

**TORRE EXPERIMENTAL  
DE PEÑUELAS**

# MADERA EN LAS ALTURAS

— Gracias a sus casi 20 metros de altura y seis niveles, este proyecto se transformó en la estructura en madera más alta tanto de Chile, como de Latinoamérica. Construida con elementos prefabricados, la Torre Peñuelas apunta a generar un cambio de paradigma respecto al uso de madera en edificaciones de mediana altura, a través de la incorporación de industrialización, innovación y sustentabilidad.

ALFREDO SAAVEDRA L.  
PERIODISTA REVISTA BIT



**UBICADA** en la Reserva Nacional Peñuelas, en plena ruta 68, a 22 kilómetros de la quinta región y a menos de una hora de Santiago, se encuentra la Torre Experimental de Peñuelas, cuyos 20 metros de altura la convierten en el edificio más alto que incorpora tecnología ATS en Chile y Latinoamérica. Desarrollada por el Centro de Innovación en Madera UC Corma (CIM UC), en conjunto con el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (Minvu) y en colaboración con la Corporación Nacional Forestal (Conaf) y la Ilustre Municipalidad de Valparaíso, esta obra tiene por objetivo probar el desarrollo de un sistema innovador de

GENTILEZA CIM UC



## FICHA TÉCNICA

TORRE EXPERIMENTAL DE PEÑUELAS

**Ubicación:** Ruta 68, Reserva Nacional Lago Peñuelas

**Mandante:** Minvu

**Arquitecto/ Director:** Juan José Ugarte (CIM UC)

**Empresa constructora:** Tecnofast S.A.

**Empresas colaboradoras con el proyecto:** Arauco, CMPC, JCE, LP, Lonza Quimetal, Pizarreño, Simpson, Tecbolt (Mamut), Ignisterra, Chilquinta, Cutek, Duomo, Energía Casablanca, Fleischmann, Forestal Arbolito, Fraunhofer, Glasstech, ICG, Leaf Panel, Longi Solar, Milesi, Mill-Chemical, Schneider, Sodimac-Homy, The Woods, TKO, Topwood.

**Superficie construida:** 150 m<sup>2</sup>

**Año:** 2018



GENTILEZA MINVU

Durante alrededor de cuatro meses, se fabricaron los entramados de madera ligera del edificio, para luego armar dos módulos por piso, a los cuales se les instaló el revestimiento exterior y parte del interior.



“muros envolventes” para edificios de vivienda en mediana altura de madera, con atributos de eficiencia energética y sustentabilidad certificados, para responder así al desafío país de reducir el consumo energético y disminuir la emisión de gases de efecto invernadero durante la construcción y vida útil de los edificios. “El proyecto apunta a varios objetivos, pero de manera transversal busca generar un cambio de paradigma en la forma en que se usa la madera en construcción de edificaciones de mediana altura, a través de la incorporación de atributos de alto estándar, como la industrialización, la innovación y la sustentabilidad”, comenta Erwin Navarrete, jefe de la División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional (Ditec) del Minvu, agregando que la torre será un aporte a la investigación, estudio y análisis desde el punto de vista estructural, en materias tales como: incorporación del sistema de anclaje sísmico (ATS), análisis del comportamiento dinámico, desarrollos de ingeniería para apoyar el traslado y montaje de los módulos, entre otros.

### DISEÑO Y OBJETIVO

La torre de casi 20 metros cuenta con seis pisos, de 18 m<sup>2</sup> cada uno aproximadamente, compuestos por dos módulos prefabricados que se ensamblan y componen un nivel, los que fueron montados uno sobre otro. Según señalan desde el CIM UC, en el primer nivel se ex-

plica el desempeño de la Torre en tiempo real, por medio de pantallas, información gráfica y audiovisual que ayudará a comprender su funcionamiento. En esta especie de showroom para los visitantes, se exhibirán los principales objetivos tras el proyecto, el desafío de un Chile sustentable y la construcción en madera en altura de alto estándar.

Los siguientes tres pisos (2, 3 y 4) están destinados de manera exclusiva a la investigación de la resistencia de la madera. Desde el CIM UC explican que por medio de sensores se medirán los índices de humedad, temperatura, corrientes de aire, nivel de luz, flujos de aire y ondas sísmicas que afecten a la Torre. Todos estos estarán conectados, mediante internet, a una estación meteorológica que medirá las variables durante un periodo de 18 meses. El quinto piso, en tanto, está habilitado para el público general. La idea es que en este nivel se pueda mostrar y compro-

## REGIONES

Una vez terminados los módulos, se transportaron a la Reserva Nacional Peñuelas para ser montados en el terreno. Ahí, primero se ensamblaron los dos módulos que componen un nivel, para luego montarlo sobre el piso inferior por medio del izaje con grúas pluma.



GENTILEZA MINVU

bar el estándar de calidad y confort de un departamento piloto en estructura de madera. Por esta razón, este nivel se encuentra amoblado y con completas terminaciones como revestimientos de muro y pisos de porcelanato, entre otros, siendo una especie de home-studio. Finalmente, el sexto piso es la terraza, la cual cuenta con paneles fotovoltaicos que generan energía eléctrica para todo el edificio. Desde acá además se puede tener una vista amplia a la reserva nacional Peñuelas.

Según se explica en un video informativo del CIM UC, la Torre tiene cuatro objetivos de estudio, uno de estos considera la investigación de siete variables de desempeño. La primera de ellas es el confort higrotérmico, que significa alcanzar una sensación de bienestar con respecto a las condiciones de temperatura y humedad al interior de la vivienda. En segundo lugar se quiere investigar la demanda energética (para calefacción y enfriamiento) que en este caso será suplida por medio de artefactos cuyo consumo eléctrico será abastecido en parte por los paneles solares ubicados en la terraza de la edificación. Otras variables son: los puentes térmicos, transmitancia térmica, estanqueidad al agua y hermeticidad del aire, permeabilidad al paso del vapor de agua y propiedades acústicas.

## CONSTRUCCIÓN

Según cuentan desde la Ditec, la Torre se prefabricó en planta casi en su totalidad. Durante alrededor de cuatro meses, se fabricaron los entramados de madera ligera del edificio, para lue-



GENTILEZA CIM UC

**La Torre se compone de seis niveles. El primero es un showroom para los visitantes, mientras que los pisos 2,3 y 4 están destinados a la investigación de la resistencia de la madera. El quinto nivel (en las imágenes) está adaptado al estilo de un home-studio. La idea es que en este piso se pueda mostrar y comprobar el estándar de calidad y confort de un departamento piloto en estructura de madera.**

## SISTEMA DE MUROS ENVOLVENTES

UNO DE LOS OBJETIVOS de la Torre Peñuelas es probar el desarrollo de un sistema de “muros envolventes” para edificios de vivienda en mediana altura de madera, con atributos de eficiencia energética y sustentabilidad certificados, para responder así al desafío país de reducir el consumo energético y disminuir la emisión de gases efecto invernadero durante la construcción y vida útil de los edificios. Según explican desde el CIM UC, este sistema de muros envolventes considera una

cámara de aire ventilada entre la estructura y el revestimiento exterior del edificio. Esto reduce la transmisión de calor hacia el interior, permitiendo mejorar el confort del usuario. El espesor está dado por uno, dos o tres distanciadores de madera aserrada de 2” y una capa de revestimiento exterior de madera acetilada Accoya de Leaf panel. Entre piso y piso existe una tapa con la posibilidad de abrirse o cerrarse herméticamente para estudiar las opciones.

La Torre Experimental Peñuelas busca identificar el mejor espesor de cámara y longitud de tramo de ventilación, de acuerdo con cada orientación, para bajar la transmisión de calor al interior del edificio.

**La utilización de madera como material estructural contribuiría a la sustentabilidad ambiental de la construcción, debido a sus cualidades inherentes. Y es que según explican desde el CIM UC, la producción de madera ayudaría a reducir los gases de efecto invernadero, debido a la capacidad de los árboles de absorber CO<sub>2</sub> de la atmósfera (capturan el C y luego liberan O<sub>2</sub>) durante su crecimiento.**

go armar dos módulos por piso, a los cuales se les instaló el revestimiento exterior y parte del interior. “En paralelo a esto se fabricaron las fundaciones de hormigón armado en terreno, la única obra húmeda de la construcción, necesaria para anclar los módulos a la base y separar la estructura de la humedad de la superficie del suelo”, explica Navarrete. Una vez terminados los módulos, se transportaron a la Reserva Nacional Peñuelas para ser montados en el terreno. Ahí, primero se ensamblaron los dos módulos que componen un nivel, para luego montarlo sobre el piso inferior por medio del izaje con grúas pluma. Mientras se montaban los pisos superiores, se trabajaba en las instalaciones y terminaciones interiores finales de los pisos para hacer más eficientes los tiempos. “El montaje, sin incluir la terraza que fue montada de manera tradicional, se realizó en cinco días. Ahí se incluyeron, además, las unidades modulares y la conexión, más la escalera que fue montada en terreno”, cuenta Mario Yáñez, gerente de Ingeniería de Tecno Fast S.A., empresa que se encargó de la construcción del proyecto. Durante esta etapa fue de gran relevancia el uso de módulos abiertos, pues era necesario calzar elementos con extremos, sin restricciones de movimiento entre sí. Según explica Juan José Ugarte, director del CIM UC, para esto se planteó “conectar los dos módulos de cada piso en una plataforma sobre nivel de terreno, que permitiría solucionar, en parte, la restricción de movimiento del módulo durante el izaje y, además, realizar trabajos asociados a la instalación de revestimientos exteriores sin requerir de un andamio en el perímetro de la torre; esto supone un ahorro de costos sustancial en gastos por arriendo de andamiaje”.

La utilización de madera como material estructural contribuiría a la sustentabilidad ambiental de la construcción, debido a sus cualidades inherentes. Y es que según explican desde el CIM UC, la producción de madera ayudaría a reducir los gases de efecto invernadero, debido a la capacidad de los árboles de absorber CO<sub>2</sub> de la atmósfera (capturan el C y luego liberan O<sub>2</sub>) durante su crecimiento. En segundo lugar, la optimización de los procesos en la industria forestal y la capacidad de prefabricación de elementos constructivos habrían logrado reducir los residuos sólidos en la producción y generación de desperdicios en la etapa de construcción. Por último, los elementos de madera son potencialmente reutilizables y reciclables en la fase de demolición del edificio. En el caso específico de la torre, una ventaja relevante para la industrialización de la vivienda en Chile, es el hecho de que la madera, al ser liviana y altamente manipulable, facilitó la construcción prefabricada. “Esta última es un sistema más productivo de construcción, más rápido que los sistemas tradicionales de construcción que actualmente se usan en Chile, con edificaciones en terreno, en donde los procesos son menos controlados y algunos requieren fraguado que generan mayores tiempos y más mano de obra”, comenta Yáñez, agregando que, por ejemplo, un edificio de seis o siete pisos en construcción tradicional, podría tardar al menos un año en construcción mientras que con un sistema modular en madera, se puede acortar ese plazo a solo tres meses, lo que per-



El sexto piso es la terraza, que cuenta con paneles solares que generan energía eléctrica para todo el edificio. Desde este mirador además, se puede tener una vista completa a la reserva nacional Peñuelas.



GENITILEZA CIM UC

mitiría tener edificios en funcionamiento mucho antes de lo acostumbrado.

El gerente de Ingeniería de Tecno Fast S.A. además destaca la calidad del material e invita a derribar algunos mitos. “Hay una mala creencia que la madera no es resistente al fuego, sin embargo, que sea combustible, no significa que no lo resista. Los diseños hoy cuentan con barreras de control que protegen la madera, por lo que, en caso de incendio, resisten al menos dos horas de exposición al fuego”, explica, agregando que es un material económico de fácil acceso y el desafío que se viene por delante es construir viviendas sociales en altura con la nueva tecnología en madera.

## DISEÑO SÍSMICO

Desde el punto de vista del diseño sísmico, la torre se proyectó bajo los mismos estándares que un edificio de cualquier otra materialidad ubicado en la misma locación, la que se caracteri-

za por ser una zona de alta amenaza sísmica por su cercanía a la costa. Desde la Ditec explican que un aspecto clave en el cumplimiento de las disposiciones en la norma sísmica de edificios es el límite al desplazamiento relativo de entrepisos (drift). En ese sentido y con miras a cumplir de mejor manera los límites admisibles de deformación lateral, se implementó por primera vez en Latinoamérica un sistema de rigidización de muros denominado Anchor Tie-Down System (ATS), el cual permite dotar a los muros resistentes a fuerzas laterales, de las características necesarias de rigidez para satisfacer las demandas requeridas de deformación horizontal y volcamiento. “El sistema ATS, ampliamente utilizado en Canadá y Estados Unidos en edificios de madera en marco plataforma de hasta seis pisos, consiste en una barra de acero roscada (strong rod) instalada en el interior de los muros estructurales, que recorre el edificio en toda su altura, desde el primer al último piso. Las barras se unen entre sí por placas de soporte, coplas y tuercas, combinadas con dispositivos de compensación de efectos de la contracción que suelen verse en estos tipos de estructuras”, explica Ugarte. El director del CIM UC señala que el sistema ATS también supone un importante desafío al ser un sistema de anclaje sísmico para

estructuras de sistema marco plataforma que se compone de barras de acero con hilo que se embeben en la fundación y se acoplan uno en cada piso, dentro de muros estructurales en sus extremos. “El ATS cuenta con elementos de compensación de asentamientos y encogimiento de la madera llamado “Take Up Device” (TUD) que aseguran que la tensión en el sistema se mantenga constante en todo momento; se completa en el último nivel con el “Ratcheting Take Up Device” (RTUD), que consta de una tuerca que se fija a la estructura mediante una placa y tornillos, que es capaz de dejar subir la barra de acero para tensar, pero la retiene hacia abajo mediante un sistema de trinquetes”, explica Ugarte, agregando que el sistema funciona como tensor para resistir los esfuerzos de volcamiento de la torre ante la acción de cargas de viento y eventos sísmicos.

### FUTURO DE LA TORRE

El proyecto busca demostrar, de manera experimental, la eficiencia constructiva de la edificación con madera, en cuanto a tiempos, eficiencia energética y comportamiento dinámico estructural. “Desde el punto de vista constructivo, se busca demostrar que la industrialización y la construcción prefabricada con madera, en contraste con la construcción tradicional, pueden acelerar el proceso, mejorar los controles de calidad y lograr mejores resultados con un menor impacto negativo en el medioambiente y las sociedades”, explica Erwin Navarrate.

Adicionalmente y desde el punto de vista de investigación sísmica, el estudio de la torre permite continuar avanzando en la comprensión del comportamiento dinámico de los edificios de madera frente a condiciones de alta sismicidad. “Específicamente, la torre se va a monitorear mediante varios esquemas de instrumentación que permiten capturar, en primera instancia, sus propiedades dinámicas, tales como períodos de vibración, formas modales, razones de amortiguamiento, entre otras”, detalla el jefe de la Ditec del Minvu. Esto permitiría potenciar el uso del material noble en el sector. En esta línea, Mario Yáñez, de Tecno Fast S.A. comenta que si bien es común pensar que la madera podía ser utilizada solo para viviendas o módulos de baja altura, la experiencia de su empresa, que ha experimentado y participado en proyectos como el de Peñuelas, muestran que “la madera es un material resistente, pero de bajo peso propio, lo que hace que pueda verse poco afectada por un sismo”.

En términos de innovación, desde el CIM UC señalan que se ha pensado instrumentalizar la torre con diferentes equipos y dispositivos funcionando en paralelo, que permitan al mismo tiempo, capturar la respuesta del edificio en cuanto a desplazamientos relativos de pisos mediante diferentes sistemas; en este sentido, se utilizarán desde los más tradicionales, hasta los más vanguardistas, todo esto con el objetivo de establecer comparaciones entre los mismos, en términos de eficiencia y precisión técnica versus costo de implementación.

Así es la nueva Torre experimental de Peñuelas, la primera obra de seis pisos construida íntegramente en madera que busca demostrar científicamente el alto desempeño de este tipo de edificaciones en aspectos como el confort interior, comportamiento anti sísmico y efectividad de su sistema industrial de construcción, entre otros. ■

**PILOTES TERRATEST**  
TERRA FOUNDATIONS

LÍDER EN FUNDACIONES ESPECIALES

AENOR Empresa Especializada EN PILES AENOR Empresa Especializada EN PILES

CERTIFIED IONET FOUNDATION

**EDIFICIO CIVITAS VITACURA**

ENTIBACIÓN CON PILOTES PRE-EXCAVADOS Y ANCLAJES POSTENSADOS TEMPORALES

Pilotes Terratest es una empresa del grupo

**TERRA FOUNDATIONS**  
www.terrafoundations.com

comercial@terratest.cl

www.terratest.cl