

FORUM MADERA CONSTRUCCIÓN ESPAÑA

39 Fórum Internacional de Construcción con Madera

Pamplona (ES)

1/2 junio 2023

BFH BIEL
TH ROSENHEIM
NI AALTO HELSINKI
TU MUNICHEN
C PRINCE GEORGE
TU WIEN
UNAV NAVARRA

Editor: FORUM **HOLZBAU**
Bahnhofplatz 1
2502 Biel/Bienne
Suiza
T +41 32 327 20 00

Coordinadores: José Manuel Cabrero Ballarín
Ibán Carpintero López

Maquetación: FORUM **HOLZBAU**, Simone Burri, Katja Rossel

Imprenta: EASYGRAF
Helsinki, 10
28232 Las Rozas (Madrid)
España
T +34 916 407 625

Tirada: 400 Ej.

© 2023 by FORUM **HOLZBAU**, Biel/Bienne, Schweiz
ISBN 978-3-906226-53-8

www.forum-holzbau.com | www.forum-holzkariere.com | www.forum-holzbranche.com |
www.forum-holzwissen.com

Indice

BLOQUE 1

Madera: el material del s. XXI

El futuro es aquí y ahora. Retos y peligros 09

Salvador Ordoñez / Fundador de World Wood Future

World of Volvo, beyond the limits 15

Martin Ringner, Filip Francati / Henning Larsen architects; Pol Cearra / WIEHAG

Tres ejemplos de proyectos en masstimmer: Italia, Australia y España 29

Albino Angeli / ingeniero / XLAM dolomiti

BLOQUE 2

Nuevos horizontes para la construcción con madera

Arquitectura sanitaria con madera. Centro de Urgencias A Laracha 49

Cristina Ouzande / Ezcurra e Ouzande arquitectura

Be Factory: a timber-made hub for innovative business in Trentino 61

Roberto Modena / ingeniero / RUBNER

La madera en edificios de oficinas. T3 y VEGA 75

Albert Gil / arquitecto / Batlleiroig

BLOQUE 3

Proyectar y construir con madera

Timber-concrete composite structures 93

Alfredo Dias / Universidad de Coimbra

Estrategias de diseño y puesta en obra. Casos prácticos 99

Jorge Blasco / arquitecto / m103 / Universidad Politécnica de Cataluña

Fire resistance of timber structures according to new Eurocode 5 115

Alar Just / Tallinn University of Technology

BLOQUE 4

Madera y ciudad sostenible

Industrializar con madera. La perspectiva del promotor 127

José María Quirós / Delegado de Industrialización / AEDAS Homes

La ciudad experimental de Bad Aibling (Alemania) 137

Luis Bencomo / B&O Gruppe

Vivienda pública industrializada con madera 149

Daniel López / IMHAB (Instituto de Vivienda de Barcelona)

BLOQUE 5

Innovación y Desarrollo

Impulso Verde, edificio de Consumo casi Nulo y km 0 159

Antonio Lara / arquitecto / Universidad Politécnica de Madrid

Viviendas sostenibles para todos. Un salto tecnológico 173

Alberto Barba / arquitecto / GROPYUS

PONENTES

Salvador Ordóñez Valdés

c. Rector Bartrina 17
08340 Vilassar de Mar (Barcelona, ES)
+34 630 949 691
salvador@prowood.cat

Filip Francati

Henning Larsen Architects
Vesterbrogade 76, 4th floor
1620 Copenhagen (DK)
+45 20852341
FF@henninglarsen.com

Albino Angeli

XLAM dolomiti
Viale Venezia, 35 Località Produttiva I
38050 Castelnuovo (IT)
+39 348 70 55 802
Albino.Angeli@xlamdolomiti.it

Roberto Modena

RUBNER
A. Ammon str., 12
39042 Bressanone (IT)
+39 0472 822666
roberto.modena@rubner.com

Alfredo Dias

Universidade de Coimbra
Rua Luis Reis dos Santos 290
3030-790 Coimbra (PT)
+351 2398598
alfgdias@dec.uc.pt

Alar Just

Taltech
Möldre tee 2-9
10915 Tallinn (EE)
+372 5031171
Alar.just@taltech.ee

Luis Ramón Bencomo

B&O Bau Bayern GmbH
Dietrich-Bonhoeffer-Str. 14
83043 Bad Aibling (DE)
+49 (0)15256895221
l.bencomo@bo-gruppe.de

Antonio José Lara Bocanegra

Universidad Politécnica de Madrid / ETS
Arquitectura
Avda. Juan de Herrera, 4
28040 Madrid (ES)
+34 910675016
antoniojose.lara@upm.es

Pol Cearra Múgica

WIEHAG
Larrauri 1-A
48160 Derio (Vizcaya, ES)
+34 946 18 10 13
p.cearra@wiehag.com

Martin Stenberg Ringnér

Henning Larsen Architects
Vesterbrogade 76, 4th floor
1620 Copenhagen V, (DK)
+45 60352128
MSTR@henninglarsen.com

Cristina Ouzande Lugo

Ezcurra e Ouzande arquitectura
Rúa do Vilar, 2
15704 Santiago de Compostela (A Coruña, ES)
+34 881031451
info@ezcurraouzande.com

Albert Gil Margalef

CEO & Senior Partner de Batlleiroig
Carrer de Manuel Florentín 15
08950 Esplugues de Llobregat (Barcelona, ES)
+34 93 457 98 84
ana.badia@batlleiroig.com

Jorge Blasco Miguel

Estudi m103, SLP
Avda. Madrid, nº 103-105 - entresuelo 2ª
08028 Barcelona (ES)
+34 93 409 34 12
jorge.blasco@m103.es

José María Quirós

AEDAS homes
Paseo de la Castellana 130 pl. 5
28046 Madrid (ES)
+34 649 913 893
jmquiros@aedashomes.com

Daniel López Valdés

IMHAB (Institut Municipal d'Habitatge i
Rehabilitació de Barcelona)
Doctor Aiguader 36
08003 Barcelona (ES)
+34 93.291.85.29
dlopez@imhab.cat

Alberto Barba Guerrero

Gropyus AG
Barichgasse 28
1130 Viena (AT)
+43 660 977 8492
Alberto.barba@gropyus.com

JUEVES, 1 de JUNIO

BLOQUE 1

Madera: el material del s. XXI

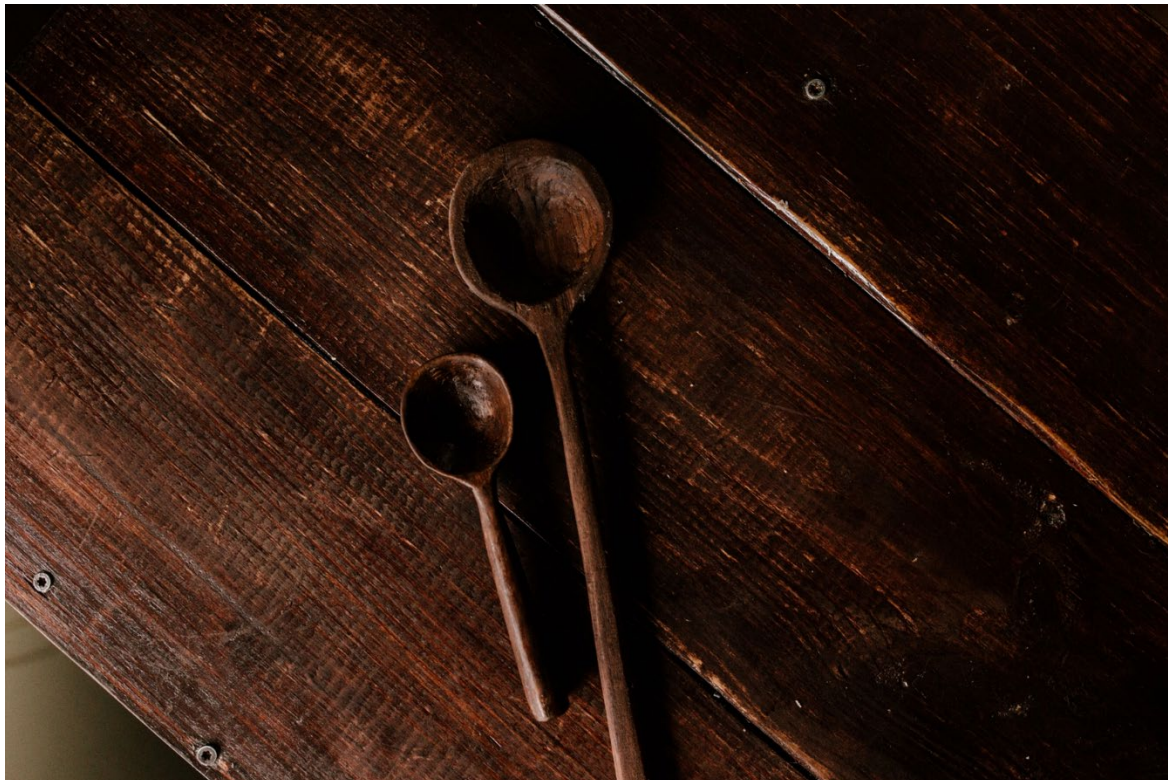
El futuro es aquí y ahora. Retos y peligros.

Savador Ordóñez
WORLD WOOD FUTURE
Cataluña, España



El futuro es aquí y ahora. Retos y peligros.

1. Estamos ahora aquí gracias a ella



- 1.1. ¿Qué os puedo decir que no sepáis, o que no hayáis oído ya antes...?
- 1.2. Tal vez, que hoy estamos aquí gracias a la madera.
- 1.3. Cuando pensamos en madera se nos aparece un árbol majestuoso, o un bosque impresionante... Tal vez también pensemos en un pavoroso incendio.
- 1.4. Pero vamos a adentrarnos un poco más en este material extraordinario, vamos a mirar a través de él... desde la noche de los tiempos...
¿Sabéis que la fisiología de los árboles actuales funciona exactamente igual desde hace 370 M años? Nos preexisten. Están ahí porque son un invento genial de la vida. Una máquina perfecta: funciona sola día y noche todos los días del año. Autoregenerable, autoregurable...
- 1.5. Tanto es así que desde nuestros orígenes estamos aprovechando sus recursos; empezando porque uno de nuestros pulmones funciona gracias a oxígeno que fabrican los bosques. El otro, gracias al que generan los océanos (que, por cierto, también estamos poniendo en riesgo).
- 1.6. Seguramente, uno de los primeros usos debió ser utilizar un tronco como arma. Sorprendente debió ser también ver ardía y nos permitía calentarnos o cocinar
- 1.7. Con ese mismo material fabricamos uno de los objetos más universales: una cuchara. Cocinar aumentó nuestro rendimiento en todos los aspectos, y empezamos a quitarle espacio al bosque para poder cultivar cereales.
- 1.8. Las armas, también evolucionaron en eficiencia, pero aún teníamos tiempo para fabricar sencillos juguetes, como la peonza.

- 1.9.** Nos maravillaba ver todo lo que podíamos construir con ese material que estaba por casi todas partes (su adaptación a casi todos los ecosistemas es asombrosa: más de 22.000 especies de árboles en el planeta; todos parecidos y todos diferentes.
- 1.10.** Nos ha permitido hacer desde objetos sencillos y muy útiles como una pinza, hasta máquinas muy complejas, como grúas, norias, telares...
- 1.11.** Maravillados debimos quedar cuando observamos que podía emitir sonidos y crear con ella la más sublime belleza.
- 1.12.** Pronto descubrimos que, además, flotaba, y ello nos permitió empezar a navegar para llevarnos muy lejos.
- 1.13.** Cuando queremos guardar algo valioso muchas veces lo hacemos en una caja de madera. Cuando queremos construir algo, tender un puente, guarecernos, meditar, trabajar o simplemente reposar, la madera ha sido y sigue siendo ese material amigable y acogedor.

2. Retos y peligros



- 2.1.** Con tanto uso (antes se le llamaba EXPLOTACIÓN; ahora, GESTIÓN) los bosques ya no son como los originales de antes. La mayoría son bosques HUMANIZADOS.
- 2.2.** La madera en sí tampoco se nos presenta como antes. Hoy la madera es uno de los materiales más tecnológicos que hay combina perfectamente con otros materiales y tecnologías. Hoy, con madera o con sus derivados se puede fabricar o construir casi todo, hasta viajar por el universo. Como siempre ha sido.
- 2.3.** Pero todo esto es para nuestro propio uso y disfrute, ¿Qué pasa con el planeta Tierra? Pues que en él todo "sirve" para algo, y todo está relacionado y equilibrado ¿Y qué ocurre con los desequilibrios? Pues que se pagan caros.
- 2.4.** La sobreexplotación, el desconocimiento del material o esa codicia que tanto nos caracteriza, nos pueden llevar a perder esta oportunidad histórica que nos brinda la madera.

- 2.5.** Algunos hándicaps derivan de ella misma y se pueden evitar fácilmente, como el fuego o las termitas. Otros problemas pueden derivar de nuestra falta de formación o experiencia con este material, como el caso que Oriol Palou nos explica qué ocurrió en el Siemens Arena, en Ballerup, Dinamarca el 2003.
- 2.6.** Igual que en la piel de una persona se ve su historia personal, en la piel de nuestro planeta, la biosfera, se ve nuestra historia colectiva. Estamos tomado conciencia y reaccionando. Pero no seamos catastrofistas. Seamos posibilistas y comprometidos. Surgen nuevas miradas, nuevos modelos, nuevas oportunidades...
- 2.7.** El bosque es el mejor modelo de economía verde y circular. ¡Imitémoslo! Ecosistemas, redes, competición...
- 2.8.** Las administraciones están invitándonos a participar en un cambio que requiere su financiación y nuestras ideas, ambas al mismo tiempo. Creemos y fortalezcamos lazos y estrategias entre el tejido empresarial y el sector forestal y maderero industrial. Así generaremos más impactos positivos medioambientales, sociales y económicos en nuestro territorio, en nuestro ámbito urbano y no urbano.
- 2.9.** Tal vez no volvamos a tener aquel planeta verde y azul, pero si tocamos madera podemos reconstruir un planeta más humano y habitable.
- 2.10.** En definitiva, aprender es adquirir nuevas competencias que nos permitan actuar con éxito en un nuevo escenario (que CAMBIA constantemente). ¿Hablamos?

World of Volvo, Gothenburg – Pushing the Boundaries

Pol Cearra
WIEHAG
GmbH
Altheim, Österreich



Martin Stenberg Ringnér
Henning Larsen Architects
Copenhagen, Denmark



Filip Francati
Henning Larsen Architects
Copenhagen, Denmark



World of Volvo, Gothenburg – Pushing the Boundaries

1. Purpose of the Building and Architectural Intent

1.1. General

The World of Volvo is a unique experience center and meeting place for the famed Swedish brands, Volvo Cars and Volvo Group in Gothenburg that puts its focus on Scandinavian landscape, environment, and traditions.

After winning the interview competition for World of Volvo in late 2018, Henning Larsen started with the development of this new landmark building for Gothenburg.

"This project is incredibly special to us," says Søren Øllgaard, Design Director at Henning Larsen. "With its deep connection to Scandinavia, from its landscapes to its architectural tradition, World of Volvo has given us the opportunity to explore the profound relationship between architecture and the natural environment."



Picture 1: Rendering - Southwest view

World of Volvo will unite the brands of Volvo Group and Volvo Cars to share the history, tradition, and future of the famed Swedish brand in a single structure. It will be an embodiment of the Volvo brand values and aspirations.

"We commit to create a landmark, a new icon and destination in the city centre of Gothenburg. We also commit to gathering people in an inspiring meeting place reflecting Volvo's human centric approach and perspectives. Our aim with World of Volvo is to deliver a premium experience in a place where we combine entertainment; exhibitions, talks, conferences, and music, as well as food, drinks and shopping says Magnus Wrahme CEO at World of Volvo."

Located in Gothenburg's Event district (home to many of the city's museums, parks, and entertainment venues), the project is expected to be completed in late 2023 and open to visitors in 2024.



Picture 2: Rendering – Interior view to one of the tree trunks

1.2. Allemansrätten

World of Volvo is designed around the Swedish concept of “Allemansrätten”, (Jedermannsrecht in German) denoting the fundamental right that all citizens share to nature: the right to roam freely on any land (public or private), showing consideration for nature and for others. This tenet has become not just a right, but a central part of the Swedish ethos and one that lives in citizens, businesses, and organizations alike – Volvo included.

The circular form of World of Volvo, encompassing both care of nature and consideration for people, encourages visitors to make their own experience both inside and outside, regardless of whether they hold tickets to the exhibitions inside.

“Our goal was to give form to something very essential to the Swedish spirit. World of Volvo’s circular form, the timber materiality, its integration with the landscape, and, fundamentally, its openness – these things are all parts of a core collective identity,” says Martin Stenberg Ringnér, Associate Design Director, Sweden.

World of Volvo’s timber construction is at once the most forward-facing and most traditional element of the project. While Sweden (like many Nordic countries) has a long tradition of timber construction, World of Volvo takes a decidedly modern approach. The beams and columns are built from glulam timber. Computer-controlled fabrication allows the curved glulam pieces to be cut with a high degree of precision. Rigidity and continuity in the structure is guaranteed with metal connectors that can be hidden inside the wooden members. The floor and roof slabs are made of locally sourced CLT, cross laminated timber.

1.3. Embracing Swedish Nature

The reference to nature in the arcing “branches” and roof “canopy” is by design, with the concept for the structure centered around the idea of The Mountain (the landscape and building’s base) and The Tree (the building itself.)

The large landscape that surrounds the building brings the nature of Sweden to the center of Gothenburg, covering the area in delicate flowers and native plants that bloom between, rocky outcroppings and meandering paths. And just like in the landscapes across the country, visitors are encouraged to inhabit the landscape however they like, keeping in mind the principle of *allemansrätten*: leave no trace.



Picture 3: Landscape on top of main roof plus pavilion

The approach brings a native piece of Swedish nature to the middle of the city of Gothenburg. The landscape, from the Swedish quarries and the wooden structure, built with the pine trees, moss, and shrubs of the Swedish forest, make up the nature surrounding World of Volvo.

Growing out from the Mountain are three vast “Trees”, their trunks large enough to contain small exhibit spaces, vertical circulation, brand exhibition, and service functions. The open space between the trees is left largely empty, save for sculptural stairs (the fertile Swedish forest floor) that link the level and exhibit items that dot the floor. The interior space blends smoothly with the outdoors, a floor-to-ceiling glass façades creating a seamless transition into the sprawling nature beyond.

A fundamental conceptional target was to build a meeting place. What a fabulous idea to create with three tree trunks a memory to the meeting place many years ago (as per picture 4).



Picture 4: "Meeting place" – many years ago

1.4. A New Icon for Gothenburg

Located along Mölndalsån, the site for World of Volvo links to a promenade that traces the stream's eastern bank up to Gothenburg's city center. A number of green and functional cross-links of different types connect both sides of the river, allowing visitors to wind their way towards the site as they choose. While these links promote physical accessibility for walking and cycling, they also restore Mölndalsån's and visual connectivity.

On the other side of World of Volvo site passes the E6 highway, from which travellers will catch a high-speed glimpse of the project's tilted roof and exhibitions inside (Picture 5). Whether passing from the east at 80km/h or from the west at 5km/hm the building doesn't fully reveal all its spaces from within. It is up to the visitors to make their way and determine their own experience.



Picture 5: Rendering – northeast view from the highway

2. Design, Fabrication and Install of the Timber Structure

2.1. 2.1 Total Stability

When WIEHAG joined the design team, the total stability of the timber structure was first challenge to solve.

The vertical loads are transferred from the roof beams to the façade columns and tree trunk columns.

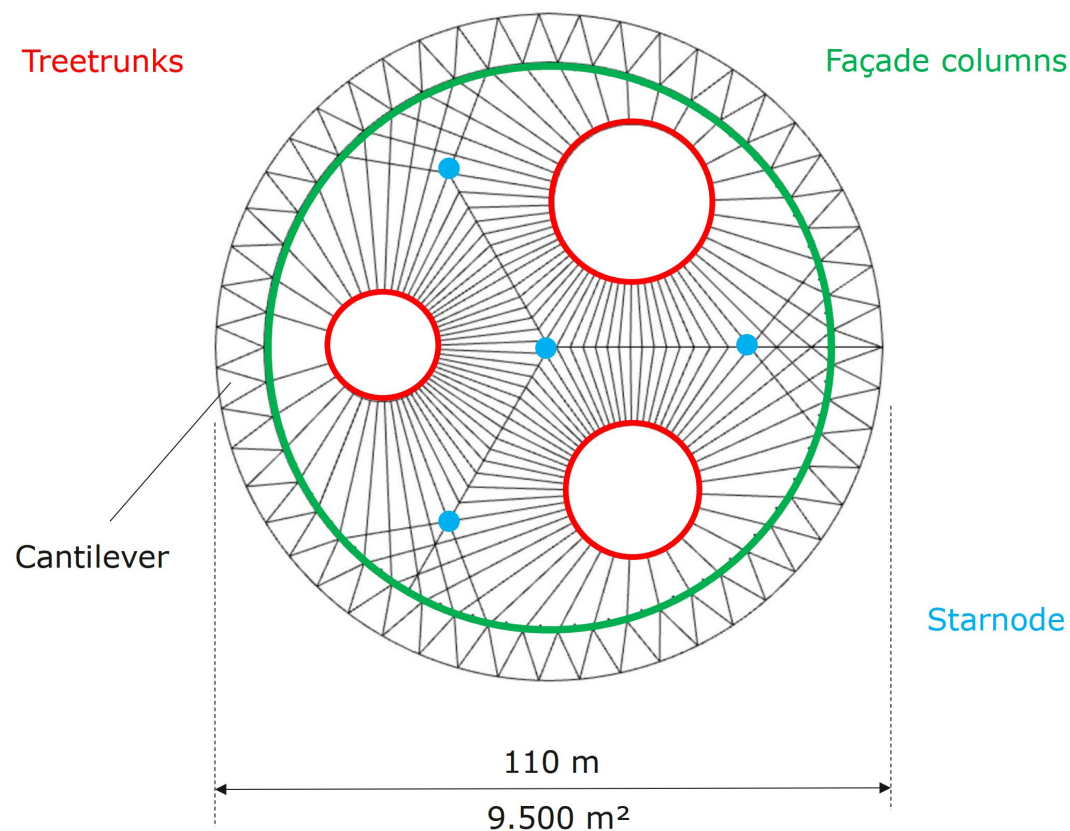
As there is another building (the pavilion) standing on top of the main hall, plus a quite organic shaped park landscape on the main hall roof, the loadings onto the main hall structure rolled out as fairly extreme.

The beam layout of the main hall has a kind of regularity (see picture 6). WIEHAG tried out several options of where to make the beams continuous, where to splice them and where to put pinned or moment rigid connections. At the end of the process, we decided on rigid star nodes in the location of the worst deflection, and to make all beam junctions as moment rigid. This means there is not a primary / secondary hierarchy, as it is a moment rigid grid.

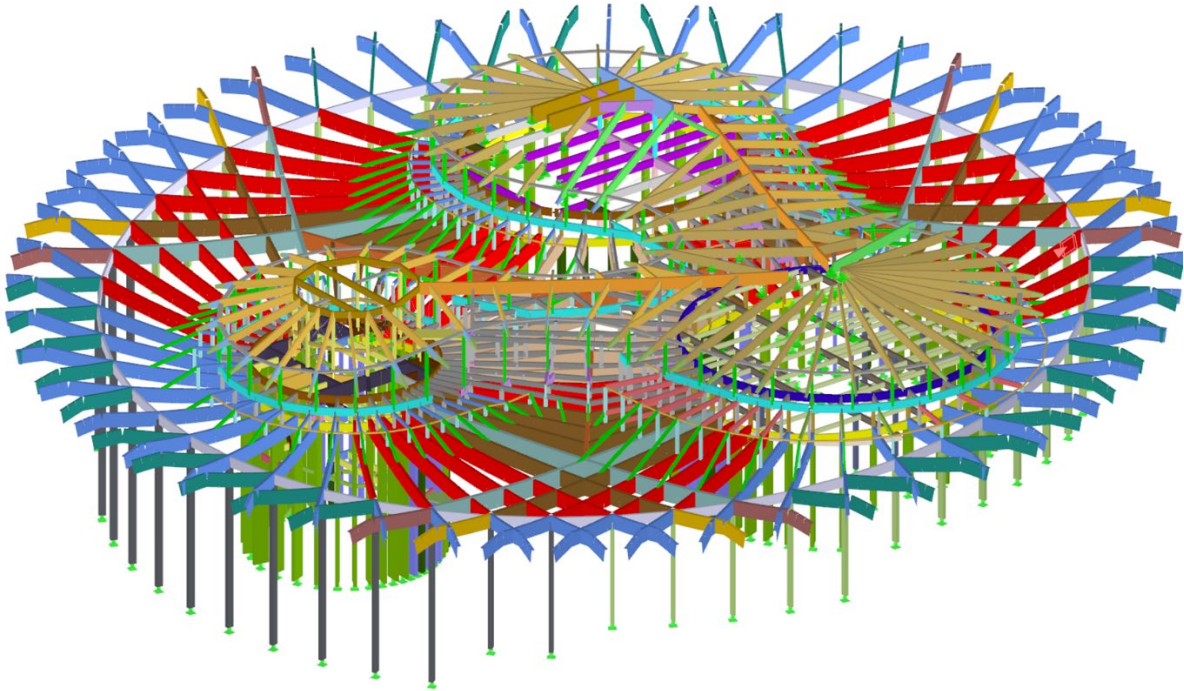
There was a strong architectural requirement for “no bracing” in the façade line, and whilst bracing in this outer circle would have been an immense help with achieving total stability, it would not have met the architects vision: Plus, if it had been easy, WIEHAG would not be on the job!

Therefore, the total lateral stability is achieved with a combination of portal frames with moment rigid corners, and the diaphragm action of the CLT roof deck.

The cylindric form of tree trunks with the tension ring on top also gives some lateral stability, as it works similarly to a huge vertical tube. All columns are pinned at the base connection using WIEHAG’s neat factory fitted connectors.



Picture 6: Plan view – Beam layout of main hall



Picture 7: Total 3D structural model (Dlubal)

2.2. Details

The corner connection of column to beam is not only the architectural signature detail, but also the most important structural connection. With forces of up to 2,300 kNm being taken by this connection.

We decided on a machined curvature, rather than to manufacture it as a banded solution, which would have resulted in very thin 15mm deep laminations, in lieu of the standard 41mm deep lamination that Glulam is manufactured from.

Steel plates with inclined screws take the tension and in combination with a defined compression zone, the moment can be transferred from the beam to the column. Screws for shear forces and very long reinforcement screws perpendicular to the grain, complete this highly engineered detail.

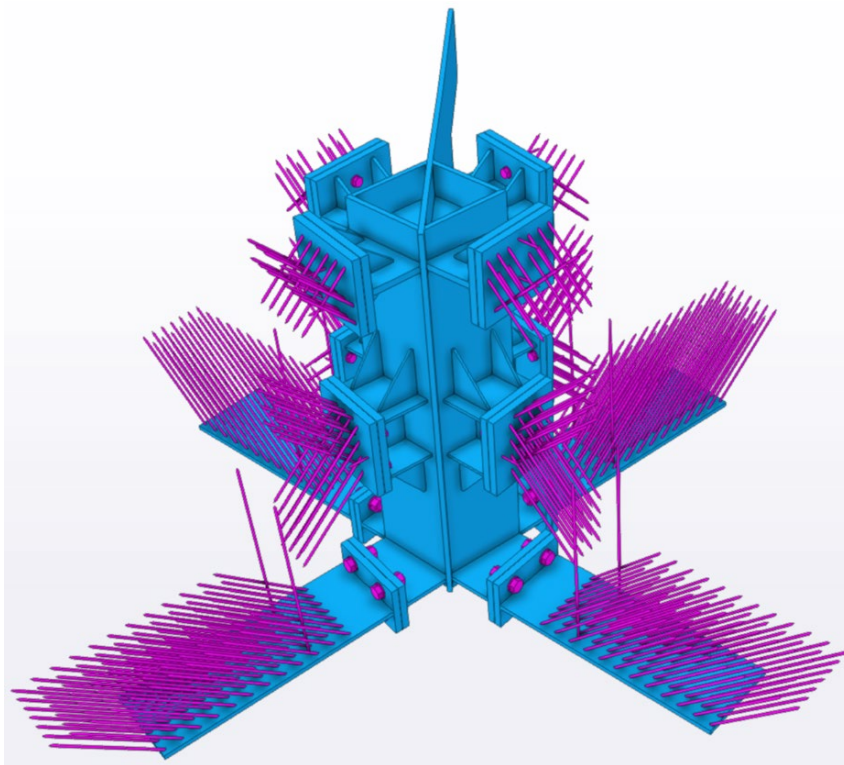


Picture 8: Curved corner connection during installation



Picture 9: Tree trunk corner as signature detail, all steel connectors are embedded

The Star node turned out at as a real beast (see picture 10)! As you can see the moments lead to high tension forces at the bottom and plenty of screws. We analyzed the node itself with FEM to ensure that we have the proper plate thickness.



Picture 10: Star node

If you are working with these high reactions, you have no chance with minimally invasive or standard connectors. Instead, it automatically leads to using really heavy steel nodes and very long screws.

The steel parts are all embedded and preassembled, meaning that almost all of the screws are precision installed at the factory. However, some bolts are site fixed, and therefore you need to get access to them during the installation phase. To cover these access areas, we used more than 4,000 timber infill panels made of three-layer boards (see picture 11). They are all test fitted in the factory to match with the direction of the grain. On site they have been removed and temporary fixed just next to the connection. We have learnt through experience that this is a good idea, as it avoids a logistics nightmare or puzzle game! However, the exposure to UV light could lead to lighter marks on the beams surface where the boards have been temporary fixed (like a visible hand on a sunburn). Therefore, this exposure to UV should be as short as possible.

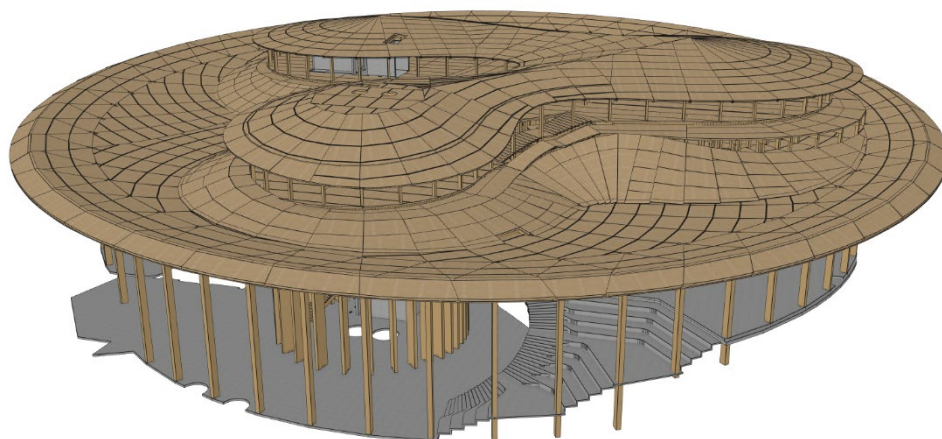


Picture 11: Cover plates around star node

2.3. CAD Model

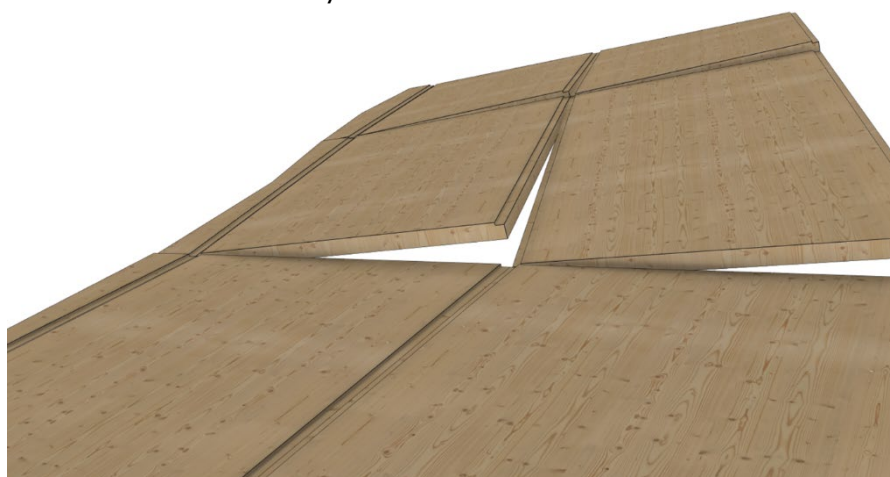
How do you start the CAD design on such a complex organic structure which goes over various levels? You need to start somewhere with a frozen line or frozen points: in our case that was the top line of the roof beams in the main hall and the column base points. Two of WIEHAG's engineers worked for more than a year to complete the 3D model, shop drawings and installation drawings. In total almost 9,000 drawings have been generated by WIEHAG for the timber structure.

Cadwork and parametric design were combined to create the 3D model, and the cloud-based BIM platform "Trimble Connect" was used to coordinate the timber model with other trades, which was vital to effectively deal with interfaces of the different packages.



Picture 12: 3D CAD model

The requirement to warp the CLT roof slabs, raised the question of how to implement that in the model? If you draw it warped in the model you also require additional flat shop drawings for fabrication. So, we decided instead to only draw it flat in the model. This means only three points of the panel are sitting on the glulam, which looks a bit funny, but works in the end! (See picture 13). We also tested the warping with a mockup to be sure that it can be easily installed on site.



Picture 13: Close-up: CLT - Warping

2.4. Fabrication & Shipping

The glulam is made of PEFC certified European Spruce, with a strength class of up to GL30c. Most of the glulam's is block glued due to the wide cross-sections.

Although one of our five giant CNC machines was completely reserved for this job, it turned out that this was the bottle neck during the fabrication process. However, we had factored in for a decent buffer of the product, which was stored at our factory and prevented any production related delays on site.

The pre-assembling of steel parts at the factory is very important in order to enable a quick and safe installation on site, as well as resulting in clean and neat connections.

The Glulam was shipped 1,400 km from WIEHAG's Factory in Altheim, Austria to Gothenburg. Thanks to Stora Enso's Swedish facility in Grums, whereas the CLT only had to travel 220 km. The max beam length of 33m was not a real challenge as the final route from the motorway to the site was wide enough for the turning circle of the vehicles. WIEHAG organized the permits, escort cars and night deliveries which were required for delivering these long span elements with the minimal disruption.

Obviously, only Volvo trucks were used for all deliveries of this package!

2.5. Installation

Three tower cranes were available for all of the trades, so effectively WIEHAG could use on average 2 tower cranes at any one time. Numerous MEWP's of different sizes provided safe access to the connections.

The 2,200 Glulam and 2,750 CLT single items were installed within 28 weeks. This is a really speedy mixed rate of only 20 minutes per item, using two cranes and 2 crews.

Only 65 printed installation drawings were provided for the crew on site, which is very few in relation to the scale and complexity of the project, and underlines how much prefabrication as carried out offsite by WIEHAG.

Nowadays tablets and mobile phones are complementing the large, printed drawings, plus "Trimble connect" and Stora Enso's software "CLT360" were also of great help with coordinate the installation and illustrates how the industry is embracing this new technology.



Picture 14: Birdsvie during installation of timber structure

The minor challenges that occur on any project were quickly solved with screensharing between WIEHAG's engineers in Austria and the team on site.

As water is the greatest enemy of timber, proper water management and temporary protection is vital to maintain the quality of the timber structure during the installation phase. A factory applied two pack clear hydrophobic UV coating was used to protect the glulam during the rainy days in Gothenburg.

The joints of the CLT were taped in one go with the installation. But of most importance was the good coordination with WIEHAG and the roofer, who was closely following us to apply the watertight membrane. On days with a sunny forecast, we could even forget about the temporary tapes as the roofer was so quick!

Please see picture 14 where you can see the black bituminous membrane which was adhered onto the CLT to form a weather tight barrier.

2.6. Summary

WIEHAG are globally acknowledged as one of the leading pioneers in timber engineering, and are constantly seeking to push the boundaries using this sustainable, renewable, low carbon material. With the combination of scale and complexity, the World of Volvo is definitely one of these projects, elegantly demonstrating what is possible with sustainable timber design. The team has created an outstanding building that is sure to influence and encourage forward thinking clients and Architects to build in timber for years to come.

"Architecture is currently in the midst of a timber renaissance, with new milestones in timber construction being reached at breakneck pace," explains Filip Francati, Lead Design Architect at Henning Larsen. "But despite strides in structural development, aesthetic expression hasn't kept pace. World of Volvo has been an exciting opportunity to push the boundaries and we hope that it can set a new standard for the many ways we can use timber in architecture."

To make projects like this happen needs early engagement, collaboration and teamwork between all parties (plus a bit of luck!). Henning Larsens Architects approach met exactly with the clients requirements, and were brave enough to decide on timber.

Lindner Scandinavia led by Stefan Abrahamson, provided the key package of works for the project, including WIEHAG's structural timber, the ceilings and the façade. Their contribution to the whole process was crucial to keep the project on track.

The local builder BRA Bygg conducted this complex orchestra of so many different trades to a beautiful piece of music!

And most important of all, the great and generous idea of Volvo to invest in such a high-quality landmark building to the city of Gothenburg.



Picture 15: Teamwork; Design workshop incl mock up presentation at WIEHAG's factory

2.7. Impressions



2.8. Facts

Project name: World of Volvo

Client: World of Volvo

Location: Gothenburg, Sweden

Typology: Experience Center and meeting place

Concept: 2018

Construction Start: 2020

Expected Completion: 2023

Inauguration: 2024

Size: 22,000 m²; 110 m Diameter, 6000 m³ of mass timber

Certifications: LEED Gold and WELL Gold

Main contractor: BRA Bygg

Architect: Henning Larsen

Landscape: Henning Larsen

Renders: Kvant1

Clients Structural Engineer (ground/concrete/steel): Optima Eng. AB & BRA Teknik

Façade and Interior claddings by Lindner Scandinavia AB

Timber Structure: Engineering, Production & Installation by WIEHAG GmbH

Tres ejemplos de proyectos en masstimmer: Italia, Australia y España

Albino Angeli
XLAM Dolomiti
Trento, Italy



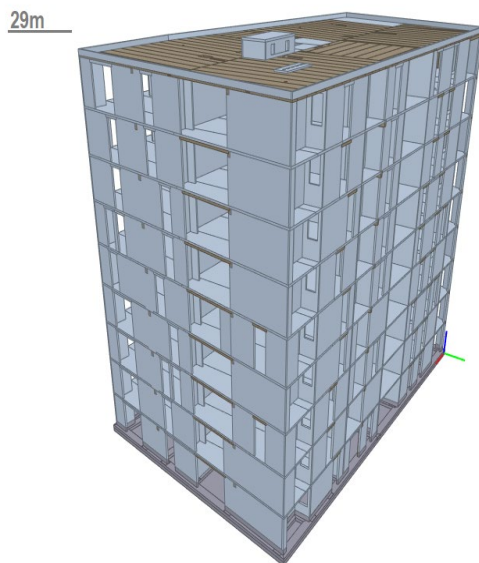
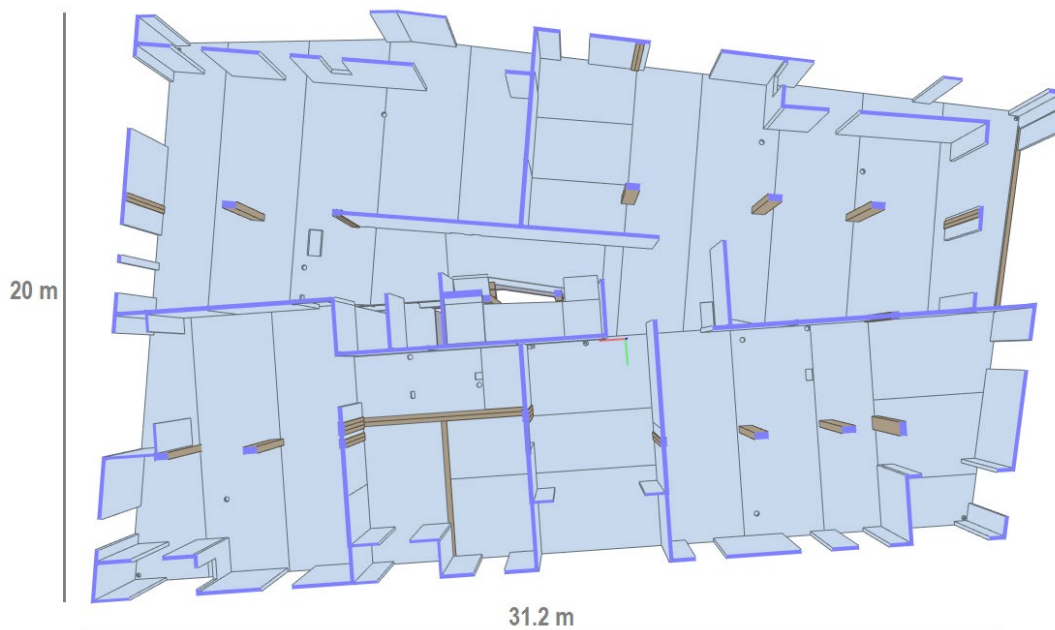
2 | Tres ejemplos de proyectos en masstimmer: Italia, Australia y España | A. Angeli

Tres ejemplos de proyectos en masstimmer: Italia, Australia y España

El objetivo de la presentación es mostrar 3 proyectos muy diferentes ya contruidos en diferentes partes del mundo con el objetivo de mirar algunas cuestiones técnicas específicas de cada proyecto a través de imágenes y detalles constructivos.

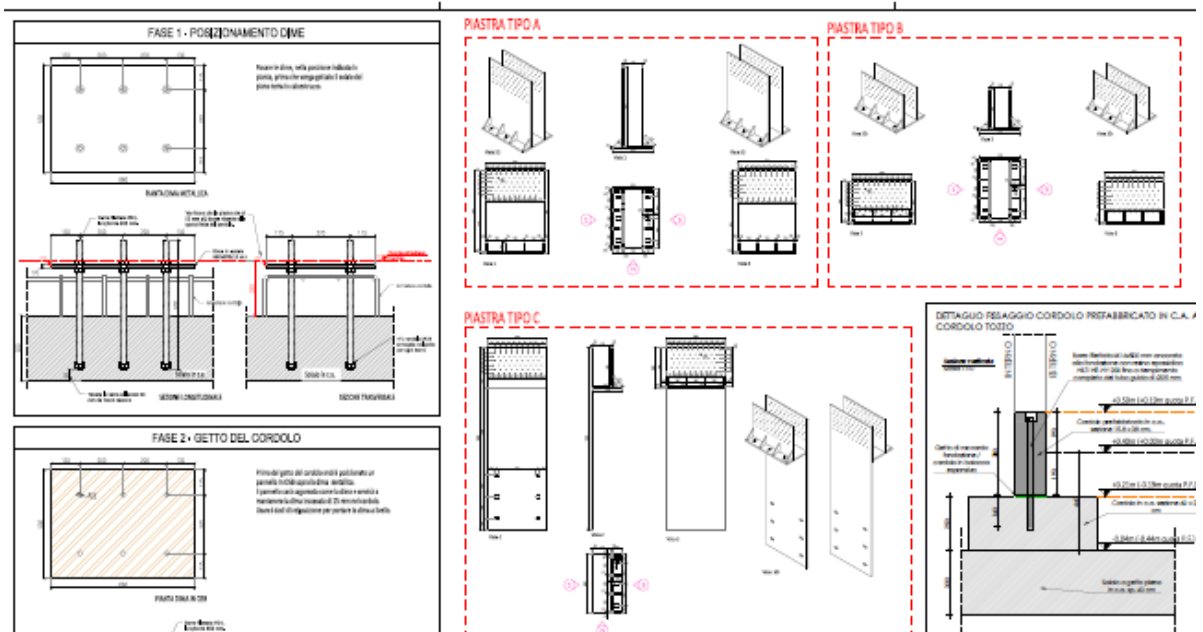
1. Proyecto EX Marangoni Trento Italy

Este proyecto contó con un edificio de 5 y uno de 9 pisos con un total de 96 apartamentos. La altura de 29 m relativamente al 9 plantas junto con el hecho de que la sismicidad del territorio italiano en esa zona es moderada pero aún significativa llevó al estudio de detalles constructivos particulares. En esta ponencia analizaremos detalles como la conexión a tierra, los amarres, el nudo del pilar de la viga y algunas otras particularidades.

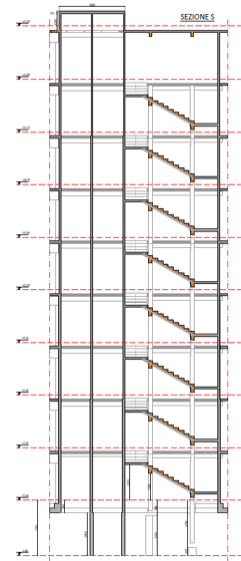




Bases de arranque en el suelo



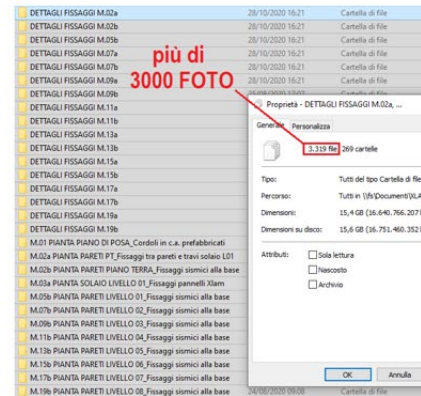
Detalles constructivos



Escalera prefabricada

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

BLOWER DOOR EDIFICIO GREZZO



Detalle y fotos de blower door test

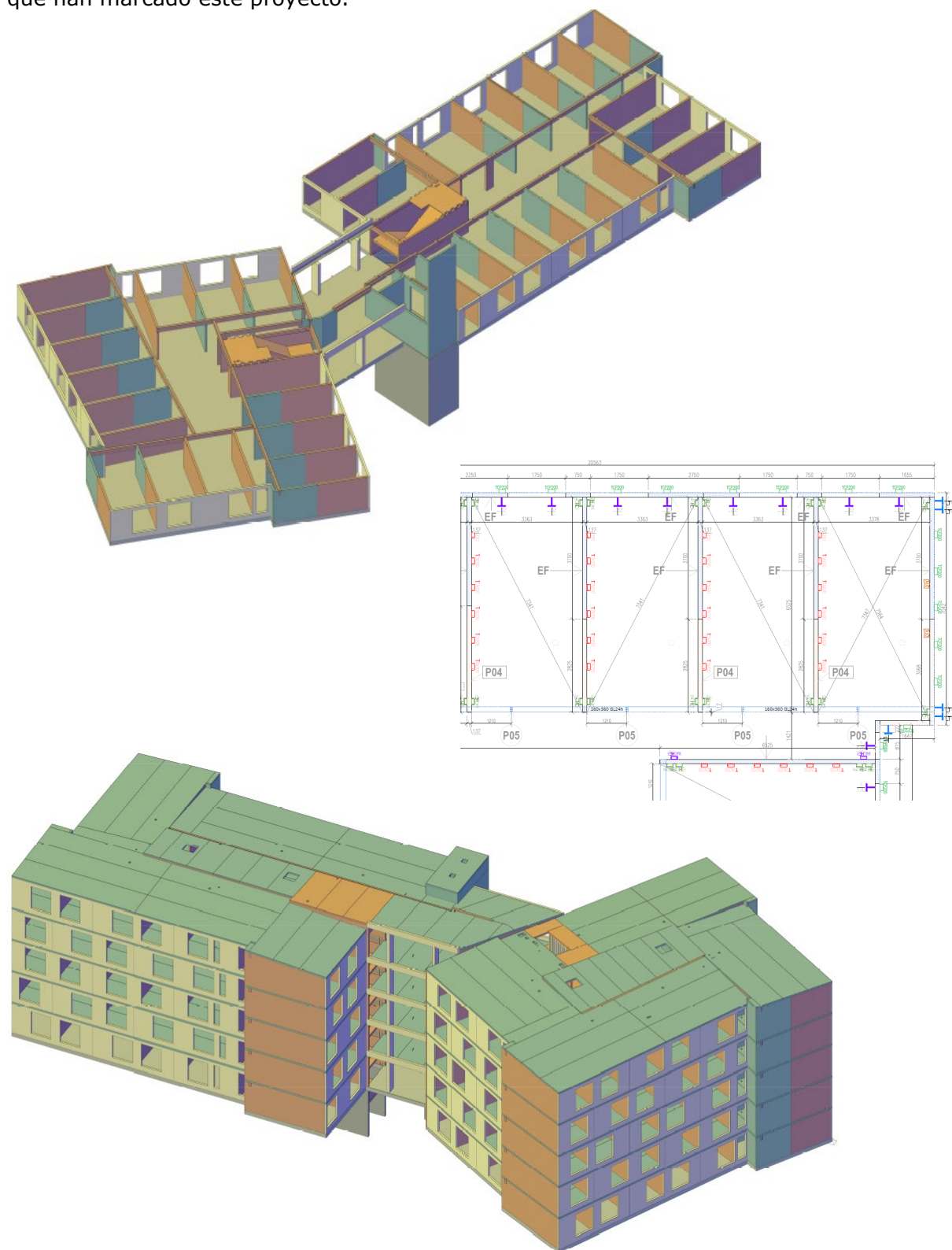


Fotos de obra durante el montaje del contralaminado

2. Residencia de estudiantes Universidad Monasch Melbourne

Este proyecto en 2018 fue un reto; de hecho fue una primera experiencia de grandes dimensiones en Australia, una primera edificación pasiva en esa parte del mundo unido a que tanto a nivel de certificación como de logística nunca nos habíamos enfrentado a una experiencia similar.

Dentro de esta presentación analizaremos los aspectos de diseño, logística y certificación que han marcado este proyecto.



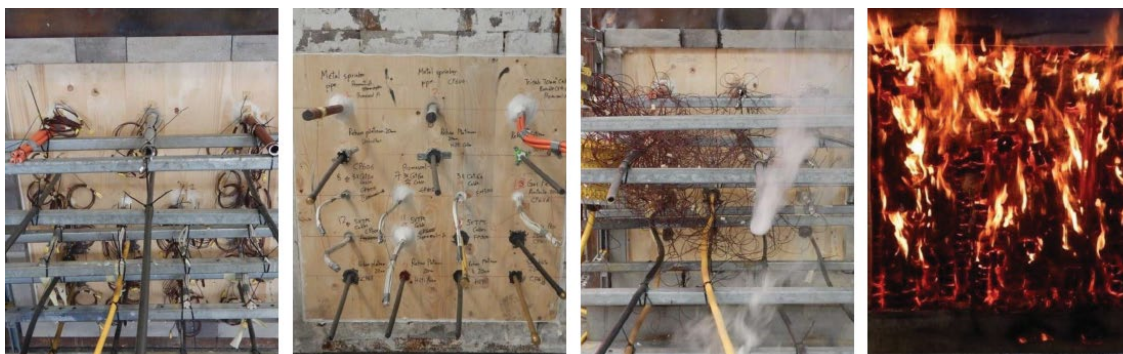


Foto 1: lato esposto al fuoco prima della prova
Foto 1: side exposed to fire before the test

Foto 2: lato non esposto al fuoco prima della prova
Foto 2: side not exposed to fire before the test



Foto 3: lato non esposto al fuoco dopo la prova
Foto 3: side not exposed to fire after the test



Foto 4: lato esposto al fuoco dopo la prova
Foto 4: side exposed to fire after the test

Ensayos al fuego



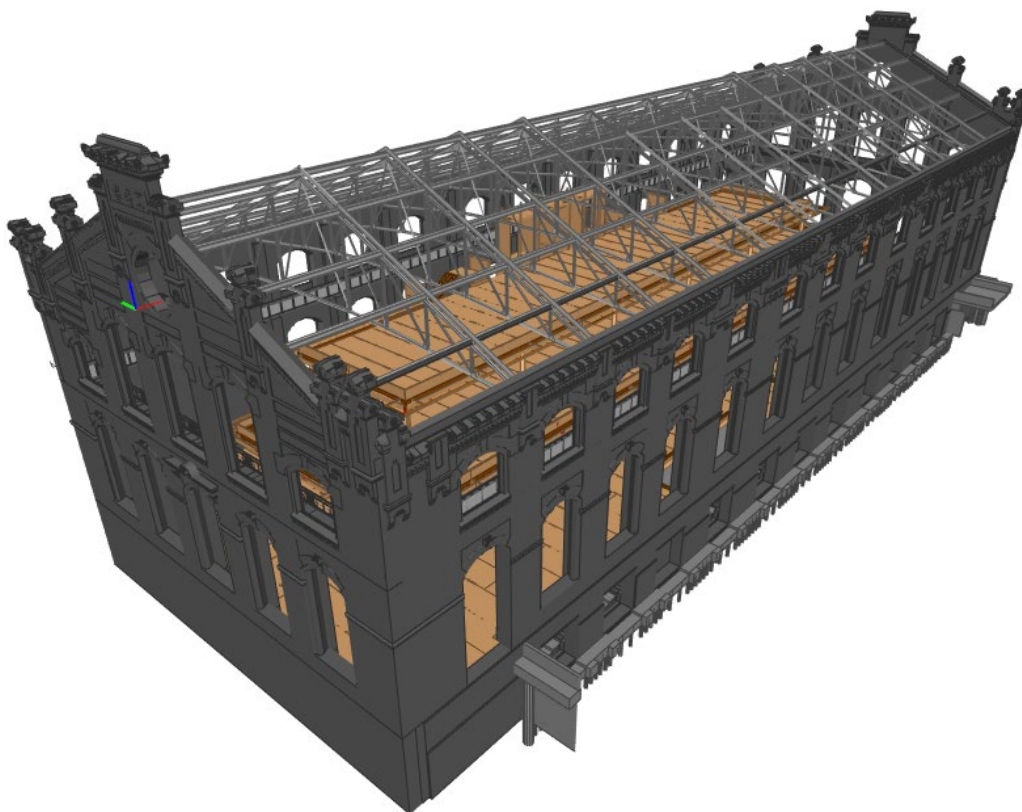
Logística de contenedores

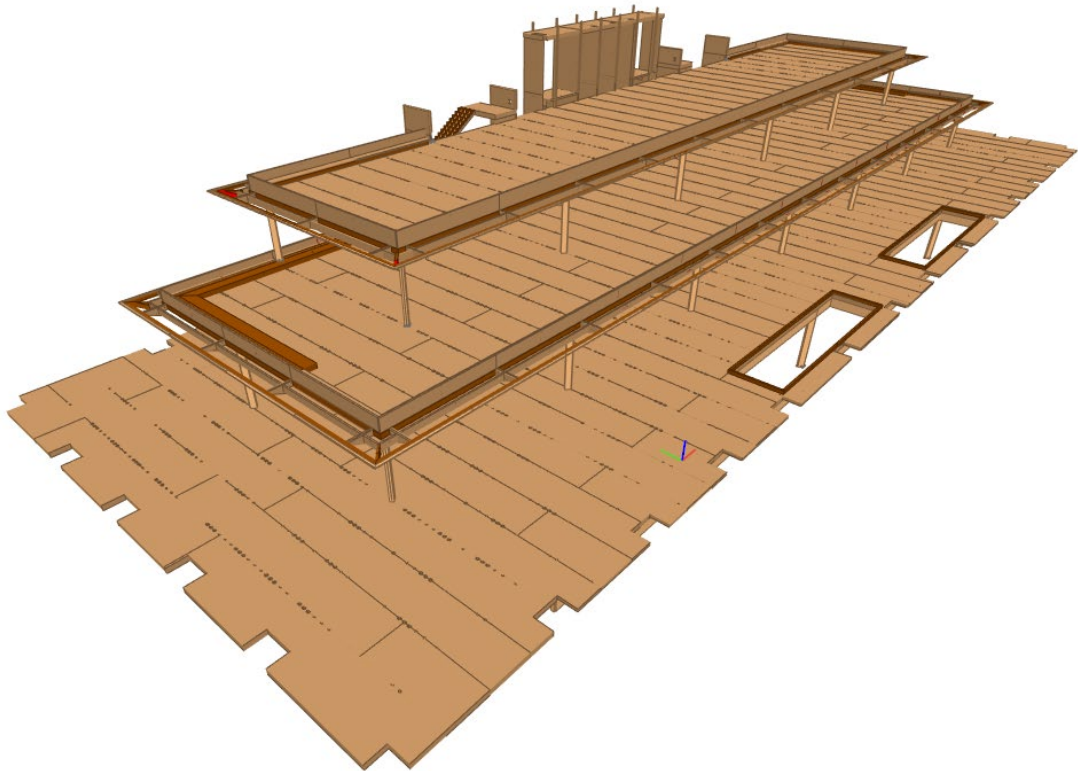


Fotos de obra durante el montaje del contralaminado

3. Calle Ombú Madrid: edificio de oficinas

Este proyecto está ubicado en Madrid en la calle Ombú; consiste en la creación de un espacio de oficinas de unos 10.000 m² contruidos dentro de un antiguo edificio existente. La particularidad de este proyecto, además de estar firmado por diseñadores de la talla de Foster, es que se construyó dentro de un edificio existente con un sistema de vigas y pilares de madera de castaño y un suelo de CLT visto con tableros de abeto blanco. Este proyecto es un proyecto icónico para todo el sector tanto en detalles constructivos como en particularidades ejecutivas.





Render de proyecto

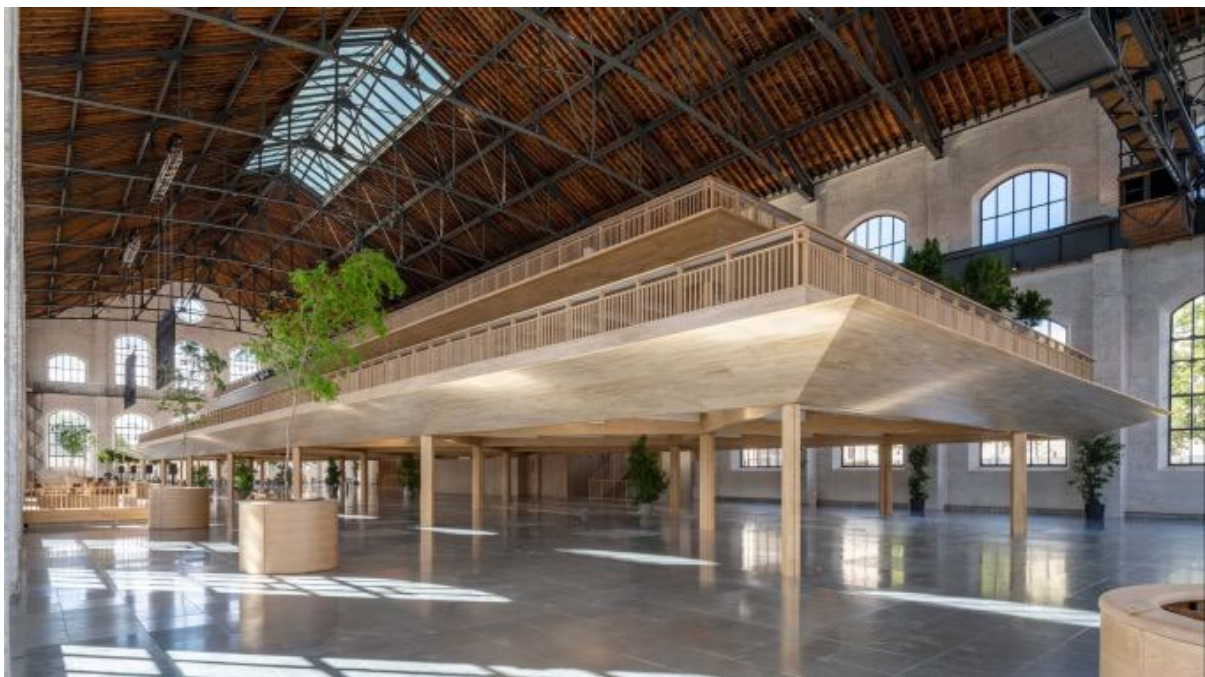
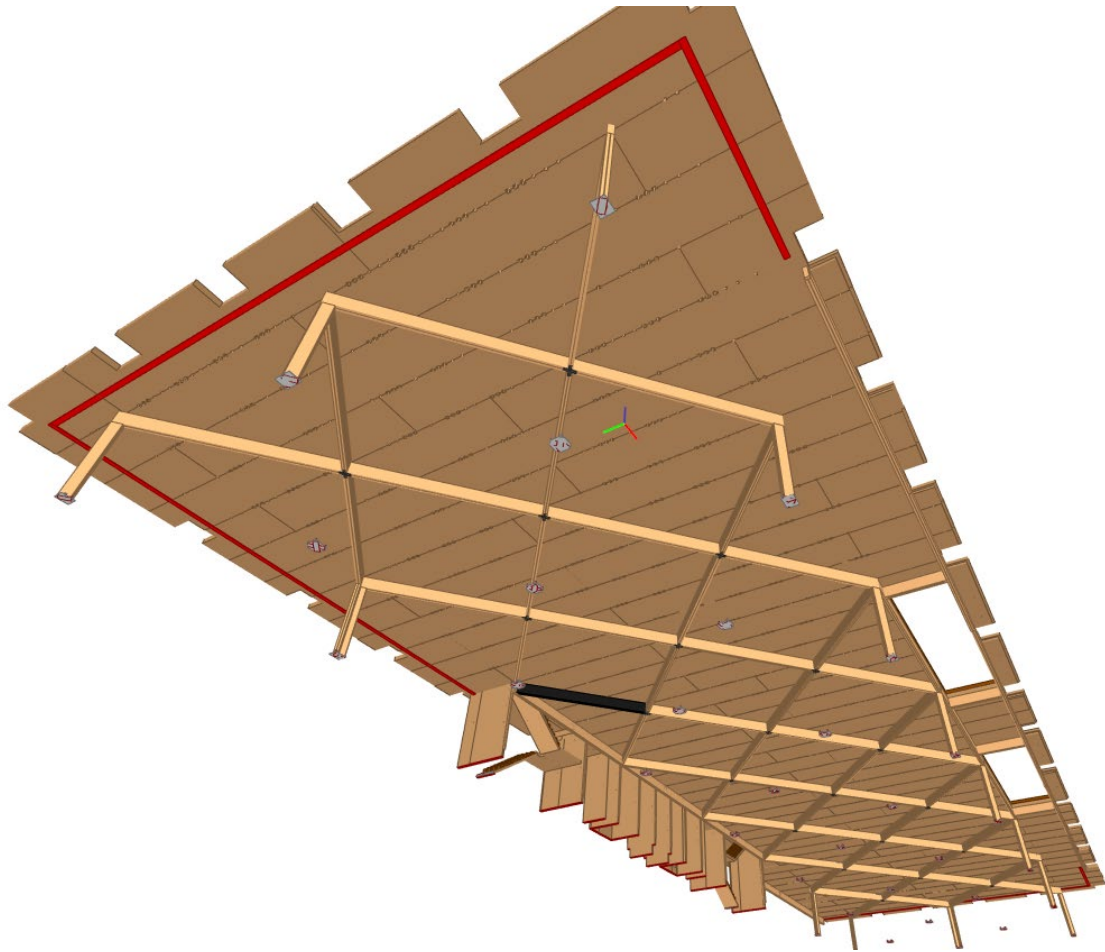


Foto estado final



Render y foto de la cara inferior



Nudos singulares

PLAN VIEW

LEVEL 00-01

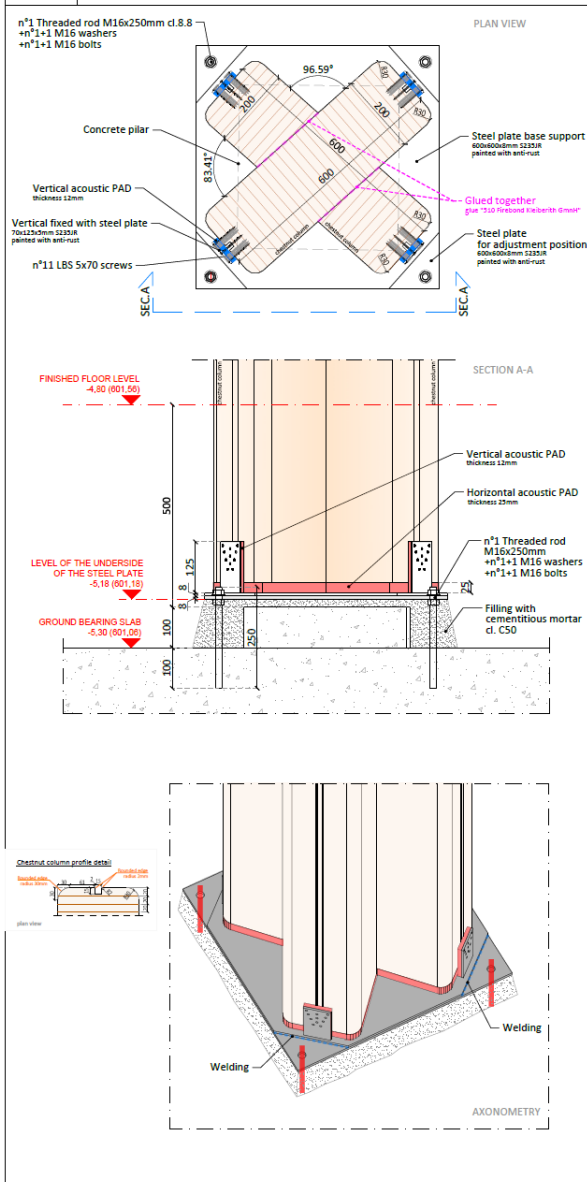
3D view above

3D view below

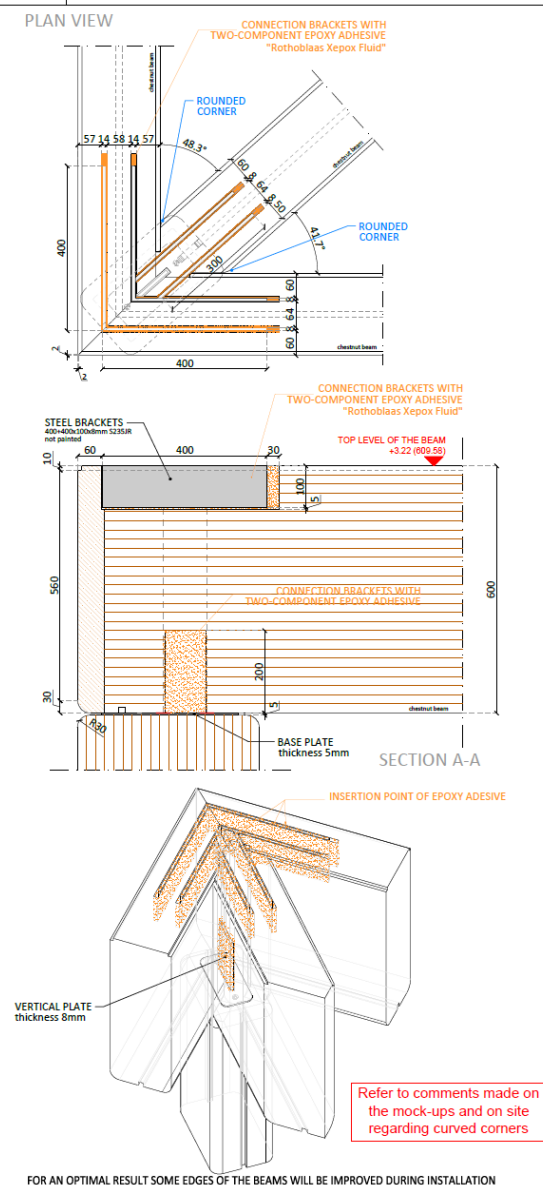
FOR AN OPTIMAL RESULT SOME EDGES OF THE BEAMS WILL BE IMPROVED DURING INSTALLATION

42

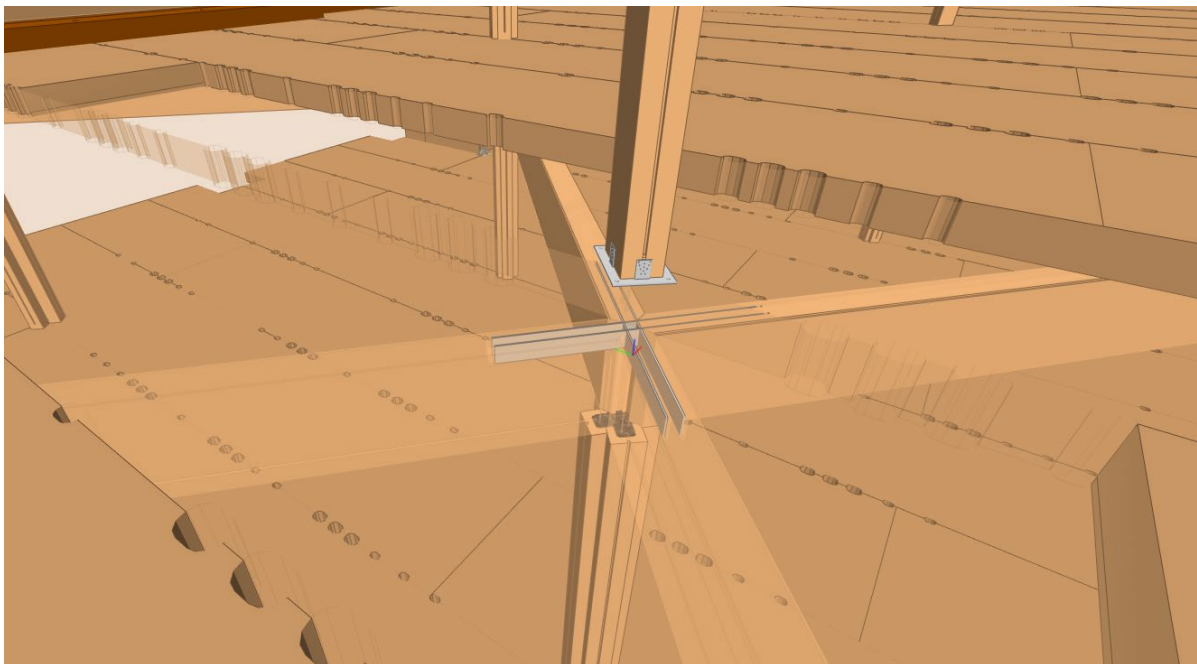
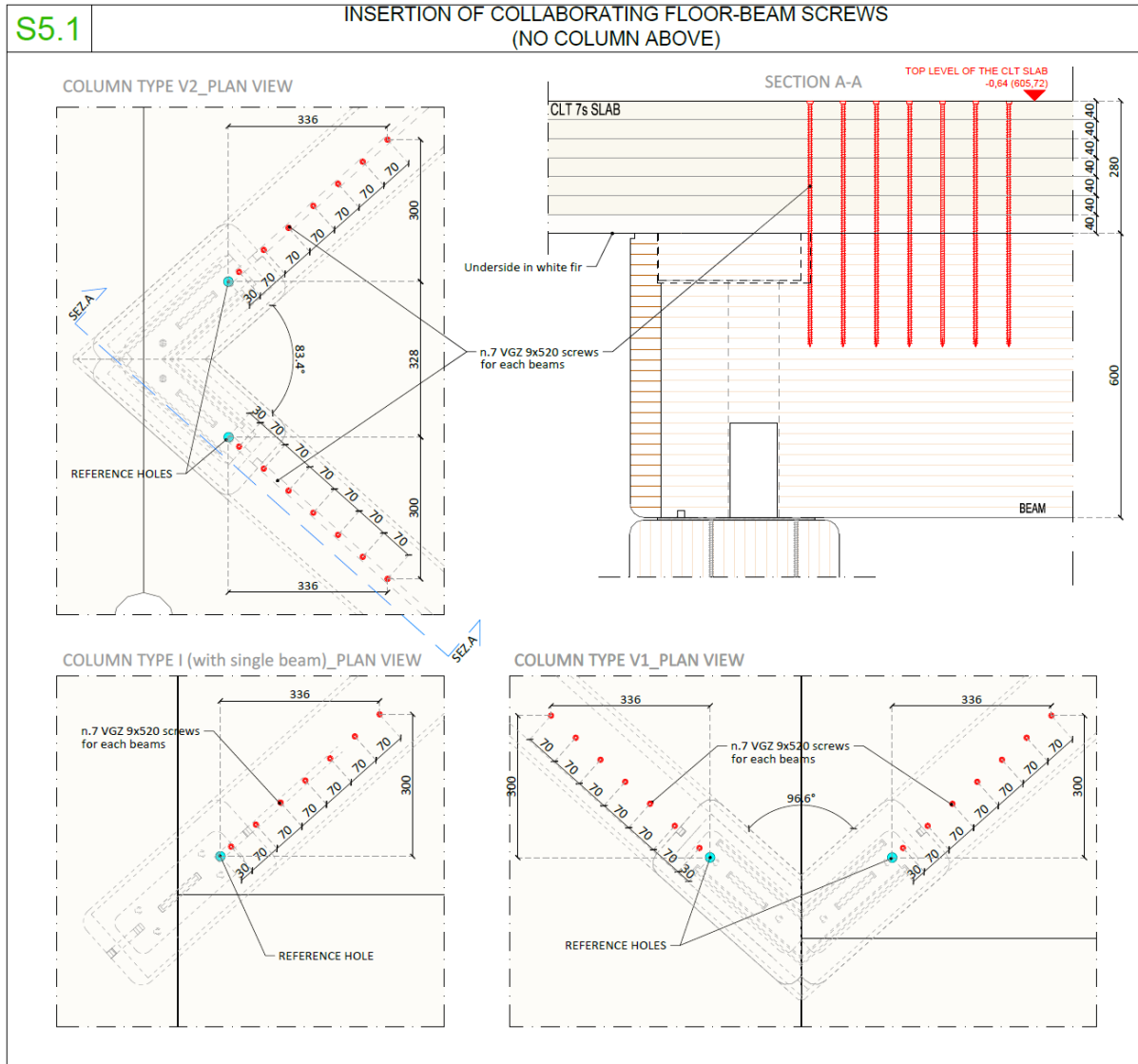
C2.1	COLUMNS TYPE "X" CONNECTION TO CONCRETE FLOOR
------	---



B1	BEAMS - SINGLE COLUMN CONNECTION
----	----------------------------------



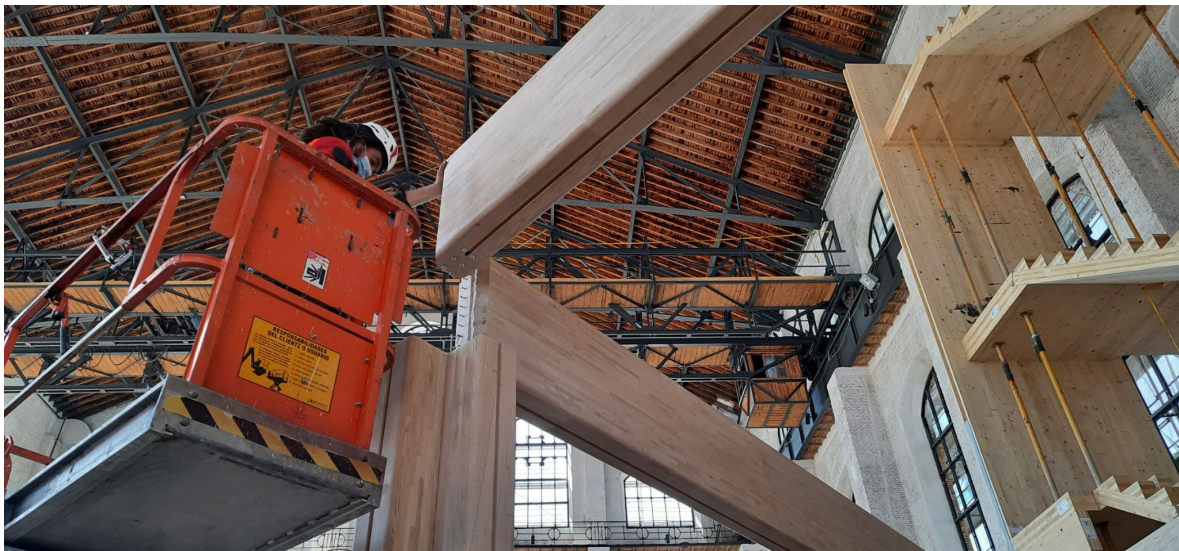
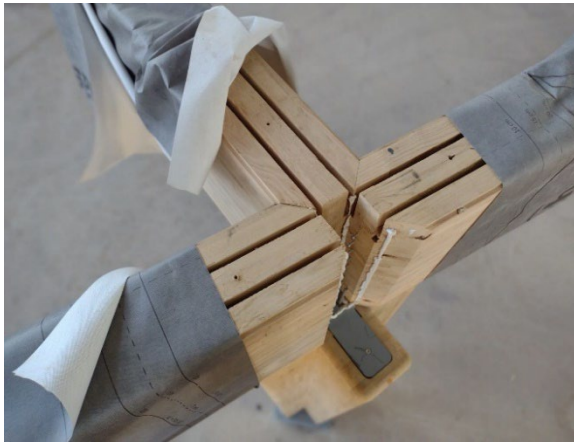
Detalle de nudos



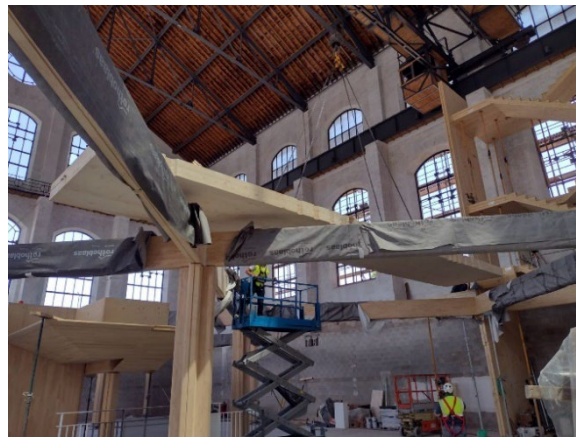
Detalle de nudos



Trabajo de corte en Italia



Montaje de los nudos



Fotos de obra

BLOQUE 2

**Nuevos horizontes para la construcción
con madera**

Arquitectura sanitaria con madera. Centro de Urgencias de A Laracha.

Cristina Ouzande Lugo
Ezcurra e Ouzande arquitectura SLP
Santiago de Compostela, España



Arquitectura sanitaria con madera. Centro de Urgencias de A Laracha.

1. Introducción

Nuestra vida profesional comenzó en el mundo de la madera, en unos años de intenso trabajo en la oficina de rehabilitación del centro histórico de Santiago de Compostela, Ciudad Patrimonio de la Humanidad, donde rehabilitábamos inmuebles que forman parte del patrimonio construido protegido; tanto caserío como otras edificaciones de uso administrativo, religioso...

En la mayor parte de estas construcciones la madera es material fundamental ya que forma parte de las estructuras, de los cerramientos, las particiones, los acabados y las carpinterías.

El estudio y el trabajo diario con sistemas constructivos y estructurales tradicionales nos hicieron comprender el funcionamiento de la madera como material de construcción y valorar su oficio. Y, a razón de esto, a buscar soluciones tecnológicas -también en madera- que adaptasen los edificios a las nuevas necesidades, estándares de confort y normativas que iban surgiendo mientras se conservaba el valor patrimonial de las edificaciones.

Del mismo modo que quienes habían construido aquellos edificios habían sistematizado soluciones: anchos de crujía en función de las dimensiones de la madera disponible, distintos órdenes para el aprovechamiento intensivo de la misma, tipo de edificación en función de la piedra disponible, forma de los huecos, carpinterías...; nosotras también creíamos que las nuevas soluciones que debían surgir de las actuales premisas (normativa, confort, cuidado del patrimonio...) era posible sistematizarlas.

De esta manera empezamos a trabajar, aplicándolos a edificios de usos muy diversos, con sistemas de madera prefabricados.

En el año 2016, en un intervalo de 5 meses, el Servizo Galego de Saúde (SERGAS), dependiente de la Consellería de Sanidade de la Xunta de Galicia, sacó a concurso la redacción de proyectos para 6 centros de salud. Uno de ellos fue el edificio de Urgencias Extrahospitalarias de A Laracha. A pesar de que la legislación ya tenía en el horizonte el objetivo del nZEB 2018 para los nuevos edificios de la administración, las condiciones que los pliegos de estos concursos establecían para las propuestas que se presentaran eran básicamente funcionales, en ningún momento se hacía mención a temas que hoy nos preocupan a todos como sostenibilidad, reducción de huella de carbono o eficiencia energética.

Estas cuestiones son fundamentales en nuestra forma de trabajar y aunque no las valorasen en el concurso, creíamos que la propuesta había de considerarlas. Lo teníamos claro: debíamos presentar un edificio de madera.

Planteamos un edificio con estructura y sistemas constructivos de madera, eficiente y sostenible, acercándonos a los parámetros de consumo casi nulo. Estos sistemas constructivos nos permitían un alto nivel de prefabricación y un proceso completo de construcción en seco, con una envolvente térmica muy eficiente y por tanto una demanda energética muy baja.

Aunque la propuesta fue bien valorada y ganamos el concurso, cuando comenzó la fase de desarrollo del proyecto, el SERGAS nos expuso sus reticencias respecto al uso de la madera indicándonos que, manteniendo el planteamiento del edificio, debíamos sustituir el sistema constructivo propuesto por otro de hormigón o metálico, y limitar el uso de la madera en fachada por razones de mantenimiento.

Nuestro convencimiento personal nos llevó a defender con empeño la propuesta original en madera y, seguramente no convencimos, pero sí conseguimos que nos permitiesen hacer lo que llamaron un «experimento de poco riesgo» por tratarse de un edificio relativamente pequeño.

Aunque se trata de un edificio modesto por su tamaño, fue el origen de un cambio en el paradigma de las edificaciones del SERGAS que se proyectaron y construyeron posteriormente.

2. Programa

El Centro de Urgencias se encuentra en el núcleo urbano de A Laracha, provincia de A Coruña. Se trata de una parcela cuadrada de 717m² que hace esquina a dos calles y está delimitada por una gran medianera perteneciente a un edificio de viviendas y por la fachada trasera del centro de salud existente.

Partimos de un solar que ocupaban una antigua escuela unitaria y un magnífico ejemplar de álamo blanco, con una ordenanza de manzana cerrada.

Aunque el edificio se proyectó como un edificio autónomo, se trata en realidad de una ampliación del centro de salud existente para dotarlo de un servicio de urgencias que pueda funcionar de manera independiente. Ambos edificios se comunican por el interior permitiendo el paso de uno al otro del personal sanitario.

El nuevo edificio, de uso público y sanitario, se proyectó a instancias del Servizo Galego de Saúde, por lo que además de cumplir la normativa de aplicación debía seguir las directrices técnicas que el Servicio de Obras de este organismo establece para los centros de urgencias extrahospitalarias.

El edificio tiene 613m² construidos distribuidos en dos plantas. Su volumetría, en forma de «L», se pega a la medianera existente tratando reducir la presencia de ésta y a la fachada sur del centro de salud, buscando facilitar la conexión con él, dejando liberado al mismo tiempo espacio en la parcela para el acceso peatonal, de ambulancias y facilitando la aparición de un pequeño jardín que surge alrededor del gran álamo blanco. Esta solución fue posible gracias a la modificación puntual del planeamiento urbanístico que llevó a cabo el Concello de A Laracha, que nos permitió no tener que ajustarnos a la ordenanza de manzana cerrada y crear un espacio público frente al edificio donde se conservó el magnífico árbol.

La entrada se produce por la fachada sur del ala norte. En planta baja, el vestíbulo y la comunicación con el centro de salud existente se articulan alrededor de un patio que introduce luz natural y vegetación a ambos edificios, funcionando como punto de contacto visual y también como filtro. La zona de espera es una rótula entre los espacios de distribución y las consultas que se sitúan en el ala oeste. Sobre estas, en planta primera aparecen los espacios de uso restringido al personal sanitario (sala de estar, vestuarios y dormitorios).

3. Sistemas constructivos

3.1. Cimentación y forjado sanitario

El suelo disponible no presentaba capacidad portante. Sobre una cimentación profunda de pilotes y encepados se apoyan los enanos que soportan el forjado unidireccional de viguetas pretensadas y bovedillas de planta baja.

3.2. Estructura portante de madera, cerramientos y arriostramiento

Sobre el forjado sanitario, empieza la construcción en seco.

Aunque en principio se planteó una estructura vertical de entramado ligero, la propiedad nos requería cierta flexibilidad que posibilitase futuros cambios de distribución, por lo que se sustituyeron algunos muros de entramado por pies derechos que garantizaran este requerimiento.

El sistema portante vertical está formado por un cerramiento exterior compuesto de entramado ligero de madera laminada de abeto (Picea abies GL24); en piezas horizontales y verticales y tablero OSB3 DE 18mm cerrando el mismo por ambas caras. Los montantes

tienen un intereje de 62,50cm y salvo casos puntuales una sección de 70x140 mm. Ya en el interior una serie de tabiques, de las mismas características actúan como arriostramiento del cerramiento frente a los esfuerzos de viento.

Los forjados se componen de viguetas, de secciones variables según las luces a salvar, con unos interejes de 62,50cm. Sobre la cara comprimida se atornilla un tablero OSB3 de 22mm en todo su perímetro y en su eje longitudinal intermedio. Para posibilitar el atornillado de tableros completos (minimizar desperdicios, maximizar rendimientos), entre las viguetas se colocan unas piezas de 70x125mm, mecanizadas con ensambles en cola de milano redondeada. El sistema funciona como un forjado diafragma, arriostra la estructura y transmite las cargas laterales, esfuerzos de viento, que recibe la fachada a los muros en los que se apoya. Los muros absorben por tanto el esfuerzo de corte derivado de la flexión de esta macroviga.

El proceso constructivo de montaje de toda la estructura, el cerramiento exterior (muros de entramado), la tabiquería interior portante y los forjados se llevó a cabo en 13 días. La llegada de las primeras piezas estructurales se produce el 06/11/2018 y el 19/11/2018 el edificio estaba cerrado y todos los elementos que formaban la estructura montados (Fig. 1 y 2).



Figura 1: Recepción de los primeros módulos



Figura 2: Montaje de muros portantes y forjados

Los muros portantes se ensamblaron en taller, llegando a obra en forma de módulos planos de entramado de madera, lana de roca relleno de todo su interior y un tablero OSB en cada cara. Se deja una pequeña zona sin cerrar en una de las caras, para poder atornillar el siguiente elemento y, en las compartimentaciones interiores, para el paso de instalaciones.

Esta fase de construcción en seco es ininterrumpida. Se van montando los módulos de entramado prefabricados y los forjados, sin tiempos de espera ni complejos medios auxiliares que alarguen los procesos de montaje. El resto de los oficios pueden entrar a la obra inmediatamente (Fig. 3 y 4).



Figura 3: Estructura forjado primera planta



Figura 4: Montaje cerramiento planta primera

3.3. Sistema envolvente



Figura 5: Cerramiento exterior preparado para recibir el entablado de madera



Figura 6: Fachada trasventilada de fibrocemento con aislamiento de lana de roca sobre lamina impermeable y transpirable

Fachadas ($U=0,15W/m^2K$): El entramado portante se trasdosa interiormente tras colocar una barrera de vapor, con tableros de fibras y partículas de madera de 15mm y placa de acabado de yeso de 12,5mm sobre perfilaría metálica para tabique ligeros, con aislamiento intermedio de lana mineral. Hacia el exterior, lámina impermeable y transpirable, aislamiento térmico de lana de roca de doble densidad resistente a la intemperie de 8cm, y revestimiento con un sistema de fachada trasventilada de fibrocemento (Fig. 6) o madera según el caso. Las fachadas de madera se realizaron mediante un entablado vertical de madera de castaño de 22mm de espesor y anchos variables, atornillado a un doble orden de rastreles horizontales y verticales (Fig. 5), de 30x40mm, de madera de pino tratado; la madera se ignifuga y se acaba con pintura de poro abierto tipo lasur.

Medianeras ($U=0,12W/m^2K$): Constan del mismo armazón y trasdosado interior que las fachadas, e incluso del mismo aislante exterior como material de ajuste entre el edificio nuevo y los existentes, pero sin el revestimiento de fibrocemento o madera.

Carpintería exterior: La carpintería (de altas prestaciones) de madera de cedro se sujeta al entramado de madera de fachada. En jambas, dintel y alfeizar, las tapetas interiores y exteriores, también de cedro, recogen el paquete de fachada. Se utiliza un triple vidrio bajo emisivo.

Cubierta plana ajardinada extensiva ($U=0,13W/m^2K$): Sobre el tablero estructural OSB de 22mm, lámina barrera de vapor y dos órdenes perpendiculares entre sí de rastreles de madera de pino tratado 40x60mm entre los que se dispone el aislamiento térmico de lana de roca (6+6cm), y que soportan el tablero estructural OSB de 18 mm que sirve de base a la cubierta plana ajardinada extensiva, que incluye doble lámina impermeabilizante asfáltica autoprottegida antiraíces, capa separadora, dos capas de poliestireno extruido (6+6cm) como aislamiento, de nuevo capa separadora, capa retenedora, capa filtrante y sustrato vegetal. La cubierta ajardinada, además de mejorar el aislamiento térmico y acústico, incrementa la superficie verde del entorno, mejora la calidad del aire (filtración de polvo y CO₂) y del agua y reduce ruidos (que son absorbidos por la superficie vegetal) (Fig. 7).



Figura 7: Plantación cubierta ajardinada

Forjado planta baja ($U=0,18W/m^2K$): sobre el forjado sanitario de hormigón armado, una lámina aislante reflexiva, y tres capas de aislamiento térmico entre rastreles de madera de pino tratado de 40x60mm, la primera de poliestireno extruido (6cm) y las siguientes de lana de roca (6+6cm), bajo un tablero estructural OSB de 18mm que servirá de base al pavimento.

3.4. Sistemas de compartimentación

Tabiquería interior: tableros de fibras y partículas de madera de 15mm y placa de acabado de yeso de 12,50mm con aislamiento de lana mineral de 60mm (sencillo o doble, según necesidades de paso de instalaciones).

3.5. Sistemas de acabados

La madera tiene un importante papel también en los acabados interiores del edificio. En la zona más representativa, el vestíbulo de entrada, los paramentos verticales se revisten de entablado vertical de castaño de 22mm de espesor y ancho variable, clavado a rastreles horizontales, tratado con productos anticarcoma, y acabado con aceite; revestimiento que se extiende a las puertas ubicadas en dichos paramentos, al mostrador de recepción y al techo, dejándose en esta zona la estructura de madera laminada vista (Fig. 8).



Figura 8: Vestíbulo de entrada

La madera reaparece en la zona de mayor privacidad, el espacio de descanso del personal sanitario, en el que se busca un ambiente más doméstico, en forma de tarima maciza de castaño acabada con aceite mineral que se extiende también a la escalera.

Derivados de la madera, como los tableros compactos melaminados, se utilizan para revestir los aseos y construir el mobiliario de los vestuarios (taquillas, mamparas, bancos y encimeras) (Fig. 10 y 11).



Figura 10: Tablero melaminado tras los lavabos de las consultas



Figura 11: Tablero melaminado en vestuarios

3.6. Sistemas de acondicionamiento e instalaciones

La demanda energética del edificio es muy baja debido a la alta eficiencia de su envolvente térmica (24+6cm de aislamiento en cubierta, 28cm en fachada y 18+reflexivo en el forjado sanitario, además de los tableros de madera utilizados en la composición de estos elementos). También los sistemas de acondicionamiento como la ventilación mecánica controlada, que incluye un recuperador de energía del aire extraído mejoran la eficiencia energética del edificio.

La calidad térmica del edificio se consigue a través de un sistema de calefacción a baja temperatura por radiadores en invierno y limitando las ganancias térmicas del verano mediante el diseño arquitectónico. La producción térmica (para calefacción y agua caliente sanitaria) se hace con bomba de calor aerotérmica de tecnología inverter, considerada renovable al presentar un factor de rendimiento medio estacional, SCOPnet (SPF), superior a 2,5. Se solventa así la dificultad para conseguir la contribución solar mínima exigida por el CTE, al estar el edificio rodeado por otros más altos cuyas sombras comportarían significativas pérdidas de rendimiento de los paneles térmicos.

4. Un edificio sano para un lugar donde se cuida la salud

El uso de materiales naturales es uno de los patrones de diseño biofílico (la biofilia es la conexión biológica innata entre el ser humano y la naturaleza) y estos principios fueron objetivo en este proyecto.

Diversos estudios han analizado la manera en que la madera influye en el comportamiento de las personas, concluyendo que ésta tiene un impacto psicológico positivo sobre las mismas. Esto al parecer se debe a una reducción en la reactividad al estrés de nuestro sistema nervioso simpático y a los efectos visuales de los elementos de madera sobre las actividades nerviosas autónomas. Otros estudios también apuntan a que la utilización de madera en espacios interiores pueden tener efectos positivos en cuanto a conducta social y empatía.

En este caso, los beneficios que se pueden obtener son más importantes por tratarse de un edificio de uso sanitario. Todos estos factores pueden suponer una significativa contribución en cuestiones como la relación entre pacientes y sanitarios (mayor empatía, reducción del síndrome de la bata blanca), las condiciones de trabajo de los sanitarios (disminución de la conflictividad, reducción de estrés...) o la recuperación de pacientes (mejora general del estado de ánimo)

De una forma instintiva en el proyecto nos acercamos a los principios de diseño biofílico, introduciendo elementos propios de la naturaleza, utilizando materiales naturales y generando espacios agradables y seguros.

Buscábamos que todos los espacios recibiesen luz natural dinámica y difusa, y donde interesaba abrimos vistas hacia el exterior haciendo que los elementos naturales del exterior (árboles, jardines, madera, tierra...) entrasen a formar parte del interior y nos permitiesen la contemplación y consciencia de los cambios estacionales que se van produciendo.

Puesto que la parcela era pequeña y no se disponía de mucha superficie verde, intentamos incrementarla mediante cubiertas vegetales, a las que tienen vistas las salas de espera del centro de salud existente y que son usadas por el personal sanitario para respirar aire fresco.

Hacemos que el sonido participe en la arquitectura, mediante el flujo de agua de lluvia recogida en una de las cubiertas que acaba gorgoteando a través de una gárgola.

En el interior, en las zonas de acceso, atención y espera, menos exigentes en términos de higiene, incorporamos la madera de castaño a los acabados de paramentos.



Figura 12: Conexión entre centro de salud y centro de urgencias

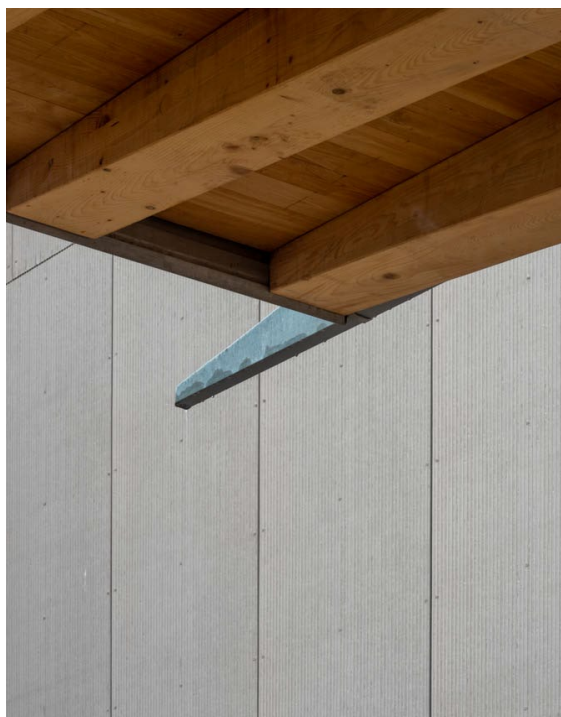


Figura 13: Gárgola

5. Conclusión

El edificio se construyó y lleva cuatro años en funcionamiento. No solamente no ha dado ningún problema por el hecho de ser de madera sino que ha recibido una acogida muy positiva tanto de pacientes como de sanitarios.

El Servicio Galego de Saúde tuvo en cuenta esta respuesta y pudo comprobar que los requisitos técnicos y económicos también se cumplían. Adoptando esta manera de construir, entró a formar parte de la cadena de valor de la madera junto con otros agentes que trabajan en la misma dirección, como el sector forestal e industrial.

En la actualidad el SERGAS es el único servicio de salud europeo partícipe de la New European Bauhaus; programa europeo que promueve un futuro sostenible e inclusivo aportando además belleza para ojos, mente y espíritu.

El Centro de Urgencias Sanitarias de A Laracha ha sido seleccionado como uno de los edificios modelo del programa y la Comisión Europea en su reciente informe sobre el progreso de la iniciativa hace una valoración individual del SERGAS como un importante *partner* por parte de nuestro país.

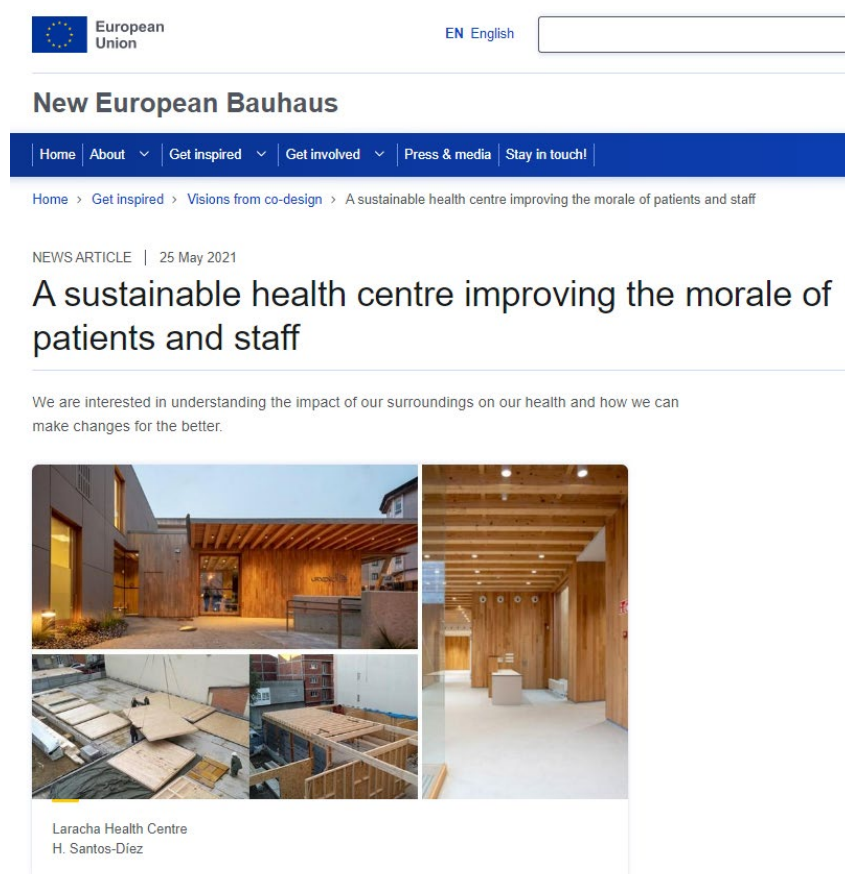


Figura 14: New European Bauhaus

A partir de la realización de este proyecto el servicio de salud valora en los pliegos de sus concursos que las propuestas arquitectónicas integren la tecnología de la madera y que prevean una respuesta técnica con la menor huella de carbono y un consumo energético lo más bajo posible.

Las propuestas que hemos presentado, a través de concurso público, aplicando estos criterios relativos a la construcción en madera nos han llevado a desarrollar otros proyectos para este servicio, como la ampliación del Centro de Salud de O Porriño, en la provincia

de Pontevedra, que actualmente está en fase de ejecución, y que tiene una superficie de más de 1.100m², el Centro de Salud de Meira, en la provincia de Lugo, recientemente adjudicado, con una superficie también de 1.100m² y el proyecto en fase de ejecución del Centro de Salud Novoa Santos, en la ciudad de Ourense; una edificación entre medianeras, de 12 plantas, con una superficie construida de 7.600m², donde se emplearán sistemas estructurales, cerramientos y acabados de madera.

Haciendo memoria y recordando a todas las personas involucradas de una forma u otra en este trabajo, en este «pequeño experimento», se nos viene a la cabeza aquella cita atribuida a Eduardo Galeano: «Mucha gente pequeña, en lugares pequeños, haciendo cosas pequeñas, puede cambiar el mundo».



Be Factory: a timber-made hub for innovative business in Trentino, Italy

Roberto Modena
Rubner Holzbau srl
Brixen, Italy



- 2 | Be Factory: a timber-made hub for innovative business in Trentino, Italy | R. Modena

Be Factory: a timber-made hub for innovative business in Trentino, Italy

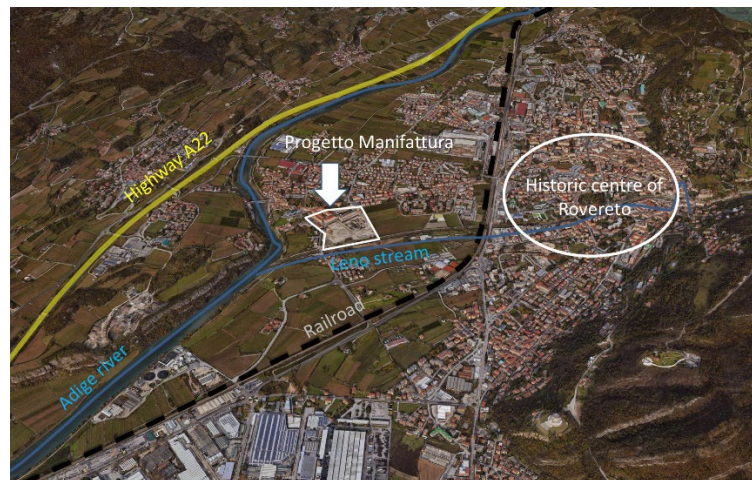
1. Be Factory and Progetto Manifattura

1.1. Introduction

Be Factory is the name of the new production spaces created within Progetto Manifattura – Green Innovation Factory, a public project recently completed in Rovereto, in the North of Italy, which have transformed the 9-hectare (22-acre) historic tobacco facility into an innovation hub for green building, renewable energy, and environmental technology.

These production spaces feature very high energy efficiency and low impact on the landscape and on the environment and are designed to host innovative companies working in sectors such as protection of the environment, biotechnologies, sustainable mobility, sports technologies and smart building. At the same time, these are spaces returned to the citizens who, thanks to an evocative system of roof gardens, have the opportunity to rediscover an important connection among some of the symbolic places of their city.

Promoted by the Autonomous Province of Trento through Trentino Sviluppo S.p.A., the company dedicated to the sustainable development of the territory, Be Factory is the largest civil building construction project ever to be executed in this area and, at national level, it represents one of the most important building projects using timber load-bearing structures, in terms of quantity of material used and also of architectural importance of each single structural component.



Picture 1: Location of the project

1.2. The history of Manifattura Tabacchi

The Manifattura Tabacchi of Rovereto, a tobacco factory located close to the Adige river in the medieval town of Borgo Sacco, now transformed into a district fully attached to the city, started operating in the mid 19th century. It quickly expanded its production, to the point that in the early 20th century it almost had 2.000 employees.

The expansion and upgrading plan started at the beginning of 1948 to meet the needs of the modern tobacco industry and slowed down in the early 1960's in response to the slow, but inexorable decline in tobacco cultivation throughout Vallagarina, the surrounding agricultural area that provided the factory with about seventy percent of the raw material.

In 1969, Manifattura Tabacchi started producing under Philip Morris and in the following year new factory buildings were built in the expansion area next to the old factory, hosting

a highly mechanised production line. Philip Morris's business with the Italian State Monopoly terminated in 2000, when Manifattura Tabacchi first became government property under Ente Tabacchi Italiani (ETI – Italian Tobacco Company), and then was sold to British Italian Tobacco, the Italian branch of British American Tobacco (BAT).

Production stopped completely on 31 March 2008.

1.3. The Masterplan

The "Progetto Manifattura" project was launched a few years after the factory's shutdown on the initiative of the Autonomous Province of Trento, through the company Trentino Sviluppo S.p.A., with the intent of transforming the historic tobacco factory of Rovereto into an industrial innovation center, a certified start-up incubator in the fields of environmentally sustainable building, renewable energy and technologies for the environment and for sport.

In 2009, a design group consisting of Kengo Kuma and Associates, Carlo Ratti Associati, Arup and Kanso was formed to work on this project. The group was asked to give life to the vision of the new Manifattura and to define its guidelines.



Picture 2: Photo rendition of the new buildings with green roofs: in the foreground the historic building complex of the former Manifattura Tabacchi and the Borgo Sacco Church, in the background the city of Rovereto. (courtesy Trentino Sviluppo S.p.A.)

In 2010, a document containing analyses and proposals was drafted. It defined the project's design principles:

- the requalification, recovery and conversion of the historic buildings;
- the dialogue between technology and natural context: a connecting link between the urban fabric, the agricultural context and the green leisure areas;
- the relationship with the shores of the Leno stream;
- the connection of the Manifattura complex with the medieval downtown area of Rovereto and of Borgo Sacco;
- the green roofing;
- the strip along the Leno stream;
- the pathways for pedestrians and vehicles.

This Master Plan gives an overall vision of a new Manifattura complex hinged on two main elements – sustainability and innovation – by introducing a criterion for use of the areas aimed at encouraging creativity and interaction.

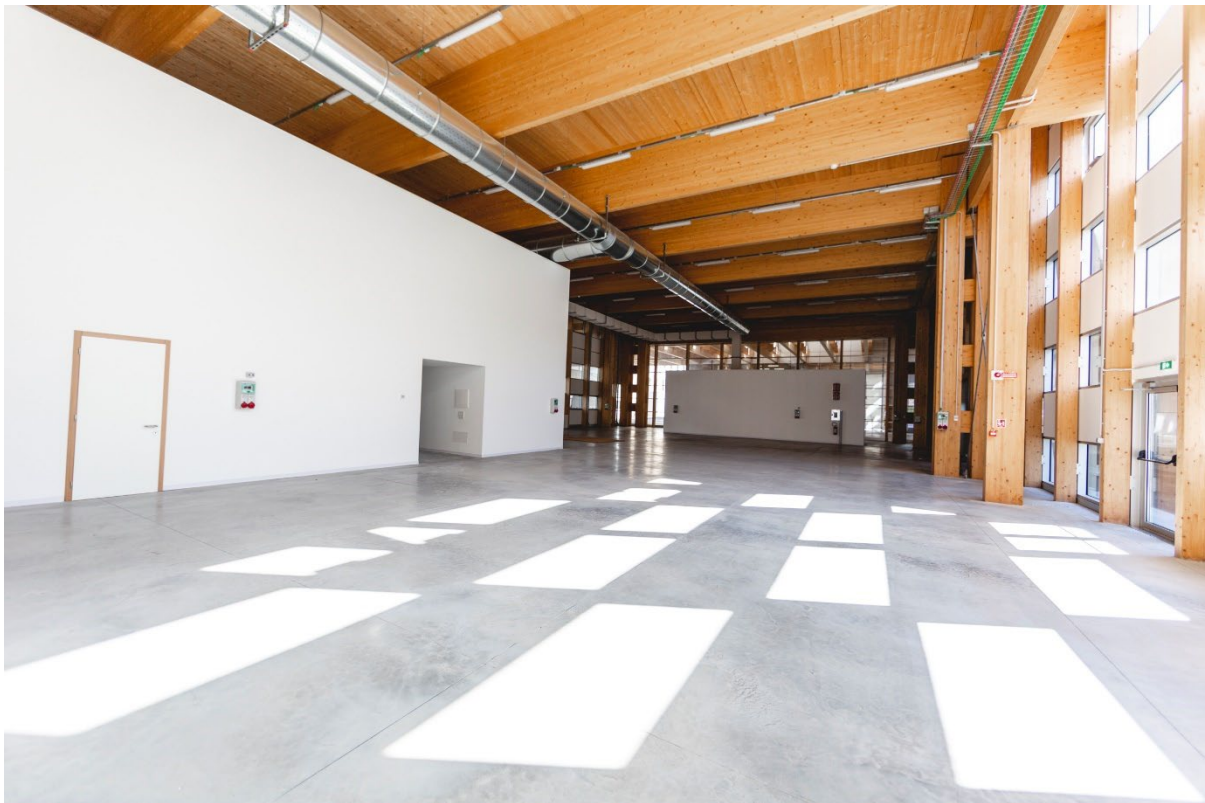
2. The architectural concept

2.1. The idea behind the project

Integration is the primary principle on which architect Kengo Kuma has developed the preliminary design, focusing on:

- the integration between old and new buildings;
- the integration of the new buildings' geometry with the outlines of the surrounding land, especially with the direction of the adjacent vineyards;
- the integration between the green roof covering the new production spaces and the surrounding natural environment;
- the integration of the new spaces of Manifattura with the city and with the Leno stream flowing adjacent to the area.

Thanks to its characteristic timber elements, the architecture of the new buildings is intended to promote an environmentally sustainable style of life and of work. The designing of the workspaces and of the public areas is mainly oriented towards favouring, hosting and representing on a public level those processes of open innovation that have inspired Progetto Manifattura, together with a strong architectural identity.



Picture 3: Interiors of the new production buildings. (courtesy Trentino Sviluppo S.p.A.)

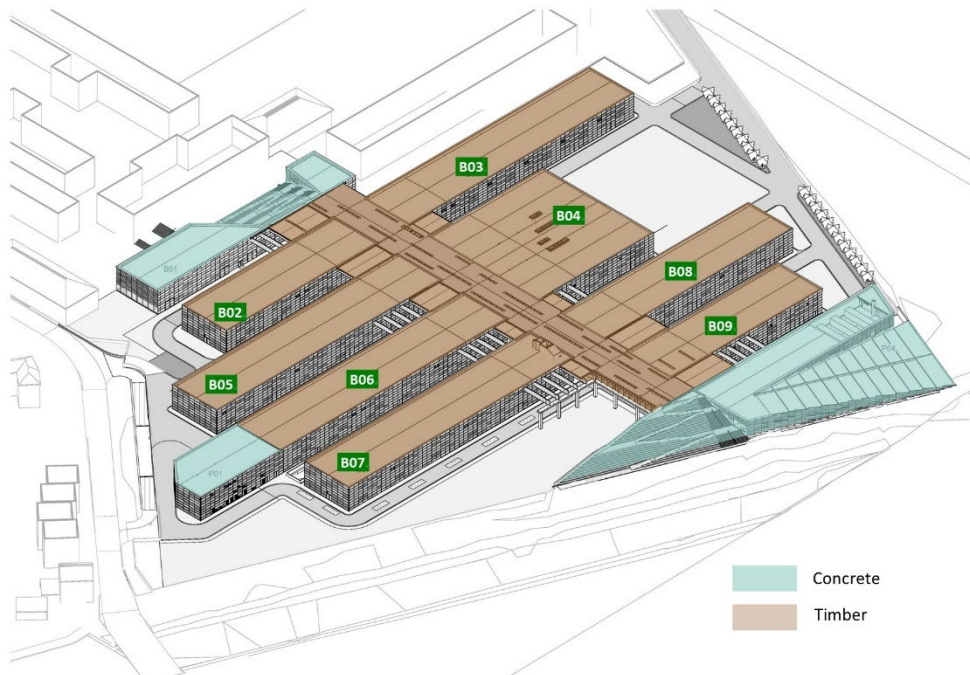
In a letter of presentation of the project, the architect Kungo Kuma wrote: ... *The fact of building in city centers enormous boxes going by the name of 'office buildings', stuffing them with human beings and making them work efficiently at desks, has been a common feature of the 20th century ... Today we feel the strong desire to escape from those boxes ... However, in times when we still don't know where it would be better to go work and live in after escaping from every box, this project in Rovereto will show a post-box life model to the inhabitants of the planet. Here history and the most advanced technology live together. Nature and mankind live together.*

2.2. Project's characteristics

The works for creating Be Factory, the new production spaces within the Progetto Manifattura project, apply to an overall surface area of 50,000 m² and include the following elements:

- an underground level to be used for parking, cellars, utility rooms and technology centre;
- 11 buildings with rectangular floorplan, covering an overall gross surface area of more than 20.000 m²;
- outdoor landscaping.

Of the 11 new buildings, 8 have an entirely timber load-bearing structure while the other 3 are made of reinforced concrete.



Picture 3: General axonometry of the works, clearly showing the prevailing use of timber in the construction of the new buildings.

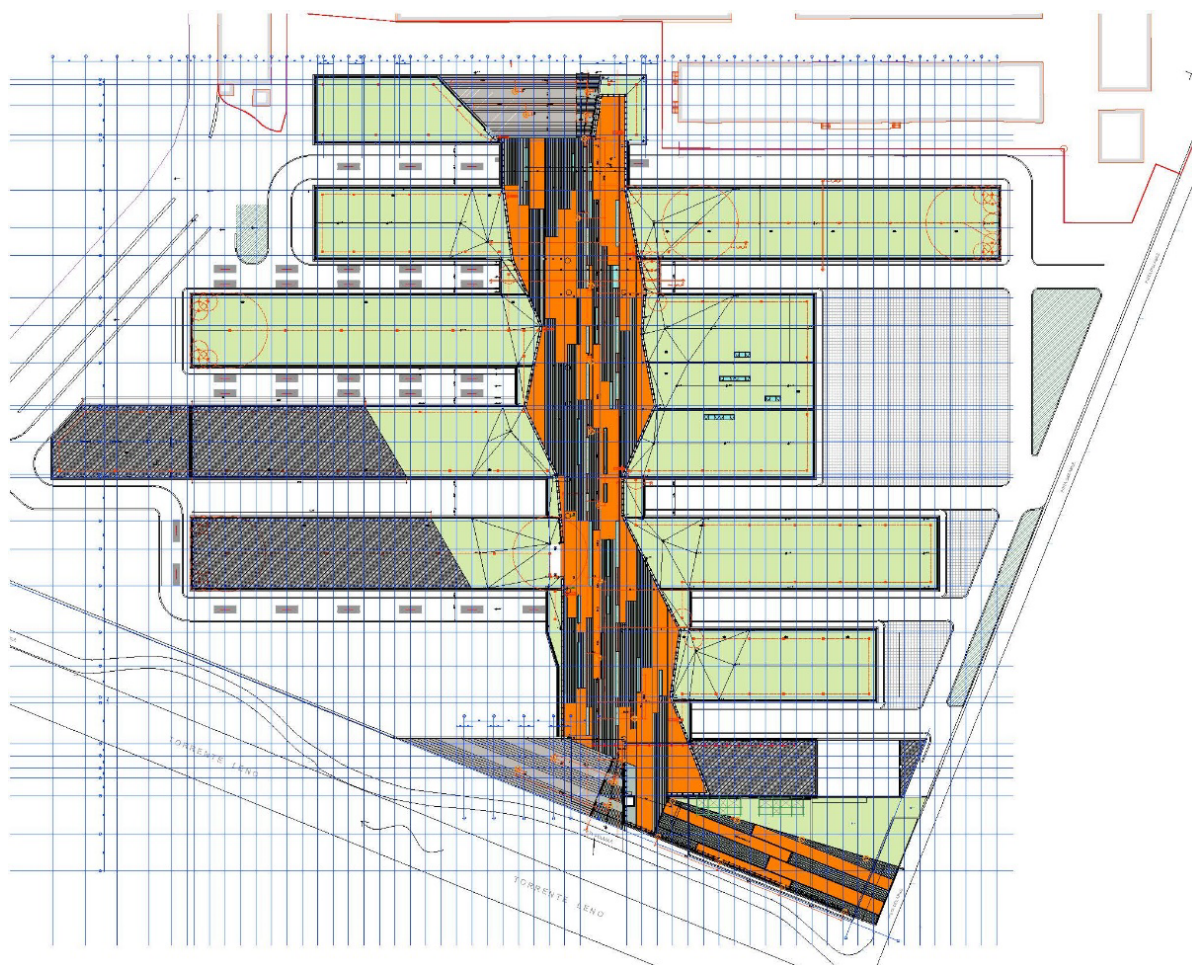
All the timber structures are interconnected by a common covered space which, on the roof level, becomes a public walkway surrounded by green areas. The extensive green roof type, planted with Sedum, has been designed with the intent of minimizing operation and maintenance costs by eliminating irrigation systems.

The new buildings included in the project will host:

- space for companies: destined to host firms even with light production activity; the surface dedicated to the hosted companies' operativity is the largest share of the total space allocated by Be Factory;
- technical workshops and offices;
- support and service activity for businesses: spaces for training courses, warehousing, services and meeting places.

Inside two buildings there is a mezzanine, used as the building's 'piano nobile' (upper floor), also constructed using a glulam timber load-bearing structure and a roof in Cross Laminated Timber panels with exposed bottom finish.

The project aims at achieving the LEED Gold qualification as per the LEED US NC 2009 certification standard.



Picture 4: Layout of the roofs highlighting the walkway: arriving from the banks of the Leno stream, pedestrians can cross the entire site area to reach the ancient town using the boulevard constructed over the tunnel between the buildings.

2.3. The execution project and the building stages

Construction work began in the summer of 2018 with the delivery to the General Contractor of the jobsite, entirely cleared of demolition debris from the pre-existing buildings.

Once the excavation phases and the pouring of all the reinforced concrete structures of the underground, the above ground structures installation started, mainly consisting of timber load-bearing frames for the vertical walls and for the attics. This highly prefabricated approach has considerably speeded-up the assembly phases, having established from the beginning an interactive and participative design process implementing a strong coordination among the various building components: structures, facades, cladding, sky-lights and service technological systems.

The use of prefabricated timber elements accelerated not just the construction of the new buildings, but also reduced considerably the construction site's impact on the urban surroundings in terms of noise and dust emissions. The people in the buildings looking out onto the construction site were almost unaware of the progress of the project, and then proved to be positively surprised when they finally saw the new buildings.



Picture 5: The structures as they appear now, a little more than two years after the start of the construction site works (courtesy Trentino Sviluppo S.p.A.).

In September 2020, 767 days after the start of the works, with over 6.500 m³ of timber structural elements, 13.500 m² of stones, 7 kilometers of optic fiber cables, 80 sub-contractors and 600 workers employed, the buildings of the Be Factory opened their doors, completing the offer of an area planned to meet the production needs of the region with a dynamic space in which large industrial groups, small and medium sized companies and innovative start-ups can interact and promote business synergies with the aim of solving common problems and of tackling together the challenges of circular economy and sustainability.

3. Structural layout

3.1. The building frame modules

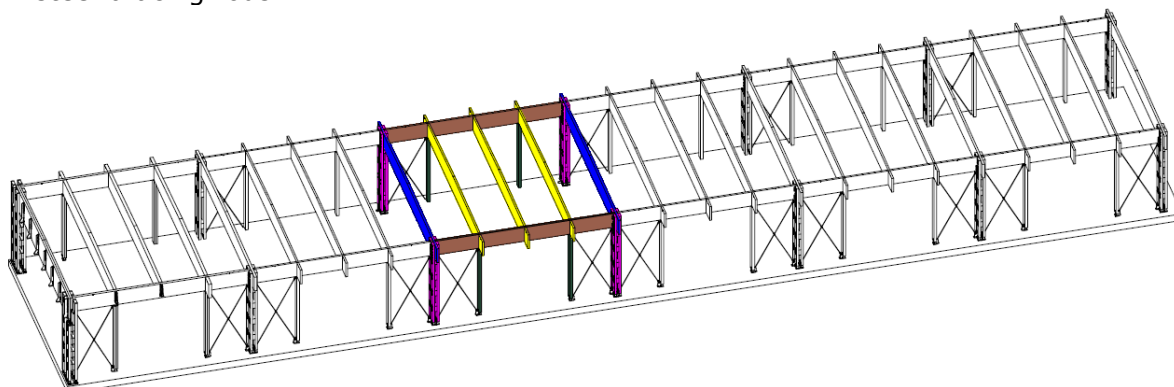
The general layout of the project reflects the structural systems identified in the executive design phase. It results from an architectural study based on the definition of the proportions of the shapes, of the spaces and lights, on the prevailing use of materials, components and products capable of complying with the sustainability criteria set as the main objective of the entire process.

The structure of the eight buildings above ground planned to host production activities is entirely made of timber elements. The buildings appear as a sum of buildings disjointed one from the other at the ground level, even if connected at the roof thanks to a large central distribution area (the tunnel) that branches off at the side entrances. From the tunnel, the buildings made in the South-West area (identified as buildings B2-B5-B6-B7) rest on the post-tensioned reinforced concrete slab that acts as roof for the underground storey; those in the North-East area (buildings B3-B4-B8-B9) stand on basic reinforced concrete foundations.

The load-bearing frames made of glue-laminated timber feature the presence of a structural module that is repeated, in a conceptual line, to form the body of each building. This basic module consists of:

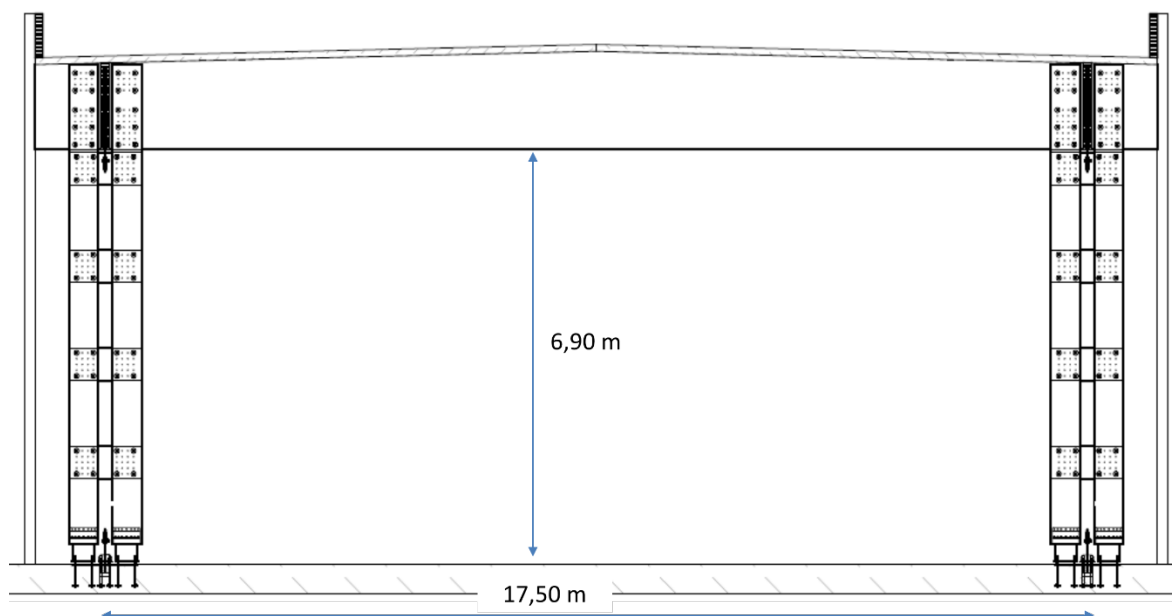
- a main frame placed transversally to the plan of the building, consisting of a double-tapered beam supported by composite quadruple columns;
- an edge beam that longitudinally connects two subsequent main portals;
- a series of secondary beams connected to the edge beam;

- isolated columns leading to the edge beam;
- a series of cantilevered elements that ideally extend the secondary beams to protrude into the façade;
- steel bracing rods.



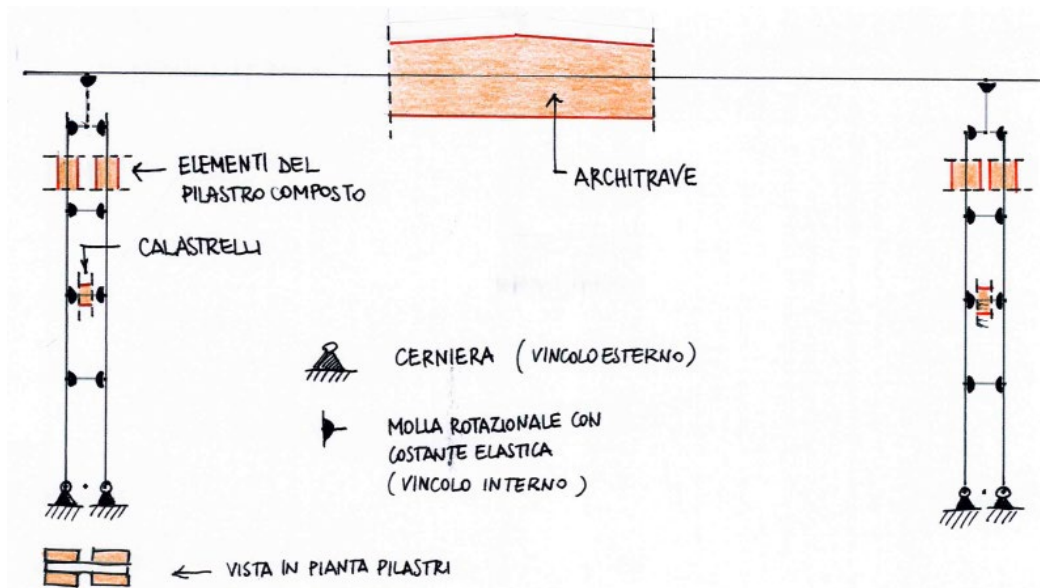
Picture 6: Basic structural building module

A peculiar feature of the structure, that also stands as the predominant architectural appearance, is the shape of the group of columns that makes up the main portal. In fact, these columns are designed as composite elements with double-symmetrical cross-section, obtained by assembling four single separated columns and connected by stiffening brackets made of glue-laminated timber too. The connection of the stiffening brackets to the columns is performed using mechanical fasteners, with a series of bolts and dowels arranged in such a way and number required to be able to transfer both shear and bending moment stresses.



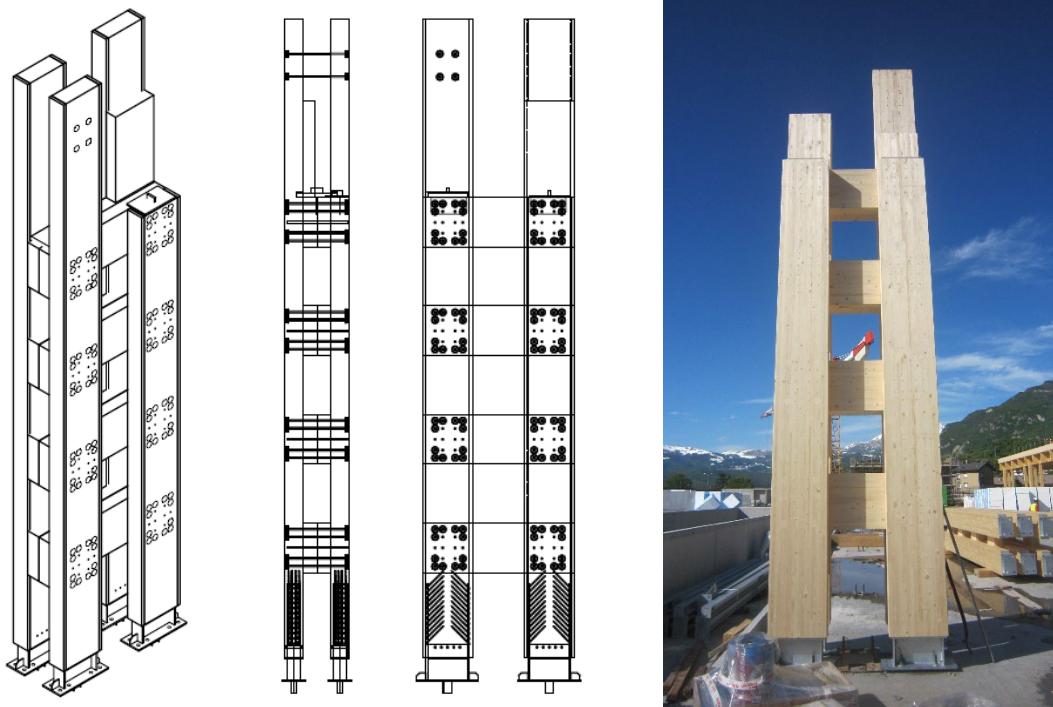
Picture 7: Transversal frames inside the buildings: standard section

Figure 8 shows a drawing of the internal and external parameters used for modelling the main frames that create the building structure. The rigidity values of the nodes were calculated based on the detail of each single connections and derived from considering the slip modulus values K_{ser} as per Table 7.1 of UNI EN 1995-1-1. As regards the definition of several truly significant parameters, i.e the rigidity of the foot spring in the interfacing frames between building and tunnel, the non-linear behaviour of the nodes under various stress conditions that affect timber elements involved, was analysed by a specific modelling of the individual elements.



Picture 8: Transversal frame inside the buildings: schematic drawing of structural elements and nodes

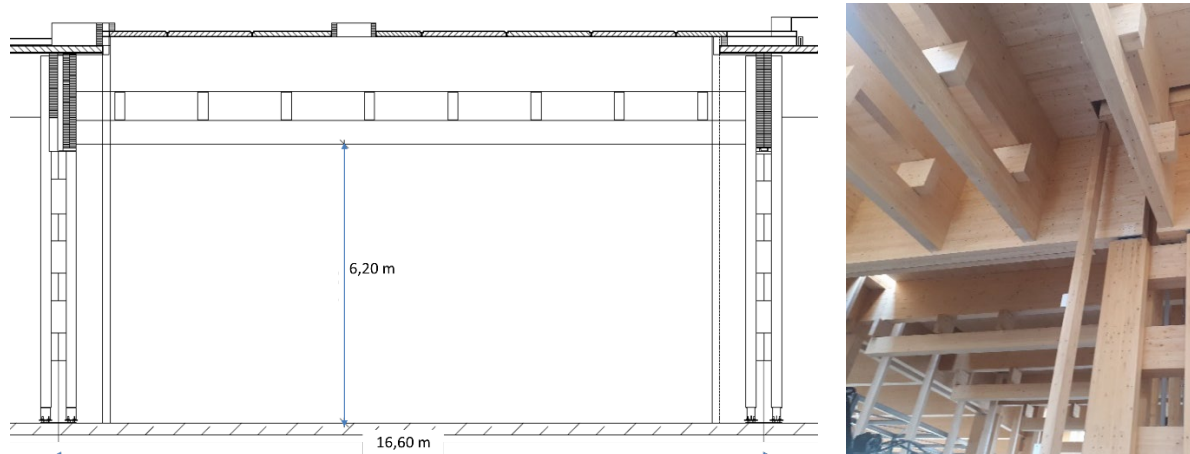
The main frames placed at the interface with the tunnel are different from those inside the buildings as they have significantly larger architraves, designed to support the increase in vertical load transmitted by the roof beams of the walkable tunnel. Such a stress increase required a change in the connection between the architrave and the composite columns: from joint to simple hinge. Consequently, to ensure an adequate value of the displacements associated with the horizontal forces, a modification of the column base node has been needed by introducing, specifically for some of the portals, the rotational stiffness offered by a connection with external plates connected on the sides of the columns with angled full-thread screws. During production phase, these plates were hidden under the timber boards outlining the transversal section of the columns, to ensure the R60 fire resistance rating envisaged for all of the structures.



Picture 9: Pillars with foot insertion block system made using side plates and fully threaded screws

3.2. Tunnel beams

While inside the buildings the characteristic structural element is represented by the frames' composite columns, when walking down the central tunnel the visitor's attention is immediately attracted by the beams geometry that outline the roof, staggered one from the other at a constant distance along the whole length of the tunnel.



Picture 10: Tunnel beams: standard cross section types and detail of the 'interposed blocks'

The original idea of the beam, developed within the masterplan by architect Kengo Kuma, envisaged two transversal timber elements connected one another using interposed 'timber blocks', oriented in an orthogonal direction with respect to the two previous ones, mirroring frameworks and weavings with a game of solids and voids, typical of the Japanese building tradition. This concept has been faithfully followed by exploiting the highest resistance and stiffness performance values achievable by glulam elements: the two booms the beam consists of have been manufactured with strength class GL32c, thereby optimising their size and the corresponding connections.



Picture 11: The tunnel that interconnects the buildings

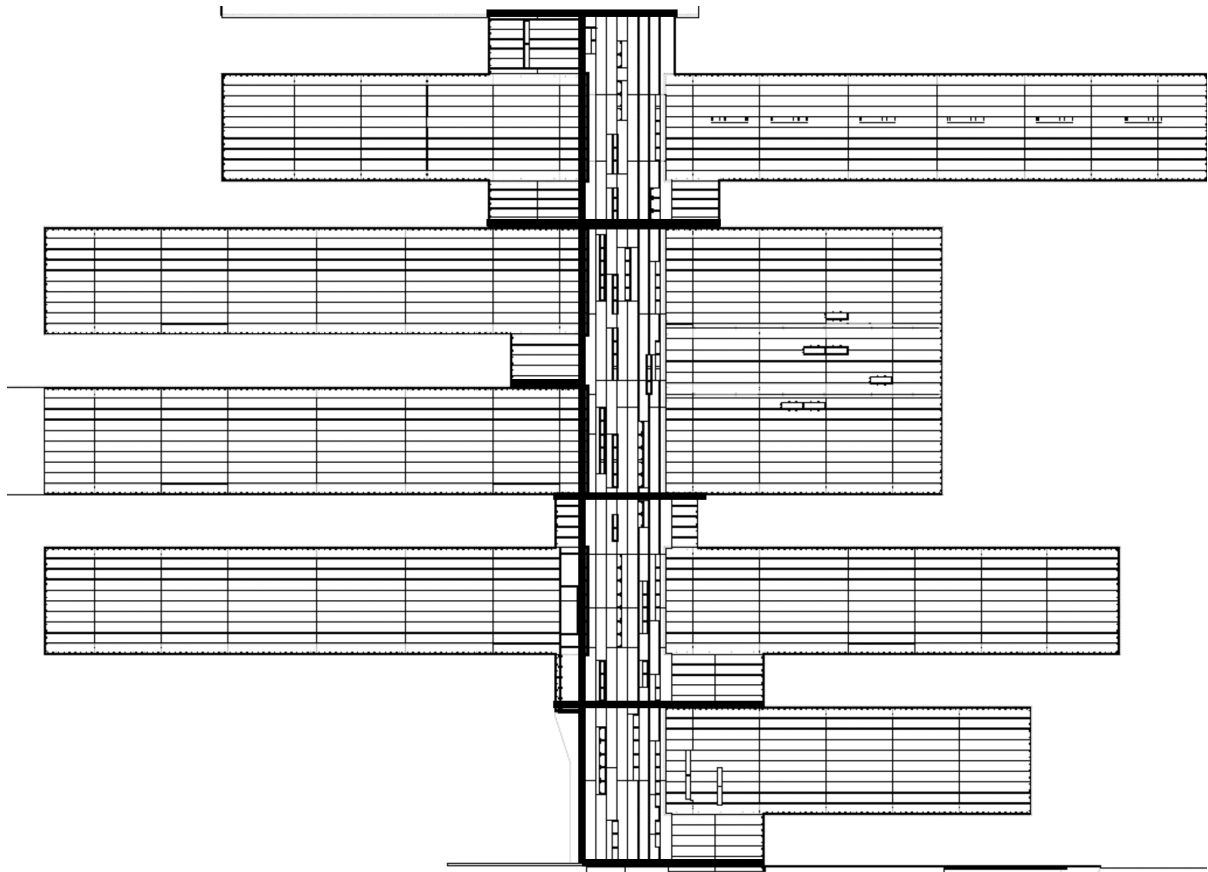
Given the special type of tunnel that, as already mentioned, is not only a surface joining the buildings but also a walkable roof freely accessible to the public, the beams have been subjected to specific modelling in order to assess their vibrational behaviour. The roof was therefore considered to be a footbridge, subjecting the structure to dynamic stresses and testing it by a 'time history analysis', thus making sure to check that vertical acceleration

did not exceed the limit value of $0,7 \text{ m/s}^2$, as per Eurocode. By applying for the various coefficients present in the formulas the values found in the technical literature, it has been possible to estimate a vibration frequency associated to the first mode equivalent to about 7 Hz.

3.3. Seismic joints

Although the vertical structures are regular almost throughout and although inside each building the same construction elements are fairly easy to spot, overall, the project boasts a highly important and significant structural uniqueness that has strongly conditioned its execution design and its construction. At project completion, this is hardly noticeable by final users.

In function of the seismic forces acting on the structures, seismic joints have been positioned and adapted in size between the various buildings and between the buildings and the tunnel, with the aim of making the structure of each production area independent in terms of seismic resistance. The system of joints, that includes physical disjunction not only between the timber structures but also between the underlying reinforced concrete structures, has been designed and built with the aim of minimising its architectural impact, namely to change as little as possible the regular spacing between the beams and the columns that outline the volumes of the buildings.



Picture 12: Layout of the seismic joints

Figure 12 shows the layout of the seismic joints in their final configuration, at the end of an optimisation process that has involved, in one single phase, the architectural designers, the structural engineers and the installers. The planimetric definition of the joints, in addition to meeting a functional requirement of significant impact, consisting in the prevention of mutual pounding between buildings, has allowed considerable simplification in the modelling since it was possible to separately analyse the seismic behaviour of each block.

3.4. Roofs

The roofs are made entirely of CLT timber panels. All panels consist of five layers, with thickness varying in function of their position in plan, taking into account the different roofs load areas, either permanent or variable loads.

In addition to supporting vertical loads, the timber panels provide horizontal stiffness to the roof and to this end they are joined together using a system of screws and staples sized accordingly to the shear forces generated in the bracing plan.

A similar solution is found inside two of the buildings, where similar timber panels are used for the creation of mezzanines.

4. Prefab production

All of the structural elements, both those made of glue-laminated timber and the CLT Timber panels, have been produced and processed at the Rubner Holzbau factory located at Bressanone, in the north of Italy, not so far from the construction site. Production started many weeks prior to the start of works on site, with the acquisition of considerable quantities of boards, the spruce lamellas selected and classified for structural use, necessary to produce the almost 7.000 m³ of structural elements required for the project.



Picture 13: Pre-assembly of the columns at the production plant

Each element was cut, shaped and drilled using CNC-type numerical control machines according to the distinctive specifications prepared during the construction design phase. In many cases, a real factory pre-assembly was completed by composing inside the factory the many structural composite elements requested for completing the project. This operation mainly involved the composite pillars of the main frames and the composite beams of the tunnel and arcade.

The very high level of prefabrication adopted has allowed to greatly reduce construction times and increase the precision and quality of single pieces processing. Furthermore, it helped the construction site assembly work in terms of safety. An example is the moulding along the outer edge of the roof. This element, pre-assembled at the factory on the corresponding CLT roof panel up to 16,60 m long, was used first as a temporary fall prevention element during the laying of the panels, and then as a connection base for the side protection parapet used in the subsequent phases up to completion of the roof.



Picture 14: Placing of the CLT edge panel with the factory pre-assembled moulding

5. Construction site work

The careful planning of all the activities and the professional skill of the staff employed at the construction site has allowed to complete the eight buildings, the tunnel, and the connection arcade, including almost 24.000 m² of CLT roof panels and more than 1.100 glulam timber pillars for supporting the facades, in just a little more than 5 months.

6. Project participants

Main Client	Trentino Sviluppo S.p.A. Via Fortunato Zeni, 8 38068 Rovereto (TN) – Italy
Masterplan	Arup, Kengo Kuma Associates, Carlo Ratti Associates, Kanso
General Contractor	Colombo Costruzioni S.p.A. Via Nino Bixio, 4 23900 Lecco (LC) - Italy
Construction design and execution of timber structures	RUBNER Holzbau srl Via A. Ammon, 12 39042 Bressanone (BZ) – Italy www.rubner.com

7. Link-Tips

<https://befactoryproduzione.progettomanifattura.it/en>

<https://progettomanifattura.it/en>

3 edificios de oficinas con estructura de madera

Albert Gil Margalef
Batlleiroig
Barcelona, España



3 edificios de oficinas con estructura de madera

1. Introducción

La innovación ha sido, es y seguirá siendo uno de los pilares fundamentales de la cultura de Batlleiroig Arquitectura. El contexto actual de emergencia climática ha canalizado toda nuestra innovación hacia la búsqueda de soluciones constructivas que mitiguen al máximo las emisiones de CO₂ fruto de los procesos constructivos. Este hecho nos llevó a que en 2019 nos marcáramos como objetivo fundamental construir estructuras de madera, dado que es precisamente en la estructura donde más proporción de material se utiliza para la construcción de un edificio y, por lo tanto, donde más efecto podría comportar cualquier optimización. Desde entonces, hemos tenido la fortuna de poder desarrollar tres proyectos de oficinas cuya estructura se ha desarrollado total o parcialmente en madera, se trata de la Sede de Vega Instrumentos en Sant Cugat del Vallès, del edificio T3 Diagonal y del edificio Inspire, estos dos últimos ubicados en el distrito del 22@ de Barcelona.

2. Sede de Vega Instrumentos en Sant Cugat del Vallès

2.1. Introducción proyecto

La Sede de Vega Instrumentos en Sant Cugat del Vallès es el primer edificio de oficinas privado de España con una estructura íntegramente de madera. Se caracteriza por ser un edificio de planta cuadrada de 30 x 30 m, de planta baja +1, que cuenta con una superficie construida de 1.800 m². Las obras de la Sede de Vega Instrumentos se iniciaron en enero de 2019 y finalizaron en abril de 2022. La duración de ejecución de la estructura de madera fue de 1 mes y 10 días (15/04/21 al 25/05/21) y fue llevada a cabo por Egoín. El edificio contiene 650 m³ de madera o –lo que es lo mismo– 1.800 m² de madera.

2.2. Descripción técnica

La estructura del edificio se resuelve mediante elementos de madera laminada y contralaminada, siguiendo una retícula de elementos porticados de madera laminada GL24H sobre los que se van posando los forjados de CLT. La trama estructural parte de un módulo de 5x5 para conseguir luces de 10 metros libres en los espacios perimetrales de trabajo. Un sistema lógico con unas luces muy razonables. La estructura vertical se resuelve mediante pilares de madera laminada y panel de madera contralaminada. El conjunto de la estructura se apoya sobre una cimentación semiprofunda resuelta mediante zapatas con pozos de cimentación. El edificio consta de un forjado sanitario de placas alveolares con capa de compresión de hormigón in situ.

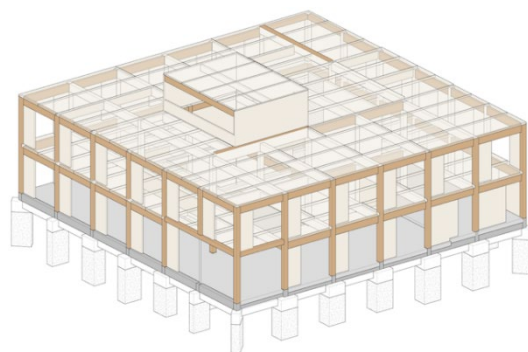


Ilustración 1: Fotografía del edificio e imagen 3D de la estructura de madera sobre forjado de hormigón

– Protección contra la humedad

A la hora de montar la estructura del edificio, y a la hora de colocar los paneles de cubierta, conviene incluir en la oferta una lámina protectora para evitar que, durante el proceso de obra, entre humedad por los paneles. De esta manera evitamos que se deterioren y que posteriormente haya que lijar y volver a barnizar todos los paneles de cubierta.

En relación al contacto con el terreno, conviene que los arranques de los pilares se levanten de la cota inferior con elementos metálicos para evitar cualquier hipotético contacto con humedad proveniente de cotas inferiores por capilaridad.



Ilustración 4: Arranque metálico de pilar sobre forjado de hormigón

– Replanteo y previsiones de las instalaciones

Es importante tener previstos todos los pasos de instalaciones a la hora de realizar el replanteo de estructura, ya que cualquier modificación realizada en obra requerirá, por un lado, realizar los nuevos pasos, que en paneles de CLT de poco espesor podrían realizarse con facilidad, pero difícil si tienen que atravesar paneles más gruesos como forjados. Por otro lado, las modificaciones en instalaciones pueden provocar que queden huecos en paneles/forjados que posteriormente se tengan que cerrar con algún material tipo *Promat*.

– Planeidad de los elementos y tolerancias de ejecución

Era nuestra intención mostrar los elementos estructurales en el interior del edificio. Para una correcta ejecución de estos elementos estructurales –junto con otros materiales de acabado– conviene prevenir tolerancias de movimiento y planeidad como, por ejemplo, entre los pilares y los elementos de revestimiento y carpinterías, donde se marcaron unas juntas que minimizaban las imperfecciones de planeidad entre elementos y permitían ciertos movimientos diferenciales entre elementos.



Ilustración 5: Encuentro de paneles acústicos y pilar de madera

3. Oficinas T3 Diagonal Mar

3.1. Introducción proyecto

El edificio de oficinas T3 Diagonal Mar es el primer edificio de oficinas en Europa que forma parte de la familia T3 (Timber, Transit, Technology). Esta nueva generación de oficinas apuesta por la calidez y sostenibilidad de la madera con sistemas altamente industrializados. Es un edificio de planta baja + 4 que cuenta con una superficie construida de 3.625 m². Las obras empezaron en mayo de 2021 y se prevé que finalicen en mayo de 2023. La duración de ejecución de la estructura de madera fue de 3 meses y 1 día (14/03/2022 al 15/06/2022) y fue llevada a cabo por Egoín. El edificio está compuesto por 1.291 m³ de madera en la estructura y con 26,62 m³ de madera en la fachada (muro cortina + revestimiento exterior).

3.2. Descripción técnica

El proyecto forma parte de un conjunto edificatorio que ocupa el frente de la calle Cristóbal de Moura de Barcelona, y está formado por una residencia de estudiantes (en estructura de hormigón) y las oficinas del T3 Diagonal Mar, asentados sobre la misma losa del parking e instalaciones en la planta -1.

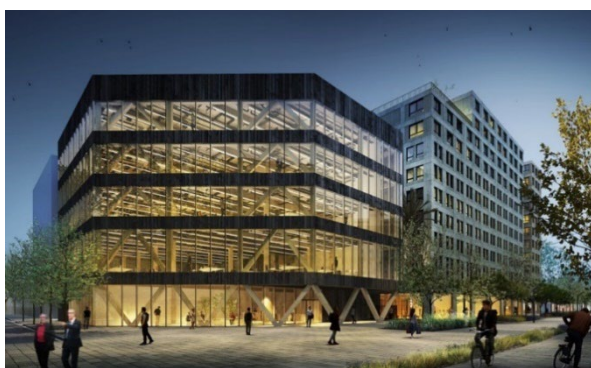


Ilustración 6: Vista del proyecto del edificio de oficinas T3 con la residencia de estudiantes detrás, que forma parte de la misma intervención

La estructura de madera del edificio T3 arranca de la losa del techo del parking y consta de planta baja y cuatro plantas, con una caja de escalera y ascensor que da acceso a la cubierta.

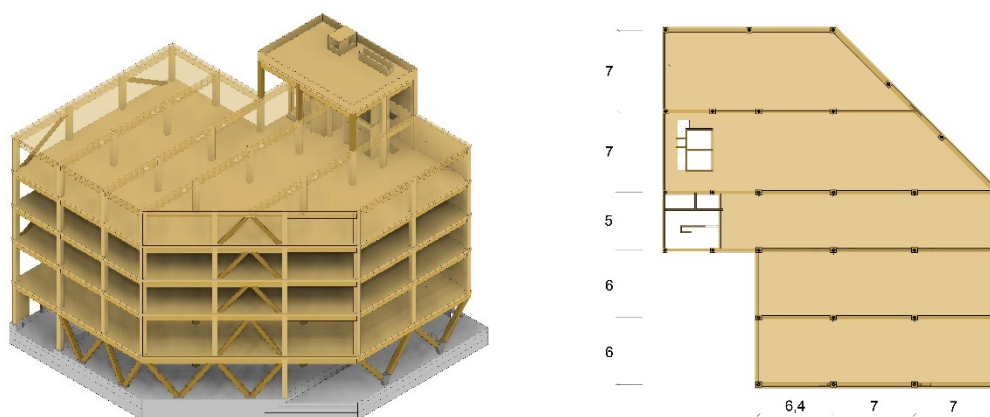


Ilustración 7: Imagen 3D y planta de la estructura de madera sobre forjado de hormigón

Bajo rasante, la estructura es de hormigón armado, y se resuelve mediante losas macizas de 40cm apoyadas en pilares y muros de hormigón armado. Sobre rasante, se soluciona mediante estructura de madera con forjados tipo CLT y con pilares y vigas de madera laminada. La madera utilizada es Pino Radiata para la madera en el interior y Alerce para los elementos que quedan en el exterior.

Las jácenas de madera se apoyan sobre pilares de madera con luces de aproximadamente 6m entre ellas. Se disponen, además de los pilares, paneles verticales de CLT y cruces de arriostramiento de madera, para rigidizar ante acciones horizontales.

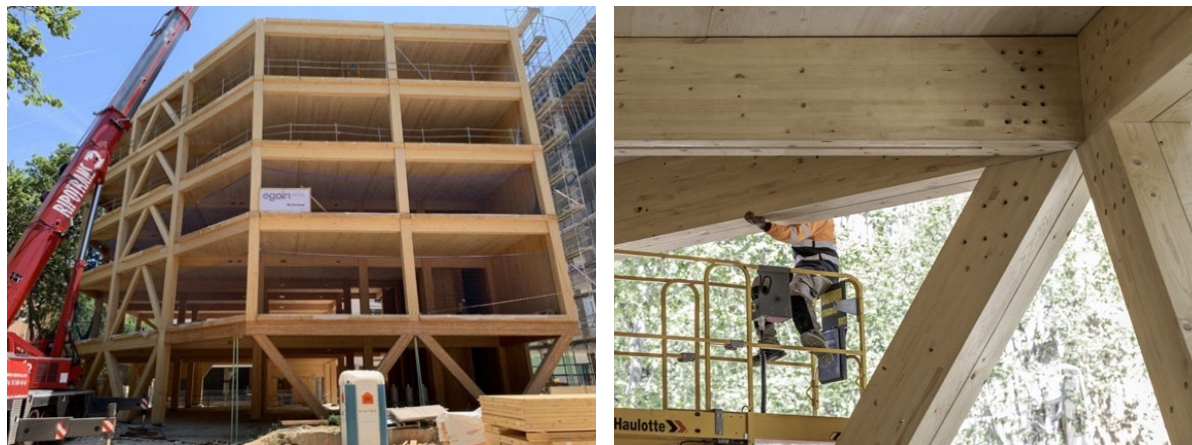


Ilustración 8: Imagen de la estructura en construcción y detalle de la unión

Para los arranques de los pilares tipo «V», se dispone de bases de hormigón prefabricado en el exterior y herrajes metálicos en el interior, conectadas al forjado/jácena de coronación.

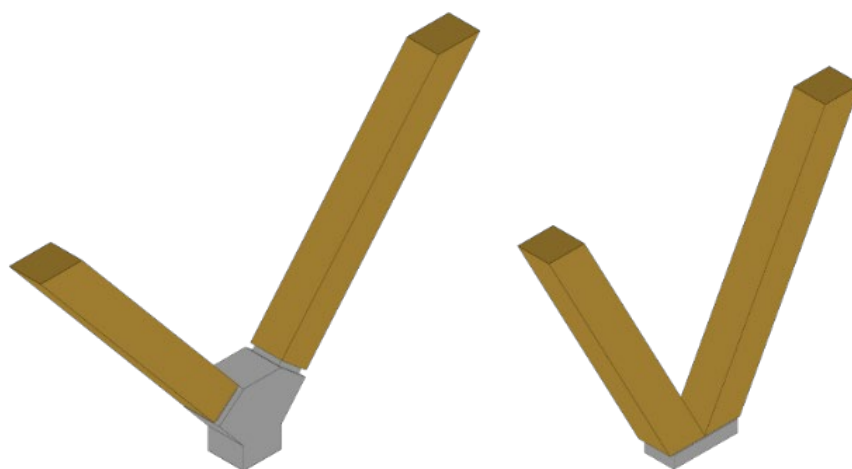
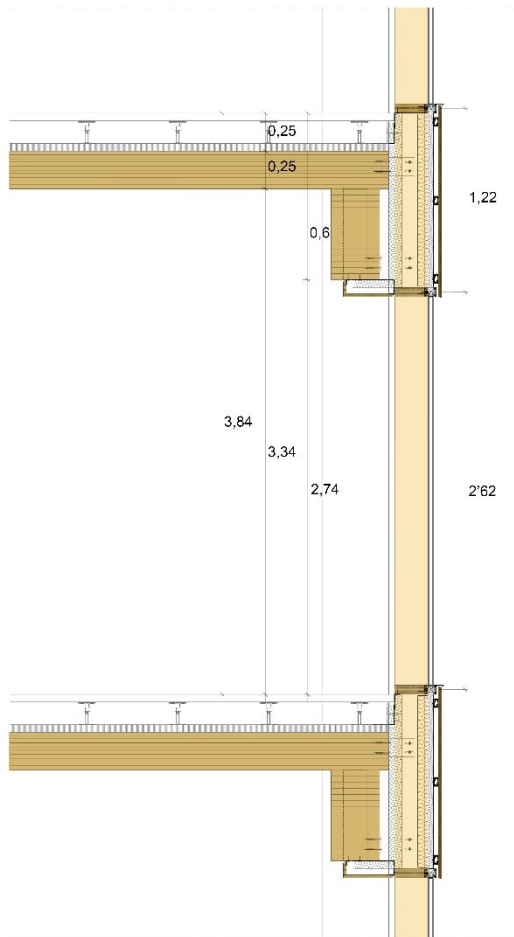


Ilustración 9: Variantes del arranque de los pilares en V, en exterior e interior del edificio

La fachada se había planteado originalmente como un muro cortina con montantes y travesaños de madera laminada de Pino Radiata con revestimiento de lamas de madera de Alerce carbonizada en las zonas opacas de la fachada, pero se optimizó posteriormente con un sistema mixto de paneles prefabricados de acero en las partes ciegas de la fachada, con muro cortina sólo en las partes acristaladas, pudiendo optimizar la sección de madera de los montantes más de un 30%, gracias a la reducción de cargas (mayormente de viento) que supone la disminución de la luz del muro cortina. Si bien hay que priorizar el uso de madera frente a otros materiales, conviene hacerlo siempre de la manera más óptima, con la máxima eficiencia y optimización del conjunto de materiales del proyecto.

Sección fachada proyecto:



Optimización en obra:

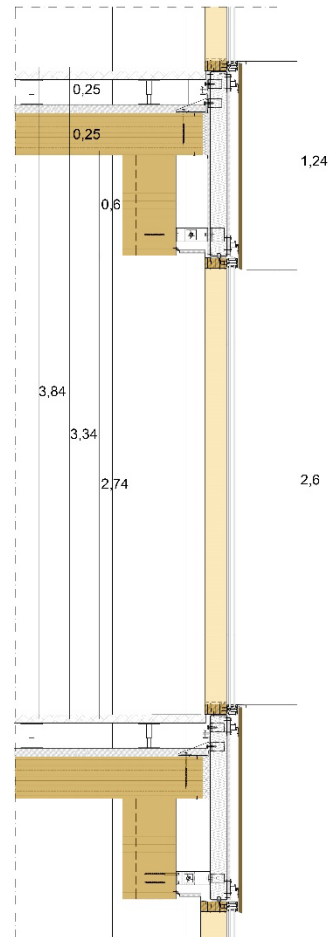


Ilustración 10: Fachada del chaflán durante la construcción de la fachada

El sistema de carbonización de la madera de la fachada, llamado *Yakisugi* (también conocido como *Shou-Sugi-Ban*) es un método tradicional japonés de preservación de la madera. Mediante una ligera carbonización de la superficie de la madera, sin quemar toda la pieza, ésta se vuelve impermeable y, por lo tanto, más duradera. También protege contra insectos xilófagos. Este sistema garantiza una mayor durabilidad del material, eliminando cualquier modificación de su coloración y eliminando cualquier tipo de mantenimiento posterior.

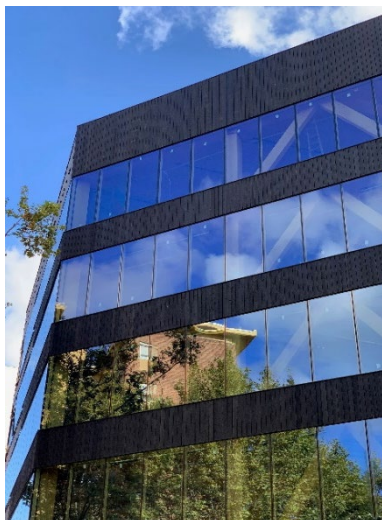


Ilustración 11: Mockup de la fachada, con las lamas de madera carbonizada

3.3. Consideraciones específicas y aprendizajes del proyecto

– Tolerancias estructura madera vs hormigón



Ilustración 12: Arranque de la estructura en planta baja, sobre losa de hormigón

La importante diferencia de tolerancias en la ejecución de la estructura de hormigón y la de madera requiere poner mucha atención a los puntos de contacto entre estas dos estructuras. Hay que tener en cuenta que la estructura de madera es prefabricada, ya que se corta en taller y trabaja con unas tolerancias reducidas, de milímetros, mientras que las tolerancias de la estructura de hormigón habitualmente están sobre los 20 mm.



Ilustración 13: Dado de hormigón de arranque de los pilares en V en el exterior

En el caso de T3, fue especialmente complicado el ajuste del arranque de los pilares en V sobre las bases prefabricadas, ya que en este punto se concentran 4 tecnologías diferentes: hormigón in situ de la losa, base prefabricada de hormigón con chapón para fijación de los herrajes, herrajes de acero inoxidable y, por último, pilar de madera laminada.

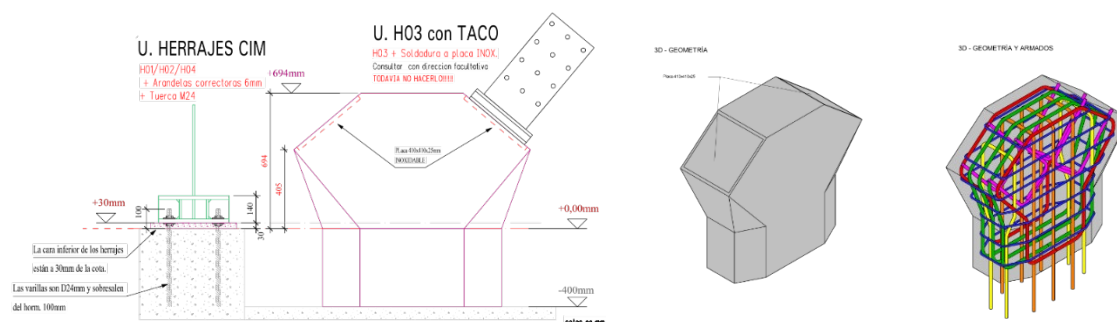


Ilustración 14: Detalles del dado de hormigón: geometría, herrajes y armado

– Requerimientos de fuego en fachada

La normativa indica que para fachadas de más de 18 m, los revestimientos deben cumplir con una reacción al fuego B-s3, d0. Dado que el revestimiento es de madera de Alerce carbonizada, se deben garantizar estas prestaciones a fuego con un sistema que tenga la máxima durabilidad y no requiera de mantenimiento periódico (como requieren los barnices), ya que esto afectaría al acabado carbonizado. En este caso, se utilizó un tratamiento mediante autoclave previo a la carbonización y, por último, se aplicó un barniz fijador para evitar ensuciarse al tocar el material.



Ilustración 15: Montaje de la fachada medianera revestida en madera carbonizada

– Requerimientos frente al fuego de la estructura

La estructura de madera debe cumplir con diferentes requisitos frente al fuego:

I. Resistencia al fuego (R)

Para la resistencia al fuego (R) se justifica por sección remanente y tiempo de carbonización como indica la CTE DB SI. En nuestro caso, se justifica R90 en paredes y forjados y en algunos puntos R120.

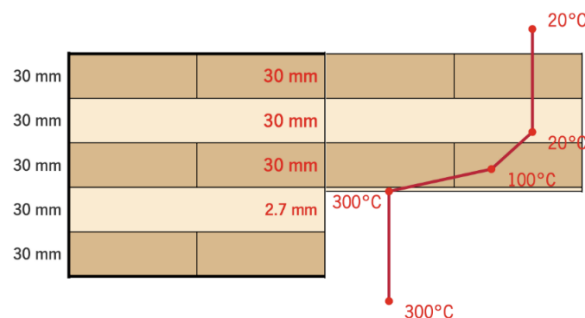


Ilustración 16: Simulación de la carbonización de muro CLT y gradiente de temperatura

II. Aislamiento e integridad al fuego, cuando cumple funciones de sectorización (EI)

En el caso de la EI, se deberán tener los ensayos del fabricante de CLT, dado que el Eurocódigo 5 sólo permite su cálculo para elementos de como máximo 60 minutos. En caso de no disponer de dichos ensayos, se puede conseguir la EI requerida añadiendo un elemento de protección que, a su vez, esté ensayado sobre CLT. En nuestro caso, se precisaba de una EI120 en algunos puntos del edificio, pero el fabricante de CLT no dispone de ensayos a fuego. Inicialmente se habían prescrito sistemas de cartón yeso para conseguir la EI requerida, pero, hoy en día, parece que no hay fabricantes de cartón yeso con este tipo de ensayos. La solución finalmente ejecutada fue con aplacado directo de *Fermacell*, que tiene un amplio abanico de ensayos en CLT.

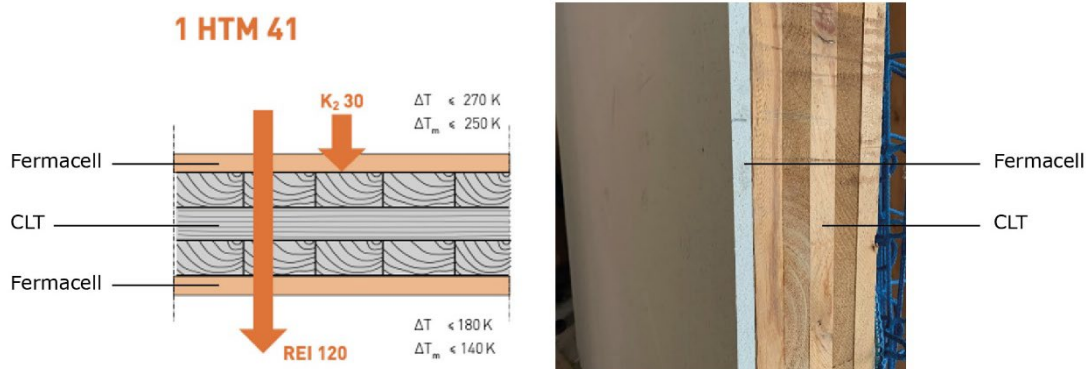


Ilustración 17: Ilustración del catálogo de Fermacell y puesta en obra de la solución en la caja del ascensor

III. Reacción al fuego en elementos no lineales como el CLT, que según la CTE DB SI debe ser considerado como un revestimiento.

Con relación a la reacción al fuego, la madera de Pino Radiata es un D-s2,d0, pero la normativa pide un C-s2,d0 y B-s1,d0 para los espacios protegidos, que en este caso se consigue por aplicación de barnices de tratamiento ignífugo.



Ilustración 18: Muestras de barnices ignífugos que garantizan hasta el Bs1,d0 (Ignitor y Aithon PV33)

– Protección contra la humedad

Es importante protegerse de la humedad durante la construcción del edificio y, posteriormente, durante la vida útil del mismo.

En fase de diseño, se revisó que en ningún punto la madera de la estructura (pilares y CLT) quedara por debajo del nivel del pavimento de Planta Baja, para evitar que posibles futuras filtraciones de agua accidentales pudieran afectar partes no vistas de la base de la estructura, generando patologías de difícil y costosa reparación. En algunos casos los paneles CLT y pilares arrancan desde dados de hormigón.

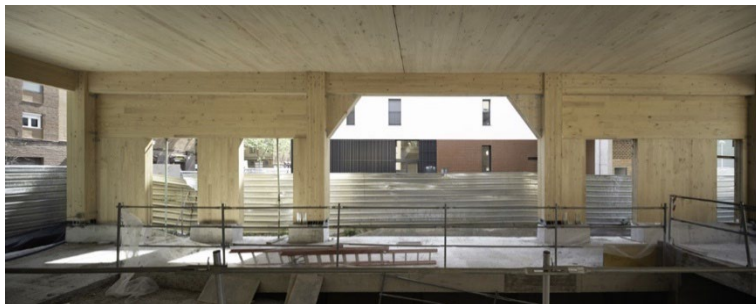


Ilustración 19: Base de hormigón para elevar los muros de CLT por encima pavimento acabado

Durante la fase de obra, los forjados se protegieron con una lámina *Wetguard*, que nos permitió reducir al mínimo los chorretones y manchas en el interior del edificio.

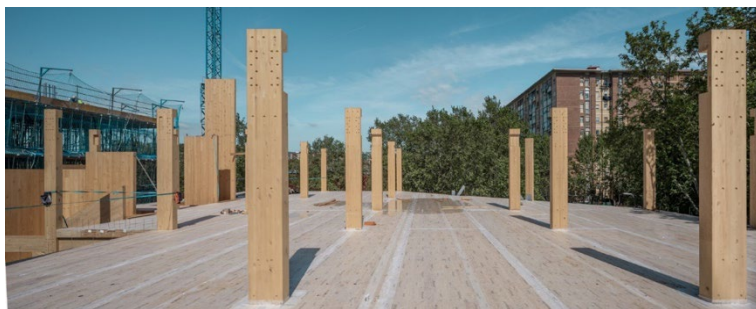


Ilustración 20: Lámina de Wetguard aplicada en panel CLT durante montaje de la estructura y estado del forjado tras un día de lluvia

4. Oficinas INSPIRE

4.1. Introducción proyecto

Inspire es el primer edificio de oficinas con certificado PAS2060 y emisiones de carbono neutro en el 22@ de Barcelona. Es un edificio de planta baja + 6 con una superficie construida de 15.835 m². Las obras comenzaron en febrero de 2023 y se prevé que finalicen en abril de 2025. El edificio está compuesto por 7.512 m² (2.150 m³) de forjados de estructura de madera y 3.584 m² de revestimiento de madera carbonizada en fachada. En la actualidad, es el edificio de oficinas con más m² de madera en Barcelona.



Ilustración 20: Vista del proyecto del edificio de oficinas Inspire

4.2. Descripción técnica

La estructura de las plantas sótano, planta baja, primera y segunda se resuelve mediante estructura de hormigón armado y/o postesado. La estructura de la planta tercera hasta la planta cubierta se resuelve con estructura de madera laminada y contralaminada. La estructura vertical se resuelve mediante pilares de hormigón, madera laminada y metálicos según su posición. Además, la estructura vertical tendrá dos núcleos formados por muros de hormigón armado y muros de madera contralaminada (CLT).

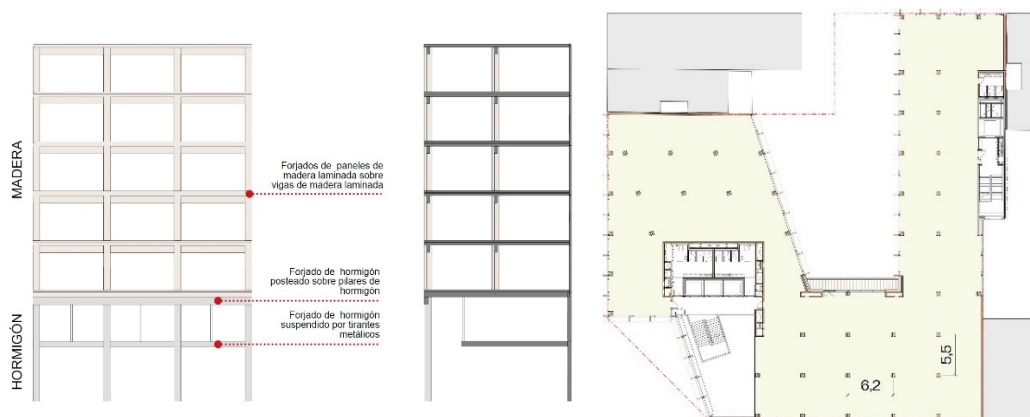


Ilustración 21: Esquema de estructura mixta de hormigón y madera y planta tipo

Los pilares de madera se conforman por un doble pilar de 20x52 unido por tapetas de sacrificio retranqueadas, con doble función: evitar reducir por carbonatación la sección del pilar en caso de incendio y para arriostrar ambos pilares:

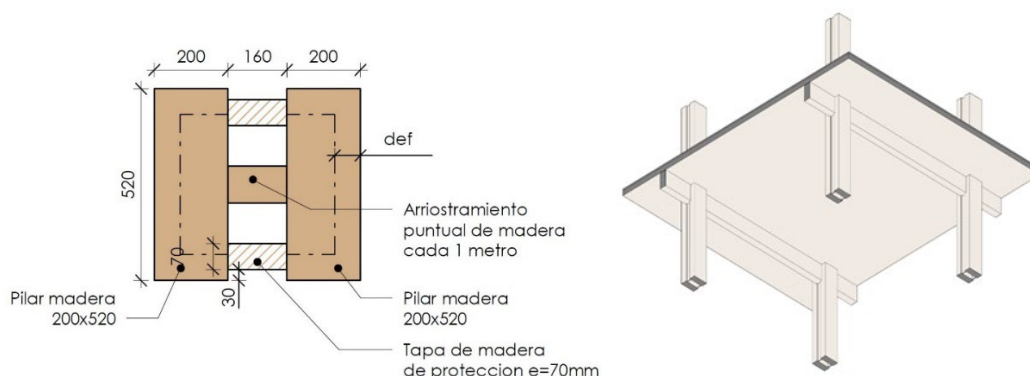


Ilustración 22: Detalle pilar de madera tipo

La estructura horizontal (forjados) se resuelve mediante forjados bidireccionales (losa maciza armada y/o postesada de planta -2 a planta 2) y con paneles unidireccionales de madera contralaminada apoyados sobre jácenas de madera laminada (de planta tercera a cubierta). El forjado de planta segunda trabajará como una losa maciza de transición de hormigón postesado, entre la estructura de madera y la de hormigón. El conjunto de la estructura apoya sobre una cimentación superficial resuelta mediante losa de cimentación. La contención perimetral del terreno se realiza mediante muros pantalla.

La fachada de oficinas se compone de un muro cortina de aluminio con sistema modular pasante por delante de los cantos de forjado y fijada a la estructura principal de madera. Sobre los módulos de carpintería se disponen unas lamas de madera carbonizada horizontales y verticales conformando grandes marcos en la fachada. La madera será de Alerce con tratamiento mediante autoclave para conseguir la clasificación a fuego B-s3-d0, que posteriormente recibirá un procedimiento de carbonizado y un barniz de fijación.



Ilustración 23: Imagen y detalle de la fachada

4.3. Consideraciones específicas y aprendizajes del proyecto

– Pasos de instalaciones en las vigas

El posicionamiento de huecos en las vigas está regulado en la normativa del Euródigo, por lo que hay que ser muy riguroso con el replanteo de los huecos y el trazado de las instalaciones.

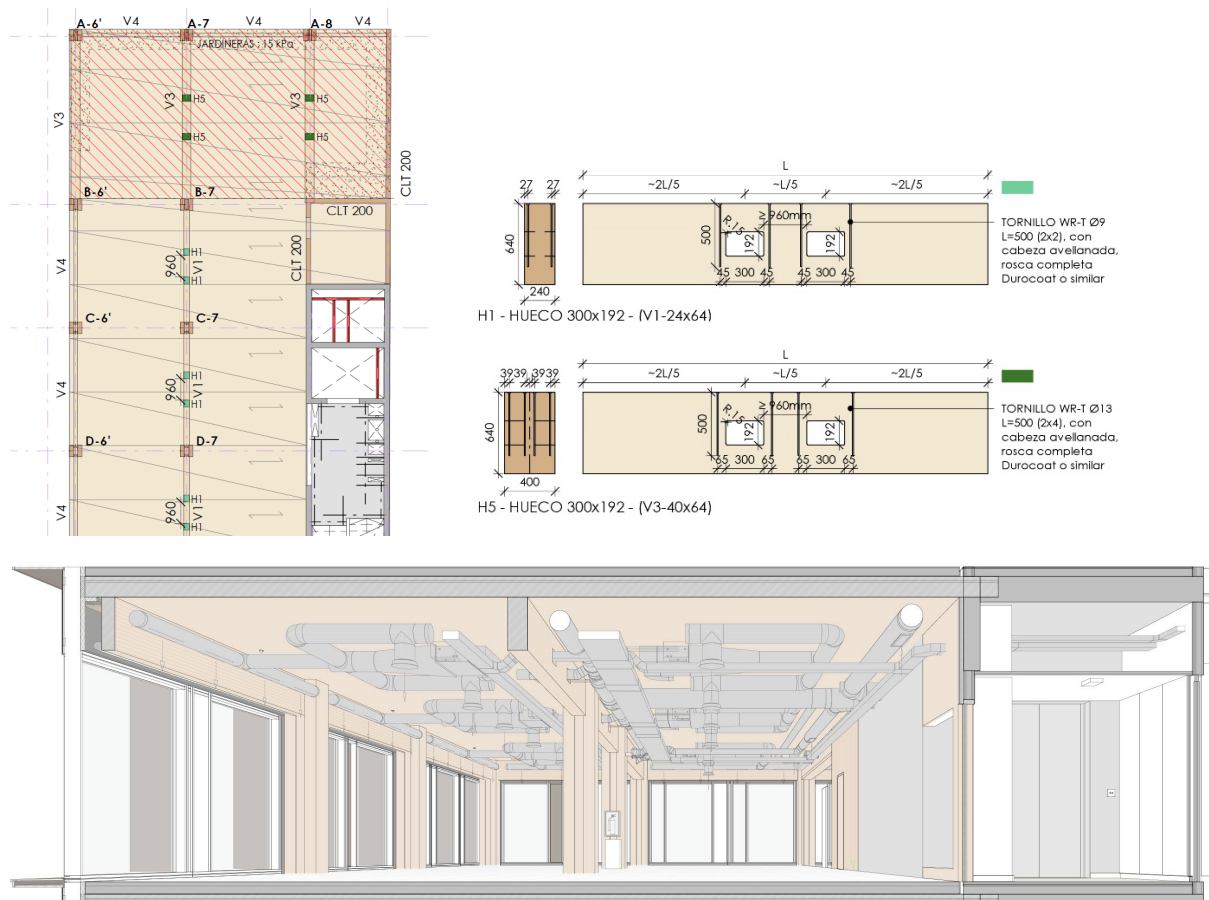


Ilustración 24: Planta tipo de estructura de madera, con replanteo de las perforaciones de las vigas

– Cumplimiento CTE DB-HR ruido impacto

Para dar cumplimiento con los requisitos para el ruido aéreo y también para el ruido de impacto, se ha tenido que estudiar la solución. En este caso, para cumplir con el ruido aéreo, ha habido que añadir 2 cm de lana mineral de densidad $>100 \text{ kg/m}^3$ entre el CLT y la capa de compresión. Para conectar la capa de compresión y el forjado – y que ambos trabajen conjuntamente – se emplean conectores y, además, hay que proteger la capa de aislamiento de la humedad de la capa de compresión con una lámina de polietileno intermedia.

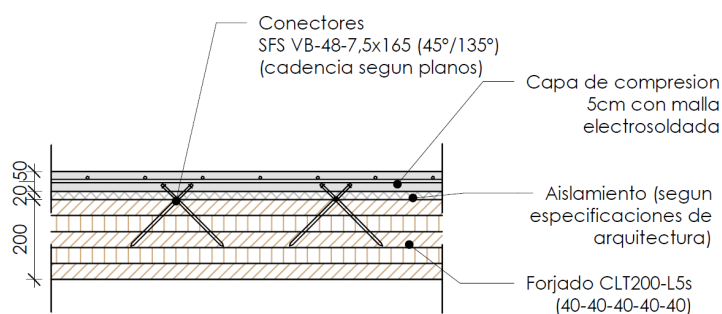


Ilustración 25: Detalle forjado planta tipo

El ruido de impacto se controla rompiendo la continuidad física de los elementos para evitar la transmisión de vibraciones. Para ello, se colocan juntas antivibratorias en el encuentro de los pies de los plots con el forjado.

5. CONCLUSIÓN

Nuestra experiencia en innovación, con la aplicación de nuevos sistemas constructivos, nos ha llevado a concluir que es imprescindible entender las reglas de diseño y las limitaciones y restricciones normativas de dichos sistemas.

En el caso de la madera estructural, este conocimiento profundo nos permitirá integrar desde el inicio del diseño dichos parámetros, permitiéndonos optimizar las soluciones, pues el objetivo no ha de ser solamente construir con madera, sino hacerlo con la máxima eficiencia: «*construir con madera con la mínima madera*», para poder minimizar al máximo la huella de CO_2 de nuestras edificaciones, siendo fieles a la misión de Batlleiroig «Fusionar ciudad y naturaleza» para mitigar la emergencia climática de nuestro planeta.

VIERNES, 2 de JUNIO

BLOQUE 3

Proyectar y construir con madera

Outlook on the future design of timber-concrete-composite structures in the Eurocode

Alfredo Dias
University of Coimbra
Coimbra, Portugal



Jörg Schänzlin
Hochschule Biberach
Biberach, Deutschland



Outlook on the future design of timber-concrete-composite structures

1. Introduction

In recent years the advantages of timber-concrete-composite structures as increased stiffness and load capacity or improved sound insulation have been a motivation for a wider use of these systems in buildings (see [1]). In order to support this higher demand, clear rules and a common understanding, how to design timber-concrete-composite structure is essential. For this reason the existing knowledge was collected and summarized (see [2]). Within the work of CEN/TC250/SC/PT5.2 this knowledge was transformed into a Technical Specification, which, eventually will be the basis for a new part of Eurocode 5 [3] in the next generation of the Eurocodes.

In this paper the main contents of this Technical Specification as well as the main differences to the common design, according to the available guidelines and technical approvals are presented.

2. Range of application

Timber-concrete-composite structures show a large variability regarding the materials, the cross-sections, the connections that are used or even the design approaches that are followed. A main reason is that the development of the structure but also of the design procedures takes place independently in the different countries. However not all these have been based on sufficient research studies and therefore an appropriate scientific background it is not available. For these reasons not all the conditions, found in practice, are covered and many limitations apply has described below:

- Timber: The Technical Specification is linked to [3], consequently all wood based materials, which are allowed by [3], can be used. However limitations apply in specific conditions such as for example in the models provided to determine the mechanical properties of notch connections where a minimum strength class of C24 and GL24 for solid timber and glued laminated timber respectively is required.
- Concrete: The concrete is limited to following strength classes
 - Normal concrete: $\geq C12/15$; $\leq C60/80$
 - Light weight aggregate concrete: $\geq LC12/15$; $\leq LC60/80$
- For the notched connections design models mentioned before, the lower limit of the concrete strength class is set to C20/25 since no sufficient information for lower concrete classes is available.
- Reinforcement: For the reinforcement reference to [4] is made, so all types of reinforcement defined in [4] can be used within TCC-structures designed according to the technical specification-
- Service class: The use of timber is only encouraged in Service class 1 or 2. Despite of this the Technical Specification does not limit the application of TCC in Service class 3, except in the area of the joint between timber and concrete. This joint has to be detailed in such a way that the service conditions correspond to either to Service class 1 or 2, the intention is to prevent water penetration into the joint which is difficult to remove, leading to a reduction of both the durability and performance.
- Dimensions: The thickness of the concrete slab should be between 50mm and 300mm, while the intermediate layers should not exceed the thickness of 50mm.

3. Short term behaviour

During the life time of a composite timber-concrete structure two types of loads will act:

- "Common" external loads as dead load, live load, snow loads, wind loads, etc.
- Eigenstresses caused by inelastic strains such as different temperature elongation, shrinkage and swelling of the timber and shrinkage of the concrete

In many situations the temperature variations effects and the swelling/shrinkage of timber are not relevant. The Technical Specification allows a simplification in such conditions typified as quasi constant climatic conditions. In practice these conditions are defined by:

- The initial moisture content is in the range of the final moisture content as already required in [3]
- The annual difference between the values of the maximum and minimum moisture content is lower or equal to 6%
- The maximum difference of the air temperature is lower or equal to 20°C.

This means that typical Service class 1 conditions, as well as, some conditions of service class 2 can be assigned to the quasi constant conditions. In these situations shrinkage/swelling of timber and the effect of temperature variations may be neglected. Despite the shrinkage of concrete has to be considered in the ultimate as well as in the serviceability limit state.

When the three conditions listed above are not met the surrounding conditions are assigned to variable conditions. In these cases the effects of the moisture variation and of the temperature variation have to be considered in the ULS, as well as, in the SLS. These additional inelastic strains are given by

- Temperature: The annual temperature variations as well as the variation between initial state and final state are defined in [5] and are already one common action in bridge design. In this case the temperature variations may be assumed constant over the cross section
- Shrinkage of concrete: The shrinkage of concrete may be obtained in Eurocode 2 [4].
- Shrinkage and swelling of timber: Similar to the temperature two different moisture variations have to be considered
 - Difference between the initial and the final moisture content
 - Annual moisture variations: The procedure of the determination of the annuals moisture content of a sheltered system with direct access of the air is given in annex A of the Technical Specification.

It is important to mention that in the current technical approvals, available for various connection devices, the consideration of the variation of the moisture content is already required. The main difference between the Technical Specification and these technical approvals is in the way the moisture variation may be taken into account: i) by the global modification of the Modulus of Elasticity in technical approvals, ii) by an explicit load in the Technical Specification.

4. Connection devices

4.1. General

The connection mechanical properties can be obtained from: laboratory tests, models given in the Technical Specification or from the connections technical approvals.

In order to avoid a separation between concrete and timber, a minimum uplift force of the concrete of 10% of the shear force, shall be considered in the design of the connection.

The technical specification gives models for the determination of three types of connections: dowel type fasteners; steel rebar glued into timber perpendicular to the shear plane installed 90° to the joint between timber and concrete; notched connections;

Further requirements apply for some of these models.

5. Long term behaviour

In structures, where the long term behaviour influences the load and deformation behaviour often the points in time $t = 0$ and $t = \infty$ ($\sim t=50$ years) are verified. The point in time $t=0$ is identified as that point in time where the design load (or relevant parts of this load) is applied on the structure.

If the courses of the development of the creep strains of timber and concrete are related to their final values and then compared to each other, it can be shown that the concrete creeps stronger within the first 3 to 7 years compared to the timber. This results to a time dependent change in the ratio between the stiffness of the concrete cross section and the stiffness of the timber cross section. Since stiffness attracts forces, the stresses mainly caused by bending increase in the timber cross section, whereas the stresses in the concrete are reduced. After that period concrete hardly creeps, so the timber cross section can transfer some stresses back to the concrete cross section when creeping. Therefore not only the points in time $t=0$ and $t = \infty$ but also the period of $t=3$ to 7 years have to be considered in the design process. This additional point in time leads to an extra effort in the design process. On the other hand often the SLS, namely the limitation of the long term deflection, governs the cross section dimension. Within the development of the Technical Specification studies were performed discussing the increase of the stresses at $t=3-7$ years related to the stresses at $t = 0$ and $t = \infty$. As result this additional point in time does not need to be verified, if the stresses in the timber cross section, obtained for the quasi-permanent combination are increased 25% in the verification. In this way the designer can decide whether this additional point in time has to be verified or may be neglected.

6. Summary and Outlook

The load and deformation behaviour of timber-concrete-composite structures has been widely studied. As one output of these studies technical approvals of connections have been developed. These technical approvals also cover the design procedure, in many cases.

Nevertheless it is planned to introduce clauses about the design of timber-concrete-composite structures within the next generation of the Eurocodes. In preparation for this a Technical Specification has been developed and will be continuously improved, which could be the basis of a new part of [3].

This Technical Specification differs from the typical technical approvals in following issues:

- Loads: In the Technical Specification the loads and actions caused by different elongation of the composite members due to shrinkage, swelling or temperature changes are determined explicitly and are not covered in a global modification factor. So the design can be adjusted to the existing surrounding and boundary conditions. The required partial safety factors of these loads and modifications factors assigned to these loads are given in the Technical Specification
- Design method: One of the most popular design method is the so called γ -method given in [3] Annex B. Unfortunately this method cannot consider inelastic strains, so the Technical Specification Annex B provides an extension in order to cover the effect of different temperature elongation, shrinkage and swelling within this method, by transferring these inelastic strains in a fictitious load.
- Connections: In the Technical Specification design equations and provisions for dowel type fasteners, glued in rods installed perpendicular to the joint and notches are given. Additionally, the required parameters for the application of the Technical Specification are defined, namely load capacity, stiffness in the ULS and SLS. So technical approvals of other systems can be "docked" to the provisions given in this Technical Specification.
- Long term behaviour: Concerning the long term behaviour it might be necessary to verify an additional point in time, if some limits are exceeded. The effect of stress redistributions on the effective creep coefficients will be covered by the modification of the material creep coefficient.

The Technical Specification is finalized as final draft of the Project team in April 2018. It can be the basis for a new part of [3] dealing with the design of timber-concrete-composite structures. Nevertheless the document is quite dynamic since different opinions and experiences from whole Europe will be considered, which sometimes contradicts each other. For these reasons is expected that there will be some changes in the document from the current status until the consideration in the new generation of the Eurocodes.

7. References

- [1] JUNG, P.: Holz-Beton-Verbunddecken in der Praxis und ihre Wirtschaftlichkeit. In: *Holz-Beton-Verbunddecken in Theorie und Praxis*, Hrsg.: Bau und Wissen, CH-Wildegg, 2012
- [2] EN 1994 -2:2005, Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – Part 2: General rules and rules for bridges
- [3] EN 1995-1-1:2004 + A1:2008, Eurocode 5 – Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings
- [4] EN 1992-1-1:2004 + A1:2014, Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings
- [5] EN 1991-1-5: 2004, Actions on structures - Part 1-5: General actions - Thermalactions
- [6] DIAS, A.; FRAGIAOCOMO, M.; HARRIS, R.; KUKLIC, P.; RAJICIC, V.; SCHÄNZLIN, J.: Technical Specification – Final Draft - Eurocode 5: Design of Timber Structures - Part 1-3: Structural design of timber concrete composite structures / Project Team CEN/TC 250-SC5.T2. 2018.

Estrategias de diseño y puesta en obra. Casos prácticos

Jorge Blasco Miguel
Arquitecto DALf – consultor de estructuras / ETSAB-UPC – ACE – Estudi m103, SLP
Barcelona, España



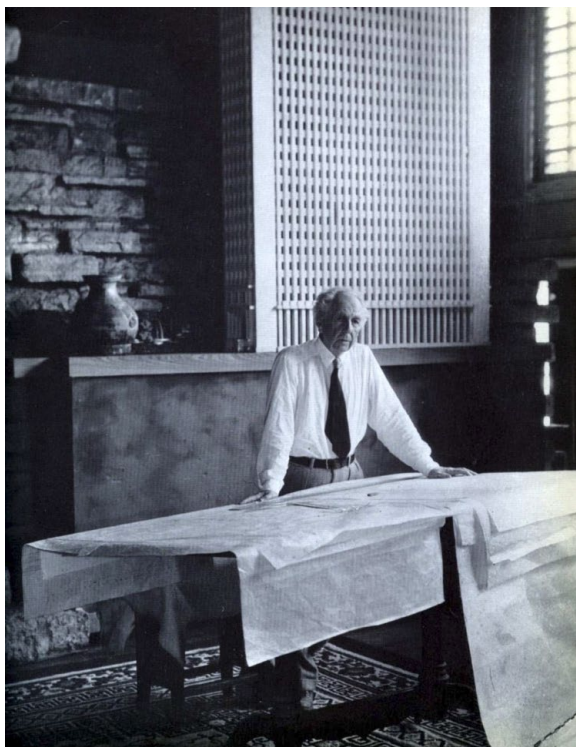
Estrategias de diseño y puesta en obra. Casos prácticos

1. La Madera

1.1. Motivación y enamoramiento

Soy Arquitecto, consultor de estructuras. Hace más de 30 años que calculo estructuras de madera (al principio, sobre todo cubiertas de piscinas, polideportivos, alguna vivienda unifamiliar, ...). Hace 21 años que organizo e imparto una asignatura optativa de diseño y cálculo de estructuras de madera con mi compañero Antonio Ortí Molons. Y hace unos 6 años apareció el boom de la construcción de madera en España (siempre vamos algo retrasados respecto a Europa). A mis alumnos siempre les he dicho que cuando estudié la carrera, no me explicaron madera, y que ahora la enseñaba: hay mucho de autodidactismo, de estudio tras una carrera profesional; y nunca se deja de aprender. Yo vengo a estos foros a aprender.

¿Por qué digo esto? Porque con el boom de la madera, se ha pasado a construir en madera sin el paso previo del diseño: en muchas ocasiones se ha pasado de un edificio pensado en hormigón a uno de madera, sin adaptarlo, sin pensarlo en madera... Os añado aquí dos de las imágenes con las que comienzo mis clases:



«We may use wood with intelligence
only if we understand wood»
Frank Lloyd Wright, 1928



Architect Michael Green Calls Wood
"The Most Technologically Advanced
Building Material in the World."

Ilustración 1: Frank Lloyd Wright – Michael Green

Añadiendo a estas frases la que decía en mi etapa de presidente de **profusta**: «*Quien trabaja la madera con las manos y quien trabaja la madera con el lápiz están obligados a comunicarse*», o a la que les digo también a mis alumnos y a mis clientes: «*Piensa en cómo vas a construir tu edificio, y eso te ayudará a proyectar, y en mi caso, a calcular*», puede intuirse que hemos de entender el material, su forma de comportarse, sus necesidades y requerimientos antes y durante su vida útil, la combinación con otros materiales,... para poder proyectar Arquitectura y Estructuras en madera.

Agradezco enormemente que me convenciesen para dar clases en la Universidad, pues ello me provocó y tuve que repensar lo que estaba ejecutando, en mis errores, en mis aciertos, y, sobre todo, porque todo ello debería explicarlo a técnicos que, en el mejor de los casos, llegarían a aplicarlo.

También quiero decir en esta primera declaración de intenciones, que, con la madera, a pesar de que es el recurso natural más antiguo del que dispone el hombre,

cronológicamente es el primer material capaz de resistir, por igual, a tracción y a compresión, según la dirección de sus fibras. Es el único material vivo que se emplea, en grande, en la construcción, y como todo lo que proporciona la Vida, es algo más adaptable, menos rígido y esquemático que los otros. No hay dos piezas iguales en sus fibras y nudos, como no son nunca iguales las huellas de los dedos humanos; y el atractivo que tiene la madera procede, en gran parte, de esas cualidades vitales (Razón y ser de los tipos estructurales – Eduardo Torroja),

... hemos de proyectar y construir con ella con extremos cariño y cuidado, puesto que si algún proyecto-edificación sufre patología, lesiones, ... en la mayoría de los casos no se dirá: *es un error de proyecto, es un error de cálculo, es una mala ejecución*, ... sino que se achacará al material: *pasa porque es de madera*. No nos podemos permitir que la madera pierda el lugar que tiene ahora, tras lo que ha costado alcanzarlo.

Como he dicho en alguna ocasión, el siglo XIX fue el siglo del acero, el siglo XX fue el siglo del hormigón, y el siglo XXI y futuros serán de la madera, recuperando la hegemonía que disfrutaba con materiales como la piedra, la tierra (cocida o no) en los siglos anteriores.

Por tanto, hemos de pensar muy bien todos los pasos, para proyectar correctamente, realizar una correcta ejecución, y cuidar el material en su vida útil, ya que como indicaba Torroja, *«Puede decirse que la madera no acaba de morir nunca»*.

No es la intención de la ponencia realizar un tratado de diseño y construcción en madera, sino realizar, dado el limitado tiempo de que disponemos, unos apuntes de circunstancias y situaciones vividas u observadas. Ya sabéis: *«cuando las barbas de tu vecino veas recortar, pon las tuyas a remojar»*.

2. El proyecto

2.1. Condicionantes físicos

Hemos de tener en cuenta los comportamientos higrotérmicos, acústicos y frente al fuego del material, que pueden condicionar soluciones si no se han proyectado desde el inicio:

- Comportamiento higrotérmico

Humedad

Es la propiedad más importante de la madera, pues influye sobre todas las demás: propiedades físicas, mecánicas, mayor o menor aptitud para su transformación, estabilidad dimensional y resistencia al ataque de seres vivos.

El agua en la madera, puede estar presente de tres formas diferentes: *agua de constitución* o agua combinada, *agua de impregnación* o de saturación y *agua libre*.

Las dos últimas, impregnación y libre son las que constituyen la humedad de la madera. La humedad es la cantidad de agua que contiene la madera expresada en % de su peso en estado anhidra o húmedo.

La humedad no es constante en todo el espesor de la pieza, siendo menor en el interior y teniendo más humedad la albura que el duramen.

La ilustración siguiente muestra el movimiento del agua de la madera conforme va disminuyendo su humedad.

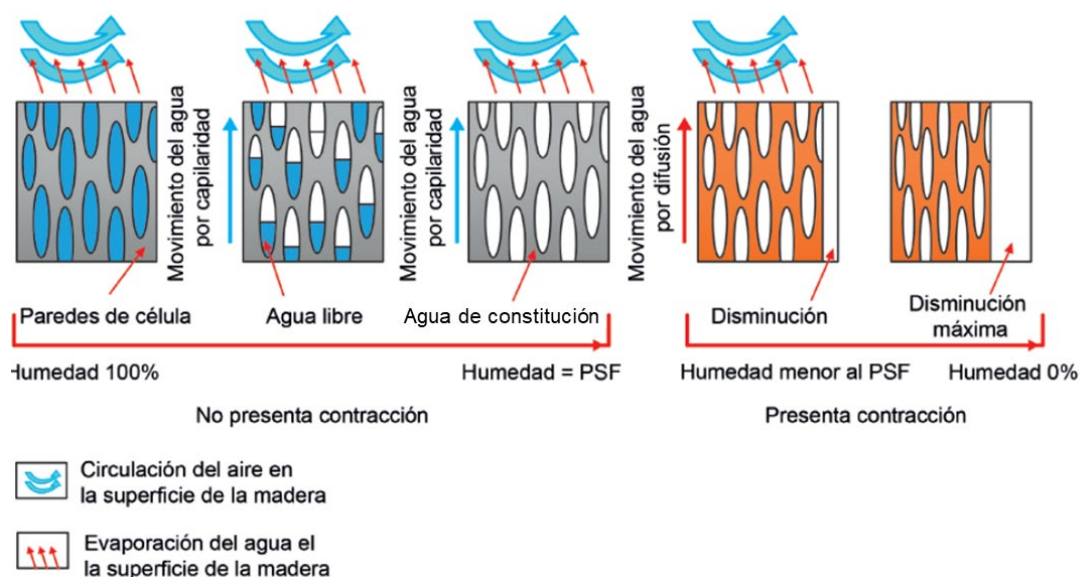


Ilustración 2: Movimientos de la madera según la disminución de su contenido de agua

La madera contiene más agua en verano que en invierno. Es un material higroscópico, lo cual significa que absorbe o desprende agua en función del ambiente que le rodea. Durante la fase de construcción, la madera absorbe la humedad del edificio, por ejemplo, del relleno de juntas, la solera o el yeso, aumentando así el contenido de humedad de la misma. La vida útil también se caracteriza por las fluctuaciones estacionales del contenido de humedad de la madera. La ventilación doméstica también puede secar la madera durante los meses de invierno (p.e., calefacción por efecto Joule o por combustión)

Estas fluctuaciones del contenido de humedad del CLT están relacionadas con cambios en la forma de la madera (hinchazón o contracción), que en casos extremos se pueden manifestar por fendas en la superficie (demasiado seca) o por una superficie ondulada (demasiado húmeda).

Teniendo en cuenta el movimiento de la madera relacionado con la humedad, es importante que un componente que revista tenga un contenido de humedad que coincida lo más posible con el entorno del edificio terminado.

Las piezas estructurales sometidas a cambios de humedad cuya deformación esté restringida (por estar en contacto con otras piezas, estar encoladas o compuestas con otros materiales), pueden sufrir tensiones importantes, especialmente en la dirección perpendicular a las fibras. Hemos de tener en cuenta estos cambios volumétricos en el diseño de uniones y de la edificación en general, controlándolos, y permitiéndolos en ocasiones.

Temperatura

La conductividad térmica, que describe la capacidad aislante del material, es significativamente mejor que en hormigón y acero. El valor práctico de la conductividad térmica para el abeto es de $0,11 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$ perpendicular a las fibras y $0,24 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$ paralelo a las fibras, mientras que para el pino los valores equivalentes son $0,12 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$ y $0,26 \text{ W/(m } ^\circ\text{C)}$, respectivamente.

Por lo que respecta a la capacidad térmica y la resistencia térmica, la madera se clasifica como media entre los principales materiales de construcción. Los valores de CLT se mejoran simplemente por su grosor. Como con todos los materiales y sistemas de construcción, es necesario tener cuidado de considerar dónde se puede producir condensación dentro de la cavidad de la pared externa.

La madera tiene buenas propiedades de aislamiento térmico, pero es necesario aislamiento adicional para cumplir con los estándares modernos para la envolvente del edificio.

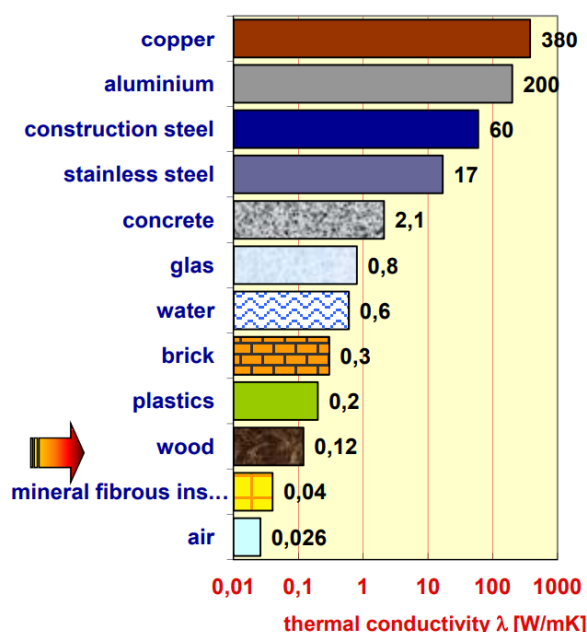


Ilustración 3: conductividad térmica de diversos materiales

La madera tiene un calor específico muy alto, de 0,4 a 0,7 kcal/kg°C, con lo que, a igual suministro de calor, se calienta menos que otros materiales.

La madera, como cualquier otro material se dilata con el calor, pero como, al aumentar la temperatura, baja el contenido de humedad de la misma y se produce una disminución de sus dimensiones por contracción, queda prácticamente eliminado dicho fenómeno. El coeficiente de dilatación térmica en la madera es del orden del $5 \cdot 10^{-6}$, en la dirección axial y de 5×10^{-5} en la transversal. Comparados con los coeficientes de contracción, son del orden de 100 veces menor. Los cambios dimensionales debidos a la humedad son muy superiores a las variaciones originadas por la temperatura. En general, suelen despreciarse.

Por ello, no se diseña con juntas de dilatación en madera, aunque sí que se continúan si en la planta inferior existen.

– Comportamiento acústico

Las circunstancias varían de un proyecto a otro, por eso es fundamental establecer desde el principio qué actividades se llevarán a cabo en el edificio y qué requisitos y necesidades acústicos existen, antes de seleccionar una clase de aislamiento acústico adecuada. El coste de rectificar los problemas acústicos debido a una planificación incorrecta, errores en la implementación y otras evaluaciones erróneas aumenta drásticamente a medida que avanza hacia su fase de uso.

El aislamiento acústico debe ser una prioridad durante la etapa de proyecto.

Los requisitos normativos de aislamiento acústico garantizan que las personas con sensibilidades normales tengan una protección suficiente contra el ruido del exterior del edificio, de otras partes del mismo y de los edificios adyacentes. De todas formas, en muchas ocasiones la percepción resulta ser altamente subjetiva.

Los sistemas de construcción ligera pueden presentar diferentes configuraciones: combinaciones de elementos ligeros y pesados, elementos ligeros homogéneos o elementos ligeros compuestos, y las distintas formas de unión entre elementos. Pero todos presentan unas características comunes que les diferencian de los elementos constructivos más pesados:

- Masa y frecuencia crítica de los elementos.
- Amortiguación interna de los elementos.

Al igual que con otras estructuras ligeras, es difícil aislar el sonido de baja frecuencia en las estructuras CLT. Por tanto, es importante diseñar una estructura de forjado de alto rendimiento, ya que es difícil solucionar los problemas de forma retrospectiva. Las estructuras de forjado pueden manejar luces normales usando espesores de CLT que están disponibles en el mercado. En el caso de luces largas y donde sea necesario rigidizar la losa, se pueden utilizar muros interiores ligeros y portantes para las cargas que se producen en el estado límite de servicio, además de flechas y vibraciones. En este caso, también debe tenerse en cuenta la transmisión directa de sonido entre las estancias.

El rendimiento acústico de CLT es excelente y es equivalente a otras formas de construcción de paneles.

Al igual que con otras formas de construcción, los sistemas CLT no dependen por completo del propio CLT para ofrecer el rendimiento requerido. Es decir, el rendimiento global depende de proporcionar capas constructivas independientes mediante dos paneles CLT, o una construcción CLT y enmarcada en cavidades que generalmente incluyen materiales aislantes.

La construcción del suelo generalmente incluye un techo suspendido por debajo del CLT. El rendimiento acústico del suelo puede aumentarse de varias maneras. Normalmente se utiliza una capa de mortero que puede incluir calefacción por suelo.

Por lo general, estos sistemas superan fácilmente los requisitos mínimos de los códigos y normas, con la elección final del sistema dependiendo del nivel de rendimiento acústico requerido para el proyecto.

Una mejora es el desacoplamiento acústico:

- Aumentando la amortiguación de los elementos estructurales para disminuir el efecto de la bajada de aislamiento a ruido aéreo en las frecuencias de resonancia y frecuencia de coincidencia.
- Rompiendo la unión rígida entre elementos horizontales y verticales para disminuir las transmisiones indirectas del ruido aéreo y el ruido de impacto.
- Rompiendo la unión rígida entre la losa de compresión y los elementos verticales y horizontales para evitar la transmisión del ruido de impacto

El aislamiento acústico y las vibraciones condicionan en gran medida la solución proyectual y de cálculo.

Como ejemplo, muestro dos edificios donde en un origen, en los forjados había una solera seca como parte de la estrategia acústica.

2.10 FORJAT CLT: entre diferents unitats d'ús (habitatges)

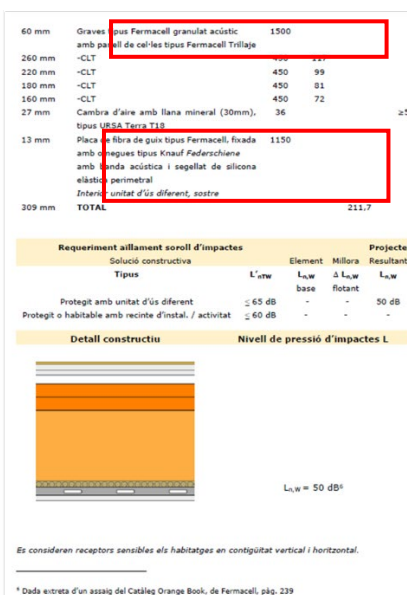
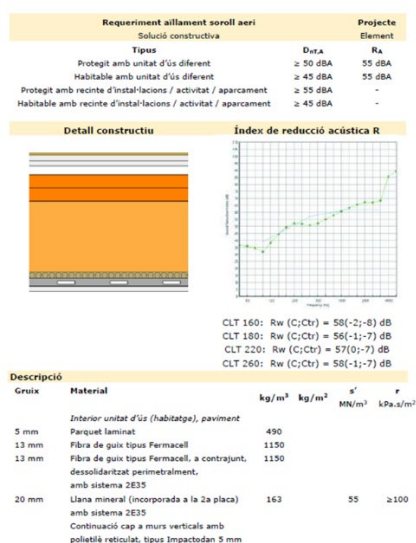




Ilustración 5: solera seca en fase de construcción edificio 1

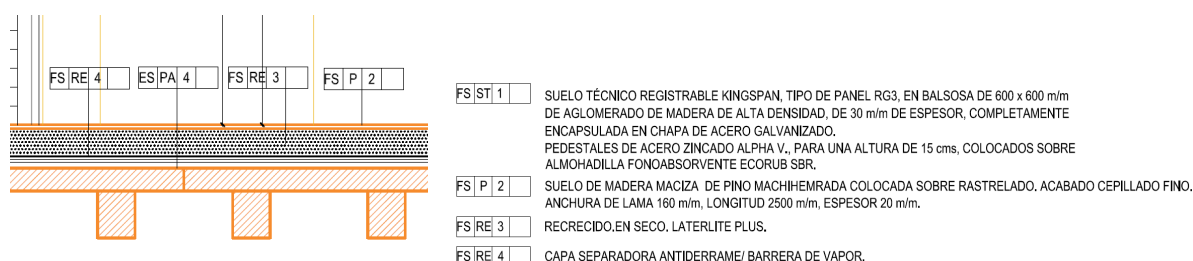


Ilustración 6: detalle acústico edificio 2 (uso oficinas) - solera seca superior sin falso techo inferior



Ilustración 7: la solera seca se cambió en obra por motivos económicos, por mortero (solución húmeda)

Hay más ejemplos de cambios de proyecto a obra, que no siempre redundan en beneficios, al menos en su totalidad.

– Comportamiento frente al fuego

Ya hemos mencionado que la madera tiene una baja conductividad térmica (determina la cantidad o flujo de calor que pasa a través de la superficie de un material). Si a ello sumamos que en situación de incendio disminuye la humedad y, por tanto, aumenta la resistencia, tenemos el material perfecto, ya que, **en un incendio, la madera no pierde resistencia, sino que pierde sección**. Entender esto, y que la reacción al fuego de la madera (índice de la capacidad del material para favorecer el desarrollo del incendio (fase inicial de desarrollo de un incendio)) nos recuerda que **es un material combustible**, nos recuerda que **hemos de calcular la estructura frente al incendio**, teniendo en cuenta que la misma madera incrementa la carga de fuego y que cualquier protección frente al incendio, debe ser estanca.

Por otro lado, la capa carbonizada tiene una capacidad aislante 6 veces superior a la madera natural.

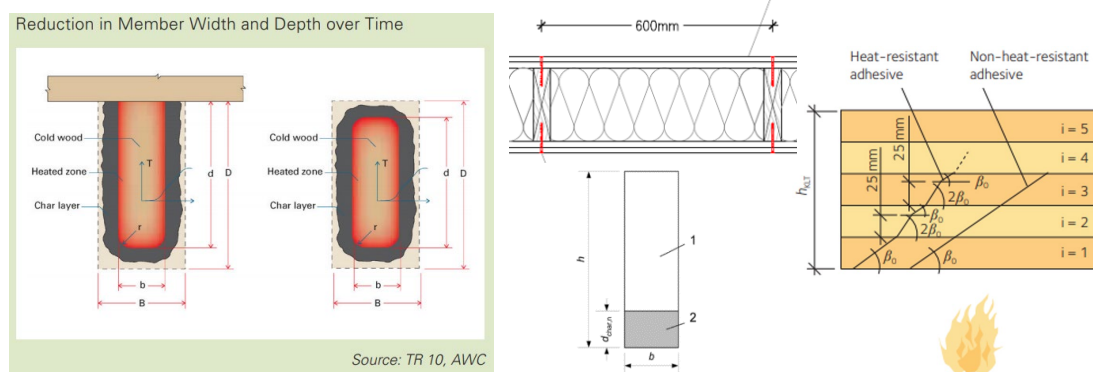


Ilustración 8: proceso de quemado de madera (carbonización bidireccional), entramado ligero (con aislamiento de lana mineral) y CLT (carbonización unidireccional)

Las soluciones necesarias para la protección, deben ser consideradas como estancas, y dentro del proceso de quemado de acabados y madera.

2.2. Pensando en la ejecución posterior

Hemos de pensar en la posterior ejecución. Por ello se ha de tener en cuenta si se va a realizar una construcción in situ, semi o totalmente prefabricada (tanto por elementos planos o por módulos tridimensionales), una construcción por adición, con elementos de grandes dimensiones, ... ya que el transporte, el izaje y el montaje pueden condicionarnos el tamaño de los elementos, de las piezas, y en casos hacer inviable un proyecto, o si más no, encarecerlo.

En el caso del transporte hay que tener en cuenta la reglamentación del Ministerio en cuanto a medidas y taras máximas de transporte por carreteras, para evitar en lo posible el encarecimiento del mismo mediante «*transportes especiales*». En el caso de la madera, el PMA no es tan relevante como las dimensiones, por su baja densidad.

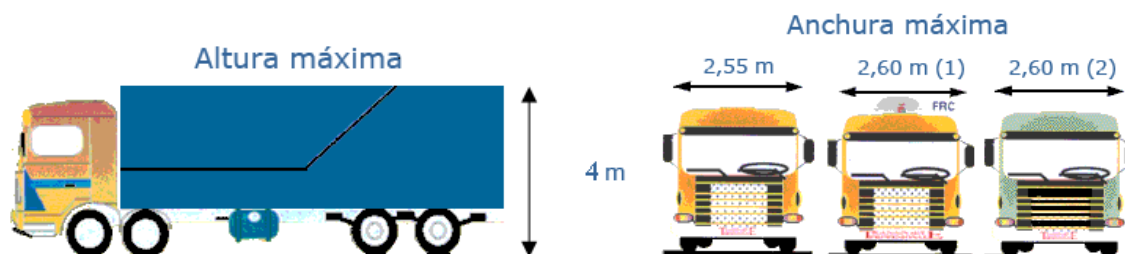


Ilustración 2: Altura y anchura máxima – Fuente Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana

Longitud máxima autorizada para vehículos articulados, trailers, 16,50 metros

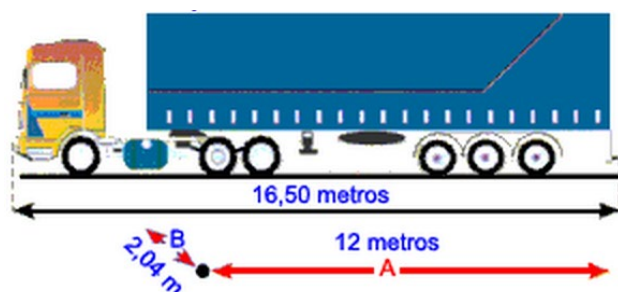


Ilustración 9: longitud máxima trailer – Fuente Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana

En el montaje influye, y mucho, la elección del equipo: tenemos dos posibilidades

- Grúas hidráulicas móviles (telescópicas y estructurales o de celosía). Pueden ser de pequeña o gran capacidad
- Grúas torre, que, si bien son muy versátiles por su gran alcance, no tienen la capacidad suficiente para lanzar elementos medianos lejos de su centro de rotación.

En el siguiente caso, desde la constructora era la intención utilizar una grúa fija, en lugar de una móvil, para realizar los trabajos de descarga, acopio y montaje. La limitación de carga en punta hizo que los paneles, por la necesidad de que tuviesen dos vanos continuos, acabaran con un ancho de la mitad.

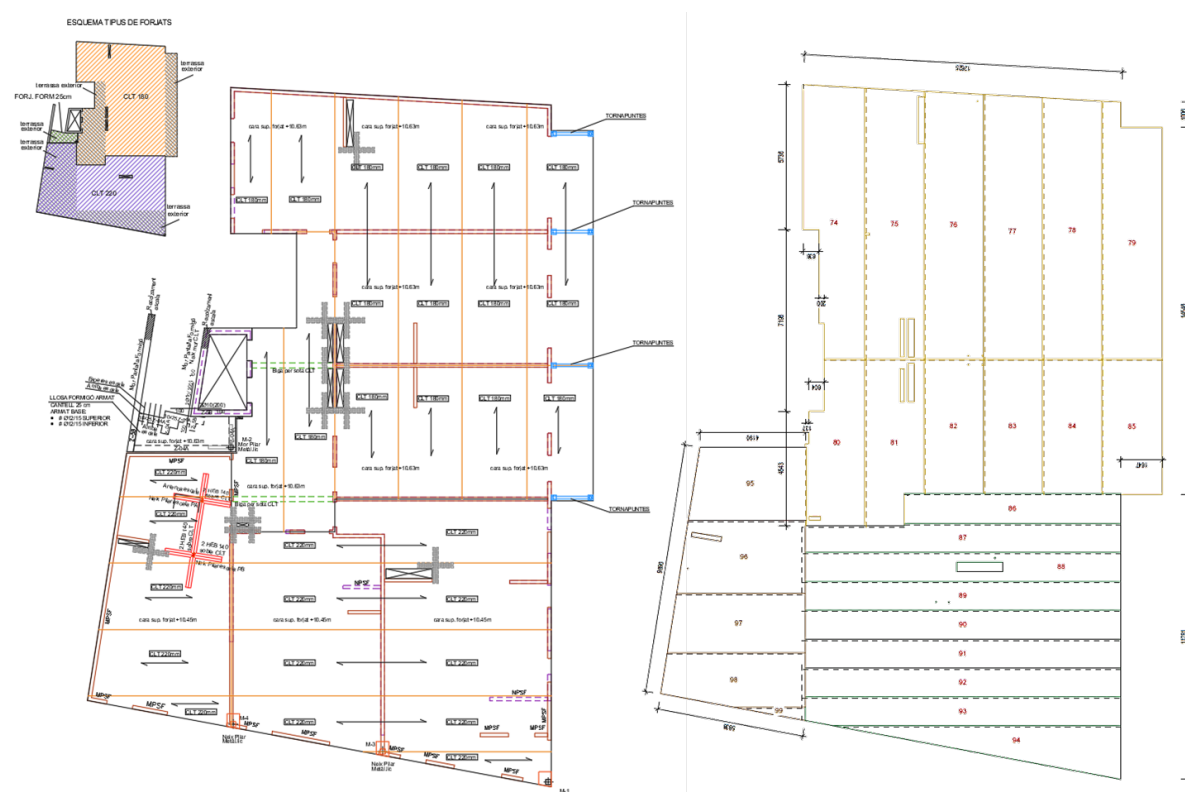


Ilustración 10: A la izquierda, plano de proyecto, con ancho de paneles «standard»; a la derecha, plano de obra por el condicionante de limitación de peso en punta en la grúa fija



Ilustración 11: A la izquierda, ubicación del camión para descarga; a la derecha, posición de la grúa respecto al edificio.



Ilustración 12: A la izquierda, grúa pluma utilizada finalmente; a la derecha, vista de la calle posterior desde donde se descargaba el material.

3. La obra

3.1. Apoyando nuestra estructura

En la mayoría de los casos, nuestro edificio de madera arranca en una cimentación de hormigón o en un forjado de hormigón. Eso hace que dos mundos con tolerancias distintas (el hormigón es un mundo de centímetros, la madera de milímetros) deban conciliarse: hay que esmerarse en el replanteo de los elementos de hormigón, en la colocación de armaduras, en asegurar la ubicación de encofrados durante el hormigonado, en intentar que el hormigón vertido tenga la mayor planeidad posible, ...

A continuación, ejemplos de fallos en la conexión entre hormigón y madera:

- Conexión de angulares al hormigón: interceptación de armaduras por tacos químicos

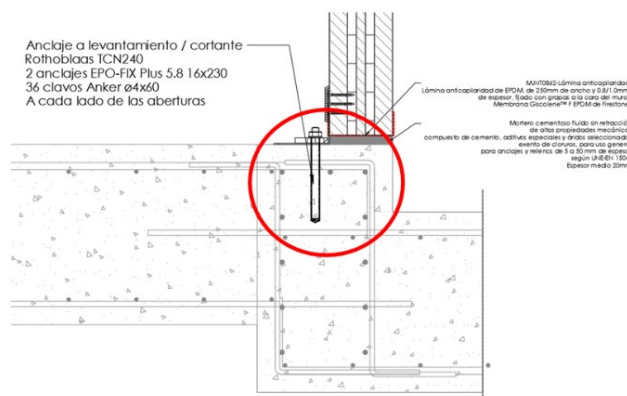


Ilustración 13: desplazamiento de la armadura de zunchos, lo que implica colisión taco-armado

- Fallos en replanteo: hueco escalera, unión horizontal forjado hormigón-madera

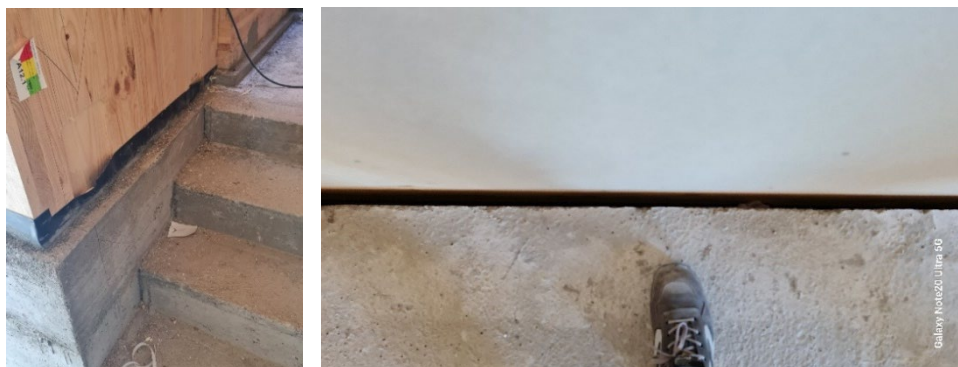


Ilustración 14: fallo en replanteo en hueco de escalera y en unión forjado madera-hormigón

- Desniveles en losa hormigón (hasta 5 cm)



Ilustración 15: desniveles de hasta 5 cm en apoyo de CLT sobre hormigón; relleno con mortero sin retracción

3.2. Uniones, el punto «débil»

Las uniones suponen un alto porcentaje en el presupuesto de la estructura de madera. En nuestro despacho dimensionamos y dibujamos todas las uniones, que en muchas ocasiones son objeto de cambio en el momento de la licitación: cambio de tipología de unión (unión media madera por unión a tope, tipo de membrana entre elementos de muro-forjado-muro, ...). Y en obra hay cambios o introducción de nuevas uniones o conexiones, que no han sido suficientemente comprobadas.

A continuación, algunos ejemplos de uniones que no se han ejecutado como en proyecto o no se han ejecutado bien.

- Cambio en unión en media madera por unión a tope (separación excesiva) y o ejecución incorrecta de la media madera (una separación excesiva)

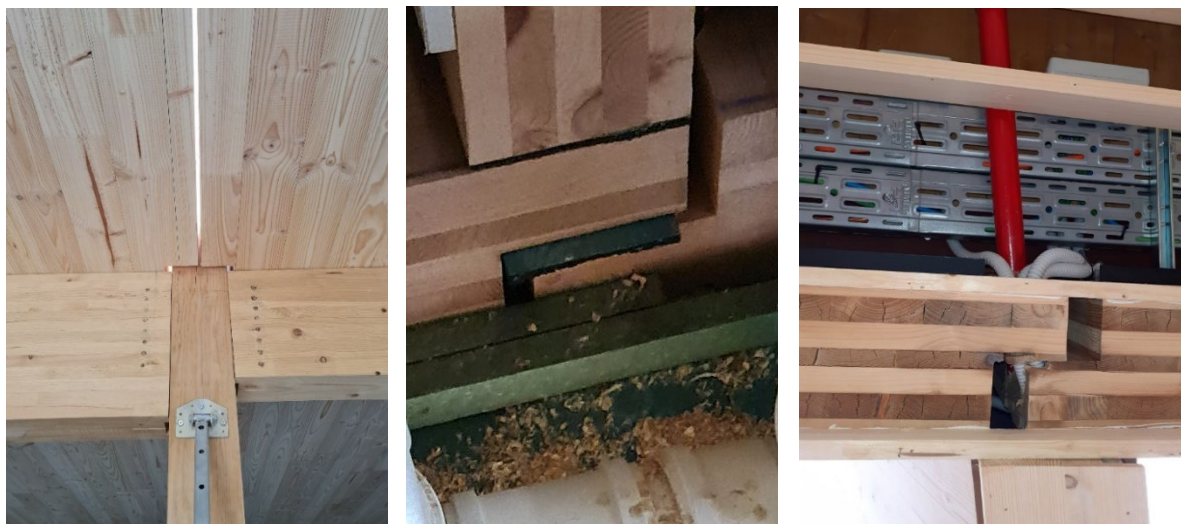


Ilustración 16: unión entre paneles a tope (separación excesiva- sellado posterior); unión a media madera con elemento elastomérico (aconsejable intumesciente) con separación excesiva; unión a media madera con separación excesiva y colocación de instalaciones en la misma.

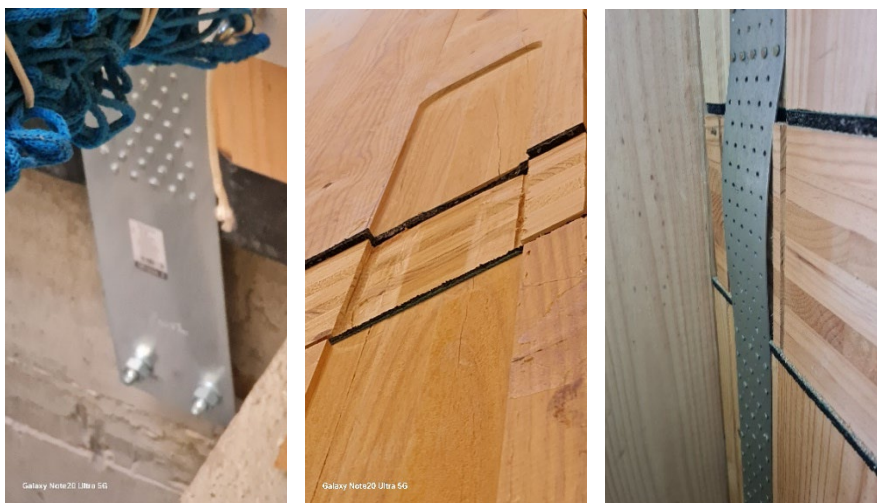


Ilustración 17: unión muro ascensor hormigón-madera (fallo de replanteo – los tacos trabajan a flexión y no solo a cortante); colocación desplomada de muros y forjados, que provoca una incorrecta colocación de la placa (en un principio parecía un «pandeo de la placa»)



Ilustración 18: colocación de pilar con placa. En la izquierda, placa circular sobre forjado (refuerzo a «punzonamiento» con tornillos a 45°, que venían de taller); colocación a posteriori de placa de reparto, recortando CLT para su alojamiento (se produce separación de láminas del forjado – delaminación)

4. Uso y disfrute

4.1. Cuidados de la madera

La madera ha sido un material vivo, dentro de su composición hay agua. Por tanto, durante la vida útil de la madera hemos de cuidar de la misma, comprobando que la humedad relativa de la misma se encuentre en el espectro adecuado.

Explico un caso en el que aparecieron fendas en los pilares interiores de un edificio con muro cortina en fachada principal y trasera.



Ilustración 19: fendas aparecidas en pilares

El edificio se encontraba acabado, pero a la espera de entrega al cliente. Durante el verano del pasado año, desde mediados de julio hasta finales de agosto, el edificio estuvo cerrado y no se ventiló ni climatizó. Se alcanzaron condiciones climáticas severas que conllevaron humedades de equilibrio de hasta 9,3%. Las fendas que aparecieron tienen el origen en la disminución de humedad, son fendas de secado. A partir del 30% de humedad (P.S.F.), la disminución de humedad conlleva disminución de volumen.

Durante la vida útil del edificio, la madera deberá mantener una humedad de equilibrio entre los valores de:

- En obras cubiertas abiertas: 16% a 20% de humedad (Clase de servicio 2)
- En obras cubiertas cerradas: 13% a 17% de humedad (Clase de servicio 1)
- En locales cerrados y calientes: 12% al 14% de humedad (Clase de servicio 1)
- En locales con calefacción continua: 10% al 12% de humedad (Clase de servicio 1)

Así, la combinación de los valores de Humedad Relativa y Temperatura del ambiente deberá ser tal que se mantenga dentro del área sombreada según clase de servicio 1 (naranja) o 2 (azul).

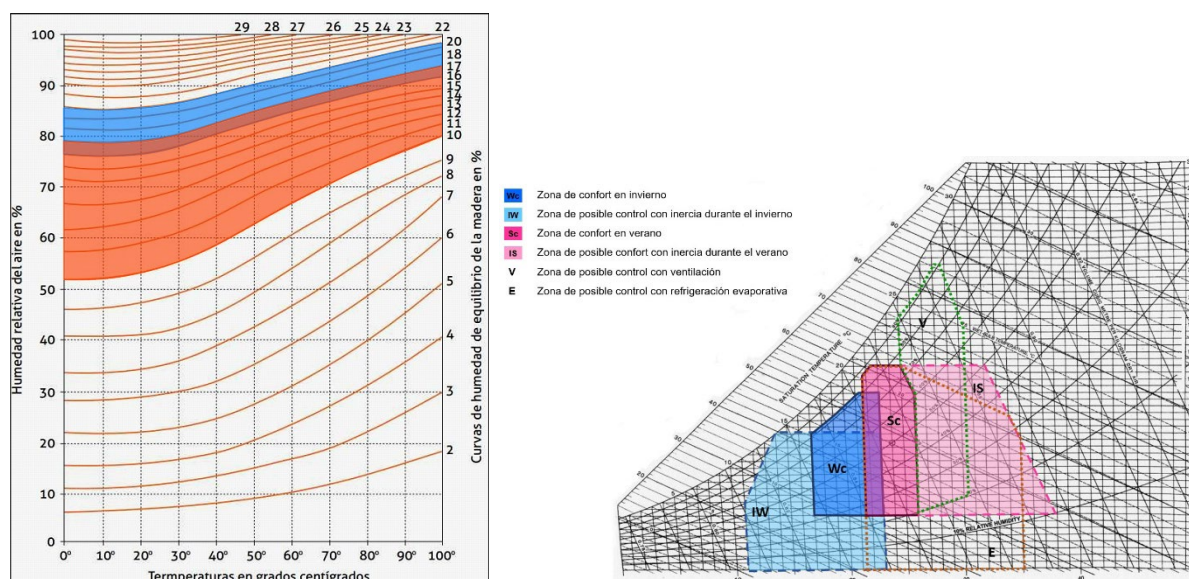


Ilustración 20: ábaco de F. Kollmann y ábaco psicrométrico – confort de la madera y confort humano

Así, las zonas de confort que aparecen en un ábaco psicrométrico, deberían intersectarse con las condiciones del ábaco de Kollman, para asegurar que la humedad relativa de la madera sea la adecuada.

5. A modo de conclusiones

En primer lugar, recomiendo la lectura de los posts de María Sánchez Ontín de Madera y Construcción, <https://maderayconstruccion.com/1-diez-aspectos-esenciales-a-la-hora-de-proyectar-con-madera-parte-1/>, que hace una introducción a proyectar en madera y CLT.

Y como lecciones aprendidas podemos decir:

- Piensa en como construirás tu edificación, y esto te ayudará a proyectar.
- *Piensa en madera*, en las especificidades del material (ventajas y desventajas), para proyectar y construir pensando en su comportamiento higrotérmico, acústico y frente al fuego.
- Piensa en las dimensiones de los productos a utilizar, pues son en gran medida responsables de decisiones de proyecto tanto por transporte como por montaje.
- Siempre, o en la mayor parte de las ocasiones, arrancaremos nuestra estructura de madera de una cimentación de hormigón o de un forjado de hormigón. Hemos de cuidar los detalles de conexión entre *ambos mundos* y extremar el cuidado de replanteos y encofrados.
- Las uniones son de gran importancia, tanto su dimensionado como su colocación en obra, para evitar problemas de transmisión de cargas y la aparición de puentes térmicos, acústicos y frente al fuego.
- Durante la vida útil, debemos cuidar a la madera como uno más de nosotros, pues las condiciones de confort tienen sus límites, como sucede con las personas.
- Y más cosas, que quedarán para otra sesión....

Improvement in the fire design according to the second generation of Eurocode 5

Alar Just
TalTech
Tallinn, Estonia



Andrea Frangi
ETH Zürich
Switzerland



2 | Improvement in the fire design according to the second generation of Eurocode 5 | A. Just

Improvements in the fire design according to the second generation of Eurocode 5

1. Introduction

The European Commission has a strong interest on the further development of the Eurocodes to achieve a further harmonisation of design rules in Europe and the revision process of all Eurocodes has started 2015. The second generation of the Eurocodes is expected to be published starting from 2025. The main objectives of the revision are the improvement of the Ease-of-Use of the Eurocodes for practical users, the reduction of National Determined Parameters and the further harmonisation and inclusion of state-of-the-art. After an intensive discussion within CEN/TC 250 it was defined that the Eurocodes are addressed to competent civil, structural and geotechnical engineers, typically qualified professionals able to work independently in relevant fields.

2. Introduction

The revision work of the new EN 1995-1-2 was performed by a Project Team (PT), which consists of Andrea Frangi (chair, ETH), Alar Just (TalTech), Norman Werther (TU Munich), Jouni Hakkarainen (Eurofins), Joachim Schmid (ETH), and additional members from 2021 – Harald Krenn (KLH), Renaud Blondeau (Stora Enso) and Gordian Stapf (Henkel).

Basis for the drafting work are extensive documents, reports and publications with the update state-of-the-art with regard to the structural fire behaviour and fire design of timber structures, e.g. the European Technical Guideline “Fire safety in timber buildings” or the reports prepared in the frame of the recently concluded COST Action FP1404. The PT started his work on June 2018 and regularly reports to the Working Group WG4 of CEN/TC250/SC5, which is responsible for the revision of EN 1995-1-2. During the last 3 years, the PT prepared three drafts, which were reviewed by the WG4 and commented by the national standardisation bodies. The first draft (May 2019, 75 pages) received 265 comments, the second draft (Mai 2020, 134 pages) 624 comments and the third draft (November 2020, 138 pages) 364 comments. The final draft of EN 1995-1-2 was submitted at the end of August 2021 and received 396 comments. Formal Enquiry of the document will start in September 2023.

The following list gives some highlights of the new EN 1995-1-2.

3. Improvements in the new EN 1995-1-2

3.1. Structure

Structure of the new EN 1995-1-2 follows the same logic of all fire parts of the Eurocodes. The structure and also the first four chapters for all fire parts of the Eurocodes are written by TC250 “Horizontal Group Fire”. This has resulted in harmonized structure, which contributes to user-friendliness. Table 1 provides an overview of the structure of the draft standard and a comparison with the currently valid EN 1995-1-2:2004. The principle of a three-stage possibility of verification levels with different levels of complexity and accuracy, which is already known from other Eurocodes, is now also fully established for timber construction. Thus, in the future there are

- tabulated design data (Chapter 6),
- simplified design methods (Chapter 7) and
- advanced design methods (Chapter 8)

In addition to the principles for simplified design models already known in the current EN 1995-1-2 and the basics for numerical simulation models, Chapter 6 in the new EN 1995-1-2 lists for the first time proven construction structures or predefined characteristic

values (such as the protective effect (t_{prot}) of panels or for the zero strength layer dependent on the lay-up of the cross-section for cross-laminated timber). In this way the user is given a very simple and efficient way of verifying fire resistance. Despite the increased scope of regulations and the expansion of the scope of application, the structure adapted in this way will enable simple application.

Table 1: Comparison of the content and structure between the current EN 1995-1-2 and the revision

EN 1995-1-2:2004	EN 1995-1-2:2025 Draft
1 General	1 Scope
-	2 Normative references
-	3 Terms, definitions and symbols
2 Basis of design	4 Basis of design
3 Material properties	5 Material properties
4 Design procedures for mechanical resistance	6 Tabulated design data
5 Design procedures for wall and floor assemblies	7 Simplified design methods
-	8 Advanced design methods
6 Connections	9 Connections
7 Detailing	10 Detailing
Annex A: Parametric fire exposure	Annex A: Design of timber structures exposed to physically based design fires
Annex B: Advanced calculation methods	Annex B: Assessment of the bond line integrity in fire
Annex C: Load-bearing floor joists and wall studs in assemblies whose cavities are completely filled with insulation	Annex C: Determination of the basic charring rate
Annex D: Charring of members in wall and floor assemblies with void cavities	Annex D: Assessment of Protection Level (PL) of the cavity insulation
Annex E: Analysis of the separating function of wall and floor assemblies	Annex E: Assessment of external flaming
Annex F: Guidance for users of this Eurocode Part	Annex F: Assessment of the failure time of fire protection systems
-	Annex G: Implementation rules for the Separating Function Method
-	Annex I: Design model for timber frame assemblies with I-shaped linear timber members
-	Annex M: Material and product properties for the design with EN 1995-1-2
-	Annex T: Determination of temperature in timber members

3.2. European Charring Model

Charring has extensively been dealt and the current model (in the future renamed as the European Charring Model) has been generalised considering the different phases of protection and the different modification factors for charring in a more systematic way. Further, the charring model clearly distinguishes two cases (bond line integrity maintained or not maintained during the fire exposure). See Figure 1. Supplementary guidance for the assessment of the bond line integrity in fire has been included in the new Annex B.

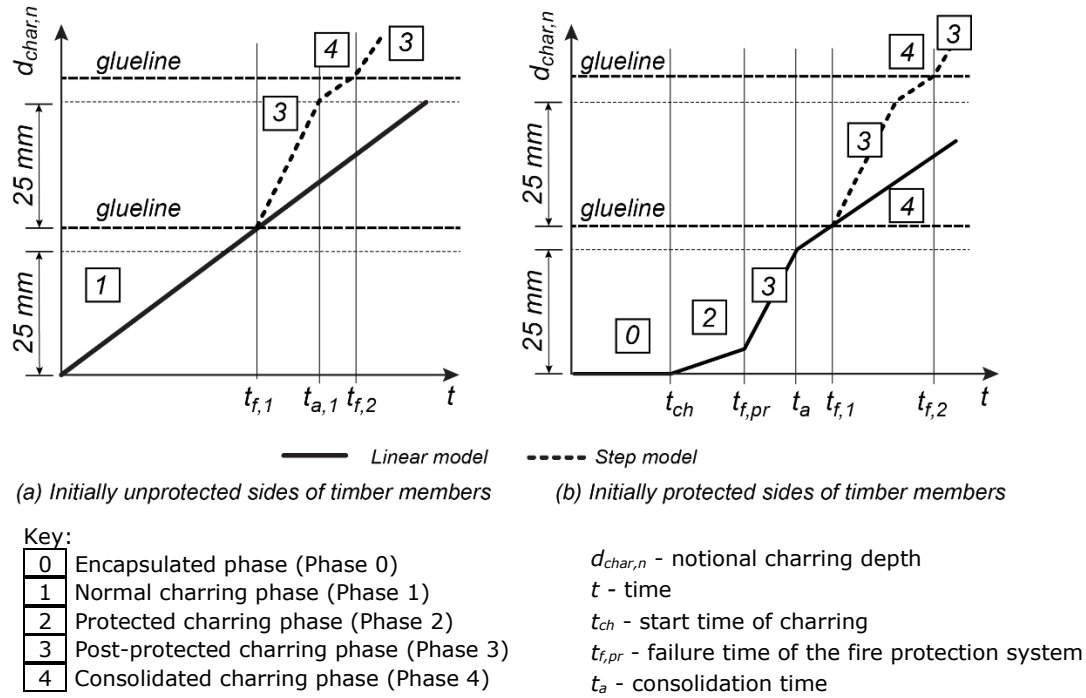


Figure 1: Phases for timber members according to the European charring model.

Time limits between phases for initially protected timber members are defined by start time of charring t_{ch} , failure time (or fall-off time) of the fire protection system $t_{f,pr}$ and consolidation time t_a . For structures with bond line integrity not maintained, the fall-off time of charred layers $t_{f,i}$ is considered.

Fall-off time $t_{f,pr}$ is one of the most important parameters influencing the fire resistance of initially protected timber structures, especially concerning timber members with small cross-section. In the new Eurocode the failure times (defined as fall-off times) of different panels, including gypsum plasterboard Type A and F and gypsum fibreboards are given with simplified equations based on a large data base of fire tests. Further, for the fire design it is possible to use failure times based on full-scale fire tests performed according to EN 13381-7.

The temperature increase behind gypsum plasterboards backed by insulation occurs faster and the fall-off of the board occurs earlier. Hence, the fall-off from a timber surface like CLT may be delayed due to decreased heat transfer and distance between fasteners.

The protective properties of clay and lime plaster have been investigated experimentally and numerically. The fall-off of time of clay plaster depends on the fixation as well as the adhesion between clay and the fastening system. Fixation of clay plaster onto CLT can be excellent and, therefore, clay plaster offers good protection to the timber structure.

Start time of charring t_{ch} will be designed according to Separating Function Method.

Notional design charring rates in different phases and for different types of members will be calculated using applicable modification factors.

$$\beta_n = \prod k_i \cdot \beta_0$$

where

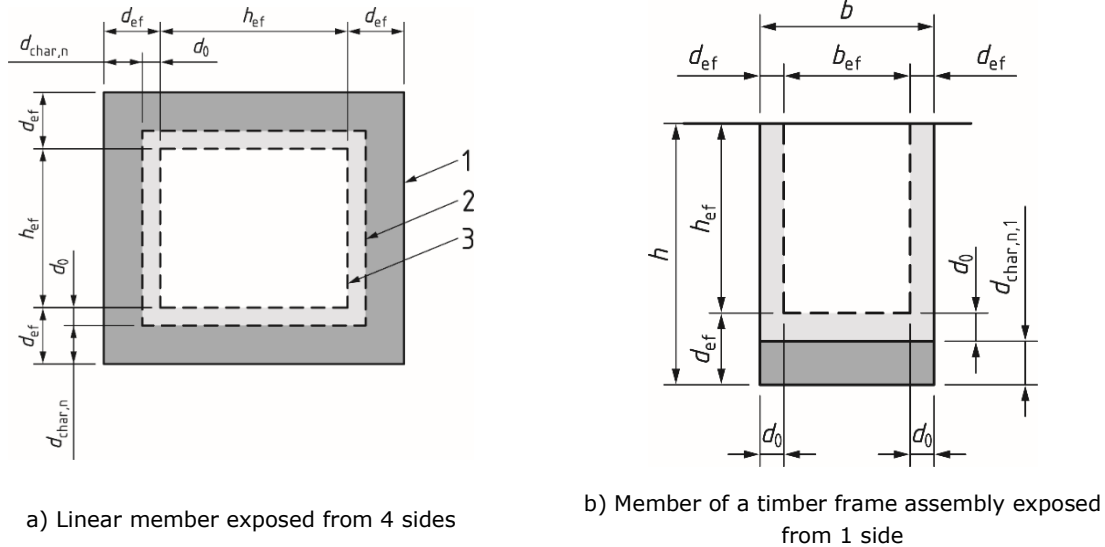
β_n is the notional design charring rate within one charring phase, in mm/min;

β_0 is the basic design charring rate, in mm/min;

$\prod k_i$ is the product of applicable modification factors for charring.

3.3. Effective Cross-Section Method

As simplified design method only the current Reduced Cross-section Method (in the future renamed as Effective Cross-section Method) is given. The current Reduced Properties Method has been deleted. The Effective Cross-section Method has extensively been revised and its use extended to all common structural timber members, including cross-laminated timber panel (CLT), timber frame assemblies and timber-concrete-composite elements (TCC).



Key

- 1 fire exposed side(s) or fire exposed perimeter
- 2 border-line of the residual cross-section
- 3 border-line of the effective cross-section

d_{ef} - effective charring depth

$d_{char,n}$ - notional charring depth

d_0 - zero-strength layer depth

b_{ef} - width of the effective cross-section

h_{ef} - depth of the effective cross-section

Figure 2: Examples of the effective cross-sections.

According to the effective cross-section method the initial cross-section of a timber member is decreased by a notional charring depth and by zero-strength layer depth from the respective sides. Strength properties of the effective cross-section will not be decreased for the fire situation. The heating effect is taken into account by a zero-strength layer depth.

The current annexes C (timber frame assemblies with filled cavities) and D (timber frame assemblies with void cavities) has extensively been improved and moved to the main part of EN 1995-1-2. The revised content is normative. The design model for timber frame assemblies with filled cavities is based on the Effective Cross-section Method and allows considering the performance of different types of insulation (mineral wool, cellulose, wood fibre, etc.). The performance of the insulation can be evaluated with small-scale fire tests and assessed in 3 different protection level according to the new Annex D.

Calculation of the effective cross-section is given for cross-laminated timber, taking into account the load-bearing and non-load bearing layers.

3.4. Separating Function Method

The current Annex E (Component additive method) for the verification of the separating function has extensively been improved and moved to the main part of the EN 1995-1-2. The revised content is normative and the design method for separating function has been extended to 120 minutes fire resistance.

Heat path through the timber members or other materials as panels and insulations maybe calculated by taking the contribution of each layer into account starting from the fire exposed side. Total insulation time of an assembly is the sum of contributions of all layers. Generic values for protection times are given for wood-based products, gypsum boards, clay and lime plasters, mineral wool and cellulose based insulation materials and as well as cement based screed. The method is open to include new materials or products using the procedure in the new Annex G.

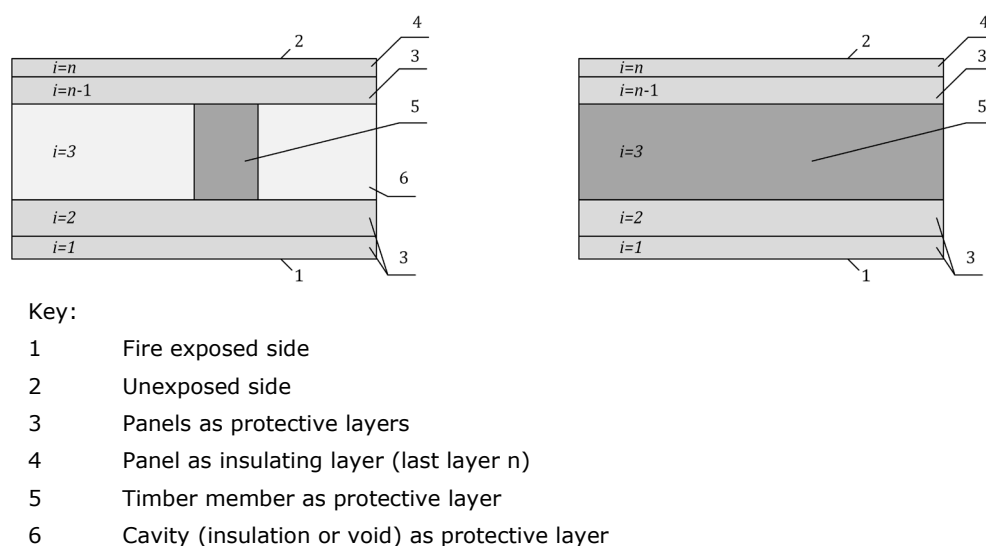


Figure 3: Definition of layers for the Separating Function Method.

3.5. Connections

Calculation method for connections is extended and enhanced. Improved rules for the fire design of connections up to 120 minutes fire resistance are given based on extensive experimental and numerical analysis. Further, tabulated design data have been included allowing a simple fire design of connections.

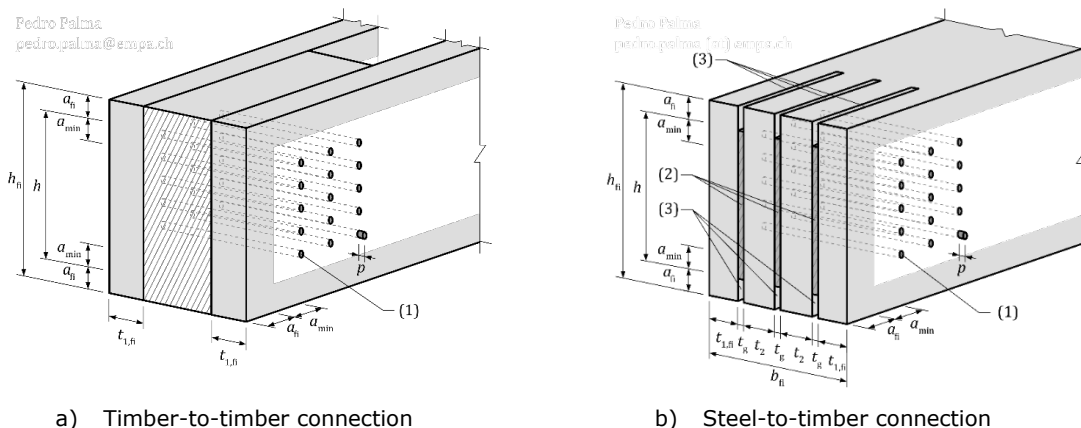


Figure 4: Examples of connections.

3.6. Design for physically based fires

For the design of timber structures exposed to physically based design fires improved rules and design methods have been developed and given in the new Annex A.

Design methods for any temperature-time curve including the parametric fires are given. According to the new Eurocode timber structures can be designed until burnout including the contribution of structural fire load to the total fire load.

This creates new possibilities for design of fire resistance of large and tall timber buildings for a full fire scenario according to Eurocode 5.

Summary

It is expected that the second generation of EN 1995-1-2 will fill most gaps of the current EN 1995-1-2 and will allow a safe and economic design of timber structures in fire.

4. References

- [1] EN 1995-1-2 (Eurocode 5) (2010): Design of timber structures, Part 1-2: General – Structural fire design, CEN, Brussel.
- [2] Frangi A., Schleifer V., Fontana M. (2010), Design model for the verification of the separating function of light timber frame assemblies, *Engineering Structures* 2010; 32: 1184–1195.
- [3] Frangi A., Knobloch M., Fontana M. (2010), Fire design of timber-concrete composite slabs with screwed connection, *Journal of Structural Engineering (ASCE)* 2010; 136: 219–228.
- [4] Just A., Kraudok K., Schmid J., Östman B. (2015), Protection by gypsum plasterboards - state of the art, *Proceedings of the 1st European Workshop Fire Safety of Green Buildings*, October 6-7, 2015, Berlin.
- [5] Just, A, Schmid, J and König, J (2010). Gypsum Plasterboards Used as Fire Protection - Analysis of a database,” *SP Report: 2010:29*, Stockholm, Sweden.
- [6] Just A., Tiso M. (2016), Improved fire design model for timber frame assemblies, *Proceedings of INTER Meeting*, August 16-19, 2016, TU Graz, Graz, Austria.
- [7] Kleinhenz M., Winter S., Dietsch P. (2016), Eurocode 5 – A halftime summary of the revision process, *Proceedings of 14th World Conference on Timber Engineering (WCTE)*, August 22-25, 2016, Vienna, Austria.
- [8] Klippel M., Schmid J., Frangi A. (2012), The Reduced Cross-section Method for timber members subjected to compression, tension and bending in fire, *Proceedings of CIB-W18 Meeting*, August 27-30, 2012, Växjö, Sweden.
- [9] Klippel M., Schmid J., Frangi A. (2016), Fire Design of CLT, *Proceedings of the Joint Conference of COST Actions FP1402 and FP1404*, March 10-11, 2016, Stockholm, Sweden.
- [10] Klippel M., Schmid J. (2017), Design of cross-laminated timber in fire, *Structural Engineering International*, Paper in Press.
- [11] König J. (2005), Structural fire design according to Eurocode 5 – design rules and their background, *Fire and Materials* 2005; 29: 147–163.
- [12] Palma P., Frangi A. (2016), A framework for finite element modelling of timber connections in fire, *Proceedings of 9th International Conference on Structures in Fire*, June 8-10, 2016, Princeton University, Princeton, USA.
- [13] Palma P., Frangi A. (2016), Fire design of timber connections – assessment of current design rules and improvement proposals, *Proceedings of INTER Meeting*, August 16-19, 2016, TU Graz, Graz, Austria.
- [14] Schmid J., König J., Just A. (2012), The reduced cross-section method for the design of timber structures exposed to fire-background, limitations and new developments, *Structural Engineering International* 2012; 22: 514–522.
- [15] Schmid J., Klippel M., Just A., Frangi A. (2014), Review and analysis of fire resistance tests of timber members in bending, tension and compression with respect to the Reduced Cross-Section Method, *Fire Safety Journal* 2014; 68: 81–99.
- [16] Tiso M., Just A. (2017), Fire protection provided by insulation materials – new design approach for timber frame assemblies, *Structural Engineering International*, 27 (2), 231–237.

- [17] Fire safety in timber buildings (2010) Technical Guideline for Europe. SP Technical research Institute of Sweden, Wood Technology. SP Report 2010:19. Stockholm, Sweden.
- [18] Just A., Schmid J. (eds) (2018), Improved fire design models for Timber Frame Assemblies – Guidance document, COST Action FP1404, Zürich, Switzerland.
- [19] Klippel, M, Just, A (eds) (2018), Guidance on Fire design of CLT including best practice, COST Action FP1404, Zürich, Switzerland.
- [20] Brandon, D., Kagiya K., Hakkarainen, T. (2018), Performance based design for mass timber structures in fire – a design example, COST Action FP1404, Zürich, Switzerland.
- [21] Liblik, J., Just, A. Design parameters for timber members protected by clay plaster at elevated temperatures. Proceedings of the INTER Meeting 50, Kyoto, Japan. Karlsruhe: Forschungszentrum Karlsruhe, 375-389, 2017.
- [22] Mäger, K N., Just, A., Persson, T., Wikner A. Fire Design of I-joists in Wall Assemblies. 2020. 53rd Meeting of the International Network on Timber Engineering Research (INTER 2020), Online.

BLOQUE 4
Madera y ciudad sostenible

Industrializar con madera. La perspectiva del promotor

José María Quirós
AEDAS Homes
Madrid, España



Industrializar con madera

1. La perspectiva del promotor

La irrupción del acero y del hormigón armado en la construcción de edificios destinados a uso residencial desterró durante muchos años el uso de la madera hasta el punto de hacer impensable que las estructuras y envolventes de los edificios se ejecutaran con este material.

Desde el punto de vista del Promotor dos factores han hecho que nos volvamos a plantear su uso como material estructural, por un lado, la aparición en el mercado de diferentes tipologías de maderas tecnológicas, con capacidades estructurales muy elevadas que permite la construcción de edificios de varias plantas de altura con absoluta seguridad y garantía de durabilidad y por otro lado la necesidad de descarbonizar el sector de la construcción, haciéndolo cada vez más sostenible medioambientalmente hablando.

En cuanto al primero, el uso de la madera contralaminada CLT para resolver las estructuras mediante forjados, muros de carga y fachadas portantes realizadas con este material, o de la madera microlaminada LVL en la fabricación de vigas y pilares, sin olvidarnos de la madera aserrada utilizada en la fabricación de entramados ligeros y en la mayoría de los casos una combinación de todos o algunos de los materiales citados y de distintos tipos de tableros buscando la optimización de costes y resistencia estructural, nos permite construir edificios de bastantes alturas con absoluta seguridad y garantía de durabilidad.



FIORESTA. 51 Viviendas en San Juan de Alicante

Ese material tan básico que ofrece la naturaleza conforma ya la estructura portante y las envolventes, fachadas y cubiertas, de los edificios más avanzados, y sus características compiten en resistencia y solidez con las estructuras tradicionales de hormigón o de acero. Además, tiene una durabilidad igual y en algunos casos superior a las del acero o el hormigón, como muestran muchos edificios de los barrios históricos de nuestras ciudades, contruidos en madera hace más de un siglo.

Cabe recordar que la madera es un elemento constructivo que se utiliza desde los inicios de la civilización. Valorada siempre por ser un material óptimo y fiable para la construcción. La madera serrada tiene una resistencia a la flexión superior al hormigón y las maderas laminadas cuentan con resistencias mecánicas comparables con el acero y el hormigón.

Además, el peso propio de las estructuras conformadas con madera es inferior, permitiendo reducir las dimensiones de las cimentaciones.

Por otro lado, en materia de medio ambiente el sector inmobiliario tiene la obligación de devolver al planeta todo lo que le ha quitado en el último siglo y el uso de la madera es una de sus mejores cartas para hacerlo. Utilizando este recurso natural favorecemos el cuidado de los bosques y su regeneración asistida, evitando la devastación producida por los últimos incendios de gran virulencia motivada por la cantidad de combustible que en los bosques sin explotar se acumula. Por otro lado, esta explotación de los bosques supone la generación de unos recursos que ayudan a fijar la población en las zonas despobladas de nuestro país.

Si queremos descarbonizar la construcción de nuestros edificios, hay que empezar a utilizar materiales naturales y crear una nueva arquitectura acorde con el medio ambiente y los tiempos actuales. Con la madera, el promotor de viviendas refrenda su compromiso para legar un mundo mejor a las futuras generaciones.



ENEIDA. 16 viviendas en Lluçmajor

En AEDAS Homes realizamos el análisis del ciclo de vida de nuestras promociones y comprobamos que solamente con el uso de la madera en las estructuras y envolventes de los edificios somos capaces de reducir de manera importante la huella de carbono generada durante el periodo de construcción. Pero además debido a sus mejores características aislantes las viviendas son mucho más eficientes energéticamente reduciendo de igual manera la huella de carbono durante la vida útil de los edificios.

La razón de que la madera suponga el gran salto de la construcción hacia la sostenibilidad es tan evidente como que su fábrica es la naturaleza, además es 100% reciclable al final de su vida útil y biodegradable. Y no solo no emite CO₂ en su fabricación, sino que lo absorbe durante el crecimiento de los árboles, convirtiendo así los edificios construidos en madera en almacenes de carbono capturado. Su fábrica son los bosques que se gestionan de manera sostenible, certificada y amable con el medio ambiente.

Estas consideraciones son las que nos llevaron en Aedas Homes a plantearnos el uso de la madera en nuestras Promociones.

Llegamos a la madera a través de la industrialización de la construcción, buscando en esa industrialización las certezas que con la construcción tradicional no tenemos y todas las ventajas que ha aportado a otros sectores productivos. Certezas en el plazo de ejecución,

además de la necesidad de reducirlo, en los costes y en la calidad de las viviendas terminadas, buscando además una solución a la escasez de mano de obra cualificada dispuesta a trabajar en nuestro sector, sin perspectiva de recuperarse en los próximos años, sino más bien todo lo contrario.

Buscamos además con la utilización de los métodos modernos de construcción la mejora de la sostenibilidad medioambiental de la construcción. Creemos, y defendemos que así sea, que el futuro inmediato va a ser muy restrictivo con la emisión de gases de efecto invernadero en la construcción y decidimos prepararnos cuanto antes para el cambio regulatorio que con toda seguridad nos va a venir.

La construcción industrializada genera muchos menos residuos, reduce los consumos energéticos y el impacto ambiental y prácticamente no consume agua siendo por tanto mucho más sostenible que la construcción tradicional, pero si además utilizamos un material como la madera que tal como indicábamos anteriormente en su proceso de fabricación no solo no emite CO₂, sino que lo absorbe mejoramos enormemente la sostenibilidad medioambiental descarbonizando de manera notable nuestras obras.

La industrialización de la construcción requiere de otro tipo de materiales distinto de los que venimos utilizando en los últimos años. La madera es un material perfecto para industrializar, porque combina su ligereza con las elevadas prestaciones estructurales ya comentadas, es muy fácilmente mecanizable, permite mucha precisión en su uso y además es muy estable dimensionalmente.

Otra de las ventajas de la construcción industrializada es la facilidad para reciclar los materiales que la componen ya que todos sus componentes son fáciles de desmontar. En el caso de la madera este desmontaje es todavía más fácil y permite darle un segundo uso al final de la vida útil de un edificio. Es por tanto el camino hacia una economía circular en la construcción.

De cara al comprador de una vivienda, el hecho de que la estructura y la envolvente de su vivienda esté formada básicamente por madera le aporta en nuestra opinión un buen número de ventajas. Sin duda la más importante es la seguridad que la madera tiene como material estructural, su buen comportamiento ante el fuego y los seísmos. Pero también sus propiedades como aislante térmico unido a la precisión con la que se trabaja hacen que las viviendas construidas con este material sean muy eficientes energéticamente con el consiguiente ahorro económico en la climatización durante la vida útil de los edificios que conforma.

Hay otras ventajas intangibles en el uso de este material noble, fabricamos con el viviendas que son más confortables y saludables y con una mayor calidad estética y de terminación.

1.1. FIORESTA. 51 Viviendas en San Juan de Alicante

Con todas estas consideraciones iniciamos el proyecto de nuestra primera promoción en madera, en concreto una de 51 viviendas de dos y tres dormitorios en San Juan de Alicante formada por dos edificios de cuatro alturas, planta baja más tres. Siendo el primer edificio en altura construido en madera destinado a uso residencial en la Comunidad Valenciana.



FIORESTA. 51 Viviendas en San Juan de Alicante

Su estructura a partir del nivel de rasante está resuelta por muros de carga y fachadas portantes formadas por tableros de CLT. La cimentación está formada por zapatas de hormigón armado y el bajo rasante destinado a aparcamiento de vehículos y trasteros está resuelto con una estructura de hormigón armado convencional. Tendremos que seguir usando el hormigón y por tanto el cemento en la cimentación, aunque debido a la ligereza de la madera se reducen sus dimensiones y también en las estructuras de los bajo rasantes.



FIORESTA. 51 Viviendas en San Juan de Alicante

La combinación de la madera en la estructura y fachadas, con la aerotermia como sistema de producción de agua caliente sanitaria y calefacción por suelo radiante y la ventilación de doble flujo nos ha permitido conseguir una lata eficiencia energética.

Con el uso de la madera en esta promoción hemos conseguido reducir el plazo de ejecución de las obras en un 30% que estamos seguros de poder mejorar en las próximas que ejecutemos con este material y un 75% las emisiones de CO2 en la ejecución de la estructura y las fachadas

1.2. ENEIDA VIEWS. 16 viviendas en Puig de Ros

Es nuestra segunda promoción en madera. Se trata de 16 viviendas unifamiliares pareadas. Su estructura está resuelta en este caso, por planos de dos dimensiones realizados por entramados ligeros, conformados con madera de abeto aserrada, en fachadas y muros de carga y también en los forjados horizontales



ENEIDA VIEWS. 16 viviendas en Puig de Ros

Conseguimos al igual que en el caso de Fioresta reducir las emisiones de CO2 en la ejecución de la estructura en un 75%, acortar el plazo de ejecución en un 40% y en este caso dar solución al escasez de mano de obra que existe en la isla de Mallorca, ya que los entramados ligeros que conforman fachadas muros y forjados se fabrican en la Península y se envían a la isla con un alto grado de acabado. Al ser planos de dos dimensiones los gastos de transporte son bastante reducidos

1.3. ENEIDA. 16 viviendas en Lluçmajor

Se trata de una promoción de 16 viviendas unifamiliares pareadas en Lluçmajor también en la isla de Mallorca muy similar a la anterior y resuelta su estructura de igual manera, con muros de carga, fachadas, cubiertas y forjados formados por entramados ligeros de madera serrada.



ENEIDA. 16 viviendas en Lluçmajor

1.4. MAREMMA. 26 Viviendas unifamiliares en Palma de Mallorca

Nuestra cuarta promoción en madera es MAREMMA, 26 viviendas unifamiliares adosadas en Palma de Mallorca de cuatro dormitorios. Al igual que las otras dos promociones que estamos construyendo en Palma de Mallorca su estructura está resuelta por entramados ligeros, conformados con madera de abeto aserrada, en fachadas y muros de carga y también en los forjados horizontales.

Estas viviendas van a estar certificadas como Passivhaus. El alto grado de precisión con el que se trabaja la madera, junto con sus propiedades como aislante térmico, hacen muy fácil obtener esta certificación modificando ligeramente las carpinterías exteriores y los acristalamientos de las viviendas.



MAREMMA. 26 viviendas unifamiliares en Palma de Mallorca.

1.5. 73 viviendas en Cañaveral

Utilizamos también la madera en la fabricación de componentes como en la fachada de esta promoción de 73 viviendas en el barrio de Cañaveral de Madrid destinada a alquiler. Se trata de una fachada industrializada, fabricada con un bastidor de madera y el propietario del edificio la eligió por la mejora que supone en cuanto a la eficiencia energética, además del ahorro de plazo que su uso está suponiendo y que elimina la necesidad del uso de andamios en fachadas.



73 viviendas en Cañaveral

Hay un denominador común en estas cinco promociones que estamos ejecutando con la madera como material principal en la fabricación de las viviendas, y es la buena acogida que está teniendo el uso de este material por parte de sus comparadores, que lo asocian perfectamente con las ventajas que aporta.

Sin duda alguna la madera va a recuperar en los próximos años el protagonismo que tuvo siempre como material de construcción.

La ciudad experimental de Bad Aibling. Construcción de madera en el sector inmobiliario

Luis Bencomo
Izabela Fornalczyk
Grupo constructor B&O
Bad Aibling, Alemania



La ciudad experimental de Bad Aibling. Construcción de madera en el sector inmobiliario

Experiencias y perspectivas de futuro

1. Presentación breve de B&O

B&O planifica, construye y moderniza viviendas desde hace más de 65 años y en más de 30 emplazamientos de Alemania.

Nuestra empresa fomenta desde hace mucho la construcción con madera y, con ello, pretende modificar sustancialmente el sector inmobiliario alemán. Somos contratistas principales y ofrecemos soluciones para barrios residenciales, fundamentalmente mediante la construcción prefabricada y sistematizada con madera y madera híbrida. Nuestros clientes son exclusivamente titulares de cartera institucionales.

El Grupo B&O construye anualmente unas 500 viviendas y ejecuta aproximadamente 2000 remodelaciones. Gracias a ello, sabemos qué es importante para la construcción de viviendas.

Los tipos y construcciones de edificios que ofrecemos a nuestros clientes se construyen primero en nuestras propias instalaciones, en el «**parque B&O**» de Bad Aibling.

Aquí investigamos, realizamos comprobaciones y, a continuación, implementamos las soluciones testadas en toda Alemania para nuestros clientes.

2. Viviendas eficientes de madera: por qué es una buena idea

Teniendo en cuenta la situación política, ecológica y demográfica, queremos centrar la atención en las siguientes cuestiones:

- ¿Por qué se necesitan más viviendas?
- ¿Cómo se puede construir de manera más eficiente?

Menos emisiones de CO²: ¿cómo lograrlo en la construcción de viviendas?

2.1. Demanda de vivienda

El número de habitantes en Europa apenas se ha incrementado en los últimos 10 años. No obstante, la demanda de vivienda crece a un ritmo vertiginoso. ¿Por qué?

Actualmente, Alemania, con una población de 83 millones de habitantes, presenta una demanda anual de 400 000 viviendas nuevas. España, con 47 millones de habitantes, la demanda anual de vivienda se sitúa en 230 000. Esta necesidad viene dada, en menor parte, por el crecimiento demográfico y, mayormente, por el consumo cada vez mayor de superficie habitable por habitante: ien los últimos 50 años, la demanda de superficie habitable se ha multiplicado por dos!

En Alemania, la demanda de m² por habitante para cada década era de, aproximadamente:

1950: 15 **1970: 25** 1990: 35 **actualidad: 50**

A modo de comparación, la demanda de superficie habitable en España, Inglaterra, Suecia y Francia se sitúa actualmente en aprox. **35** m² por habitante.

El camino hacia la solución pasa por minimizar la demanda de superficie siguiendo el lema: imás uso, menos dimensiones! En la actualidad, en Múnich viven alrededor de un millón y medio de personas; en Berlín, 3,6 millones. Si nuestras exigencias fueran como las de 1970, ya no necesitaríamos viviendas nuevas en ninguna de las dos ciudades durante décadas.

Planos inteligentes, construcciones de paredes finas y un equipamiento más minimalista llevan a una eficiencia de superficies de hasta el 80 %; la media actual en la construcción de viviendas se sitúa por debajo del 70 %. Esto implica que, en un edificio con 10 viviendas de 100 m² cada una, se podría crear otra vivienda adicional de 140 m².

2.2. Eficiencia de los recursos

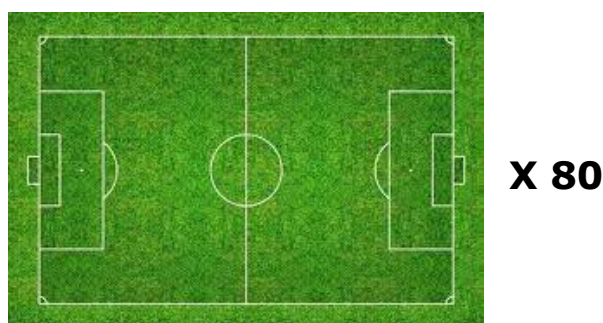
Actualmente, en Alemania es de gran importancia el debate climático y la naturaleza finita de los recursos energéticos. Y con razón.

Ahora todavía existen otros recursos que son finitos.

Uno de los bienes más preciados y no renovables es el suelo.

La superficie de Alemania es de 357 588 km². De ella, más de 52 000 km² se han sacrificado para la urbanización de viviendas y la construcción de carreteras (en 1990, esa superficie era de 40 000 km²).

En Alemania se sellan **diariamente** alrededor de 55 hectáreas, el equivalente a 80 campos de fútbol.



En lugar de edificar obra nueva constantemente, existe la alternativa de la multifuncionalidad en las construcciones ya existentes. Algunos ejemplos notablemente negativos con un tiempo de uso anual de alrededor del 4 % son los comedores y cantinas en escuelas, clubes y asociaciones culturales. Estos usos se podrían integrar a la perfección **en un solo inmueble**.

Por tanto, lo más recomendable es no construir obra nueva y, cuando sea inevitable, hacerlo dentro de la infraestructura ya existente, mediante la ampliación, la consolidación urbana y el uso multifuncional.

2.3. Materiales y clima

Las emisiones de CO₂ modifican la tierra y el clima. Es probable que se supere el umbral crítico de +1,5 grados centígrados en comparación con la época previa a la industrialización. El calentamiento global conllevará, entre otras cosas, un aumento considerable del nivel de mal y el posterior ocaso de nuestra civilización.

Y estas situaciones no son nuevas en la historia de nuestro planeta... los dinosaurios son muestras ilustrativas en muchos museos del mundo.

Pero ¿qué tiene que ver la construcción en esto?

Alrededor de un 40 % de las emisiones mundiales de CO₂ proceden del sector de la construcción. La construcción con materiales que absorben CO₂ es una salida viable para la crisis climática.

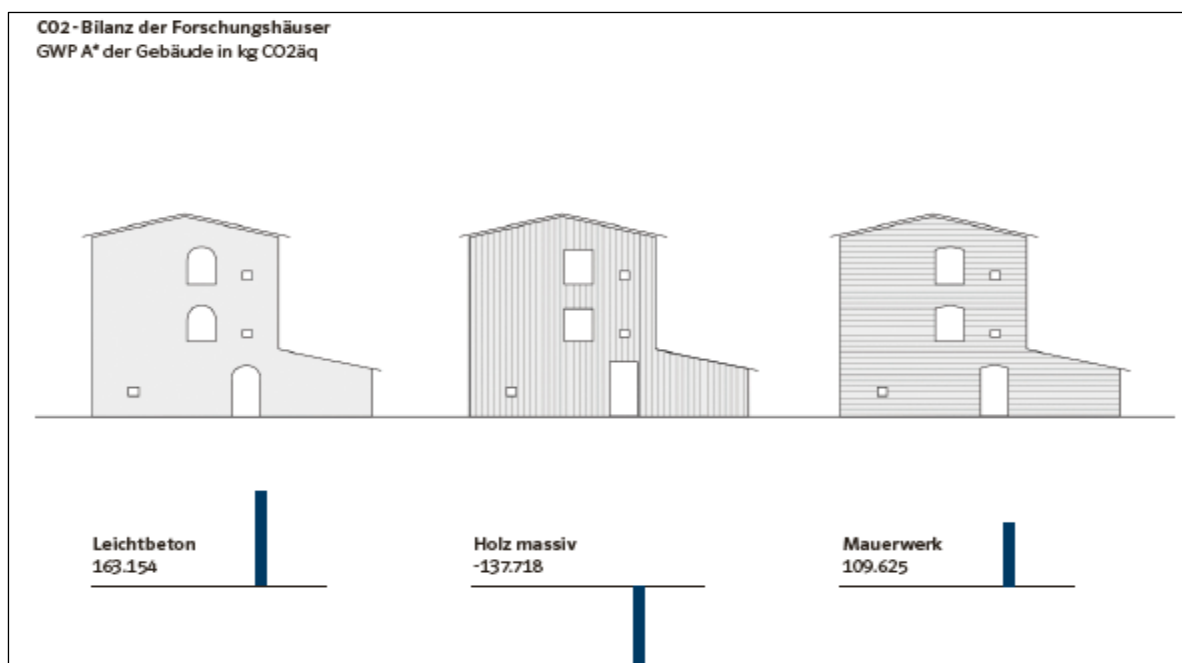


Ilustración: TUM, proyecto de investigación «Construcción sencilla», balance de CO₂ de las viviendas objeto de investigación en Bad Aibling

1 m³ de madera absorbe 1 t de CO₂,
1 m³ de cemento libera 0,6 t de CO₂.

La madera absorbe CO₂ en el bosque, y todavía más en las construcciones. En Alemania, vuelven a crecer cada año 122 millones de m³ de madera. En Baviera, cada año vuelven a crecer 6 millones de m³ de madera, es decir, alrededor de 700 m³ por hora. Se pueden fabricar muchas viviendas de madera con este material que rebrota diariamente. La protección climática y medioambiental no son el enemigo.

3. Construcción de viviendas de madera de varias plantas

Hasta el 70 % de una vivienda se pueden fabricar con madera. Así lo ha comprobado B&O en distintos proyectos. La edificación de viviendas en varias plantas es una estrategia que protege especialmente los recursos. Para las soluciones en centros urbanos, donde el suelo es especialmente valioso, la alternativa es construir en el techo de los aparcamientos urbanos espacios residenciales y parques infantiles.

Con los ejemplos de los proyectos que ya hemos realizado, queremos mostrar la variedad de soluciones en la construcción de varias plantas empleando la madera y soluciones híbridas con madera:

3.1. El proyecto piloto «Madera 8»

- La primera casa de madera de 8 plantas de Europa
- Sede de B&O en Bad Aibling
- Techos y paredes de madera maciza, escaleras de hormigón armado
- 16 espacios de uso flexibles: oficinas y viviendas
- Superficie habitable + superficie útil de aprox. 1310 m²
- Duración del proyecto: Feb. 2008 –2011
- Realización: B&O Construcciones Baviera en colaboración con Huber&Sohn
- Arquitectura: Arquitectos Schankula

3.2. El proyecto piloto «Vivir en Dantebad I»



Ilustración: Vivir en Dantebad I, Múnich, fachada sur; fuente: B&O Construcciones

- 100 viviendas sobre una plataforma de hormigón
- Mezcla de viviendas: predominantemente, apartamentos de 1 habitación
- Superficie habitable/útil: aprox. 3000 m²
- Azotea: aprox. 550 m²
- Duración del proyecto: 12 meses - planificación y ejecución en el año 2016
- Volumen de la inversión: 8,5 millones de euros brutos
- Arquitectura: Florian Nagler arquitectos
- Constructora: GEWOFAG, constructora municipal, Múnich



Ilustración: Aparcamiento en la entrada norte de Dantebad, fuente: Florian Nagler

- Superficie de hormigón armado con 105 plazas de aparcamiento para turismos en la parte interior
- Paredes exteriores con estructura de armazón de madera (la entrega incluye ventanas, protección contra caídas y fachada)
- Estructura de mamparos con paredes interiores y techos de estructura de madera maciza
- Ascensor en foso de madera prefabricado de doble pared
- Pérgola de piezas prefabricadas en hormigón armado
- Células de baño prefabricadas

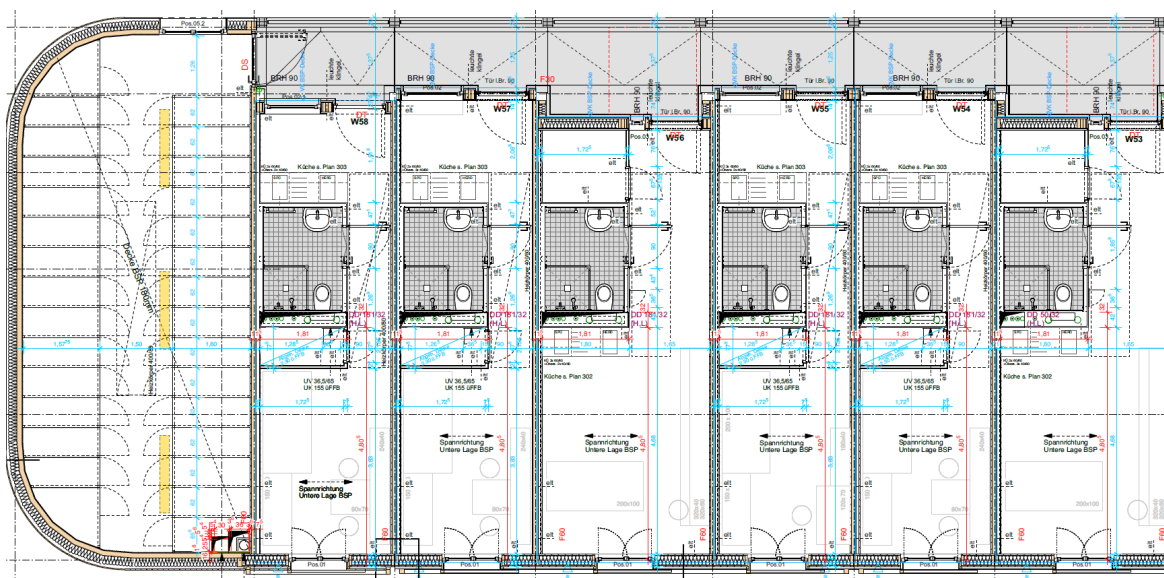


Ilustración: Vivir en Dantebad I, plano de planta estándar

3.3. El proyecto «Vivir en Dantebad II»

La construcción sobre postes crea escuela. 4 años después del Dante I, el mismo equipo de planificación y ejecución comenzó un sucesor de mayor tamaño, el Dante II.



Ilustración: Vivir en Dantebad II, perspectiva a vista de pájaro; fuente: B&O Construcciones

Datos clave de la edificación Dante II:

- 144 viviendas sobre una plataforma de hormigón
- Mezcla de viviendas: según el plan EOF (similar a las VPO en España), viviendas de 1 a 5 habitaciones
- Superficie habitable/útil: 8300 m²
- Zonas verdes con parque infantil en el techo
- Duración del proyecto: Ago. 2020 – Oct. 2021
- Volumen de la inversión: 31 millones de euros brutos
- Cimentación como edificación de suelo elevado con 143 plazas de aparcamiento debajo
- Estructura de soporte: estructura de mamparos con paredes interiores y techos de estructura de madera maciza
- Paredes exteriores con estructura de armazón de madera (la entrega incluye ventanas, protección contra caídas y fachada)
- Células de baño prefabricadas
- Pérgola de piezas prefabricadas en hormigón armado
- Ascensor en foso de madera prefabricado de doble pared
- Células de baño prefabricadas
- Sin sótano, en planta baja: espacios sustitutivos de sótanos y para cuestiones técnicas
- Desarrollo con gestión Lean

En el ejemplo de este proyecto, calculamos cuántas viviendas se podrían construir con madera alemana:

- Madera empleada: aprox. 20-25 m³ de madera o aprox. 15 árboles/vivienda
- 144 viviendas
- Por tanto, para todo el inmueble se han empleado alrededor de 3000 m³ de madera.

Partiendo del crecimiento anual de madera en Baviera, que asciende a 6 millones de m³/a, se podrían edificar 2000 inmuebles residenciales como este o 280 000 viviendas al año. Escalando a la cantidad total anual de madera de Alemania, el resultado sería de más de 4 000 000 de viviendas por año.

3.4. Construcción híbrida con madera: construir con un sistema

B&O ha desarrollado un sistema de construcción híbrido de madera que permite una ejecución especialmente rápida y de coste fijo de proyectos de viviendas.

El sistema se basa en tres elementos principales:

- Paredes de madera prefabricadas en 3 calidades diferentes
- Techos de madera o de hormigón armado prefabricados
- Células del baño prefabricadas



Ilustración: Ejemplo de plano de planta con construcción modular B&O; fuente: B&O Construcciones



Ilustración: Construcción modular B&O, montaje de los baños prefabricados; fuente: B&O Construcciones

Con nuestra vivienda modular de B&O se han realizado 250 viviendas sin barreras en Erlangen



Ilustración: Construcción con módulos en el proyecto residencial Hans-Geiger en Erlangen, constructora Dawonia

- Superficie habitable + superficie útil de aprox. 9100 m²
- Duración del proyecto: Ago. 2017 – Dic. 2020
- Volumen de la inversión: 32 millones de euros brutos

3.5. El proyecto «aparcamiento de madera»

B&O no solo construye viviendas de madera, también se encarga de construir aparcamientos en barrios residenciales.

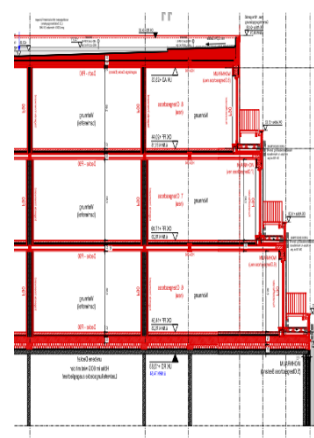


Ilustración: aparcamiento de madera en Bad Aibling, fuente: B&O Construcciones

- 104 plazas en dos plantas
- Construcción: Clase de servicio 2 según EC5/DIN EN1995-1-1, soporte principal de madera de haya, soportes de MLE (ingl. GLT), entablado del techo de MLC (ingl. CLT)
- Superficie útil: aprox. 2200 m²
- Absorción de 175 t de CO₂e, construcción climáticamente positiva
- Arquitecto: HK Architekten Hermann Kaufmann + asociados

3.6. Ampliaciones

En las zonas aglomeradas, donde el suelo es especialmente valioso y escaso, es necesario hacer un mejor uso de las viviendas ya existentes. B&O amplía viviendas con una estructura de madera o un sistema híbrido de madera, logrando así nuevos espacios habitables sin necesidad de sellar más suelo.



Ilustraciones: proyecto «Calle Franz-Schmidt» en Berlín, ampliación de una vivienda existente con 3 nuevas plantas, constructora: HOWOGE

3.7. Rehabilitación en serie de la fachada

Bajo el punto de vista ecológico, se recomienda rescatar la estructura del edificio existente en lugar de construir desde cero. Con ello, el balance más eficiente de CO2 se alcanza rehabilitando la fachada con elementos de fachada prefabricados de madera. Los edificios también se equipan con nuevos suministros de energía para ser autosuficientes a nivel energético = cero neto.



Ilustraciones: proyecto en Mönchengladbach, rehabilitación con elementos prefabricados de fachada en madera: Antes-después, constructora: LEG

4. Procesos y obras digitales

B&O da mucho valor a los procesos coordinados entre sí:

- BIM y modelado paramétrico en la planificación y prefabricación
- Gestión Lean en la realización

Nuestro objetivo son los procesos eficientes y la prevención de errores y, con ello, una elevada calidad a precios asequibles.

Gracias a la creatividad y al empeño incansable de nuestro personal, así como a una dosis saludable de audacia, siempre nos colocamos un paso por delante de nuestra competencia.

B&O – Esto es lo que somos.

Vivienda pública industrializada con madera. IMHAB

Daniel López
IMHAB / Ayuntamiento Barcelona
Barcelona, España



Vivienda pública industrializada con madera. IMHAB

1. ¿Qué hacemos?

IMHAB es el ente del Ayuntamiento de Barcelona, encargado de promover la construcción de vivienda pública, así como gestionar el parque y promover la rehabilitación de vivienda.

El origen se remonta al año 1927 como Patronato de la Habitación, y los primeros grupos de viviendas se entregaron en 1929 para acoger a la población desplazada por la Exposición universal.

Durante el siglo XX la actividad del Patronato Municipal de la Vivienda, se dividió en diversas etapas dando lugar a todo un conjunto de construcciones muy heterogéneo, desde las primeras casas baratas de 1929, los grandes polígonos de vivienda de las décadas de los sesenta y setenta, o las generadas por las grandes transformaciones urbanísticas de los ochenta y noventa, hasta llegar a las viviendas que debían cumplir el CTE y normativas ambientales a partir del año 2006.

2. Objetivos

Desde el punto de vista técnico, los objetivos podrían resumirse en:

- Arquitectura de calidad.
- Trabajar con materiales de bajo impacto ambiental en su proceso de fabricación.
- Reducir el plazo de ejecución de obras.

3. Tipologías de vivienda

A lo largo de su historia las tipologías del Patronato han ido evolucionando y adaptándose a las necesidades cambiantes, hasta llegar a las actuales que podrían resumirse en las siguientes:

- Viviendas para gente mayor con servicios.
- Viviendas de alquiler social/asequible.
- Derecho de superficie.
- Alojamientos colectivos.
- Realojos / remodelación de barrios.
- Equipamientos municipales en las promociones.
- Gestión de promociones de terceros.
- Covivienda / Cooperativas.

4. Estrategias

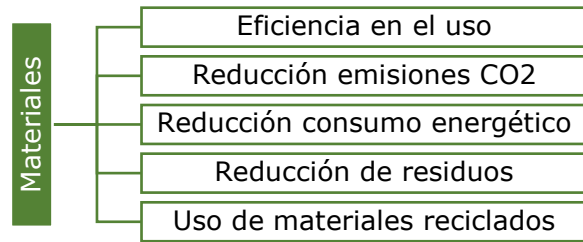
Las estrategias aplicadas a las diferentes tipologías, para conseguir los objetivos principales, podrían resumirse en:

- Sociales
- Constructivas
- Medioambientales

En la presentación que nos ocupa, nos centraremos en las medioambientales y desarrollaremos principalmente una de ellas, los materiales.

– Estrategias medioambientales

- Energía
- Agua
- **Materiales**
- Residuos
- Verde urbano



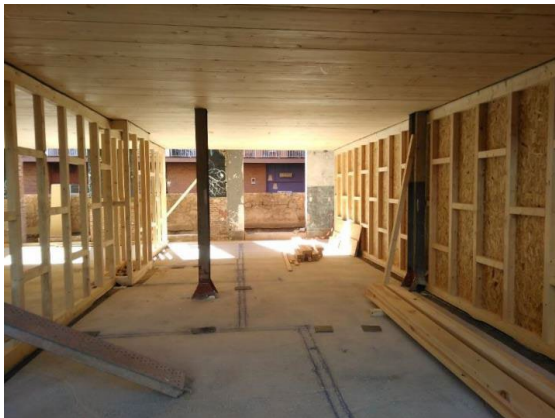
5. ¿Cómo caminar hacia la vivienda social sostenible?

5.1. Estudio de experiencias previas

La primera promoción que supuso un cambio importante en la consideración de los materiales de construcción empleados, fue el edificio de 46 viviendas dotacionales y sede de la Colla Castellera Joven de Barcelona.

Se trata de una promoción proyectada por el despacho de arquitectura Roldán + Berengué Arquitectos, dentro de un conjunto fabril protegido de principios del siglo XX. Si bien se proyectó a finales de la década de los dos mil, no llegó a construirse. En el año 2016 se recuperó el proyecto, ajustándose el número de viviendas para incluir el equipamiento. Fue en este momento cuando el equipo redactor propuso una idea muy potente, consistente en entender el edificio patrimonial como un contenedor de nuevos usos, en este caso unidades ligeras y reversibles de vivienda apoyadas en la estructura original; este cambio de concepto permitió el cambio de estructura, pasando de una pesada basada en acero y hormigón, necesitada de importantes refuerzos en la cimentación, a una ligera basada en paredes de carga de entramado ligero de madera y forjados de vigas de madera laminada machihembrada.

El cambio fue viable debido a que la ligereza de la nueva solución estructural hizo innecesarios una gran parte de los refuerzos estructurales así como todos los previstos en cimentación, consiguiendo un conjunto de estructura y cimentación un 63% más ligero, un 23% más económico, con un ahorro en el consumo de energía en la fabricación de los materiales del 73% y un ahorro del 74% en las emisiones de CO₂ en dicha fabricación.



SSTT IMHAB



Jordi Surroca



Jordi Surroca

5.2. Replanteo de las licitaciones

Durante el año 2020 se publicaron dos licitaciones con un total de seis lotes, en las cuales se proponía la contratación conjunta de la redacción del proyecto y la ejecución de las obras. Se establecieron cinco criterios de licitación, la calidad arquitectónica en una primera apertura valorada por jurado y criterios objetivos en la segunda, destacando en esta la valoración de la reducción de plazos y la sostenibilidad de los materiales de construcción elegidos, en base a unas variables determinadas.

Se buscaba construir proyectos de gran calidad, de forma eficiente y sostenible y por ello se proponía como herramienta para conseguirlo, que se presentaran propuestas altamente industrializadas.



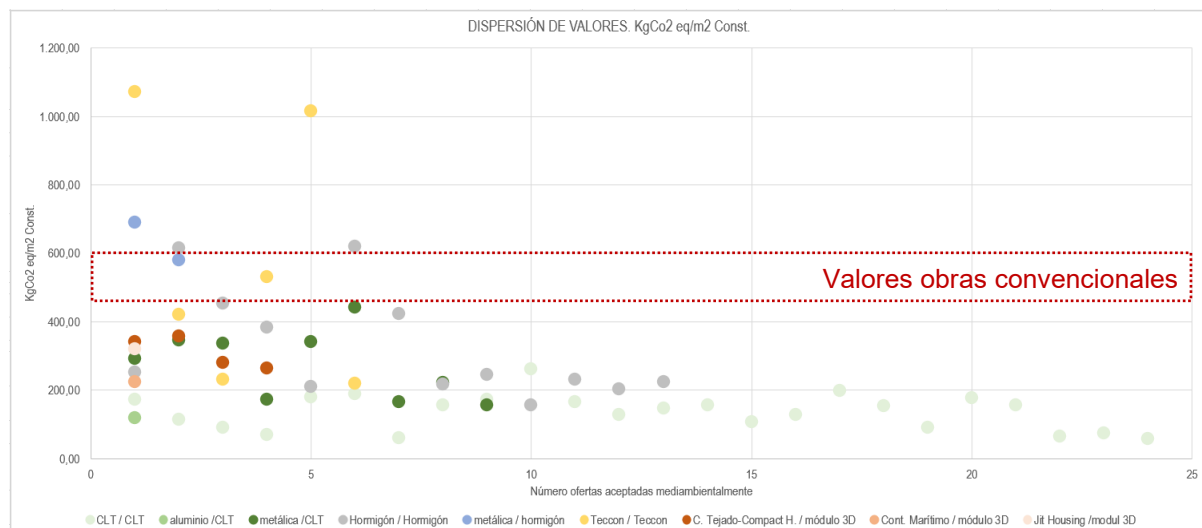
No se limitaron las propuestas a un material o sistema constructivo concreto, simplemente se marcaban unas reglas mediante las cuales la propuesta que tuviera un menor impacto (energía, CO₂ o residuos), se ejecutara en un plazo más corto o hiciera un mayor uso de materiales reciclados obtenía la mayor puntuación, y el resto de forma proporcional. De esta forma se podía conocer cuáles eran las diferentes opciones que el sector puede ofrecer para dar cumplimiento a los objetivos, en la actualidad.

El cálculo de los valores de impacto ambiental, debía realizarse mediante el uso del módulo GMA de la base de datos BEDEC 2019, y la información aportada debía corresponderse con las soluciones constructivas de los elementos horizontales y verticales de la estructura portante, incluidos los acabados, así como la parte opaca de las fachadas. Para el total de seis lotes, se presentaron setenta y nueve propuestas concretas, de las cuales presentaron la información de impacto ambiental de forma correcta sesenta y una. En el siguiente cuadro resumen, pueden verse de forma agrupada, los principales sistemas constructivos y los valores promedio obtenidos:

6 PROYECTOS Y OBRA							
Total ofertas	Ofertas aceptadas ambientalmente	ESTRUCTURA VERTICAL / FACHADA	ESTRUCTURA HORIZONTAL	KgCO ₂ eq/m ² Const.	kwh/m ² Const.	kg/m ² Const. Residuos	kg/m ² Const. materia prima reciclada
34	24	CLT	CLT	136,11	441,58	3,12	131,75
1	1	Aluminio	CLT	118,77	512,34	7,76	25,85
10	9	Metálica	CLT	274,85	778,37	3,80	76,30
16	13	Hormigón	Hormigón	326,14	793,44	4,97	227,21
4	2	Metálica	Hormigón	635,01	1.767,95	2,61	26,55
7	6	Entramado metálico (Teccon)	Entramado metálico (Teccon)	581,58	1.756,42	4,23	17,75
4	4	Módulo 3D metálico (Casa Tejado / CompactHabit)	Módulo 3D colaborante	310,29	859,81	2,35	49,69
1	1	Módulo 3D (Contenedor marítimo)	Módulo 3D (Contenedor marítimo)	223,68	503,50	2,39	994,80
2	1	Módulo 3D metálico (Jit Housing)	Módulo 3D losa hormigón o fibrocemento	319,89	870,19	3,36	94,22
79	61	Promedios Totales:		325,15	920,40	3,84	182,68

Si bien es útil agrupar los valores por sistema constructivo y comparar sus promedios, también resulta muy interesante ver como un mismo sistema puede tener impactos diferentes en función de la propuesta constructiva concreta, ello es debido a características como la altura del edificio (de PB+3 hasta PB+10), o la optimización conseguida por el equipo redactor (luces, cantos, y tipo de elementos verticales).

En el siguiente gráfico, se representa la dispersión de los valores de las sesenta y una ofertas validadas ambientales por sistema constructivo, por lo que respecta a las emisiones asociadas en KgCO₂ eq/m² en la fabricación de los materiales, comparándose con el impacto promedio de los elementos considerados en un edificio de referencia con sistemas constructivos convencionales, el cuál se considera entre 450-600 KgCO₂ eq/m². Se comprueba que la reducción promedio global, es algo superior al 30% de reducción esperada, y que en algunos casos esta reducción puede llegar a valores en torno al 75%.

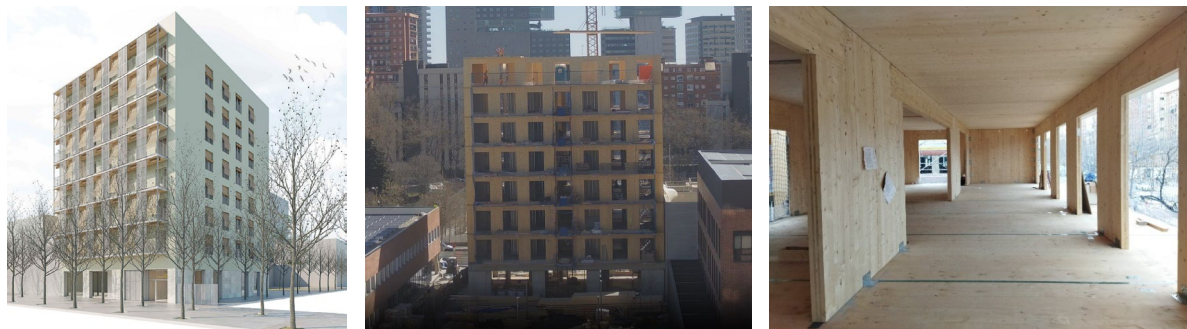


Rápidamente pueden observarse dos aspectos importantes, el primero que el sistema constructivo con mayor número de ofertas y valores más bajos y homogéneos es el basado en elementos estructurales horizontales y verticales de CLT, y el segundo que sistemas que a priori pueda parecer que tienen un impacto elevado, en propuestas bien estudiadas y optimizadas pueden tener impactos reducidos.

5.3. Materialización. Propuestas ganadoras.

A continuación pueden verse imágenes de las seis propuestas ganadores y en algún caso de la fase de obras.

C/Pallars, 487-489



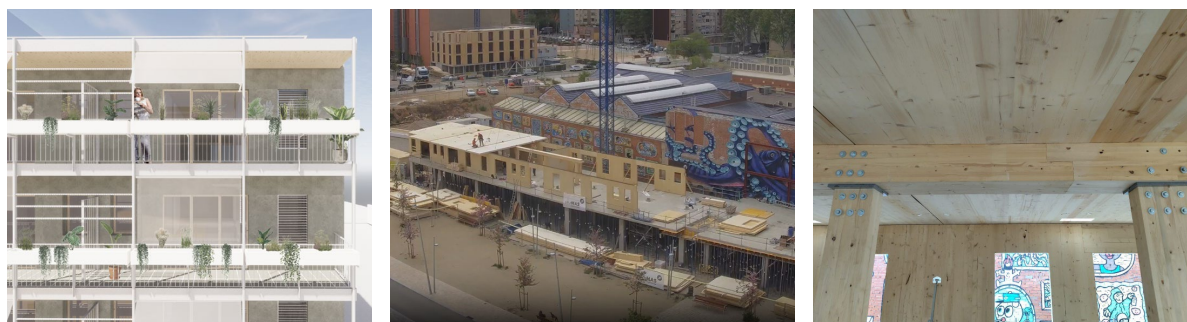
Oikosvia Arquitectura SCCL + Fabregat&Fabregat Arquitectes, SCP

C/Marroc, 180-182



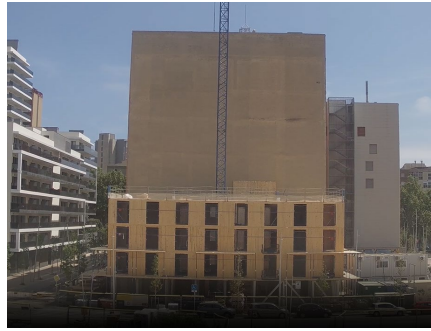
Vivas Arquitectos Barcelona SLP + EXE Arquitectura Barcelona SLP

C/Binéfar, 22



Martí Sanz Ausàs + COMA Arquitectura SLP

C/Lola Iturbe Arizcuren, 13



Guallart Architects, SL + Daniel Ibáñez

Casernes J



Casernes A



Vivas Arquitectos Barcelona SLP + EXE Arquitectura Barcelona SLP

BLOQUE 5

Innovación y desarrollo

Impulso Verde, edificio de consumo casi nulo y km 0

Antonio José Lara Bocanegra
Escuela Técnica Superior de Arquitectura
ETSAMadera
Grupo de Investigación Construcción con Madera
Universidad Politécnica de Madrid
España



- 2 | Impulso Verde, edificio de consumo casi nulo y km 0 | A. J. Lara Bocanegra

Impulso Verde, edificio de consumo casi nulo y km 0

1. Introducción

LIFE Lugo+Biodinámico [1] (2016-2022) es un proyecto de I+D financiado por la Unión Europea para desarrollar estrategias urbanas de adaptación al cambio climático en la ciudad de Lugo que puedan ser replicadas en otras ciudades de tamaño medio. El objetivo general del proyecto es proponer una nueva forma de construir ciudades más resilientes y sostenibles a través de múltiples líneas de actuación, como el uso de la madera local en la construcción, la incorporación de la silvicultura y la agricultura en el entorno urbano, y la revalorización y protección de espacios naturales con alto potencial ambiental. El diseño y construcción del edificio piloto Impulso Verde y su urbanización es una de las acciones demostrativas más importantes de dicho proyecto.

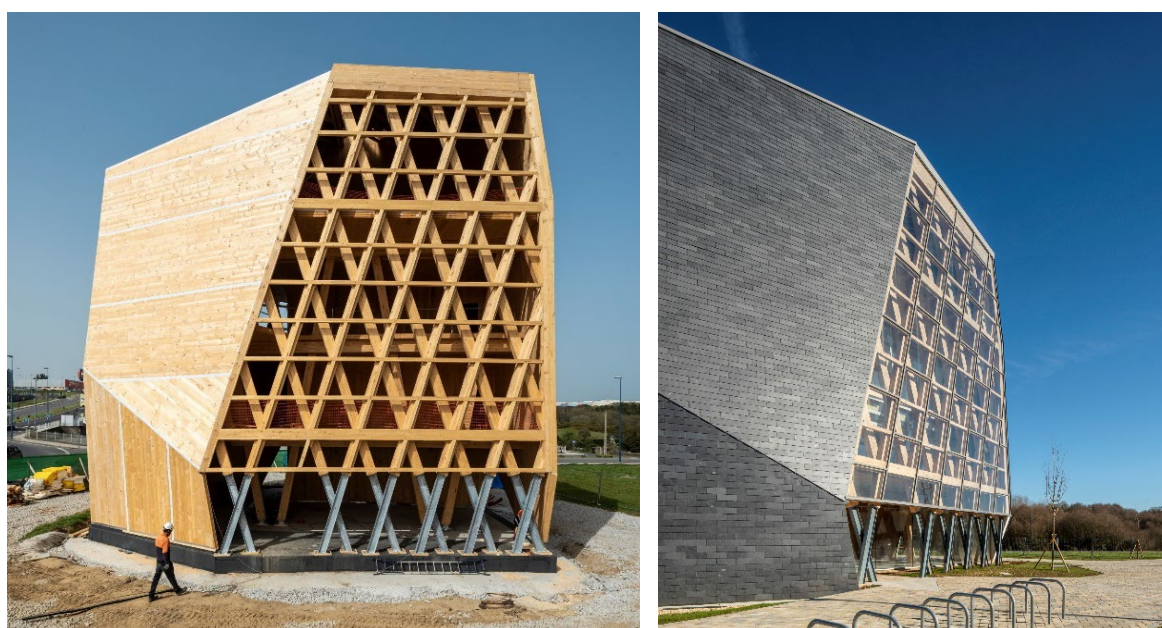


Ilustración 1: Edificio Impulso Verde. Vista exterior tras finalizar el montaje de la estructura (izq.) y tras la finalización de la urbanización (dcha.) (fotografías: Héctor Santos-Díez)

1.1. Ámbito de actuación del proyecto LIFE Lugo+Biodinámico

La ciudad de Lugo se extiende alrededor de su muralla histórica descendiendo hacia los ríos, Miño y Rato. Ambos ríos generan una estructura de gran valor ecológico, constituida por la secuencia de diferentes áreas, parques y paseos fluviales, creando un cinturón verde alrededor de la ciudad. Este cinturón está incompleto en su zona norte, en la franja situada entre las Avdas. de la Coruña y de Infanta Elena. El ámbito de actuación del proyecto LIFE Lugo+Biodinámico (50 ha) se encuadra en dicha zona, extendiéndose a áreas cercanas de los polígonos industriales de las Gándaras y de O Ceao. En él, se genera un nuevo barrio y un nuevo bosque en los que lo forestal y el uso generalizado de la madera en la construcción se establecen como ejes fundamentales para el fortalecimiento del patrimonio y la bioeconomía locales.

1.2. Barrio Multiecológico

El Barrio Multiecológico, en el que se ubica el edificio Impulso Verde, ocupará la mitad suroeste del ámbito de actuación. Planificado para 1.200 viviendas, se ha concebido a modo de aldea urbana. En su diseño se minimiza el sellado de la tierra, se proyectan huertos comunitarios para fomentar la cohesión social y el autoconsumo, y se proponen

sistemas de recogida del agua de lluvia para el riego. Contará con amplias zonas con vegetación autóctona para el fomento de la biodiversidad y se emplearán medidas pasivas para el ahorro energético, como la orientación de los viales y de la edificación.

El barrio dispondrá de redes de calor urbanas en las que poder reaprovechar la biomasa de la zona para abastecer una central de biogás, la cual se utilizará en todo el barrio y contará con un sistema propio de reutilización de la fracción orgánica de los residuos. Así mismo, se instalarán carriles bici y sendas por toda el área para fomentar la movilidad alternativa y sostenible.

Sus edificios utilizarán la madera como material estructural con el objetivo de impulsar y fortalecer el sector forestal local como estrategia territorial para estimular la economía verde y circular.

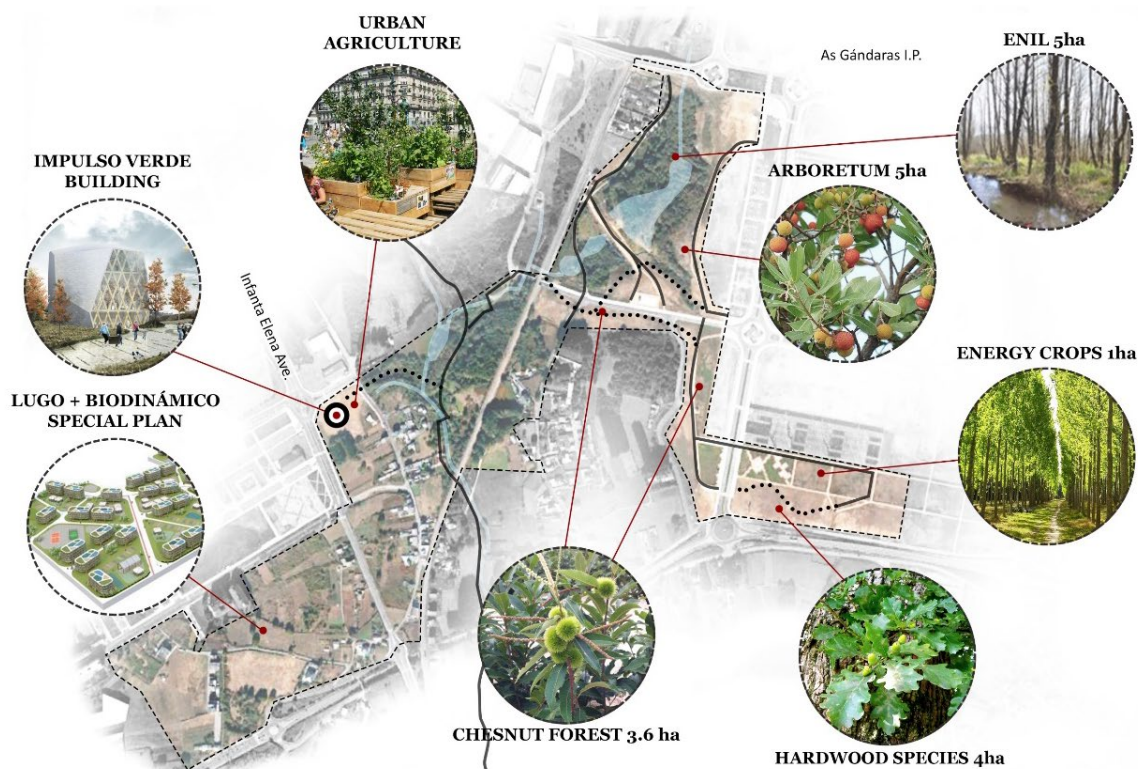


Ilustración 2: Ámbito de actuación del proyecto LIFE Lugo+Biodinámico. Barrio Multiecológico y nuevo bosque urbano

1.3. Nuevo bosque urbano

Junto al nuevo barrio se crea un bosque urbano en el que se integran áreas forestales productivas con el objetivo de demostrar que estas actividades también son posibles en entorno urbano. Éste se articula a partir de cinco áreas forestales interconectadas de diferente carácter (productivo, lúdico, educativo y medioambiental):

- Bosque de frondosas (roble, fresno, arce y cerezo, 4,1 ha), orientado a la producción de madera de calidad de alto valor añadido y el disfrute ciudadano.
- Jardín de la energía (1 ha), dedicado a la plantación de diferentes especies para la producción de biomasa de alto rendimiento energético en entornos urbanos.
- Arboretum (5 ha), área didáctica en la que se representan diferentes bosques naturales gallegos, un área de plantas aromáticas y una zona de matorral autóctono.
- Bosque de castaños (Souto) (3,6 ha), dedicado a la producción de fruto y el paseo.
- Humedal (6 ha), espacio de elevado valor ecológico destinado a la conservación de la naturaleza y la sensibilización ambiental.

Para la creación de este nuevo bosque se han plantado más de 15.000 plantas (forestales) de diferentes especies. Se estima que estas plantaciones capturarán 788 toneladas de CO₂ al año.

2. Impulso Verde

2.1. Nuevo parque. Ecoprograma.

La construcción del edificio Impulso Verde y su urbanización tienen como objetivo poner en práctica los principios de diseño propuestos en el Barrio Multiecológico y mostrar el potencial de las posibilidades constructivas de la madera local como producto estructural natural, renovable y altamente tecnificado.

Impulso Verde se ubica en una parcela municipal de más de 8.000 m² situada en una posición central del ámbito de actuación junto a la Avda. Infanta Elena, uno de los ejes con mayor afluencia de la ciudad. En la parcela se propone un nuevo parque (en la actualidad en proceso de ejecución), destinado al encuentro social y la educación ambiental, en el que el edificio funcionará como equipamiento municipal, catalizador de actividades relacionadas con el medioambiente y la lucha contra el cambio climático.

El parque se trata como un pequeño jardín educativo, en el que se utilizarán especies arbóreas y arbustivas autóctonas y se dispondrán pequeñas zonas inundables como prolongación del parque fluvial colindante del río Rato y apoyo al fortalecimiento de la biodiversidad. Así mismo, habrá una zona dedicada a cultivos energéticos como muestra de la producción de biomasa utilizada en el edificio. El resto de la parcela estará destinada a huertos urbanos que servirán de espacio de cohesión social. El uso de extensas áreas verdes junto con pavimentos drenantes evitará el efecto de isla de calor.

El edificio se localiza en el ángulo noroeste de la parcela. Esta posición perimetral permite dejar el máximo espacio libre al parque, al tiempo que proporciona buena accesibilidad al edificio y ofrece las mejores vistas desde sus plantas superiores. Desde un punto de vista volumétrico, el edificio se concibe como una gran piedra sobre un jardín, un volumen facetado que se convertirá en un nuevo punto de referencia del paisaje urbano de Lugo y del nuevo modelo urbano propuesto. Con 18 m de altura, albergará una zona de exposición y talleres formativos, un nuevo servicio municipal, un pequeño espacio coworking, un aula de formación medioambiental y espacios de encuentro y descanso.



Ilustración 3: Modelo 3D del edificio Impulso Verde. Sección transversal por accesos

El proyecto de Impulso Verde explora las posibilidades de un espacio de diseño definido por tres ejes: la construcción energéticamente eficiente, la construcción tradicional local y la construcción con madera.

2.2. Estrategia energética

Desde el punto de vista del diseño energético, el programa se organiza en sección en tres franjas verticales con el objetivo de reducir los consumos de climatización e iluminación:



Ilustración 4: Sección transversal por espacios intermedios de regulación térmica

- Franja norte, formada por los espacios de servicio (almacenes, instalaciones y comunicación), resguarda los espacios de actividad de los vientos dominantes del norte actuando como colchón térmico.
- Franja interior protegida, formada por los espacios de actividad (oficina municipal, espacio coworking y aula).
- Franja sur, formada por espacios intermedios que reinterpretan el funcionamiento de la galería tradicional y actúan como elementos activos de regulación térmica (jardín a doble altura y office-mirador). En invierno permanecen cerrados actuando como acumuladores de calor, de modo similar a una galería, mientras que en verano se abren permitiendo la ventilación natural por efecto chimenea. Estos espacios, destinados al descanso y la distensión, cuentan con jardines verticales de especies autóctonas, convirtiéndose en una prolongación interior del parque exterior.

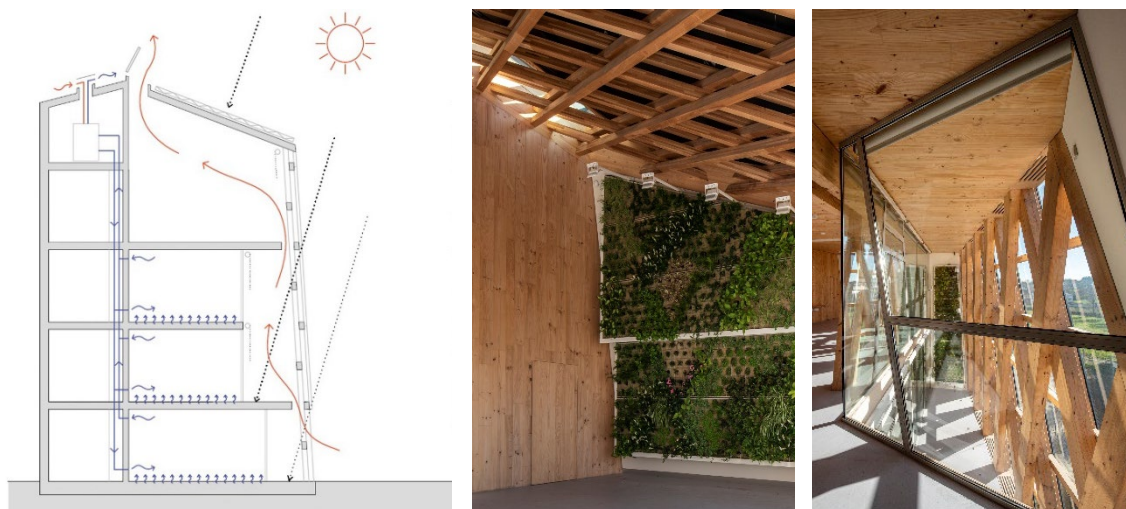


Ilustración 5: Esquema de funcionamiento de los espacios intermedios de regulación térmica en situación de verano (izq.) y detalles de la galería y del lucernario de ventilación del office-mirador (dcha.) (fotografías: Héctor Santos-Díez)

Simulaciones avanzadas realizadas por elementos finitos indican que esta solución de acondicionamiento innovadora, basada en una adaptación del concepto de galería tradicional gallega, permite reducir en más de un 15% el consumo energético anual en climatización del edificio, incluso en un escenario climático muy desfavorable (año 2050).

La conexión entre las tres franjas a través de grandes aberturas permeables a la mirada, al paso y a la luz, así como la disposición de doubles alturas en los espacios de circulación y de regulación térmica, generan secuencias que permiten lecturas transversales y diagonales del espacio.



Ilustración 6: Escalera -franja norte- (izq.); y espacio de actividad -franja interior- y galería -franja sur- (dcha.) (fotografías: Héctor Santos-Díez)

La iluminación natural filtrada, el uso generalizado de la madera, el trazado oculto de las instalaciones y la incorporación de muros vegetales proporcionan una atmósfera cálida de carácter doméstico, alejada de planteamientos más industriales.

El edificio se ha diseñado de modo que todos los espacios de actividad y circulación dispongan de una adecuada iluminación natural. Ésta se realiza a través de dos celosías estructurales que se acristalan mediante una solución de muro cortina.

En el sur, la celosía es la piel exterior de los espacios intermedios a través de los cuales se iluminan los espacios de trabajo. Su orientación maximiza la captación solar en invierno mientras que la profundidad de éstos (4,5-5 m) garantiza una iluminación natural óptima.

Los aleros protegen los espacios de trabajo de la radiación directa en los momentos de mayor incidencia evitando el efecto invernadero. Un sistema de estores motorizados colocados por el exterior de las carpinterías de las oficinas, permiten filtrar la luz y evitar sobrecalentamientos y/o deslumbramientos en los momentos en que los aleros pierden eficacia. El edificio cuenta con un sistema de control de iluminación natural (daylighting) para la reducción del consumo. Además, en los espacios de oficinas se ha incorporado un sistema DALI con pulsadores manuales inalámbricos con regulación de intensidad.



Ilustración 7: Interior de la galería (izq.) y relación con el espacio de actividad adyacente (dcha.) (fotografías: Héctor Santos-Díez)

La estrategia energética de Impulso Verde complementa la distribución programática en franjas y el aprovechamiento de la luz natural, con principios de construcción pasiva y equipos de alta eficiencia.

El sistema de ventilación se ha diseñado siguiendo los principios de la construcción pasiva empleando ventilación a baja velocidad mediante recuperador de calor de alta eficiencia y batería de frío-calor, disponiendo de sensores para la medición de la calidad del aire (CO_2 y COV_s) y adaptación de caudales. Para la climatización de los espacios de actividad, en los días en los que sea necesario, se ha dispuesto de un suelo radiante-refrescante alimentado por una caldera de biomasa y una bomba de calor con COV anual $> 2,5\%$ debido a baja t^a de impulsión empleada en el suelo refrigerante.

Una batería de sensores para registrar las condiciones ambientales exteriores e interiores de los diferentes espacios junto con un sistema central de gestión y control integral de todos los equipos (climatización, ventilación, iluminación, elementos de control solar y carpinterías motorizadas) permitirá ajustar el funcionamiento de los diferentes equipos y minimizar los consumos. El uso de biomasa para calefacción y ACS y la producción fotovoltaica mediante paneles de alta eficiencia (tecnología half-cell) permitirá alcanzar un balance anual de emisiones de CO_2 casi nulo.

2.3. Envoltente térmica

La envoltente térmica del edificio se diseña siguiendo criterios de construcción pasiva de alta estanqueidad al aire y elevada capacidad aislante con el objetivo de reducir de modo muy importante la demanda energética de acondicionamiento interior.

La estructura de las zonas opacas de fachada está formada por tableros de CLT encintados en sus juntas para conseguir la estanqueidad requerida. Por el interior de la estructura de fachada se disponen 60 mm de aislamiento de lana de roca y un trasdosado de doble placa de cartón yeso generando una cámara para el paso de pequeñas instalaciones. Por el exterior de la misma se disponen dos familias cruzadas de rastreles de madera de 80 mm de canto, la cual sirve de soporte a 160 mm de aislamiento térmico de lana de roca adicional y al sistema de fachada ventilada. La disposición cruzada de los rastreles permite minimizar los posibles puentes térmicos debidos a la existencia de la subestructura de madera. Sobre ella se coloca una lámina impermeable al agua y permeable al vapor encintada en todas sus juntas. La solución empleada logra una transmitancia térmica muy reducida ($U=0,14\text{W/m}^2\text{K}$) a la vez que garantiza la inexistencia de condensaciones intersticiales.

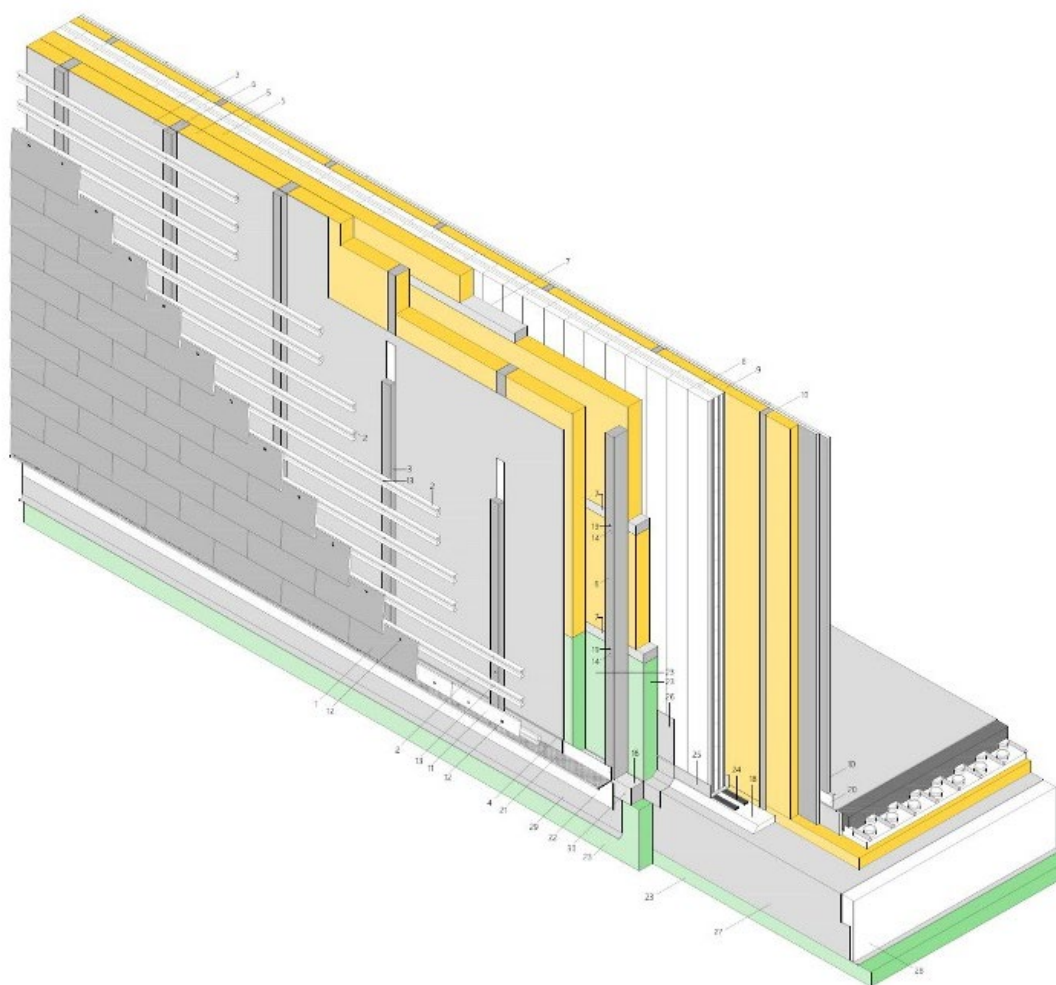


Ilustración 8: Solución constructiva de fachada



Ilustración 9: Fachada ventilada de pizarra. Detalle durante el montaje (izq.) y aspecto exterior del edificio una vez terminada su colocación (dcha.) (fotografías: Héctor Santos-Díez)

Para la fachada ventilada se elige un sistema tecnológico de piezas de pequeño formato de pizarra natural gallega (Cupaclad®), el cual permite la puesta en valor de la construcción con materiales naturales de proximidad con baja huella de carbono, a la vez que conecta directamente con el paisaje urbano construido y la tradición, y constituye una solución ligera acorde con la construcción con madera. Como acabado proporciona una durabilidad excepcional, requiere muy bajo mantenimiento y potencia el concepto volumétrico propuesto ofreciendo tonalidades muy diferentes en función de la incidencia de la luz.

2.4. Diseño estructural y construcción

El diseño de Impulso Verde trata de proporcionar un valor protagonista a la madera local, como material estructural contemporáneo, con baja huella de carbono y elevada capacidad de prefabricación, a través de su expresión arquitectónica.

El sistema estructural está formado por un muro técnico central de CLT, que separa las franjas norte y de actividad, e incluye las instalaciones de ventilación y la caja del ascensor; un gran pórtico de madera laminada, que permite la permeabilidad visual y de iluminación necesarias en los espacios de trabajo, formado por vigas dobles y pilares inclinados continuos; una fachada de CLT, que da solución a la geometría facetada del edificio; forjados y zancas de escalera de CLT, vistos por su cara inferior y; un sistema de celosías de doble capa de madera laminada en los faldones de cubierta.



Ilustración 10: Colocación del pórtico mediante izado del mismo (fotografías: Héctor Santos-Díez)

En las zonas donde se requiere iluminación natural las facetas del volumen exterior se vuelven permeables a la luz y la mirada a través de un novedoso sistema de celosías estructurales.

La estructura principal de las celosías está formada por dos familias cruzadas de piezas de madera laminada. Sobre ésta se dispone una estructura secundaria también de madera laminada, sobre la que se coloca un sistema de muro cortina tipo Stik de bajo perfil y alta estanqueidad al aire. El resultado es un muro cortina prácticamente invisible desde el interior. El tipo de vidrio utilizado se adapta a la orientación y a las necesidades de los espacios que ilumina. Un diseño específico de uniones carpinteras mecanizadas por CNC (medias maderas, rebajes, y cajas y espigas de gran tamaño), proporcionan la rigidez estructural necesaria además de permitir un montaje sencillo y preciso.



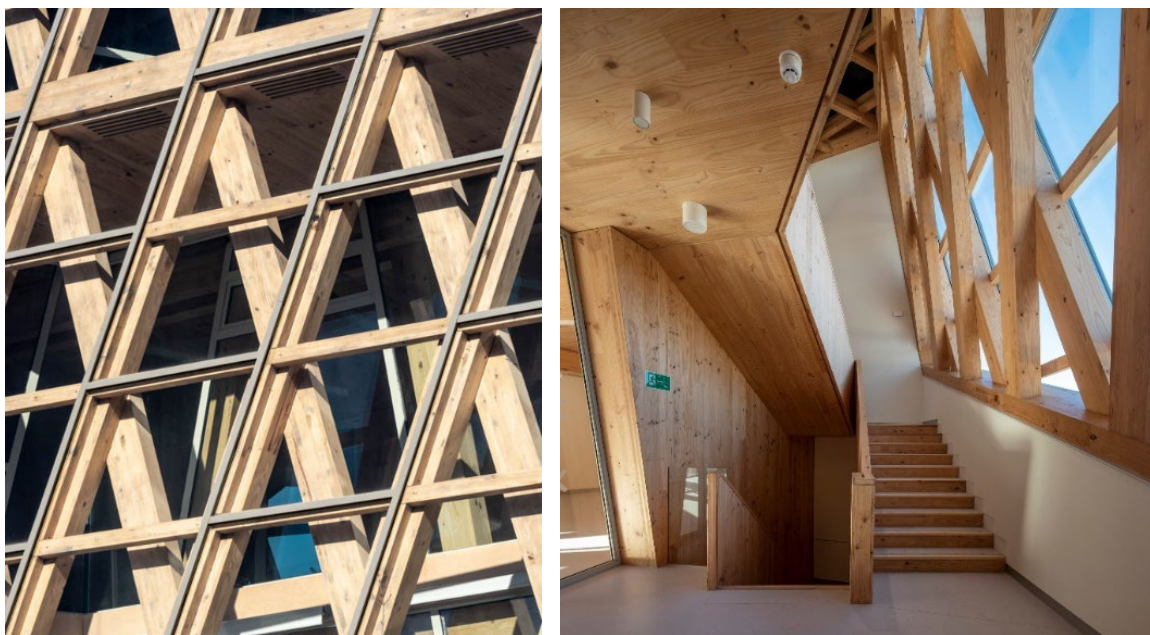


Ilustración 11: Celosía de fachada. Vista durante el montaje de la estructura principal (arriba) (fotografía: Antonio Lara); detalle desde el exterior y aspecto desde el interior (abajo) (fotografías: Héctor Santos-Díez)

El trazado de todas las instalaciones se mantiene oculto con el objetivo de priorizar la presencia de la madera y alejarnos de un aspecto industrial.

Varios modelos 3D del edificio, realizados con herramientas de diseño paramétrico y Modelado de Información para la Construcción (BIM), han permitido verificar todos los encuentros y uniones. La incorporación de la instalación de ventilación en el modelo digital permitió controlar las colisiones con la estructura y ubicar con precisión las tomas de impulsión y retorno, realizadas directamente en los paneles de CLT mediante mecanizados en forma de aspas.

El proceso de montaje se adaptó para permitir el montaje de los conductos de ventilación en el interior del muro técnico dejando para el final la zona de la escalera donde el muro técnico queda vista a dos caras con tableros de CLT.

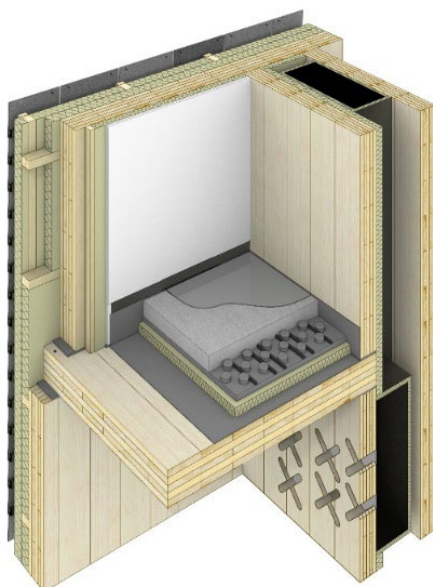


Ilustración 12: Muro técnico equipado con instalación de ventilación. Concepto constructivo (izq.) y vista durante el montaje (dcha.) (fotografía: Héctor Santos-Díez)

El sistema de puesta un obra combina el uso de tableros de CLT con elementos de gran tamaño, como el pórtico central y las celosías de cubierta y de fachada norte, que se montan fácilmente en el suelo gracias al uso de uniones carpinteras y son izados posteriormente a su posición final mediante una grúa, generando un modelo de construcción híbrido que apunta interesantes posibilidades para la construcción con madera de media altura.

El uso de elementos estructurales inclinados y de elementos vistos ha permitido poner de manifiesto el potencial de la prefabricación personalizada que ofrece la construcción con madera gracias a las tecnologías digitales.

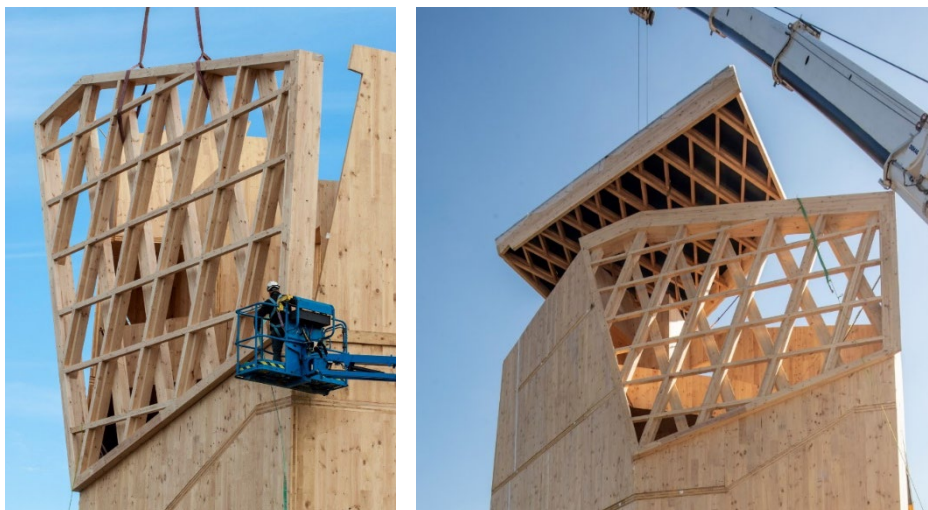


Ilustración 13: Montaje mediante izado de grandes elementos ensamblados en el suelo. Celosía norte (izq.) y módulo de cubierta (dcha.) (fotografías: Héctor Santos-Díez)

2.5. Madera de proximidad. Productos tecnológicos para uso estructural

Por su importancia estratégica, el proyecto apuesta por el desarrollo y aportación de valor añadido a un sector clave en el ámbito de la comunidad gallega: el sector de la transformación de la madera. Bajo este objetivo se realiza una apuesta decidida por el uso de madera local a través de su aplicación en productos tecnológicos para uso estructural.

En la construcción del edificio, toda la madera utilizada proviene de la provincia de Lugo. En particular, se han empleado dos de las especies más abundantes en Galicia:

- *Pinus radiata*. Se destina a la fabricación de paneles de madera contralaminada (CLT) que estructuran los forjados y muros del edificio, y en los elementos lineales de madera laminada que conforman el pórtico central y las celosías de fachada.
- *Eucalyptus globulus*. Es una de las tres especies de madera de mayores prestaciones mecánicas con crecimiento en Europa (aproximadamente el doble de resistencia que *Pinus radiata*), pero su uso habitual es la pasta de papel. La Universidad de Santiago de Compostela y la Universidad Politécnica de Madrid llevan varios años investigando y desarrollando aplicaciones estructurales novedosas con esta especie con el objetivo de dotarla de mayor valor añadido, como productos laminados de muy altas prestaciones [2-5]. Las investigaciones realizadas con esta especie se han puesto en práctica en el diseño de las celosías multicapa de la cubierta del edificio.



Ilustración 14: Planta baja (izq.), con todos los elementos estructurales de *Pinus radiata* (izq.) y planta de cubierta (dcha.), con las celosías multicapa de *Eucalyptus globulus* (fotografías: Héctor Santos-Díez)

La madera del edificio supone un secuestro aproximado de 280 t de CO₂. Teniendo en cuenta este secuestro, junto con las emisiones evitadas al sustituir otros materiales estructurales como el hormigón y el acero, la construcción de Impulso Verde representa un ahorro de 700 t de CO₂ frente a la construcción de un edificio convencional.

Impulso Verde ha sido el primer edificio público de Galicia construido en su totalidad con madera gallega y el primero de España en obtener el certificado FSC® (Forest Stewardship Council) de Proyecto Completo, el cual garantiza que toda la madera utilizada en la obra procede de explotaciones forestales gestionadas con estrictos estándares de sostenibilidad, tanto ambientales como sociales.

3. Créditos

El proyecto del edificio Impulso Verde, impulsado por el Concello de Lugo, ha sido realizado por un equipo entusiasta de profesores e investigadores de la Universidad de Santiago de Compostela (USC) [6] y de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) [7]. Su labor se centra en la promoción de la bioeconomía y la construcción sostenible a través de actividades docentes y de I+D+i vinculadas a la puesta en valor de especies forestales locales para uso estructural.

El edificio ha sido cofinanciado por la Unión Europea a través del programa LIFE, así como por la Diputación de Lugo, contando con la contribución de todos los socios del proyecto LIFE Lugo+Biodinámico (Concello de Lugo, Universidad de Santiago de Compostela y Universidad Politécnica de Madrid).

Diseño Impulso Verde

- Arquitecto coordinador: Dr. Antonio José Lara Bocanegra (UPM, USC-PEMADE)
- Arquitectos redactores del Proyecto Básico y de Ejecución: Dr. Antonio José Lara Bocanegra (UPM, USC-PEMADE) y Susana Penedo Souto (Concello de Lugo)
- Arquitectos colaboradores: Dr. Almudena Majano Majano (UPM), Belén Feijóo Lombao (USC-PEMADE), José Antonio Lorenzana (USC-PEMADE), José Luis Gómez Royuela (UPM) y Luis Lozano Bodeguero (UPM)

Socio responsable diseño Impulso Verde

- Plataforma de Ingeniería de la Madera Estructural (PEMADE). Universidad de Santiago de Compostela-Campus Terra de Lugo (USC)
- Investigador principal: Dr. Manuel Guaita Fernández (USC-PEMADE)

Socio colaborador diseño Impulso Verde

- Universidad Politécnica de Madrid (UPM)
- Investigador principal: Dr. Luís Ruiz García

Asesorías externas

- EnergyLab, Obradoiro Ingenieros S.L.P, Reboreda Ingeniería

Ejecución Impulso Verde

- Promotor: Excmo. Concello de Lugo
- Director de obra: Benigno Jáuregui Fernández (EVISLUSA)
- Dirección de ejecución: Juan Pablo Feal Miragaya
- Coordinador de Seguridad y Salud: Francisco Cobas Fernández
- Contratistas: EGOIN S.A. y A. Valiño Narón S.L.

Referencias

- [1] www.lugobiodinamico.eu/en/
- [2] Lara-Bocanegra AJ, Majano-Majano A, Ortiz J, Guaita M. (2022) Structural analysis and form-finding of triaxial elastic timber gridshells considering interlayer slips: numerical modelling and full-scale test.
- [3] Lara-Bocanegra AJ, Majano-Majano A, Arriaga F, Guaita M. (2020) Eucalyptus globulus finger jointed solid timber and glued laminated timber with superior mechanical properties: Characterisation and application in strained gridshells.
- [4] Lara-Bocanegra AJ, Roig A, Majano-Majano A, Guaita M. (2020) Innovative design and construction of a permanent elastic timber gridshell. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings, 173(5): 352-362.
- [5] Lara-Bocanegra A.J, Majano-Majano A, Crespo J, Guaita M. (2017) Finger-jointed Eucalyptus globulus with 1C-PUR adhesive for high performance engineered laminated products. Construction and Building Materials, 135:529-537.
- [6] <https://www.pemade.com/>
- [7] <https://blogs.upm.es/ETSAMadera/>

Viviendas sostenibles para todos. Un salto tecnológico

**Sustainable housing for all:
Why the construction industry needs a technology push**

Alberto Barba Guerrero
GROPYUS AG
Wien, Austria



Sustainable housing for all: Why the construction industry needs a technology push

1. Weaknesses of the industry

The construction sector is technologically outdated compared to other sectors such as car manufacturing. At the same time, it has enormous economic, ecological and social significance: the construction volume in Germany alone amounts to €430 billion annually, while the sector generates 13% of the gross domestic product worldwide. Its economic importance is reflected in the level of CO₂ emissions of the sector: cement production accounts for 8% of global CO₂ emissions, and the construction industry is responsible for 35% of the waste generated in the EU.

Despite its importance, most leading economies lack affordable, acceptable quality housing, neither can we tell when it will be available.

The current construction industry is fragmented, non-transparent, unproductive and consumes large amounts of resources. In building projects, many, sometimes poorly coordinated and insufficiently trained parties, are busy creating non-repeatable “one-offs” without economies of scale. Software, automation and industrialisation are little implemented, and if at all, only in parts of the value chain. Labour productivity per hour in the international construction industry has fallen by 50% since 1990, while mechanical engineering has doubled its productivity. At the same time, cost increases continue to accelerate (67% price-adjusted 1997 to 2017), partly due to a 14% share of defect costs.

GROPYUS' business model addresses these shortcomings by consolidating the highly fragmented processes of the construction industry by having complete process integration, all the way from land acquisition to building operation, serving the entire value chain. This dramatically reduces the number of stakeholders, gaps and general inefficiencies, leading to optimisation of products and processes. This is reflected, among other things, in high sustainability, planning reliability, accurate cost planning and reduction in time on site.

2. A possible approach

With its core mission, GROPYUS addresses a central and increasingly acute problem of our time: to provide affordable, high-quality housing for everyone and, at the same time, to deal responsibly with nature and the environment. Germany currently lacks more than 340,000 new flats per year. By 2030, the backlog demand for affordable housing will amount to 2 to 4.4 million in Germany alone

Since the classic value chain of the construction industry is usually very project-oriented (the individual building project) and highly fragmented processes (a multitude of participants from the planning to the executing trades), a completely new approach is needed to solve the problem: based on the needs of the users, a holistic and sustainable approach must be pursued. High standardisation, high prefabrication rates, digitalised and fully automated processes are just as important as a specially developed building operating system, with optimal benefits for the customers. As the economist Peter Drucker said, “you can't improve what you can't measure”.

Using the latest technologies in software development/robotics and focusing on the entire value chain, GROPYUS develops, builds and operates multi-family houses (from 50 residential units) in serial timber or timber / hybrid construction. This requires the industry to be more innovative in the following areas:

- The acquisition of land and real estate planning and development.
- The development of technologies and production facilities that cover the entire value chain of planning, production and assets management.

- Own, highly automated production plants for module production by means of robot cell production instead of classic manual or line production.
- The end-to-end digitalisation of the entire building production and operation process, including a self-developed configurator for the creation of prefabricated, modular buildings, and
- Data-driven smart building technologies and services.

GROPYUS consolidates the extremely fragmented processes of the construction industry and dramatically reduces the number of stakeholders, system breaks and general inefficiencies by integrating and optimising products and processes. This results, among other things, in planning certainty, more accurate cost planning and significant time savings on the construction site.

3. A product focus

GROPYUS objectives and services are best described by its mission: to create affordable, sustainable and high-quality living space. To achieve this, the buildings are planned using a building system, with the most important building components produced in-house; the buildings are assembled, and are then operated via the smart building solution (BOS = Building Operating System, developed by GROPYUS), regardless whether building is self-managed or sold. An essential factor is the continuous digital integration of all processes from start to end, which leads to full process control, even if individual steps are carried out by third parties.

For GROPYUS, “building as a product” means that the buildings are not one-offs like classic buildings, but products that look different and can be configured site specifically, but do not have to be planned from scratch. The “lego-like” building system behind this opens up the possibility of optimising production, quality and costs. Based on market and customer research (user centric approach), universal and inclusive design is applied to promote the health and well-being of tenants. The creation of high-quality living spaces is essential, e.g. with optimised floor plans, improved acoustics, accessibility for all or community-enhancing design.

Sustainability is part of DNA of all products and is incorporated into every step of our processes. We implement a variety of measures, such as making sure we understand the life cycle of the materials we use, choosing those that have a positive impact on the health of our tenants and our planet, respecting on-site biodiversity, working to reduce waste and managing drinking water efficiently.

GROPYUS products can be divided into three areas:

1. digital process from land acquisition to design, from component manufacturing to building commissioning.
2. the building system, catering for the technical design of the buildings
3. building operating system (BOS) – managing the building in-use

3.1. Digital Process

Already during the analysis of land acquisition, the development options are checked using the building system by means of a configurator. In this process, the given planning parameters of the site and floor plan types available in the system are superimposed. In the first step, the result is an evaluation of the property from a business and technical point of view. Once the purchase is made, the data from the configurator can be transferred to the production or ordering process - all the necessary material parameters are already available at this point and allow the components (floor and wall elements) to be manufactured in the company's own factory. This is done without the usual manual interventions such as programming the production units. The robot controllers are supplied with all data directly from the MES (Manufacturing Execution System), which is part of the GROPYUS technology landscape. The automated control of the robot cells is already in use and was successfully applied in the manufacturing of the building components for the first project

in Weißenthurm (project "Nette"). Depending on the component, production automation levels of up to 76% were achieved. Further expansion steps will increase the degree of automation to up to 85%.

3.2. The Building System

The building system describes the individual building components and its combinations, with a focus on industrially manufacturable and replicable parts. The use of wood and other sustainable materials is at the forefront, with special attention paid to the health and well-being of the residents. According to the needs of the future tenants, optimised floor plans and materials were defined that meet all accessibility requirements in order to be as inclusive as possible. Average flat sizes range between 60 and 70 square metres, depending on the project, and are targeted as affordable. Through system-based feedback from planning, production, assembly and operation, the system is constantly being further developed and optimised. This results in significant savings potentials, which again positively influence the affordability of the residential units provided.

3.3. The Operating System

The building's operating system essentially consists of two components: hardware and software. On the hardware side, a Bluetooth mesh is generated in the building by the controllers built from industrial components, controlled by means of sensors and corresponding actuators and operable by the users. The software for operation can be used on smart devices such as tablets and mobile phones. All operating functions are optimised for use by people with disabilities - the deaf, the blind or people with limited mobility. The aim is to be as inclusive as possible and accessible to all population groups. The wireless technology used also minimises cabling etc, which ultimately benefits the tenants in the form of lower rents. At the same time, the proprietary BOS (Building Operating System) also opens up the possibility of offering and controlling other services such as internet access or access to TV programmes via the same interfaces. Furthermore, the platform also offers integration into the systems of the operators or property managers. Potential use in buildings not constructed by GROPYUS is also possible and envisaged in the design of the system.

4. Focus on sustainability

A main focus in GROPYUS construction of buildings is an ecologically efficient, lightweight timber construction. It is characterised by the use of wood as a primary and renewable building material. Other materials are only used where necessary, e.g. for insulation or foundations. Here, too, work is being done with partners and research institutions to replace as many mineral building materials as possible with materials based on renewable raw materials, in order to protect the environment and the climate, and to use resources in a regenerative way.

The buildings meet the so-called zero-energy standard and have modern technologies for energy generation such as the use of photovoltaic façades and roofs. Also, due to increasing regional "water stress" in Europe, special attention is paid to the water cycle: the buildings and their users should use fresh and drinking water as efficiently as possible, this being achieved through a combination of very efficient building services, water-saving fittings and the use of rainwater as service water. The optimisation of the value chain through automation also contributes to saving as much CO₂ as possible. It is also planned that the production sites will not be more than 300 kilometres away from the construction of a building in order to keep transport distances short in the future.



Project Weißenthurm interior



Building Operating System (BOS)



Project Weißenthurm exterior

Espónsors – Expositores

