

ANTEPROYECTO DE GALPONES ESTRUCTURADOS EN MADERA ENCOLADA

Actualmente, la industria de la construcción se enfrenta a un desafío importante en la búsqueda de la sustentabilidad y la productividad, siendo en Chile una de las más contaminantes y a la vez menos eficiente. El uso de la madera como material estructural principal en las construcciones, parece ser una solución que aborda ambas problemáticas por medio de su industrialización. Sin embargo, su ingeniería estructural aún tiene brechas que acortar para posicionarse como material competitivo frente al acero y el hormigón armado.

Este trabajo de título se enfoca en el desarrollo de un anteproyecto en madera estructural encolada, que busca intensificar su conocimiento y estudiar soluciones innovadoras para identificar las ventajas que la habiliten como material competitivo. Por medio de un estudio de luces, se logra determinar espesores óptimos para distintas luces de losas de CLT, pudiendo alcanzar hasta 10 metros de longitud libre. Así mismo, mediante nuevas metodologías de diseño encontradas en la literatura, se obtienen diseños de uniones de momento sismorresistentes de alta ductilidad y resistencia, alcanzando hasta 255 [kN-m] de capacidad.

INTRODUCCIÓN

En el contexto nacional actual, la industria de la construcción se presenta como un desafío importante en términos de sostenibilidad y productividad, ya que se proyecta que este sector es responsable de un 23% del total de emisiones de GEI del país ^[1], a lo que se suma una productividad menor al promedio OCDE y al resto de la economía chilena ^[2].

Para abordar este problema, se ha propuesto la incorporación de la madera como material estructural principal en las construcciones, ya que ofrece numerosos beneficios. En este sentido, la ingeniería estructural tiene una gran responsabilidad en el desarrollo de estructuras de madera sismorresistentes que sean competitivas con otros materiales como el acero y el hormigón armado.

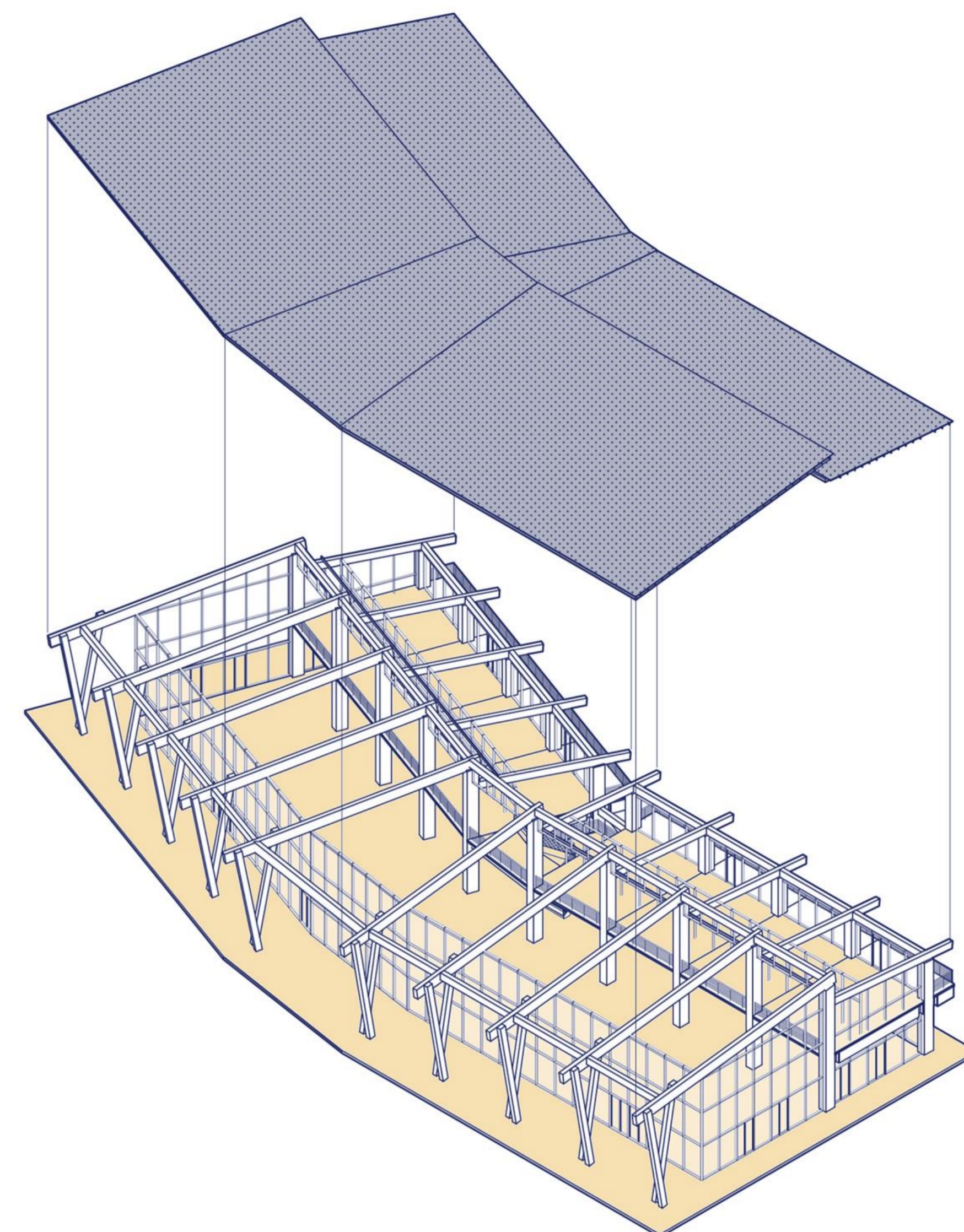


OBJETIVOS

El objetivo del trabajo de título fue estudiar y diseñar un edificio autoportante de madera estructural encolada, con el fin de anticiparse a futuras propuestas y encargos de proyecto con una estructura económicamente competitiva y estéticamente atractiva.

Particularmente, se busca:

- Entender las implicancias y limitaciones de la variación de dimensiones básicas de arquitectura en el diseño estructural del edificio.
- Lograr un edificio genérico y aplicable a distintos usos, por lo que se quiere tener un diseño con una trazabilidad clara, para así poder implementarlo de manera rápida, efectiva y confiable cuando se presente una oportunidad.
- Competir frente al hormigón y al acero, procurando una estructura de alta prefabricación e industrialización y de fácil montaje.
- Que la estructura cuente con una estética original, a través de un diseño arquitectónico que impregne al proyecto de un carácter icónico.



CASO DE ESTUDIO

En un trabajo colaborativo de ingeniería y arquitectura del CIM UC, se dio forma a una estructura de estética original, a través de un diseño arquitectónico que impregna al proyecto de un carácter icónico. El edificio autoportante se subdivide en dos espacios que invitan a admirar la capacidad estructural de la madera: por una parte, el espacio de doble altura resalta la factibilidad de grandes luces y espacios amplios; mientras que, la incorporación de un segundo piso con losas de CLT reduce su resistencia y alta capacidad de carga.

METODOLOGÍA

1. **Pre- estructuración:** Proceso donde se determinó las distancias máximas que podrían desarrollar los marcos, mediante un estudio de luces. Para esto, se estudiaron distintos diseños de losas de CLT que resguarden un espesor comparable al de losas de hormigón armado, para mantener competitividad.
2. **Análisis estructural:** Modelación computacional 2D, incluyendo cargas de uso y sísmicas, verificación del nivel de *drift* y diseño estructural de vigas y columnas que componen el marco típico de la estructura.
3. **Ingeniería de detalle:** Proceso en que se evaluaron y diseñaron distintas alternativas de conexiones de momento. Para esto se hizo una revisión de literatura de conexiones dúctiles de marcos de momento, tanto típicas, como aquellas que están en estado del arte. De este levantamiento, finalmente se escogieron 2 alternativas de conexión innovadoras, que permiten efectuar un diseño estructural dúctil y de alta resistencia.

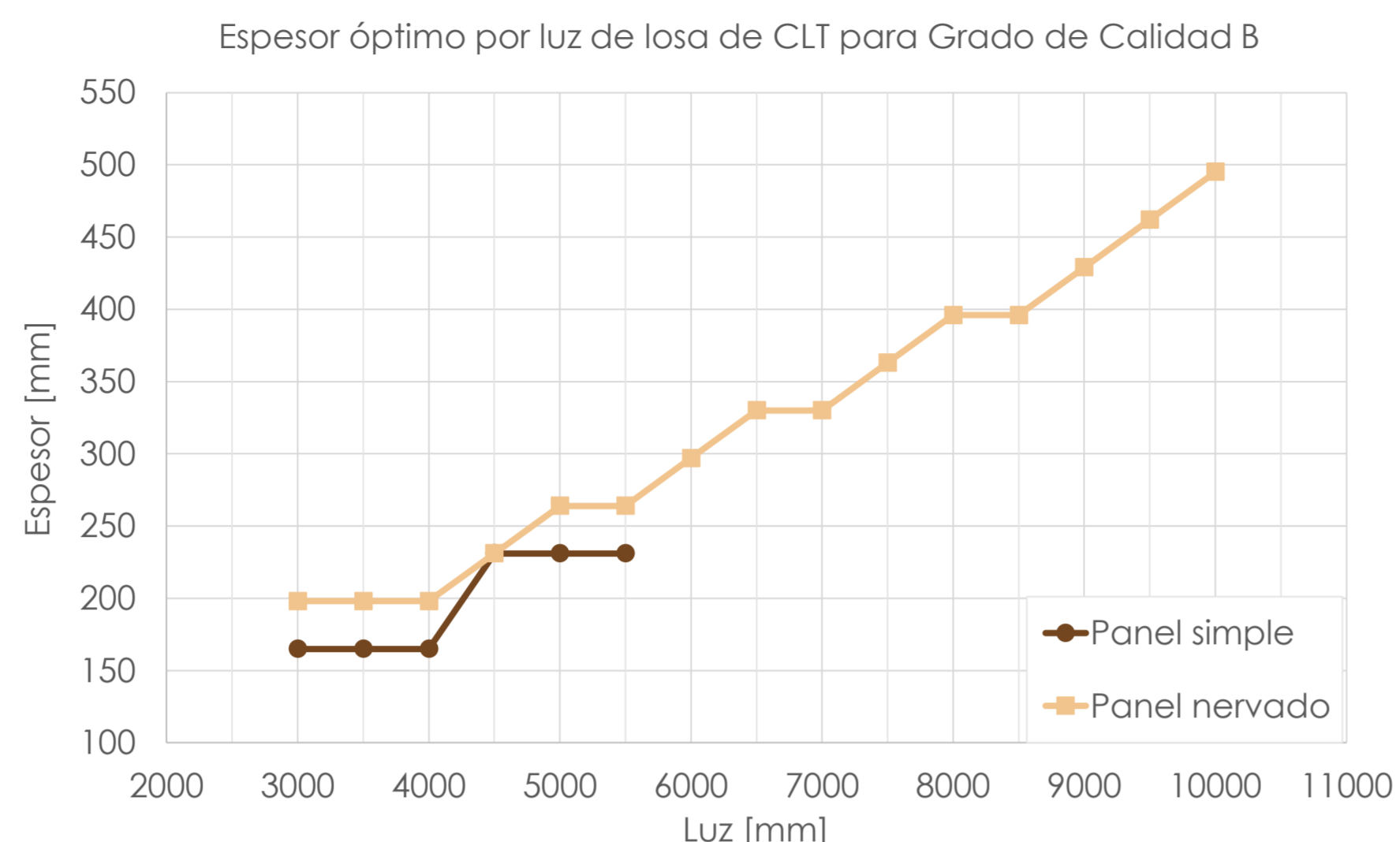
RESULTADOS

• ESTUDIO DE LUCES

El objetivo de este estudio es determinar el espesor óptimo de una losa de CLT para distintas luces.

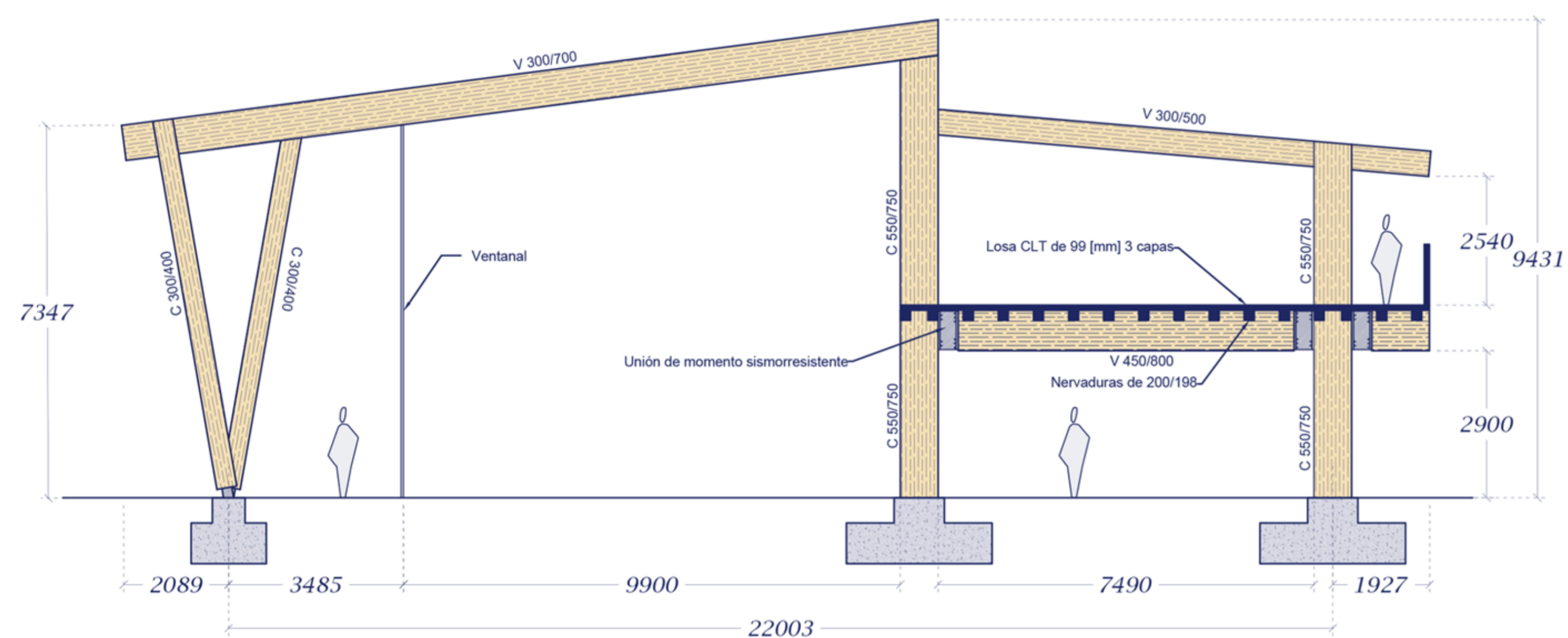
El estudio compara la influencia del grado de calidad de la madera - A o B - y su implicancia en el módulo de elasticidad (E_f), módulo de corte (G) y en la resistencia a la flexo-tracción ($F_{f-t,dis}$).

Se concluye que una losa de panel simple es viable para luces de 3 a 5,5 metros, mientras que las losas nervadas pueden llegar hasta los 10 metros, para el grado de calidad B. El aumento en la calidad de la madera no tiene un impacto significativo en los resultados.



• ESTRUCTURACIÓN

Tras el análisis estructural se determinaron las dimensiones que deben tener los elementos. Columnas fueron dimensionadas por el control de *drift*, mientras que vigas por resistencia.



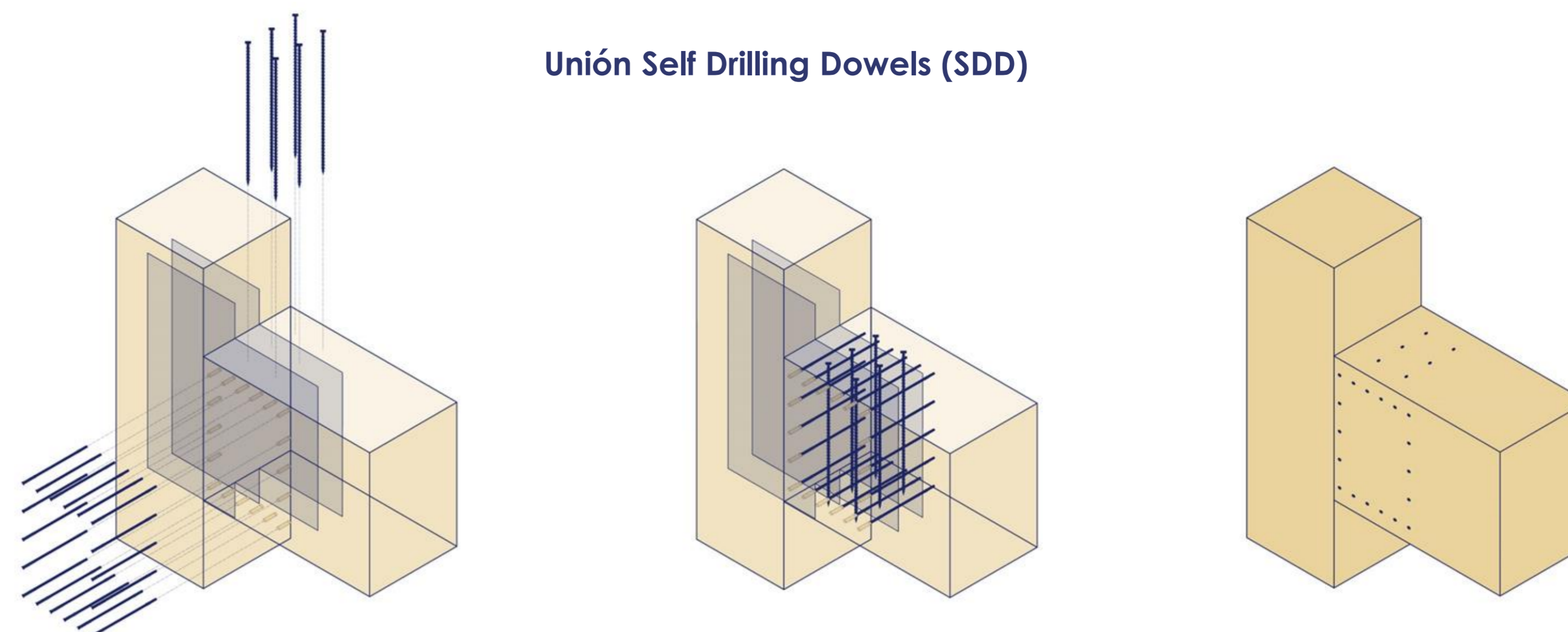
• UNIONES DE MOMENTO SISMORRESISTENTES

En base a ensayos experimentales, la revisión de literatura demuestra la gran relevancia de las conexiones en la ductilidad, resistencia y desplazamientos de la totalidad de los marcos de momento en madera. En general, cuando las conexiones logran ductilidad, aumentan la resistencia y disminuyen el desplazamiento lateral. Adicionalmente, diversos estudios demuestran que las uniones tradicionales con pernos y placas de acero presentan un comportamiento frágil y de baja resistencia [3]. Frente a esta deficiencia, se estudian y diseñan dos nuevos innovadores tipos de conexión:

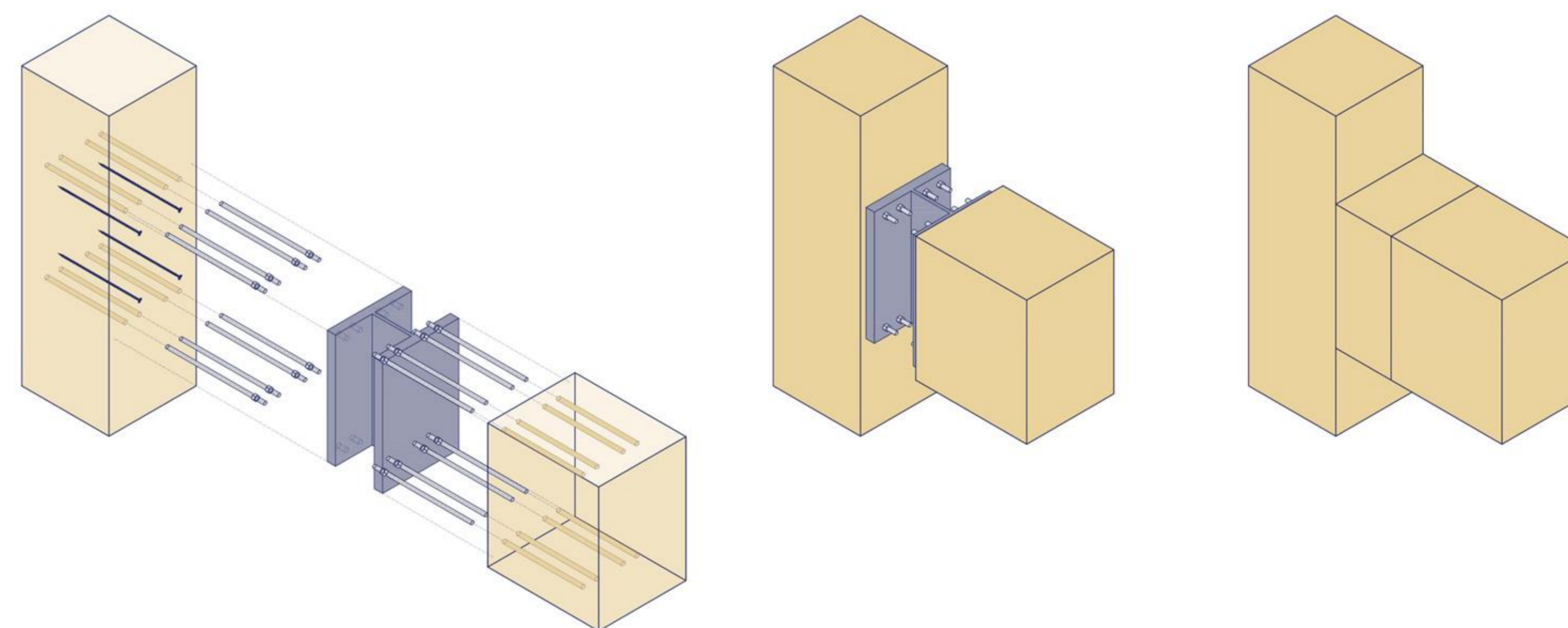
La primera, **Self Drilling Dowels**, similar a la tradicional perno-placa, reemplaza pernos por pasadores autoperforantes (SDD), capaces de perforar acero y madera [4]. De esta forma, se evitan problemas con la rigidez inicial por sobre-perforación en agujeros y se induce un modo de falla dúctil por la esbeltez del conector. Adicionalmente, para evitar una falla frágil por *splitting*, se refuerza con tornillos autoperforantes (STS) perpendiculares a la fibra.

La segunda conexión, **Glued-in Rods**, consiste en encolar barras roscadas (GIR) en los elementos de madera e interconectarlas a un perfil de acero H de apoyo mediante tuercas de apriete [5]. La estructuración de esta conexión permite diseñar induciendo un modo de falla dúctil en el alma del perfil de acero. Por otra parte, gracias a su alta prefabricación y fácil montaje, la conexión puede lograr un alto grado de industrialización.

Unión Self Drilling Dowels (SDD)



Unión Glued-in Rods (GIR)



CONCLUSIONES

Este anteproyecto busca destacar a la madera como un material de construcción competitivo para infraestructuras de grandes luces. Gracias a la adaptabilidad del edificio a distintos usos y a la alta prefabricación de sus elementos estructurales y conexiones, representa una estructura con gran potencial de industrialización.

Como principales resultados, se logra determinar espesores óptimos para distintas luces de losas de CLT, pudiendo alcanzar hasta 10 metros de longitud libre, con una altura de entrepiso competitiva; y diseñar uniones de momento sismorresistentes de alta ductilidad y resistencia, capaces de alcanzar hasta 255 [kN-m] asegurando modos de falla dúctiles.

REFERENCIAS

- [1] CChC. (2019). El Sector de la Construcción ante el Desafío Climático Global.
- [2] CNP. (2020). Productividad en el Sector de la Construcción.
- [3] Lam, F., et al. (2008). Moment resistance of bolted timber connections with perpendicular to grain reinforcements.
- [4] Dong, W., et al. (2021). Experimental Testing and Analytical Modeling of Glulam Moment Connections with Self-Drilling Dowels.
- [5] Buchanan, A. H., & Fairweather, R. H. (1993). Seismic Design of Glulam Structures.