

COMPARACIÓN DE HUELLA DE CARBONO DE VIVIENDA MODELADA EN MADERA CLT Y HORMIGÓN, PROPUESTA DE VIVIENDA MIXTA COMO ALTERNATIVA DE MITIGACIÓN, Y APU

*I. Obreque Hernández¹, M. Neubauer Rojas², C. Correa Rogel³
Universidad Católica de la Santísima Concepción*

RESUMEN:

Varias son las normas y regulaciones que se deben seguir para poder realizar algún tipo de construcción, aunque en ciertos casos muchas de ellas no contemplan exigencias medioambientales. Por ello, y bajo el objetivo de “mejorar” esa deficiente situación medioambiental que se vive actualmente, es que se han realizado estudios sobre la huella de carbono emitida por diversos materiales de construcción, siendo este documento un nuevo estudio comparativo de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) entre dos materiales de distinta naturaleza; el primero, el hormigón armado bastante más empleado en edificaciones en general, y el segundo, algo menos conocido, la madera contralaminada (CLT), en donde se llega a que una construcción en hormigón armado emite 60,17% más CO₂ que una de CLT, siendo estos valores 57,90 TonCO₂eq y 23,06 TonCO₂eq respectivamente. Los resultados obtenidos traen en consecuencia que se debe hacer un análisis de esta situación o gestiones que conlleven a soluciones constructivas que sean factibles en todo ámbito, dígase estructural, proceso constructivo, presupuesto y amigables con el medio ambiente.

PALABRAS CLAVES: Huella de Carbono, Madera contralaminada (CLT).

ABSTRACT

There are several rules and regulations that must be followed to be able to carry out some type of construction, although in certain cases many of them do not contemplate environmental requirements. For this reason, and under the objective of "improving" this sufficient environmental situation that is currently being experienced, studies have been carried out on the carbon footprint emitted by various construction materials, being this document a new comparative study of carbon dioxide (CO₂) emissions between two materials of different nature; the first, reinforced concrete much more in buildings in general, and the second, somewhat less well-known, cross-laminated timber (CLT), where it is found that a reinforced concrete construction emits 60.17% more CO₂ than one made of CLT, these values being 57.90 TonCO₂eq and 23.06 TonCO₂eq respectively. The obtained outcomes result in an analysis of this situation or steps that lead to constructive solutions that are feasible in all areas, say structural, construction process, budget and friendly to the environment.

KEYWORDS: Carbon Footprint, Cross laminated wood (CLT)

¹Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, iobreque@ing.ucsc.cl

²Profesora Guía, Docente part time, Depto. de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, maria.neubauer@ucsc.cl

³Profesor Informante, Depto. de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, CHILE, claudiocorrea@ucsc.cl

1. INTRODUCCIÓN

El término calentamiento global identifica el aumento generalizado de la temperatura en la superficie de la Tierra desde la época de la Revolución Industrial y que se acentuó a partir de 1950, debido a emisión de gases con efecto invernadero (GEI) a la atmósfera, producidos por actividades antrópicas (Bula, 2009). El aumento del uso de combustibles fósiles y otros procesos industriales a partir del siglo XIX, ha generado un aumento de la concentración de dióxido de GEI en la atmósfera, produciendo un aumento en la temperatura global del planeta y cambios en el clima mundial. (Rojas M, et al, 2019).

Las actividades relacionadas con la construcción tienen un alto impacto en el medioambiente, ya que dicha área presenta una alta demanda de energía y materiales, tanto por el acto de construir, como por el uso posterior de aquello que se ha construido (Alvarado Alvarado & Medina Peña, 2019). Esta situación ha motivado el interés por evaluar los impactos de las construcciones con un enfoque de ciclo de vida, considerando las etapas de obtención de materias primas, manufactura, transporte, uso y demolición. (Muñoz Sanguinetti & Quiroz Ortiz, 2014).

Para limitar el calentamiento medio global en la superficie a un aumento de no más de 2°C en promedio, respecto de la época pre-industrial, definido como el umbral máximo por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, se requerirán reducciones de las emisiones de estos gases a la atmósfera, lo que supondrá un reto tecnológico, económico, institucional y de comportamiento, involucrando a toda la humanidad. (Plan de Acción Nacional de Cambio Climático, 2017-2022).

Actualmente, en América Latina y el Caribe se observan diversos esfuerzos por instrumentar políticas públicas referidas a la mitigación y a la adaptación al cambio climático (Sánchez & Reyes , 2015). En esa misma línea, Chile se ha comprometido en desarrollar metas enfocadas en aquella dirección, con el fin de establecer estrategias para la generación de capacidades ante el cambio climático, tanto para el desarrollo y Transferencia tecnológica, como para el financiamiento de las mismas (Plan de Acción Nacional de Cambio Climático, 2017-2022). Para ello destacan medidas que interrelacionan el trabajo público-privado con el propósito de desarrollar una “Estrategia Nacional de Huella de Carbono para el Sector Construcción” o la consolidación de la Certificación de Vivienda Sustentable (CVS), lanzada en mayo de 2020 por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, que tiene como objetivo poner a disposición de la industria una herramienta que promueva estándares constructivos sustentables para la vivienda residencial en Chile, considerando criterios ambientales, sociales y económicos. (Primer Diagnóstico Sectorial de Desarrollo Sostenible en Chile, 2021).

La producción de hormigón y sus ingredientes son una fuente de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en el sector construcción, en particular, la producción de cemento (que se estima que contribuye en un 85 - 90% a la huella de carbono (HdeC) del hormigón), representando más del 5% de las emisiones de GEI de origen antrópico (Global Cement and Concrete Association, 2018), mientras que la emisión que produce el CLT (madera contralaminada) en producción tiene un valor de -1,291 kg CO₂/kg y en el final de su vida útil se obtiene un valor de 0,51 kg CO₂/kg (CO₂ emissions from building lifecycles, 2020).

Se evidencia, entonces que el área de la construcción presenta una problemática ambiental que repercute en el calentamiento global a raíz de las emisiones generadas por sus materiales y/o procesos, la cual debe ser atendida, como dice la frase *“Lo que no se mide, no se controla y lo que no se controla, no se puede mejorar”*. Por lo anteriormente mencionado, el presente artículo científico busca calcular la HdeC de un prototipo de vivienda en base a una comparativa en los materiales que la componen, considerando una estructura de hormigón armado frente a otra compuesta por madera contralaminada (CLT). Con el objetivo de obtener resultados que permiten realizar un análisis de ambas situaciones con una mirada en torno al desarrollo sustentable en el área de la construcción, además de dar a conocer una propuesta mitigadora (vivienda mixta) y el análisis de precios unitarios (APU) de las viviendas estudiadas.

2. MARCO TEÓRICO

Debido a la generación de emisiones por parte del sector de la construcción se han desarrollado ciertos indicadores que pueden entregar información respecto al impacto que generan estas actividades debido a sus procesos y al uso de materiales contemplados en su desarrollo.

2.1. Huella de Carbono

Comúnmente la HdeC se define como indicador de la cantidad de GEI emitidos a la atmósfera derivados de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios de los seres humanos, variando su alcance, desde un mirada simplista que contempla sólo las emisiones directas de CO₂, a otras más complejas, asociadas al ciclo de vida completo de las emisiones de GEI, incluyendo la elaboración de materias primas y el destino final del producto y sus respectivos embalajes (Schneider & Samaniego, 2010).

El área de la construcción contribuye significativamente en las emisiones de CO₂, se estima que alrededor del 40% de las emisiones son producto, directa o indirectamente, de las actividades constructivas, ya que su ciclo de vida considera las etapas de obtención de materias primas, manufactura, transporte, uso y demolición (Santander Muñoz, 2020). De esta estimación cerca del 70% corresponde al proceso constructivo y la vida útil de la obra, tal como se presenta en la Figura 1.

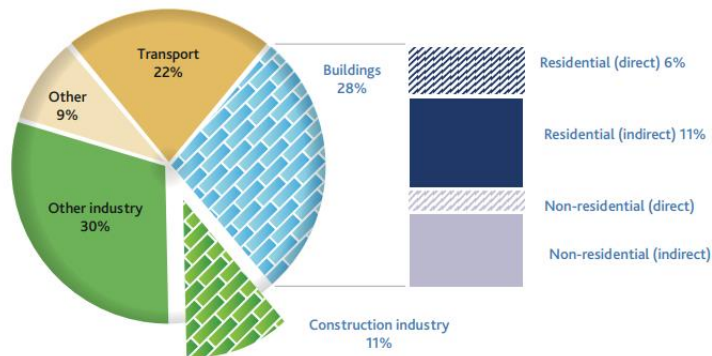


Figura 1: Participación de energía global relacionada con emisiones de CO₂ por sector (2015).

Fuente: El Sector de la Construcción ante el Desafío Climático Global. Cámara Chilena de la Construcción, diciembre 2019.

Además, el hormigón requiere 1,6 billones de toneladas de cemento, 10 billones de toneladas de roca y arena, además de 1 billón de toneladas de agua, donde cada tonelada de cemento requiere, a su vez, de 1,5 toneladas de roca caliza, así como del consumo de combustibles fósiles, con un coste ambiental de 1 toneladas de CO₂ emitida por cada tonelada de cemento producida (Domoterra, 2016).

2.1.1. Estimación de la huella de carbono

Para estimar la HdeC de un producto o servicio se requiere de un análisis del ciclo de vida (ACV), descrito en la norma internacional ISO 14040. El ACV incluye todas las fases, desde la extracción de las materias primas, el transporte de ellas, su transformación al producto final hasta que llega al cliente dándole un uso pertinente hasta su disposición final, tal como se aprecia en la Figura 2.

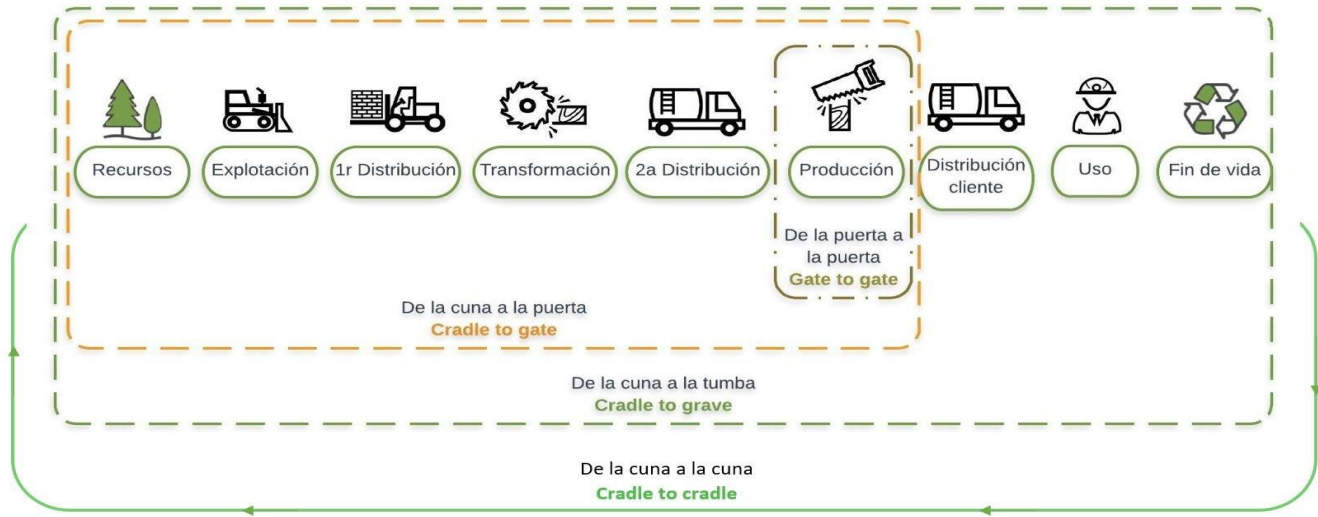


Figura 2: Análisis de Ciclo de vida.

Fuente: Zero consulting, 2018.

2.2. Materiales principales a estudiar

La confección de cualquier proyecto está compuesta por diferentes tipos de materiales que cumplen funciones constructivas para la ejecución del mismo.

Los materiales aportan diferentes propiedades físicas a una construcción como por ejemplo estructurales, térmicas, acústicas, etc. Una consecuencia en el uso de estos materiales es que generan emisiones de CO₂ al ambiente las cuales se miden a través de la HdeC que se obtiene del análisis del ciclo de vida, donde se observa que algunos generan más emisiones que otros o en caso contrario considerarse sustentables.

Es debido a lo anterior que se analiza en este estudio dos materiales de distinta naturaleza; el primero, el hormigón armado bastante más empleado en edificaciones en general, y el segundo, algo menos conocido, la madera contralaminada (CLT).

2.2.1. Hormigón

El hormigón es un material no homogéneo formado por agua (hidratación), cemento, áridos, burbujas de aire microscópicas de 0,1 a 1 mm de diámetro (aire ocluido) y también por aditivos químicos y/o adiciones minerales (Espinoza Hijazin, 2010). La resistencia del hormigón se define en la Nch 170, su dosificación se compone por 340 kg/m³ de cemento, 1095 kg/m³ de gravilla, 715 kg/m³ de arena y 200 L/m³ de agua (Chilecubica.com).

Una de las características fundamentales que se puede encontrar en este material es que posee resistencia a esfuerzos de compresión, sin embargo, no posee resistencia a esfuerzos cortantes, de tracción, flexión, entre otros. (Chávez Godoy & Unquén Villanueva, 2011). En consecuencia a la problemática anterior es que se le incorporan barras de acero para mejorar la resistencia a la tracción (ver Figura 3) (Mancilla Peñaloza, 2017).



Figura 3: Columna de hormigón armado.

Fuente: Science Photo Library.

La producción de cemento es responsable del 5% de las emisiones CO₂ globales, ya que por cada tonelada de cemento que se fabrica, se emite 1 tonelada de CO₂ a la atmósfera. (Huerga, 2021)

Como se menciona al inicio de este apartado general se tiene un material que puede ser considerado como sustentable que es la madera, por ende, el siguiente material de análisis es la madera contralaminada CLT.

2.2.2. Madera contralaminada (CLT)

La madera contralaminada, conocida también como CLT, es un producto de ingeniería en madera que tiene como objetivo ser un material eficiente para su uso en diversas tipologías, tanto en edificios bajos como altos, compitiendo directamente con el hormigón y el acero en características esenciales como resistencia mecánica, velocidad de implementación en obras constructivas y menor coste, sin embargo, su principal atractivo radica en el hecho de que, además de ser un material de construcción seguro, es sostenible, lo que supone una ventaja mayor respecto a otro tipo de materiales algo más utilizados (Eligemadera.com).

El CLT consiste en la utilización de varias capas de madera que se unen en direcciones alternas, se encolan y se presionan (Maderame.com). Su peculiaridad se basa en la colocación de los elementos, pues al superponer las distintas capas a 90°, se alterna la dirección de las fibras de madera, lo que permite al material trabajar de forma bidireccional, como si fuera una losa de hormigón armado (ver Figura 4) (Fernández, 2020).

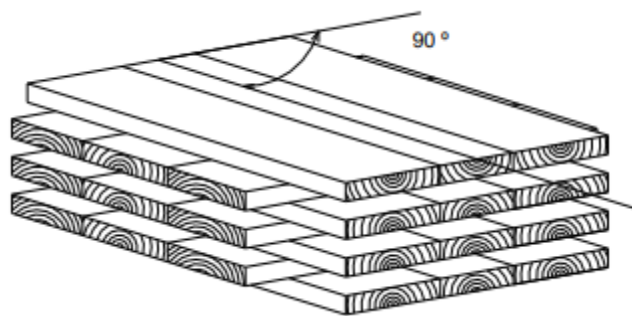


Figura 4: Disposición de las capas de madera.

Fuente: Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de Madera, 2015.



Una de las características principales del CLT radica en que es una opción mucho más sustentable, pues corresponde a un producto derivado de la madera, ya que, al provenir de los árboles, purifican la atmósfera al sellar el CO₂ dentro de la madera (Arch2O.com).

El CLT es un material que se puede prefabricar lo que permite una aceleración del proceso de construcción (un edificio de 18 plantas, por ejemplo, podría construirse en tan solo 9 semanas), esa misma característica hace también que el proceso de construcción contribuya en menor cantidad en torno a la contaminación, pues se liberan menos cantidades de polvo y emisiones de ruido.

Otra cualidad del CLT es su fabricación a medida; sus dimensiones máximas deben ser piezas de 15 m a 25 m, ancho de 5 m, con espesor de máximo 500 mm, debido a las limitaciones de transporte (Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de madera, 2015).

Finalmente, el CLT puede ser más resistente al fuego que algunos aceros no tratados, ya que al ser sometidos a elevadas temperaturas su capa exterior se convierte en carbón aislante, el que puede impedir el fuego durante aproximadamente 30-120 minutos (Arch2O.com).

Para obtener una comparativa un poco más detallada entre dos materiales principales que componen el mismo proyecto de forma diferenciada se puede realizar un análisis de precio unitario que permite conseguir con mayor profundidad sus diferencias.

2.3. Análisis de Precio Unitario (APU)

Cada material indicado en las especificaciones técnicas de una obra requiere de un análisis específico para poder determinar un resultado que sea presupuestado, lo que se realiza mediante un análisis de precio unitario.

El análisis de precio unitario (APU) corresponde a un estudio detallado que se realiza conforme a las condiciones del contrato, los planos y especificaciones técnicas del proyecto y a las condiciones propias de la obra a construir, en donde se examina a una unidad de obra con la finalidad de conocer sus características constructivas y los elementos de costos que lo componen para concluir y establecer el precio previo a la construcción y demostrar lógicamente su valor monetario (Dataconstruccion.com).

De acuerdo a los antecedentes expuestos, el presente artículo consiste en modelar un prototipo de vivienda para posteriormente calcular la HdeC de este, en base a una comparativa en los materiales que la componen, considerando una estructura de hormigón armado frente a otra compuesta por CLT, y además se evaluará una propuesta mitigadora (vivienda mixta) y el respectivo APU de las viviendas estudiadas.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivos generales

- Calcular y comparar la Huella de Carbono de una vivienda de diseño propio construida en hormigón versus CLT, e identificar materiales de mayor generación de CO₂.

3.2. Objetivos específicos

- Calcular y comprar la HdeC de una vivienda construida en hormigón y comparar las emisiones con la HdeC de la misma vivienda construida en CLT.
- Identificar los materiales con mayores emisiones de CO₂ en el área de la construcción.
- Evaluar HdeC de vivienda mixta (hormigón y CLT) como alternativa de mitigación.
- Análisis de precio unitario (APU) para las alternativas evaluadas.

4. METODOLOGÍA

4.1. Emisiones de GEI

La obtención de la emisión de GEI se obtienen a través de dos factores, lo cuales son el dato de actividad y el factor de emisión, relacionados a través de la ecuación (1):

$$\text{Emisiones de GEIs (t GEI)} = \text{Dato de actividad} * \text{Factor de emisión} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

Dato de actividad: Medida cuantitativa de la actividad que produce una emisión (Ihobe, 2012).

Factor de emisión: Normalmente viene expresado en toneladas de GEI /unidad. El factor de emisión depende del tipo y características del proceso de transformación química y tipo de combustible. (Ihobe, 2012).

Para el desarrollo del cálculo de la HdeC se requiere contar con factores de emisión de los distintos materiales a analizar, es por ello que en la Tabla 12 ubicada en anexos, se encuentra un listado de los materiales utilizados en el proyecto de estudio con su respectivo factor de emisión.

4.2. Modelo arquitectónico

Se realizó un prototipo de vivienda utilizando el programa Revit, ya que este es capaz de generar diseños en 2D y 3D, además de generar vistas realistas.

El prototipo generado se realizó considerando que en promedio el tamaño de las viviendas en Chile se distribuye como el 35,91% menor a 65 m², 19,24% mayor a 140 m² y el 44,84% corresponde a viviendas de medidas entre 65 m² y 140 m² (ICH, 2021). Considerando lo anterior es que la vivienda a ensayar consta de 81 m², es de dos pisos, en el primer piso se encuentra un amplio living comedor, cocina y baño de visitas, mientras que en el segundo piso tres dormitorios y dos baños (ver Figura 5, 6 y 7). A su vez se tiene en cuenta muros exteriores e interiores de 15 cm y 10 cm respectivamente, además losas de 12 cm de espesor.

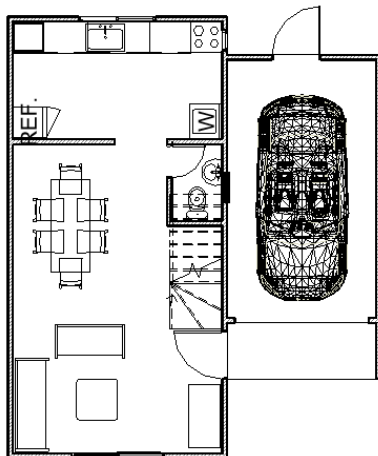


Figura 5: Vista en planta de primer piso.

Fuente: Elaboración propia.

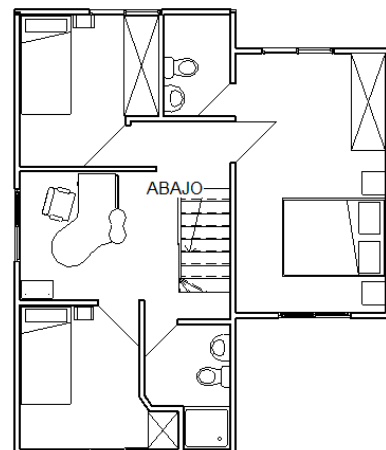


Figura 6: Vista en planta de segundo piso

Fuente: Elaboración propia.



Figura 7: Prototipo de vivienda.

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Vivienda mixta

Con el fin de evaluar una tercera opción de vivienda es que se considera una alternativa de “vivienda mixta”, conformada por materialidad de hormigón armado y CLT en su primer y segundo piso respectivamente, teniendo en consideración losa constituida de hormigón armado y escalera de madera.

4.4. Análisis de Precio Unitario (APU)

Los APUs se presentan en una planilla, donde se describe la formulación de los componentes de costo que se utilizarán en la construcción de la partida, tales como mano de obra, materiales y equipos con sus respectivos rendimientos, cálculos y precios de mercado vigentes a la fecha de presentación del presupuesto (Dataconstruccion.com).

5. RESULTADOS

5.1. Emisión de Huella de Carbono

5.1.1. Vivienda de hormigón armado

La primera vivienda a calcular corresponde al prototipo estudiado en una estructura de hormigón armado para la obra gruesa considerando a la vez los muros interiores compuestos por ese material. En base a lo anterior se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 1 para la cubicación de esta, en donde el mayor factor de emisión corresponde al hormigón y, por el contrario, el de menor emisiones corresponde al de enplantillado (el valor de los respectivos factores de emisión se encuentra en Tabla 12, ubicada en anexos).

Tabla 1: Cubicación de obra gruesa de vivienda estudiada en hormigón armado.

	Partida	Cantidad	Factor de emisión
1	OBRA GRUESA		
1.1	Enplantillado	5,30 m ³	0,22 kgCO ₂ eq/m ³
1.2	Hormigón de fundaciones		
	Cimientos	12,51 m ³	251,50 kgCO ₂ eq/m ³
	Sobrecimientos	2,01 m ³	251,50 kgCO ₂ eq/m ³
1.3	Enfierradura de fundaciones	274,34 kg	8,89 kgCO ₂ eq/kg
1.4	Radier	6,36 m ³	196,30 kgCO ₂ eq/m ³
1.5	Elementos estructurales (muros y losas)		



	Hormigón	35,78 m ³	296,30 kgCO ₂ eq/m ³
	Enfierradura	3594,95 kg	8,89 kgCO ₂ eq/kg
1.6	Cubierta		
	Emplacado	84,68 m ²	12,70 kgCO ₂ eq/m ²
	Aislación	84,68 m ²	2,10 kgCO ₂ eq/m ²
	PIT 900	84,68 m ²	15,90 kgCO ₂ eq/m ²
1.7	Escalera		
	Hormigón	0,85 m ³	296,30 kgCO ₂ eq/m ³
	Enfierradura	65,60 kg	8,89 kgCO ₂ eq/kg

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al resto de materiales que componen la vivienda se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 2, en donde el mayor factor de emisión corresponde al marco PVC y, por el contrario, el de menor emisiones corresponde al de guardapolvo MDF (el valor de los respectivos factores de emisión se encuentra en Tabla 12, ubicada en anexos).

Tabla 2: Cubicación de terminaciones de vivienda estudiada en hormigón armado.

	Partida	Cantidad	Factor de emisión
2	TERMINACIONES		
2.1	Cielo 1° nivel		
	Yeso cartón St de 10 mm	32,60 m ²	2,60 kgCO ₂ eq/m ²
	Enlucido de yeso (estacionamiento)	14,94 m ²	0,60 kgCO ₂ eq/m ²
2.2	Cielo 2° nivel		
	Yeso cartón St de 10 mm	50,00 m ²	2,60 kgCO ₂ eq/m ²
	Cercha	230,61 kg	4,10 kgCO ₂ eq/kg
2.3	Revestimiento		
	Estuco interior 1.5 cm	0,98 m ³	7,30 kgCO ₂ eq/m ³
	Estuco exterior 2.5 cm	3,65 m ³	7,30 kgCO ₂ eq/m ³
2.4	Pintura		
	Latex acrílico x1 mano	153,60 m ²	1,30 kgCO ₂ eq/m ²
	Esmalte al agua x1 mano	70,78 m ²	0,40 kgCO ₂ eq/m ²
2.5	Puertas		
	Puertas de acceso	2,00 u	0,00 kgCO ₂ eq/u
	Puertas interiores	3,00 u	0,00 kgCO ₂ eq/u
2.6	Ventanas		
	Vidrio monolítico e=4 mm	12,48 m ²	3,19 kgCO ₂ eq/m ²
	Marco PVC blanco perfil 74 mm	43,44 ml	39,54 kgCO ₂ eq/ml
2.7	Guardapolvo MDF 14X45X3000 mm	94,99 ml	-0,09 kgCO ₂ eq/ml
2.8	Cornisas poliestireno 40X50X3000 mm	104,64 ml	0,10 kgCO ₂ eq/ml
2.9	Suelos		
2.91	Suelo primer piso		
	Cerámico 33x33 cm	33,40 m ²	33,64 kgCO ₂ eq/m ²
2.92	Suelo segundo piso		
	Alfombra tipo boucle 4 mm	42,38 m ²	1,30 kgCO ₂ eq/m ²
2.93	Suelo Baños (2° piso)		
	Cerámico 33x33 cm	5,87 m ²	33,64 kgCO ₂ eq/m ²

Fuente: elaboración propia.

**5.1.2. Vivienda de CLT**

A continuación, se presenta el prototipo estudiado en estructura de CLT para obra gruesa, considerando muros interiores compuestos por ese material, en donde se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 3, en la cual se observa que el mayor factor de emisión corresponde al hormigón de fundaciones y, por el contrario, el de menor emisiones corresponde al de madera (el valor de los respectivos factores de emisión se encuentra en Tabla 12, ubicada en anexos).

Tabla 3: Cubicación de obra gruesa de vivienda estudiada en CLT.

Partida	Cantidad	Factor de emisión
1 OBRA GRUESA		
1.1 Emplantillado	5,30 m ³	0,22 kgCO ₂ eq/m ³
1.2 Hormigón de fundaciones		
Cimientos	12,51 m ³	251,50 kgCO ₂ eq/m ³
Sobrecimientos	2,01 m ³	251,50 kgCO ₂ eq/m ³
1.3 Enfierradura de fundaciones	274,34 kg	8,89 kgCO ₂ eq/kg
1.4 Radier	6,36 m ³	196,30 kgCO ₂ eq/m ³
1.5 Elementos estructurales (muros y losas)		
CLT muro exterior	25,37 m ³	242,25 kgCO ₂ eq/m ³
CLT muro interior	4,30 m ³	242,25 kgCO ₂ eq/m ³
CLT losas	5,79 m ³	242,25 kgCO ₂ eq/m ³
1.6 Cubierta		
Emplacado	84,68 m ²	12,70 kgCO ₂ eq/m ²
Aislación	84,68 m ²	2,10 kgCO ₂ eq/m ²
PIT 900	84,68 m ²	15,90 kgCO ₂ eq/m ²
1.7 Escalera		
Madera	28,32 ml	-1,10 kgCO ₂ eq/ml

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto al resto de materiales que componen la vivienda se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 4, en donde el mayor factor de emisión corresponde al marco PVC y, por el contrario, el de menor emisiones corresponde al de guardapolvo MDF (el valor de los respectivos factores de emisión se encuentra en Tabla 12, ubicada en anexos).

Tabla 4: Cubicación de terminaciones de vivienda estudiada en CLT.

Partida	Cantidad	Factor de emisión
2 TERMINACIONES		
2.1 Cielo 1° nivel		
Yeso cartón St de 10 mm	32,60 m ²	2,60 kgCO ₂ eq/m ²
Enlucido de yeso (estacionamiento)	14,94 m ²	0,60 kgCO ₂ eq/m ²
2.2 Cielo 2° nivel		
Yeso cartón St de 10 mm	50,00 m ²	2,60 kgCO ₂ eq/m ²
Cercha	230,61 kg	4,10 kgCO ₂ eq/kg
2.3 Revestimiento		
Pintura elastomérica	146,57 m ²	0,22 kgCO ₂ eq/m ²
2.4 Pintura		
Latex acrílico x1 mano	153,60 m ²	1,30 kgCO ₂ eq/m ²
Esmalte al agua x1 mano	70,78 m ²	0,40 kgCO ₂ eq/m ²
2.5 Puertas		



	Puertas de acceso	2,00 u	0,00 kgCO ₂ eq/u
	Puertas interiores	3,00 u	0,00 kgCO ₂ eq/u
2.6	Ventanas		
	Vidrio monolitico e=4 mm	12,48 m ²	3,19 kgCO ₂ eq/m ²
	Marco PVC blanco perfil 74 mm	43,44 ml	39,54 kgCO ₂ eq/ml
2.7	Guardapolvo MDF 14X45X3000 mm	94,99 ml	-0,09 kgCO ₂ eq/ml
2.8	Cornisas poliestireno 40X50X3000 mm	104,64 ml	0,10 kgCO ₂ eq/ml
2.9	Suelos		
2.91	Suelo primer piso Cerámico 33x33 cm	33,40 m ²	33,64 kgCO ₂ eq/m ²
2.92	Suelo segundo piso Alfombra tipo boucle 4 mm	42,38 m ²	1,30 kgCO ₂ eq/m ²
2.93	Suelo Baños (2º piso) Cerámico 33x33 cm	5,87 m ²	33,64 kgCO ₂ eq/m ²

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3. Emisiones totales de CO₂ de hormigón armado y CLT

Al trabajar con las cubicaciones y las respectivas emisiones presentadas en las Tablas 1, 2, 3 y 4 se obtienen la emisión total de CO₂ según el tipo de vivienda, las cuales se presentan en la Tabla 5, en donde la partida que contempla mayores emisiones para una casa de hormigón es elementos estructurales (muros y losas), y la de menores emisiones es guardapolvo MDF 14X45X3000 mm, mientras que en la casa de CLT las mayores emisiones se dan de igual manera en Elementos estructurales (muros y losas) y las de menores emisiones se dan en escalera.

En la misma tabla se destacó elementos estructurales (muros y losas) y escalera, ya que en estas etapas se presentan las mayores diferencias en emisiones, las cuales son de 33,97 TonCO₂eq y 0,87 TonCO₂eq respectivamente.

Tabla 5: Emisiones totales de CO₂ de viviendas estudiadas en hormigón armado y CLT.

PARTIDA		Emisiones	
		Casa de hormigón	Casa de CLT
1.1	Emplantillado	1,16	1,16
1.2	Hormigón de fundaciones	3652,03	3652,03
1.3	Enfierradura de fundaciones	2438,84	2438,84
1.4	Radier	1248,42	1248,42
1.5	Elementos estructurales (muros y losas)	42560,95	8589,29
1.6	Cubierta	2599,58	2599,58
1.7	Escalera	834,86	-31,21
2.1	Cielo 1º nivel	93,73	93,73
2.2	Cielo 2º nivel	1075,47	1075,47
2.3	Revestimiento	33,92	32,42
2.4	Pintura	227,99	227,99
2.5	Puertas	0,00	0,00
2.6	Ventanas	1757,43	1757,43
2.7	Guardapolvo MDF 14X45X3000 mm	-8,26	-8,26
2.8	Cornisas poliestireno 40X50X3000 mm	10,53	10,53



2.9	Suelos	1376,21	1376,21
Total; kgCO₂eq		57902,86	23063,63
Total; TonCO₂eq		57,90	23,06

Fuente: Elaboración propia.

5.1.4. Comparaciones

Conociendo que el CO₂ producido por la obra gruesa es el más relevante en los cálculos, se procede a dar un enfoque mayor en la comparación de lo siguiente:

- Escalera
- Muros y losas

a) Escalera

Es importante destacar esta comparativa debido a que, al trabajar con casas idénticas, pero de distinta materialidad es esperable encontrarse con resultados de magnitudes muy distantes entre sí (ver Figura 8).

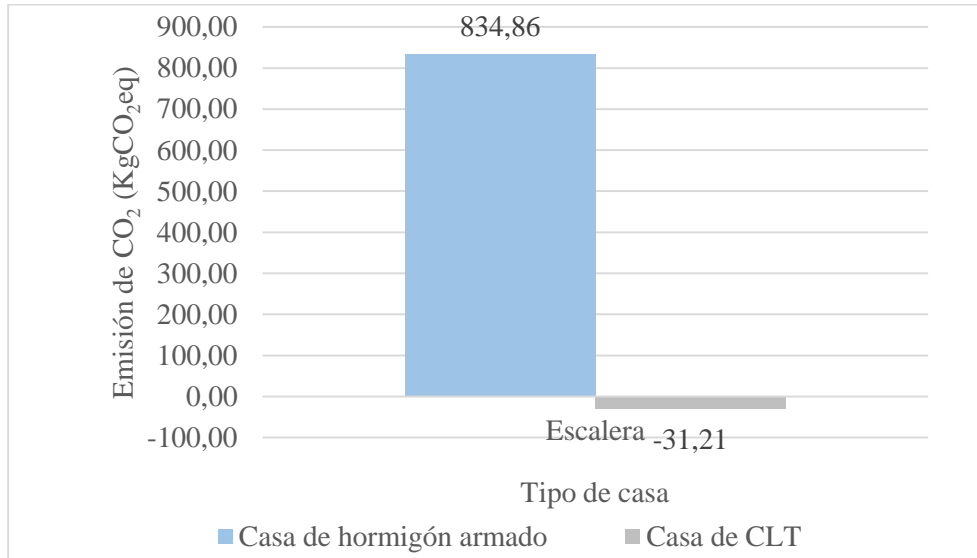


Figura 8: Emisiones de CO₂ de las escaleras estudiadas en ambas materialidades

b) Muros y losas

Para esta etapa del proceso constructivo se consideran losas, muros exteriores e interiores idénticos para ambas casas (ver apartado 4.2), con lo que se obtuvieron los resultados resumidos en el Figura 9.

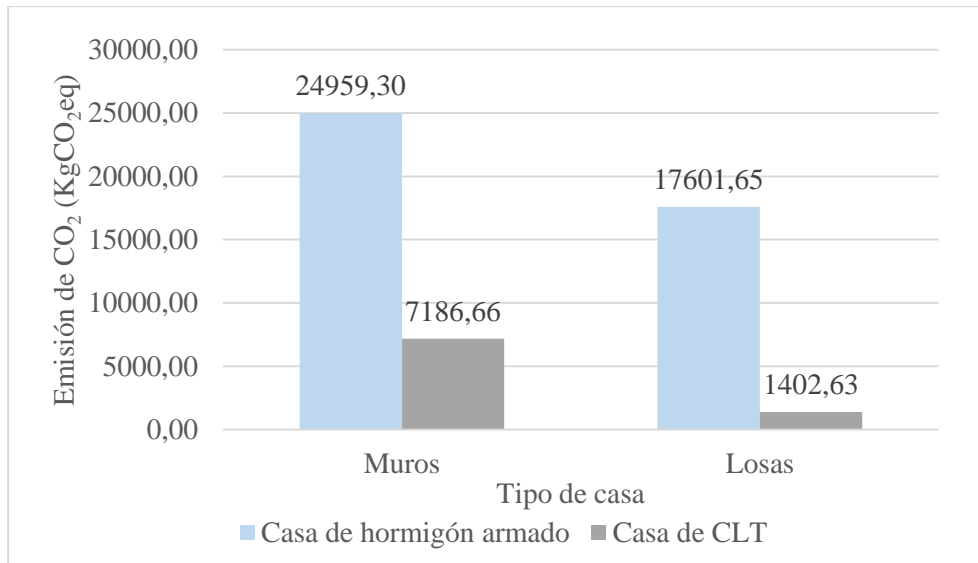


Figura 9: Emisiones de CO₂ de muros y losas estudiados en ambas materialidades.

5.1.5. Resultados totales

En el Figura 10 se muestra el total de emisiones de CO₂ obtenido en ambas viviendas.

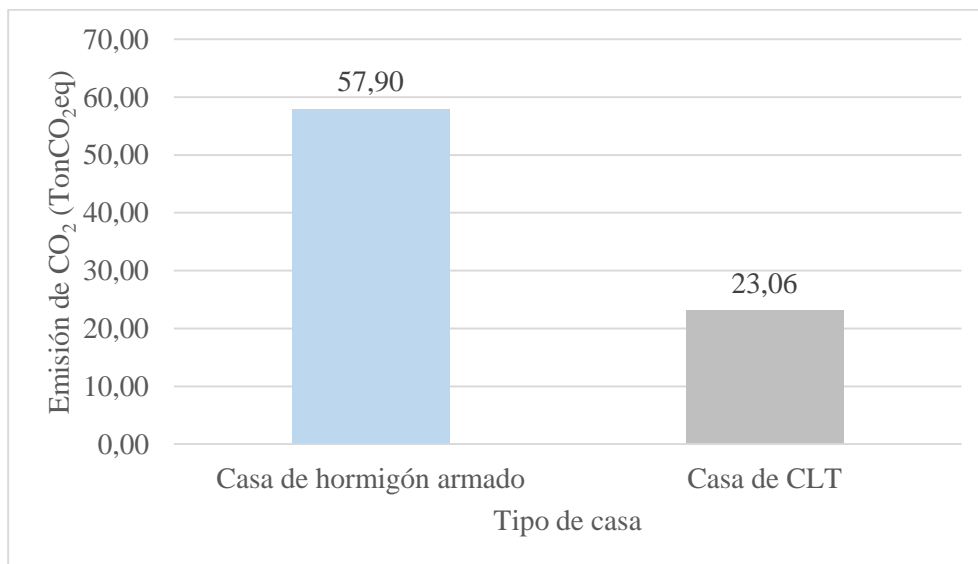


Figura 10: Emisiones totales de CO₂ estudiado en ambas viviendas.

**5.2. Cubicación y emisiones de CO₂ de vivienda mixta.**

A continuación, se presenta el prototipo estudiado en estructura de CLT para obra gruesa, considerando muros interiores compuestos por ese material, en donde se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 10, en la cual la partida con mayores emisiones corresponde a elementos estructurales (muros y losas) con 32,78 TonCO₂eq y, por el contrario, la de menores emisiones corresponde a de escalera con -0,03 TonCO₂eq (el valor de los respectivos factores de emisión se encuentra en Tabla 12, ubicada en anexos).

Tabla 6: Cubicación y emisiones de CO₂ de obra gruesa en vivienda mixta.

Partida	Cantidad	Factor de emisión	kgCO ₂ eq
1 OBRA GRUESA			
1.1 Emplantillado	5,30 m ³	0,219 kgCO ₂ eq/m ³	1,16
1.2 Hormigón de fundaciones			
Cimientos	12,51 m ³	251,5 kgCO ₂ eq/m ³	3146,37
Sobrecimientos	2,01 m ³	251,5 kgCO ₂ eq/m ³	505,67
1.3 Enfierradura de fundaciones			
φ 12	164,42 kg	8,89 kgCO ₂ eq/kg	1461,72
φ8	109,91 kg	8,89 kgCO ₂ eq/kg	977,12
1.4 Radier	6,36 m ³	196,3 kgCO ₂ eq/m ³	1248,42
1.5 Elementos estructurales (muros y losas)			
Hormigón	19,45 m ³	296,3 kgCO ₂ eq/m ³	5763,35
Enfierradura			
φ 12	2461,11 kg	8,89 kgCO ₂ eq/kg	21879,29
φ8	132,67 kg	8,89 kgCO ₂ eq/kg	1179,44
CLT muro exterior	13,14 m ³	242,25 kgCO ₂ eq/m ³	3182,69
CLT muro interior	3,19 m ³	242,25 kgCO ₂ eq/m ³	773,21
1.6 Cubierta			
Emplacado	84,68 m ²	12,7 kgCO ₂ eq/m ²	1075,40
Aislación	84,68 m ²	2,1 kgCO ₂ eq/m ²	177,82
PIT 900	84,68 m ²	15,9 kgCO ₂ eq/m ²	1346,36
1.7 Escalera			
Madera	28,32 ml	-1,102 kgCO ₂ eq/ml	-31,21
Total; kgCO₂eq			42686,81
Total; TonCO₂eq			42,69

Fuente: Elaboración propia.



Con respecto al resto de materiales que componen la vivienda se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 11, en donde la partida con mayores emisiones corresponde a ventanas con 1,73 TonCO₂eq y, por el contrario, la de menores emisiones corresponde a de guardapolvo MDF con -0,01 TonCO₂eq (el valor de los respectivos factores de emisión se encuentra en Tabla 12, ubicada en anexos).

Tabla 7: Cubicación y emisiones de CO₂ de terminaciones en vivienda Mixta.

Partida	Cantidad	Factor de emisión	kgCO ₂ eq
2 TERMINACIONES			
2.1 Cielo 1° nivel			
Yeso cartón St de 10 mm	32,60 m ²	2,6 kgCO ₂ eq/m ²	84,76
Enlucido de yeso (estacionamiento)	14,94 m ²	0,6 kgCO ₂ eq/m ²	8,97
2.2 Cielo 2° nivel			
Yeso cartón St de 10 mm	50,00 m ²	2,60 kgCO ₂ eq/m ²	129,99
Cercha	230,61 kg	4,10 kgCO ₂ eq/kg	945,48
2.3 Revestimiento			
Estuco interior 1.5 cm	0,17 m ³	7,30 kgCO ₂ eq/m ³	1,21
Estuco exterior 2.5 cm	2,04 m ³	7,30 kgCO ₂ eq/m ³	14,88
Pintura elastomérica	65,03 m ²	0,22 kgCO ₂ eq/m ²	14,31
2.4 Pintura			
Latex acrílico x1 mano	153,60 m ²	1,30 kgCO ₂ eq/m ²	199,68
Esmalte al agua x1 mano	70,78 m ²	0,40 kgCO ₂ eq/m ²	28,31
2.5 Puertas			
Puertas de acceso	2,00 u	0,00 kgCO ₂ eq/u	0,00
Puertas interiores	3,00 u	0,00 kgCO ₂ eq/u	0,00
2.6 Ventanas			
Vidrio monolitico e=4 mm	12,48 m ²	3,19 kgCO ₂ eq/m ²	39,82
Marco PVC blanco perfil 74 mm	43,44 ml	39,54 kgCO ₂ eq/ml	1717,60
2.7 Guardapolvo MDF 14X45X3000 mm	94,99 ml	-0,09 kgCO ₂ eq/ml	-8,26
2.8 Cornisas poliestireno 40X50X3000 mm	104,64 ml	0,10 kgCO ₂ eq/ml	10,53
2.9 Suelos			
2.91 Suelo primer piso			
Cerámico 33x33 cm	33,40 m ²	33,64 kgCO ₂ eq/m ²	1123,72
2.92 Suelo segundo piso			
Alfombra tipo boucle 4 mm	42,38 m ²	1,30 kgCO ₂ eq/m ²	55,10
2.93 Suelo Baños (2° piso)			
Cerámico 33x33 cm	5,87 m ²	33,64 kgCO ₂ eq/m ²	197,39
Total; kgCO₂eq			4563,49
Total; TonCO₂eq			4,56

Fuente: Elaboración propia.



5.3. Análisis de Precio Unitario

Con respecto a los datos y valores utilizados en los análisis de precios unitarios, para el caso del hormigón armado se obtiene en base a la información entregada por manual Ondac del año 2017, en cuanto a la confección por CLT se otorgan por consultas realizadas a Constructora EBCO (Obra Condominio Petrel) a fin de confeccionar el análisis expuesto en las Tablas 6,7 y 8.

Tabla 8: APU hormigón

Nombre	Hormigón
Unidad	\$/m3
Fecha	15-04-2022

Item	Unidad	Rendimiento	Unidad	Cantidad(1/rend)	Unidad	P.U	Unidad	P. total	Unidad
Mano de Obra									
Cuadrilla Hormigonera	día	16,00	m3/día	0,06	día/m3	\$ 145.600	\$/día	\$ 9.100	\$/m3
							Total	\$ 9.100	\$/m3
							L.S.(30%)	\$ 2.730	\$/m3
							Total M.O.	\$ 11.830	\$/m3
Materiales									
Hormigón	m3	1,00	m3/m3	1,00	m3/m3	\$ 50.424	\$/m3	\$ 50.424	\$/m3
Moldaje	m2	0,33	m3/m2	3,00	m2/m3	\$ 12.600	\$/m2	\$ 37.800	\$/m3
							Total Materiales:	\$ 50.424	\$/m3
Equipos									
Bomba de Hormigonado	día	0,95	m3/m3	1,05	m3/m3	\$ 9.377	\$/día	\$ 9.871	\$/m3
Vibrador de inmersión	hora	5,00	m3/hora	0,20	hora/m3	\$ 625	\$/hora	\$ 125	\$/m3
							Total Equipo	\$ 9.996	\$/m3
							Total	\$ 72.250	\$/m3

Fuente: Elaboración propia.

Para una partida de hormigón el APU da como resultado \$72.250 \$/m³.

**Tabla 9: APU Enfierradura**

Nombre	Enfierradura
Unidad	\$/kg
Fecha	15-04-2022

Item	Unidad	Rendimiento	Unidad	Cantidad(1/rend)	Unidad	P.U	Unidad	P. total	Unidad
Mano de Obra									
Enfierrador + Ayudante	día	166,67	kg/día	0,01	día/kg	\$ 51.000	\$/día	\$ 306	\$/kg
							Total	\$ 306	\$/kg
							L.S.(30%)	\$ 92	\$/kg
							Total M.O.	\$ 398	\$/kg
Materiales									
φ 12	bar	5,33	kg/bar	0,19	bar/kg	\$ 780	\$/bar	\$ 146	\$/kg
Alambre	und	50,00	kg/und	0,02	und/kg	\$ 59.067	\$/und	\$ 1.181	\$/kg
							Total Materiales	\$ 1.328	\$/kg
Equipos									
							Total Equipo	-	\$/kg
							Total	\$ 1.725	\$/kg

Fuente: Elaboración propia.

Para una partida de enfierradura el APU da como resultado \$1.725 \$/kg.

Tabla 10: APU CLT

Nombre	Instalación CLT
Unidad	\$/m3
Fecha	15-04-2022

Item	Unidad	Rendimiento	Unidad	Cantidad(1/rend)	Unidad	P.U	Unidad	P. total	Unidad
Mano de Obra									
Maestro	día	1,25	m3/día	0,80	día/m3	\$ 35.000	\$/día	\$ 28.000	\$/m3
Maestro	día	1,25	m3/día	0,80	día/m3	\$ 35.000	\$/día	\$ 28.000	\$/m3
Maestro	día	1,25	m3/día	0,80	día/m3	\$ 35.000	\$/día	\$ 28.000	\$/m3
Maestro	día	1,25	m3/día	0,80	día/m3	\$ 35.000	\$/día	\$ 28.000	\$/m3
							Total	\$112.000	\$/m3
							L.S.(30%)	\$ 33.600	\$/m3
							Total M.O.	\$145.600	\$/m3
Materiales									
CLT	m3	1,00	m3/m3	1,00	m3/m3	\$144.029	\$/m3	\$144.029	\$/m3
GeI Visioelástico Sellador	und	1,05	m3/und	0,95	und/m3	\$ 7.555	\$/und	\$ 7.195,2	\$/m3
							Total Materiales	\$151.224	\$/m3
Equipos									
Grúa + Operador	día	5,00	m3/día	0,20	día/m3	\$130.000	\$/día	\$ 26.000	\$/m3
							Total Equipo	\$ 26.000	\$/m3
							Total	\$322.824	\$/m3

Fuente: Elaboración propia.Para una partida de Instalación CLT da como resultado \$322.824 \$/m³



En cuanto a los resultados obtenidos del análisis de precio unitario, se obtiene que considerando el ejercicio comparativo de la ejecución de un muro de 1m^3 se crea el siguiente escenario:

Tabla 11: Valores estimativos de viviendas.

Tipo de vivienda	
Hormigón Armado	5,53 UF/m ³
Madera CLT	10,02 UF/m ³
Mixta	7,58 UF/m ³

Fuete: Elaboración propia.

Para el caso de la vivienda mixta se contempla un 54% de hormigón armado y un 46% de CLT, cuyos valores se obtienen en base al análisis de que el primer piso de la casa corresponde a hormigón armado y el segundo piso a CLT, lo que conlleva a esto al desarrollo de 1m^3 se obtienen los porcentajes anteriormente mencionados.

6. DISCUSIÓN

6.1. Vivienda estudiada en hormigón armado.

Para el caso de la construcción de una vivienda tipo de dos niveles, considerando sólo la etapa de obra gruesa con hormigón armado, se obtiene un total aproximado de CO_2 producido de 53,34 toneladas, mientras que, por otra parte, si se considera la siguiente etapa de terminaciones, esta produce un total aproximado de CO_2 de 4,57 toneladas. Por ello se obtiene que una vivienda de estas características emite aproximadamente 57,90 Ton CO_2eq .

La partida que aporta en mayor en cantidad de CO_2 emitido se atribuye a muros y losas, correspondiendo a un 73,50% del total de las emisiones producidas por la vivienda, con un total de 42,56 toneladas de CO_2 emitidas al ambiente. Esto es algo que se podría deducir dado que en su elaboración en la casa de hormigón armado se utiliza hormigón y enfierradura, los cuales poseen un factor de emisión de 296,30 $\text{kgCO}_2\text{eq/m}^3$ y 8,89 $\text{kgCO}_2\text{eq/kg}$ respectivamente. Esto se debe a que el hormigón tiene mayor HdeC ya que en su proceso en cuanto al análisis del ciclo de vida desde la extracción de sus materias primas, transporte y elaboración de éstas para crear el hormigón generan emisiones que en comparación de las terminaciones que vienen a ser derivados de madera no tienen una HdeC tan elevada como el proceso del hormigón ya mencionado.

6.2. Vivienda estudiada en CLT.

Para el siguiente caso de la construcción de una vivienda tipo, de dos niveles, considerando sólo la etapa de obra gruesa con CLT, se obtiene un total aproximado de CO_2 producido de 18,50 toneladas, mientras que, si se considera la etapa de terminaciones, esta produce un total aproximado de CO_2 de 4,57 toneladas. Por ello se deduce que una vivienda de estas características emite aproximadamente 23,06 Ton CO_2eq .

La partida con más aporte en cantidad de CO_2 emitido se atribuye a muros y losas, correspondiendo a un 37,24% del total de las emisiones producidas, con 8,59 toneladas de CO_2 emitidas al ambiente, sin embargo, un porcentaje no menor del total, lo representa la fundación del edificio compuesta por hormigón armado, el cual emite 6,09 Ton CO_2eq . generando alrededor de un 26,41% del total calculado. Esto es algo que se podría esperar dado que para las etapas de losa y fundación en vivienda de CLT se utilizó hormigón y enfierradura, los cuales tiene un factor de emisión correspondiente a 296,30 $\text{kgCO}_2\text{eq/m}^3$ y 8,89 $\text{kgCO}_2\text{eq/kg}$ respectivamente, además de que para los muros se utilizó CLT, el cual tiene un factor de emisión de 242,25 $\text{kgCO}_2\text{eq/m}^3$. Se justifica lo mencionado anteriormente ya que en el proceso de la elaboración del hormigón y su uso las emisiones de CO_2eq determinadas a partir de su HdeC junto a la cantidad de material (cubicación) hacen que como resultado se obtenga la cantidad

antes mencionada, que viene a ser un porcentaje de emisiones cercano al CLT, en donde la explicación a ello es el factor de emisión elevado que posee el hormigón armado en comparativa al correspondiente al CLT.

6.3. Vivienda mixta

En cuanto al modelo de vivienda mixta de dos niveles, considerando sólo la etapa de obra gruesa con hormigón armado y CLT, se obtiene un total aproximado de CO₂ producido de 42,69 toneladas, mientras que, por otra parte, si se considera la siguiente etapa de terminaciones, esta produce un total aproximado de CO₂ de 4,56 toneladas. Por ello se deduce que una vivienda de estas características emite aproximadamente 47,25 TonCO₂eq.

La partida con más aporte en cantidad de CO₂ emitido se atribuye a muros y losas, correspondiendo a un 69,37% del total de las emisiones producidas, con un total de 38,78 toneladas de CO₂ emitidas al ambiente.

Es claro el lugar que ocupa la vivienda mixta en cuanto a los dos casos anteriores donde la totalidad de sus emisiones se encuentra entre ambos resultados debido a que como el primer piso está compuesto de hormigón armado lo cual en consecuencia posee la mayor parte de las emisiones de CO₂eq en comparación a lo emitido por el segundo piso que está compuesto por CLT, esta alternativa se transforma en un opción más amigable con respecto a la cantidad de emisiones como a su vez en cuanto a presupuesto si lo que se busca es una mejor calidad de vida y reducir la cantidad de CO₂eq.

6.4. Análisis comparativo.

6.4.1. Elemento estructural

a) Escalera

Según los resultados expuestos en la Figura 8 existe una diferencia de 866,07 kgCO₂eq entre las escaleras edificadas para casas de hormigón armado y casas de CLT, comenzando por un contraste marcado por una emisión de CO₂eq con respecto al hormigón armado, en cambio una absorción de CO₂eq por parte del CLT.

Lo anterior se justifica observando que para el caso de la escalera de hormigón armado se tiene un elevado factor de emisión de 296 kgCO₂eq/m³ para el hormigón y 8,89 kgCO₂eq/kg para la enfierradura, mientras que, para las escaleras fabricadas con madera es distinta la situación, ya que, en su ACV se indica un factor de -1,102 kgCO₂eq/ml.

En consecuencia, esto conlleva a que se tiene que las escaleras de hormigón armado y madera alcanzan un total de emisiones correspondiente a 834,86 kgCO₂eq y -31,21 kgCO₂eq respectivamente.

b) Muros y losas

Según los resultados expuestos en la Figura 9 en la etapa de muros se observa que, para las construcciones en hormigón armado, las emisiones corresponden a 24959,30 kgCO₂eq, mientras que las de una construcción de CLT corresponden a 7186,66 kgCO₂eq, lo que indica una diferencia de aproximadamente un 71,21%. Aquellas diferencias se deben, mayoritariamente, a que en las construcciones de CLT no se contemplan elementos estructurales como vigas y columnas, si no que se soporta en los paneles que la componen.

En cuanto al caso de *losas*, los valores para las construcciones en hormigón armado las emisiones corresponden a 17601,65 kgCO₂eq, mientras que las de una construcción de CLT corresponden a 1402,63 kgCO₂eq, lo cual indica una diferencia de aproximadamente un 92,03%. Esta diferencia se asocia a las diferencias de factor de emisión entre el hormigón armado y el CLT, donde al comparar los elementos de losas de las mismas dimensiones queda

en claro que las diferencias en sus resultados son afectadas por sus diferentes factores de emisión de CO₂, ahora bien si esto podría cambiar aún más si se agrega una mirada estructural a este elemento el cual para comportarse de forma rígida y de una manera similar para ambos materiales puede traer consigo que no tengan las mismas dimensiones lo que en consecuencia trae más diferencias en sus resultados de HdeC.

Al analizar el proceso constructivo de muros y losas se aprecia una notable diferencia de emisiones de CO₂, aquella diferencia está sobre el 70% en ambos casos, por lo cual se deduce que es aquí donde la diferencia entre ambos procesos productivos cobra mayor importancia y lleva a que una construcción emita más emisiones de CO₂ que la otra.

6.4.2. Resultados totales

Al comparar ambas viviendas, según los resultados expuestos en la Figura 10 considerando que son de dimensiones idénticas y solo cambia el material utilizado para la construcción, se obtiene que una casa de hormigón armado emite 57,90 TonCO₂eq, mientras que una de CLT emite tan solo 23,06 TonCO₂eq. De lo cual se deduce que una casa de hormigón armado genera 60,17% más emisiones que el CLT.

7. CONCLUSIONES

7.1. Comparativa de etapas de construcción de la vivienda.

Si bien el principal objetivo de este documento es la comparación de dos materiales protagonistas dentro de la elaboración de una vivienda, hormigón armado y madera tipo CLT, de manera general se pueden calcular según las etapas constructivas las cuales conllevan el uso de diferentes materiales como es el caso de la partida de terminaciones.

Para la etapa de obra gruesa en ambos casos analizados, tanto de hormigón armado como de CLT, con emisiones de aproximadamente 53,34 TonCO₂eq y 18,50 TonCO₂eq respectivamente, por lo demás para la etapa de terminaciones el valor es de un aproximado de 4,57 TonCO₂eq lo que deja en claro que la etapa más incidente es la de obra gruesa que es donde se deberían pensar en soluciones mitigadoras para este problema principalmente.

7.2. Hormigón armado y CLT

Se menciona en el punto anterior que el proceso constructivo con mayores emisiones de HdeC corresponde a la obra gruesa, donde para efectos de esta investigación se realiza una comparativa entre el hormigón armado y el CLT para una misma vivienda.

Queda en claro que el objetivo es la comparativa de ambos materiales bajo las mismas condiciones, por ello no se tiene en consideración el comportamiento estructural en el cual las dimensiones de estos cambiarían, no permitiendo la realización de un análisis en base a las mismas dimensiones.

Teniendo en cuenta lo anterior se obtiene que el hormigón es el material más contaminante con unas 57,90 TonCO₂eq frente a unas 23,06 TonCO₂eq correspondientes a la madera CLT, cifras justificables debido a las diferencias en sus factores de emisión donde, como era de suponer, el hormigón viene a entregar el mayor aporte, esto debido a que en el análisis del ciclo de vida del hormigón armado son mayores las emisiones de CO₂eq en base a las etapas de elaboración y extracción de materias primas, a diferencia del CLT, pues su factor de emisión se debe a la contaminación que se produce en su elaboración y no así desde la materia prima proveniente de los bosques, cuyos árboles que la componen se encargan de absorber las emisiones contribuyendo así de una manera positiva al medioambiente.

De lo planteado se puede deducir que finalmente la construcción en CLT es una medida mitigadora frente a la materialidad del hormigón armado para combatir las emisiones de HdeC que se producen en el área de la construcción. Por lo tanto, debido a la función importante de las oportunidades no tecnológicas en edificios, una reducción ambiciosa de GEI puede requerir un cambio cultural hacia una sociedad que adopte como valores principales la protección climática y el desarrollo sostenible, que conduzca a una presión social sobre la construcción y uso de edificios con disminución de huellas en el entorno (Metz, Davidson, Bosch, Dave, & Meyer, 2007)

Si se quiere estabilizar el clima será necesario reducir de forma sustancial, rápida y sostenida las emisiones de GEI para finalmente lograr cero emisiones netas de CO₂. Asimismo, limitar otros GEI y contaminantes atmosféricos, especialmente el metano, podría ser beneficioso tanto para la salud como para el clima (Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, 2021).

7.3. Vivienda mixta

Teniendo en cuenta una medida o forma de poder mitigar la problemática presentada, es un método que ya se está implementando que es un tipo de casa que está conformada por materialidad de hormigón armado y CLT, como es el caso las viviendas de la Obra Condominio Petrel ubicada en Calle 2 Norte, San Pedro de la Paz, donde el primer piso está confeccionado por hormigón armado y el segundo piso por CLT.

En base a esto se obtiene en el apartado de resultados que reduce 10,65 TonCO₂eq por ende es capaz de mitigar un 18,4% de emisiones.

En cuanto al presupuesto, al comparar la vivienda mixta con una vivienda de hormigón armado, esta última resulta ser más económica, con una diferencia de 2,05 UF/m³, sin embargo, comparativamente es más factible la alternativa mixta frente a una vivienda que esté constituida en su totalidad por materialidad de CLT, ya que existe una diferencia de 2,44 UF/m³ entre ambas viviendas, lo cual transforma esta opción en una manera de construir que sea amigable en cuanto a las emisiones de CO₂ y que a su vez no signifique consecuencias elevadas para un presupuesto de obra, ya que para toda constructora esto implica un negocio del cual debe tener una utilidad para la empresa y mandante, sin olvidar un costo de vivienda apropiado para el público objetivo.

8. REFERENCIAS

8.1. Bibliografía

Alvarado Alvarado & Medina Peña. (2019). *“Madera sustentable como material de construcción de edificaciones contra el cambio climático”*, memoria de título, Universidad Técnica Federico Santa María. Concepción, Chile.

Bula. (2009). *“Calentamiento global: verdades y especulaciones”*. Dimens. empres. - Vol. 7 No. 2, Dialnet. Colombia.

CO₂ emissions from building lifecycles. (2020). *“CO₂ emissions from building lifecycles”*, documento, Brovej. Dinamarca.

Chávez Godoy & Unquén Villanueva. (2011). *“Método de evaluación de patologías en edificaciones de hormigón armado en Punta Arenas”* memoria de título, Universidad de Magallanes. Punta Arenas, Chile.

Domoterra. (2016). *“LA HUELLA DE CARBONO y los proyectos de construcción”*, artículo. Ecuador.

- Espinoza Hijazin. (2010).** “*Efecto del curado interno en horigones y su aplicación como método complementario al curado tradicional en obra del hormigón*”, memoria de título, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.
- Fernández. (2020).** “*Edificación en altura con CLT: Soluciones constructivas*”, memoria de título, Universidad Politécnica de Madrid. España.
- Global Cement and Concrete Association. (2018).** “*GCCA Sustainability Guidelines for the monitoring and reporting of CO₂ emissions from cement manufacturing*”, revista. Inglaterra.
- Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. (2021).** “*Comunicado De Prensa Del IPCC*”, IPCC. Chile.
- Huerga. (2021).** “*Cómo contribuye el cemento al cambio climático*”, artículo. España.
- Ihobe. (2012).** “*Análisis De Ciclo De Vida Y Huella De Carbono*”, Sociedad Pública de Gestión Ambiental. España.
- Mancilla Peñaloza. (2017).** “*Comportamiento estructural (compresión y flexotracción) y eficiencia energética del hormigón con agregado de cartón y virutas metálicas, para una edificación de 3 pisos ubicada en Curicó*”, memoria de título, Universidad de Talca. Talca, Chile.
- Metz, Davidson, Bosch, Dave, & Meyer. (2007).** “*Cambio Climático 2007 Mitigación Del Cambio Climático*”. Países Bajos, Europa.
- Muñoz Sanguinetti & Quiroz Ortiz. (2014).** “*Análisis de Ciclo de Vida en la determinación de la energía contenida y la huella de carbono en el proceso de fabricación del hormigón premezclado. Caso estudio planta productora Región del Bío Bío, Chile*”, artículo, Universidad del Bío-Bío y Universidad del Desarrollo. Concepción, Chile.
- Muñoz Silva Jhon. (2019).** “*Medición y análisis de la Huella de Carbono asociado a la Construcción del nuevo edificio de Ingeniería de la Universidad Católica de la Santísima Concepción*”, memoria de título, Universidad Católica de la Santísima Concepción. Concepción, Chile.
- Plan de Acción Nacional de Cambio Climático. (2016).** “*Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022*”. Santiago, Chile.
- Primer diagnóstico sectorial de desarrollo sostenible en Chile. (2021).** “*Primer diagnóstico sectorial de desarrollo sostenible en Chile*”, Área técnica Chile green building council. Chile.
- Rojas M, Et al. (2019).** “*¿Qué es el cambio climático?*”. Ministerio del medio ambiente, Santiago, Chile.
- Sánchez & Reyes. (2015).** “*Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe*” Documento de proyecto. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Santiago, Chile.
- Santander Muñoz. (2020),** “*comparación de la eficiencia energética de calefacción y cálculo de huella de carbono de edificios del campus san andrés de la Universidad Católica De La Santísima Concepción*”, memoria de título, Universidad Católica de la Santísima Concepción. Concepción, Chile.
- Schneider & Samaniego. (2010).** “*La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios*”, Documento de proyecto. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Santiago, Chile.

8.2. Linkografía

Acuña, H., Easton, P., Ramos, C., & Torre, C. (2019). *El Sector de la Construcción ante el Desafío Climático Global*. Cámara Chilena de la Construcción. https://cchc.cl/uploads/archivos/archivos/Fundamenta_45.pdf

Arch2O.Com. (2021). *All You Need to Know About Cross Laminated Timber CLT*. <https://www.arch2o.com/cross-laminated-timber-clt/>

Arch2O.com. (2021). *Todo lo que necesitas saber sobre la madera contralaminada (CLT)*. <https://maderayconstruccion.com/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-la-madera-contralaminada-clt/>

Asociación de Investigación Técnica de las industrias de la Madera, (2015). *Productos estructurales y construcción en madera*. www.aitim.es

Astudillo Campos, C. (2022). *El CLT y sus 30 años de historia*. [Eligemadera.com. https://eligemadera.com/clt-y-sus-30-anos-de-historia/](https://eligemadera.com/clt-y-sus-30-anos-de-historia/)

Chilecubica.com. (2022). *Dosificaciones de hormigones y morteros*. <https://www.chilecubica.com/estudio-costos/dosificaciones-de-hormigones-y-morteros/>

ICH - Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. (2022). *Tamaño medio de viviendas por altura y total*. ICH. <https://ich.cl/estadisticas/tamano-medio-de-viviendas-por-altura-y-total/>

Leon, N. (2021). *Los Análisis de Precios Unitarios*. Data Construcción. <https://www.dataconstruccion.com/blog/analisis-de-precios-unitarios-apus>

Maderame.com. (2021). *Construcción con Paneles o Madera Contralaminada (CLT)*. <https://maderame.com/paneles-madera-contralaminada/>

Turull Puig, N. (2018). *El Análisis del ciclo de vida es la evolución necesaria para conseguir edificios realmente sostenibles*. Zero consulting. <https://blog.zeroconsulting.com/an%C3%A1lisis-ciclo-vida>

9. ANEXOS

Tabla 12: Factores de emisión de CO₂ equivalentes para materiales de construcción en kg.

Material	Factor de emisión	Material	Factor de emisión
Emplantillado	0,22 kgCO ₂ eq/m ³	Cercha	4,10 kgCO ₂ eq/kg
Hormigón de Fundaciones	251,50 kgCO ₂ eq/m ³	Estuco	7,30 kgCO ₂ eq/m ³
Enfierradura	8,89 kgCO ₂ eq/kg	Latex acrílico	1,30 kgCO ₂ eq/m ²
Hormigón	296,30 kgCO ₂ eq/m ³	Esmalte al agua	0,40 kgCO ₂ eq/m ²
CLT	242,25 kgCO ₂ eq/m ³	Pintura elastomérica	0,22 kgCO ₂ eq/m ²
Madera	-1,10 kgCO ₂ eq/ml	Puertas (acceso e interiores)	0,00 kgCO ₂ eq/u
Emplacado	12,70 kgCO ₂ eq/m ²	Vidrio monolítico	3,19 kgCO ₂ eq/m ²
Aislación	2,10 kgCO ₂ eq/m ²	Marco PVC	39,54 kgCO ₂ eq/ml
PIT 900	15,90 kgCO ₂ eq/m ²	Guardapolvo	-0,09 kgCO ₂ eq/ml
Yeso cartón	2,60 kgCO ₂ eq/m ²	Cornisas poliestireno	0,10 kgCO ₂ eq/ml
Enlucido de yeso	0,60 kgCO ₂ eq/m ²	Cerámico	33,64 kgCO ₂ eq/m ²
		Alfombra	1,30 kgCO ₂ eq/m ²

Fuente: Elaboración propia, basado en Fernández Quintana, Janitza, 2020.