

## 4. Resumen Resultados

### 4.1 Decisiones del modelo

Las decisiones que debe tomar el modelo se pueden dividir en tres categorías: relativas a soluciones, relativas a anclajes y constructivas. La solución se refiere a las soluciones constructivas de muros y entresijos, dadas por un catálogo prefiltrado según la configuración del proyecto. La segunda decisión tiene que ver con la elección del tipo de anclaje anti-volcamiento que se escoge para segmentos laterales. Por último, las variables constructivas hacen referencia a la panelización (de muros y losa) y la asignación de paneles a las mesas de prefabricación.



### 4.2 Función objetivo

La función objetivo considera dos componentes: el costo de materiales (de soluciones constructivas y anclajes) y la cantidad de paneles (de muros y losa). Para combinar estas componentes, se ponderan utilizando distintos valores de un parámetro  $\alpha \in (0,1)$ .

### 4.3 Entrada del modelo

El modelo recibe una entrada dada por el diseño geométrico de una planta arquitectónica, parámetros relevantes del proyecto (como ubicación y tipo de edificio) y un catálogo de soluciones y tipos anclajes.

### 4.4 Modelo de optimización

El modelo descrito en (3.4.1) corresponde a un modelo de programación entera mixta no lineal (MINLP). Para abordar este problema se diseñó un esquema que combina un enfoque exacto con uno aproximado. El enfoque exacto corresponde a técnicas tradicionales de programación entera lineal (*Branch & Bound*, métodos de descomposición) mientras que el enfoque aproximado se basa en heurísticas capaces de entregar una solución estructuralmente factible. La implementación del algoritmo se encuentra programada en Python, apoyándose en el framework Pyomo de optimización y utilizando el solver no-comercial GLPK.

(4.4.1)  $\min f(x)$

$$\begin{aligned} \text{s.a } & g(x) \leq 0 \\ & h(x, y) \leq 0 \\ & x \in \{0,1\}^n \\ & y \in \mathbb{R}^m \end{aligned}$$



( $x, y$ ): variables multidimensionales que representan decisiones y cálculos auxiliares.  
**f**: función objetivo lineal  
**g**: función vectorial lineal: representa restricciones asociadas a reglas geométricas.  
**h**: función vectorial no lineal (bilineal y de potenciación): representa restricciones estructurales.

### 4.5 Caso de Estudio

Se consideró un edificio modular de 4 pisos tipo hotel (Figura 1) basada en el ejemplo del Anexo A de Guindos (2019). Se asume un suelo Tipo C y zona Sísmica 2. Con estos antecedentes se obtiene un catálogo filtrado de soluciones constructivas.

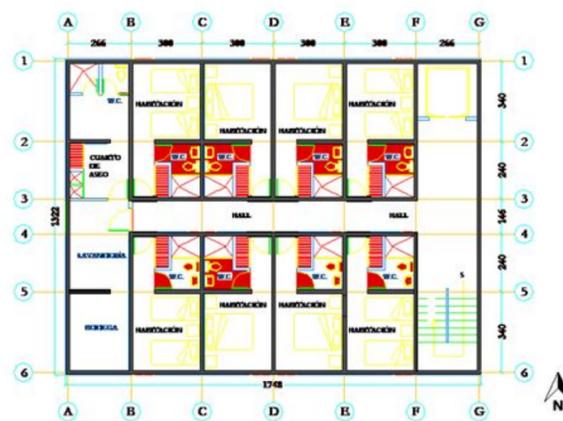


Figura 1: Planta Arquitectónica Hotel Modular: Caso Estudio#1

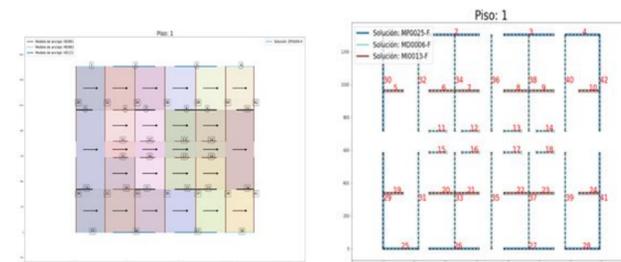


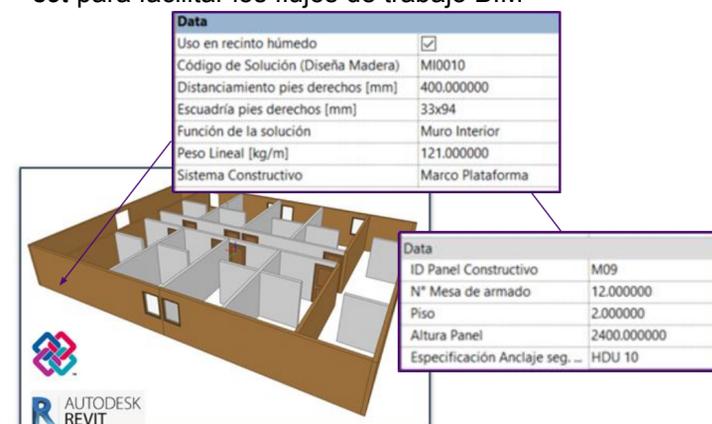
Figura 2: Resultados Elección de: 1) Solución constructiva de losa, panelización y dirección de envigado. 2) Muros de Corte 3) Anclajes

Figura 3: Resultado elección de solución constructiva de muros

Las Figuras 2 y 3 muestran la solución constructiva de losa, panelización, dirección de envigado, muros de corte, gravitacionales y anclajes entregados por el modelo. Esta instancia en particular tardó 43 minutos en resolverse. Se verifica que los muros cumplen con las verificaciones de resistencia de la NCh1198 y SDPWS 2015 y que el edificio presenta un drift menor al 0.002 según lo requerido por la NCh 433.

### 4.6 Información paramétrica modelo BIM

Los resultados del modelo son representados a través de un modelo BIM que contiene información geométrica y no geométrica de los resultados. Esta información queda incorporada en el modelo en base a parámetros de tipo e instancia. Los primeros muestran la información propia de la entidad (muro o losa) según la solución constructiva, mientras que los parámetros de instancia son propios del resultado del modelo. Estos fueron agrupados en un único *property set* para facilitar los flujos de trabajo BIM.



## 4. Conclusiones

- El modelo entrega un diseño esquemático preliminar de la edificación con información relevante para **apoyar la toma de decisiones**. Por ejemplo, para hacer una **evaluación comercial del proyecto**.
- El modelo permite generar un **prediseño estructural** de una edificación seleccionando soluciones constructivas que **cumplen con las verificaciones de resistencia** según la NCh1198 y el SDPDWS 2015.
- El modelo selecciona de manera adecuada los muros de corte y sus respectivos anclajes, obteniendo un **drift del edificio menor al 0.002** definido en la NCh 433.
- El modelo BIM contiene **parámetros de información relevantes para el uso en prefabricación**, bajo el sistema de construcción off-site en base a paneles de entramado ligero.
- El modelo DEODEM posee el **potencial comercial** para ser implementado en una **plataforma web**, en la que distintos usuarios podrán ingresar sus proyectos y evaluar la factibilidad de ejecutarlos con este sistema, **cumpliendo con las normativas actuales nacionales**.

## 5. Referencias

Gann, D. (2010). Construction as a manufacturing process. Similarities and differences between industrialized housing and car production in Japan Construction as a manufacturing process? Similarities and differences between industrialized housing and car production in J, 6193. <https://doi.org/10.1080/014461996373304>

Santana-Sosa, A., & Fadai, A. (2019). A holistic approach for industrializing timber construction. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 323 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012015>

Bukauskas, A., Mayencourt, P., Shepherd, P., Sharma, B., Mueller, C., Walker, P., & Bregulla, J. (2019). Whole timber construction: A state of the art review. *Construction and Building Materials*, 213, 748–769. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.043>

Guindos P. CONCEPTOS AVANZADOS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL CON MADERA. Parte II: CLT, Modelación Numérica, Diseño Anti-incendios y Ayudas al Cálculo. Santiago, Chile: Ediciones UC; 2019

## 6. Agradecimientos

En primer lugar, los autores agradecen a los profesores guías de este proyecto Gustavo Angulo, Pablo Guindos y Claudio Mourgues. Adicionalmente, se agradece al apoyo del equipo del Centro de Innovación de Madera CIM-UC.