chile y de Technische Universität Wien, en el departamento de Ingeniería Estructural y Ingeniería de Madera.

Bibliografía

BLYBERG, Louise; SERRANO, Erik y Bertil ENQUIST. "Adhesive joints for structural timber/glass applications: Experimental testing and evaluation methods". *International journal of adhesion and adhesive* Vol. 35. Elsevier, Filadelfia, junio de 2012, p. 76-87. FRITZ, Alexander y Mario UBILLA. (eds.). *Manual de diseño. Construcción, montaje y aplicación de envolventes para vivienda de madera*. Centro de Innovación y Desarrollo de la Madera PUC-CORMA, Santiago, 2012. HOCHHAUSER, Werner. *A contribution to the calculation and sizing of glued and embedded timber-glass composite panes*. Tesis para optar al grado de Doctor en Ingeniería Civil, profesor guía W. Winter, Technische Universität Wien, Viena, 2011. KREHER, Klaus, NATTERER, Julius y Johannes NATTERER. "Timber-Glass-Composite Girders for a Hotel in Switzerland". *Structural Engineering International* SEI Vol. 14 N° 2. International Association for Bridge and Structural Engineering, Zurich, 2004, p. 149-151. NATTERER, Julius; HAMM, Jan y Pierre-Aimé FAVRE. "Composite wood-concrete floors for multi-story buildings". *Proceedings of The 4th International Wood Engineering Conference*. Omnipress, Madison, 1996, p. 431-435. NEUBAUER, Georg. *Entwicklung und Bemessung von statisch wirksamen Holz-Glas-Verbundkonstruktionen zum Einsatz im Fassadenbereich*. Tesis para optar al grado de Doctor, profesor guía W. Winter, Technische Universität Wien, Viena, 2011. WEINAND, Yves y Klaus KREHER. *Holz-Glas-Verbund als großflächige Scheibensysteme zur Gebäudeaussteifung*. Reporte final 06/07 - Proyecto de investigación BUWAL N° 2005.05. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, 2007. WELLSHOFF, Frank. *Nutzung der Verglasung zur Aussteifung von Gebäudehüllen*. Tesis para optar al grado de Doctor, profesor guía M. Feldmann, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen. Shaker Verlag, Aachen, 2006.

Khaled Saleh Pascha

Professor, Technische Universität Wien, Vienna, Austria

This article understands construction as an exercise that aims to articulate pieces and different materials. From this point of view it presents building components that combine wood with concrete or glass, to be used in horizontal or vertical envelopes.

Keywords: Construction, wood structure, enclosures, envelope, building components.

Solid or hollow? Heavy or light? Black or white? There exists a utopia called "material purity" in architecture that basically consists of using a single material in the edification. If it is built, it gets mixed up! As we begin to plan buildings we think in different materials, we want to give the building the varied properties only permitted by the combination of different materials. To build means to adapt to the specific conditions of the commission, codes, demand and place using the properties of the available materials.

The association of different materials together to achieve something new and better than the mere sum of each already has tradition, as shows the example of constructions of reinforced concrete. Without a doubt, this combination of concrete with steel creates an extraordinary compound that takes the advantages of a material that works principally in compression and another in tension. But at the same time shows the limits of this construction: basically the upper part of the combined plate works as a compression zone, the rest of the lower transversal section carries the force of tension, and as such the concrete only serves to give a matrix for the frame. The lower part of the slab loads a disproportional dead weight of the whole system.

An alternative would be to execute a slab as an outlined plate of nerves in the lower part resulting in the savings of a certain quantity of concrete material while simultaneously would raise the production cost, and so is only economical in countries with low labor costs. This example shows that not only is the structural analysis relevant, but also other aspects such as economy, physics and aesthetics in the choice of construction materials are important.

Wood as a construction material has the great advantage of being a light, durable and ecological material. Being a cellulous fiber based material within a matrix made of pectin and lignin (substances that bind the fibers to create a continuous three-dimensional structure), wood combines two important qualities for constructive use. For its density it is a very resistant and adaptable material that can resist extreme forces for a short time without failing. At the same time, its structure based on fibrous tubes give the material its lightness and its performance as an isolating material. Its poor thermal transmittance gives the material excellent isolative properties and helps to reduce the problem of thermal bridges as is the case in its main competitors in the construction area: concrete and steel. However, there are criteria in which wood cannot compete with other materials, particularly in the area of fire protection, acoustic performance and poor thermal inertia (the capacity to activate the mass of heat storage to prevent a rapid heating or cooling effect). The last is a direct result of its low-density and poor heat transmittance. Mixing wood together with materials like concrete and stone (as have always existed buildings composed in the history of wood architecture), the thermal mass required can be easily acquired. Above all, this measure improves the behavior of the whole building in the even of a fire as well as its acoustic properties.

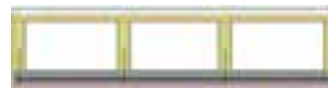
A classic historical example of the typology of wooden framework (which in reality is a mixture between load bearing elements of wood with all the advantages that wood carries (high load capacity, high malleability) and a fabric of solid materials (adobe and masonry) that lends other desired behaviors to the mix (thermal mass, acoustical protection, humidity-absorption capacity), things that wood alone is incapable of providing. Combining materials to achieve a structural, physical and economical optimum is still more important today given the high multi-faceted demands required of a building envelope today.

Solutions proposed for floors with wood-concrete slabs. Research project "Diseño de envolventes horizontales para la vivienda de madera". The solutions with the concrete slab on top of the wood (EP01, EP03, EP08, EP10) are statically more advantageous yet on the other hand are unable to make use of the thermal mass of the concrete due to the covering of insulating materials on both sides (wood and acoustical isolators). The solutions with the concrete deck below the slab (EP02, EP04) take better advantage of the thermal mass of the concrete but are less efficient structurally. Author's image.



EP01 Beam system, OSB board, concrete, composite slab.

Construction: Acoustic isolation; concrete slab +/- 90 mm; wood-concrete metal connectors; structural OSB 15 mm; wood beams 140 x 60 mm.



EP02 Beam system, concrete deck below, composite slab.

Construction: concrete deck +/- 45 mm; acoustic isolation; structural OSB 11 mm, wood beams; structural concrete slab +/- 90 mm.



EP03 Beam system, non-structural concrete deck.

Construction: concrete deck +/- 30 mm, acoustic isolation; concrete slab +/- 100 mm; structural OSB 11 mm; optional removable formwork; wood beams 140 x 60 mm.



EP04 Beam system, planks of non-structural concrete.

Construction: concrete deck +/- 45 mm; acoustic isolation; structural OSB; wood beams; metal fasteners; prefabricated concrete decks.



EP08 Halved posts, concrete, composite slab.

Construction: concrete deck +/- 30 mm; acoustic isolation; supporting concrete slab with wood +/- 110 mm; wood-concrete metal connectors; halved wooden posts.



EP09 Solid wood, concrete deck, composite slab.

Construction: concrete deck +/- 45 mm; acoustic isolation; supporting concrete slab with wood +/- 90 mm; wood-concrete metal connectors; wood beams same concrete thickness.



EP10 Solid wood CLT type, composite slab.

Construction: Concrete deck +/- 45 mm; acoustic isolation; supporting concrete slab with wood +/- 110 mm; wood-concrete metal connectors; prefabricated solid wood packet.

I. WOOD-CONCRETE

An advantageous solution is the marriage of wood with concrete in the matter of slabs, where the lower part of the element is formed by a deck of prefabricated wood panels (made from wooden trusses or solid wood) that works in tension while the compressive forces are taken by the concrete poured over the wood deck of the composed slab. The wood deck provides a completely sealed superior surface (either in a framework structure or heavy construction base); in this way the deck acts like lost formwork for the concrete. The wood-concrete combination for slabs is constituted by surface of wooden pieces (boards over wood beams or simply a wood slab) and over it a layer of fresh poured in place concrete. This way, the properties of each material are positively joined in the structure. The element subjected to tensile forces is the wooden surface below the slab that accounts for 60% of the total height. This wooden tympanum takes the forces of tension while the layer of concrete resists the compressive forces to reach the required net weight –for vibration, noise reduction– (Natterer, Hamm and Favre, 1996). While concrete usually only suffers compressions, only a minimum of reinforcement is necessary to avoid fissures. The sectional forces between the concrete and wood are transferred by means of grooves sawn into the wood surface or through screws or specifically designed metal anchors.

In the research project “The Good House: Horizontal envelope designs for the Wooden dwelling”¹ a study was made of a floor element made of wood with a collaborative concrete topping. One of the objectives was to see if it was possible to develop a prefabricated wooden element that, complementing the slab poured on site, would be able to combine the advantages of concrete (acoustic quality, thermal mass, fire-protection and seismic resistance) to the compound and reduce the costs of logistical forces and diminish construction times compared to a conventional concrete slab (fig. 1).

The results of the investigation show that with a construction composed of wood and concrete can support spans of up to 10 meters. It is economically feasible to build these floor elements to extend without supports over beams for more than 7 meters (Fritz and Ubilla, 2012). For example, for a slab with a span of 7 m, 2.0 kN/m² of live load and approximately 1.0 kN/m² of dead load, for example, a thickness of 24 cm (14 cm high beams and 10 cm of concrete) is sufficient.

Also, the physical benefits of the construction are generated by the relationship between the materials. The wood deck provides a comfortable environment or atmosphere (high superficial temperature, humidity compensation). For its part, concrete generates the noise and fire protection² –up to F90– (fig. 2).

The acoustical test showed that the noise reduction compared to classic wood floor buildups (platform trusses) is superior. A typical standard slab of wood beams 140/200 mm with a 21 mm OSB board on top, has an acoustic isolation factor to aerial noise R'w of 26 dB. The same construction with a 45 mm concrete deck placed on top already has a factor R'w of 51 dB³, a much better value corresponding to the European code for new buildings in dwellings, schools, hotels etc. Also, the composite constructions of wood-concrete has a much better performance to fire, allowing for if the wood construction fails, the concrete deck remains intact despite major deformations which is acceptable in emergency situations (fig. 3).

The technology can be applied, not only in new construction, but also in the interesting field of application of remodeling existing buildings and reinforcing aging woods beams. The new technology has the advantage of being more economical and result in less loss (regarding the original substance) compared to the whole wooden parts replacement. For new construction the physical advantages of fire protection, noise and vibration control stand out along with the advantageous possibilities of prefabrication. The studies and experiences in various countries show that the wood-concrete composite has the excellent property of supporting loads and an excellent response to the deformation problem.

II. WOOD-GLASS

The load bearing glass joined to a metal sub-structure such as the “Structural Sealant Glazing” type, is already widely used and technologically recognized, as in automotive construction, for example, where its principal use is as part of the structural hull of the car body. In construction, its use is generally infrequent, due to the size of the elements, their long term performance and the compressive tensions produced between the metal and the glass when they expand from thermal difference, a much greater effect in construction than in automotive building due to the size of the elements.

It is for this reason that combining glass with wood has a series of advantages that run from a favorable structural performance for having very similar physical properties (a similar thermal dilatation) (Hochhauser, 2011) to the possibility of mutual protection between the materials involved (protection for the wood from the elements using the glass on the exterior side and/or protection from the glass to avoid force increases in the contact, using the flexibility and adaptability of

wood). Due to the fiber structure base, wood presents good resistance properties to traction while the glass resists compressive forces well, showing a tendency towards break danger when the forces pass certain limits (Blyberg, Serrano and Enquist, 2012). While with wood, the material acts inversely: under the demands of large loads, the wood tends to deform plastically until it fails completely, maintaining a certain load bearing capacity for a certain time, including in load situations above the calculation studies.

So, the combination of wood and glass results beneficial due to that favorable combination of two materials with very different structural aspects (fig. 4). Lately, composite elements that combine wood and glass have been analyzed within several research projects (Blyberg, Serrano and Enquist, 2012; Weinand, 2007) and a number of final dissertations and thesis (Hochhauser, 2011; Neubauer, 2011; Wellershoff, 2006). As a result, today it is possible to find some building prototypes that include this kind of composite elements (fig. 5) (Kreher, Natterer, 2004).

The objective of the research project “Elements composed of Glass-wood”⁴ of the Pontificia Universidad Católica de Chile is to develop a new composite building element for construction of wood and glass, joining two things that until now have been considered contradictory: to be load bearing and at the same time highly transparent (fig. 6).

The goal is to develop industrialized products based in glass and wood with certain criteria and quality standards with constructive and technological concepts of efficiency and which respond to the structural requirements and solicitations, structural requirements, climate demands, fire protection and that resolves problems of humidity, thus opening new markets both at home and abroad for products with added value originating from the Chilean forest sector.⁵

Two different, basic principles have been studied for the installation of the glass panel: first, a line of binding tape runs along the perimeter of the panel and second, a combination of flexible adhesive and rigid blocks in the corners appears to transfer the load to the glass pane. The last variable requires an adhesive that is sufficiently malleable to transfer the force in an efficient way and sufficiently rigid so as to not cause excessive deformations. In this case, the glass panel is used as a compressive element, leaving a compressed diagonal in the glass plate activated during the load application (fig. 7).

The technology applied for the transmission of forces between the glass and the wood is made through a specially formed frame that guarantees the mounting of elements of large dimensions given that it only needs to be assembled on site, and at the same time simplifies prefabrication which has been done in studio conditions with standards of cleanliness, temperature and clean environment. While permitting a rapid installation without the need for framing, this system maintains the position of the glass panel under loads in a way that allows for the movement from differential thermal expansion, induced load deflection and structure settling (fig. 8).

This element will form part of the building envelope, acting as a conventional load-bearing element that carries load but tends to be opaque. Its position within the building can vary in the same way; it can be integrated into the façade, the roof, in the interior as a partition wall and even as a floor element (fig. 9).

A wood-glass structural composite element is developed in this project for a variety of possible building applications. Possible applications of this product in architecture in Chile could include office buildings, prefabricated homes, greenhouses, load-bearing façade elements, structural elements as part of a system that improves an existing building and of prefabricated dwellings with integrated thermal and photovoltaic energy systems (fig. 10).

This innovative product can be achieved with a series of demands. From our point of view it will provide new perspectives and applications:

-It could lead to an economic solution for small buildings with transparent façades such as single-family dwellings, small warehouses, etc. Here the façade itself carries part of the building loads and also in part gives rigidity to the building.

-it could substitute a conventional façade joint with its load bearing structures due to the fact that gluing the glass with the wood simplifies its execution. The wood as a nationally produced material can substitute the importation of specialized metal shapes.

-In the case of traditional constructions, this technology can be used to improve the seismic behavior of its structure. The large quantity of older homes built in adobe or other materials that have been responding to loads for long times tend to suffer in seismic situations due to their materiality and building type. Such buildings do not resist the horizontal and traction forces of a seismic event and so developing a simple and effective solution for a second skin based on this technology would reinforce the existing construction and allows the transfer of seismic loads to new areas that would collaborate with the older parts of the construction. A glazed façade placed in front of the existing façade would also protect it from weather while not modifying its appearance.

-It allows the creation of roof coffers and structural facades that contain thermal and hybrid solar panels: here energetically active envelopes are created that capture solar energy and integrate thermal solar collectors and photovoltaic collectors. These elements would come with the glass attributes of impermeability; that is to say as a cover material. They will be structural elements with multiple functions making them more efficient and economically valuable (fig. 11).

CONCLUSIONS

There are profound changes in the demand of building in quantity, quality, size, functionality and flexibility. The technical possibilities have multiplied, and today new materials exist, new construction methods and new knowledge over environmental aspects and sustainability criteria.

Together with this trend, contemporary architecture has oriented toward quality of life and low energy consumption. Also the objective of reducing the CO₂ emissions and greenhouse gases means that the buildings will have to lead with solar design and ecological materials concepts. The glazed façade with its selective transparency is the most important component to obtain energetic gains with solar energy.

Wood as a sustainable and ecological material has a good opportunity to augment its impact in the world of construction. The excellent seismic and structural behavior of wood in Chile feeds this trend. The combination of wood with glass offers a new opportunity to build seismically resistant buildings with a lightweight, transparent and aesthetically attractive construction.

Today Chile not only has a high quality production of pine (for its optimum climate and soil conditions from the south of the country), but also has a prepared logging industry. The problem/opportunity resides in that this industry has primarily focused on foreign markets with low value-added products, leaving the national market aside. The "Glass-wood composite elements" technology could take advantage of this industrial capacity installed to innovate and improve building in Chile while also opening opportunities for commercialization in other countries in the region with greater value-added products.

The development of the industrialization of these components with good quality products will generate a business impulse with job creation in higher quality and better-paid jobs. Benefits would be added to the wood industry incentivizing the use of pine as well as those generated by energy efficiency that can be attained by wood-glass buildings. This technological change will have effects on the country, the rise in the product value that will position Chile in the international context as a country producing wood-based composite systems for construction instead of just a timber country. **ARQ**

- 1 FONDEF D0611034 "La Buena Casa. Diseño de envolventes horizontales para la vivienda de madera". Pontificia Universidad Católica de Chile School of Architecture. Centro de Innovación y Desarrollo de la Madera CORMA-UC (CIDM).
- 2 Structural tests for the solution EP09 (EP03 in the nomenclature used for tests), a floor composed of solid wood and a concrete slab. The test is composed of two prefabricated pieces 600 mm wide, made up of serrated pine wood 1 ½ x 6 (30x138) and 1 ½ x 4 (30x92) joined by formaldehyde adhesive. Over the wood deck exists 200 mm of wool insulation, 0.2 mm polyethynol, an acoustic isolator of 5 mm and over this a H-20 grade concrete slab 45 mm thick, reinforced with mesh to protect from cracking from the retraction of the concrete. Differing from the original proposal, the composite is no collaborative, that is to say that the concrete works independently without connective elements between the two materials. This test consists in apply point loads along the thirds of the floor. In this way a zone of the floor subjected to the pure bending moment is achieved (the central third) and two zones subjected to uniform loads and linear variable moments (the two exterior thirds). To load the prototype two 20 ton jacks loaded over two steel beams. The beams were supported by posts and two 6 x 6" section oak pieces that rest on the concrete slab, located approximately at the thirds of the span, 380 cm between supports. The deflection was measured by 4 transducers in the midpoint of the span of the floor. In each test, a load cycle was realized up to the service level, followed by a load cycle up to failure. The tests realized, supervised by UC professors Hernán Santa María and Rafael Riddell, have permitted the evaluation of the security factor to the failure (resisting moment / service moment). The solution possesses a resistance to the bending moment of 2.395 kg/m², a value 10 times higher than the temporary loads considered for the use of the floor for a bedroom, office, etc. of 200 kg/m². The respective security factor for the total load (FS) is 6.5, while the service moment is 0.87.
- 3 Leonardo Meza, professor at Universidad Católica, calculated the acoustic performance of EP01 solution (see fig. 3) regarding aerial noise and acoustic pressure levels using INSUL v 6.0 software.
- 4 CORFO, Line 1, I+D Aplicada Profile, 12IDL1-13097 – Glass-wood composite elements. For Pontificia Universidad Católica de Chile professors Khaled Saleh Pascha, Waldo Bustamante, Claudio Vasquez, Francisco Chateau and Christian Bartlau (scientific collaborator) participated. Co-executors from the industry are INFODEMA and Solimpeks/Vicmar. Chile is part of an international team that gathers academic institutions, technical investigation institutions and the main glass and wood producers in Europe (Austria, Germany, Sweden, Slovenia, Turkey) and Brazil, under the name "URBAN WOOD. Wood based construction for multi-storey buildings. The Potential of Application of Timber-Glass Composite Structures for Building Construction" (Joint Call of the ERA-NET WoodWisdom-Net 2 y ERA-NET Bioenergy Programm).
- 5 As the European members of the project based their efforts in the technological development of the components of the composite element –for example, in the Technical University of Dresden are the engineering experts for glass adhesive, in Sweden those for glass and Austria, those for wood; in the case of Slovenia, in the University of Ljubljana, are the seismic engineering experts–, the Chilean part in the project development will consist in large part in the development of possible products based on this technology.

Khaled Saleh Pascha | Master of Engineering Dipl.- Ing. Arch., 1995 and Doctor of Engineering Dr.-Ing. Arch., 2004, Technische Universität Berlin. His research focuses in the building area, specifically wood science, bioclimatic architecture and façades systems. He has written several articles and chapters of books on wood construction, energy efficiency and theory of architecture; he has been published in England, Austria, Germany and Chile. He is currently director and responsible researcher of the CORFO research project "Diseño y aplicación de elementos estructurales compuestos en base a vidrio y madera para la construcción de edificios" 12IDL1-13097; he is assistant professor at Pontificia Universidad Católica de Chile and Technische Universität Wien, at the department of Wood Science and Structural Engineering.

Bibliography

- BLYBERG, Louise; SERRANO; Erik y Bertil ENQUIST. "Adhesive joints for structural timber/glass applications: Experimental testing and evaluation methods". *International journal of adhesion and adhesive* Vol. 35. Elsevier, Philadelphia, June 2012, p. 76–87.
- FRITZ, Alexander and Mario UBILLA. (eds.). *Manual de diseño. Construcción, montaje and aplicación de envolventes para vivienda de madera*. Centro de Innovación y Desarrollo de la Madera PUC-CORMA, Santiago, 2012.
- HOCHHAUSER, Werner. *A contribution to the calculation and sizing of glued and embedded timber-glass composite panes*. Civil Engineering Doctoral dissertation directed by Professor W. Winter, Technische Universität Wien, Vienna, 2011.
- KREHER, Klaus, NATTERER, Julius and Johannes NATTERER. "Timber-Glass-Composite Girders for a Hotel in Switzerland". *Structural Engineering International* SEI Vol. 14 N° 2. International Association for Bridge and Structural Engineering, Zurich, 2004, p. 149-151.
- NATTERER, Julius; HAMM, Jan and Pierre-Aimé FAVRE. "Composite wood-concrete floors for multi-story buildings". *Proceedings of The 4th International Wood Engineering Conference*. Omnipress, Madison, 1996, p. 431-435.
- NEUBAUER, Georg. *Entwicklung und Bemessung von statisch wirksamen Holz-Glas-Verbundkonstruktionen zum Einsatz im Fassadenbereich*. Doctoral dissertation directed by W. Winter, Technische Universität Wien, Vienna, 2011.
- WEINAND, Yves and Klaus KREHER. *Holz-Glas-Verbund als großflächige Scheibensysteme zur Gebäudeaussteifung*. Final report 06/07 – Research project BUWAL N° 2005.05. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, 2007.
- WELLERSHOFF, Frank. *Nutzung der Verglasung zur Aussteifung von Gebäudehüllen*. Doctoral dissertation directed by M. Feldmann, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen. Shaker Verlag, Aachen, 2006.