

Proyecto de optimización de planchas yeso cartón y perfiles metalcon para un edificio en Concepción

Optimization project of plasterboard and metalcon profiles for a building in Concepción

Fecha de entrega: 27 de febrero 2023

Fecha de aceptación: 9 de agosto 2023

Guillermo Bustamante, Ramón Olate y Christian Molina

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

Se elaboró un estudio que consiste en la evaluación económica de dos materiales importantes en la construcción de la tabiquería interior del 3° piso en un edificio de 21 pisos ubicado en la ciudad de Concepción. Dichos materiales son las planchas de yeso cartón y los perfiles metalcon. Cabe señalar, que dentro de este estudio se evaluó el costo de adquisición de estos dos materiales, como también el costo asociado a mano de obra y maquinarias que intervienen dentro del proceso de transporte en la obra. Además, se contabilizaron los residuos generados por ambos materiales, con la finalidad de cuantificar los costos relacionados a la gestión de los residuos. Finalmente, se presenta una propuesta para lograr la optimización de estos materiales dentro de la obra, con el objetivo de conseguir un mayor aprovechamiento de ambos. Esto conlleva grandes beneficios para la empresa, puesto que se logra disminuir la cantidad de materiales que se utilizan actualmente y la de residuos generados dentro de la obra.

Palabras clave: modelación, residuos, construcción, materiales

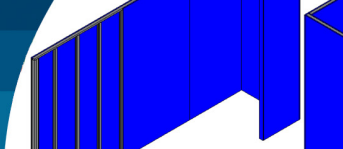
A study was prepared, which consists of the economic evaluation of two important materials in the construction of the interior partitions of the 3rd floor in a 21-floor building located in the city of Concepción. These materials are plasterboard and metalcon profiles. Within this study, the acquisition cost of these two materials was evaluated, as well as the cost associated with labor and machinery involved in the transportation process on site. In addition, the waste generated by both materials was accounted for, to quantify the costs related to waste management. Finally, a proposal is presented to achieve the optimization of these materials within the work, with the aim of achieving a better use of both. This entails great benefits for the company, since it is possible to reduce the number of materials that are currently used, and the amount of waste generated within the work.

Keywords: modelling, waste, construction, materials

Introducción

La construcción en nuestro país es uno de los sectores con mayor importancia dentro de la economía (infraestructurapublica.cl), es por esto, que se hace necesario innovar en nuevos procesos de trabajo para lograr optimizar los recursos que se ven involucrados dentro de este rubro (Pape y Nazer, 2021). A través de los materiales se ven involucrados una gran cantidad de costos para las constructoras, ya sea en la adquisición, como también transporte, mano de obra, maquinarias

y depósito de desechos. La generación de residuos de la construcción es una de las problemáticas con mayor énfasis que enfrenta este sector, ya que, cerca del 34% de los residuos generados en el país y en el mundo provienen de la construcción (Aleksanin, 2019; Ghaffar *et al.*, 2020; MINVU, 2018; Véliz *et al.*, 2022). Este problema no solo afecta al sector local de la construcción, sino que también afecta a países desarrollados, pero en una menor medida, se estima que en Chile se generan 0.26 m³/m² construido, en cambio en los países desarrollados este valor disminuye



a $0.14 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (Véliz *et al.*, 2022). Se proyecta que en el año 2023 en Chile se producirán alrededor de 7.4 millones de toneladas de residuos de la construcción solo considerando vivienda (MINVU, 2019).

Es por esto, que el estudio realizado junto a la Constructora Aitue está enfocado a optimizar el uso de las planchas de yeso cartón y los perfiles metalcon, para conseguir un mayor porcentaje de utilización de ambos materiales y, con ello, reducir tanto los costos involucrados, como también ayudar a disminuir los residuos que ambos materiales generan (Bustamante *et al.*, 2022).

Existen estudios de análisis de pérdidas en materiales en obras de edificación (Bravo, 2018; Guarda, 2008) y de cuantificación económica de los residuos de construcción (Bravo *et al.*, 2019). Además, también hay disponibles estudios de optimización económica a través de la reducción de residuos (Chandrakanthi *et al.*, 2002; Patel y Patel, 2016; Wang *et al.*, 2019). Sin embargo, existen pocos estudios de optimización de procesos constructivos para evitar pérdidas en los materiales Metalcon y planchas de yeso en edificios. En ese sentido este trabajo sigue la línea de investigación realizada para viviendas unifamiliares (Bustamante *et al.*, 2022).

Para obtener los valores económicos involucrados, se realizó un levantamiento en terreno, donde se estudió el ciclo completo de ambos materiales dentro del proceso de edificación, pudiendo definir la mano de obra y maquinaria relacionada, y con ello, el costo asociado al ítem.

Cabe destacar que para lograr disminuir tanto la cantidad de materiales utilizados, como los residuos generados, se realizó un modelamiento tridimensional del tercer piso del edificio Rengo 1281 en Concepción. Asimismo, con la ayuda del software Revit (2019) se creó el modelo que ayuda a estimar la cantidad de materiales necesarios para construir la tabiquería interior, además se complementó con softwares de optimización de cortes para alcanzar el mayor porcentaje de aprovechamiento de los materiales. La modelación de la estructura de tabiquería, además de ayudar a calcular la cantidad de materiales mínimos para construirla, presenta algunas ventajas extras, como por ejemplo una mayor claridad en la disposición de las planchas yeso cartón y estructuras metalcon, como también una mejor planificación de la instalación de los materiales.

Por último, se obtuvo el valor económico asociado al estado actual de la obra y el asociado a una situación proyectada basada en la modelación del edificio. Con respecto al valor económico se analizaron tres etapas: costo de adquisición, costo de mano de obra y maquinarias y gestión de residuos.

Planteamiento del problema

La empresa Aitue S.A. es la encargada de realizar diversas obras habitacionales dentro del país, es por ello que se hace necesario innovar en nuevos procesos de trabajo. Durante la construcción de edificaciones de altura, la constructora observó la generación de una gran cantidad de desechos dentro de sus proyectos. Esta problemática tiene diversos efectos negativos para Aitue, ya que conlleva a invertir más recursos económicos para la adquisición de materiales y además en el tratamiento de estos residuos sólidos generados. Es por esta razón, que a partir de este trabajo se buscará encontrar soluciones a estos problemas que se generan en la construcción y así innovar en los sistemas de construcción actuales del país.

Descripción de la obra

La obra en la que se aplicó el estudio consiste en un proyecto llamado Edificio Rengo 1281, ubicado en la intersección de la calle Rengo con la calle Joaquín Prieto, en la comuna de Concepción. El edificio dispone de 21 pisos, de los cuales los pisos -1 y -2 están destinados a estacionamientos, mientras que los pisos 1 y 19 corresponden a áreas comunes. Por último, entre los pisos 2 y 18 están consignados al uso habitacional.

Específicamente, se analizó el tercer piso del edificio, el cual tiene una superficie útil de 604.5 m^2 , dentro de este piso se encuentran 10 tipologías diferentes de departamentos como se observa en la Figura 1.

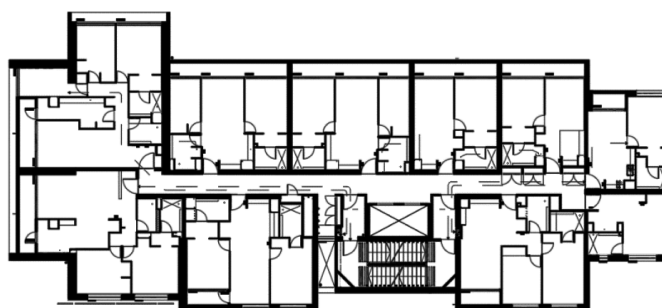
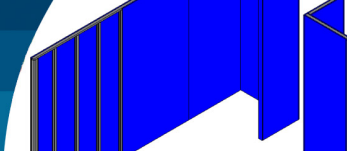


Figura 1: Plano en planta 3° piso edificio Rengo 1281



Durante el proceso de construcción, el piso -1 se encontraba utilizado como bodega de materiales, por lo tanto, es desde aquí donde se despachan las planchas y perfiles metalcon hacia la zona de trabajo.

Metodología Mediciones en obra

Para el levantamiento de datos se realizaron visitas periódicas a la obra, lo que permitió conocer el proceso completo al que están sujetas las planchas de yeso cartón y los perfiles metalcon, desde que llegan a la obra hasta que son instalados y los excedentes transformados en desechos. Una de las primeras actividades que se realizó fue conocer el proceso de cada uno de los materiales que está bajo estudio. Al determinar las diferentes etapas de los materiales, se especificó la mano de obra y la maquinaria que se ven involucrados, al igual que el tiempo que emplean cada uno de ellos en mover los materiales. Con ello, se obtuvo el rendimiento. Cabe destacar que estas mediciones se realizaron sólo para el tercer piso del edificio. Además, se recolectó información para la modelación de los planos y especificaciones técnicas. Asimismo, de la cubicación donde se especifica la cantidad de material que se entrega para cada tipología de departamento.

También, se ejecutaron mediciones periódicas de los residuos generados en el tercer piso del edificio. Para ello, se acumularon todos los residuos de planchas de yeso cartón y restos de perfiles metalcon para realizar la medición de ellos. En el caso de las planchas, se midió el área de cada uno de los segmentos restantes, como también, se definió la tipología de cada plancha. En los perfiles metalcon se midió el largo de cada segmento definiendo igualmente la tipología de cada perfil. Todos los datos medidos se ingresaron a una planilla Excel donde fueron agrupados y analizados con posterioridad.

Modelación y optimización

En el proceso de optimización de las planchas y perfiles metalcon se realizó una modelación tridimensional del 3° piso en el software Revit (2019). Para realizar la modelación en dicho programa se realizó un ingreso previo de los materiales con sus medidas reales al software para poder representarlos. Al momento de trazar la estructura de tabiquería en Revit se realizaron análisis de los planos

de tabiquería interior del edificio y de las especificaciones técnicas solicitados en oficina técnica. También, se estudiaron manuales de fabricante como Volcan y Cintac.

Entre los materiales utilizados dentro de la tabiquería se encuentran planchas de yeso cartón con las tipologías detalladas en la Tabla 1 y para el metalcon los tipos de perfiles presentados en la Tabla 2.

Tabla 1: Tipos de planchas yeso cartón

Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e = 15 mm RF
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e = 15 mm RH
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e = 12.5 mm RH
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e = 15 mm ST
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e = 12.5 mm ST
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e = 10 mm ST
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e = 15 mm XR
Plancha Volcoglass 1.2x2.4 e = 15.9 mm

Tabla 2: Tipos de perfiles metalcon

Perfil 90 CA085 2.4 m
Perfil 92 CO085 3 m
Perfil 60 CA085 2.4 m
Perfil 62 CO085 3 m
Perfil 40 CA085 2.4 m
Perfil 42 CO085 3 m

Para realizar la modelación de la estructura, después de ingresar los materiales mencionados al software Revit, se trazó la estructura metálica de la tabiquería con las dimensiones reales de ésta, para posteriormente agregar las planchas por ambas caras del tabique, generando así la representación de la estructura mostrada en las Figuras 2 y 3.

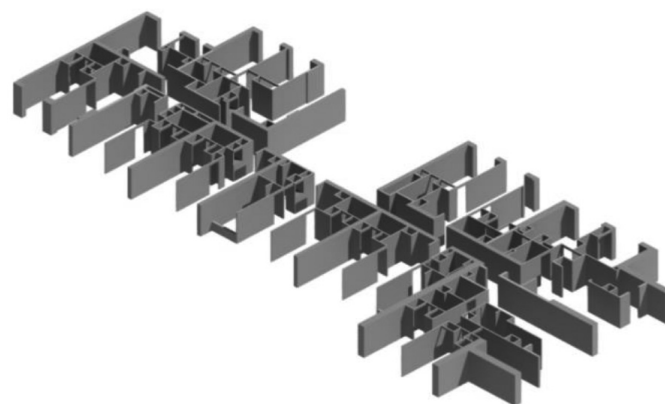


Figura 2: Estructura tabiquería 3° piso edificio Rengo 1281

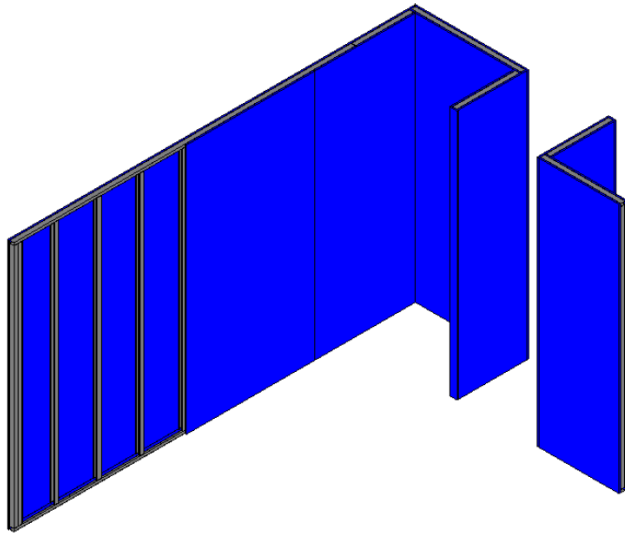
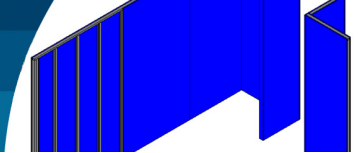


Figura 3: Representación estructura tabiquería 3° piso edificio Rengo 1281

Dentro de la estructura del tercer piso se tienen diferentes tipos de departamentos que deben ser representados (Tabla 3).

Tabla 3: Tipos de departamentos 3° piso edificio Rengo 1281

Departamento tipo A B C2 D1 E1 E2 F G2 H I
--

Durante el proceso de modelación de la estructura se realizaron visitas a la obra para observar el proceso constructivo de la tabiquería interior en el edificio. De esta manera, se pudo determinar algunos detalles constructivos que no se especifican claramente en planos y especificaciones técnicas, pero que si se deben tener en consideración para llevar a cabo el proceso de optimización. Una vez que se llevó a cabo la modelación del tercer piso, se procedió a realizar un análisis para poder determinar una configuración en la instalación de los materiales que permitiera lograr un mayor porcentaje de aprovechamiento de ambos. El análisis se realizó para cada tipología de departamento existente en el edificio. A partir de esto, se implementó el uso de algunos softwares especialistas en la optimización de cortes de planchas de cualquier tipo, como también de perfiles metalcon, los softwares implementados son CutMaster 2D (2020) y Cutting Optimization Pro (V5.16.3.0, www.optimalprograms.com/cutting-optimization).

Los datos necesarios para implementar los softwares de optimización son extraídos desde Revit, ya que este

programa entrega el ancho, alto y por tanto el área de cada sección de plancha utilizada en cada departamento. La Figura 4 entrega algunas secciones de plancha utilizada.

A	B	C	D	E
Familia y tipo	Tipo	Altura desconectad	Longitud	Área
Muro básico: RH 15	RH 15MM 1°	2350	585	1.37 m²
Muro básico: ST 15	ST 15MM 2°	2350	585	1.37 m²
Muro básico: RH 15	RH 15MM 2°	2350	100	0.24 m²
Muro básico: RH 12	RH 12.5MM SHAFT	2350	525	1.23 m²
Muro básico: ST 10	ST 10MM SHAFT	2350	370	0.87 m²
Muro básico: RH 12	RH 12.5MM SHAFT	2350	745	1.75 m²

Figura 4: Información de secciones de planchas extraída de Revit

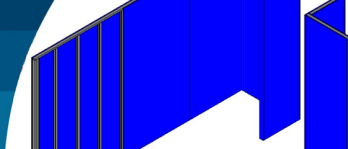
En el caso de los perfiles metalcon, el software entrega la longitud de cada sección de perfil empleada en un departamento con el formato mostrado en la Figura 5.

A	B
Tipo	Longitud
perfil 42	375
perfil 40	155
perfil 42	250
perfil 40	140
perfil 42	383
perfil 42	383
perfil 42	382
perfil 40	140

Figura 5: Información de secciones metalcon extraída de Revit

Los datos extraídos desde Revit fueron exportados hacia Excel, lo cual facilitó el orden de los valores según los diferentes tipos de materiales. Una vez que los datos fueron ordenados en Excel se exportaron a los softwares de optimización donde al ingresar el tamaño de todas las secciones del mismo tipo de plancha y agregar el stock de planchas disponibles, estos automáticamente presentan la configuración con la mayor eficiencia. En la Figura 6 se observa la ventana en la que se ingresan las partes utilizadas y también el stock de planchas.

En la Figura 7 se exhiben los resultados entregados por el software Cutting Optimization Pro para representar los cortes óptimos aplicables a una plancha de yeso cartón. En



el caso de los perfiles metalcon, se debe realizar un proceso similar, de modo que los resultados son presentados en el software de la misma manera que en el caso de las planchas de yeso cartón.

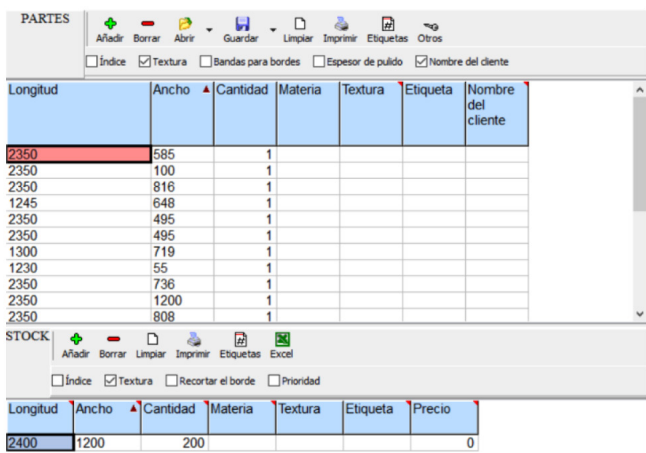


Figura 6: Ingreso de secciones en el software Cutting Optimization Pro

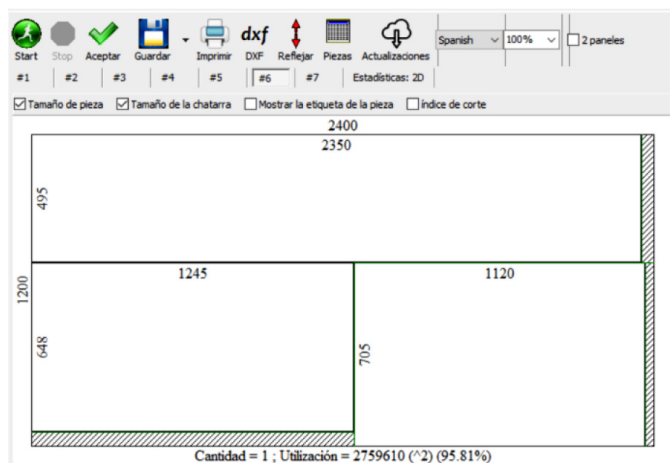


Figura 7: Presentación de resultados en el software Cutting Optimization Pro

Posteriormente, se realizó un proceso de evaluación en el que se analizaron los resultados obtenidos, los cuales se intentaron mejorar, ya sea redistribuyendo la configuración de las planchas o simplemente corrigiendo la disposición de éstas.

Por último, se llevó a cabo una comparación a partir de los resultados obtenidos de la modelación de las planchas de yeso cartón y los perfiles metalcon con los datos entregados por la Constructora Aitue S.A. Estos consistían en una cubicación realizada por ellos en la que estiman la

cantidad de materiales que se entregan desde bodega para cada departamento.

Cálculo de costos

Al determinar la cantidad de materiales en la modelación y la cantidad de materiales utilizados en la obra actualmente, se procede a realizar el cálculo de los costos asociados a la compra directa de materiales, ya que al disminuir la cantidad de planchas y perfiles se puede obtener un ahorro. Además del costo anteriormente mencionado, se debe tener presente que existen más costos asociados a los materiales que son motivo de esta investigación. Un costo agregado es el de mano de obra y maquinaria. Para calcular este valor se hace importante analizar los datos medidos en terreno, los cuales consisten en el rendimiento de mano de obra y maquinaria. Las Tablas 4 y 5 presentan las diferentes etapas con la mano de obra y maquinarias empleadas en el proceso de cada material.

Tabla 4: Mano de obra y maquinaria involucrada con planchas de yeso cartón

Proceso	Mano de obra	Maquinaria
Traslado de planchas yeso cartón desde el camión hasta la bodega	Jefe de bodega Ayudante de bodega Pañolero	Grúa Horquilla
Transporte de planchas yeso cartón desde la bodega hasta el 3° piso	3 jornales	Montacarga
Distribución de planchas yeso cartón dentro del 3° piso	2 jornales	-

Tabla 5: Mano de obra y maquinaria involucrada con perfiles metalcon.

Proceso	Mano de obra	Maquinaria
Traslado de los perfiles metalcon desde el camión a zona de descarga	-	Equipo de trabajo grúa torre
Traslado de perfiles desde la zona de descarga hacia la bodega	Jefe de bodega 1 Pañolero 1 Jornal de Bodega	-
Transporte de los perfiles desde la bodega hasta el 3° piso	Ayudante de bodega 3 jornales	Montacarga
Distribución de perfiles dentro del 3° piso	-	2 jornales

En las Tablas 6 y 7 se presentan los sueldos de trabajadores y arriendos de maquinarias entregados por la constructora.

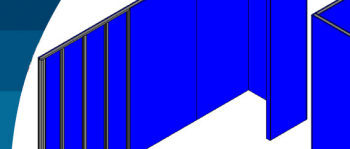


Tabla 6: Sueldos mensuales personal de obra

Trabajador	Sueldo, mensual
Jornal	\$380.000
Ayudante de bodega	\$480.000
Jefe de bodega	\$850.000
Pañolero	\$420.000

Tabla 7: Arriendo mensual maquinaria de obra

Maquinaria	Valor arriendo, mensual
Grúa torre	\$ 5.111.603
Montacarga	\$ 1.974.114

Además, se agrega el arriendo ocasional de una grúa horquilla con un costo que corresponde a \$14.000 por hora de trabajo. Por último, se debe agregar el costo correspondiente a la gestión de residuos producto de ambos materiales. Para lograr estimarlos, se hace necesario cuantificar los residuos que se producen en ambos casos, es decir, según la situación actual de la obra y la proyectada de la obra, la cual consiste en la modelación del edificio. Para estimar los residuos generados por las planchas de yeso cartón, fue necesario calcular el área total que se debe cubrir con cada tipo de plancha en el tercer piso del edificio. Este valor se obtuvo a partir de los datos entregados por el software Revit, ya que debido al modelo tridimensional implementado fue posible evaluar el área a cubrir por cada tipo de plancha. La Tabla 8 presenta las áreas correspondientes.

Tabla 8: Área efectiva instalado para cada tipo de plancha

Tipo	Área efectiva, m ²
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=15 mm RF	194.6
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=15 mm RH	206.7
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=12.5 mm RH	137.2
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=15 mm ST	566.8
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=12.5 mm ST	33.6
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=10 mm ST	127.5
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=15 mm XR	136.7
Plancha Volcoglass 1.2x2.4 e=15.9 mm	35.0

Posteriormente, se analizó la situación actual de la obra y el caso bajo la situación del modelo. En cada uno de ellos se calculó el área que se cubre con todas las planchas utilizadas (Tabla 9).

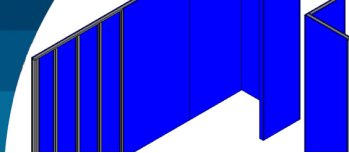
Tabla 9: Área que cubre cada tipo de plancha en situación actual y situación proyectada

Tipo	Situación actual	Situación proyectada
	Área, m ²	Área, m ²
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=15 mm RF	221.8	213.1
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=15 mm RH	239.0	239.0
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=12.5 mm RH	169.9	169.9
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=15 mm ST	619.2	610.6
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=12.5 mm ST	80.6	40.3
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=10 mm ST	155.5	155.5
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=15 mm XR	152.6	149.8
Plancha Volcoglass 1.2x2.4 e=15.9 mm	49.0	49.0

De manera que, al restar el área que cubren las planchas utilizadas con el área efectiva se obtienen la cantidad de residuos generados en metros cuadrados, de tal forma que basta conocer el peso de un metro cuadrado de plancha para poder determinar el peso de los residuos generados en ambas situaciones. Posteriormente, se procede a asignarle un costo por gestionar estos residuos. Para ello se consideran tres procesos importantes dentro de este ítem.

En primer lugar, en la manipulación de residuos se encuentra considerada la mano de obra involucrada en limpiar y agrupar los residuos al interior del mismo piso. De igual modo, la mano de obra encargada de cargar el camión que lleva los residuos hasta su destino final. En segundo lugar, el transporte de residuos considera el valor que se debe pagar por trasladar los residuos desde la obra hacia la planta de tratamiento de residuos. Por último, se considera el valor que se debe cancelar a la planta por desechar los residuos en sus instalaciones, este valor alcanza un valor de \$59+IVA por cada kilo de residuo que se deposita.

En el caso de estimar los residuos generados por los perfiles metalcon, se calculan de una manera similar a la anteriormente descrita en el proceso de las planchas de yeso cartón. Lo primero que se realizó, es estimar la



longitud efectiva instalada en el piso. Para ello se ocupó la herramienta de Revit la cual entrega la longitud de cada sección de perfil utilizada en la tabiquería del edificio. Esta longitud se determinará para los seis diferentes tipos de perfil (Tabla 10).

Tabla 10: Longitud efectiva según cada tipo de perfil

Tipo	Longitud efectiva, m
Perfil 90 CA085 2.4 m	68.6
Perfil 92 CO085 3 m	20.8
Perfil 60 CA085 2.4 m	515.9
Perfil 62 CO085 3 m	143.5
Perfil 40 CA085 2.4 m	1736.4
Perfil 42 CO085 3 m	544.6

Consecutivamente, se calcula la longitud que se cubren con la cantidad de perfiles disponibles en ambos casos, en la situación actual de la obra y situación proyectada. Por último, al restar la longitud total que cubren los perfiles en ambas situaciones con la longitud efectiva instalada se determina la cantidad de residuos generados (Tabla 11).

Tabla 11: Longitud que cubre cada tipo de perfil en la situación actual y la situación proyectada

	Situación actual	Situación proyectada
Tipo	Longitud, m	Longitud, m
Perfil 90 CA085 2.4 m	72.0	72.0
Perfil 92 CO085 3 m	30.0	27.0
Perfil 60 CA085 2.4 m	542.4	530.4
Perfil 62 CO085 3 m	156.0	156.0
Perfil 40 CA085 2.4 m	1831.2	1766.4
Perfil 42 CO085 3 m	579.0	567.0

Con las longitudes de los residuos generados en ambos contextos, se pueden transformar para obtener la cantidad de kilos de residuos de metalcon. Para obtener los costos por la gestión de los residuos de metalcon, se deben diferenciar dos procesos distintos dentro de este ítem. En primer lugar, en la manipulación de residuos se encuentra considerada la mano de obra encargada de limpiar el departamento y llevar los excedentes de metalcon hacia el 1° piso, donde se encuentra el punto de acumulación. Posteriormente, se realiza la venta de residuos a una empresa externa, quien retira directamente desde la obra. El valor de venta de los

residuos de metalcon corresponde a \$120 por kilo de acero reciclado lo que supone un ingreso para la obra.

Resultados Modelación y optimización

A partir de la modelación del tercer piso del Edificio Rengo 1281, se determinó la cantidad de planchas y perfiles metalcon que se pueden disminuir con la aplicación de un software como Revit y algunos softwares optimizadores de corte. La Figura 8 presenta la cantidad de planchas que se entregan actualmente en la obra, sin considerar extras por una errónea instalación o por fallas de estas y la situación proyectada para el tercer piso.

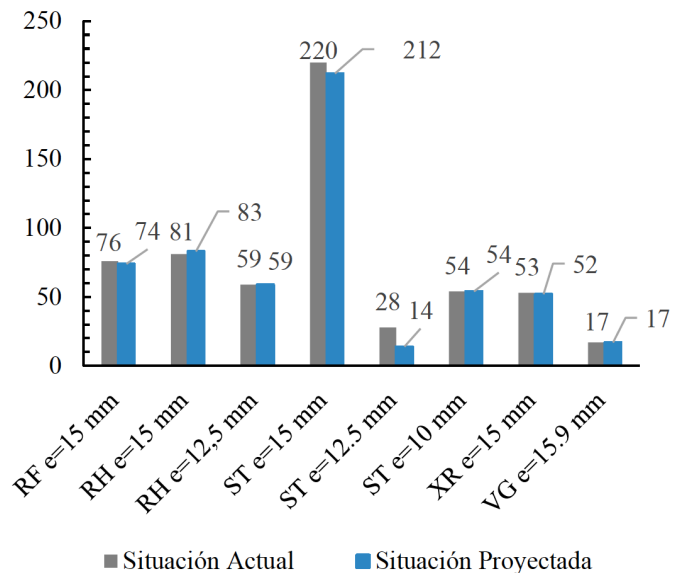


Figura 8: Cantidad de planchas yeso cartón utilizadas en la situación actual y la situación proyectada

Producto de la optimización de las planchas se obtuvo un ahorro de 23 planchas de yeso cartón en total, en las diferentes tipologías. Dentro de las cuales, la que alcanzó un mayor porcentaje de ahorro es la de tipo estándar 12.5 mm donde se pudieron ahorrar un total de 12 planchas. El ahorro también se llevó a cabo en los perfiles metalcon. En la Figura 9 se presentan los resultados del proceso de optimización.

Para los perfiles metalcon se logró una disminución de 37 unidades en sus diferentes tipos, destacando un mayor ahorro en los perfiles 40, con una disminución de 27 unidades.

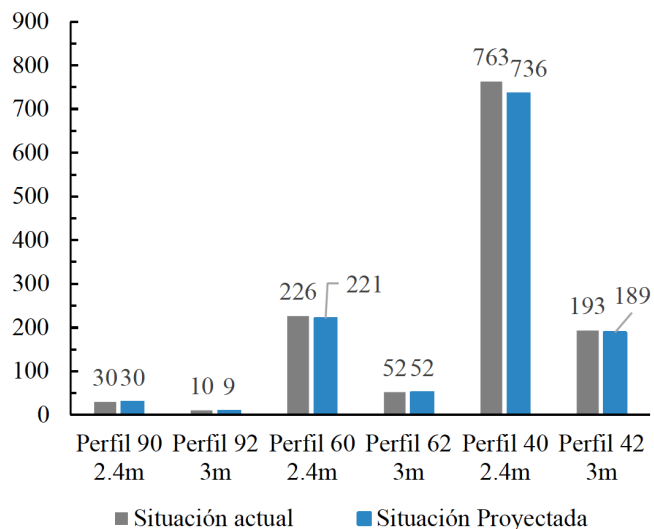
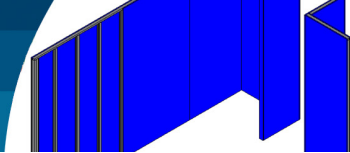


Figura 9: Cantidad de perfiles metalcon utilizados en la situación actual y la situación proyectada

Residuos

Dentro de los residuos de planchas de yeso cartón generados, se distinguen tres casos diferentes. El primero de ellos, son los residuos que se pudieron medir en la obra, dentro de esta medición se encuentran considerados aquellos residuos generados por excedentes de cortes. Además, aquellos residuos que se generaron por una errónea instalación y manipulación de planchas, por lo tanto, es un valor mucho más elevado (Tabla 12).

Tabla 12: Residuos de planchas medidos en la obra

Tipo	Área, m ²	Peso, kg
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =15 mm RF	41.71	563.08
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =15 mm RH	71.19	854.31
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =12.5 mm RH	46.72	443.83
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =15 mm ST	107.63	1291.56
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =12.5 mm ST	10.10	95.98
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =10 mm ST	81.36	610.18
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =15 mm XR	15.24	208.79
Plancha Volcoglass 1.2x2.4 e =15.9 mm	9.78	136.98
Total	383.74	4204.70

En la Tabla 13 se presentan los residuos generados en la obra, los cuales fueron calculados a partir de lo mencionado anteriormente y sólo representan los excedentes que son producidos por los cortes realizados, sin considerar pérdidas por una incorrecta manipulación o instalación del material.

Tabla 13: Residuos situación actual de la obra considerando sólo excedentes de cortes.

Tipo	Área, m ²	Peso, kg
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =15 mm RF	24.26	327.51
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =15 mm RH	32.32	387.78
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =12.5 mm RH	32.70	310.65
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =15 mm ST	66.77	801.24
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =12.5 mm ST	41.32	392.54
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =10 mm ST	28.04	210.30
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =15 mm XR	15.96	218.65
Plancha Volcoglass 1.2x2.4 e =15.9 mm	13.92	194.88
Total	255.29	2843.55

Al comparar las Tablas 12 y 13 se puede observar un aumento de residuos, de alrededor del 148% en el caso de las mediciones in situ, con respecto a lo producido sólo por los excedentes de cortes demostrando que existe una elevada pérdida de materiales por una errada instalación y manipulación de planchas. Por último, se entregan en la Tabla 14 los residuos estimados bajo la modelación tridimensional del edificio.

Respecto a la Tabla 14, se puede determinar una disminución en los residuos, comparado a la situación actual de la obra, esto debido a la disminución en la utilización de materiales en la situación proyectada. En el caso de los residuos generados por los perfiles metalcon se distinguen tres situaciones diferentes. Lo primero, es presentar los residuos generados en obra, estos consideran la totalidad de perfiles desechados en la obra, es decir, también se está considerando un mal manejo de los materiales.

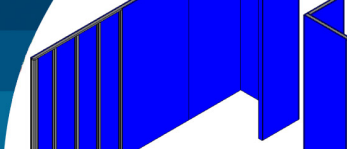


Tabla 14: Residuos proyectados de la obra considerando sólo excedentes de corte

Tipo	Área, m ²	Peso, kg
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =15 mm RF	18.50	249.75
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =15 mm RH	32.32	387.78
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =12.5 mm RH	32.70	310.65
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =15 mm ST	43.73	524.76
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =12.5 mm ST	6.76	64.22
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =10 mm ST	28.04	210.30
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =15 mm XR	13.08	179.20
Plancha Volcoglass 1.2x2.4 e =15.9 mm	13.92	194.88
Total	189.05	2121.54

Tabla 15: Residuos de perfiles medidos en obra

Tipo	Longitud, m	Peso, kg
Perfil 90 CA085 2.4 m	3.78	4.65
Perfil 92 CO085 3 m	5.67	5.67
Perfil 60 CA085 2.4 m	19.59	18.81
Perfil 62 CO085 3 m	21.50	15.48
Perfil 40 CA085 2.4 m	96.50	80.10
Perfil 42 CO085 3 m	59.74	34.65
Total	206.78	159.35

A continuación, la Tabla 16 presenta los residuos actualmente generados en la obra, sin considerar una equívoca gestión de materiales, sólo considerando los valores producto de los excedentes de cortes.

Tabla 16: Residuos situación actual de la obra considerando sólo excedentes de cortes

Tipo	Longitud, m	Peso, kg
Perfil 90 CA085 2.4 m	3.40	4.18
Perfil 92 CO085 3 m	9.24	9.24
Perfil 60 CA085 2.4 m	26.55	25.49
Perfil 62 CO085 3 m	12.46	8.97
Perfil 40 CA085 2.4 m	94.76	78.65
Perfil 42 CO085 3 m	34.36	19.93
Total	180.77	146.46

A partir de las Tablas 15 y 16, se puede deducir que los valores entre las dos situaciones son muy similares. Esto nos indica que existe un óptimo manejo de los materiales y aprovechamiento de estos, caso contrario a lo sucedido con las planchas de yeso cartón.

Por último, la Tabla 17 presenta los residuos generados desde la situación proyectada.

Tabla 17: Residuos proyectados de la obra considerando sólo excedentes de cortes

Tipo	Longitud, m	Peso, kg
Perfil 90 CA085 2.4 m	3.40	4.18
Perfil 92 CO085 3 m	6.24	6.24
Perfil 60 CA085 2.4 m	14.55	13.97
Perfil 62 CO085 3 m	12.46	8.97
Perfil 40 CA085 2.4 m	29.96	24.87
Perfil 42 CO085 3 m	22.36	12.97
Total	88.97	71.20

Al analizar los resultados de la Tabla 17, se observa una disminución de los residuos comparados con la situación actual de la obra. Esto se debe significativamente al ahorro de perfiles en la construcción de la tabiquería.

Análisis de costos

Al lograr disminuir la cantidad de materiales que se utilizan en la obra, se ve directamente reflejado la disminución del costo de adquisición de los mismos, puesto que se produce una baja en el costo total de compra de planchas para el piso estudiado. En la Tabla 18 se presenta el costo de adquisición en ambos casos.

El ahorro en 23 planchas de yeso cartón involucra un ahorro para la constructora que alcanza los \$95.960. En el caso de los perfiles de metalcon se produce igualmente una disminución en el costo de adquisición de estos materiales (Tabla 19).

En consecuencia, al disminuir 37 perfiles metalcon se logra un ahorro de \$67.491 en costos de adquisición. Además de determinar los costos por adquisición de materiales, se debe agregar el costo que involucra la mano de obra y maquinarias que participan en el proceso. A continuación, la Tabla 20 presenta el costo de mano de obra respectivo de las planchas de yeso cartón.

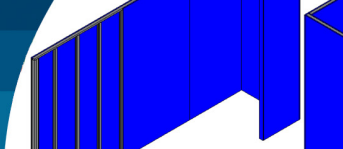


Tabla 18: Costo de adquisición de planchas en la situación actual de la obra y la situación proyectada

		Situación actual	Situación proyectada
Tipo	Costo, \$/plancha	Costo de compra, \$	Costo de compra, \$
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e = 15 mm RF	6.405	486.780	473.970
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =15 mm RH	7.742	642.586	642.586
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =12.5 mm RH	5.323	314.057	314.057
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =15 mm ST	3.990	877.800	845.880
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =12.5 mm ST	3.780	98.280	52.920
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =10 mm ST	3.003	162.162	162.162
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =15 mm XR	5.870	311.110	305.240
Plancha Volcoglass 1.2x2.4 e =15.9 mm	17.798	302.566	302.566
Total		3.195.341	3.099.381

Tabla 19: Costo de adquisición de perfiles en la situación actual de la obra y la situación proyectada.

		Situación actual	Situación proyectada
Tipo	Costo, \$/unidad	Costo de compra, \$	Costo de compra, \$
Perfil 90 CA085 2.4 m	1.477	44.310	44.310
Perfil 92 CO085 3 m	1.576	15.760	14.184
Perfil 60 CA085 2.4 m	1.190	268.940	262.990
Perfil 62 CO085 3 m	2.052	106.704	106.704
Perfil 40 CA085 2.4 m	2.019	1.540.497	1.485.984
Perfil 42 CO085 3 m	1.363	263.059	257.607
Total		2.239.270	2.171.779

Tabla 20: Costo de mano de obra y maquinarias respecto a las planchas y perfiles en la situación actual de la obra y la situación proyectada.

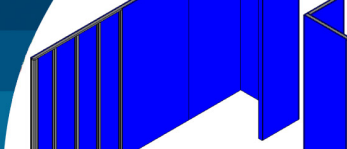
		Situación actual	Situación proyectada
	Costo mano de obra y maquinarias, \$/plancha	Costo mano de obra y maquinaria, \$	Costo mano de obra y maquinaria, \$
Planchas	1.078	633.927	609.131
Perfil	209	266.464	258.725

Tabla 21: Costo por m² de gestión de residuos por cada tipo de plancha

Tipo	Manipulación, \$/m ²	Transporte, \$/m ²	Depósito, \$/m ²	Total, \$/m ²
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=15 mm RF	217	354	945	1.516
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=15 mm RH		315	840	1.372
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=12.5 mm RH		249	665	1.131
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=15 mm ST		315	840	1.372
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=12.5 mm ST		249	665	1.131
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=10 mm ST		197	525	939
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=15 mm XR		360	959	1.535
Plancha Volcoglass 1.2x2.4 e=15.9 mm		368	980	1.564

A causa de la disminución de planchas se produce un ahorro en la manipulación de estas, este ahorro alcanza los \$24.796 lo que equivale a no movilizar las 23 planchas disminuidas. En el caso de los perfiles metalcon sucede algo similar y en la Tabla 20 se presentan los costos involucrados. Con la disminución de 37 perfiles se disminuye el costo en \$7.739.

Por último, se debe agregar el costo de gestión de residuos,



en donde se consideró el costo de eliminar un m² de planchas yeso cartón. Es importante destacar que el valor de desechar una plancha dependerá del peso de esta, ya que todas tienen diferente peso. Por lo tanto, se debe considerar este factor, en el caso del transporte y depósito del residuo. Los costos de gestión de residuos se componen de tres subvalores los cuales son: manipulación de residuos, transporte y costo de recepción en la planta de tratamiento de residuos. La Tabla 21 presenta los diferentes valores involucrados. A partir de los precios, se pueden calcular los valores que debe pagar la constructora para desechar sus residuos en las dos situaciones presentadas, tanto en la situación actual y la situación proyectada (Tabla 22).

Tabla 22: Costo total de gestión de residuos por cada tipo de plancha en situación actual y situación proyectada

Tipo	S. actual	S. proyectada
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =15 mm RF	36.781	28.048
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =15 mm RH	44.328	44.328
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =12.5 mm RH	36.987	36.987
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =15 mm ST	91.591	59.986
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =12.5 mm ST	46.738	7.646
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =10 mm ST	26.319	26.319
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =15 mm XR	24.504	20.083
Plancha Volcoglass 1.2x2.4 e =15.9 mm	21.774	21.774
Total	329.022	245.172

A causa de la disminución de las planchas se ve directamente involucrado el valor de la gestión de residuos, por lo tanto, se observa una baja en el valor de alrededor de \$83.851. Como una situación aparte se presentan los costos asociados a la gestión de residuos según lo medido en la obra, los valores son considerablemente mayores a los obtenidos en los dos casos anteriormente presentados (Tabla 23).

Finalmente, se presentan los valores de gestión de residuos proveniente del metalcon, donde es importante destacar dos subvalores, lo primero es considerar la manipulación de los residuos, mientras que, por otro lado, tenemos el valor de venta de los restos de metalcon que es un ingreso hacia la constructora, puesto que son vendidos como chatarra (Tabla 24).

Tabla 23: Costo total de gestión de residuos por cada tipo de plancha medida en obra

Tipo plancha	Costo gestión de residuos, \$
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=15 mm RF	63.236
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=15 mm RH	97.658
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e =12.5 mm RH	52.844
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=15 mm ST	147.640
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=12.5 mm ST	11.428
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=10 mm ST	76.363
Plancha yeso cartón 1.2x2.4 e=15 mm XR	23.399
Plancha Volcoglass 1.2x2.4 e=15.9 mm	15.305
Total	487.873

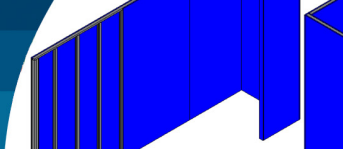
Tabla 24: Costo por kg de gestión de residuos por cada tipo de perfil

Tipo	Manipulación, \$/kg	Venta de residuos, \$/kg
Perfiles metalcon	215	120

Con los valores de la Tabla 24, se procede a estimar el costo asociado a la gestión de residuos de metalcon, tanto en la situación actual de la obra, como en la situación proyectada después de la modelación del tercer piso (Tabla 25).

Tabla 25: Costo total de gestión de residuos por cada tipo de perfil en situación actual y situación proyectada

Tipo	Situación actual	Situación proyectada
Perfil metalcon	Costo, \$	Costo, \$
	11.607	5.646



Al analizar los valores entregados por la Tabla 25, se puede determinar que existe una diferencia de \$5.961, este valor es bajo, debido a que existe un ingreso por la venta de chatarra.

Conclusión

El ahorro que se produce debido a la disminución en la utilización de planchas alcanza un valor de \$204.759. Sin embargo, los mayores ahorros se producen tanto en el costo de adquisición de las planchas, como también en la gestión de los residuos. En el caso de los perfiles metalcon alcanza los \$81.191. Asimismo, el valor ahorrado en el caso de las planchas es más elevado al disminuido con los perfiles metalcon. Esto se debe en gran parte a que el costo de adquisición de las planchas es mucho mayor al de los perfiles. Además, el costo de desechar residuos de yeso es mayor al de eliminar los residuos de metalcon, puesto que los restos son vendidos como chatarra generando un pequeño ingreso para la constructora. Es por esto, que se vuelve de vital importancia optimizar el uso de planchas y lograr su máximo aprovechamiento. Finalmente, el ahorro total que se produce en el tercer piso del edificio es de \$285.950, dicho valor considera el ahorro producido por las planchas de yeso cartón y los perfiles metálicos.

Comentarios finales

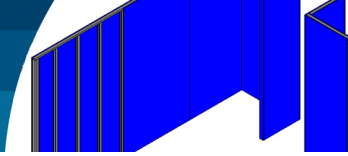
Por otra parte, es muy importante mencionar la gran cantidad de residuos de planchas de yeso cartón que se midieron en la obra, debido a que esto indica que existe una gran pérdida relacionada con una errónea instalación y manipulación de planchas. Al analizar profundamente este punto se puede determinar que existen 128.45 m² de residuos producto de una errónea instalación, lo que equivale aproximadamente a 45 planchas extras. Siguiendo la misma línea del análisis de las planchas se procede a estudiar lo sucedido con los perfiles metalcon, donde se puede determinar que ocurre lo contrario a lo sucedido con las planchas de yeso cartón, ya que existe una gran similitud entre los datos medidos en obra y los determinados bajo el enfoque de la modelación, considerando sólo los excedentes de cortes, esto indica que existe un correcto manejo de los perfiles metalcon dentro de la obra.

Una característica significativa que se debe señalar, es que los valores asociados a costos de mano de obra y

maquinarias presentados durante el estudio, sólo son válidos para el 3° piso del Edificio Rengo 1281, debido a que en los pisos superiores los valores de rendimiento posiblemente tenderán a disminuir, ya que dependerá de la altura en la cual se esté trabajando, dado que el tiempo en mover una plancha o un perfil tenderá a aumentar, lo mismo sucede en la manipulación de los residuos, ya que se extenderá el tiempo que se demora en desechar las planchas, del mismo modo el de bajar los residuos de metalcon hacia el punto de acumulación.

Referencias

- Aleksanin, A. (2019). Development of construction waste management. *XXII International Scientific Conference on Construction for the Formation of Living Environment FORM2019*, 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
- Bustamante, G., Pino, I. y Molina, C. (2022). Metodología de optimización para el uso de yeso cartón y Metalcon en un proyecto habitacional. *Obras y Proyectos* 32, 54-65
- 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 (2020). CutMaster 2D, V 1.5.3 - Cutting optimization software for professional and home workshops. <http://www.cutmaster2d.com/>
- 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



- MINVU (2019). Diagnóstico sobre infraestructura RCD en Chile. División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional Ditec, Secretaría Ejecutiva de Construcción Sustentable. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 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
- Revit (2019). CAD BIM software. Autodesk
- 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