



Metodología de optimización para el uso de yeso cartón y Metalcon en un proyecto habitacional

Optimization methodology for the use of plasterboard and steel profiles in a housing project

Fecha de entrega: 18 de marzo 2022

Fecha de aceptación: 25 de agosto 2022

Guillermo Bustamante, Isidora Pino y Christian Molina

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Alonso de Ribera 2850, Casilla 297, Concepción, Chile, gbustamante@ucsc.cl, ipino@ing.ucsc.cl, christian.molina@ucsc.cl

En la actualidad donde más residuos se producen es en la construcción a nivel mundial, generándose alrededor del 35% de residuos sólidos en el mundo y un porcentaje similar en Chile. Por cada metro cuadrado construido se producen 0.26 m³ de residuos, aproximadamente en la etapa de construcción. En la presente investigación se analizó la obra de edificación en extensión San Andrés del Valle de la constructora Aitue ubicada en la ciudad de Concepción, región del Bío Bío, Chile. Se busca desarrollar una propuesta para minimizar la pérdida de materiales, en concreto dos elementos de los más utilizados en la construcción de viviendas, como lo son las planchas de yeso cartón y perfiles de Metalcon. De esta forma, se puede optimizar los materiales mencionados, disminuir la cantidad de residuos y, por ende, tener una obra más limpia. Además, se realiza un análisis económico del ahorro generado producto de una optimización en obra de los materiales en estudio.

Palabras clave: optimización, residuos de construcción, planchas de yeso cartón, perfiles Metalcon

Currently in construction is where most waste is produced worldwide, generating around 35% of solid waste in the world and a similar percentage in Chile. For every square metre built, 0.26 m³ of waste is produced, approximately in the construction stage. In the present investigation, the construction work was analysed in the San Andrés del Valle extension by Aitue construction company located in Concepción city, Bío Bío region, Chile. What it is looking for is to develop a proposal to minimize the loss of materials, specifically two of the most used elements in the construction of houses, such as plasterboard and galvanized steel profiles. In this way, the aforementioned materials can be optimized, reducing the quantity of residues and therefore, have a cleaner work. In addition, an economic analysis of the savings generated as a result of an on-site optimization of the materials under study is carried out.

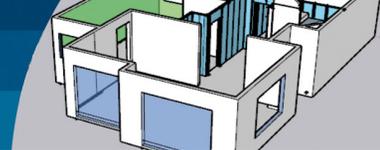
Keywords: optimization, construction waste, plasterboard, Metalcon galvanized steel profiles

Introducción

El sector de la construcción es uno de los sectores más conservadores a la hora de innovar, manteniendo los mismos procesos constructivos durante años (Pape y Nazer, 2021), a pesar de que estos procesos muchas veces generan un gasto excesivo de materiales y una generación de residuos de construcción, que puede superar el 35% de residuos sólidos tanto a nivel mundial como nacional (Aleksanin, 2019; Ghaffar *et al.*, 2020; MINVU, 2018; Véliz *et al.*, 2022).

Se proyecta que para el año 2030 en Chile se construyan 1500000 nuevas viviendas. Esto producto del aumento en la población. Lo que producirá un aumento en los residuos

en el país, incrementando en un 373% los desechos que se están generando actualmente, ocasionando un impacto ambiental irreversible. En Chile se genera alrededor de 0.26 m³/m² de residuos de construcción y demolición comparado, por ejemplo, con 0.15 m³/m² en Europa (Véliz *et al.*, 2022). Además, esto repercute económicamente a las constructoras, ya que los residuos conllevan un costo económico de almacenamiento, botadero y traslado. El residuo ha sido evaluado en 9.46 US\$/m³ (Bravo *et al.*, 2019), por ende, al generar más residuos aumenta el gasto en estas partidas. Es por esto, que se hace imprescindible crear nuevas propuestas para revertir y minimizar lo máximo posible, tanto el impacto económico como



ambiental, beneficiando al medioambiente y la utilidad de cada proyecto (MINVU, 2018).

En este estudio se analizan específicamente los materiales de Metalcon y planchas de yeso cartón para optimizar sus procesos constructivos, esto dado la cantidad de pérdidas generadas en las obras de la constructora Aitue buscando disminuir sus residuos y compra de material a través de nuevas metodologías en el proceso constructivo.

En la actualidad existen estudios de análisis de las principales pérdidas en materiales en obras de edificación (Bravo, 2018; Guarda, 2008) y de cuantificación económica de los residuos de construcción (Bravo *et al.*, 2019). Si bien también existen estudios de optimización económica a través de la reducción de residuos (Chandrakanthi *et al.*, 2002; Patel y Patel, 2016; Wang *et al.*, 2019), no existen estudios acabados de optimización de procesos constructivos para evitar pérdidas en los materiales Metalcon y planchas de yeso.

Planteamiento del problema

La empresa constructora Aitue SA encargada de desarrollar el proyecto inmobiliario San Andrés del Valle, ha propuesto encontrar la solución al problema de los residuos de yeso cartón y Metalcon producidos en obra. Para así poder optimizar sus procesos constructivos implementando nuevas tecnologías y metodologías, minimizando así el impacto tanto económico como ambiental. Se busca controlar las cubiccaciones y, la optimización de los materiales en el proceso constructivo y el residuo generado en las distintas etapas. Además, de encontrar el valor de incremento por unidad de material en estudio, para así conocer cómo éstos se ven incrementados en su valor final debido a las fases por las que debe pasar.

Descripción de la obra

El presente estudio se realizó para la Constructora Aitue SA en su proyecto de edificación en extensión denominado San Andrés del Valle etapa 7 (SAV7), ubicado en el sector de Tierras Coloradas, a un costado del aeropuerto internacional Carriel Sur, próximo al río Andalién en la comuna de Concepción, región del Bío Bío, como se puede evidenciar en la Figura 1. En la actualidad ya se encuentra en proceso de construcción la octava etapa, con una proyección de más etapas dentro del sector.



Figura 1: Ubicación del proyecto en estudio

En el proyecto se construyen 3 distintos tipos de viviendas, siendo la de estudio la tipo C, como se puede ver en la Figura 2, la cual cuenta con 3 dormitorios y una superficie construida de 115.6 m². Existiendo 12 casas tipo C en la obra (SAV7C). Los materiales analizados en el presente estudio son utilizados en tabiquería, muros estructurales de 2do piso, y estructura de techumbre en el caso de Metalcon que a su vez está revestido en su gran mayoría por planchas de yeso cartón en revestimiento interior de muros estructurales de 2do piso, tabiquería, zonas húmedas y cielos. Las ventanas son de pvc folio madera con vidrios termopanel.



Figura 2: Casa de estudio tipo C (SAV7C)

Residuos de construcción

La mayor cantidad de residuos en los procesos constructivos son generados producto de la inadecuada cubiccación en la etapa de diseño, lo que conlleva, a una compra en exceso de material, y por el mal manejo y aprovechamiento de



los materiales en la etapa de construcción. Lo que sumado conlleva a una generación innecesaria de residuos en obra.

El impacto que generan los residuos sólidos de la construcción, se proyecta en al menos 7.4 millones de toneladas para el año 2025 (Véliz *et al.*, 2022). Tan solo la región Metropolitana aporta un 31% de la cantidad total de residuos sólidos en la construcción en Chile, seguida por la región de Valparaíso con un 7.1% y un 5.3% la región del Bío Bío, provocado por el gran auge de desarrollo inmobiliario en dichas regiones (MMA, 2020).

Metodología

En este estudio se abordará la metodología propuesta para obtener los resultados con los cuales se realizará un procedimiento de optimización de los materiales analizados.

Cubicación de residuos

Para tener un conocimiento estimado de la cantidad de residuos que se pierde por la manipulación de los materiales de estudio, se realizó una cubicación en terreno de los desechos generados. Esto se ejecutó de forma manual. El principal objetivo de esta etapa es conocer el porcentaje de restos con respecto a la cantidad total de material para la vivienda tipo C.

La forma de realizar la cubicación, en el caso de las planchas de yeso cartón, fue calculando el área de las piezas de residuos e identificando su clasificación (plancha RH de 12.5 mm o ST de 10 mm y 15 mm), mientras que para el Metalcon se cubió a partir de los largos de los sobrantes junto con su clasificación (Perfil 60CA085, 62CA085, 90CA085, PORTANTE C.40R, 40CA085, 92C085 y 40 OMA085).

Ciclo de vida de materiales en estudio

Antes de realizar un proceso de optimización de los materiales en estudio, es necesario conocer el valor de todo el ciclo por unidad de cada material analizado. Para esto es imprescindible conocer todas las fases en las que éstos se ven involucrados, considerando las siguientes etapas:

Compra de material

En esta etapa se cotiza y realiza la compra de los materiales, dependiendo de la cantidad; ya que, puede ser parcializado. El precio de compra tiene una repercusión directa en el

valor total del ciclo de vida del material, ya que, si es comprado en exceso producto de una mala cubicación o por mala manipulación, se considerará, además, como pérdida. En la Tabla 1 se evidencia el valor de compra de los materiales en estudio.

Tabla 1: Costo de materiales en estudio

Clases	Valor compra, \$	Cantidad
Planchas yeso cartón		
Volcanita ST 15 mm	3990	58
Volcanita ST 10 mm	3600	17
Volcanita RH 12.5 mm	6784	15
Perfiles Metalcon		
Perfil 60 CA085 6 m	3895	11
Perfil 62 CA085 6 m	2669	16
PERFIL 90 CA085 6 m	5057	68
Perfil PORTANTE C.40 R 6 m	3242	54
Perfil 40 CA085 6 m	4077	10
Perfil 92 C085 6 m	4414	37
Perfil 40 OMA085 6 m	4077	57

Recepción en bodega

La recepción es supervisada por el jefe de bodega y un ayudante, los que se preocupan de recibir el material, descargarlo y acopiarlo.

Traslado de material a terreno

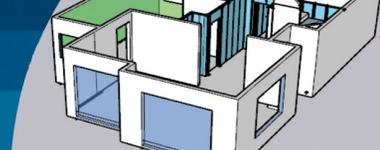
El traslado de material es realizado con ayuda de un montacarga y un jornal, supervisado y autorizado por el personal de bodega.

Instalación de material

El proceso de instalación del material es pagado a un subcontrato, que con una cuadrilla realiza las operaciones de corte e instalación del material. El costo de esta etapa no es considerado en el ciclo de vida de los materiales, ya que es un trabajo pagado por vivienda y no por unidad de material.

Limpieza de residuos en vivienda

La limpieza de residuos en vivienda se realiza, en primera instancia, por dos jornales de aseo que juntan los restos dentro de la casa para mantener la limpieza en su interior, y después otros dos jornales de aseo llevan todos estos residuos fuera de la casa para cargarlos con apoyo de una



retroexcavadora, que luego los trasladará al sector de acopio de residuos que se encuentra debidamente clasificado.

Retiro de residuos de obra

El retiro de residuos se realiza con la ayuda de dos jornales y el prevencionista de riesgos que supervisa el cargado de los residuos por parte de la empresa transportista, para luego ser llevado a destinos como la planta de compra de chatarra en el caso de los perfiles de Metalcon y planta de tratamiento en el caso de las planchas de yeso cartón.

Luego de identificar las fases por las que pasa el material se procede a realizar las mediciones en terreno, midiendo el tiempo de demora para cada una de las etapas de material que es utilizado en la vivienda tipo C.

Softwares utilizados

A continuación, se presentan los softwares que se utilizaron para realizar el estudio de optimización de los materiales analizados.

CutMaster 2D

Para el desarrollo del presente estudio se utiliza el software CutMaster 2D (2015) que optimiza el dimensionamiento de los materiales, generando a su vez una menor cantidad de residuos producto del buen aprovechamiento del material. Si bien, existen variados softwares que resuelven la problemática en cuestión, en este estudio se hace uso del programa anteriormente mencionado.

El corte definido es vital para la producción optimizada de piezas, con la menor cantidad de residuos, donde el software CutMaster 2D (2015) proporciona todas las herramientas para lograr el máximo rendimiento del material. En la pantalla principal del programa se ingresan los datos de entrada, como dimensiones del material y las dimensiones de los cortes requeridos, como se puede evidenciar en la Figura 3.

Tableros (0)

Descripción	Longitud	Ancho	Cant.
Volcanita ST 15mm	240	X 120	55
Iniciales	Longitud	Ancho	Cant.
2. D2	78	X 155	1

Figura 3: Ejemplo de ingreso de datos de entrada del material y de corte al programa CutMaster 2D

El programa generará un proceso iterativo hasta entregar la mejor propuesta de cortes requeridos en base a los datos de entradas, como se puede evidenciar en la Figura 4. Entregando además información relevante referente al porcentaje de utilización por material, promedio de utilización por el total del material, cantidad de residuos que se generan, planos de cortes, entre otros datos relevantes, como se ve en la Figura 5.

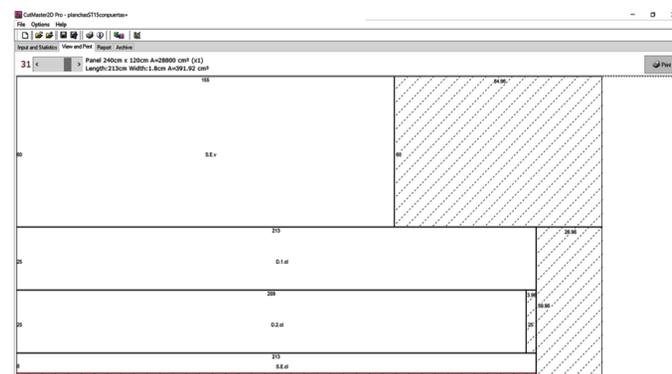


Figura 4: Ejemplo de plano de cortes entregado por el software CutMaster 2D

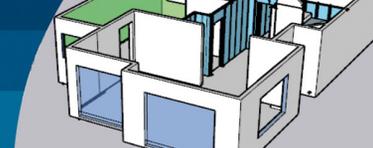
Partes ingresadas	146
Partes usadas	146
Tableros usados	51
Área de partes (cm ²)	1397982
Utilidad promedio	95.18
Utilidad del último tablero (%)	77.8
Longitud de corte (cm)	34856.08
Longitud de borde (cm)	0

Figura 5: Ejemplo de datos estadísticos calculados por el software CutMaster 2D

SketchUp

Otro programa utilizado dentro del estudio es el software SketchUp (2017), desde donde se realiza el modelamiento 3D para posteriormente crear un manual de instalación con los cortes de planchas y a su vez, optimizar sus cortes de manera gráfica, dado que es una representación gráfica del material ya instalado. De esta forma se puede estandarizar y mostrar a los trabajadores en obra la metodología de instalación, ya que permite una mejor comprensión que los modelos actualmente utilizados en 2D.

Para la representación gráfica de la vivienda es necesario tener los planos estructurales actualizados en su última versión y de esta forma llevar estas dimensiones al



software obteniendo un modelamiento 3D lo más acotado a la realidad, como se puede evidenciar en la Figura 6.

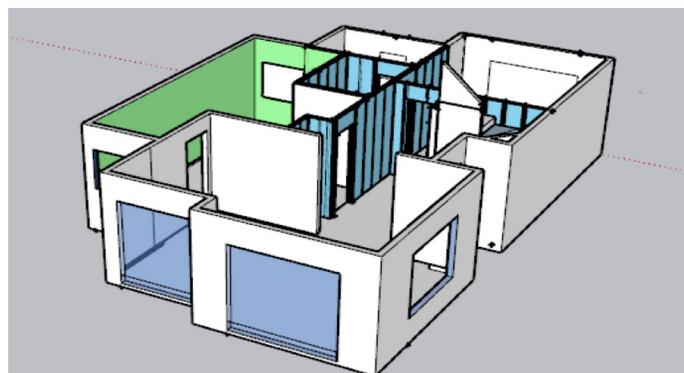


Figura 6: Modelamiento en 3D del 1er piso de vivienda tipo C usando SketchUp

Cubicación de residuos

En los siguientes apartados se muestran los resultados de la cubicación de residuos de yeso cartón y Metalcon que actualmente hay en la obra para la casa tipo C. En la Tabla 2 se evidencia la cubicación en m² de residuos de yeso cartón y el área total de material que es destinado para la vivienda, obteniendo el porcentaje de residuos con respecto al material destinado a la vivienda.

En la Tabla 3 se encuentran la cubicación en kilos de residuos de Metalcon y el total de material destinado para la vivienda, obteniendo el porcentaje de residuos con respecto al material destinado a la vivienda.

Tabla 2: Cubicación de residuos de yeso cartón

Clases	m ² destinados	Cantidad residuos, m ²	%
Volcanita ST 15 mm	167.04	16.64	10
Volcanita ST 10 mm	48.96	7.48	15
Volcanita RH 12.5 mm	31.68	6.43	20

Tabla 3: Cubicación de residuos de Metalcon

Clases	kg destinados a la casa	Cantidad residuos, kg	%
Perfil 60 CA085 6 m	360.6	25.9	7
Perfil 62 CA085 6 m	69.1	4.3	6
Perfil 90 CA085 6 m	879.7	214.4	24
Perfil PORTANTE C.40 R 6 m	123.1	9.3	8
Perfil 40 CA085 6 m	49.8	7.7	15
Perfil 92 C085 6 m	222.0	17.8	8
Perfil 40 OMA085 6 m	330.4	26.1	8

Cabe mencionar que se contabilizaron 20 perfiles de residuos que superaban 1 m de longitud, llegando a 1.81 m el perfil más largo. El promedio de longitud de los residuos es de 69.8 cm.

Ciclo de vida de los materiales de estudio

En base a las fases identificadas anteriormente, se obtienen los resultados de los tiempos necesarios para cada actividad involucrada en el ciclo de vida de las planchas de yeso cartón, como se puede evidenciar en la Tabla 4, y en el ciclo de vida de los perfiles de Metalcon en la Tabla 5.

Tabla 4: Tiempo de demora para la totalidad de planchas

Actividad	Recursos	Tiempo, min
Recepción en bodega	Jefe de bodega	40
	Jornal	40
	Montacargas+operador	40
Traslado de material a terreno	Jornal	78
	Retroexcavadora +operador	24
Limpieza residuos en terreno	2 jornales de aseo	48
	2 jornales	37
	Retroexcavadora +operador	25
Retiro de residuos	Prevencionista	0.34
	2 jornales	0.34

Tabla 5: Tiempo de demora para la totalidad de perfiles

Actividad	Recursos	Tiempo, min
Recepción en bodega	Jefe de bodega	30
	Jornal	30
	Montacargas Manitou +operador	30
Traslado de material a terreno	Jornal	33
	Montacargas Manitou +operador	23
Limpieza residuos en terreno	2 jornales de aseo	34
	2 jornales	30
	Retroexcavadora +operador	30
Retiro de residuos	Prevencionista	0.24
	2 jornales	0.24

Valorización ciclo del material

Luego de obtenido los tiempos necesarios para realizar cada actividad, se procede a agregar un costo a este ciclo de los materiales en estudio, que es calculado, considerando los sueldos de los trabajadores como se evidencia en la

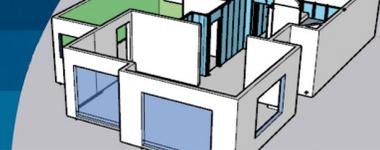


Tabla 6 y los costos de las maquinarias como se evidencia en la Tabla 7. Estos costos son valorizados por minuto para unificar las unidades de medidas.

Tabla 6: Valorización de mano de obra

Trabajador	\$/mensual	\$/día	\$/h	\$/min
Jefe de bodega	660000	22000	2750	46
Jornal	450000	15000	1875	31
Prevencionista	700000	23333	2917	49

Tabla 7: Valorización de maquinarias

Maquinaria	\$/h	\$/min
Retroexcavadora	16000	267
Manitou	15700	262
Montacargas	16000	267

Cabe mencionar que se le agrega al costo, para ambos materiales, el transporte de retiro de residuos y su botadero. En el caso del yeso cartón es trasladado a la planta de tratamiento HIDRONOR ubicada en la comuna de Florida, región del Bío Bío. Con los siguientes costos:

- Costo de transporte desde obra a botadero: \$150000
- Costo por kilo de recepción de residuo yeso cartón (c/ IVA): \$70

En el caso del Metalcon es comprado por una empresa de tratamiento de chatarra, la que incluye el transporte, con los siguientes valores:

- Valor de compra por kilo: \$120

A partir de todos los datos anteriores se pueden traspasar los resultados de tiempo en cada una de las fases a un costo asociado que conlleva cada tipo de material. Se agrupan las fases de recepción en bodega y traslado de material a terreno en el ítem costo de mano de obra y maquinarias. Además, se agrupan las fases de limpieza en terreno, el retiro y el costo del tratamiento del residuo en el ítem de costo desecho residuos.

En la Tabla 8, se evidencia el ciclo de vida valorizado de las planchas de yeso cartón.

En la Tabla 9 se encuentra el ciclo de vida valorizado del Metalcon. Cabe mencionar que el costo de desechos en el caso de este material es negativo, ya que, no es un gasto para la constructora si no que este material es comprado

por una empresa de tratamiento de chatarra por lo que el valor queda como ingreso a la constructora.

Tabla 8: Valor total del material yeso cartón

Valor de ciclo de vida de una plancha de yeso cartón				
Tipo	Valor compra	Costo mano de obra y maquinarias, \$/plancha	Costo desecho residuos, \$/plancha	Total valor material
Volcanita ST 15 mm	3990	371	4411	8772
Volcanita RH 12.5 mm	3895	371	3712	7978
Volcanita ST 10 mm	3600	371	3155	7126

Tabla 9: Valor total del material Metalcon

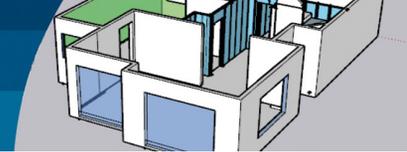
Valor de ciclo de vida de una perfil de Metalcon				
Tipo	Valor compra	Costo de mano de obra y maquinarias, \$/perfil	Costo desecho residuos, \$/perfil	Total valor material
Perfil 60 CA085 6 m	3895	50	-409	3536
Perfil 62 CA085 6 m	2669	50	-306	2413
Perfil 90 CA085 6 m	5057	50	-523	4584
Perfil Portante C.40 R 6 m	3242	50	-159	3133
Perfil 40 CA085 6 m	4077	50	-351	3776
Perfil 92 C085 6 m	4414	50	-424	4040
Perfil 40 OMA085 6 m	4077	50	-414	3713

Propuesta de optimización

A continuación, se explica el paso a paso de la metodología propuesta para la optimización de los materiales en estudio.

Yeso cartón

Como primer paso hay que realizar una modelación de planos en 3D en programas habilitados para dicha



actividad, en este estudio se utilizó SketchUp (2017). Se modelan las distintas tipologías de vivienda, incluyendo la estructura de Metalcon para poder hacer una optimización de planchas de yeso cartón lo más acotado a la realidad, como se observa en la Figura 7. Para este primer paso, se necesitan los planos de arquitectura y detalle de Metalcon de cada tipología de casa, en su última versión.

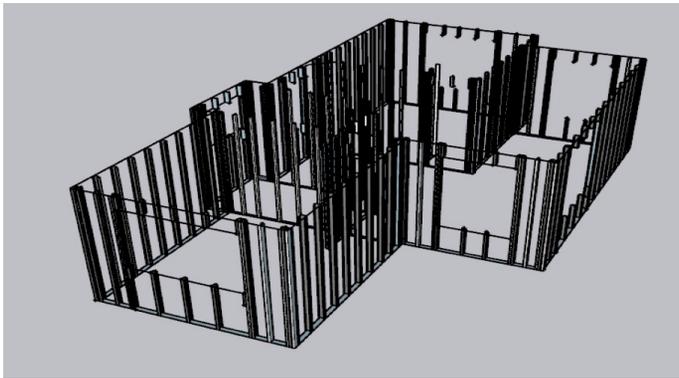


Figura 7: Modelamiento en 3D de 2do piso de vivienda tipo C

En segundo lugar, se utiliza el programa CutMaster 2D (2015) para optimizar el dimensionamiento de las planchas, con la metodología descrita a continuación.

Comenzar con la instalación de planchas enteras en paredes lisas, que no tengan puertas ni ventanas, partiendo desde las esquinas. Realizando este paso para toda la casa antes de proceder con cortes en planchas.

Iniciar con la instalación de planchas enteras en closets, partiendo desde las esquinas. Realizando este paso para toda la casa antes de proceder con cortes en planchas.

Luego empezar con la instalación de las planchas en vanos para ventanas, se propone dos tipos de cortes dependiendo de las dimensiones de la ventana. El primer caso es realizar cortes rectangulares de mayor longitud, como se ve en la Figura 8a y para el segundo caso con ventanas de dimensiones mayores se propone la solución de cortes con mayor área, como se evidencia en la Figura 8b.

Posteriormente, seguir con los vanos para puertas. En este caso, se recomienda hacer cortes de forma rectangular y utilizar los retazos de planchas de los puntos anteriores. A continuación, en la Figura 9, se muestra el ejemplo para realizar los cortes en puertas.

Todos los cortes sobrantes de las etapas antes mencionadas, rectangulares o irregulares (interior de closets, *shafts*,

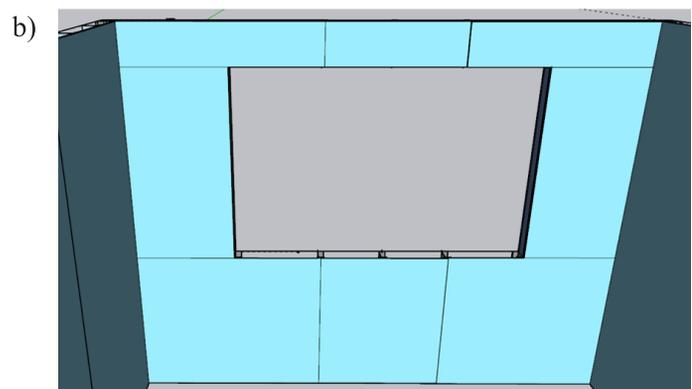
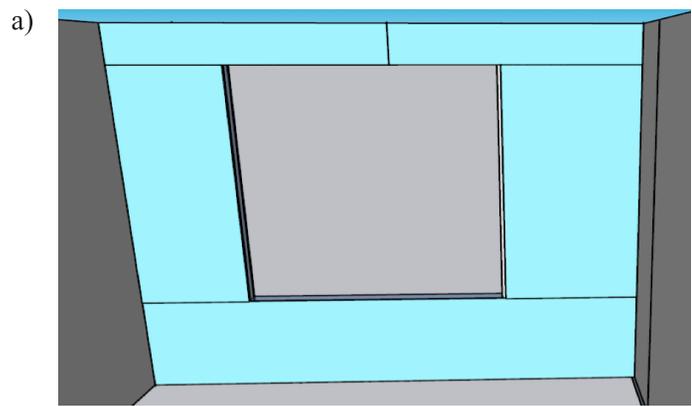


Figura 8: Propuestas de cortes en vanos de ventanas: a) menos cortes para ventana más grande y b) más cortes para ventana más pequeña

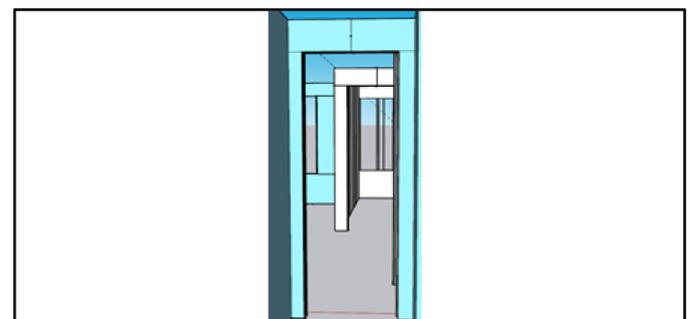
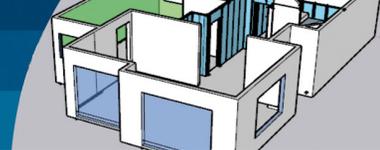


Figura 9: Propuesta de cortes en vanos de puertas

terminaciones, entre otros) deben volver al proceso de optimización por medio del software CutMaster 2D (2015), de tal forma de optimizar la mayor cantidad de piezas en las planchas disponibles.

Para terminar todo este proceso se crea un manual de instalación donde se mostrará las distintas disposiciones de planchas de yeso cartón que serán utilizadas en la casa tipo C. Este manual servirá para la instalación en terreno, proceso que debe ser repetido para optimizar todos los cortes dependiendo de las tipologías de casas.



Metalcon

Se realiza una cubicación de Metalcon lo más detallada posible, considerando el material a utilizar tanto en la estructura de techumbre como en la tabiquería de la vivienda. De esta forma se realizan los cortes unificando ambas partidas, generando así una optimización en conjunto, ya que, actualmente los cortes son realizados por separado y dependiendo de la etapa de construcción de la vivienda, sin aprovechar en la totalidad el material y generando más residuos.

Luego se ingresan los datos que se agruparon anteriormente en el programa CutMaster 2D (2015), manteniendo el ancho constante y solo variando los largos como se ve en la Figura 10. El programa calculará las mejores combinaciones de los cortes para lograr la mejor optimización de estos. Además, entrega el resultado de las combinaciones de forma gráfica como se evidencia en la Figura 11.

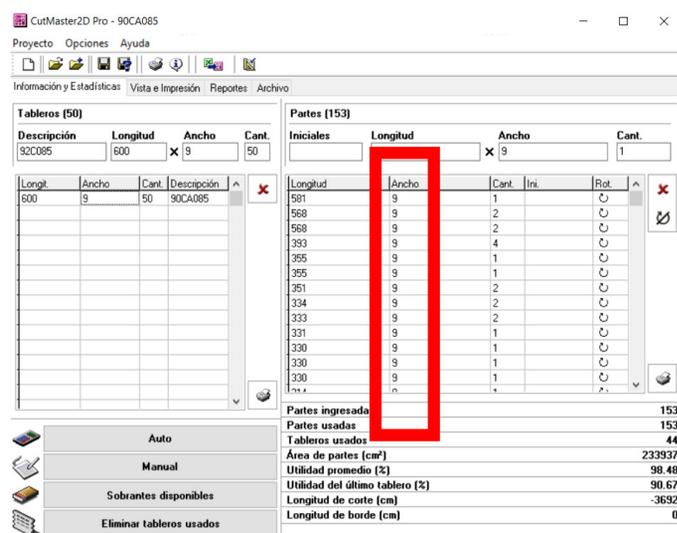


Figura 10: Ingreso de datos a CutMaster 2D ancho constante (demarcado en rojo)

Verificación de la metodología optimización de material

A partir de la metodología propuesta para los materiales de estudio, se procede a analizar sus resultados y si efectivamente se puede optimizar el uso de los materiales. En la Tabla 10 se observa la cantidad de material que efectivamente es posible disminuir con la nueva metodología.

A pesar de que hubo algunos materiales en los que no fue posible la reducción de material, si fue posible en otros como son el caso de volcanita ST 15 mm y volcanita RH

12.5 mm, para el caso de las planchas de yeso cartón, y en perfiles de 60CA085, 62C085, 90CA085 y 92C085, en el caso del Metalcon, fue efectivamente posible disminuir con la nueva metodología.

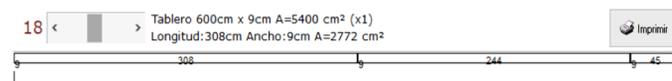


Figura 11: Plano de corte entregado por el software

Tabla 10: Comparación de cantidad de material utilizado

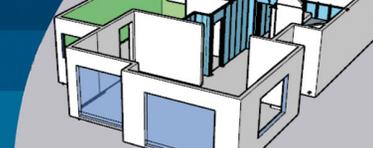
MATERIAL	Material actualmente utilizado	Material a utilizar con nueva metodología
	Planchas	
Volcanita ST 15 mm	58	52
Volcanita ST 10 mm	17	17
Volcanita RH 12.5 mm	15	12
Perfiles		
Perfil 60 CA085 6 m	11	10
Perfil 62 CA085 6 m	16	14
Perfil 90 CA085 6m	68	50
Perfil portante C.40 R 6 m	54	54
Perfil 40 CA085 6 m	10	10
Perfil 92 C085 6 m	37	27
Perfil 40 OMA085 6 m	57	57

Verificación de metodología de disminución de residuos

Para la siguiente etapa, el estudio se enfoca en los materiales que sí pudieron ser optimizados. Al disminuir la cantidad de material a ser utilizado, sus residuos también disminuirán. En la Tabla 11 encontramos la comparativa de porcentaje de residuos generados actualmente con los generados con la nueva metodología.

Tabla 11: Comparación de residuos

MATERIAL	% de residuos actualmente	% de residuos con nueva metodología
Volcanita ST 15 mm	10	3
Volcanita RH 12.5 mm	20	10
Perfil 60 CA085 6 m	7	4
Perfil 62 CA085 6 m	6	5
Perfil 90 CA085 6 m	23	6
Perfil 92 C085 6 m	8	5



En la Tabla 11 se puede evidenciar que fue posible disminuir hasta en un 74% los residuos en el caso de los perfiles 90 CA085 6 m y en un 70% en Volcanita ST 15 mm, lo que implicaría un ahorro en la compra de materiales para la constructora y al mismo tiempo, hacer la obra más limpia.

Comparación valor de ciclo de vida de los materiales

De los valores obtenidos en el apartado anterior Valorización ciclo del material, se obtuvo un valor total del material por unidad, del cual se puede calcular su incremento en comparación al valor de compra por unidad sin incluir el ciclo de vida.

En el caso de las planchas de yeso cartón en la Tabla 12 se puede evidenciar cuanto es el porcentaje de incremento de precio, en algunos casos superando el 220% en el valor inicial de compra, como en el tipo Volcanita RH 12.5 mm.

Tabla 12: Incremento en el valor de compra de plancha de yeso cartón, incluyendo el ciclo de vida

Tipo	Valor compra, \$	Total valor material, \$	Incremento
Volcanita ST 15 mm	3990	8772	220%
Volcanita RH 12.5 mm	3895	7978	205%
Volcanita ST 10 mm	3600	7126	198%

En el caso del Metalcon, su ciclo de vida es totalmente distinto, como se puede ver en la Tabla 13 no existe

incremento en el valor final de los distintos tipos de perfiles, sino que, su valor se ve disminuido, esto debido a la venta de estos residuos, es por ello que el valor final del material es menor al de compra.

Tabla 13: Disminución en el valor de compra del Metalcon

Tipo	Valor compra, \$	Total valor material, \$	Disminución
Perfil 60 CA085 6 m	3895	3536	9%
Perfil 62 CA085 6 m	2669	2413	10%
Perfil 90 CA085 6 m	5057	4584	9%
Perfil Portante C.40 R 6 m	3242	3133	3%
Perfil 40 CA085 6 m	4077	3776	7%
Perfil 92 C085 6 m	4414	4040	8%
Perfil 40 OMA085 6 m	4077	3713	9%

Cabe destacar, que el incremento en la compra de materiales incluye el precio final considerando el ciclo de vida obtenido en el apartado Valorización ciclo del material, por ende, es preciso optimizar el total de compra de materiales con una cubicación según la nueva metodología propuesta, para disminuir el precio final por toda la partida.

Comparación de costos

Al disminuir la cantidad de material con la nueva metodología de optimización, también se ve disminuido el total de compra de materiales, generando un primer ahorro monetario y, por consiguiente, una disminución de residuos.

Tabla 14: Comparación de costos plancha yeso cartón

Método actual						
Tipo plancha	Cantidad planchas	Valor plancha, \$	Costo total de compra, \$	Residuos, m ²	Valor residuos por plancha, \$	Valor por total residuos, \$
Volcanita ST 15 mm	58	3990	231420	16.64	4196	24243.56
Volcanita RH 12.5 mm	15	6784	101760	6.4	3497	7771.11
Total compra			333180	Valorización de residuos		32015
Propuesta optimizada						
Tipo plancha	Cantidad planchas	Valor plancha, \$	Costo total de compra, \$	Residuos, m ²	Valor residuos por plancha, \$	Valor por total residuos, \$
Volcanita ST 15 mm	52	3990	207480	5	4196	7284.72
Volcanita RH 12.5 mm	12	6784	81408	1.5	3497	1821.35
Total compra			288888	Valorización de residuos		9106

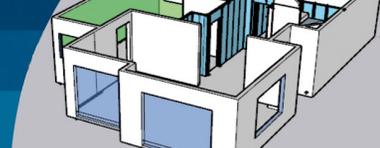


Tabla 15: Comparación de costos perfiles de Metalcon

Método actual						
Tipo perfil	Cantidad perfiles	Valor perfil, \$	Costo total de compra, \$	Residuos, kg	Valor residuos por perfil, \$	Valor por total residuos, \$
Perfil 60 CA085 6 m	11	3895	42845	25.90	-409	-1839
Perfil 62 CA085 6 m	16	2669	42704	4.55	-306	-322
Perfil 90 CA085 6 m	68	5057	343876	89.39	-523	-6335
Perfil 92 C085 6 m	37	4414	163318	17.80	-424	-1258
Total compra			592743	Valorización de residuos		-9754
Propuesta optimizada						
Tipo perfil	Cantidad perfiles	Valor perfil, \$	Costo total de compra, \$	Residuos, kg	Valor residuos por perfil, \$	Valor por total residuos, \$
Perfil 60 CA085 6 m	10	3895	38950	10.8	-409	-767
Perfil 62 CA085 6 m	14	2669	37366	3.4	-306	-241
Perfil 90 CA085 6 m	50	5057	252850	54.9	-523	-3891
Perfil 92 C085 6 m	27	4414	119178	11.1	-424	-784
Total compra			448344	Valorización de residuos		-5683

En las Tabla 14 y 15 se detalla un resumen de las diferencias del método actual con la propuesta optimizada, donde se evidencian las diferencias tanto del costo de compra del material como de los costos de los residuos.

Plancha de yeso cartón

En base a los resultados de la Tabla 14, se muestran los ahorros totales para la vivienda tipo C, para el material de yeso cartón:

- Ahorro para vivienda tipo C: \$44292
- Ahorro para un total de 12 viviendas tipo C en obra: \$531504
- Ahorro de residuos para vivienda tipo C: \$22909
- Ahorro de residuos para un total de 12 viviendas tipo C: \$274908

Obteniendo un total de ahorro de \$806412 pesos para la totalidad de casas tipo C.

Perfiles de Metalcon

En base a los resultados de la Tabla 15, se muestran los ahorros totales para la vivienda tipo C para el material Metalcon:

- Ahorro para vivienda tipo C: \$144339
- Ahorro para un total de 12 viviendas tipo C en obra: \$1732788

En el caso del ahorro de residuos de Metalcon no es un valor que se pueda ahorrar la constructora ya que, al disminuir sus residuos, disminuye la venta de éste, es por esto que el valor es negativo en la columna de valor total de residuos. No obstante, el ahorro de compra con la nueva metodología es de \$1732788 pesos para la totalidad de casas tipo C.

Comentarios y recomendaciones

Se necesita capacitar a los ingenieros de proyectos, de oficina técnica u otros involucrados en la etapa de diseño y cubicación, en la utilización de los softwares CutMaster 2D (2015) y SketchUp (2017), además de realizar capacitaciones al personal de obra que trabaja en la instalación, para implementar la nueva metodología. Lo anterior debido a que esta metodología no solo depende de los ejecutores de la obra, sino que debiera venir prediseñada desde la concepción del proyecto.

Se recomienda para el caso del yeso cartón, crear un taller de corte y dimensionado dentro de las instalaciones de faena, para realizar los cortes de planchas para la totalidad de las casas. Este taller deberá contar con una cuadrilla que sólo se dedique a cortar planchas e ir codificando cada corte para ser identificados en el proceso de instalación en terreno, esto va acompañado de un manual de fácil lectura para los maestros instaladores. Al realizar los cortes dentro de la obra, los maestros deben verificar si las dimensiones



de las casas son las mismas proyectadas y realizar los cambios antes de proceder con los cortes, para no tener imprevistos en la etapa de instalación.

Para implementar la nueva metodología de Metalcon se recomienda crear un taller de prefabricados dentro de las instalaciones de faena. Este galpón será utilizado para realizar las estructuras prefabricadas de Metalcon, lo que permitiría un mejor aprovechamiento y optimización de recursos, tanto en tiempo de instalación, como en material. Esto lo debe realizar una cuadrilla que solo se dedique a construir las estructuras de Metalcon. Se recomienda que las estructuras prefabricadas sean trasladadas por maquinaria y montadas por otra cuadrilla.

En el taller propuesto al prefabricar en un ambiente controlado, se puede tener los residuos contabilizados, lo que favorece a la reutilización de los materiales en estudio y otros utilizados en obra.

Se recomienda generar un protocolo de manejo de todos los residuos de obra, de tal forma de que todo el material sobrante sea clasificado y en su oportunidad reutilizado.

Conclusiones

Se puede concluir que con la nueva metodología propuesta se genera un ahorro en la compra de materiales y una disminución en la generación de residuos, obteniendo beneficios tanto económicos como medioambientales.

Junto con lo anterior, ya que se ha evidenciado el incremento del valor final de los materiales considerando la compra y su ciclo de vida, es imprescindible optimizar en etapas de diseño, cubicación e instalación, dichos materiales para evitar compras innecesarias que en ocasiones aumentan hasta en un 220% su valor final.

Por otro lado, al implementar un taller de corte y dimensionado en obra, se puede asumir una disminución en el tiempo necesarios para realizar dichas operaciones, ya que los materiales prefabricados pueden ser producidos en una línea de proceso que optimiza el tiempo de fabricación y regula la cantidad de material a utilizar.

Finalmente es factible extrapolar la metodología propuesta a otros materiales de construcción, que deben ser dimensionados en obra, como; terciados, melaminas, baldosas u otros.

Referencias

- Aleksanin, A. (2019). Development of construction waste management. *XXII International Scientific Conference on Construction for the Formation of Living Environment FORM-2019, E3S Web of Conferences* 97, 06040
- Bravo, J., Valderrama, C. y Ossio, F. (2019). Cuantificación económica de los residuos de construcción de una edificación en altura: un caso de estudio. *Información Tecnológica* 30(2), 85-94
- Bravo J. (2018). *Análisis de las principales pérdidas de materiales en obras de edificación en etapa de terminaciones*. Memoria de título de Constructor Civil, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile
- Chandrakanthi, M., Hettiaratchi, P., Prado, B. and Ruwanpura, J.Y. (2002). Optimization of the waste management for construction projects using simulation. *IEEE Winter Simulation Conference*, vol. 2, 1771-1777
- CutMaster 2D (2015). Cutting optimization software for professional and home workshops. Pro v.1.5.3. Greensburg PA, USA
- Ghaffar, S.H., Burman, M. and Braimah, N. (2020). Pathways to circular construction: an integrated management of construction and demolition waste for resource recovery. *Journal of Cleaner Production* 244, 118710
- Guarda J. (2008). *Estudio para minimizar las pérdidas de materiales en obras de edificación en extensión*. Memoria de título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, Santiago, Chile
- MMA (2020). Generación residuos de la construcción y demolición, Capítulo 2.6. Residuos, Capítulo 10. Informe del estado del medio ambiente. Ministerio del Medio Ambiente MMA, Santiago, Chile
- MINVU (2018). Estándares de construcción sustentable para viviendas de Chile. Tomo IV: Materiales y Residuos. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Santiago, Chile
- Pape, H. y Nazer, A. (2021). Determinantes de la innovación en empresas constructoras de la Región de Atacama, Chile. *Obras y Proyectos* 29, 80-92
- Patel, S. and Patel, C.G. (2016). Cost optimization of the project by construction waste management. *International Research Journal of Engineering and Technology* 3(5), 734-740



SketchUp (2017). 3D design software. v.16.1.1450. Trimble Inc., Sunnyvale CA, USA

Véliz, K.D., Ramírez-Rodríguez, G. and Ossio, F. (2022). Willingness to pay for construction and demolition waste from buildings in Chile. *Waste Management* 137, 222-230

Wang, J., Wu, H., Tam, V.W. and Zuo, J. (2019). Considering life-cycle environmental impacts and society's willingness for optimizing construction and demolition waste management fee: An empirical study of China. *Journal of Cleaner Production* 206, 1004-1014