



Universidad de Concepción
Dirección de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía



COMPARACIÓN DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIO DE MEDIANA ALTURA DE HORMIGÓN VERSUS MADERA CONTRALAMINADA

POR

Francisco Javier Sepúlveda Moreno

Trabajo Integrativo presentado a la Facultad de Ingeniería & Facultad de Arquitectura, Urbanismo
y Geografía de la Universidad de Concepción para optar al grado académico de
Magíster en Construcción Industrializada en Madera

Profesor Guía: Tomás Benjamín Echaveguren Navarro

Profesor Co-Guía: Peter Armando Dechent Anglada

Marzo de 2025
Concepción, Chile

© 2025 Francisco Javier Sepúlveda Moreno

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

RESUMEN

En el estudio se realizó la comparación de los costos de construcción de obra gruesa de un edificio de mediana altura que utilizó hormigón armado frente a uno pensado en madera contralaminada (CLT). El aumento de los costos de construcción y quiebres en las cadenas de suministros posteriormente a la pandemia generó incertidumbre en la viabilidad económica de muchos proyectos, lo que estimuló la necesidad de buscar alternativas más económicas. Bajo este escenario, se planteó el uso de CLT como reemplazo del hormigón armado en edificaciones de mediana altura.

Se plantearon las siguientes preguntas de investigación: si el CLT es una alternativa viable para reducir los costos de construcción y cuál es el impacto en los costos y tiempos de construcción al emplear CLT en comparación con los edificios tradicionales de hormigón armado. La hipótesis sugería que el uso de CLT en la etapa de obra gruesa incrementaría los costos en un 25%, pero reduciría los tiempos de construcción en un 40%, en comparación con las construcciones de hormigón armado.

El objetivo general fue comparar los costos de construcción de obra gruesa en un edificio de mediana altura en La Serena utilizando hormigón y madera contralaminada, evaluando los factores económicos y los tiempos de ejecución. Los objetivos específicos incluyeron: La realización de la homologación del edificio base de hormigón armado en software Cadwork, determinar los costos asociados a materiales, maquinarias y mano de obra en ambos métodos, y evaluar las diferencias en los tiempos de construcción y su impacto en el costo total del proyecto.

La metodología empleada fue cuantitativa y exploratoria, con un análisis de las variables independientes (método de construcción) y dependientes (costos y tiempos). Se utilizó datos específicos de un proyecto actual en La Serena para realizar la comparación.

Se esperaba identificar si el CLT resultaba una alternativa rentable y eficiente en términos de costos y tiempos de construcción, lo que podría influir en la viabilidad económica de futuros proyectos de mediana altura en la zona norte.

Palabras clave: Costos, obra gruesa, CLT, mediana altura, hormigón armado.

ABSTRACT

The study compared the construction costs of the structural work of a mid-rise building that used reinforced concrete versus one designed with cross-laminated timber (CLT). The increase in construction costs and breaks in supply chains following the pandemic generated uncertainty in the economic viability of many projects, which stimulated the need to seek cheaper alternatives. Under this scenario, the use of CLT as a replacement for reinforced concrete in mid-rise buildings was proposed.

The following research questions were raised: whether CLT is a viable alternative to reduce construction costs and what is the impact on construction costs and times when using CLT compared to traditional reinforced concrete buildings. The hypothesis suggested that the use of CLT in the structural work stage would increase costs by 25%, but reduce construction times by 40%, compared to reinforced concrete constructions.

The general objective was to compare the construction costs of structural work in a mid-rise building in La Serena using concrete and cross-laminated timber, evaluating the economic factors and execution times. The specific objectives included: Completing the homologation of the reinforced concrete base building in Cadwork software, determining the costs associated with materials, machinery and labor in both methods, and evaluating the differences in construction times and their impact on the total cost of the project.

The methodology used was quantitative and exploratory, with an analysis of the independent variables (construction method) and dependent variables (costs and times). Specific data from a current project in La Serena was used to make the comparison.

It was expected to identify whether CLT was a cost-effective and efficient alternative in terms of costs and construction times, which could influence the economic viability of future mid-rise projects in the northern area.

Keywords: Costs, structural work, CLT, mid-rise, reinforced concrete.

1. INTRODUCCIÓN

La pandemia de COVID-19 ha introducido una serie de nuevos desafíos para el sector de la construcción, particularmente en lo que concierne al aumento de los costos operativos y de los insumos. Este fenómeno ha generado una serie de perturbaciones en las dinámicas de abastecimiento, así como en la disponibilidad de mano de obra, lo que ha resultado en un impacto significativo sobre los presupuestos y la viabilidad económica de los proyectos de construcción (Araya, y Sierra, 2021). El incremento exponencial en los costos de los materiales de construcción, junto con la incertidumbre económica prevalente, ha propiciado la necesidad de explorar y desarrollar soluciones constructivas que sean tanto más eficientes como económicamente viables. Este contexto ha llevado a un análisis profundo de las prácticas actuales y a la implementación de innovaciones que optimicen los recursos y reduzcan los costos asociados a las actividades constructivas. En el presente contexto, la madera contralaminada (CLT, por sus siglas en inglés) se presenta como una alternativa viable y prometedora en comparación con el convencional hormigón armado (Ahmed & Arocho, 2021). Este material se distingue por su capacidad para optimizar los tiempos de construcción, así como por su potencial para disminuir los costos asociados a los proyectos de edificación. Adicionalmente, la utilización de CLT contribuye a la mitigación del impacto ambiental, lo que lo convierte en una opción atractiva en el ámbito de la construcción sostenible (Pierobon et al., 2019).

El presente material, cuya utilización se ha generalizado en naciones como Canadá, Noruega y Suecia, presenta numerosas ventajas que lo posicionan favorablemente en el contexto de la sostenibilidad ambiental. Entre las más destacadas se encuentran su eficiencia energética, la reducción significativa de las emisiones de carbono, así como un desempeño térmico superior. No obstante, en el contexto chileno, la implementación de la madera contralaminada en la construcción de edificaciones de gran altura se encuentra en una etapa incipiente. Esta situación puede atribuirse a diversas barreras, que incluyen aspectos culturales, limitaciones regulatorias y deficiencias en la capacidad de manufactura (Penfield et al., 2022). A pesar de que Chile se posiciona como uno de los principales productores de madera de pino radiata, un recurso esencial para la fabricación de productos de madera masiva, la adopción de técnicas constructivas basadas en CLT aún enfrenta retos significativos que requieren atención y abordaje en el ámbito político y técnico.

El presente estudio se centra en la realización de un análisis comparativo de los costos de construcción de la obra gruesa, específicamente entre una edificación de hormigón armado y una estructura de madera contralaminada, en el contexto urbano de La Serena. Este análisis tiene como objetivo principal evaluar las diferencias en los costos involucrados en ambos tipos de construcción, considerando variables como los materiales, la mano de obra y los plazos de ejecución. En el presente estudio se lleva a cabo una comparación exhaustiva de los costos directos relacionados con los materiales, la mano de obra, los

equipos y los gastos generales que emergen a partir del tiempo de ejecución de las dos alternativas constructivas analizadas.

1.1. Justificación y Relevancia del Estudio

El incremento sostenido de los costos en el sector de la construcción, particularmente durante la etapa de obra gruesa, se ha manifestado como uno de los efectos colaterales más significativos de la pandemia (Kisi & Sulbaran, 2022). Este fenómeno ha originado repercusiones notables en la viabilidad económica de los proyectos constructivos, alterando los presupuestos inicialmente previstos y exigiendo a los profesionales de la industria la adopción de estrategias de mitigación frente a las fluctuaciones de precios en los insumos y la mano de obra (Chen et al., 2023). La limitación en la disponibilidad de materiales, el incremento en los costos de los insumos y la interrupción de las cadenas de suministro han ejercido una presión económica significativa sobre el sector de la construcción. Estos factores no solo impactan la viabilidad financiera de los proyectos constructivos, sino que también afectan la planificación y ejecución de obras, planteando retos sustanciales que requieren de análisis y estrategias adecuadas para su mitigación (Oyegoke et al., 2023). Este estudio reviste una significación considerable, puesto que tiene como objetivo suministrar información precisa sobre los costos relativos asociados a dos materiales que, a pesar de cumplir una función estructural equivalente, exhiben diferencias notables en sus repercusiones económicas y ambientales.

En el contexto nacional actual, en el que la construcción de viviendas se presenta como una prioridad impostergable debido al considerable déficit habitacional, se torna fundamental la implementación de alternativas que no solo satisfagan la demanda existente, sino que además garantizan la sostenibilidad a largo plazo. Es imperativo, por tanto, considerar enfoques que integren criterios de viabilidad económica, social y ambiental en el desarrollo de soluciones habitacionales efectivas y perdurables (Gu et al., 2020). En este contexto, la madera contralaminada se presenta como una alternativa viable, dado que se estima que este material podría desempeñar un papel considerable en la mitigación de la huella de carbono asociada a las edificaciones (Jayalath et al., 2020). En la presente investigación, se establece una comparación exhaustiva de los costos asociados a la construcción utilizando dos materiales diferentes. Este análisis proporciona un instrumento valioso para la evaluación de los ahorros inmediatos en términos de recursos y tiempo, facilitando así una comprensión más profunda de las implicaciones económicas y operativas involucradas en la selección de los materiales de construcción.

1.2. Marco Conceptual

El presente estudio se centra en la realización de una comparación directa entre los costos de construcción de dos tipologías de edificaciones de mediana altura: una estructura levantada con hormigón armado y otra construida a partir de madera contralaminada. En el análisis de costos, se consideran los siguientes aspectos:

Los costos de los materiales constituyen uno de los elementos más significativos en la determinación del costo total de un proyecto. El precio de adquisición de dichos materiales se presenta como un factor crucial que influye en el presupuesto general, condicionando tanto la viabilidad económica como la eficiencia operativa del mismo. Por lo tanto, es imperativo considerar cuidadosamente los costos asociados a la obtención de los insumos necesarios a lo largo de las distintas fases del desarrollo del proyecto, dado que estos impactan directamente en el análisis financiero y en la planificación estratégica del mismo (Ma´rifah, 2023).

El hormigón armado, a pesar de ser un material de construcción de amplia disponibilidad, ha visto un aumento significativo en su costo (Akal, 2023). Este fenómeno puede atribuirse a la escasez de recursos disponibles en el mercado, así como al creciente nivel de demanda por parte de diversas industrias. Esta situación plantea desafíos importantes en el ámbito de la construcción y la ingeniería, ya que la planificación y ejecución de proyectos pueden verse afectadas por estas variaciones en los precios. En contraposición, la madera contralaminada, a pesar de presentar un costo unitario superior, ofrece beneficios significativos vinculados a su menor densidad (Jayalath et al., 2020). Esta propiedad conlleva a una reducción de los gastos asociados al transporte y a los procesos de manipulación en el sitio de construcción.

Los costos asociados a la mano de obra presentan variaciones significativas en función de la complejidad inherente a las tareas desempeñadas por los operarios, dependiendo del tipo de material utilizado (Schlagbauer et al., 2015). Esta diferencia en la complejidad laboral implica que la cantidad de tiempo y habilidades requeridas para el manejo de cada material puede influir en la determinación final de los costos laborales asociados a cada proceso productivo. La edificación empleando hormigón se caracteriza por la presencia de un conjunto de procedimientos que demandan una duración considerablemente extendida, lo cual se atribuye a la fase de humedad inherente al material y a la imperativa necesidad de llevar a cabo un adecuado proceso de curado. Esta circunstancia conlleva la existencia de períodos de espera prolongados que deben ser considerados en la planificación y ejecución de proyectos relacionados con esta técnica constructiva. En contraposición, la madera contralaminada se emplea en sistemas de prefabricación que facilitan una ejecución más ágil, reduciendo la dependencia de procesos llevados a cabo in situ y la

necesidad de mano de obra especializada (Graber, 2020). Esta modalidad constructiva puede derivar en economías significativas en los costos laborales.

La utilización de maquinaria pesada en el ámbito de la construcción con hormigón se presenta como una práctica habitual, atribuida a la necesidad de gestionar y manipular eficientemente grandes volúmenes de dicho material (Ahmed & Arocho, 2021). En el ámbito de la construcción utilizando madera contralaminada, se observa que el procedimiento de ensamblaje presenta una naturaleza más ligera en comparación con otros métodos constructivos. Este carácter liviano permite la utilización de maquinarias y equipos de menor costo, lo que conlleva a una disminución significativa en los gastos asociados al arrendamiento y a la operación de los equipos necesarios para dicho proceso.

Los costos de gastos generales vinculados al tiempo de ejecución representan un aspecto fundamental en la determinación del costo total de un proyecto. La duración de las actividades y la eficiencia empleada en su realización no solo influyen en el uso de recursos directos, sino que también afectan significativamente los gastos generales, los cuales pueden abarcar desde costos operativos hasta el mantenimiento de recursos humanos y materiales a lo largo del proceso de desarrollo. Por lo tanto, una adecuada gestión del tiempo de ejecución es esencial para optimizar el presupuesto y garantizar la viabilidad económica del proyecto. Las edificaciones realizadas con hormigón armado presentan una tendencia a prolongar sus plazos de ejecución, lo cual puede atribuirse a la complejidad inherente que caracteriza sus procesos constructivos.

Esta circunstancia se debe, en gran medida, a la necesidad de llevar a cabo una serie de etapas técnicas y precisas que requieren una cuidadosa planificación y ejecución. La acelerada velocidad de construcción de las edificaciones elaboradas con madera contralaminada se traduce en una significativa reducción de los plazos de ejecución. Este fenómeno no solo optimiza el tiempo de realización del proyecto, sino que también conlleva una disminución de los costos totales relacionados con la obra, incluyendo los gastos asociados al financiamiento, los seguros y la gestión administrativa del proyecto (Cazemier, 2017).

A pesar de los beneficios económicos inmediatos asociados con la eficiencia operativa de la madera, es crucial destacar que, además de los costos directos, la sostenibilidad a largo plazo de las edificaciones desempeña un papel significativo en la toma de decisiones de los actores involucrados en el sector (Eklund, 2017). Este aspecto es esencial para la valoración integral de proyectos constructivos y debe ser considerado dentro de un marco de evaluación que incluya no solo los efectos financieros inmediatos, sino también las repercusiones ambientales y sociales que podrían derivarse del uso de este material en la construcción (Svensson & Panojevic, 2019).

La interrelación entre eficiencia operativa y sostenibilidad a largo plazo sugiere que la adopción de prácticas constructivas responsables es un factor decisivo que podría influir en la viabilidad y aceptación de proyectos arquitectónicos en un entorno de creciente conciencia ambiental (D'Amico et al., 2021). En este contexto, la madera contralaminada exhibe una ventaja significativa en el ámbito medioambiental, ya que se clasifica como renovable y posee la capacidad de almacenar carbono a lo largo de su ciclo de vida. Esta característica contribuye de manera significativa a la mitigación del cambio climático, tal como se documenta en la literatura especializada (Sandoli et al., 2021)

Asimismo, la madera presenta un rendimiento superior en términos de eficiencia térmica y acústica. Esta característica contribuye a la minimización de la dependencia de materiales suplementarios destinados al aislamiento, lo que a su vez se traduce en una reducción de los costos operativos relacionados con el consumo energético de las edificaciones a lo largo del tiempo (Khavari et al., 2016).

1.3. Continuidad del Estudio: Sostenibilidad y Beneficios Ambientales

Si bien la investigación se enfoca primordialmente en los costos directos asociados con el proceso constructivo, es crucial reconocer que los beneficios adicionales derivados del uso de madera contralaminada poseen una relevancia significativa en el contexto de la toma de decisiones dentro del sector de la construcción (Sanchoetene et al., 2024). Estos beneficios, que pueden abarcar aspectos tales como la sostenibilidad, el rendimiento energético y las propiedades mecánicas de dicho material, deben ser consideradas integralmente para lograr una evaluación exhaustiva y fundamentada de las opciones constructivas disponibles (Mitchell et al., 2022).

La elección de la madera como material estructural no se limita a la obtención de economías inmediatas en los costos de construcción, sino que también proporciona beneficios sostenibles a largo plazo, particularmente en lo que respecta al mantenimiento y a la sostenibilidad de las edificaciones (Tupénaité et al., 2023). La utilización de este recurso natural presenta implicaciones significativas tanto en la eficiencia económica como en el impacto ambiental de los proyectos arquitectónicos. Por lo tanto, es esencial considerar la madera no solo como una opción viable desde el punto de vista financiero, sino también como un material que contribuye a la durabilidad y sustentabilidad de las infraestructuras construidas.

La madera presenta una notable longevidad cuando se somete a un adecuado mantenimiento, características que se traducen en costos de conservación relativamente bajos (Verbist et al., 2019). Esto se debe, en gran medida, a su resistencia intrínseca frente a agentes biológicos, así como a la facilidad con la que se pueden reparar o regenerar sus componentes (Almeida et al., 2023). Estos factores hacen de la madera un material sostenible y eficaz para diversas aplicaciones en la construcción y el diseño arquitectónico.

Adicionalmente, la aptitud de la madera para ser reciclada o reutilizada al término de su ciclo de vida contribuye de manera significativa a su perfil medioambiental, consolidándola como una alternativa más atractiva en el contexto de la economía circular (Jahan et al., 2022). Esta característica no solo favorece la sostenibilidad, sino que también se alinea con principios de gestión de recursos que promueven la reducción de residuos y la optimización del uso de materiales en diversos sectores.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, la implementación de la madera contralaminada puede desempeñar un papel crucial en el logro de los objetivos de neutralidad en carbono establecidos por el país. Esta contribución se hace particularmente relevante ante la abundante disponibilidad de pino radiata y otras especies madereras en el contexto chileno.

El material en cuestión presenta una huella de carbono negativa, lo que implica que, a lo largo de su ciclo de vida, absorbe una cantidad de carbono superior a la que se genera durante las etapas de producción y transporte. Esta afirmación se respalda en el estudio realizado por Growing Buildings, que evidencia la capacidad del material para contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con su impacto ambiental inicial (Darby et al., 2013).

En consecuencia, aunque en ciertos casos el costo inicial de la construcción con madera pueda resultar superior, los beneficios medioambientales y operativos asociados a esta práctica podrían sustentar su implementación a gran escala. Esta adopción no solo facilitaría una disminución de los costos operativos, sino que también contribuiría a la sostenibilidad de las generaciones venideras.

En conclusión, el presente estudio no se limita a ofrecer una comparación exhaustiva de los costos inmediatos vinculados a la construcción de obra gruesa empleando hormigón armado y madera contralaminada, sino que también invita a un análisis más profundo y crítico sobre los beneficios a largo plazo asociados con la práctica de la construcción sostenible. Este enfoque permite vislumbrar no solo las implicaciones económicas inmediatas, sino también los posibles impactos ambientales y sociales que pueden derivarse de la adopción de métodos constructivos más sostenibles en el contexto actual.

2. PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

a. CASO DE ESTUDIO BASE

El caso de estudio base es un edificio residencial, dentro de un condominio de 8 edificios iguales, ubicado en la región de Coquimbo en la comuna de La Serena. El proyecto está siendo construido desde el año 2023, los edificios tienen 6 pisos de Altura y 5 departamentos por cada piso, con una superficie de 300 m² por planta y 1800 m² en total, su estructura se compone de muros y losas hormigón armado y una subestructura de tabiques ligeros.



Figura N°1: Edificio Base hormigón armado.

Los criterios de elección de este caso fueron:

- Materialidad: Su material predominante es el Hormigón Armado. Principal material usado hoy en día en Chile en edificaciones en mediana altura.
- Uso: Residencial. Su elección se debe a que la mayor cantidad de edificios que se construyen son para uso residencial, sumado al gran déficit habitacional existente.
- Ubicación: La Ubicación del edificio es en la región de Coquimbo en la comuna de La Serena.
- N° de Pisos: La Cantidad de piso, se asocia a las tendencias en edificaciones residenciales, de las cuales la mediana altura es una de las que marca la pauta en cuanto a este tipo de edificaciones.
- Usuario: Clase social media o media alta y núcleos familiares entre 1 a 4 personas
- M2 depts: Entre 37m² y 61m²

El diseño arquitectónico del caso de estudio base se rige principalmente por un pasillo que funciona como circulación principal, un núcleo del ascensor, y un núcleo central de escaleras. En la Figura N°2, se aprecia la distribución del primer piso, y en la Figura N°3 se muestra la distribución del piso tipo del piso 2 al 6, en la Figura N°4 también se exponen los diferentes tipos de departamentos que se utilizan en el edificio, en el cual los distintos tipos rondan entre los 37,47m² y los 60,52m².

Tabla N°1:

Superficies y tipologías de departamentos.

MODELO	SUP. MUNICIPAL	SUP. TERRAZA	SUP. TOTAL
DEPTO A	50,91	9,61	60,52
DEPTO B	46,19	4,95	51,14
DEPTO C	29,84	7,63	37,47



Figura N°2: *Planta 1er Piso.*



Figura N°3: Planta Piso tipo 2° al 6°.



Figura N°4: Tipología de departamentos.

b. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS

¿El CLT es una alternativa viable de solución, para bajar los costos de construcción en la etapa de obra gruesa, comparado con edificaciones de hormigón armado?

¿Cuál es el impacto en los costos y tiempos de construcción en obra gruesa, al utilizar CLT en edificios de mediana altura v/s edificio tradicional de Hormigón Armado?

Se plantea como hipótesis que la implementación de la construcción con madera contralaminada (CLT) en edificios de mediana altura en la etapa de obra gruesa aumentará los costos de esta etapa en un 25% y reducirá tiempos de construcción en un 40%, en comparación con edificaciones de hormigón armado.

c. OBJETIVOS

c.1. Objetivo General

Comparar los costos de construcción de obra gruesa de un edificio de mediana altura, en la ciudad de La Serena, utilizando hormigón frente a uno construido con madera contralaminada, considerando los factores económicos y tiempos de construcción de ambas soluciones, para establecer la brecha que existe actualmente entre ambos.

c.2. Objetivos específicos

- Homologar edificio en CLT y GLT, basado en modelo de hormigón.
- Determinar el costo de los materiales, maquinarias y mano de obra utilizados en la construcción de ambos tipos de edificaciones, considerando factores como disponibilidad, transporte, precios en el mercado local y especialización.
- Determinar las diferencias en los tiempos de construcción entre ambas técnicas de construcción y su impacto en el costo total del proyecto.

d. DISEÑO METODOLÓGICO

El presente trabajo utiliza un enfoque cuantitativo de tipo comparativo. Se realizó un análisis de costos y tiempos de construcción entre edificaciones de hormigón armado y madera masiva (CLT y GLT) en un modelo de edificación de mediana altura, ubicado en la ciudad de La Serena. A continuación, se describe el procedimiento metodológico correspondiente a cada actividad vinculada a cada objetivo específico.

1. Modelación en 3D de edificio híbrido, basado en modelo de hormigón.

Para el desarrollo del estudio, se seleccionó un modelo arquitectónico y estructural existente de un edificio de mediana altura en hormigón armado, el cual fue adaptado para su diseño equivalente en CLT y GLT. El diseño se realizó utilizando herramientas BIM, como REVIT y Cadwork. Cabe destacar que no se realizaron cálculos estructurales, ya que la homologación estructural no formó parte del alcance del estudio. La validación técnica se llevó a cabo mediante el juicio de expertos en la materia.

Se espera obtener un modelo arquitectónico y estructural adaptado en CLT y GLT, validado por expertos, que permita una comparación técnica coherente con el diseño en hormigón armado.

2. Determinación de costos de construcción.

Los datos de costos del edificio base fueron entregados por la constructora ejecutante de la obra, incluyendo precios reales de materiales, equipos y mano de obra directa e indirecta. Además, se consideraron los costos asociados a la especialización requerida para la instalación de sistemas CLT y GLT en comparación con el hormigón armado, basándose en valores estimados de obras en ejecución y referencias bibliográficas.

Se espera obtener un análisis comparativo de los costos reales del edificio base y los costos adicionales asociados a la instalación de sistemas CLT y GLT, basados en datos entregados por la constructora y referencias bibliográficas.

3. Determinación de las diferencias en los tiempos de construcción entre ambos métodos.

Se definieron las actividades específicas de obra gruesa para ambos métodos constructivos: CLT/GLT y hormigón armado. Además, se elaboró un cronograma de obra que incluyó los tiempos asociados a instalación, curado del hormigón y ensamblaje de componentes de madera. Posteriormente, se compararon los cronogramas para identificar las diferencias en la duración total por piso. Finalmente, se calcularon los costos indirectos derivados del tiempo de ejecución y se analizó el impacto en el costo total del proyecto debido a las diferencias en los tiempos de construcción.

Se espera obtener una comparación detallada de los tiempos de ejecución y los costos indirectos asociados a ambos métodos constructivos. Esto permitirá identificar las diferencias en la duración por piso y su impacto en el costo total del proyecto.

Instrumentos y Técnicas

El análisis se basó en la revisión de normativas, especificaciones técnicas y estudios de casos locales relacionados con los métodos constructivos evaluados. Para el desarrollo del estudio, se emplearon diversos softwares especializados, como Revit, Cadwork, MS Project y Presto, entre otros. Además, se realizaron consultas con expertos, incluyendo ingenieros estructurales, especialistas en madera y profesionales en costos, para garantizar la precisión y relevancia de los datos. Finalmente, se llevó a cabo una validación cruzada mediante la comparación de los resultados obtenidos con estudios previos y la supervisión de expertos en la materia.

3. RESULTADOS

a. HOMOLOGACION DEL EDIFICIO BASE

Se entenderá por homologación a la comparación válida entre los sistemas constructivos analizados de hormigón y el de madera, manteniendo condiciones geométricas, funcionales y estructurales.

Se llevó a cabo la homologación del edificio base de hormigón armado en el software Cadwork. Después de reuniones con ingenieros estructurales y consejos de tutoría, se llegó al diseño de un edificio híbrido (Figura N°5). Esta combina un primer piso, una caja de escalera y un núcleo de ascensor en hormigón armado, mientras que el resto de la estructura incluye muros y losas de CLT, así como vigas de balcones y coronación en GLT, esta estructuración es típica para países sísmicos como Chile.

Se mantuvieron los espesores de 15 cm para muros, losas y vigas, tanto en hormigón armado como en CLT y GLT. Se incluyeron sobrelosas de hormigón liviano de 10cm para efectos de aumentar la rigidez de la estructura y ayudar a reducir la transmisión de ruido aéreo y de impacto.

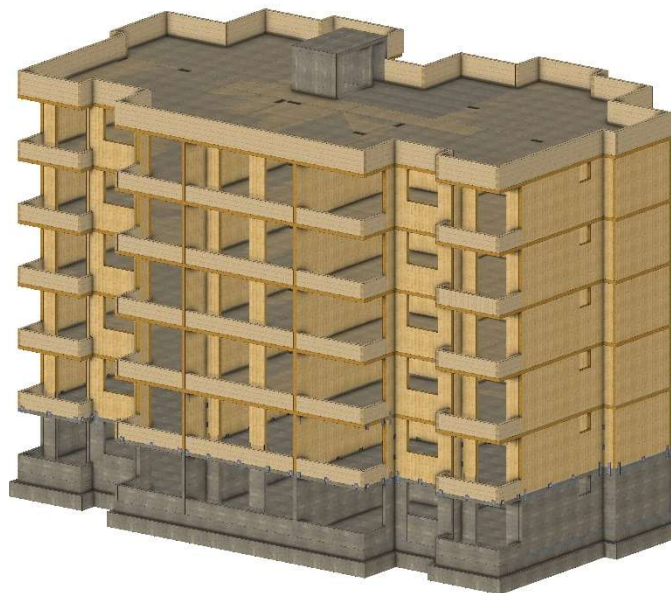


Figura N°5: Edificio Homologado – Hormigón y CLT.

Tabla N°2:

Comparación estructura edificio base versus edificio homologado.

ELEMENTO	EDIFICIO BASE	EDIFICIO HOMOLOGADO
Estructura General	Hormigón Armado	Sistema híbrido H.A. + CLT y GLT
Sistema gravitacional	Hormigón Armado	Muros y Losas de CLT
Sistema Lateral	Hormigón Armado	Losas de CLT y núcleo de H.A.
Núcleos	Núcleo central caja escala y ascensor de H.A.	Núcleo central caja escala y ascensor de H.A.
Fundaciones	Hormigón Armado	Hormigón Armado
Podio (1er piso)	Hormigón Armado	Hormigón Armado
Losas	Hormigón Armado	Losas CLT
Muros	Hormigón Armado	Muros de CLT

a.1. Resistencia al fuego

Para el edificio elegido 6 pisos se define una tipología Tipo “a” de acuerdo con lo indicado en art. 4.3.3 y 4.3.4. de OGUC, con las siguientes resistencias al fuego de los diferentes elementos:

Tabla N°3:

Resistencia al fuego requerida para elementos constructivos.

Fuente: OGUC art. 4.3.3. y 4.3.4.

Destino del edificio	Superficie edificada (m ²)	Número de Pisos						
		1	2	3	4	5	6	7 ó mas
Habitacional	Cualquiera	d	d	c	c	b	a	a

ELEMENTOS DE CONSTRUCCION									
TIPO	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
a	F-180	F-120	F-120	F-120	F-120	F-30	F-60	F-120	F-60
b	F-150	F-120	F-90	F-90	F-90	F-15	F-30	F-90	F-60
c	F-120	F-90	F-60	F-60	F-60	-	F-15	F-60	F-30
d	F-120	F-60	F-60	F-60	F-30	-	-	F-30	F-15

Elementos verticales:	Materialidad
(1) Muros cortafuego	N/A
(2) Muros zona vertical de seguridad y caja de escalera	Hormigón Armado
(3) Muros caja ascensores	Hormigón Armado
(4) Muros divisorios entre unidades (hasta la cubierta)	CLT
(5) Elementos soportantes verticales	CLT
(6) Muros no soportantes y tabiques	Tabiquería
Elementos verticales y horizontales:	
(7) Escaleras	Hormigón Armado
Elementos horizontales:	
(8) Elementos soportantes horizontales	CLT
(9) Techumbre incluido cielo falso	CLT

Los cálculos de resistencia al fuego de estructuras de CLT tienen en cuenta el valor de 0,7 mm/min, que es lo que tarda en quemar la madera en condiciones normales. La protección de los muros de estructura de madera para RF superiores a 30 min se efectúa mediante placas de yeso, para la homologación se consideró doble placa de yeso RF e=15mm cada una.

a.2. Transmitancia

A la ciudad de La Serena le corresponde una zona térmica “C”, de acuerdo con la Figura N°6.

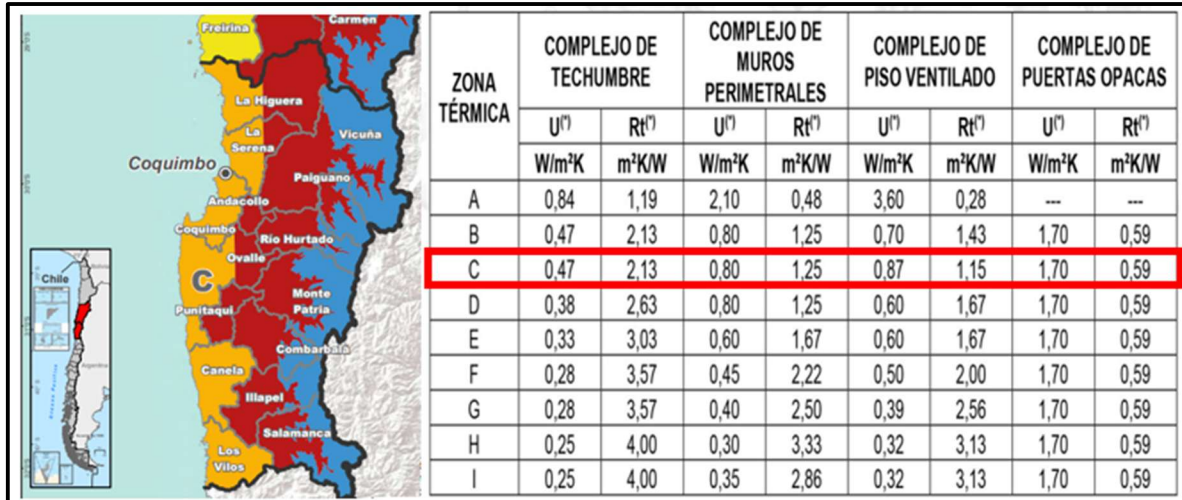


Figura N°6: Zona térmica de la ciudad de La Serena.
Fuente: Reglamentación térmica. Art. 4.1.10 OGUC.

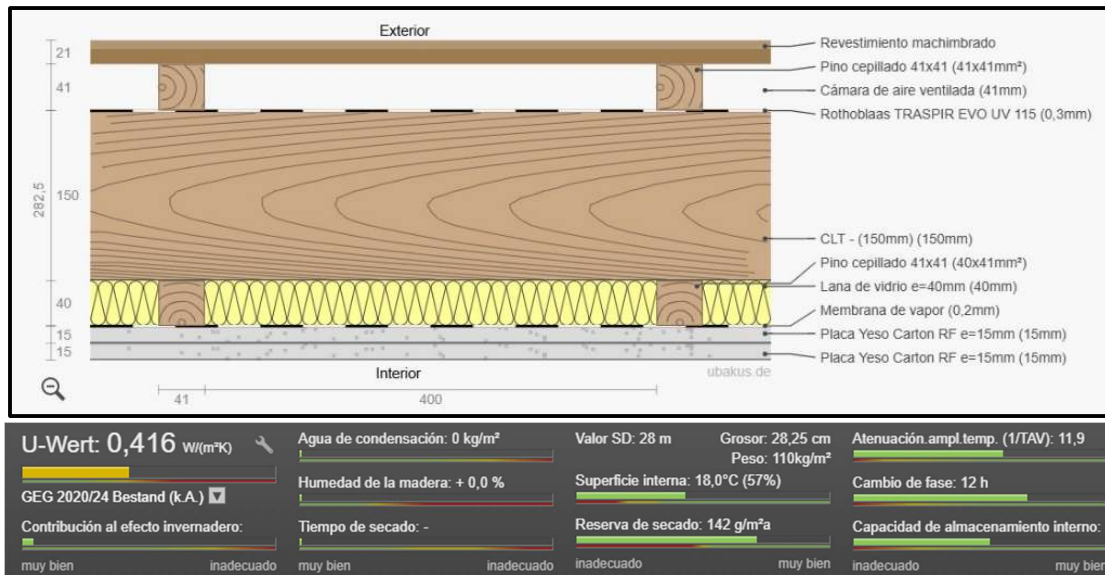


Figura N°7: Transmitancia muro CLT espesor 150 mm.
Fuente: Elaboración propia con software Ubakus.

b. COSTOS DE CONSTRUCCION DE OBRA GRUESA EDIFICIO BASE
Tabla N°4:
Cubicación volumen de hormigón edificio base.

ELEMENTO	VOLUMEN (m3)
FUNDACION	402,3
MUROS	297,2
LOSAS	238,9
CORONACION	13,5
TOTAL	951,9

b.1. Costos directos obras de hormigón

Para efectos de la evaluación del costo directo, de las faenas de hormigón, se consideró un volumen de 951,9 m3 a un valor de \$ 271.839 / m3, lo que da un total de \$ 258.766.701. Este valor considera todos los materiales de obra gruesa, subcontrato de enfierradura, de acuerdo con el siguiente detalle:

Tabla N°5:
Costos directos edificio base.

ITEM COSTO	RECURSO	TOTAL	%	%
FIERRO	FIERRO A63-42H	62.302.581	24,3%	
FIERRO	MALLA LOSA	12.946.704	5,0%	
FIERRO	ALAMBRE NEGRO #18	1.148.091	0,4%	41,1%
S/C FIERRO	S.C. M.O. ENFIERRADURA	21.262.341	8,3%	
S/C FIERRO	SC ENFIERRADURA MALLA ACMA	7.720.899	3,0%	
HORM	HORMIGON GB 20.0(90)20/FDT	32.556.349	12,7%	
HORM	HORMIGON GB 20.0(90)20/10 PNT	24.954.641	9,7%	
HORM	HORMIGON GB 20.0(90)20/FPNT	10.611.068	4,1%	
HORM	HORMIGON GB 20.0(90)20/12DT	9.304.059	3,6%	
HORM	HORMIGON GB 25.0(90)20/10 PNT	4.522.569	1,8%	34,4%
HORM	HORMIGON DO170(00) 20/06	2.673.289	1,0%	
HORM	HORMIGON GB 20.0(90)20/10	2.299.749	0,9%	
HORM	HORMIGON GN 25.0(90) 20/08	875.199	0,3%	
HORM	HORMIGON GB 20.0(90)20/F	432.589	0,2%	
MOLDAJE	ARRIENDO MOLDAJE	4.675.426	1,8%	
MOLDAJE	TERCIADO FILM FENOLICO 18MM 2.44*1.22 MTS	1.041.105	0,4%	
MOLDAJE	DESMOLDANTE METAL	950.604	0,4%	2,9%
MOLDAJE	ESPUMA POLIURETANO NORMAL 500ml	404.947	0,2%	
MOLDAJE	TERCIADO ESTRUCTURAL 18MM 2.44*1.22 MTS	389.659	0,2%	
MOV. TIERRAS	SUB MOV. DE TIERRAS HUMERES	17.461.475	6,8%	
MOV. TIERRAS	S.C. AGOTAMIENTO CON EQUIPO DE PUNTERAS	8.362.500	3,3%	
MOV. TIERRAS	SUMINISTRO DE MATERIAL INTEGRAL	3.997.500	1,6%	13,0%
MOV. TIERRAS	TRASPORTE DE ESCOMBROS A BOTADERO	1.823.000	0,7%	
MOV. TIERRAS	S/C O.V. BASE ESTABILIZADA COMPACTADA	1.740.125	0,7%	
SERV. BOMBEO	SERVICIO DE BOMBEO	12.049.187	4,7%	4,7%
OTROS	OTROS	12.261.046	4,0%	4,0%
TOTAL		258.766.701	100,0%	100,0%

b.2. Costos directos mano de obra

El costo total de mano de obra directa asciende a \$ 125.424.762, desglosados de acuerdo con el siguiente detalle:

Tabla N°6: Costos mano de obra directa edificio base.

CARGO	MONTO	%
CARPINTERO MOLDAJE	\$ 38.841.447	30,97
CARPINTERO	\$ 20.381.825	16,25
ELECTRICOS	\$ 14.984.279	11,95
ALBAÑIL	\$ 13.877.411	11,06
JORNAL	\$ 10.255.073	8,18
RIGGER	\$ 6.324.854	5,04
OP.GRUA	\$ 4.751.035	3,79
M.SOLDADOR	\$ 4.456.064	3,55
CANGUERO	\$ 3.090.470	2,46
TRAZADOR	\$ 2.797.652	2,23
A.SOLDADOR	\$ 1.858.615	1,48
AYUDANTE TRAZADOR	\$ 1.837.522	1,47
A.CARPINTERO	\$ 1.211.281	0,97
AYUDANTE ALBAÑIL	\$ 757.234	0,60
TOTAL	\$ 125.424.762	100%

Finalmente, se obtiene que los costos directos ascienden a \$ 258.766.701 y la mano de obra directa a \$ 125.424.762, dando un costo directo total de \$ 384.191.463. por lo que el costo directo es de 5,55 UFm². (Considerando una superficie de 1.800 m² y valor UF al 11/01/2025 de \$ 38.434,02).

c. COSTOS DE CONSTRUCCION DE OBRA GRUESA DE EDIFICIO HOMOLOGADO

Los costos considerados en el edificio homologado son:

c.1. Faenas de hormigón

Para efectos de la evaluación del costo directo de las faenas de hormigón se consideró 553,4 m³ con un valor de \$ 271.839 / m³, lo que da un total de \$150.433.010

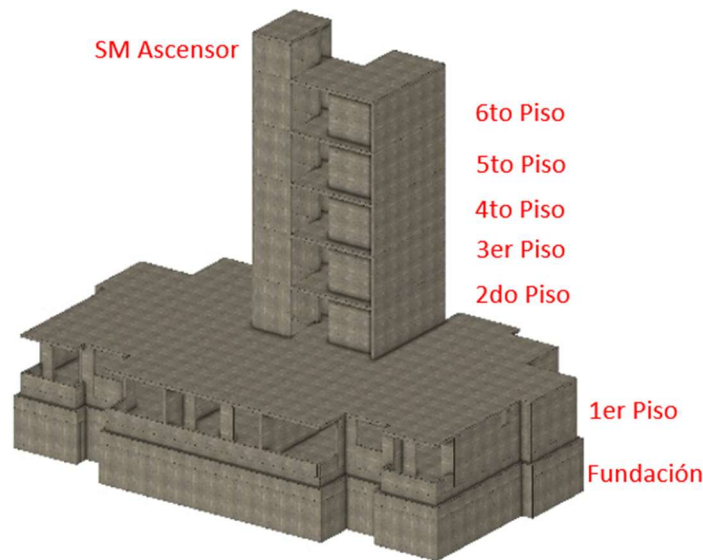


Figura N°8: Estructuras de hormigón edificio homologado.

Fuente: Elaboración propia con software Cadwork.

Tabla N°7: Volumen y valorización obras de hormigón edif. Homologado.

ELEMENTO	VOLUMEN (m3)	TOTAL \$
FUNDACION	402,3	109.360.849
MUROS	89,9	24.438.330
LOSAS	61,2	16.633.831
CORONACION	0,0	0
TOTAL	553,4	150.433.010

c.2. Provisión CLT y GLT

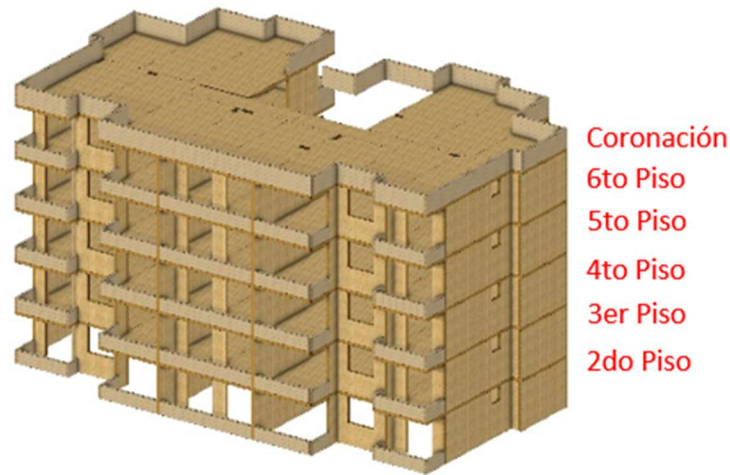


Figura N°9: Estructuras de CLT y GLT edificio homologado.

Fuente: Elaboración propia con software Cadwork.

Tabla N°8: Volumen y valorización provisión CLT y GLT edif. Homologado.

ELEMENTO	Optimista e=10 cm	Realista e=15cm	Pesimista e=20 cm
MUROS	138,2	207,3	276,4
LOSAS	118,5	177,7	236,9
CORONACION	9,0	13,5	18,0
TOTAL m3	265,7	398,5	531,3
VALOR PROVISION	270.750.575	406.125.862	541.501.150

El costo directo de la provisión de CLT y GLT, en el escenario “realista”, con un total de 398,5 m3 asciende a \$406.125.862.

c.3. Costo total obra gruesa edificio homologado

A los costos anteriores se le debe sumar herrajes, mano de obra para montaje, equipo de izaje, fletes, sobrelosas de hormigón liviano, valores que se incluyen en la siguiente tabla:

Tabla N°9: Valorización total obra gruesa edificio homologado.

ELEMENTO	Optimista	Realista	Pesimista
Obras de Hormigón	150.433.010	150.433.010	150.433.010
Provisión CLT y GLT	270.750.575	406.125.862	541.501.150
SUB TOTAL 1	421.183.585	556.558.873	691.934.160
OTROS COSTOS			
Herrajes (25%)	67.687.644	67.687.644	67.687.644
Instalación Mano Obra	6.912.000	6.912.000	6.912.000
Equipo Izaje	10.328.000	10.328.000	10.328.000
Fletes	7.500.000	12.000.000	15.000.000
Sobrelosas	26.740.000	26.740.000	26.740.000
SUB TOTAL 2	119.167.644	123.667.644	126.667.644
TOTAL 1+2	540.351.229	680.226.516	818.601.804
UF / m2	7,81	9,83	11,83
% DIF. COSTO	40,65%	77,05%	113,07%

De lo anterior se concluye que, en un escenario “realista”, el costo de construcción del edificio homologado es un 77% superior al de un edificio de hormigón armado.

d. TIEMPOS DE CONSTRUCCION

d.1. Programa de construcción de edificio base

Para efectos de cálculo de tiempos de ejecución del edificio base, se cuenta con una programación del piso tipo 2° al 6° de una duración de una semana por piso, tal como se muestra en la Figura N°10. Y una duración total de 27 días desde el segundo piso hasta la coronación.

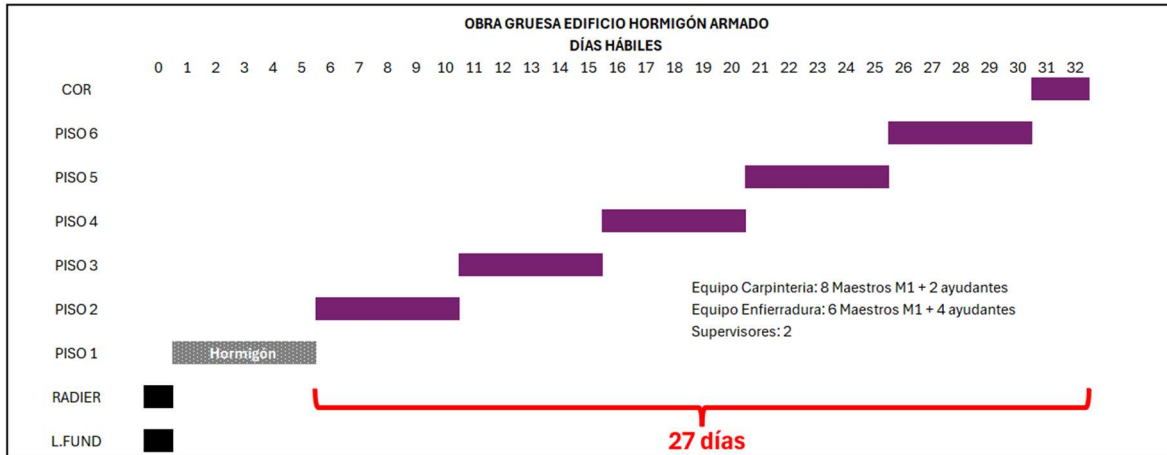


Figura N°10: Programa de trabajo real edificio base hormigón armado.

Este avance puede lograrse mediante un proceso planificado y optimizado, respaldado por la programación de los procesos críticos, como se muestra en la Figura N°11. Esto se cumple con el uso del sistema de moldaje monolítico PERI ONE, que permite hormigonar muros y losas en un mismo ciclo de trabajo diario.

Cada planta del edificio se divide en cuatro ciclos de hormigonado:

Ciclo 1	: 26 m ³
Ciclo 2	: 19,5 m ³
Ciclo 3	: 29,5 m ³
Ciclo 4	: 20 m ³
Total	: 95 m³ por piso

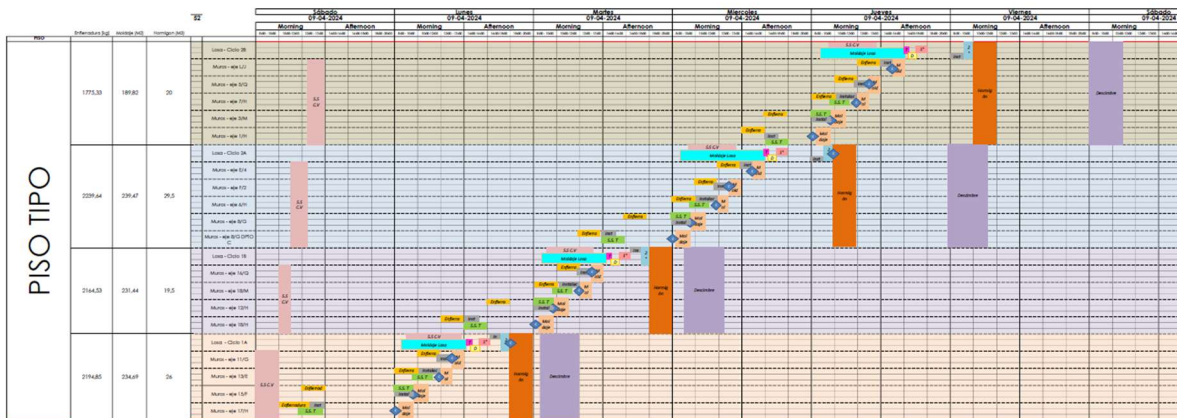


Figura N°11: Programa real de procesos críticos del piso tipo edificio base.

d.2. Programa de construcción de edificio homologado

El programa de trabajo para el edificio homologado incluye las faenas de hormigonado, abarcando tanto el núcleo del ascensor como la caja de escalera (Figura N°12), dado que se trata de un edificio mixto de hormigón y madera. El tiempo estimado para estas faenas es de 16 días.

Para un equipo de 4 carpinteros y 4 ayudantes.

$$398,5 \text{ m}^3 \text{ (CLT + GLT)} / 16 \text{ días} = 24,9 \text{ m}^3 / \text{ día}$$

Montaje de 24,9 m³/día para equipo de 8 personas, da un rendimiento de 3,1 m³/día, valor por debajo del rendimiento indicado por Crulamm de 4,5 m³/día por persona, por lo que es un proceso mejorable en cuanto a rendimiento.

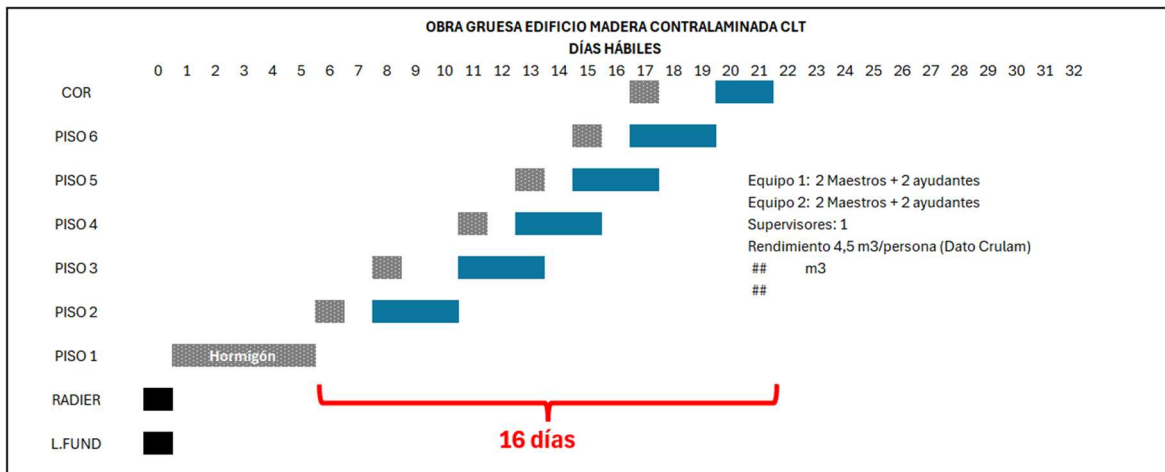


Figura N°12: Programa edificio homologado.

Se concluye que se presenta una diferencia de 11 días a favor de la alternativa del edificio híbrido afectando directamente a la ruta crítica del proyecto. En términos relativos, el edificio híbrido requiere 16 días frente a 27 días de la alternativa del edificio base, lo que equivale al 59% del tiempo o, dicho de otro modo, un 40% más de rapidez.

Los efectos económicos relacionados con el ahorro en el plazo se reflejan en la reducción de los gastos generales del proyecto.

GG totales por etapa de 4 edificios \$ 588.555.796.- para 13 meses. Total 390 días.

GG por día \$ 1.509.117.-

11 días de GG ahorrados por torre \$ 16.600.287.-

Se concluye que, en este caso particular, el ahorro en los gastos generales tiene un impacto mínimo, representando únicamente una reducción del sobre costo del 4,3%, al pasar del 77% al 72,7% en el escenario "realista".

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para efectos de los resultados de homologación se plantearon tres escenarios debido a que no se realizó un análisis estructural, debido a que no es el alcance del estudio, se desprende de estos escenarios los siguientes análisis:

- Escenario Optimista: En este escenario se consideró que los espesores de los elementos estructurales de CLT y GLT sean los mínimos críticos, esto implica que la estructura cumple con este aspecto al límite de la función estructural.
- Escenario Realista: Este escenario es el que cumple con los requerimientos en forma más ajustada y es el resultado más esperado, dando un factor de seguridad al cálculo estructural, protección a la madera en caso de incendio y un mejor desempeño térmico.
- Escenario Pesimista: En este escenario los espesores de los elementos estructurales cumplen con todos los requerimientos, pero en exceso, por lo que el diseño queda sobredimensionado.

La comparación de costos se realizó bajo un escenario realista, revelando una diferencia del 77% por sobre el costo del edificio de hormigón armado, muy superior a la hipótesis inicial que planteaba un sobre costo del 25%. Esta discrepancia se atribuye a la limitada información disponible sobre análisis comparativos de costos en Chile y a la dispersión de los datos recopilados al inicio del estudio. Además, el edificio base difiere de un edificio "tradicional", ya que emplea un sistema constructivo altamente eficiente tanto en su planificación como en su ejecución.

Es relevante destacar que el dimensionado de los paneles de CLT y GLT depende de las capacidades de producción de cada planta, lo que impacta directamente en el costo total del proyecto al influir en la cantidad de herrajes necesarios y en los tiempos de montaje. Actualmente, Niuform puede fabricar paneles de hasta 6 (m). de largo, mientras que Arauco tiene la capacidad de producir paneles de hasta 13,5 (m).

En cuanto a los tiempos de construcción, se corrobora la hipótesis de una reducción del 40% del tiempo en el caso planteado, posiblemente en otros proyectos de mayor complejidad de ejecución en hormigón armado, este porcentaje podría ser aún mayor. La disminución del tiempo obtenido en este estudio de caso no es incidente en el costo indirecto ya que solo se rebajó de 27 a 16 días de trabajo efectivo.

5. CONCLUSIONES

Este trabajo tuvo como finalidad homologar el edificio base de hormigón y hacer una comparación de costos en un rango de escenarios en madera contralaminada (CLT). A su vez, se analizaron los tiempos de ejecución y el costo asociado a este ahorro, considerando la eficiencia constructiva del sistema en madera.

Los resultados obtenidos permiten concluir que la hipótesis planteada es parcialmente confirmada. Si bien se verificó una reducción del 40% en los tiempos de construcción en la etapa de obra gruesa al utilizar madera contralaminada (CLT) en edificios de mediana altura, el sobre costo estimado del 25% fue superado significativamente, alcanzando un 77%. Además, se concluye que el ahorro producto de la reducción del tiempo, para este caso particular, no es incidente para compensar el sobre costo obtenido. Esto sugiere que, aunque el CLT ofrece ventajas significativas en términos de rapidez, su implementación implica un mayor desafío económico respecto al costo de obra gruesa en comparación con edificaciones de hormigón armado.

Este estudio presenta ciertas limitaciones que deben considerarse para contextualizar los resultados y guiar futuras investigaciones. Una de las principales limitaciones es que el análisis se centró exclusivamente en la etapa de obra gruesa, sin incluir la etapa previa al inicio de las faenas de terminaciones, como las faenas húmedas (reparaciones de rasgos, estucos, yesos, morteros de nivelación, etc.) en el caso del edificio de hormigón armado. Esta etapa es crucial para preparar el ingreso de actividades de terminaciones, como la instalación de puertas y ventanas, colocación de cornisas, pinturas, entre otras.

La construcción con madera contralaminada (CLT) ofrece precisión y eficiencia, compensando en parte los mayores costos directos y generando ahorros en tiempos de construcción. Evaluar etapas no analizadas resulta clave para obtener una visión integral del impacto económico y temporal de esta alternativa en comparación con el sistema de hormigón armado.

Para abordar esta limitación en investigaciones futuras, se recomienda ampliar el alcance del estudio incluyendo un análisis integral de todas las etapas del proceso constructivo, Esto permitiría evaluar de manera más precisa el impacto global de la construcción con CLT en términos de costos y plazos, considerando posibles beneficios en eficiencia, reducción de residuos y optimización de recursos en etapas posteriores. Además, incorporar variables como el aprendizaje en el uso de esta tecnología y el efecto de economías de escala podría ofrecer una visión más completa sobre la viabilidad económica y temporal de esta alternativa constructiva.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, S., & Arocho, I. (2021). Analysis of cost comparison and effects of change orders during construction: Study of a mass timber and a concrete building project. *Journal of building engineering*, 33, 101856. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2020.101856>.
- Akal, A. Y. (2023). Inflation and Reinforced Concrete Materials: An Investigation of Economic and Environmental Effects. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su15097687>.
- Almeida, J., Delgado, P., Labrincha, A., Parauta, H., & Lima, B. (2023). Evaluación de daños en fachadas de madera de pino en los primeros años de servicio para su mantenimiento sostenible. *Buildings*. <https://doi.org/10.3390/buildings13081883>.
- Araya, F., Sierra, L. (2021). Influence between COVID-19 impacts and project stakeholders in Chilean construction projects. *Sustainability*, 13(18), 10082. <https://doi.org/10.3390/su131810082>.
- Cazemier, D. S. (2017). Comparing cross laminated timber with concrete and steel: a financial analysis of two buildings in Australia. 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. <https://doi.org/10.29173/MOCS63>
- Chen, Y., Yang, Y., & Chen, Y.-H. (2023). Assessing the COVID-19 Impact of Projects under Construction with Monte Carlo Simulation. *Architecture*. <https://doi.org/10.3390/architecture3020011>.
- D'Amico, B., Pomponi, F., & Hart, J. (2021). Global Potential for Material Substitution in Building Construction: The Case of Cross Laminated Timber. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123487. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123487>
- Darby, H., Elmualim, A., y Kelly, F. (2013). Estudio de caso para investigar las emisiones de carbono durante el ciclo de vida y la capacidad de almacenamiento de carbono de un edificio residencial de varios pisos de madera laminada cruzada.
- Eklund, T. (2017). Efficient and Sustainable Construction with Premanufactured Cross-Laminated Timber. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25633.17760>
- Graber, E. (2020). Feasibility of Cross Laminated Timber Panels in Construction: A Case Study of Carbon12. https://consensus.app/papers/feasibility-of-cross-laminated-timber-panels-in-graber/4267818c60505b87a10c7f1ea2f6aa9c/?utm_source=chatgpt

Gu, H., Liang, S., & Bergman, R. (2020). Comparison of Building Construction and Life-Cycle Cost for a High-Rise Mass Timber Building with its Concrete Alternative. *Forest Products Journal*.

<https://doi.org/10.13073/FPJ-D-20-00052>.

Jahan, I., Zhang, G., Bhuiyan, M. y Navaratnam, S. (2022). Economía circular de los residuos de madera de construcción y demolición: un enfoque de marco teórico. *Sustainability*.

<https://doi.org/10.3390/su141710478> .

Jayalath, A., Navaratnam, S., Ngo, T., Mendis, P., Hewson, N., & Aye, L. (2020). Life cycle performance of Cross Laminated Timber mid-rise residential buildings in Australia. *Energy and Buildings*, 223, 110091. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110091>.

Khavari, A., Pei, S., & Tabares-Velasco, P. (2016). Energy Consumption Analysis of Multistory Cross-Laminated Timber Residential Buildings: A Comparative Study. *Journal of Architectural Engineering*, 22(4), 04016002. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000206](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000206)

Kisi, K., & Sulbaran, T. (2022). Construction Cost and Schedule Impacts Due to COVID-19. *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*.

[https://doi.org/10.1061/\(asce\)la.1943-4170.0000565](https://doi.org/10.1061/(asce)la.1943-4170.0000565).

Ma'rifah, L. (2023). Analyze the effect of waste materials and material management with lean construction to improve project cost performance. *Syntax Idea*. <https://doi.org/10.46799/syntax-idea.v5i6.2330>.

Mitchell, H., Kotsovinos, P., Richter, F., Thomson, D., Barber, D. y Rein, G. (2022). Revisión de experimentos de fuego en compartimentos de madera maciza: conocimiento actual, limitaciones y lagunas en la investigación. *Fire and Materials* , 47, 415-432. <https://doi.org/10.1002/fam.3121> .

Oyegoke, A., Fisher, B. W., Ajayi, S., Omotayo, T., & Ewuga, D. (2023). The disruptive factors and longevity effects of COVID-19 and Brexit on the SMEs construction supply chain in the UK. *Journal of Financial Management of Property and Construction*. <https://doi.org/10.1108/jfmpc-11-2022-0057>.

Penfield, P., Germain, R., Smith, W. B., & Stehman, S. (2022). Assessing the Adoption of Cross Laminated Timber by Architects and Structural Engineers within the United States. *Journal of Green Building*. <https://doi.org/10.3992/1943-4618.17.1.127>.

Pierobon, F., Huang, M., Simonen, K., & Ganguly, I. (2019). Environmental benefits of using hybrid CLT structure in midrise non-residential construction: An LCA based comparative case study in the U.S. Pacific Northwest. *Journal of Building Engineering*.
<https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2019.100862>.

Sanchotene, C., Fischer, A., Monteiro, T., Punhagui, K. y Da Silva, D. (2024). Evaluación del ciclo de vida de la madera contralaminada: una revisión sistemática de la literatura. *CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES*. <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.6-080>.

Sandoli, A., D'Ambra, C., Ceraldi, C., Calderoni, B., & Prota, A. (2021). Sustainable Cross-Laminated Timber Structures in a Seismic Area: Overview and Future Trends. *Applied Sciences*.
<https://doi.org/10.3390/APP11052078>

Schlagbauer, D., Koppelhuber, J., & Heck, D. (2015). Cost Calculation in Prefabricated Timber Construction: Methodology of Assessment and General Requirements.
<https://doi.org/10.14455/isec.res.2015.182>

Svensson, E., & Panojevic, D. (2019). A Life Cycle Assessment of the Environmental Impacts of Cross-Laminated Timber. <https://doi.org/10.3390/sustainability12060644>

Tupénaitė, L., Kanapeckienė, L., Naimaviciene, J., Kaklauskas, A., & Gečys, T. (2023). Timber construction as a solution to climate change: A systematic literature review. *Buildings*. <https://doi.org/10.3390/buildings13040976>

Verbist, M., Nunes, L., Jones, D., & Branco, J. (2019). Service life design of timber structures. *Long-term Performance and Durability of Masonry Structures*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102110-1.00011-X>.

Para la redacción de esta investigación se utilizó ChatGPT para realizar correcciones, encontrar citas bibliográficas y asistir en la organización del contenido. Las decisiones finales y ediciones fueron realizadas por el autor. OpenAI. (2024). ChatGPT (modelo GPT-4). <https://openai.com>