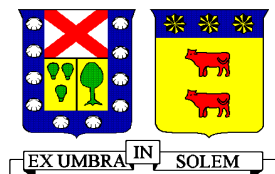


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAISO - CHILE



CUANTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE RCD EN CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS DE ALTURA.

TAMARA ANDREA GUERRERO VALENZUELA

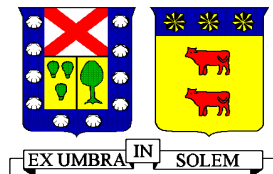
Memoria para optar al Título de
Ingeniera Civil

Profesor Guía
Daniel Harambillet.

Profesor Correferente
Gonzalo Suazo

Septiembre de 2021

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAISO – CHILE



CUANTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE RCD EN CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS DE ALTURA.

Memoria de titulación presentado por
TAMARA ANDREA GUERRERO VALENZUELA

Como requisito parcial para optar al título de
Ingeniera Civil

Profesor Guía
Daniel Harambillet.

Profesor Correferente
Gonzalo Suazo

Septiembre de 2021

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi familia que me ha apoyado en toda mi etapa universitaria y han sido siempre incondicionales en todos mis procesos. Agradezco a Diego por acompañar las infinitas horas de estudio, por enseñarme, por su amistad, amor e incondicionalidad.

Agradezco a mis compañeros y amigos de la Universidad que compartieron noches de estudio porque logré terminar este proceso gracias a su compañerismo y apoyo. A la Coni y el Fran por ayudarme a solucionar algunos temas que surgieron en el proceso de desarrollo de este documento.

Gracias a Daniel por siempre resolver mis dudas y por darme esta tema de Memoria, admiro sus ganas de querer innovar y fomentar el desarrollo de procesos más sustentables en la construcción. Gracias al profesor Matías Silva por su interés en el área de estudio y por apoyarme en el desarrollo de este tema de memoria.

Por último, gracias al equipo de balonmano femenino espero que sigan creciendo como lo hemos hecho y que la Universidad apoye a todas las mujeres y hombres estudiantes y deportistas que la representan en cada partido.

RESUMEN

Este trabajo de título nace de la necesidad de cuantificar los residuos de construcción y demolición (RCD) que se generan en el desarrollo de edificaciones habitacionales en Chile. Actualmente existe un aumento en la construcción de edificios vinculado al desarrollo del país, la densificación urbana y a la sobrepoblación de las ciudades. Este auge en la construcción inmobiliaria en Chile implica un aumento en la necesidad de materiales de construcción y, por ende, un aumento en la cantidad de materiales desechados.

El diseño de edificios es propio de cada país dadas las solicitudes particulares en cuanto a sismicidad, exposición a cargas de nieve, vientos, lluvias, variaciones de temperatura, entre otras. Por lo mismo la literatura existente se vuelve escasa y poco representativa para la realidad chilena respecto a los RCD. En este contexto, este trabajo de título busca contribuir en la caracterización y cuantificación de los residuos de construcción y demolición (RCD) generados en el desarrollo de edificaciones residenciales en altura de hormigón armado en Chile, entendiendo que la cuantificación de residuos es un requisito previo para la correcta gestión de estos.

De forma similar al estudio de Bravo et al. 2019, se realizó un análisis teórico de cuatro edificios habitacionales en altura construidos por la empresa Constructora Ingevec S.A. cuantificando los residuos de construcción utilizando para ellos el Método de Acumulación del Sistema de Clasificación (CSA) (Wu, et al., 2014). Esta metodología se desarrolla en base al método de cálculo de la Tasa de Generación (GRC), donde se busca obtener la tasa de generación de residuos para una unidad de actividad particular (kg/m^2 y m^3/m^2). La diferencia con el método CSA, es que este último involucra un sistema de clasificación que proporciona una manera de cuantificar los materiales de forma específica.

En este estudio, la cantidad de RCD generada se subdividió en tres fuentes de residuos; i) de obra gruesa y terminaciones, ii) generados por instalaciones provisionales, y iii) de embalaje. En los dos primeros casos, se considera que todo el material recibido en obra se desecha como residuo. En el caso de los residuos de obra gruesa y terminaciones, se estiman de acuerdo con la diferencia entre lo recibido en obra y lo proyectado según propuesta en la cubicación y en el presupuesto. Los residuos se cuantifican en términos de masa, volumen y cantidad de camiones. Además, se realiza un estudio económico, considerando costos de material, costos de transporte y costos de mano de obra.

Los resultados indican que en los proyectos estudiados el factor de generación de residuos varía entre 0,19 y 0,31 [m^3/m^2]. En casi todos los materiales y en las cuatro obras analizadas, las pérdidas reales obtenidas son mayores a las pérdidas presupuestadas. De los residuos cuantificados el material que más se descarta es el hormigón, para el cual se estiman pérdidas entre 92 y 163 [kg/m^2], seguido por las planchas de yeso-cartón, el yeso y la madera.

Los costos de RCD varían entre 12.878 y 19.455 [CLP/ m^2] y se estima que la nula gestión de los residuos en obra incide en costos entre un 3 y 6% del presupuesto total.

ABSTRACT

This work aims to quantify construction and demolition waste (CDW) generated in residential buildings development in Chile. Due to country development, urban densification and cities overcrowding there is an increase in the construction of buildings. That implies an increase in the needs for materials of construction and, therefore, an increase in the quantity of materials discarded.

The buildings design is specific to each country given the particular demands in terms of seismicity, exposure to snow loads, winds, rains, temperature variations, among others. Therefore, the literature becomes scarce and not very representative for the Chilean reality regarding to CDW. In this context and considering that a good quantification of waste is a prerequisite for the correct management of waste, this work seeks to contribute in define a characterization and quantification of construction and demolition waste generated in the development of tall residential buildings with reinforced concrete in Chile.

Similar way to the study by Bravo et al. 2019, a theoretical analysis of four high-rise residential buildings built by the Constructora Ingevec S.A. was carried out to quantifying construction waste using the Classification System Accumulation Method (CSA). This methodology is developed based on the Generation Rate Calculation method (GRC), which seeks to obtain the waste generation rate for a particular activity unit (kg / m^2 and m^3 / m^2). The difference with the CSA with GRC involves a classification system that provides a way to quantify specific materials.

In this study, the amount of CDW generated was subdivided into three waste sources; i) structural work and finishings, ii) generated by temporary installations, and iii) packaging. In the first two cases, it is considered that all the material received on site is disposed as waste. In the case of waste from structural work and finishings, the waste is estimated according to the difference between what is received on site and what is projected according to the proposal in the cubing and budget. Waste is quantified in terms of mass, volume and number of trucks. In addition, an economic study is carried out, considering material, transportation and labor costs.

In the projects studied the results indicate the waste generation factor varies between 0.19 and 0.31 [m^3 / m^2]. In almost, all materials and in the four works analyzed, the real losses obtained are greater than the budgeted losses. Of the quantified waste, the material that is discarded the most is concrete, for which losses between 92 and 163 [kg / m^2] are estimated, followed by plasterboard, plaster and wood.

CDW costs vary between 12.878 and 19.455 [CLP / m^2] and it is estimated that the null management of waste on site affects costs between 3% and 6% of the total budget.

ÍNDICE

1	Introducción	1
1.1	Objetivo General.....	2
1.2	Objetivos Específicos	2
1.3	Metodología	2
2	Contexto	3
3	Metodología y supuestos	6
3.1	Marco normativo de los RCD en Chile	6
3.1.1	NCh3562.....	7
3.1.2	Hoja de Ruta RCD economía circular en construcción 2035	7
3.2	Obras analizadas	8
3.3	Principales Supuestos	10
3.4	Obtención indicadores	10
3.5	Caracterización y Clasificación de (RCD).....	12
3.5.1	Residuos de embalaje	12
3.5.2	Residuos de instalaciones provisionarias	12
3.5.3	Restos y/o pérdidas de obra gruesa y terminaciones	12
3.6	Cuantificación de RCD	14
3.6.1	Cuantificación de residuos de embalaje	14
3.6.2	Cuantificación residuos de instalaciones provisionarias	15
3.6.3	Residuos de restos y/o pérdidas.....	16
3.6.4	Residuos de Yeso	16
3.7	Estudio de resultados y estimación de costos	17
4	Resultados	19
4.1	Cálculo indicador de factor de generación de residuos (FG).....	19
4.2	Resultados indicador de pérdida	19
4.3	Cuantificación de RCD por material	20
4.4	Cuantificación de RCD por tarea	22
4.5	Cuantificación económica de RCD.....	23
5	Análisis de resultados.....	25
5.1	Volumen retirado de RCD	25
5.2	Indicador de pérdida <i>Ip</i> (%)	33

5.3	RCD distribuidos por material	36
5.4	RCD distribuidos por flota de camiones.....	49
5.5	Análisis por fuente de pérdida	52
5.6	Análisis económico.....	55
6	Recomendaciones.....	61
6.1	Recomendaciones generales	63
6.2	Recomendaciones para la prevención y reutilización de los residuos	64
6.2.1	Madera	64
6.2.2	Hormigón y acero estriado	65
6.2.3	Tierra de excavación.....	66
6.2.4	Revestimientos y Materiales a base de yeso.....	66
6.3	Recomendación para el reciclaje de los residuos.....	67
7	Conclusiones	68
8	Bibliografía.....	70
9	Anexos.....	72
	Anexo A	72
	Anexo B	73
	Anexo C	82
	Resultados indicador de pérdida por Obra	82
9.1.1	Resultados de RCD por tarea.....	84
	Anexo D.....	86
	Anexo E	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Muestra regiones con sitios de disposición final legal de RCD v/s porcentaje de generación de RCD anual en el país. (Ossio, et al., 2020)	6
Figura 2. Edificio Martín de Zamora, Las Condes, Santiago de Chile.....	8
Figura 3. Muestra retiro de escombros real y retiro de escombros presupuestado.....	25
Figura 4. Muestra el factor de generación de residuos [m^3/m^2] asociado a cada obra.	26
Figura 5. Curva factor de generación en función del área construida considerando cuatro obras.	27
Figura 6. Muestra volumen de residuos en función del área construida considerando cuatro obras.	29
Figura 7. Muestra relación entre el área construida y el factor de generación de residuos de otras 15 obras.....	30
Figura 8. Muestra relación entre el área construida y el volumen de residuos de otras 15 obras.	31
Figura 9. Muestra pérdida promedio presupuestada y pérdidas reales para materiales utilizados en obra gruesa y terminaciones de las obras en estudio.....	33
Figura 10. Muestra el promedio de las pérdidas reales y presupuestadas por material de las cuatro obras en estudio	35
Figura 11. Muestra masa de los residuos estimados en las obras analizadas.	37
Figura 12. Muestra el factor de generación de residuos en términos de masa sobre el área construida (kg/m^2).	38
Figura 13. Muestra volumen con esponjamiento de un 30% de los residuos estimados en las obras analizadas.	39
Figura 14. Muestra el factor de generación de residuos en términos del volumen sobre el área construida (m^3/m^2).	40
Figura 15. Muestra volumen cuantificado respecto al volumen retirado de residuos en obra.	41
Figura 16. Muestra volumen promedio respecto al retiro total de residuos en obra.	41
Figura 17. Muestra la masa cuantificada respecto a la masa retirada de residuos en obra...	42
Figura 18. Muestra masa promedio respecto al retiro total de residuos en obra.	42
Figura 19. Muestra porcentaje de camiones de retiro de RCD distribuido por material y por obra.	44
Figura 20. Muestra los promedios de residuos totales en términos de capacidad de retiro en camiones.	45
Figura 21. Resultados por obra estimados de RCD en base al uso y/o procedencia del material	47
Figura 22. Resultados promedio estimado de camiones de retiro de RCD en base al uso y/o procedencia del material	48
Figura 23. Muestra la flota de camiones de retiro de RCD discretizada por tipo de residuos para la obra San Nicolas Norte.	49

Figura 24. Muestra la flota de camiones de retiro de RCD discretizada por tipo de residuo para la obra Martín de Zamora.	50
Figura 25. Muestra la flota de camiones de retiro de RCD discretizada por tipo de residuos para la obra Pudahuel II.	51
Figura 26. Muestra la flota de camiones de retiro de RCD discretizada por tipo de residuos para la obra Coronel Souper.	51
Figura 27. Muestra los costos de material adicional adquirido discretizado por tipo de residuo para la obra San Nicolas Norte.	55
Figura 28 Muestra los costos de material adicional adquirido discretizado por tipo de residuo para la obra Martín de Zamora.	56
Figura 29. Muestra los costos de material adicional adquirido discretizado por tipo de residuos para la obra Pudahuel II.	57
Figura 30. Muestra los costos de material adicional adquirido discretizado por tipo de residuos para la obra Coronel Souper.	58
Figura 31. Muestra los costos totales vinculados a RCD.	59
Figura 32. Identificación de soluciones preliminares para impulsar una economía circular en construcción en la cadena de valor. Elaboración Hoja de Ruta RCD 2035.	62
Figura 33. Jerarquía de residuos. Elaboración Hoja de Ruta RCD 2025, consulta pública.	62
Figura 34. Muestra los residuos generados en la Unión Europea en 2014. Distribuidos por país y por tipo de residuo. Fuente: EUROSTAT (2018)	72
Figura 35. Muestra respuestas encuesta realizada en el Informe “Diagnóstico Gestión de Residuos”. (CDT, 2018)	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Muestra niveles de residuos en países de la UE con mayor generación de RCD. ...	4
Tabla 2. Información de las obras estudiadas.....	9
Tabla 3. Categorización de RCD de las obras analizadas.	13
Tabla 4. Factor de generación de residuos	19
Tabla 5. Muestra promedio de pérdidas presupuestadas para las cuatro obras.	19
Tabla 6. Cuantificación RCD por material Obra San Nicolas Norte.....	20
Tabla 7. Cuantificación RCD por material Obra Martín de Zamora.....	21
Tabla 8. Cuantificación RCD por material Obra Pudahuel II	21
Tabla 9. Cuantificación RCD por material Obra Coronel Souper.....	22
Tabla 10. Cuantificación RCD por actividad, promedios de los resultados de las cuatro obras.	22
Tabla 11. Costos promedios de materiales de las cuatro obras analizadas.....	23
Tabla 12. Costos asociados a mano de obra requerida para aseo en las obras	23
Tabla 13. Costos totales involucrados en el retiro de RCD en obra	24
Tabla 14. Costos por superficie construida en el retiro de RCD en obra	24
Tabla 15. Corresponde a los resultados de la muestra de validación utilizando la Ecuación 4.	28
Tabla 16. Corresponde a los resultados de la muestra de validación utilizando la Ecuación 5.	29
Tabla 17. Corresponde a los resultados de la muestra de validación utilizando la Ecuación 6.	31
Tabla 18. Corresponde a los resultados de la muestra de validación utilizando la Ecuación 7	32
Tabla 19. Tabla de densidades.....	73
Tabla 20. Tabla de consideraciones en dimensiones que no estaban en el registro de compras o presupuesto de la constructora.....	74
Tabla 21. Muestra tipo categorización de los materiales por fuente del residuo que se considera.....	76
Tabla 22. Muestra pérdidas presupuestadas y reales de la obra San Nicolas Norte.....	82
Tabla 23. Muestra pérdidas presupuestadas y reales de la obra Martín de Zamora.....	82
Tabla 24. Muestra pérdidas presupuestadas y reales de la obra Pudahuel II.....	83
Tabla 25. Muestra pérdidas presupuestadas y reales de la obra Coronel Souper.	83
Tabla 26. Cuantificación RCD por actividad Obra San Nicolas Norte	84
Tabla 27. Cuantificación RCD por actividad Obra Martín de Zamora	84
Tabla 28. Cuantificación RCD por actividad Obra Pudahuel II.....	84
Tabla 29. Cuantificación RCD por actividad Obra Coronel Souper	84
Tabla 30. Costos de materiales correspondientes a pérdidas en la obra San Nicolas Norte	85
Tabla 31. Costos de materiales correspondientes a pérdidas en la obra Martín de Zamora.	85
Tabla 32. Costos de materiales correspondientes a pérdidas en la obra Pudahuel II	85
Tabla 33. Costos de materiales correspondientes a pérdidas en la obra Coronel Souper.....	86
Tabla 34. Muestra información asociada a otras 15 obras ejecutadas por la constructora....	86

1 INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción es un sector importante dentro del desarrollo socioeconómico de un país. En Chile, el crecimiento y desarrollo del sector inmobiliario y de construcción se encuentra fuertemente ligado al crecimiento del país y a los ciclos económicos que este ha registrado. El mercado formal de la construcción tiene una participación por sobre el 7,1% del Producto Interno Bruto (PIB) y una participación del 8,5% de los empleos a nivel nacional (CChC, 2017) con 30 mil empresas relacionadas, en las cuales trabajan más de 700 mil personas.

En países en desarrollo existe una creciente demanda inmobiliaria, asociadas a la sobrepoblación, urbanización, densificación de las ciudades, al aumento de los costos del suelo y al requerimiento de centralidad y seguridad de las personas. Este aumento del sector involucra también un aumento en las necesidades y compra de materiales, los cuales comprenden cantidades y costos considerables dentro de un proyecto de construcción.

Este crecimiento en la demanda de materiales ha involucrado un aumento considerable en la generación de residuos de construcción y demolición (RCD). Estos son residuos que provienen del desarrollo de nuevos proyectos, de la rehabilitación, reparación y reacondicionamiento de obras existentes, de los procesos de preparación de terrenos y de la demolición de obras que han perdido su valor de uso o demoliciones que se generan por situaciones de catástrofe. (NCh 3562:2019).

A nivel mundial, el sector de la construcción genera entre un 24% y un 35% de los residuos totales (Comisión Nacional del Medioambiente, 2010; Construction Materials Recycling Association, 2005; Hendriks y Pietersen, 2000). En el caso de Chile se estima que el sector de la construcción en el año 2009 generó cerca del 34% de los residuos sólidos del país (CONAMA, 2010).

A lo anterior se suma que los residuos de construcción y demolición se sustentan en una economía lineal, donde; se extraen materias primas, se fabrican materiales, se construye y luego se desecha. Esta linealidad, junto con la escasa gestión e inadecuada disposición de residuos, representa un gasto y pérdida de recursos para las constructoras y un deterioro, tanto del entorno urbano como natural.

Esta memoria de titulación se desarrolla con el objetivo de estudiar las pérdidas de recursos y los costos involucrados que existen cuando no hay un adecuado control en la gestión de los RCD.

En particular se analizaron cuatro obras ya ejecutadas por la Constructora Ingevec S.A durante los años 2013 y 2020. El estudio se realizó bajo el supuesto de que los RCD son iguales a las pérdidas y/o diferencias entre lo comprado y presupuestado por cada material analizado. Mediante el Método de Acumulación del Sistema de Clasificación (CSA) (Wu, et al., 2014) se obtiene la tasa de generación de residuos para una unidad de actividad particular (kg/m^2 y m^3/m^2).

La información recaudada busca ayudar a futuras decisiones que pueda requerir la constructora con el objetivo de disminuir la generación de RCD en sus obras y al mismo tiempo disminuir las pérdidas en materiales, mediante procesos más optimizados y eficientes.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Este trabajo de titulación tiene como principal objetivo estimar y caracterizar los residuos de construcción y demolición (RCD) de cuatro edificaciones habitacionales en altura de hormigón armado en Chile.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener el indicador de generación de residuos de cada obra y compararlo con el presupuestado.
- Cuantificar las pérdidas asociadas a cada material y compararlas con las pérdidas presupuestadas.
- Estimar la masa y volumen de RCD en la construcción de edificios de altura.
- Estimar y caracterizar los residuos retirados de la obra en términos de flota de camiones.
- Caracterizar y distinguir los materiales más influyentes en la generación de residuos de construcción de edificios de altura.
- Analizar las principales razones que generan pérdidas de materiales en la etapa de construcción de obras.
- Estimar los costos asociados a RCD en la construcción de edificaciones habitacionales en altura.
- Entregar recomendaciones para disminuir los residuos de construcción y demolición en obra.

1.3 METODOLOGÍA

La metodología de trabajo se basó en primer lugar en la revisión bibliográfica investigando acerca del contexto actual existente tanto en Chile como a nivel mundial respecto a la gestión de residuos de la construcción y demolición (RCD). En una segunda etapa se revisaron los antecedentes facilitados por la Constructora Ingevec para las cuatro obras en estudio los cuales corresponden al presupuesto detallado por actividad, presupuesto detallado por insumos y el registro de compras ya finalizados.

Los materiales se registraron y clasificaron de acuerdo con el tipo y procedencia de estos. Para realizar una primera estimación de los residuos de construcción y demolición (RCD) generados en las obras estudiadas, se utilizó como primer supuesto que los RCD son iguales a las pérdidas y/o diferencias entre lo comprado y presupuestado por cada material analizado. Bajo este supuesto se determinaron los materiales que generan mayores residuos en la obra y las tareas que involucran estos materiales. Mediante el Método de Acumulación del Sistema

de Clasificación (CSA) (Wu, et al., 2014) se obtuvo la tasa de generación de residuos para una unidad de actividad particular (kg/m^2 y m^3/m^2).

Para definir que materiales cuantificar, se consideró la bibliografía existente (Bravo, 2019), (Bravo, 2018) (Construye 2025, 2020) y la experiencia del profesional a cargo de las obras. Se calculó el volumen en [m^3] y la masa en [ton] asociadas a cada material y se consideró la variable más restrictiva en base a la capacidad de los camiones. Los resultados obtenidos se discretizaron por tipo de material y por tarea. Los costos estimados consideran transporte, compra extra de material, y mano de obra. Se comparan además las pérdidas reales con las pérdidas presupuestadas para cada material y se analizan las principales causas que involucran la pérdida de material.

2 CONTEXTO

Actualmente, existe un creciente aumento de la industria de la construcción, tanto en Chile como a nivel mundial, siendo la construcción el mayor consumidor de materias primas y otros recursos, utilizando alrededor del 50% de la producción mundial de acero y más de 3 mil millones de toneladas de materias primas (Construye 2025, 2020). En el caso de los áridos sucede algo similar, siendo la principal materia prima para la construcción de infraestructura y la edificación. Corresponden a la segunda materia prima más consumida por el hombre después del agua y se utilizan en la preparación de hormigón preparado, prefabricados de hormigón (80% contenido de áridos), mortero, aglomerados asfálticos (95% contenido de áridos), construcción de carreteras, entre otros.

Así mismo los residuos provenientes de la industria de la construcción, denominados residuos de construcción y demolición (RCD), constituyen un problema grave, ya que su generación y mala disposición ocasiona diversos impactos negativos directos e indirectos tales como:

- Contaminación de la tierra: degradación de suelos aptos para otros usos debido al requerimiento de mayores lugares de disposición de residuos.
- Contaminación de aguas subterráneas: Al entrar en contacto los RCD con las aguas lluvias, es posible que el lixivido producto de los residuos se filtre y contamine las napas de agua propagando infecciones en las zonas cercanas.
- Contaminación de aguas superficiales: Contaminación de flujos de agua especialmente en regiones donde no existen lugares de disposición adecuada de RCD.
- Contaminación acústica y del aire: Los rellenos sanitarios, vertederos y basurales generan emisiones de gases de efecto invernadero tales como metano y dióxido de carbono. Por otro lado, el transporte de residuos impacta en la contaminación del aire, aumenta los niveles de ruido, accidentes y congestión en las vías.
- Daño en los ecosistemas: Los bajos niveles de reutilización y reciclaje de materiales aumentan la utilización de materias primas vírgenes, extracción ilegal de áridos y la destrucción de ecosistemas. Además, producto del inadecuado vertido de residuos

peligrosos se aumenta el riesgo de incendios que puedan propagarse a terrenos cercanos.

En el año 2014, la cantidad total de residuos generados en la Unión Europea (UE) alcanzaron los 2503 millones de toneladas, de esta cantidad el 34,7% corresponde a residuos de construcción y demolición (Eurostat, 2017). Los países de la UE que más residuos generan se muestran en la Tabla 1 y corresponden a Alemania, Francia e Reino Unido, de los cuales el 53%, 70% y 48%, respectivamente, corresponden a RCD. Otros países con menores niveles de residuos totales, pero altos porcentajes de RCD son; Dinamarca (52%), Luxemburgo (85%), Malta (75%), Austria (72%) y Países Bajos (68%).

Tabla 1. Muestra niveles de residuos en países de la UE con mayor generación de RCD.

	Total residuos		Generación de RCD		
	Cantidad total [Millones Ton]	Cantidad por habitante [Kg]	Cantidad RCD [Millones Ton]	Cantidad por habitante [Kg]	% RCD
Alemania	387,5	4785	206,5	2550,4	53%
Francia	324,5	4913	227,8	2618,6	70%
Reino Unido	251	3885	120,5	2070,7	48%
Dinamarca	20,1	3558	10,6	1896,4	53%
Luxemburgo	7,1	12713	6,0	6776,0	85%
Malta	1,7	3895	1,3	2076,0	75%
Austria	55,9	6541	72,1	3486,4	65%
Países Bajos	133,2	7901	90,7	4211,2	68%

Por otro lado, hay países con altos niveles de residuos, pero bajos porcentajes de RCD como Bulgaria (0,7%), Polonia (9,5%), Rumania (0,6%) y Suecia (5,3%), donde la mayor parte de sus residuos son derivados de la minería. Por ejemplo, en Bulgaria un incentivo para disminuir los niveles de RCD es que la entidad contratante que recurre a la contratación pública para trabajos de diseño y construcción tiene que introducir por ley un requisito de uso de materiales de construcción reciclados en los criterios de selección de contratistas y en los contratos laborales.

La tasa de recuperación de RCD en 2014 alcanzó en promedio un 88% en 28 países de la UE, siendo los mejores países en términos de gestión de residuos; Malta (100% de recuperación), Holanda (99%), Alemania (94%), Dinamarca (92%) y Reino Unido (95%). (Suárez-Silgado et al. 2018). Algo similar ocurre en Brasil, a pesar de ser un país emergente tiene una legislación en cuanto a RCD muy similar a la portuguesa. En este país, las leyes nacionales obligan a las constructoras a responsabilizarse de los residuos generados en sus obras planificando la gestión de los mismos (Barrientos, 2016).

El elevado porcentaje de reciclaje en países como Holanda, Dinamarca y Bélgica se debe a la escasez de materias primas para la obtención de áridos vírgenes, y a la dificultad de encontrar emplazamientos para vertederos, unidas a otras medidas de carácter legal y

económico (Barroso, 2013). Donde el hormigón reciclado que puede utilizarse en la construcción de carreteras, es uno de los materiales de construcción y demolición reciclados más utilizados. En el caso de Hong Kong se cobra desde 2005 un impuesto por la disposición de RCD, mientras que Dinamarca, Holanda, Suecia, Finlandia, Bélgica, Austria, Italia y Francia cobran impuestos por la disposición de los RCD.

Por otro lado, Dinamarca y Gran Bretaña promulgaron un plan de impuestos hacia los materiales naturales, para reducir aún más la diferencia de costo entre reciclar materiales y usar materiales naturales. Otra solución ha sido la utilización de medidas de recompensa por las actividades de reciclaje, por ejemplo, en Holanda, si el contratista utiliza materiales reciclables, el gobierno otorga un bono de seguro que funciona como un incentivo. (Suárez-Silgado et al. 2018).

Dentro de las medidas que han logrado los mayores impactos sobre la gestión de RCD en la UE son las siguientes:

- Holanda prohíbe el vertido de RCD reciclables desde 1997.
- En Alemania siguiendo el mandato contenido en la “Ley de Ciclos” los residuos recuperables de RCD no deben de ser vertidos.
- En Flandes hay una prohibición de verter RCD mezclados que comenzó en julio de 1998.
- Austria obliga por ley a separar (demolición selectiva) y reciclar estos residuos desde 1993.
- Suecia prohíbe el vertido de residuos combustibles a partir del 2002 y de materia orgánica a partir del 2005.

A pesar de los beneficios que trae la correcta gestión de residuos, una de las mayores dificultades a la hora de gestionar los RCD es la falta de confianza en la calidad de los materiales reciclados y los posibles riesgos sanitarios a los que se exponen los trabajadores que utilizan RCD. Esta desconfianza provoca una disminución de la demanda de materiales reciclados de construcción y demolición, lo cual inhibe el desarrollo de la gestión de RCD y de las infraestructuras de reciclaje.

En Chile, los residuos de la construcción y demolición (RCD) representan cerca del 34% de los residuos sólidos totales (CONAMA, 2010). y existe escasa información respecto a la gestión de estos. Como se observa en la Figura 1, la situación en Chile es compleja considerando que nueve regiones del país no cuentan con lugares autorizados de disposición de residuos sólidos, entre las cuales están; los extremos Norte y Sur del país y las regiones de Coquimbo, Maule y Ñuble. Por otro lado, la Región Metropolitana es la que concentra la mayor cantidad de sitios de disposición ilegal en Chile, alcanzando los 931 sitios, equivalente al 24,93%. (Ossio y Faúndez, 2021)

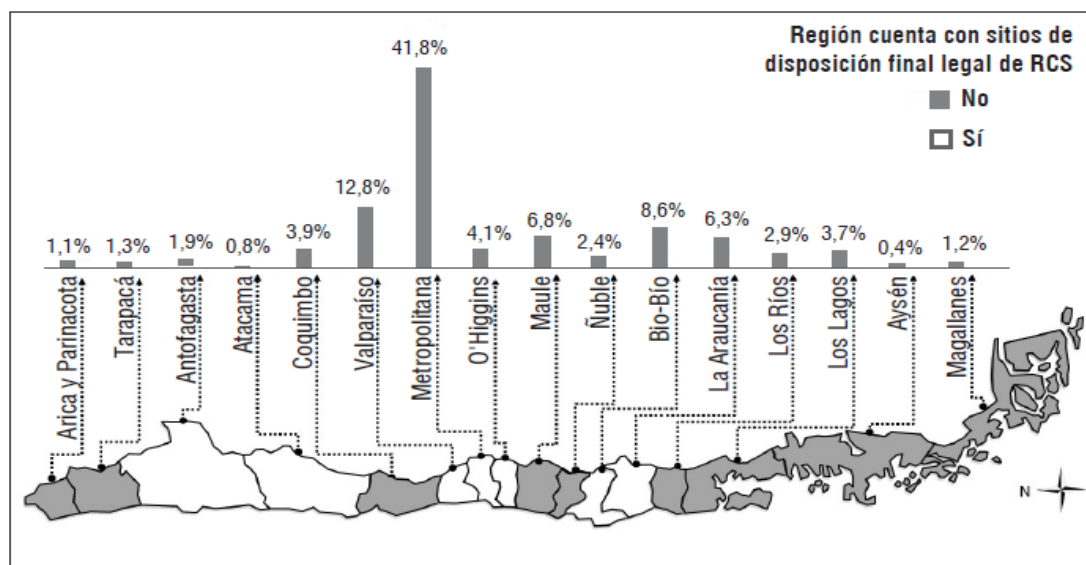


Figura 1. Muestra regiones con sitios de disposición final legal de RCD v/s porcentaje de generación de RCD anual en el país. (Ossio, et al., 2020)

Además, no existen mayores inversiones que busquen resolver el problema o una institucionalidad a nivel nacional encargada de la gestión de los residuos de construcción y demolición.

Un primer estudio a nivel nacional indica, que los RCD están compuestos en un 70% aproximadamente de escombros y otros materiales inertes, con un alto potencial de reciclaje para la producción de áridos reciclados, industria aún inexistente en el país. (Construye 2025, 2020). Un estudio desarrollado por la Comisión de Desarrollo Sustentable de la CChC de Valparaíso, concluyó, que de los RCD generados en la construcción de un edificio de 22 pisos y 16.692 m², el 73% corresponden a materiales pétreos, el 14% madera, 5% enfierradura, 3% yeso cartón, montantes y cerámicas, entre otros (Estudio Viconsal, 2018).

3 METODOLOGÍA Y SUPUESTOS

3.1 MARCO NORMATIVO DE LOS RCD EN CHILE

Se revisa la normativa existente en Chile y los acuerdos que distintas organizaciones buscan establecer en un futuro, asociado a los residuos de construcción y demolición, en términos de su generación, almacenamiento, transporte y deposición.

Dentro de la normativa establecida previa al año 2018 asociadas a la gestión sustentable de RCD, se identifican los siguientes cuerpos directores (CITECUBB, 2017):

- Decreto Supremo N°148/2004, que corresponde al Reglamento Sanitario sobre el Manejo seguro de Residuos Peligrosos.
- Acuerdo de Producción Limpia Sector Construcción, Región del Biobío, (2007).

- Decreto Supremo N°189/2008, que regula las condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios.
- ISO-NCh 14000:2014 actualizada: Normas internacionales para los sistemas de gestión medioambiental.
- ISO-NCh 14040:2012 e ISO-NCh 14.044:2012 Normativas de Gestión ambiental y análisis de ciclo de vida (ACV).
- Serie de Estándares Técnicos para edificaciones residenciales. Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas de Chile. Tomo IV: Materiales y Residuos. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, MINVU, 2016.
- Normativas de sustentabilidad en Edificios sustentables CES/LEED.
- Ley N°20.879 de noviembre de 2015, que se refiere a sanciones asociadas al transporte a vertederos clandestinos, en bienes nacionales de uso público, o en la vía pública.
- Ley N°20.920 de junio de 2016, la cual establece un marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje.
- DS 1/ 2013 Reglamento de registro de emisión y transferencia de contaminantes, RECT.

Dentro de la Normativa y acuerdos establecidos entre 2019 y 2020 asociadas a la gestión de RCD se suscriben los siguiente;

3.1.1 NCh3562

La “NCh3562: Gestión de residuos – Residuos de construcción y demolición (RCD) – Clasificación y directrices para el plan de gestión”, corresponde a una normativa aprobada por el Consejo de Instituto Nacional de Normalización, en sesión realizada el 24 de junio de 2019. Entre sus alcances se encuentran; establecer una clasificación para los residuos de construcción y demolición (RCD), estableciendo las consideraciones mínimas requeridas para la gestión de RCD e instaurando contenidos de un plan de gestión de RCD, además de, directrices para el generador y gestor de los residuos de construcción y demolición.

3.1.2 Hoja de Ruta RCD economía circular en construcción 2035

Corresponde a un documento que surge de un trabajo colaborativo liderado por el Comité Consultivo Público conformado por los ministerios de Vivienda y Urbanismo, Medio Ambiente, Obras Públicas, Corfo y Construye 2025, incluyendo comisiones regionales del Convenio Interministerial de la Estrategia Nacional de Construcción Sustentable (CS), Seremis del Medio Ambiente y el Comité Gestor de Gestión RCD y Economía Circular de Construye 2025, con una amplia participación del sector privado y académico.

La hoja de ruta establece lineamientos, acciones, metas y estrategias que impulsen la transición hacia una economía circular en el sector de la construcción. Para lo anterior, se definen cinco ejes estratégicos: i) el ordenamiento y la planificación sustentable del territorio, ii) la coordinación y articulación pública, iii) ecosistemas y cadenas de valor sustentables y

circulares, iv) la necesidad de desarrollar y fortalecer plataformas de datos que entreguen información para el diseño de políticas públicas y, v) creación de nuevos mercados en torno a la economía circular y la remediación ambiental para los impactos resultantes de la extracción de áridos y disposición inadecuada de los residuos de construcción y demolición (RCD).

El objetivo de la hoja de ruta es constituirse en un instrumento guía del accionar del sector, capaz de propiciar la gestión eficiente de los recursos, la disminución de extracción de materias primas y la prevención en generación de residuos con origen en los proyectos de edificación e infraestructura, para acelerar la transición hacia una economía circular.

3.2 OBRAS ANALIZADAS

Se estudiaron 4 edificios de tipo habitacional construidos por la Constructora Ingevec S.A. obras ejecutadas entre los años 2013 y 2020. Todos corresponden a edificios estructurados sobre la base de muros, losas, vigas de hormigón armado y tabiquería interior ejecutada en paneles de yeso cartón y estructura metálica tipo vulcometal.

La Figura 2 muestra el Edificio Martín de Zamora, ubicado en la comuna de Las Condes. Este edificio representa el tipo de estructura que se analizó en este estudio y corresponde a un edificio típico habitacional construido en Chile. Es preciso considerar que es el más pequeño en términos de altura y área construida entre las cuatro obras analizadas.

La Tabla 2 muestra la información asociada a cada obra estudiada, incluyendo el periodo y la comuna en la cual fue construida, área construida, número de pisos y de subterráneos. Los 4 edificios se encuentran ubicados en la Región Metropolitana, tienen entre 10-25 pisos y áreas construidas entre 8.247 m² y 22.004 m².



Figura 2. Edificio Martín de Zamora, Las Condes, Santiago de Chile.

Tabla 2. Información de las obras estudiadas

Edificio	Periodo	Comuna	Área [m ²]	Pisos	Subterráneos
San Nicolas Norte	2013-2015	San Miguel	22.004	25	2
Martín de Zamora	2015-2016	Las Condes	8.247	10	2
Pudahuel II	2016-2018	Pudahuel	11.901	15	2
Coronel Souper	2018-2020	Estación Central	19.385	20	2

Las cuatro obras analizadas se construyeron en base a las mismas fases constructivas, las cuales son similares en todas las obras de este tipo. Estas actividades se subdividen en:

1. Instalaciones provisionales: considera en esta partida todas las construcciones que integran la instalación de faenas, los cierres provisionales, trazado y niveles, la sala de venta y piloto y las demoliciones requeridas.
2. Obras previas: previo a la excavación general del edificio, se realizan las partidas asociadas a movimientos de tierra y socializado, necesarias para asegurar la estabilidad del terreno y construcciones de las propiedades vecinas.
3. Obra gruesa: contempla las actividades de excavación de fundaciones, moldaje, enfierradura, hormigones, losas postensadas, radieres, cubiertas y estructura de techumbre, otros muros y estructuras metálicas.
4. Terminaciones: considera en esta partida todas las actividades de tabiques varios, tabiques de yeso cartón, revestimientos, cubiertas, hojalatería, aislaciones de cielos y muros, impermeabilizaciones, pinturas y barnices, entre otros.
5. Instalaciones: incluye instalaciones sanitarias, eléctricas, corrientes débiles, calefacción y ventilación, ascensores, extracción de basura, aguas lluvias y extinción de incendios.
6. Obras exteriores: incluye pavimentaciones, pérgola, jardinerías, cierros definitivos, paisajismo y piscina
7. Urbanizaciones
8. Generales: contempla todas las acciones no mencionadas con anterioridad y que se requieren realizar dentro de la construcción del proyecto, entre ellos, gastos generales de oficina, herramientas, elementos de seguridad, fletes, etc.

Las cuatro obras son presupuestadas en una etapa preliminar de propuesta, donde son cubricadas, cotizadas y planificadas de forma tal, que al momento de construirse se cuente con plazos ya establecidos y en fiel acuerdo con el mandante. El presupuesto considera, materiales comprados, maquinarias arrendadas, mano de obra, subcontratos, instalaciones, entre otros.

En términos de pérdidas y residuos, estos son presupuestados para algunos materiales como hormigón, fierro, planchas de yeso-cartón, guardapolvos y junquillos, aislantes, perfiles metálicos, geotextiles, polietilenos, cornisas, baldosas, cerámicas, piso flotante, alfombras, entre otros. Además, el presupuesto considera un ítem de retiro de escombros separado del retiro de material de excavación y jornales de aseo para la correcta limpieza de la obra.

3.3 PRINCIPALES SUPUESTOS

Para estimar los residuos de una obra de construcción se asumió que los residuos son iguales a las pérdidas de material, y que estas pérdidas son iguales a los materiales comprados durante la construcción del proyecto menos los materiales presupuestados por cubicación.

Para hacer la conversión de masa a volumen y viceversa, se suponen las densidades de los materiales en base a lo expuesto en la Norma NCh1537 y/o de catálogos de algunos proveedores existentes en Chile. De la NCh1537 se tiene que el acero tiene una densidad de 7850 [kg/m³], el hormigón de 2400 [kg/m³], los paneles de yeso de 1000 [kg/m³], el pino de Oregón de 515 [kg/m³], en otras. (Anexo B)

Se supone que todos los camiones de retiro de escombros tienen una capacidad máxima en volumen y masa de 9,5 [m³] y 10[ton], respectivamente y se considera la variable más desfavorable entre las dos.

Para estimar volumen y masa de algunos embalajes y materiales se suponen las dimensiones expuestas en el Anexo B.

3.4 OBTENCIÓN INDICADORES

Inicialmente, se obtiene el factor de generación de residuos, mediante el Método de Acumulación del Sistema de Clasificación (CSA) (Wu, et al., 2014) como la tasa de generación de residuos para una unidad de actividad particular (kg/m² y m³/m²). En este caso, corresponde al volumen de retiro de escombros registrado por la constructora [m³] en función del área en [m²] asociada a la superficie construida bajo las losas del edificio.

El factor de generación de residuos (FG) permite contrastar la cantidad de residuos existentes, en función del tamaño de la obra, por lo cual es un indicador que se utiliza para comparar los resultados de cada obra con datos históricos de la empresa o con indicadores internacionales. (CDT, 2020). Se calcula el porcentaje de FG como:

$$FG (\%) = \frac{V_{RCD}}{A_c} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

FG : Factor de generación de residuos.

V_{RCD} : Volumen de residuos en disposición final autorizada en m³

A_c : Corresponde a los m² totales construidos.

Las cuatro obras estudiadas cuentan con un presupuesto previo a la ejecución del edificio, el cual tiene considerada una pérdida diferente para cada material. Lo que se busca es contrastar

esta pérdida con la obtenida en la práctica. Se considera que la pérdida real corresponde a la diferencia entre el material comprado y recibido en la obra menos el material presupuestado sin pérdida

El índice de pérdida del material se obtiene en base a la metodología utilizada por la constructora para medir el desempeño y/o pérdidas de los materiales. Este índice busca contrastar la diferencia entre la cantidad presupuestada y comprada realmente de un material, respecto a la cantidad disponible por propuesta. Se calcula como:

$$I_p(\%) = \left(\frac{Q_R - Q_P}{Q_P} \right) \times 100 \quad (2)$$

Donde:

Q_P : Cantidad presupuestado según cubicación de propuesta

Q_R : Cantidad de material comprada realmente

Si el resultado del indicador es negativo, se utilizó menos material de lo disponible por propuesta, lo cual se debe a errores en la cubicación o algún cambio de proyecto. Si no existe un registro del cambio no se puede estimar la cantidad de RCD asociada a ese material. Si el resultado del indicador es cero, no existiría pérdidas asociadas a ese material, caso que no suele ocurrir en las partidas de construcción a menos que el material se compre dimensionado y existan buenas prácticas en la ejecución. En el caso de que el resultado sea positivo, se puede concluir que existen pérdidas y esas pérdidas podrían ser una primera referencia para estimar la cantidad de RCD asociado a un material.

3.5 CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE (RCD)

Para la realización de este estudio, se realizó una revisión bibliográfica con el objetivo de conocer que residuos son los más generados en los proyectos de construcción y cuál es la situación a nivel país y mundial respecto a la gestión de estos. Debido a que los materiales y los métodos constructivos utilizados en Chile difieren de los utilizados en otros países ya sea de Europa o Asia, la información recopilada no representa la realidad chilena. Para definir que materiales comenzar a cuantificar, se considera la bibliografía existente en (Bravo et al. 2019), (Bravo, 2018) (Construye 2025, 2020) y la experiencia del profesional a cargo de las obras.

Se recopilaron los antecedentes de los proyectos, entre ellos el presupuesto de la obra, los registros de compra desarrollados durante la construcción de los edificios y el volumen de retiro de escombros total de cada obra. Se tabularon todos los materiales utilizados en las obras, distinguiendo las cantidades compradas de cada material (Q_i), la partida y actividad a la cual pertenecen. Se seleccionan los ítems que corresponden a materiales y se clasifican de acuerdo con la fuente de residuos asociada, definiéndose tres fuentes de residuos:

3.5.1 Residuos de embalaje

Se le asigna el código “00” y consideran todos los insumos utilizados para la protección y envoltura de materiales, entre ellos, pallets, sacos de papel, films, tinetas plásticas y metálicas, plásticos, entre otros.

3.5.2 Residuos de instalaciones provisorias

A esta fuente de residuo se le asignó el código “01” e incluye todos los materiales e insumos que son requeridos en la obra y que su vida útil termina dentro de la ejecución de la obra o que finalizada la construcción del edificio son descartados para su posterior entrega. Entre las actividades consideradas están; instalación de faenas, cierres provisorios, sala de venta y piloto, instalación de moldaje, trazado y niveles, aseo y entrega, elementos de seguridad, herramientas y socializado.

Los materiales utilizados en estas actividades son arrendados, vendidos y/o desechados. Se revisan todos de forma individual y sólo se consideran los materiales descartados.

3.5.3 Restos y/o pérdidas de obra gruesa y terminaciones

A esta categoría se le asigna el código “02”, el cual considera todos los materiales que son utilizados en la construcción del edificio y que son instalados permanentemente. Los residuos considerados como restos y/o pérdidas se refieren a excesos de materiales, pérdidas, cortes y roturas de materiales durante la ejecución de los trabajos.

Entre las actividades consideradas están; obra gruesa, socializado, terminaciones, instalaciones, urbanizaciones y obras exteriores.

Luego de clasificar los materiales por su fuente de residuo, se organizan por insumo o familia; asignándoles un código de cuatro letras a cada material en base al código predefinido por la constructora. La Tabla 3 muestra los materiales ordenados en nueve categorías.

Tabla 3. Categorización de RCD de las obras analizadas.

Nº	Categoría	Material
1.	Hormigón	Hormigón HB30 o HB35
2.	Revestimiento	Baldosas, cerámicas, porcelanatos, piso flotante, alfombras y papel mural
3.	Maderas	Pino bruto, elaborado, planchas y pallets
4.	Plásticos	PET, film, polietileno negro y transparente burbujas, cornisas de poliestireno, malla raschel, tinetas y otros.
5.	Metales	Fierro Estriado A-63-42H, reglas aluminio, planchas zinc alum, malla acma, malla biscocho galvanizada, perfiles de Fe, perfiles metálicos, envases metálicos
6.	Mat. de yeso	Planchas yeso cartón y yeso en sacos
7.	Mat. aislante	Aislanglass y Aislapol
8.	Áridos	Arena, gravas y gravillas
9.	Cartón y sacos	Cartón y sacos de papel

En primera instancia, el objetivo de esta memoria era realizar el análisis de los materiales por cada partida manteniendo la clasificación de la constructora para así poder tener una cuantificación de escombros más detallada y verificar que procesos generaban más escombros. Sin embargo, esto no fue posible ya que la base de datos de los insumos comprados no tenía en todos los casos asignadas correctamente las partidas. Además, en las obras, hay insumos que son comprados solo una vez y son utilizados en más de una partida y no queda registrado de esto.

Dado lo anterior, los materiales se subdividieron en sólo 4 grandes grupos:

1. Instalaciones provisionarias
2. Obra gruesa
3. Terminaciones
4. Embalaje

Donde la partida de instalaciones provisionarias incluye los materiales de gastos generales, la de obra gruesa considera los materiales de socializado, la de terminaciones incluye, los

insumos de instalaciones obras exteriores y urbanizaciones y no se incluye el retiro de escombros de movimiento de tierra en el análisis.

Las actividades en la construcción se asignaron a cada material, en base a la actividad para la que fueron utilizados y no en la cual fueron descartados. Por ejemplo, los residuos de madera generados en instalaciones de faenas son asociados a la actividad instalaciones provisionarias ya que fueron generados producto de la utilización del material para esta partida; y no son cuantificados en terminaciones u obra gruesa donde suelen ser descartados.

3.6 CUANTIFICACIÓN DE RCD

Se calculó el volumen de cada material comprado y/o presupuestado en base a la información entregada por la constructora o en base a las dimensiones existentes en el mercado. (Anexo B)

Al comparar el volumen en $[m^3]$ cuantificado de RCD, con el retiro total de escombros registrado en la obra, se da cuenta que solo considerar el volumen de residuos no es representativo de la realidad de la obra, ya que hay materiales que llenan la capacidad de los camiones por su masa.

Es por esto, que para lograr una estimación representativa de los RCD de una obra, en algunos materiales, como envoltorios y embalajes se considera que los camiones se llenan por volumen y no por masa. A diferencia de otros insumos, utilizados en obra gruesa, como el fierro y hormigón, donde la masa del material condiciona el llenado del camión.

Para representar lo anterior, se considera que los camiones de retiro de escombros tienen una capacidad máxima de 9,5 $[m^3]$ y 10 $[ton]$, es decir, completando cualquiera de las dos variables, el camión llena su capacidad. Por lo tanto, se calcula el volumen en $[m^3]$ y la masa en $[ton]$ asociadas a cada material, y se ve cuál de las dos variables es más restrictiva en base a la capacidad de los camiones.

Como se menciona en la 3.5 los RCD se clasifican en base a la fuente del residuo en 3 categorías, donde cada una de ellas se utilizó un método diferente de cuantificación.

3.6.1 Cuantificación de residuos de embalaje

Para cuantificar los RCD asociado a embalajes, se seleccionaron los embalajes que estaban ingresados en el registro de compra de la obra y que se entiende podrían ser más relevantes. Es preciso mencionar que en el análisis no se consideró todo el envoltorio que trae el material, ya que no existe una base de datos asociada a ellos, por lo cual, su cuantificación se recomienda para futuras investigaciones.

Entre el embalaje considerado en el análisis se encuentran; envoltorios propios del material, entre ellos; sacos de papel, tinetas plásticas, envases PET y metálicos. Se considera como

embalajes que se compran extra por seguridad y comodidad de traslado; pallets, stretch film, polietileno transparente burbuja y cartón corrugado.

Para estimar el volumen de los sacos de papel se supone que un saco de cemento de 35 [kg] pesa 0,185[kg] y tiene un volumen de 0,0025 [m³] (Gonzalez, 2010). Con este valor se obtiene el volumen de los sacos por kilo igual a 0,0000714 [m³/kg], y se calcula el volumen total asociado a sacos de papel.

Para estimar el volumen de los envases plásticos y metálicos se utilizó el registro de compra, el cual indica el volumen que almacena cada envase y este se considera como el volumen de RCD asociado a ese envase, esto ya que este sería el volumen que ocupa dentro del camión de escombros. La masa de los envases se estimó considerando que un envase de 5 galones (0,018925 [m³]) pesa alrededor de 0,9 [kg]. Por lo tanto, por proporción inversa, cada metro cúbico de material pesa alrededor de 47,6 [kg].

En el caso de los pallets se considera que un pallet normal mide 1,2 [m] x 0,8 [m] x 1,44 [m] y un pallet volcán 1,2 [m] x 2,4 [m] x 1,44[m].

Para el polietileno se consideraron las medidas entregadas por los proveedores y en el caso de ser comprado en kilogramos se considera una densidad de 0,93 [m³/kg] para estimar su volumen. Para el stretch film se considera que los rollos comprados son de 50 [cm] de ancho, 186 [m] de largo y 0,2[mm] de espesor.

El cartón corrugado se compra por kilogramos, por lo cual, para calcular su volumen se considera una densidad superficial de 605[g/m²] y un espesor de 6,5[mm].

Con lo anterior, y la información proporcionada por el registro de compras, se estiman los volúmenes y masa de escombros asociados a embalaje, se escoge la variable más restrictiva y se supone que posterior a su uso, el material es desechado y retirado como residuo.

3.6.2 Cuantificación residuos de instalaciones provisionarias

Para cuantificar los RCD asociado a instalaciones provisionarias, se consideran los materiales indicados en la Sección 3.5.2, entre ellos, la madera utilizada principalmente en instalación de faenas, moldaje y socalzado, malla raschel utilizada como elemento de seguridad, áridos, entre otros materiales.

En la mayoría de los materiales basta con calcular su volumen y masa en base a la información entregada por el registro de compra y sus respectivas densidades (Anexo B)

Se cuantifica la cantidad de residuos provenientes de instalaciones provisionarias y se considera que el 100% es desechado y retirado como residuo, en general, al finalizar la obra.

3.6.3 Residuos de restos y/o pérdidas

Para estimar la cantidad de residuos generados; se comparan los materiales comprados con el presupuesto de la obra que se desarrolla de forma previa a la construcción del edificio en base a la cubicación realizada en la fase de propuesta. Se seleccionaron los materiales más influyentes que generan residuos, en obra gruesa; el hormigón HB30 y/o HB35 y el acero estriado A630-420H, en terminaciones; baldosas, cerámicas, porcelanatos, piso flotante, alfombras, papel mural y cornisas de poliestireno.

Los RCD considerados como restos y/o pérdidas se obtienen al restar los materiales comprados menos los materiales presupuestados. La constructora considera una estimación de las pérdidas para cada material en el presupuesto de la obra, por lo cual, para estimar la cantidad de residuos vinculada a cada material es necesario distinguir la pérdida presupuestada y quitarla de la cantidad que se va a analizar, con el objetivo de que la cantidad represente exactamente lo que se requiere por cubicación. Posteriormente, se contrastan las pérdidas estimadas en el presupuesto de la obra con las obtenidas empíricamente. Se comparan de forma separada los materiales de obra gruesa y los de terminaciones.

Para estimar los residuos desechados de las obras, se estimó el volumen de los materiales analizados. Los materiales en general se miden en diferentes unidades (m^2 , kg, ml, entre otras), por lo cual, para una apropiada estimación del volumen se considera la información entregada por la constructora y la existente en el mercado en término de dimensiones. (Anexo B)

Se calcula además, las toneladas asociadas a los materiales analizados, para esto se consideran las diferentes densidades de los materiales (Anexo B). Se contrasta volumen con masa y se escoge el más relevante para el análisis. Por ejemplo, en el caso del hormigón y el fierro es más restrictivo el peso, a diferencia de los desechos de planchas de yeso o de cerámicas, en los cuales es más restrictivo el volumen.

3.6.4 Residuos de Yeso

En el caso del yeso, y en base a lo expuesto por (Bravo, 2018) y a la experiencia del profesional a cargo, se cuantificó de forma separada el residuo de yeso ya endurecido. Para esto, se utiliza un departamento de prueba en la construcción para sí cubicar y presupuestar el yeso requerido para cubrir la superficie del departamento en base al rendimiento teórico entregado por el subcontrato.

Se cuantificó el yeso real utilizado en dicho departamento piloto y se obtuvo una pérdida por saco [sc/m^2]. Con este dato se calcula el residuo de yeso en sacos totales, superficie total y volumen total, considerando un espesor promedio de 5 [mm], esto para las cuatro obras estudiadas.

3.7 ESTUDIO DE RESULTADOS Y ESTIMACIÓN DE COSTOS

Una vez cuantificada la masa y volumen de residuos generados para las cuatro fuentes de residuos descritas, se obtuvo su incidencia en los camiones y se escogió el más restrictivo que condiciona el llenado del camión, entendiendo que cada material al tener distintas densidades se comporta de forma diferente.

Estimados los residuos generados, se exponen los resultados en la Sección 4.3, tabulando los materiales desde el que genera mayores residuos hasta el menos incidente y se analiza por tipo de material en base a la clasificación que muestra la Tabla 3 considerando además un ítem como material indeterminado, que corresponde a la diferencia entre el total de camiones retirados con RCD en obra y la cantidad de RCD cuantificada en términos de camiones.

Se analizaron los resultados por actividad, considerando las partidas de instalaciones provisionales, obra gruesa, terminaciones, embalajes e indeterminados, estos últimos, corresponden a actividades que no pudieron ser diferenciadas.

Se identificaron dos tipos de fuentes principales de residuos; residuos operacionales que son vinculados a embalaje e instalaciones provisionales y los residuos por errores vinculados a obra gruesa y terminaciones. Es preciso mencionar, que existen algunas excepciones, por ejemplo, los residuos producto del bombeo de hormigón se consideran por error, pero podrían ser operacionales, así mismo, errores en solicitudes de embalajes son considerados como operacionales, pero podrían ser por error. Al no existir un registro de lo ocurrido en las obras, no es posible incluir en el análisis estas excepciones.

Residuos operacionales. Recibirán esta denominación los residuos generados por la compra de materiales que son necesarios para mantener en funcionamiento el proyecto y que son descartados durante la ejecución de la obra, siendo principalmente materiales de embalaje e instalaciones provisionales. Estos involucran costos operacionales que la empresa asume en el desarrollo de la obra. Por ejemplo, la constructora debe contar con una instalación de faena en cada obra, que conlleva la compra de materiales que una vez terminadas las faenas son descartados. Así mismo ocurre, con la madera comprada para entibación de pilas, herramientas, elementos de seguridad como barandas, cascos, guantes, entre otros. Como es más complejo reducir el uso de estos materiales en obra, ya que se entiende, son necesarios para la ejecución de las labores en terreno, los esfuerzos debiesen apuntar a reciclarlos.

Residuos por errores: Corresponden a residuos derivados de actividades como:

- La compra excesiva de material para evitar que falte en un futuro.
- El trabajo mal ejecutado.
- Corte por dimensionamiento provocado por compra de material con medidas estandarizadas.
- Transporte inapropiado fuera y/o dentro de obra.
- Baja calidad del material.

- Falta de control en la instalación y en bodega.
- Cambios en las especificaciones técnicas del proyecto.
- Errores en los pedidos y/o cubicaciones.
- Uso incorrecto de los materiales.
- Mal acopio del material.
- Inexistencia de lugar de acopio de RCD
- Escasez de un plan de manejo y gestión de residuos.

Estas acciones generan pérdida en los materiales y por ende mayores cantidades de residuos. Estos tipos de residuos son más simples de prevenir, y en este caso se recomienda reducirlos antes que reciclarlos.

Posteriormente se graficaron los resultados de cada material en base al tipo de fuente del residuo, realizando el analiza tanto de forma local como global.

Se analizaron los distintos tipos de fuentes de los diversos residuos y/o pérdidas generadas en obra para posteriormente cuantificar el costo en pesos chilenos de los materiales que son descartados. Para cada material se consideró el costo unitario real al cual fue comprado y se pondera al total de residuos generados de ese material, para todos los materiales. Se diferencian también los costos operacionales de los costos por errores en obra.

La cuantificación de residuos se proyectó a los costos asociados y se calculó el costo total de la gestión del residuo considerando material, transporte y mano de obra en pesos chilenos. Se graficó el costo total en función de la superficie construida de la obra con el objetivo de comparar costos unitarios por metro cuadrado.

El costo por material se obtuvo de la suma de todos los costos unitarios reales, es decir al costo de compra del material, multiplicado por la cantidad de material que es desechado en cada obra, esto para cada material y para los costos de cada obra.

El costo atribuido a transporte es el costo que cada obra gastó en retiro de escombros y que lo registra como un costo por volumen retirado.

Para estimar el costo de mano de obra de aseo, se consideran los plazos de obra gruesa y de terminaciones de cada obra, se supone que todos los jornales de la obra son de aseo y limpieza, donde una obra por mes tiene 10 jornales de aseo en obra gruesa y 8 jornales de aseo en terminaciones. Se multiplicó la cantidad de jornales al mes por la duración de las partidas de terminaciones y obra gruesa y por el sueldo de cada jornal al mes, que se supone como el sueldo considerado en el presupuesto de cada obra.

4 RESULTADOS

4.1 CÁLCULO INDICADOR DE FACTOR DE GENERACIÓN DE RESIDUOS (FG)

La Tabla 4 muestra el volumen de residuos de construcción totales de cada obra y su respectiva área construida. Utilizando la Ecuación 1, se obtuvo el factor de generación de residuos (FG) y su respectivo indicador porcentual.

Tabla 4. Factor de generación de residuos

Edificio	Área construida [m ²]	Volumen RCD [m ³]	FG [m ³ /m ²]	Indicador [%]
San Nicolas Norte	22.004	4.188	0,19	19%
Martín de Zamora	8.247	2.576	0,31	31%
Pudahuel II	11.901	3.167	0,27	27%
Coronel Souper	19.385	4.466	0,23	23%

4.2 RESULTADOS INDICADOR DE PÉRDIDA

Con el propósito de estimar si la pérdida presupuestada previo a la construcción de la obra es representativa con lo esperado en la realidad, se comparan las pérdidas de los nueve principales materiales utilizados en obra. Los promedios de los resultados de las cuatro obras se presentan en la Tabla 5. Los resultados de cada obra se muestran en el Anexo C.

Tabla 5. Muestra promedio de pérdidas presupuestadas para las cuatro obras.

Material	Unidad	Pérdida presupuestada	Pérdida real	% Pérdida presupuestada	% Pérdida real
Hormigón	m3	337	680	7%	16%
Baldosas	m2	26	96	5%	33%
Cerámicos	m2	561	399	8%	6%
Piso flotante	m2	391	643	10%	19%
Estructurante tabiques	ml	6.277	12.205	10%	22%
Fierro Estriado	kg	24.387	39.335	5%	8%
Volcanitas	m2	2.760	3.576	9%	12%
Papel mural	m2	880	3.907	7%	42%
Alfombra	m2	152	597	7%	15%

4.3 CUANTIFICACIÓN DE RCD POR MATERIAL

En este apartado se muestran la cuantificación de residuos de construcción y demolición (RCD) asociada a cada material, indicando; volumen con esponjamiento del 30%, masa en toneladas y número de camiones asociado a dicho volumen y/o masa. Considerando que el volumen y masa máxima de RCD es el registrado por cada obra como retiro de escombros y el indicado en la Tabla 4, se asocia ese valor a un número de camiones y se calcula en la última columna el porcentaje de ocupación de cada material.

La Tabla 6 muestra los resultados obtenidos para la Obra San Nicolas Norte, por ejemplo, muestra que el hormigón descartado corresponde a 1094 [m³] considerando un esponjamiento del 30%, es decir el volumen de material es de 842 [m³], considerando una densidad de 2,4 [ton/m³] se obtiene una masa de 2021 [ton]. Considerando que, por la alta densidad del hormigón, es más restrictiva la masa que el volumen, los camiones se debiesen llenar a su límite de masa, que se considera para todas las obras de 10[ton]. Considerando esto, se requirieron 202 camiones para retirar todo el hormigón descartado por la obra que corresponde al 46% de los 4188 [m³] retirados de residuos.

Este proceso se realiza para todos los materiales de la obra y para todas las obras. En la obra San Nicolas Norte se caracteriza con este método el 79% de los 4188[m³].

Tabla 6. Cuantificación RCD por material Obra San Nicolas Norte

Materiales	Volumen con esponjamiento [m ³]	Masa [ton]	Nº camiones	[%] camiones
Hormigón	1094	2021	202	46%
Mat. de yeso	443	494	54	12%
Madera	324	124	34	8%
Metales	88	100	16	4%
Cartón y sacos	148	10	16	4%
Áridos	70	86	9	2%
Plásticos	65	26	7	2%
Revestimiento	43	35	5	1%
Mat. Aislantes	50	1	5	1%
Indeterminado			92	21%

La Tabla 7 muestra los resultados de la Obra Martín de Zamora, obtenidos por el mismo método descrito anteriormente. Para esta obra se estima y caracteriza el 80% de los residuos. Es decir, de 2576 [m³] de escombros descartados, se reconocen 2061[m³].

Tabla 7. Cuantificación RCD por material Obra Martín de Zamora

Materiales	Volumen con esponjamiento [m ³]	Masa [ton]	Nº camiones	[%] camiones
Hormigón	727,8	1343,7	134,4	52%
Mat. de yeso	189,9	255,6	25,6	10%
Madera	166,8	61,4	17,6	7%
Cartón y sacos	77,6	5,5	8,2	3%
Metales	56,4	27,9	7,2	3%
Áridos	41,1	50,6	5,1	2%
Plásticos	45,8	11,7	4,8	2%
Mat. Aislantes	22,2	0,3	2,3	1%
Revestimiento	15,5	13,6	1,9	1%
Indeterminado	0,0		51,6	20%

La Tabla 8 muestra los resultados de la Obra Pudahuel II, en esta obra es donde es posible estimar la mayor cantidad de residuos, de los cuales es posible caracterizar el 89% de los escombros descartados de un total de 3167[m³].

Tabla 8. Cuantificación RCD por material Obra Pudahuel II

Materiales	Volumen con esponjamiento [m ³]	Masa [Ton]	Nº camiones	[%] camiones
Hormigón	894	1651	165	49%
Madera	408	110	43	13%
Mat. de yeso	306	322	37	11%
Cartón y sacos	119	8	13	4%
Áridos	82	101	10	3%
Plásticos	91	47	10	3%
Mat. Aislantes	91	1	10	3%
Metales	45	47	8	2%
Revestimiento	22	11	2	1%
Indeterminado			37	11%

La Tabla 9 corresponde a los resultados de la Obra Coronel Souper, de los cuales se cuantifica el 76% del total de residuos retirados, y un 24% no es posible determinar a qué tipo corresponden.

Tabla 9. Cuantificación RCD por material Obra Coronel Souper

Materiales	Volumen con esponjamiento [m ³]	Masa [ton]	N° camiones	[%] camiones
Hormigón	1330	2455	245	52%
Madera	268	73	28	6%
Mat. de yeso	174	215	22	5%
Plásticos	207	63	22	5%
Cartón y sacos	124	9	13	3%
Revestimiento	84	58	10	2%
Metales	75	46	10	2%
Áridos	39	48	5	1%
Mat. Aislantes	5	0	0	0%
Indeterminado	0		114	24%

4.4 CUANTIFICACIÓN DE RCD POR TAREA

Los resultados mostrados a continuación, corresponden los mismos valores de masa, número de camiones y volumen con esponjamiento de la Sección 4.3, pero esta vez caracterizado por actividad.

La Tabla 10 muestra los resultados promedios de las cuatro obras. Los resultados de cada obra son expuestos en Anexo C.

Tabla 10. Cuantificación RCD por actividad, promedios de los resultados de las cuatro obras.

Tarea	Volumen con esponjamiento [m ³]	Masa [ton]	N° camiones	[%] camiones
Obra gruesa	713	1338	134	36%
Terminaciones	278	294	34	9%
Instalaciones provisorias	381	331	49	13%
Embalaje	235	23	25	7%
Indeterminado			59	15%

4.5 CUANTIFICACIÓN ECONÓMICA DE RCD

Los resultados mostrados a continuación corresponden a los costos asociados a pérdidas por material, clasificado en base a la Tabla 3, diferenciando el costo operacional de los costos por errores en obra, incluyendo además el costo total que corresponde a la suma de ambos. Los costos operacionales son los costos asociados a materiales que generaron pérdidas y se utilizaron como embalaje y/o en instalación de faenas y los costos por errores son los costos de materiales utilizados en obra gruesa y terminaciones que generaron pérdidas.

La Tabla 11 muestra los promedios de las cuatro obras analizadas. Los resultados de cada obra son expuestos en Anexo C.

Tabla 11. Costos promedios de materiales de las cuatro obras analizadas.

Materiales	Costo por errores	Costo operacional	Costo total por material
Hormigón	\$ 29.734.951	\$ 2.431.741	\$ 32.166.692
Madera		\$ 27.770.689	\$ 27.770.689
Metales	\$ 19.217.047	\$ 5.352.517	\$ 24.569.563
Revestimiento	\$ 11.389.470	\$ 53.178	\$ 11.442.647
Plásticos	\$ 742.016	\$ 4.672.805	\$ 5.414.820
Mat. de yeso	\$ 8.698.293		\$ 8.698.293
Cartón y sacos		\$ 2.218.603	\$ 2.218.603
Mat. Aislantes		\$ 1.248.300	\$ 1.248.300
Áridos		\$ 256.006	\$ 256.006

Para estimar los costos vinculados a mano de obra utilizada en el retiro de escombros y aseo de las obras, se considera el costo mensual de un jornal, considerando el sueldo asignado en el presupuesto de la obra como ingreso y el tiempo de duración de cada partida. En base a esto se obtuvieron los resultados expuestos en la Tabla 12.

Tabla 12. Costos asociados a mano de obra requerida para aseo en las obras

Obra	Costo \$/hd	Costo \$/mes	Obra Gruesa	Terminaciones	Costo total M.O. \$
San Nicolas Norte	\$ 22.000	\$ 440.000	11	20	\$ 118.800.000
M Zamora	\$ 21.230	\$ 424.600	8	10	\$ 67.936.000
Pudahuel II	\$ 24.065	\$ 481.300	6	11	\$ 71.232.400
Coronel Souper	\$ 24.974	\$ 499.480	10	17	\$ 117.877.280

La Tabla 13 muestra el total de costos involucrados en la generación, transporte y logística de los residuos de construcción. El costo total corresponde a la suma del costo de mano de obra, costo de transporte y costo de material asociado.

Tabla 13. Costos totales involucrados en el retiro de RCD en obra

Edificio	Área construida [m ²]	Costos M.O.	Costo Transporte	Costo Material	Costo Total
San Nicolas N	22,004	\$ 118.800.000	\$ 21.431.463	\$ 143.152.119	\$ 283.383.582
Coronel Souper	19,385	\$ 117.877.280	\$ 40.382.814	\$ 133.668.309	\$ 291.928.403
Pudahuel II	11,901	\$ 71.232.400	\$ 25.681.777	\$ 103.737.175	\$ 200.651.352
Martin Zamora	8.246	\$ 67.936.000	\$ 17.914.500	\$ 74.584.953	\$ 160.435.453

Los costos totales no son del todo comparables, por lo tanto, para poder realizar una comparación se obtienen los costos en función de la superficie construida, los cuales se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Costos por superficie construida en el retiro de RCD en obra

Edificio	Área construida [m ²]	Costo M.O. \$/m2	Costo Transporte \$/m ²	Costo material \$/m2	Costo Total \$/m2
San Nicolas N	22.004	\$5.399	\$974	\$6.506	\$12.878
Coronel Souper	19.385	\$6.081	\$2.083	\$6.895	\$15.059
Pudahuel II	11.901	\$5.985	\$2.158	\$8.717	\$16.860
Martín Zamora	8.247	\$8.238	\$2.172	\$9.044	\$19.455

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 VOLUMEN RETIRADO DE RCD

En las obras existe un ítem dentro del presupuesto que es considerado a lo largo de la ejecución de esta y que corresponde al retiro de escombros medidos en base al volumen de residuos que son retirados en la obra. En general, este retiro se realiza en camiones de 9,5 [m³] y trae un costo asociado de traslado por metro cúbico. Los camiones consideran un costo fijo, por ejemplo, si un camión no se va con su capacidad completa, el camión igual debe pagarse completo y se paga el volumen de capacidad que tiene.

En la Figura 3, las barras azules representan el volumen total retirado en cada obra y la línea verde corresponde al retiro presupuestado previa ejecución del proyecto. El presupuesto considera una relación directamente proporcional entre la cantidad de residuos generados y el área construida bajo losa de la obra. En la realidad no se observa esta tendencia, por ejemplo, Coronel Souper es la obra en la cual se retiraron mayores niveles de residuos y no es la obra con mayor área bajo losa construida, es decir, no necesariamente mientras más grande sea la obra presentará mayores niveles de residuos retirados.

No obstante, es evidente la diferencia existente entre el retiro de RCD presupuestado y el real, donde, por ejemplo, en Martín de Zamora, es prácticamente el doble el retiro real versus el presupuestado.

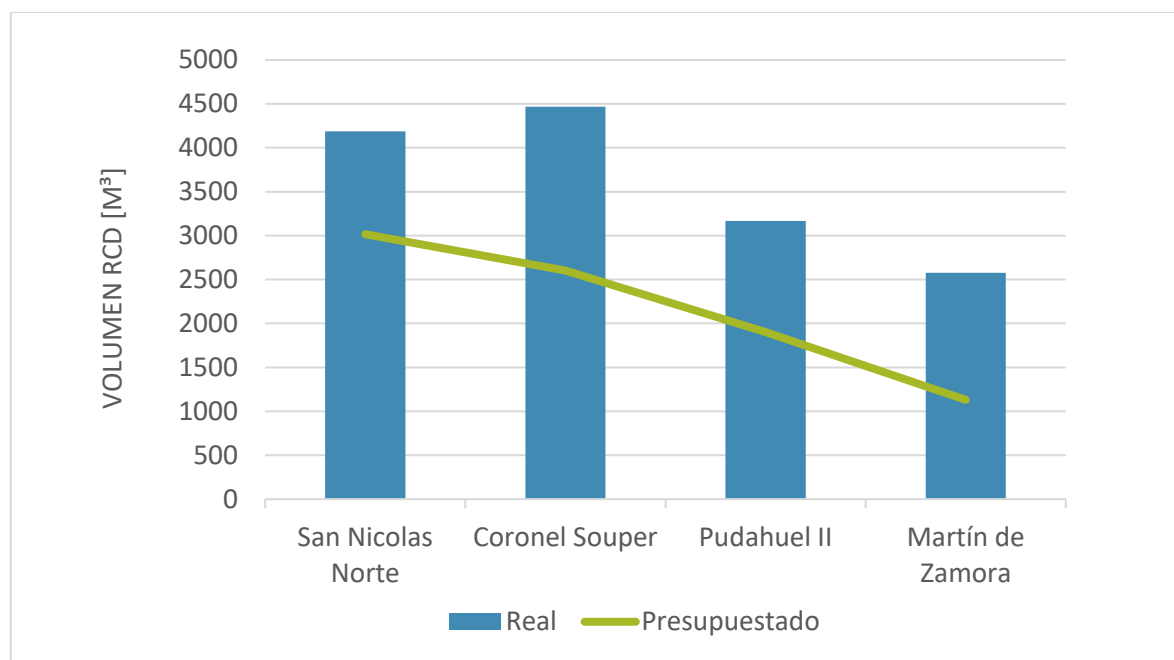


Figura 3. Muestra retiro de escombros real y retiro de escombros presupuestado.

La Figura 4 muestra el factor de generación de residuos (FG) de cada obra, el cual representa el volumen de RCD retirados en función de los metros cuadrados construidos (m^3/m^2). Se observa, que en todas las obras el retiro de RCD real es mayor que lo presupuestado y que varía para cada obra, a pesar de que, el retiro presupuestado es prácticamente constante, alcanzando valores entre $0,13 [\text{m}^3/\text{m}^2]$ y $0,15 [\text{m}^3/\text{m}^2]$.

En la realidad, mientras más grande es la obra menores residuos por área construida presenta. La Tabla 4 muestra que el factor de generación de residuos varía entre un $0,19 [\text{m}^3/\text{m}^2]$ y un $0,31 [\text{m}^3/\text{m}^2]$ para las cuatro obras estudiadas. Donde el FG de $0,19 [\text{m}^3/\text{m}^2]$ corresponde a la obra con mayor área construida de $22.004 [\text{m}^2]$ y el FG de $0,31 [\text{m}^3/\text{m}^2]$ corresponde a la obra con menor área construida de $8.247 [\text{m}^2]$.

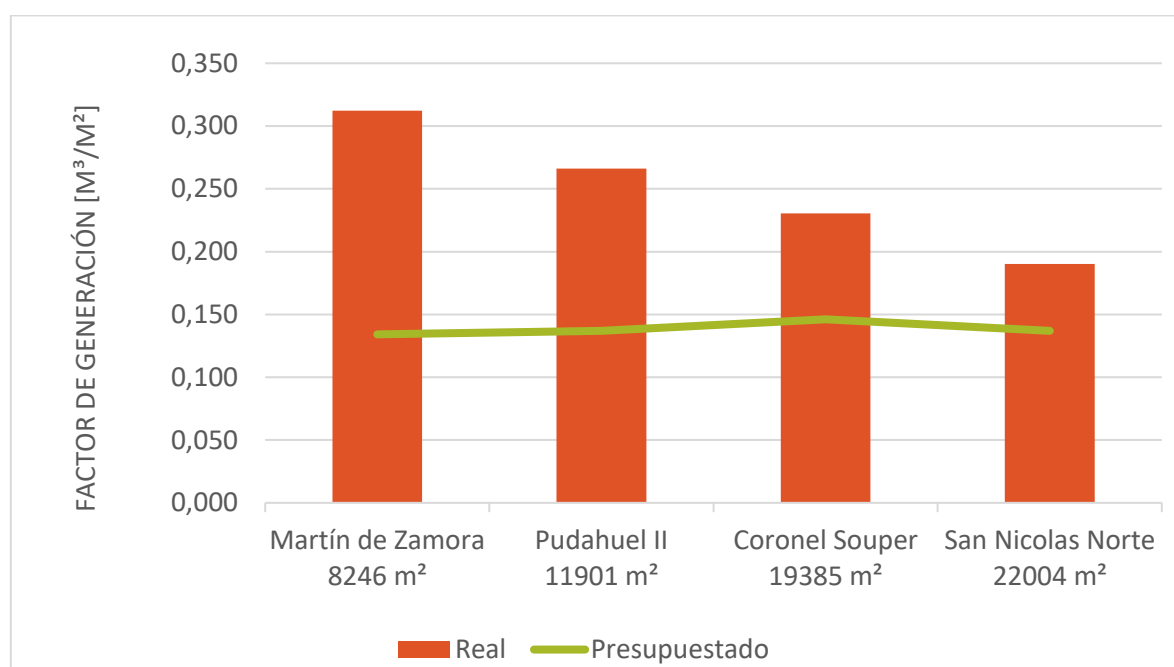


Figura 4. Muestra el factor de generación de residuos $[\text{m}^3/\text{m}^2]$ asociado a cada obra.

Observando que existe esta relación inversamente proporcional entre el área construida y el factor de generación de residuos se grafican ambas variables, aplicando una tendencia lineal a los datos y se obtiene la ecuación del gráfico con su respectivo coeficiente de correlación. Con esto es posible validar si el modelo sugerido para estimar los residuos en función del área construida es concluyente.

Además, se genera una banda de confianza alrededor de la regresión lineal, cuya distribución es normal y en el cual se encuentra, con alta probabilidad, el valor real de una determinada variable. Para obtener el intervalo con un nivel de confianza del 95%, se genera un rango de pronóstico que es igual a:

$$\text{Rango de pronóstico} = \text{pronóstico puntual} \pm Z \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

El valor de Z al utilizar un nivel de confianza del 95% por ciento es de 1,96, σ corresponde a la desviación estándar de los datos y n es igual al número de muestras.

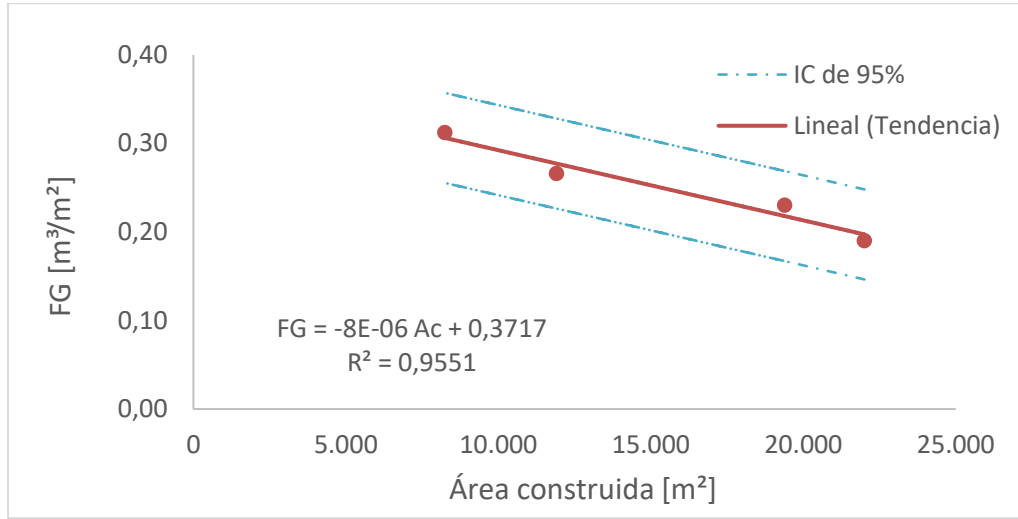


Figura 5. Curva factor de generación en función del área construida considerando cuatro obras.

De la Figura 5 se obtiene la siguiente relación:

$$FG = -8 \cdot 10^{-6} \cdot A_c + 0,3717 \quad (4)$$

Esta ecuación, tiene un factor de correlación igual a 0.9551, es decir, la mayoría de los datos se encuentran cercanos a la función hipótesis. A pesar de lo anterior, se requieren mayores datos para que la muestra sea representativa, pero podría ser un primer indicador respecto a la cantidad de residuos generados en la construcción de obras en altura.

Para validar el modelo, se utilizó el registro de otras obras de tipo habitacional ejecutadas por la constructora (Anexo D). Estos valores se incorporan a la Ecuación 4 y se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 15. Corresponde a los resultados de la muestra de validación utilizando la Ecuación 4.

	Área [m ²]	FG observado	FG esperado	% error esperado v/s obs	FG presupuestado	% error presup v/s obs
1	8.486	0,39	0,30	29%	0,11	261%
2	10.015	0,44	0,29	53%	0,15	198%
3	10.175	0,25	0,29	-13%	0,15	68%
4	10.242	0,25	0,29	-11%	0,13	94%
5	10.515	0,39	0,28	36%	0,09	321%
6	11.392	0,35	0,28	25%	0,10	238%
7	12.908	0,17	0,26	-34%	0,13	37%
8	13.572	0,23	0,26	-9%	0,15	60%
9	13.617	0,27	0,26	6%	0,12	126%
10	14.580	0,44	0,25	73%	0,13	229%
11	18.602	0,35	0,22	57%	0,17	112%
12	19.144	0,25	0,21	18%	0,13	103%
13	19.973	0,16	0,21	-23%	0,12	33%
14	23.300	0,15	0,18	-15%	0,15	5%
15	24.252	0,13	0,17	-25%	0,12	7%
Promedio		0,286	0,254	11%	0,131	126%
Desviación estándar		0,104	0,041	33%	0,020	100%

El FG observado corresponde al factor de generación obtenido al reemplazar los valores de área en la Ecuación 4. El FG esperado es el factor de generación real que tuvo cada obra. Se observa en los resultados de la Tabla 15 que, al incorporar la muestra de validación al modelo calibrado, la variabilidad es muy alta y los errores entre los factores de generación observados y esperados son grandes, por lo tanto, el modelo no es concluyente.

En caso de graficar el volumen de residuos (m³) en función del área construida (m²), se obtiene la Figura 6 que, a pesar, de que los datos no presentan un comportamiento perfectamente lineal, existe una tendencia al aumento del volumen de residuos en función del área construida.

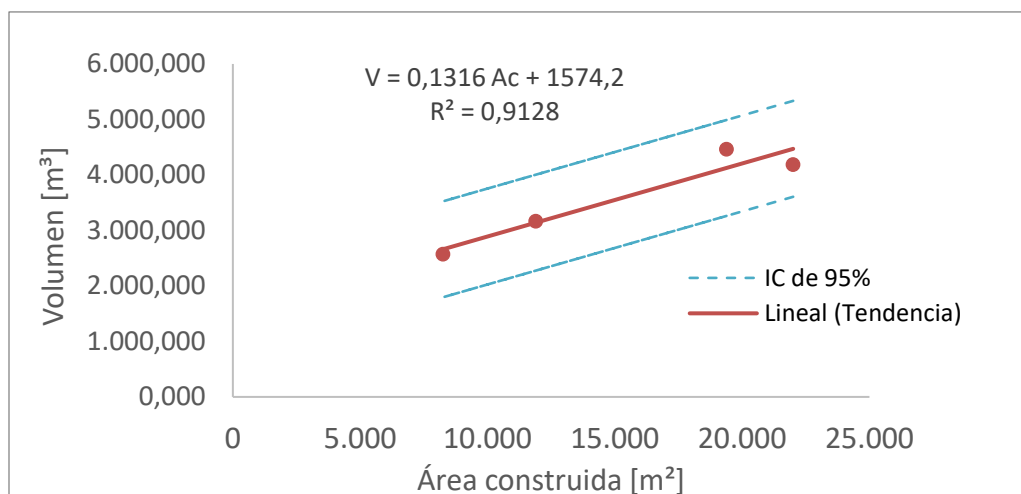


Figura 6. Muestra volumen de residuos en función del área construida considerando cuatro obras.

De la Figura 6 se obtiene la Ecuación 5, la cual permite estimar el volumen de residuos en función del área construida de la obra.

$$V = 0,1316 \cdot A_c + 1574,2 \quad (5)$$

Utilizando el registro de otras quince obras (Anexo D), se incorporan los valores de área a la Ecuación 5 y se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 16.

Tabla 16. Corresponde a los resultados de la muestra de validación utilizando la Ecuación 5.

	Área [m²]	V observado [m³]	V esperado [m³]	% error esperado v/s obs	V presupuestado [m³]	% error presup v/s obs
1	8.486	3.336	2.690	24%	925	191%
2	10.015	4.480	2.892	55%	3.495	-17%
3	10.175	2.558	2.913	-12%	1.936	50%
4	10.242	2.638	2.922	-10%	1.362	115%
5	10.515	4.102	2.957	39%	1.056	180%
6	11.392	3.986	3.073	30%	2.508	23%
7	12.908	2.283	3.272	-30%	1.356	141%
8	13.572	3.250	3.360	-3%	1.502	124%
9	13.617	3.787	3.366	13%	2.460	37%
10	14.580	6.422	3.492	84%	1.954	79%
11	18.602	6.512	4.022	62%	2.245	79%
12	19.144	4.948	4.093,	21%	1.295	216%
13	19.973	3.259	4.202	-22%	1.671	152%
14	23.300	3.653	4.640	-21%	2.790	66%
15	24.252	3.215	4.765	-33%	2.373	101%
Promedio		3895	3511	13%	1929	102%
Desviación estándar		1264	670	36%	716	66%

Se desprende, que, al incorporar la muestra de validación al modelo calibrado, la variabilidad es muy alta y los errores entre el volumen observado y el volumen esperado son muy grandes, por lo tanto, el modelo no es concluyente. Es decir, no es representativo predecir la cantidad de residuos en base a este modelo, se requiere otro modelo para tener una conclusión representativa.

A continuación, se prueba el estudio de forma contraria, se obtiene una función hipótesis con los datos del resto de las obras proporcionadas (Anexo D).

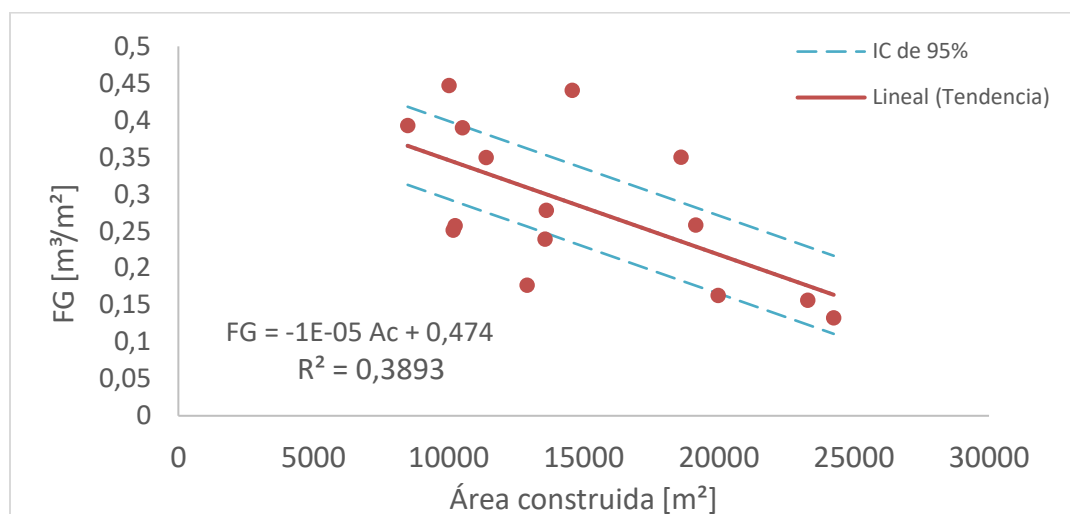


Figura 7. Muestra relación entre el área construida y el factor de generación de residuos de otras 15 obras.

De la Figura 7 se obtiene la siguiente relación:

$$FG = -1 \cdot 10^{-5} \cdot A_c + 0,474 \quad (6)$$

La Figura 7 muestra la relación que existe entre el área construida y el factor de generación de residuos, esta vez representado por las otras 15 obras de las cuales se tiene información. El coeficiente de correlación está mucho más cercano a cero que en la Figura 5, por lo tanto, la función es menos representativa del comportamiento de los datos. Lo cual ocurre ya que la función anterior eran sólo cuatro datos, por lo cual es más simple en ese caso obtener una función que represente el comportamiento de las muestras.

En base a la Tabla 17, al incorporar las muestras de validación al segundo modelo calibrado; la variabilidad es más baja, donde sólo la obra San Nicolas Norte presenta un error sobre el 20% entre el factor de generación esperado y el factor de generación observado. Por lo cual, la Ecuación 6 podría servir como un primer modelo para determinar los residuos generados en una obra de construcción en función del área construida que esta tendrá, considerando que el presupuesto está considerando un factor de generación casi constante que involucra mayor error y desviación de los datos que las propuestas realizadas.

Tabla 17. Corresponde a los resultados de la muestra de validación utilizando la Ecuación 6.

	Área	FG observado	FG esperado	% error esperado v/s obs	FG presupuestado	% error presup v/s obs
1	22.004	0,19	0,25	-25%	0,13	39%
2	8.247	0,31	0,30	2%	0,13	128%
3	11.901	0,26	0,27	-4%	0,15	67%
4	19.385	0,23	0,21	6%	0,13	72%
Promedio		0,25	0,26	-5%	0,14	76%
Desviación estándar		0,05	0,04	14%	0,01	37%

El presupuesto de la obra considera un factor de generación promedio de 0,13 [m³/m²] con una desviación de 0,02 [m³/m²], es decir, es prácticamente constante e indica que se presupuesta un crecimiento lineal con pendiente de 0,13. Este modelo, genera un mayor error según lo realmente observado que los modelos propuestos.

La Figura 8, muestra el volumen retirado de residuos de quince obras diferentes en función del área construida. El presupuesto de las obras, considera directamente proporcional esta relación, donde, mientras más grande la obra más residuos genera. La Figura 8, grafica lo anterior y muestra un factor de correlación muy cercano a cero, lo que indica que la tendencia obtenida no representa el comportamiento de los datos. Es decir, no hay una tendencia lineal entre el área construida y la cantidad de residuos generada, no se logra observar una tendencia clara en este caso.

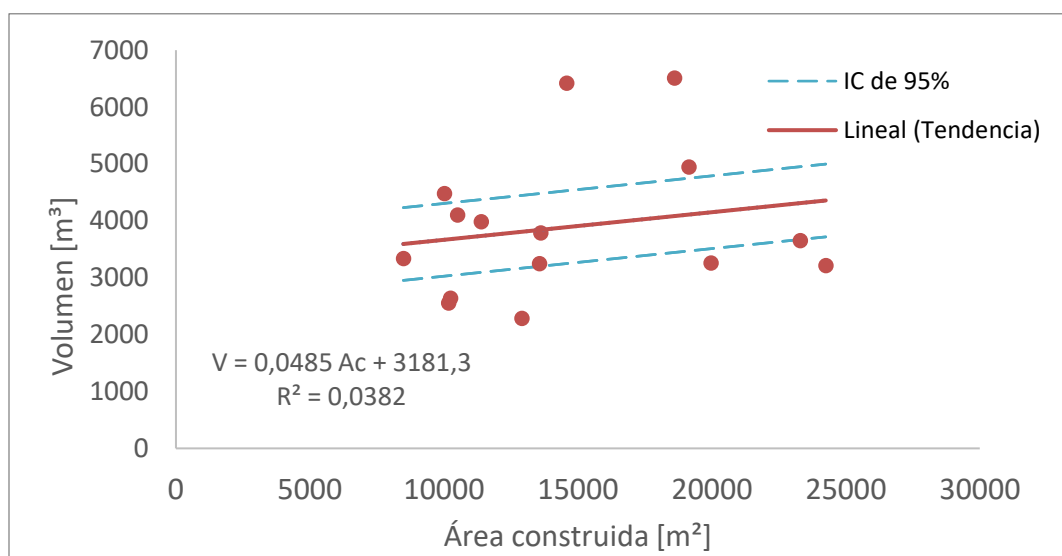


Figura 8. Muestra relación entre el área construida y el volumen de residuos de otras 15 obras.

De la Figura 8 se obtiene la Ecuación 7, la cual permite estimar el volumen de residuos en función del área construida de la obra.

$$V = 0,0485 \cdot A_c + 3181,3 \quad (7)$$

Se incorporan los valores de área de las cuatro obras analizadas en este estudio a la Ecuación 7 y se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 18.

Tabla 18. Corresponde a los resultados de la muestra de validación utilizando la Ecuación 7

Área		V observado [m³]	V esperado [m³]	% error esperado v/s obs	V presup [m³]	% error presup v/s obs
1	22.004	4.188	4.248	-1%	3.016	39%
2	8.247	2.575	3.581	-28%	1.130	128%
3	11.901	3.167	3.758	-16%	1.901	67%
4	19.385	4.466	4.121	8%	2.600	72%
Promedio		3599	3927	-9%	2162	76%
Desviación estándar		882	310	16%	828	37%

Al incorporar las muestras de validación al segundo modelo calibrado la variabilidad disminuye, donde sólo Martín de Zamora presenta un error sobre el 20% entre el volumen esperado y el volumen observado. Por lo cual, la Ecuación 7 podría servir como un primer modelo para determinar los residuos generados en una obra de construcción conocida el área construida que esta tendrá.

Los modelos propuestos no son concluyentes, pero podrían servir de forma preliminar como un primer método para cuantificar el factor de generación conociendo sólo el área que tendría el edificio construido. Este modelo sería más representativo que el modelo que utiliza la constructora actualmente, ya que genera un menor error entre la muestra observada y la muestra esperada y una menor desviación de los datos.

Para poder generar un modelo representativo se requiere considerar más variables dentro del estudio y una muestra mucho más amplia. Entre estas variables se encuentran, i) la simetría del edificio y los tipos de departamentos por piso en las obras, ii) la existencia de un plan de gestión de materiales y escombros, iii) cantidad de actividades en obra, iv) cambios de proyecto, v) tamaño del terreno, vi) cantidad de pisos y subterráneos, vii) tamaño de la instalación de faenas, entre otras.

La Figura 8 muestra que el menor valor de FG es de 0,13 [m³/m²], por lo cual la curva no sería infinita a medida que crezca la obra, sino que este es el valor mínimo que restringe la curva. Sería una buena meta poder alcanzar este FG, el cual coincide con el factor de generación de residuos indicado por la constructora en los presupuestos de 0,13 [m³/m²]. Un factor más alto involucra compra adicional de materiales, mayores requerimientos de mano de obra y transporte, y la repercusión en los plazos y costos que involucra la incorrecta o nula gestión de residuos de construcción y demolición. Aun así, es utópico considerar en el presupuesto este valor sin un adecuado acompañamiento de medidas que involucren una real disminución en la generación de residuos.

En la realidad se observa que el factor de generación de residuos es en promedio de 0,28 [m³/m²], con una desviación de 0,10 [m³/m²], muy lejano a lo que el presupuesto indica.

5.2 INDICADOR DE PÉRDIDA I_p (%)

Como se menciona en los capítulos previos, el presupuesto de la obra, el cual se realiza en base a la cubicación del edificio, presenta un valor de pérdida que varía de acuerdo al tipo de material y a la partida para la cual se utiliza. El presupuesto tiene incluido ese valor de pérdida y el promedio del valor de las cuatro obras corresponde a la línea azul de la Figura 9. Las barras indican la pérdida real calculada como la diferencia entre la cantidad comprada de material y la diferencia con el material cubicado o presupuestado sin pérdida.

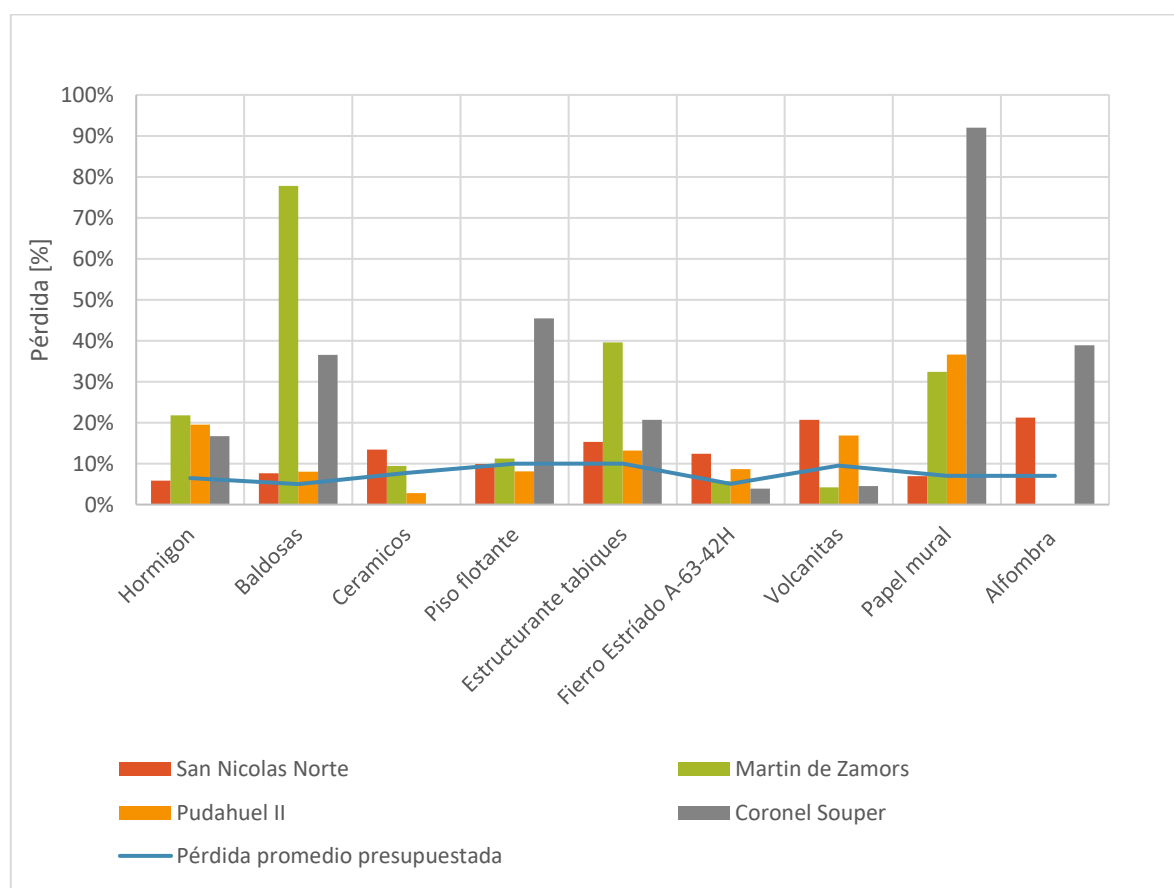


Figura 9. Muestra pérdida promedio presupuestada y pérdidas reales para materiales utilizados en obra gruesa y terminaciones de las obras en estudio.

Para el hormigón, la única obra que tiene una pérdida menor al 10% es San Nicolas Norte, esto se debe a que sólo se considera el hormigón H30-H35 utilizado en obra gruesa, no se considera el hormigón utilizado en instalaciones provisionarias. Por lo tanto, sólo en esta obra ocurre que la pérdida real de hormigón es similar a la pérdida presupuestada de un 6%. En

las otras obras, la pérdida real de hormigón es de un 22%, 20% y 27% en Martín de Zamora, Pudahuel II y Coronel Souper, respectivamente.

La pérdida de las baldosas microvibradas en todos los casos presentan mayores pérdidas que lo presupuestado que es de un 5%. En San Nicolas Norte y en Pudahuel II, la pérdida real fue de un 8%, pero en Martín de Zamora alcanza el 78%, ya que las baldosas en gran parte de la obra se instalaron al revés y tuvieron que reinstalarse. En Coronel Souper, hubo una pérdida del 37%, debido a un error en la cubicación realizada en obra, comprando mayores cantidades de baldosas que las requeridas.

En el caso de las cerámicas, en San Nicolas Norte y Martín de Zamora la pérdida presupuestada es de un 10%, y en Pudahuel II y Coronel Souper es de un 5%. Esto puede deberse a que las dos primeras obras mencionadas son más antiguas, y puede haber existido un cambio en las consideraciones del presupuesto para los siguientes años. Sólo en San Nicolas Norte se supera la pérdida presupuestada, alcanzando el 13% de pérdida. En Pudahuel II la pérdida es sólo de un 3% y en Coronel Souper no se estima pérdida, ya que lo comprado es menor que lo presupuestado debido a que hubo un cambio de proyecto durante la ejecución de la obra; cambiando de cerámica a piso flotante.

En el caso del piso flotante, la pérdida presupuestada es de un 10% para todas las obras, en tres obras, la pérdida es cercana a este valor, a excepción de Coronel Souper, donde la cantidad comprada es mucho mayor a lo presupuestado, estimando una pérdida del 45% para este material, en base a lo explicado antes. Es erróneo indicar que ese 45% es sólo pérdida, ya que se compró mayores cantidades de piso flotante en reemplazo de la cerámica por un cambio de proyecto.

En el caso de las estructuras de tabiques, todas las obras muestran una pérdida mayor a la presupuestada que es de un 10%. Se desprende de la Figura 10 que el promedio de pérdida es de un 22%. Algo similar ocurre con el fierro estriado, donde el valor promedio de pérdida de fierro entre las cuatro obras es de un 8%, que es mayor a lo presupuestado. En San Nicolas Norte y Pudahuel II, se generaron pérdidas de un 12% y 9%, respectivamente, debido al despunte generado al doblar fierro en esas obras, lo contrario ocurrió en Martín de Zamora y Coronel Souper donde se compró fierro preparado, y las pérdidas fueron menores a las presupuestadas. Por otro lado, en Martín de Zamora se observa la mayor diferencia entre las estructuras de tabiques compradas y presupuestadas, y se debió a que se instalaron los perfiles distanciados a 40 [cm] en vez de 60[cm] como indicaba propuesta.

Las planchas de volcánita o yeso-cartón, tienen un comportamiento muy diferente por obra, en San Nicolas Norte y Pudahuel, se compra mucha más que lo presupuestado, existiendo una pérdida de un 21% y 17%, respectivamente. A diferencia de Coronel Souper que tiene una pérdida de un 5% y en Martín de Zamora de un 4%, debido a que en esta última se compraron planchas de yeso-cartón pre dimensionadas exactas a la altura de piso. Con la diferencia existente en la pérdida entre las cuatro obras, el promedio es de 12%, cercano al 9% presupuestado.

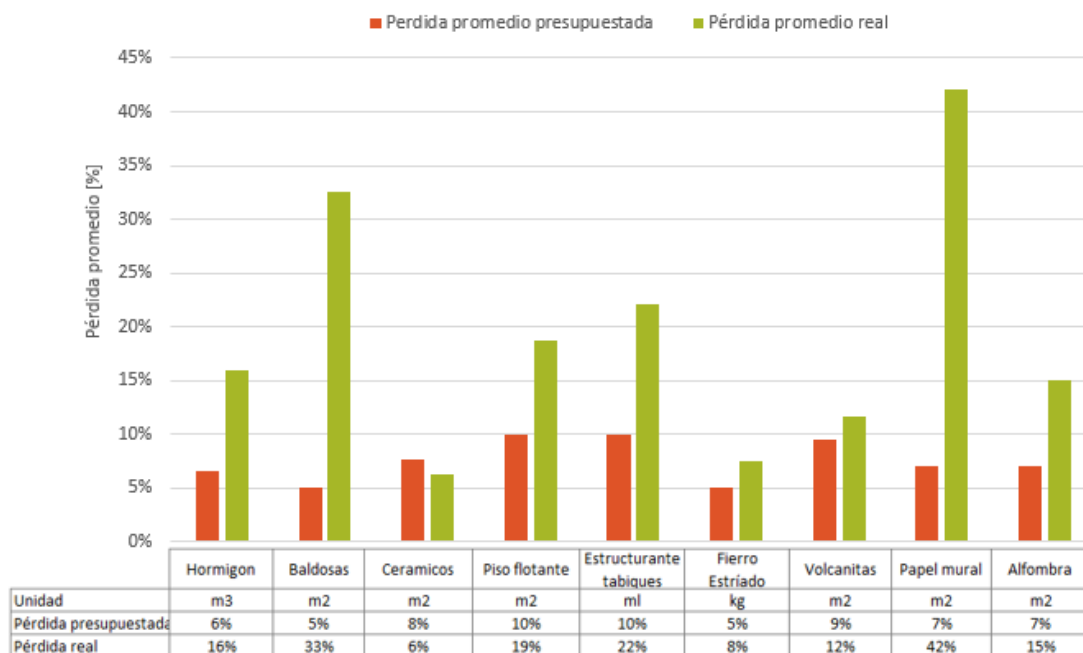


Figura 10. Muestra el promedio de las pérdidas reales y presupuestadas por material de las cuatro obras en estudio

En el caso del papel mural se presupuesta un 7% de pérdida en todas las obras, lo cual ocurre sólo en San Nicolas Norte. En el resto de las obras, la pérdida es de un 32%, 37% y 92% en el caso de Coronel Souper. En esta última, se cambiaron sectores que iban pintados por papel mural, por lo cual la pérdida real podría ser mucho menor. En Pudahuel II fueron rechazadas partidas de papel mural que tuvieron que reinstalarse.

La pérdida de alfombra sólo se analiza con las obras San Nicolas Norte, donde es de un 21% y en Coronel Souper, de un 39%, debido a que muchas alfombras ya instaladas fueron rechazadas en la revisión y tuvieron que reinstalarse. En el resto de las obras, el proyecto no incluía alfombra. La pérdida presupuestada de este material es de un 7%, y en promedio fue de un 15%.

El promedio de las pérdidas reales es representativo para algunos materiales, como; hormigón, fierro estriado y volcanitas. Para el hormigón; tres de las cuatro obras presentan claramente una pérdida mayor que la presupuestada, en promedio de 16%. Por lo tanto, se recomienda evaluar la opción de aumentar la pérdida de hormigón en el presupuesto.

En el caso de las baldosas, en las cuatro obras, las pérdidas son mayores a las presupuestadas, por lo cual también se recomienda reevaluar la pérdida considerada en el estudio de propuesta. En este caso no se puede recomendar un valor, ya que las cuatro obras presentan un comportamiento muy diferente y el promedio deja de ser representativo. En cerámicos tampoco hay una tendencia clara.

En piso flotante, tres de las cuatro obras estudiadas se encuentran cercanas al promedio, siendo probable que la pérdida del estudio de propuesta sea una buena estimación. Para el

caso de los estructurantes de tabiques se recomienda aumentar la pérdida, por lo menos, a un 20%, ya que en las cuatro obras se generaron mayores pérdidas de este material que las presupuestadas. En el caso del fierro estriado, un 5% podría ser adecuado como pérdida estimada y en las volcanitas no se logra obtener un valor concluyente. En el caso del papel mural y las alfombras, todas las obras presentan una pérdida real mayor que la pérdida presupuestada, por lo cual, se recomienda reevaluar el porcentaje considerado en propuesta. En este estudio se recomienda aumentar la pérdida de papel mural y de alfombra, aunque no se puede estimar un valor solo con cuatro obras ya que el promedio no es representativo en estos casos debido a la variabilidad de las muestras.

5.3 RCD DISTRIBUIDOS POR MATERIAL

En la Sección 5.2 se analizaron las pérdidas asociadas a cada material. En base a la diferencia entre la cantidad comprada versus la cantidad presupuestada se calculan los porcentajes de pérdidas por material y por obra. Con este método, se estiman las pérdidas, que, de aquí en adelante, se supondrán como la cantidad de residuos de construcción y demolición (RCD).

Es preciso indicar, que los resultados obtenidos para cuantificar los RCD no son exactos, ya que hay casos donde la pérdida, no necesariamente pasa a ser un residuo, reconociéndose las siguientes excepciones:

1. Error en la cubicación de propuesta: Si la cubicación de propuesta es mayor a la requerida en etapa de construcción, la pérdida considerada va a ser menor que la pérdida real y va a haber exceso de material, pero no se entenderá como pérdida. Al contrario, si la cubicación de propuesta es menor a la requerida, la pérdida se va a sobre estimar y se va a considerar más pérdida que lo realmente descartado.
2. Modificaciones proyecto: Muchas veces existen modificaciones del proyecto durante la ejecución de la obra que varía los requerimientos de materiales necesarios, sin generar cambios en el presupuesto de propuesta. Pudiendo subestimar o sobre estimar las pérdidas de esa partida al no contar con un registro de los cambios.
3. Robos: En este caso existe una pérdida de material, pero que no puede considerarse como residuo, produciendo una sobre estimación de las pérdidas.
4. Errores en registro de compra: Son errores aleatorios generados dentro de la planilla, ya sea en errores de unidades y/o cantidades, que impiden el correcto análisis de las pérdidas.
5. Errores de compra: Surgen cuando el presupuesto es correcto, pero existe un error por parte de la persona que compra los materiales que puede interpretar erróneamente alguna información o equivocarse en algún pedido. Producto de esto, se puede comprar un material diferente a lo presupuestado.

6. Venta de material: Existen ocasiones en que en la obra de construcción se vende y/o regala material sin un adecuado registro, esto impacta al momento de calcular los residuos generados, ya que se consideran como pérdidas materiales que realmente no fueron descartados, sino que, vendidos y/o regalados.
7. Errores de unidades: Muchas veces, el registro de compra se completa en unidades erróneas, que impiden la correcta comparación con lo presupuestado, y conlleva a errores en la cuantificación de las pérdidas.

Teniendo en consideración los errores aleatorios y/o sistemáticos que puedan existir, que se recomiendan prevenir y considerar para futuras investigaciones, para tener resultados más exactos. Se cuantifican los residuos asociados a más de 35 insumos y se agrupan en 9 materiales, en base a la diferencia de material comprado y lo presupuestado, de acuerdo a la Tabla 3.

En primera instancia se obtiene la masa de los residuos estimados, se desprende de la Figura 11 que el hormigón, los materiales a base de yeso y la madera son los residuos más influyentes, pero el resto de los materiales a excepción de los metales y áridos pasan a ser cantidades despreciables en términos de masa.

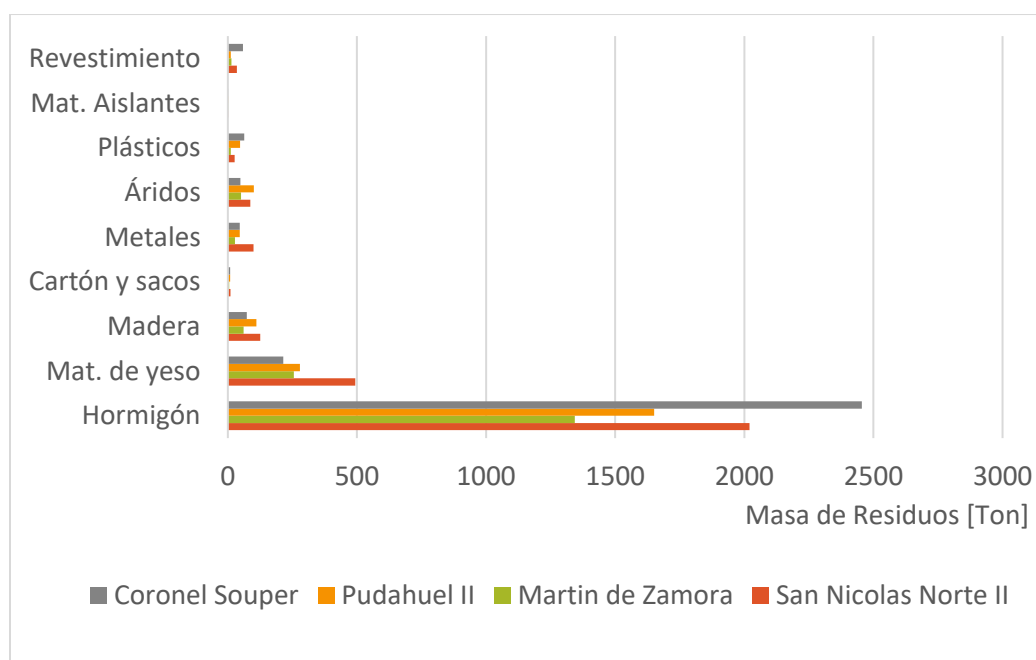


Figura 11. Muestra masa de los residuos estimados en las obras analizadas.

Se observa la misma tendencia entre la Figura 11 y la Figura 12, se estima que en hormigón se descartaron 1343,7 [Ton] en Martín de Zamora y 2455 [Ton] en Coronel Souper. De la Figura 12 se desprende que Martín de Zamora es la obra que más kilos de hormigón descarta

por metro cuadrado construido, alcanzando los 163 [kg/m²], a diferencia de San Nicolas Norte donde se estima se descartaron 92 [kg/m²] de residuos de hormigón.

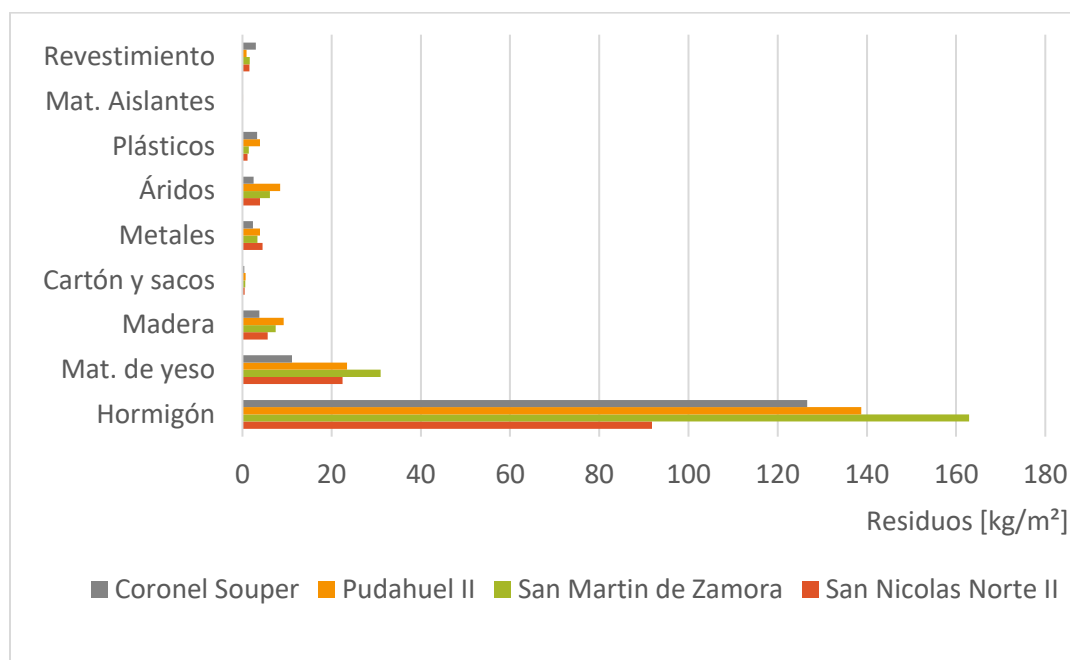


Figura 12. Muestra el factor de generación de residuos en términos de masa sobre el área construida (kg/m²).

Los volúmenes de residuos estimados son los observados en la Figura 13. En todos los casos se considera un esponjamiento del 30% para representar con mayor precisión lo ocurrido en la realidad.

De los volúmenes de residuos cuantificados, se observa en la Figura 13 que el hormigón es el material que más pérdidas genera, alcanzando 728 [m³] en Martín de Zamora y 1330 [m³] en Coronel Souper con esponjamiento de un 30%. La madera y el yeso son los otros dos materiales más influyentes en términos de volumen, esto se observa en San Nicolas Norte y Pudahuel II, que son las obras que más descartan madera y materiales a base de yeso. En menor medida, lo siguen los cartones y sacos, plásticos, metales, entre otros.

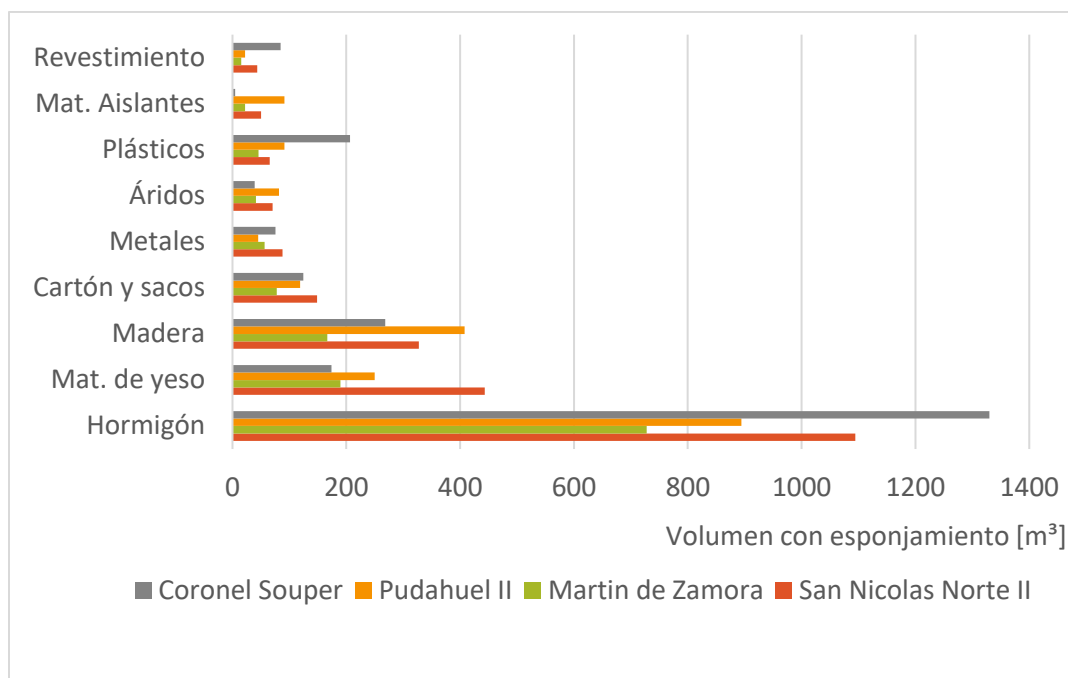


Figura 13. Muestra volumen con esponjamiento de un 30% de los residuos estimados en las obras analizadas.

Al analizar en Figura 14 el volumen de residuos en función del área construida, se observa una tendencia similar con la Figura 13. El material más descartado por metro cuadrado corresponde al hormigón en todas las obras, posteriormente en algunas obras es la madera y en otras los materiales a base de yeso. En Coronel Souper se observa una alta tasa de plástico descartado y en todas las obras también es importante la cantidad de sacos y cartón en términos de volumen por metro cuadrado.

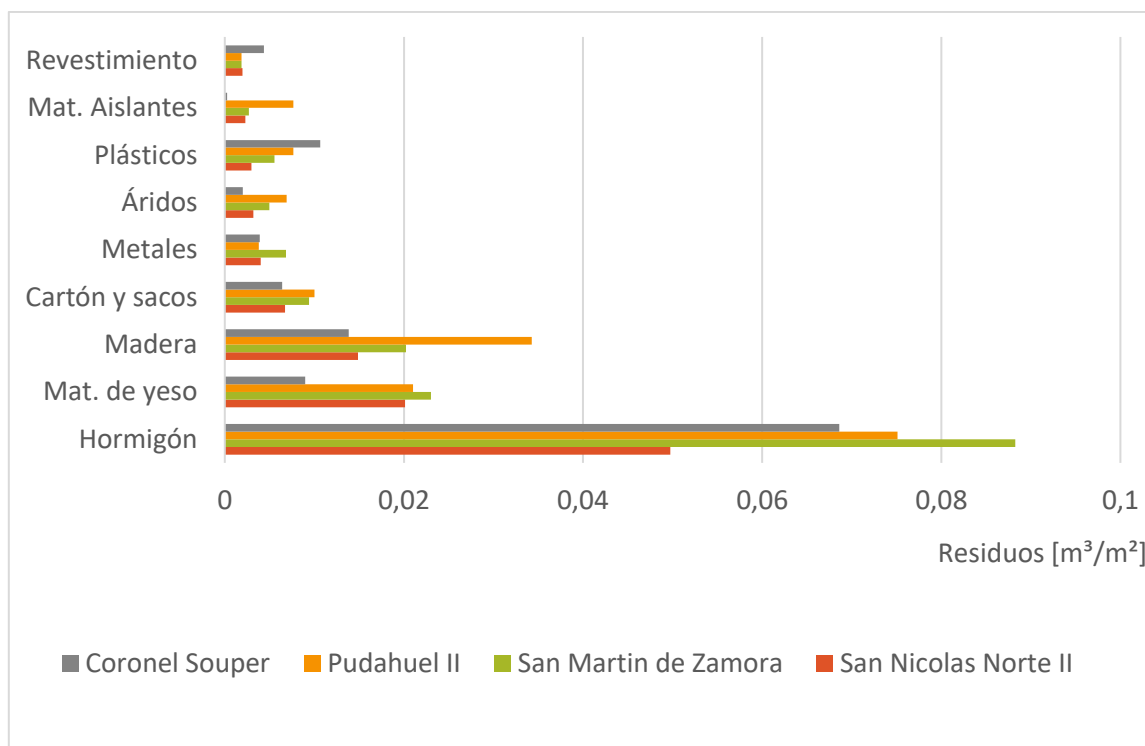


Figura 14. Muestra el factor de generación de residuos en términos del volumen sobre el área construida (m^3/m^2).

Si se suman todos los factores de generación residuos por material cuantificados, se obtiene un FG de 0,1 [m^3/m^2], 0,16 [m^3/m^2], 0,17 [m^3/m^2] y 0,12 [m^3/m^2] en San Nicolás Norte, Martín de Zamora, Pudahuel II y Coronel Souper, respectivamente, valores muy cercanos a lo indicado propuesta.

Por otro lado, en la Figura 15 se compara el volumen de residuo cuantificado respecto al volumen de residuos retirado en obra. Se observa que existe en promedio un 44% del volumen de los camiones indeterminado. Es decir, el volumen cuantificado considerando un 30% de esponjamiento, solo plasma el 56% del volumen total retirado en caso de que los camiones fueran llenos.

Esta diferencia, puede deberse a diversos factores, entre ellos, existe la posibilidad de que falten muchos más materiales por cuantificar que no se están considerando, como, embalajes, residuos de los materiales provenientes de los subcontratos, por ejemplo, de subcontratos eléctricos y sanitarios. Otra razón muy probable, es que el esponjamiento no sea de un 30%, sino que sea mucho mayor. En el caso de los pallets, el esponjamiento es probable que sea mucho mayor al 30%, en los estribos de acero estriado podría ocurrir lo mismo, y en los films, plásticos y cartones, también.

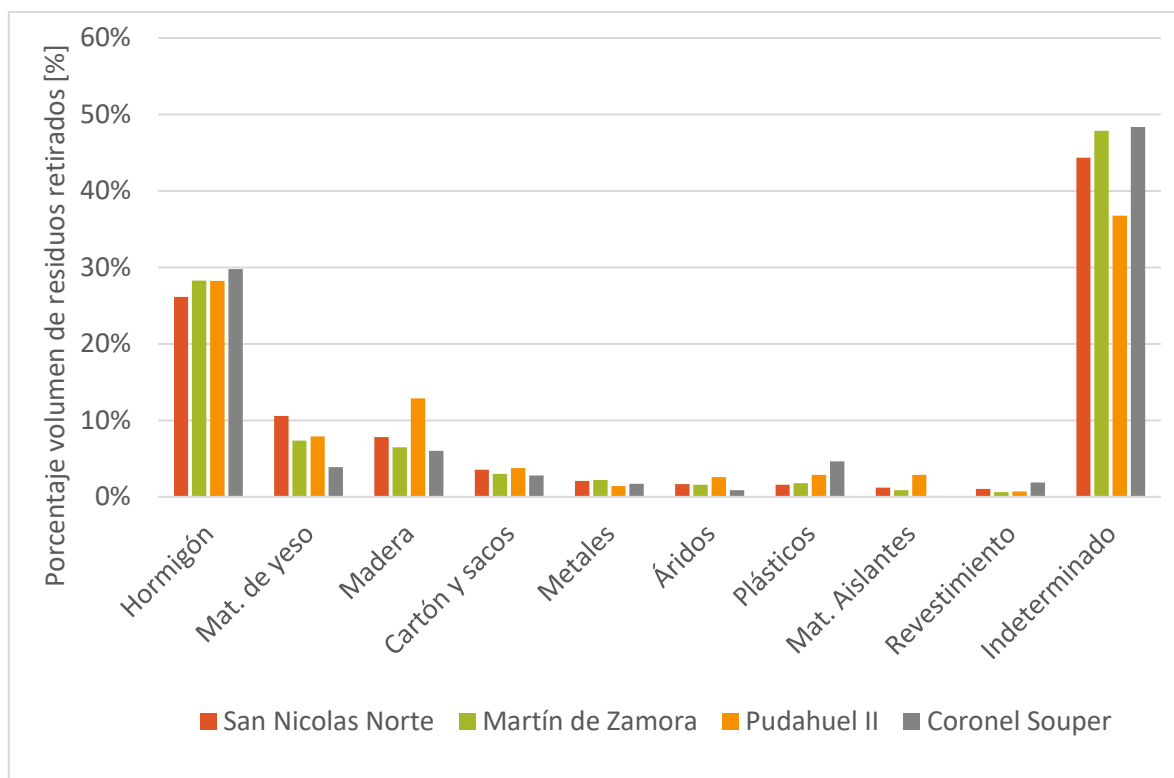


Figura 15. Muestra volumen cuantificado respecto al volumen retirado de residuos en obra.

De la Figura 16 muestra que del total de residuos retirados en cada obra, considerando un 30% de esponjamiento en todos los materiales, el hormigón involucraría en promedio un 28% del volumen de residuos, los materiales a base de yeso un 7% y la madera un 8%. Todos los demás materiales cuantificados serían menos del 5% en promedio cada uno.

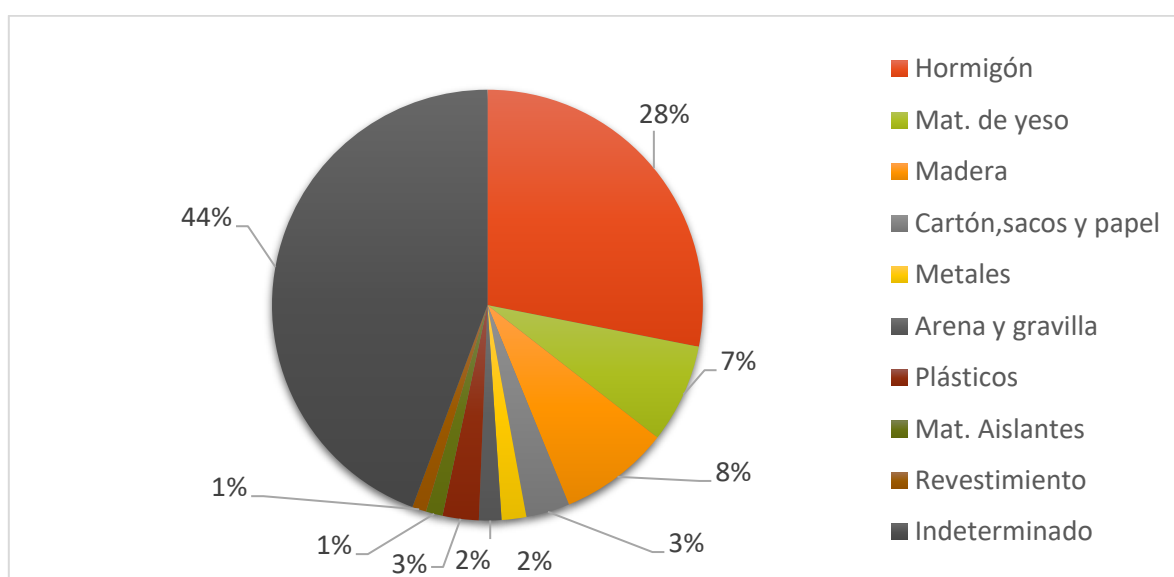


Figura 16. Muestra volumen promedio respecto al retiro total de residuos en obra.

Bajo el supuesto de que cada camión de retiro de escombros de 9,5 [m³], tiene una capacidad máxima de 10 [ton]. Se analiza cuanta capacidad en masa se estima como residuos y cuanto no es posible determinar. En base a esto, la Figura 17 muestra que, en promedio, el 50% de la capacidad total de retiro de material es completada con hormigón. Es decir, de las toneladas máximas de material que la obra pudo retirar, el 50% en promedio corresponde a hormigón.

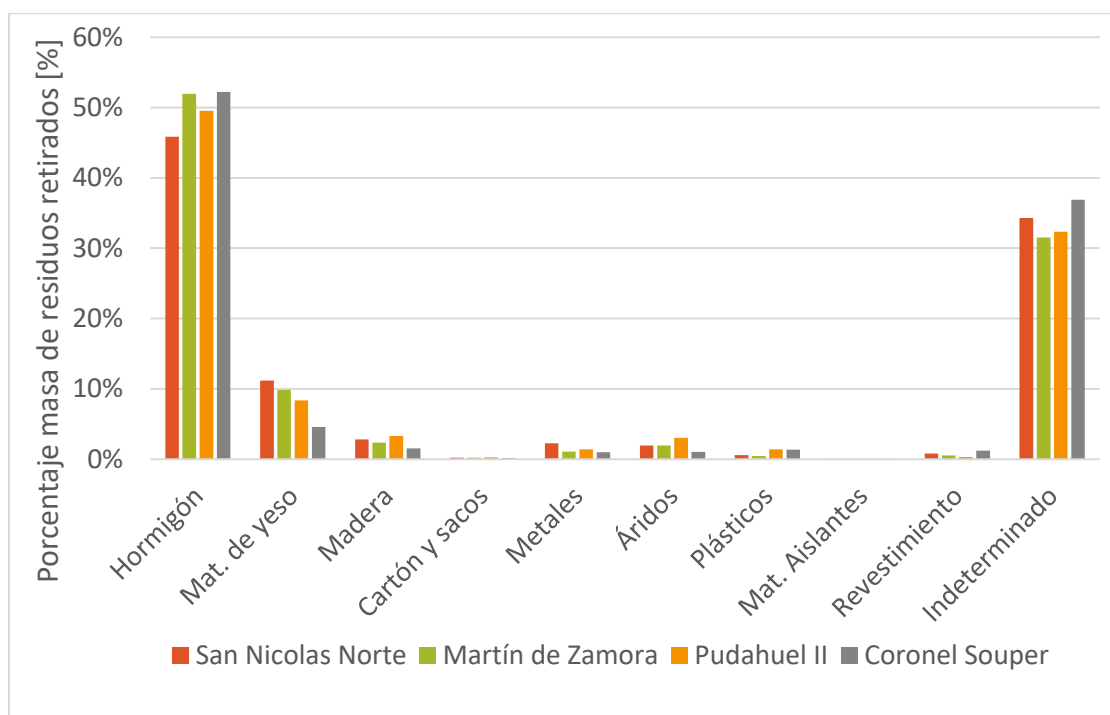


Figura 17. Muestra la masa cuantificada respecto a la masa retirada de residuos en obra.

En base a lo señalado en la Figura 18, en promedio el 9% correspondería a materiales a base de yeso, el 3% a madera y en menor proporción a áridos, cartón, sacos de papel, entre otros.

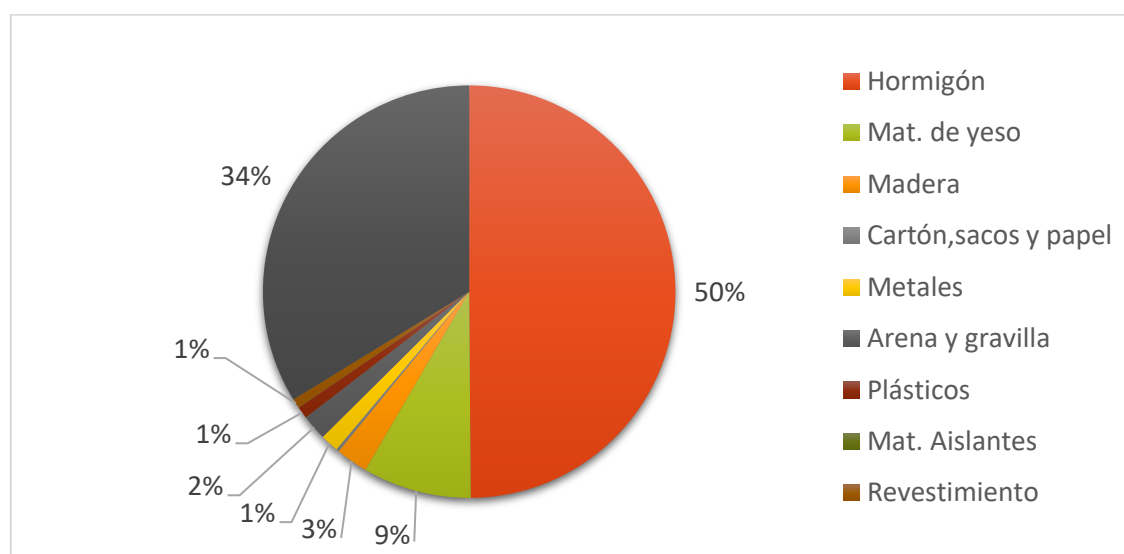


Figura 18. Muestra masa promedio respecto al retiro total de residuos en obra.

Considerando lo anterior, es posible visualizar, que materiales de obra gruesa, como el hormigón, son más influyentes en términos de masa dentro de la capacidad límite que tiene un camión de retiro de escombros. Lo mismo ocurre con el fierro estriado, aunque no es visible dentro del análisis al estar en la familia de metales junto a otros elementos metálicos usados en terminaciones o como embalajes, este tiene una densidad de $7850 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ por lo cual su masa es mucho más relevante que su volumen considerando un esponjamiento del 30%. Esto podría cambiar, en el caso de los estribos, si existiese un estudio teórico o en terreno que demostrará que el esponjamiento es mucho mayor y es capaz de superar la capacidad por masa, en ese caso, el volumen de fierro sería más relevante. El hormigón por otro lado, tiene una densidad de $2400 \text{ [kg/m}^3\text{]}$, lo cual implica que también es más relevante en términos de masa, a menos, que se observe un alto nivel de esponjamiento, mayor al 100%.

El resto de los materiales cuantificados, usados en terminaciones, para instalaciones provisionales o como embalaje, son más influyentes en términos de volumen que de masa, a excepción de los materiales a base de yeso. Para las planchas de yeso cartón se considera una densidad de $1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ por lo cual es más incidente en términos de volumen y el mortero de cal o yeso tiene una densidad de $1750 \text{ [kg/m}^3\text{]}$ por lo cual es más crítico en términos de masa.

Se debe considerar que la flota de camiones debe cumplir ambas restricciones de masa y volumen, ambas capacidades se completan de forma paralela, mientras se completa en términos de volumen aumenta su masa y viceversa, por lo cual se debe analizar cómo influye cada material dentro de los camiones, para intentar representar los residuos totales retirados de la obra.

Conocido los residuos totales retirados de las obras analizadas, para cada material se calcula masa y volumen, y en base a cuál es más influyente se ve cómo se va llenando la capacidad de los camiones.

La Figura 19, muestra en porcentaje la capacidad de los camiones que es utilizada por cada material. En todas las obras estudiadas el hormigón es el material que más capacidad utiliza, alcanzando entre el 46% y 53% de la flota de camiones. Es preciso indicar que sólo se cuantifica el hormigón H30 – H35 utilizado en obra gruesa, a diferencia de hormigones con menores resistencias, que muchas veces son cambiados, volviendo poco representativo el análisis. En base a esto, es importante que los materiales comparados sean coherentes con lo presupuestado.

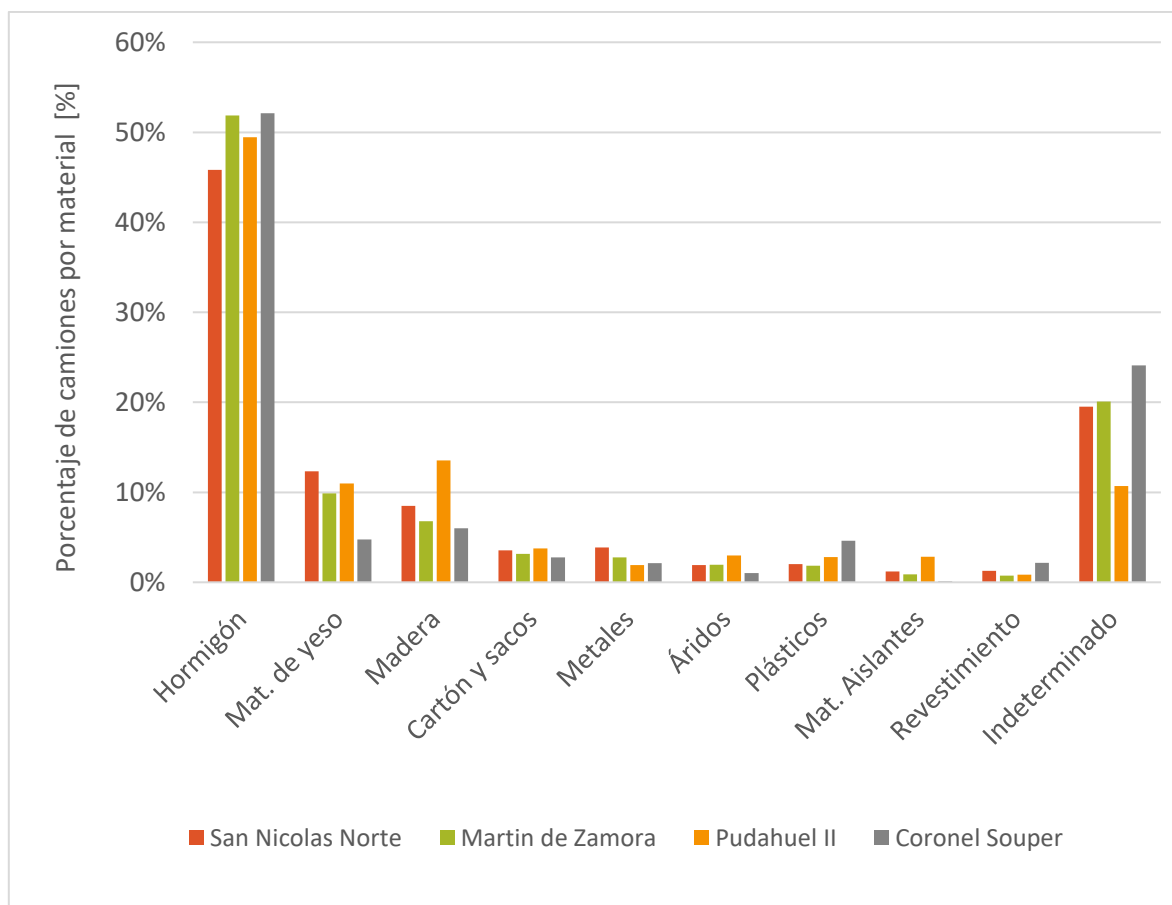


Figura 19. Muestra porcentaje de camiones de retiro de RCD distribuido por material y por obra.

En el caso de la obra Pudahuel II, se consideró que hubo hormigón que no estaba presupuestado que se utilizó en los dados de grúa y en el radier, 100[m³] y 160 [m³], respectivamente. Estas cantidades se restaron, ya que no implican una pérdida, sino más bien material que fue comprado sin ser presupuestado. En el caso de existir otros casos como este, que no son reconocidos, los resultados presentarían cambios y no serían del todo representativos.

En término del total de residuos cuantificados, las obras que desechan más hormigón, corresponden a Martín de Zamora y Coronel Souper, donde más del 50% sus residuos corresponden a este material.

La Figura 20, muestra los valores promedio de residuos totales entre todas las obras, es decir, que en promedio un 50% de la capacidad de los camiones se llena con hormigón.

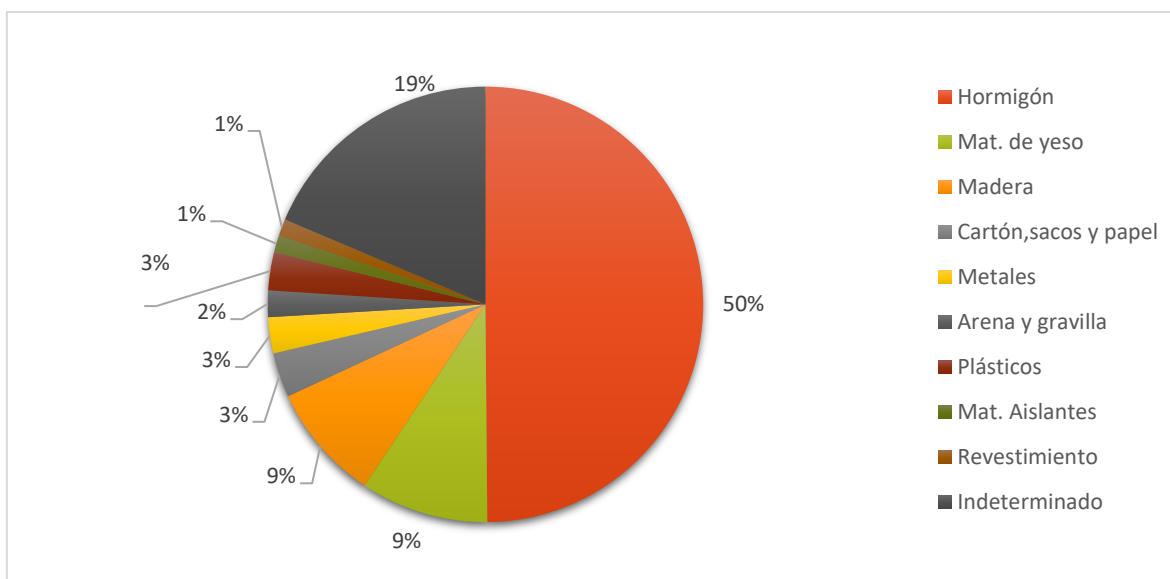


Figura 20. Muestra los promedios de residuos totales en términos de capacidad de retiro en camiones.

El material que genera más desechos después del hormigón en San Nicolas Norte y en Martín de Zamora, alcanzando 12% y 7%, respectivamente, son los materiales a base de yeso, es decir, el yeso y las planchas de yeso-cartón. En promedio, un 9% del material descartado correspondería a materiales a base de yeso.

El material que genera más desechos después del hormigón en Pudahuel II y en Coronel Souper, es la madera, alcanzando 13% y 6%, respectivamente. La pérdida de madera, que se divide en tablas, palos y planchas, se desprende principalmente de instalaciones provisionales donde se utiliza en instalaciones de faenas, en moldaje, entibación de pilas de socializado, en barandas de seguridad, en cierres, entre otras actividades. Es decir, es madera que se utiliza durante la construcción de la obra y posteriormente es desechada.

La madera descartada de obra gruesa o terminaciones, no es cuantificada ya que en propuesta es cuantificada en pulgadas sin indicar otras dimensiones y en el registro de compras es cuantificada en unidades con sus respectivas dimensiones. Al no tener otras medidas en propuesta no era del todo representativo estimar una segunda dimensión ya que cambiaban muchos los resultados en función de la medida que se escogiera, por lo cual se decidió considerar solo la madera de instalaciones provisionales que era la más influyente.

En la Figura 20 se observa que en promedio el 9% de los residuos generados corresponden a madera, por otro lado, en cartón corrugado y sacos de papel, se cuantifica en promedio un 3%. El cartón corrugado es comprado para envolver los materiales y proteger las superficies de algún daño durante la partida de terminaciones. Los sacos de papel provienen de embalaje de materiales en polvo; como el yeso, el bekron, el cemento, entre otros.

Los metales, equivalen a un 3% de la flota de camiones, los áridos alcanzan un 2%, los plásticos un 3%, los materiales usados como revestimiento, que incluyen cerámicas, papel

mural y alfombras alcanzan en promedio sólo el 1% en las cuatro obras, por último, un 1% se asocia a materiales aislantes.

En promedio, 19% de los residuos son indeterminados, lo cual no se tiene del todo claro a que se relaciona. Algunas de las razones, se vinculan a materiales que no se cuantificaron, por ejemplo; elementos de seguridad, enchufes, materiales de limpieza, entre otros. Otra razón, podría deberse a una mayor cantidad de materiales de embalaje adicionales a los que vienen los materiales, como; pallets en los que vienen cerámicas y sacos de papel, las mismas cajas de cartón, plásticos, entre otros, los cuales tampoco fueron cuantificados y que podrían ser valores mayores.

En el análisis se considera un valor de esponjamiento del 30%. Este valor, podría ser mucho mayor en la práctica debido a la baja compactación con la cual son descartados los materiales y a la poca logística al momento de llenar los camiones de retiro de escombros. En este caso, el porcentaje indeterminado podría ser sólo aire.

Cada material descrito con anterioridad pertenece a una partida o actividad para la cual fue necesaria su utilización. Son diferentes las actividades estudiadas, pero la procedencia de los residuos se agrupa en cuatro categorías distintas; obra gruesa, terminaciones, instalaciones provisionales y embalaje. Existe una quinta categoría que corresponde a “indeterminado”, que agrupa los residuos de los cuales no ha sido posible determinar su procedencia.

Es necesario anticipar y reiterar que las actividades atribuidas a cada residuo corresponden a las tareas para las cuales se compra el material, es decir, se atribuye según la función que cumple el material que posteriormente genera el residuo, y no se vincula a la partida en la cual es descartado. Por ejemplo, un material comprado para instalación de faena como la madera, no necesariamente es descartada durante la ejecución de esta partida, sino que más bien, durante la etapa de terminaciones cuando la obra ya ha finalizado.

La Figura 21 muestra la distribución por procedencia de los residuos de construcción y demolición de las obras analizadas. En tres de las cuatro obras se observa que los materiales asociados a obra gruesa son los que más se descartan, alcanzando entre un 51% y un 53%, esto se asocia la gran cantidad de hormigón residual estimado en todas las obras.

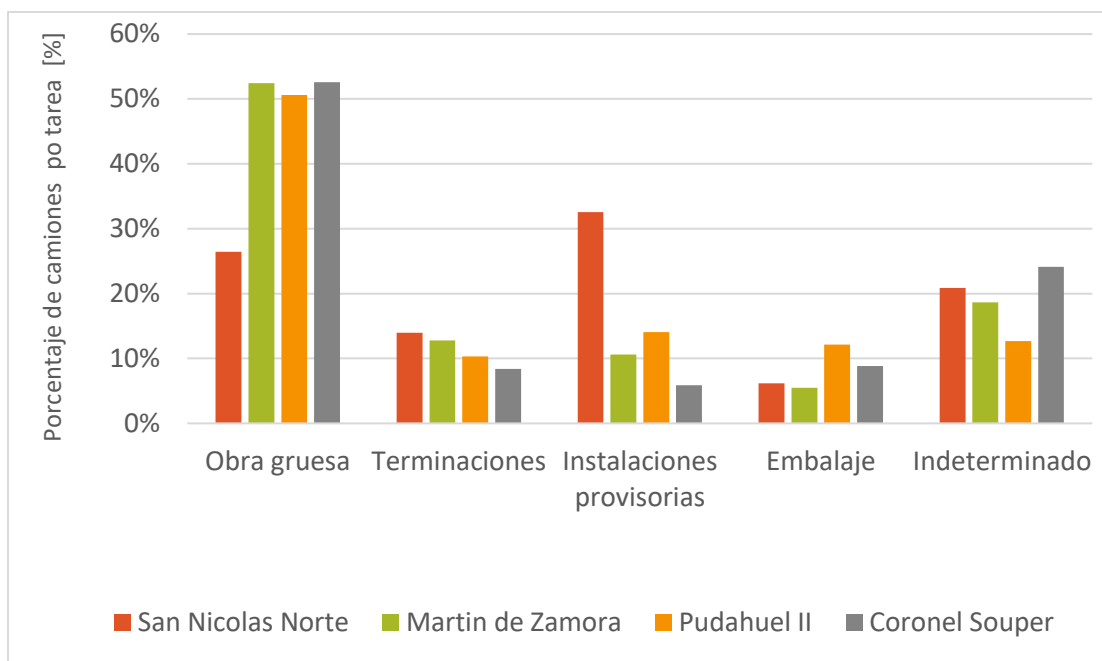


Figura 21. Resultados por obra estimados de RCD en base al uso y/o procedencia del material

En la obra San Nicolas Norte, la mayor parte de los residuos se vincula a instalaciones provisionarias, esta diferencia radica en que en esta obra se utiliza gran cantidad de hormigón en la instalación de faena y sumado al resto de materiales de instalación provisoria, alcanza la mayor parte de los residuos. Lo siguen la partida de obra gruesa con un 26% de los residuos, terminaciones con 14% y finalmente embalaje 6%.

San Nicolas Norte junto con la Obra Pudahuel tenían las instalaciones de faenas más grandes y las obras tenía más espacio, esto podría asociarse a mayores niveles de residuos por instalaciones provisionarias, debido a que se utilizan muy pocos materiales reutilizados o reciclados de otras obras para realizar las instalaciones de faenas.

En la Obra Pudahuel II, los residuos generados por instalaciones provisionarias son la segunda gran mayoría, esto se vincula a la gran cantidad de madera que se descarta en esta obra a diferencia de las restantes. Seguido por embalaje que alcanza un 12% de los residuos y terminaciones con un 10%.

Para todas las obras existe una tendencia similar respecto a los residuos provenientes de materiales usados en las terminaciones de la obra, variando entre un 8-14%.

En Coronel Souper los residuos descartados en instalaciones provisionarias son mucho menores que respecto a las otras obras, esto puede vincularse a que es la obra con menores pérdidas en madera. Entre un 6% para Martin de Zamora y un 9% en el caso de Coronel Souper se asocia a materiales usados como embalaje, entre ellos, los embalajes propios de cada material como sacos, tinetas o envases metálicos y otros embalajes que se compran, se utilizan unas o dos veces y son descartados como el film, el cartón corrugado y el polietileno burbuja.

En la Figura 22 se observa que en promedio un 46% de los residuos se generan por materiales usados en obra gruesa, principalmente hormigón y acero estriado, un 16% corresponden a residuos provenientes de instalaciones provisionarias, principalmente por madera descartada, mallas plásticas y metálicas, fierros usados en barandas, entre otros.

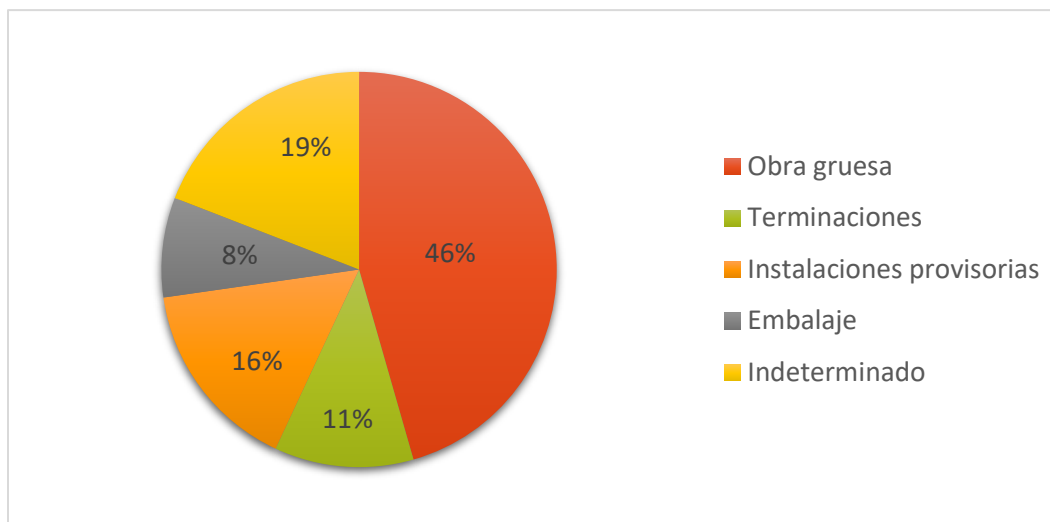


Figura 22. Resultados promedio estimado de camiones de retiro de RCD en base al uso y/o procedencia del material

El 11% de los residuos, se estima provienen de materiales utilizados en terminaciones, entre los cuales se encuentran planchas de yeso-cartón, yeso, revestimientos (cerámicas, alfombras, piso flotante, entre otros). En promedio, un 8% se asocia a materiales comprados y/o generados por embalaje, como los sacos de papel, cartón corrugado, pallets, tinetas, entre otros.

Un 19% de los residuos son indeterminados, como se mencionó en el apartado anterior, puede que sea aire por mala compactación y posicionamiento del material en los camiones. Es muy probable que el material no determinado corresponda a embalaje y que aumente considerablemente el valor atribuido a embalaje en caso de ser cuantificado todo el envoltorio que traen los materiales. En el estudio no se considera el embalaje adicional que contiene cada material, ya que sólo se está cuantificando el embalaje propio de algunos materiales. Por ejemplo, los sacos, podrían venir envueltos en sacos de papel, además en plástico y en pallets. En este caso, sólo se considera los sacos de papel.

Lo mismo ocurre con todos los materiales, por ejemplo, un artefacto sanitario como un lavamanos, podría venir envuelto en plástico, cartón, plumavit, entre otros. Esos materiales no son cuantificados en este estudio, ya que no se tiene registro de todo el envoltorio asociado a todos los materiales, por lo cual, se recomienda realizar un registro por parte de la constructora y posterior a eso, estimar los RCD asociados. Aun así, es muy probable que gran parte de los residuos no determinados, se atribuyan a embalaje.

Es preciso mencionar, que los materiales asociados a instalaciones provisionarias y/o embalaje, en su mayoría son descartados durante la etapa de terminaciones al final del proyecto. Por lo

tanto, podríamos suponer que durante la etapa de terminaciones se desecha por lo menos, un 35% de los residuos. La gran mayoría de los residuos se descartaría en los periodos de la obra donde se ejecutan partidas de obra gruesa y terminaciones simultáneamente.

5.4 RCD DISTRIBUIDOS POR FLOTA DE CAMIONES.

En este apartado, se analizan los residuos cuantificados distribuidos en función de la capacidad de los camiones de retiro de escombros, que se estiman para cada obra, suponiendo cada camión como lleno. Los gráficos de barras muestran los residuos discretizados en operacionales y residuos por errores para cada material de forma local y de forma global en el gráfico de torta de la esquina superior derecha de cada figura presentada a continuación.

En base a la Figura 23, la obra San Nicolas Norte es la única que muestra una pérdida de hormigón asociada a instalaciones provisionarias. Esto ya que en la obra se realizó una instalación de faenas, que posterior a la ejecución de la obra fue demolida y ese hormigón, descartado como escombros. A pesar de esto, el hormigón restante desechado, alcanza una flota de 108 camiones llenos, numero significativamente menor al resto de las obras, considerando que San Nicolas Norte es la obra más grande entre las estudiadas.

El gráfico de torta muestra los residuos distribuidos de forma global. Donde en San Nicolas Norte se tiene la misma proporción de pérdida debido al hormigón de instalación de faenas que aumenta la cantidad de residuos producto de instalación provisoria.

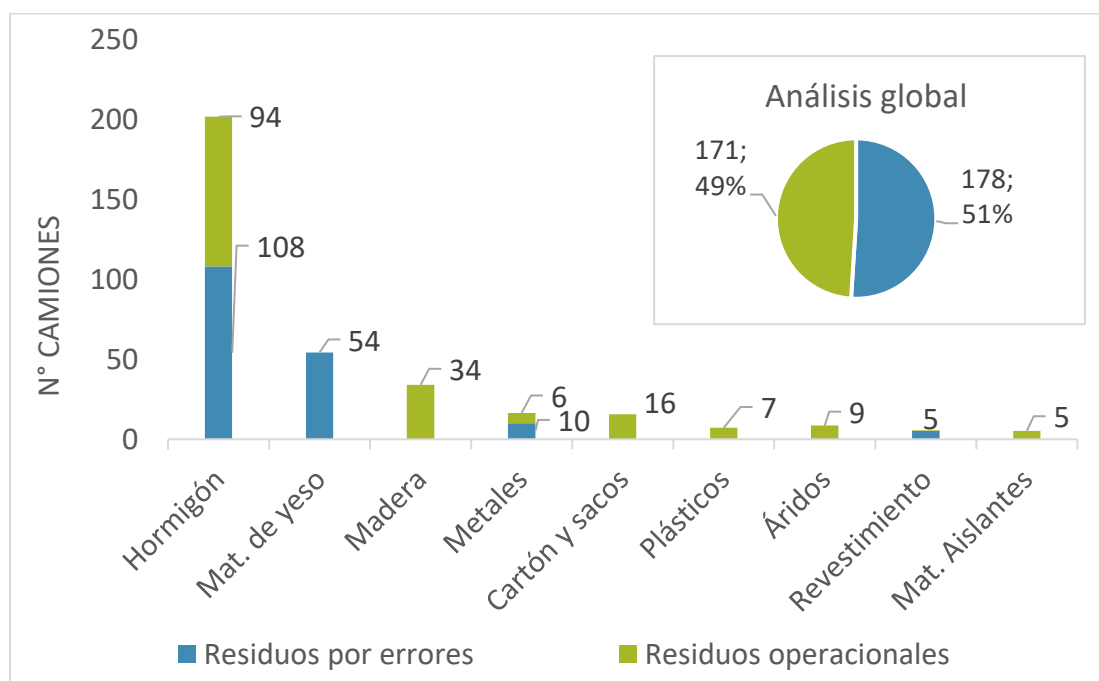


Figura 23. Muestra la flota de camiones de retiro de RCD discretizada por tipo de residuos para la obra San Nicolas Norte.

En la Obra Martín de Zamora, los materiales asociados a residuos por errores abarcan un 80% de los residuos cuantificados. Del total de la flota, 134 camiones se irían con hormigón, 29 con materiales de yeso y sólo 3 con metales varios. Los residuos operacionales, producto de la ejecución de instalaciones provisionales y/o embalajes, abarcarían solo 42 camiones de 9,5 [m³], de los cuales la mayor parte correspondería a madera, cartón y sacos de papel, Figura 24.

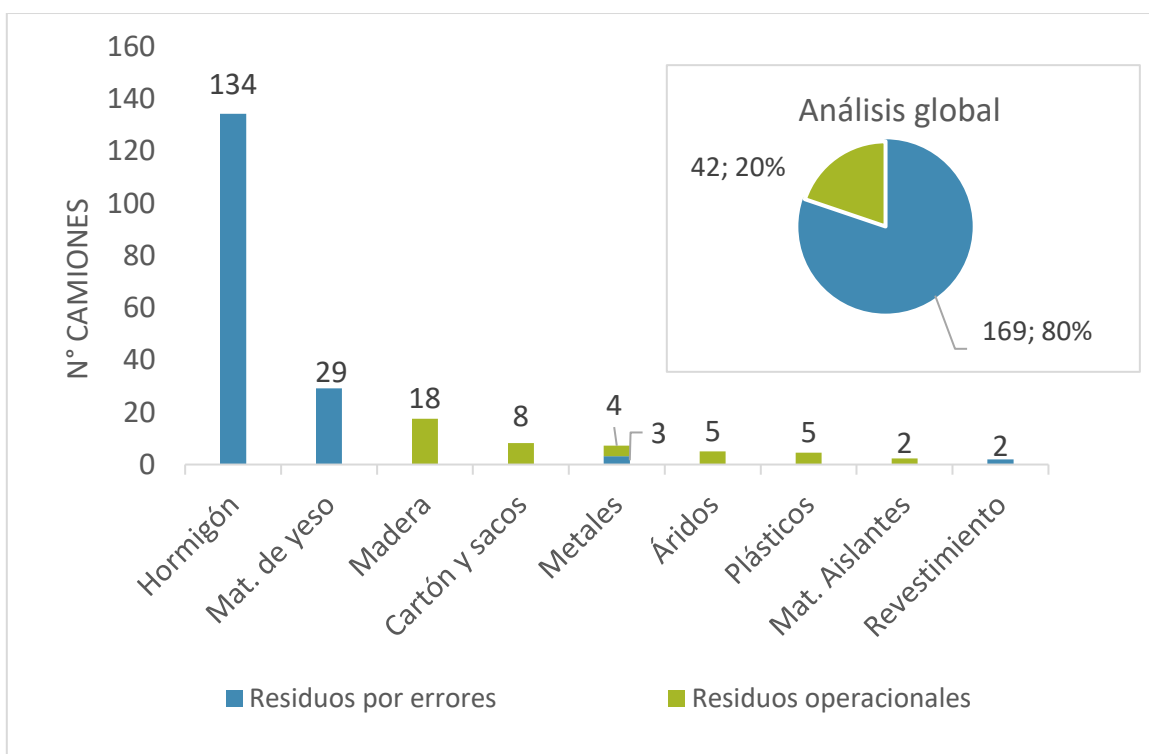


Figura 24. Muestra la flota de camiones de retiro de RCD discretizada por tipo de residuo para la obra Martín de Zamora.

En el caso de Pudahuel II, se cuantifica el 87% de la capacidad útil de los camiones, más que en el resto de las obras, por lo cual, los resultados podrían ser más representativos. En esta obra, se obtiene una notoria alza en los residuos de madera, lo cual implica que se alcance un 30% de residuos operacionales, y por otro lado, un 70% de residuos por errores, Figura 25.

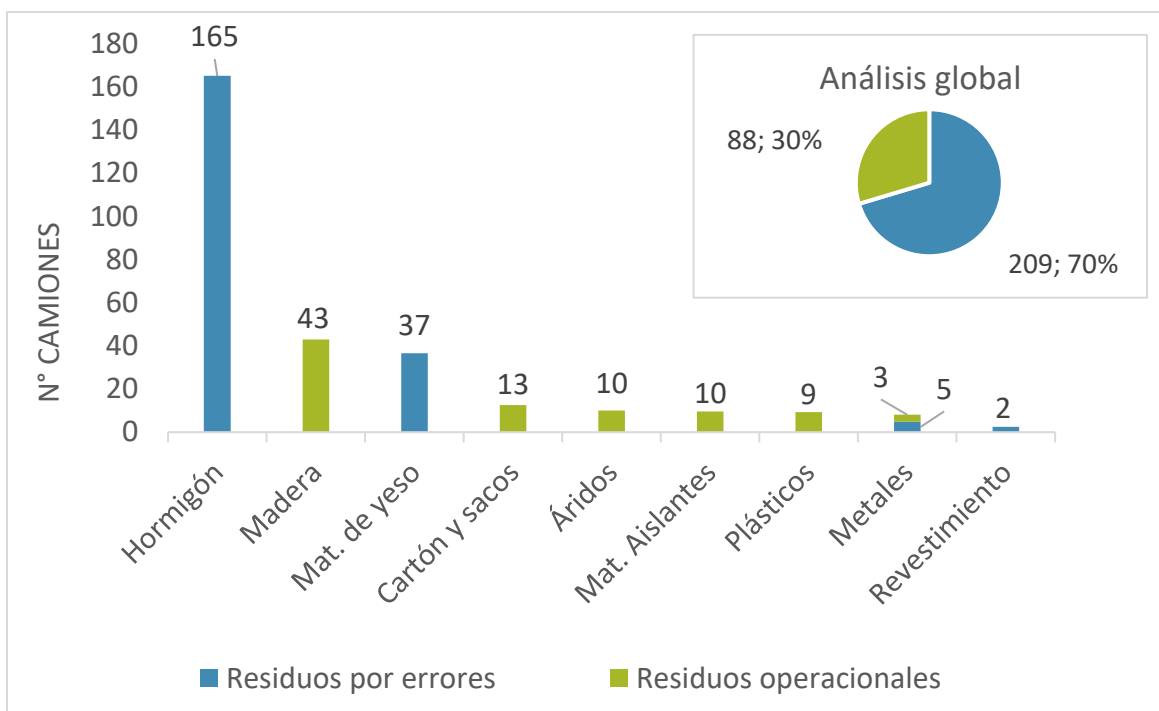


Figura 25. Muestra la flota de camiones de retiro de RCD discretizada por tipo de residuos para la obra Pudahuel II.

En Coronel Souper, se ve un comportamiento similar que el de Martín de Zamora, donde los residuos por errores producto de las pérdidas de hormigón, materiales de yeso, revestimientos, plásticos y metales, alcanzan el 81%, Figura 26.

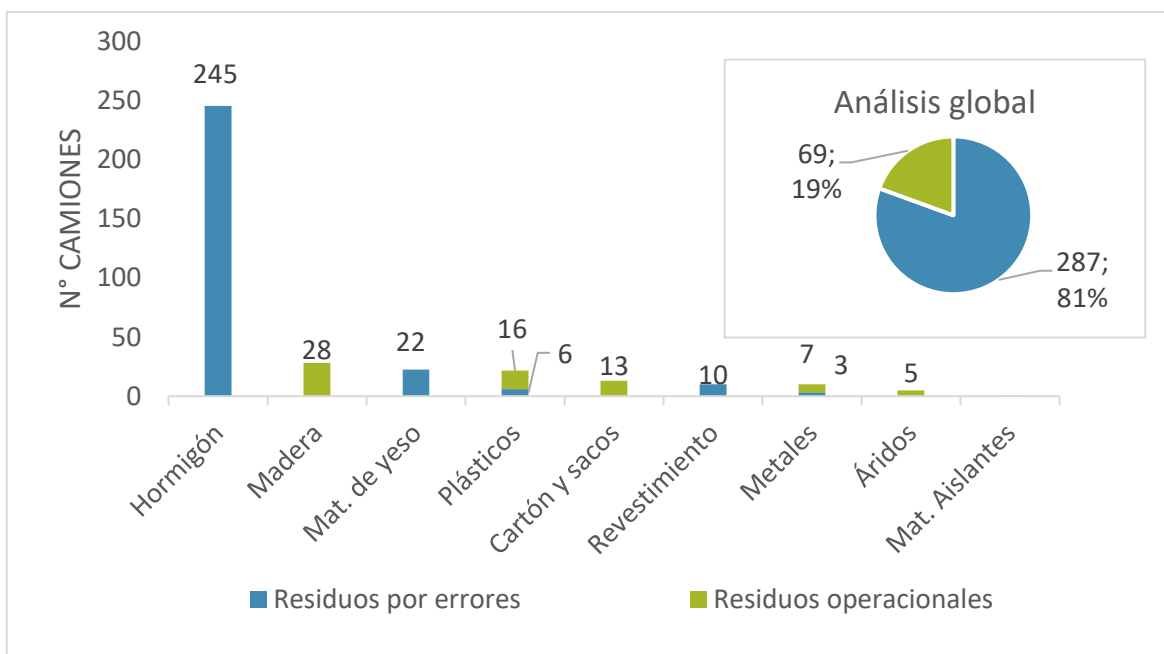


Figura 26. Muestra la flota de camiones de retiro de RCD discretizada por tipo de residuos para la obra Coronel Souper.

En Martín de Zamora, Pudahuel II y Coronel Souper, los residuos estimados por errores; hormigón, acero estriado, materiales a base de yeso, y revestimientos, son notoriamente mayor que los residuos por instalaciones provisionales y/o embalaje. Esto implica llevar los esfuerzos a tener un mayor control respecto a la entrega de los materiales, a la ejecución de las partidas, a la cubicación y material que se solicita, el cuidado de los lugares de acopio y realizar mejores planificaciones.

5.5 ANÁLISIS POR FUENTE DE PÉRDIDA

En la fase de desarrollo de una obra de construcción no solo se desecha material por despunte, sino que también elementos de uso provisional y embalaje. También, materiales de obra gruesa, como fierro y hormigón por partidas no conformes que pueden derivar en la demolición de estructuras como muros o losas y en la reconstrucción de dichos elementos. Además, y a diferencia de lo que sucede en otros rubros, en la construcción los desechos producidos incluyen volúmenes importantes de materiales que se eliminan sin haber sido utilizados. Por ejemplo, lo que sucede con el despunte de fierro o resto de planchas, cerámicas, entre otros.

En base a esto, el análisis de fuentes de pérdida se subdivide en dos tipos de residuos. Por un lado, están los residuos generados por materiales utilizados para instalaciones provisionales y/o embalaje, los cuales se adquieren y se utilizan durante la ejecución de la obra de construcción y posteriormente son descartados. Es decir, son comprados o adquiridos, sabiendo que terminada la obra serán desechados. Estos materiales son más difíciles de prevenir, ya que son necesarios para el correcto funcionamiento de la obra de construcción. Una solución, para reducir esos residuos, sería considerar en instalaciones de faenas o protecciones de seguridad, materiales que involucren una mayor vida útil.

Por otro lado, se encuentran los residuos generados por errores en obra definidos en la Sección 3.7. Estos tipos de residuos, son más simples de prevenir y son los que inicialmente se deben reducir.

En este estudio, se obtuvo que el material que más se descarta en términos de masa y volumen, es el hormigón, y que en la mayor parte de los casos se descarta por errores en obra, con excepción de que se utilice en la construcción de alguna instalación provisional, que en un futuro sea demolida. Su pérdida se vincula a un trabajo mal ejecutado, pues muchas veces existe mano de obra no calificada que realiza el trabajo afectando la calidad de la obra, donde es necesario demoler y utilizar más material de lo presupuestado. Otra razón asociada a la generación de hormigón como RCD se vincula a la mala planificación del pedido de material, producida por no tener una adecuada coordinación entre la administración y lo que realmente se requiere en terreno. Muchas veces se pide hormigón y cuando llega a la obra no hay suficientes estructuras con enfierradora y moldaje en las cuales vaciar ese hormigón y debe ser devuelto o desechado en la misma obra. Además, se pide hormigón en exceso con el objetivo de que no falte durante el hormigonado y cualquier hormigón sobrante ya sea que se bote o que quede extra en las estructuras se debe picar y luego desear. También, en el

lavado de la bomba de hormigón post hormigonado de las estructuras se genera una gran cantidad de material residual.

En el caso del yeso, la principal fuente de pérdida es la falta de control y la poca importancia que se le da en obra a su buena colocación. Hay una gran cantidad de material que se cae y se seca y que pasa a ser un desperdicio. Este actuar se relaciona al poco control que se realiza a los materiales en obra, ya que muchas veces los trabajadores tienen acceso a los sacos de yeso sin ningún control y sin conciencia por parte del trabajador entorno a la cantidad de material perdido. Así mismo, la cuantificación del yeso es compleja ya que la cantidad a utilizar depende de cada partida, lo que muchas veces conlleva a utilizar cantidades de yeso muy diferentes a lo estimado por el proveedor. Ocurre además que previo a la colocación del yeso se pueden tener malas terminaciones, es decir, en la partida de obra gruesa, ya sea en el hormigonado de muros y losas se generan irregularidades en la superficie, lo cual genera una carga excesiva de yeso en la superficie para cubrirlas.

La pérdida de las planchas de yeso-cartón se deben a la modulación que se la va dando a las planchas cuando son utilizadas en los tabiques. Debido a que la altura de los pisos de los edificios de tipo habitacional es menor a la altura de las planchas, se generan pérdidas producto de corte por dimensionamiento, lo cual, asociado a la gran cantidad de planchas requerida en las obras, provoca una alta cantidad de pérdida. La pérdida de este material también se debe, en menor medida al mal uso que se le da a la plancha en obra y al mal acopio de estas que involucra una disminución en la calidad del material, hecho que pierde importancia al privilegiar avance, (Bravo, 2018)

La madera proviene principalmente de las instalaciones provisionales, en primera instancia, se desecha la madera utilizada en la entibación de la partida de socializado. A lo largo del proyecto, comienza la construcción de instalaciones de faenas que requieren la compra e instalación de planchas y tablas, además, se utiliza madera como elemento de seguridad durante la ejecución de la construcción para formar vías de circulación dentro de la obra. Toda esta madera finalmente es descartada y actualmente en muchas obras está siendo reciclada.

Con el resto de los materiales, si se analiza la pérdida por material, hay muchos materiales de terminaciones, que presentan altas pérdidas, pero que evaluándolos de forma global en el proyecto no son los más incidentes en términos de RCD. En el caso de la cerámica, una encuesta realizada en una obra de construcción muestra que, en el caso de la cerámica, las mayores pérdidas se atribuyen a corte por dimensionamiento, trabajo mal hecho, mal acopio y falta de control (Bravo, 2018). En el caso del piso flotante, las baldosas, el papel mural, las alfombras, las volcanitas, se rigen por el mismo comportamiento.

En el caso de fierro estriado, la gran diferencia se observa entre una obra que compra el fierro preparado o en punta. Las mayores pérdidas se observan cuando se compra el fierro en punta, ya que se genera un alto residuo debido al corte por dimensionamiento y al trabajo mal hecho en obra. Es importante que cuando se compre el fierro preparado, se revisen los pedidos antes de que lleguen a obra, por más de una persona, ya que un error en los despieces podría generar pérdidas aún mayores.

Los plásticos, pallets, sacos y cartón, generan altos residuos en términos de volumen. Son materiales que viene protegiendo otros insumos, que se ocupan para seguridad en el caso de las mallas o que se compran para proteger superficies. Al finalizar su vida útil y ser descartados, generan mucho residuo en términos de volumen, sumado al esponjamiento y vacíos de aire al no hacer una correcta gestión. Es muy probable, que estos materiales tengan un esponjamiento al momento de desecharse mucho mayor al 30% considerado en este estudio. Es complejo reducir su uso o evitar comprarlos, por esto, para realizar una correcta gestión, es necesario implementar en obra medidas correctas de acopio, segregación y reciclaje, para que sean descartados de forma adecuada y optimizando el espacio ocupado en los camiones y en la obra.

En una encuesta realizada por la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT, 2018), se consultó respecto a los aspectos que atentan contra la adecuada gestión de RCD dentro de los proyectos de construcción, la razón más mencionada corresponde a desconocimiento del tema, donde un 73% de las personas la escogieron como la principal razón por la cual no se gestionan los RCD en las obras de construcción. Un 58% mencionó la falta de espacio en las obras y un 40% menciona como un aspecto relevante la falta de recursos para el manejo de residuos y que se requiere tiempo para implementación y capacitación. Por otro lado, cuando se les consultó por quien debiese controlar que se realice una correcta gestión de los residuos en terreno, de 40 opciones, el 68% consideró que debiese ser el Prevencionista de Riesgos, el 48% el jefe de terreno y otro 48%, el administrador. (Anexo).

5.6 ANÁLISIS ECONÓMICO

Como se observa en la Figura 27, los mayores costos en la Obra San Nicolas Norte asociados a materiales que fueron descartados corresponden a metales que se compraron extra debido a errores y bajas productividades en obra. De los \$36.811.845, una parte se vincula la pérdida asociada a perfiles metálicos utilizados en tabiques, pero la gran mayoría, es decir, \$33.989.946 se debe a una pérdida de acero estriado A-630-420H, que es el utilizado como refuerzo de los elementos estructurales del edificio. Esto puede deberse a que el fierro de la obra fue comprado en punta y doblado en la obra, al ocurrir esto, se pierde mucho material por despunte.

En San Nicolas Norte y en el resto de las obras, el segundo costo más importante se debe a la compra de madera que es utilizada para instalaciones provisionarias, como material de seguridad e instalaciones de faenas. En San Nicolas Norte, \$35.531.012 corresponde al costo de madera comprada que durante la ejecución de la obra es descartada.

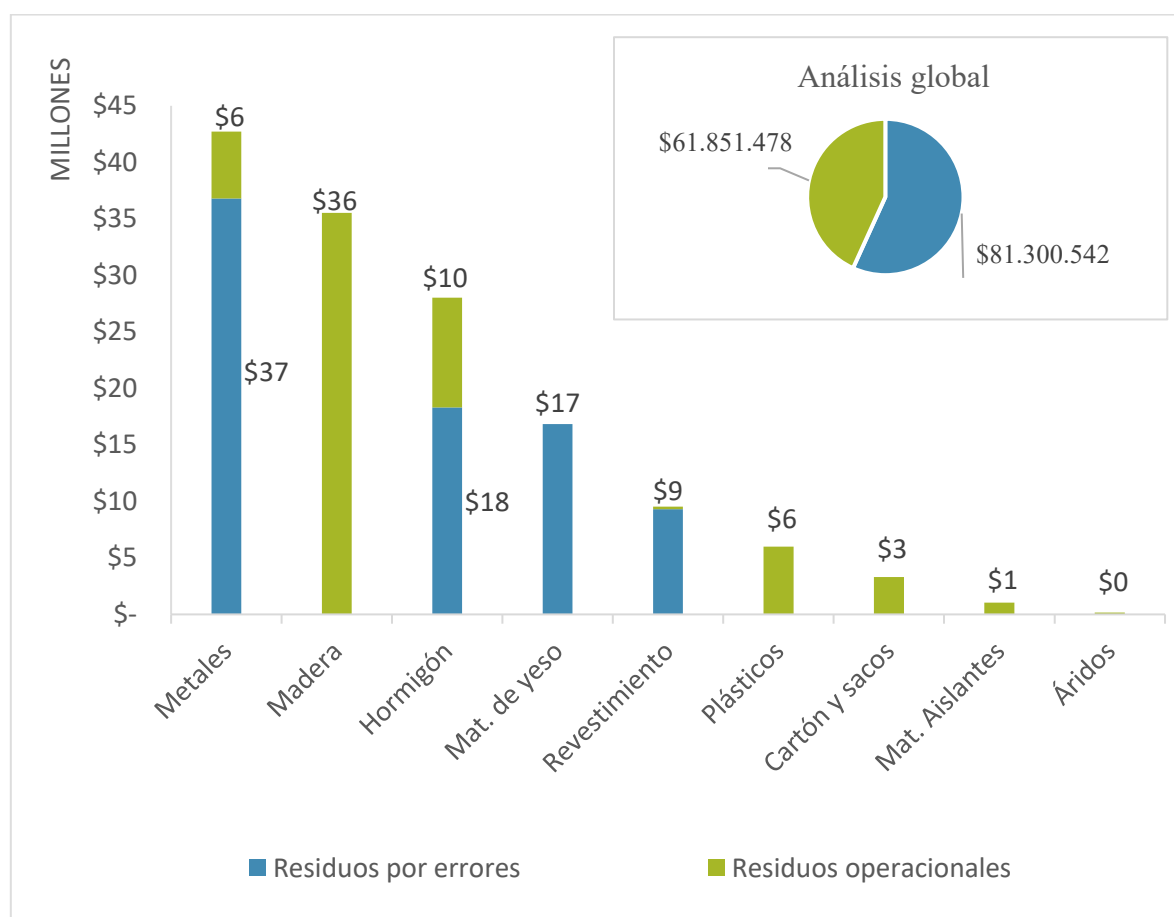


Figura 27. Muestra los costos de material adicional adquirido discretizado por tipo de residuo para la obra San Nicolas Norte.

En las Figura 28, Figura 29 y Figura 30, se observa que en la obra Martín de Zamora, al igual que en Coronel Souper y Pudahuel II, los mayores costos se asocian a la pérdida de hormigón, lo cual es coherente con la cantidad de hormigón desechado, que fluctúa entre el 51-53% de la cantidad total de material descartado. Esto se debe a que gran parte del presupuesto con el cual cuenta la obra es utilizado en la compra de hormigón, y es un material restrictivo en el avance de obra gruesa lo que conlleva la compra muchas veces excesiva del material con la justificación de que este no falte al momento del hormigonado. Muchas veces el material sobrante debe ser botado en la misma obra y posteriormente picado y desechado. En Martín de Zamora se estiman alrededor de \$25.094.096 y en Pudahuel II; \$46.544.359 de hormigón que sólo se desechó.

A diferencia de otras obras, en Martín de Zamora el costo de material de yeso es el más bajo, esto se debe a que gran parte de las planchas de yeso cartón en Martín de Zamora se compraron dimensionadas.

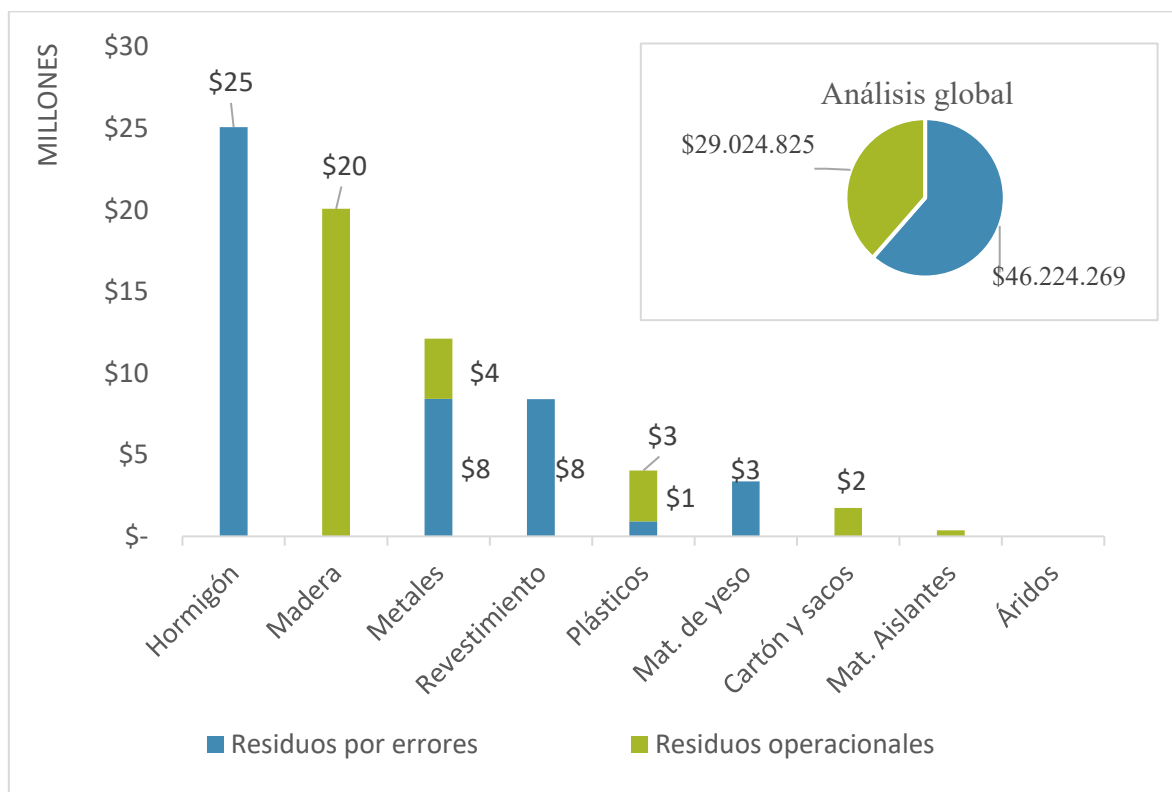


Figura 28 Muestra los costos de material adicional adquirido discretizado por tipo de residuo para la obra Martín de Zamora.

La obra Pudahuel II, corresponde a la obra con mayor cantidad de madera descartada, alcanzando el 13% del material total desechado, a diferencia de las otras tres obras analizadas donde la cantidad de madera retirada varía entre un 7-8% del total de residuos. En términos de costo, se observa que, a diferencia del resto de las otras obras, la compra de madera que es estimada como residuo alcanza los \$28.591.466, siendo el costo más alto en madera, teniendo una diferencia de sólo \$408.586 con el hormigón. Esto indica que el alto costo no

se debe al precio de la madera, sino que a la gran cantidad de madera comprada producto de que la instalación de faena era muy grande en comparación a las demás.

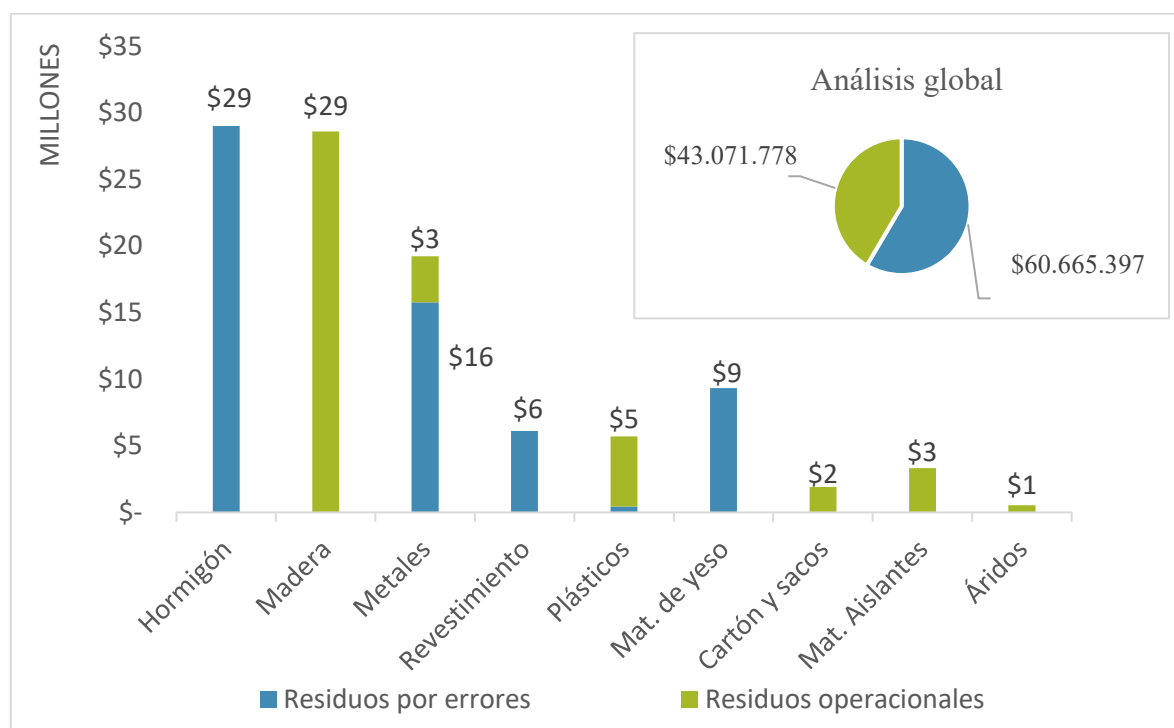


Figura 29. Muestra los costos de material adicional adquirido discretizado por tipo de residuos para la obra Pudahuel II.

En la obra Coronel Souper el costo involucrado en material que es transformado a residuos tiene un comportamiento muy similar al resto de las obras, siendo el hormigón, la madera y los metales los tres materiales más relevantes en términos de costo. La diferencia se observa en el costo involucrado en revestimiento que alcanza \$21.709.115, es decir, costo que se debe a material comprado y desechado por errores en obras y baja optimización. De esto, \$8.143.253 se vinculan a piso flotante, \$4.253.187 corresponden a papel mural, \$3.235.266 se vinculan a baldosas y \$6.077.408 a alfombras, sin considerar la pérdida en cerámica que no se estima ya que se compra menos material que lo presupuestado.

En comparación a otras obras, el costo en revestimiento es alrededor de 3 a 4 veces mayor y en términos de cantidades, como se observa en la Figura 19. El porcentaje del retiro total vinculado a revestimiento alcanza el 2% a diferencia de las otras obras donde es menor al 1%. Las principales diferencias se observan en el piso flotante, donde el valor total y la cantidad de piso comprado superan el de las otras obras entre 2 a 3 veces. Además, se observa un alto costo en alfombras a diferencia del resto de las obras, esto ya que en San Nicolas Norte se estima se compraron \$3.123.653 en alfombras que son desechadas y en Martin de Zamora y Pudahuel II, no se compraron alfombras.

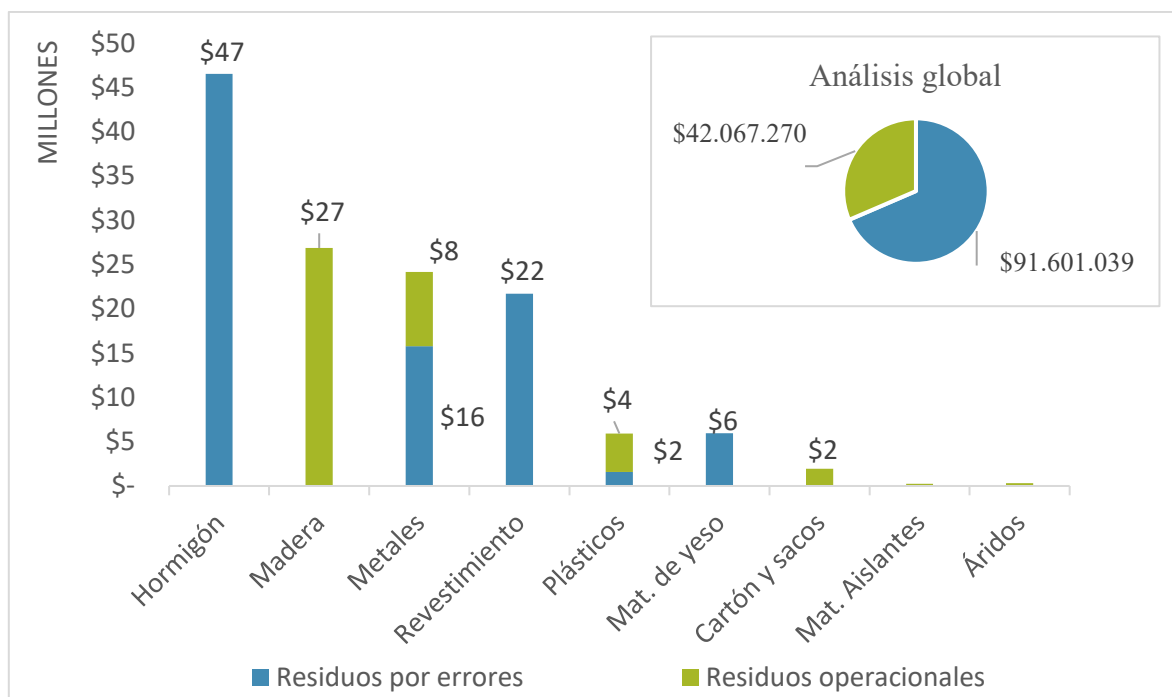


Figura 30. Muestra los costos de material adicional adquirido discretizado por tipo de residuos para la obra Coronel Souper.

De las Figura 288Figura 299 y 30 se puede evidenciar que los mayores costos no necesariamente se atribuyen a los materiales más descartados. Por ejemplo, en los materiales caracterizados como metales, entre ellos el acero estriado A-630-420H representa entre el 2-3% en términos de capacidad de retiro para las obras Pudahuel II, Martin de Zamora y Coronel Souper. A pesar de ser mínima la cantidad retirada en comparación a otros materiales como el hormigón, el costo que involucra el desecho del fierro se encuentra como el tercero más alto. En el caso de San Nicolas Norte, la cantidad de metal descartada aumenta a un 4% del total de camiones y sólo con ese aumento de un 1% en comparación a las otras obras, los metales pasan a ser los materiales con la pérdida por costo más alta.

Haciendo un análisis más global, se observa que los costos asociados a residuos por errores son mayores que los costos asociados a residuos operacionales. En términos de costos, si se quieren disminuir los niveles de residuos, se debe controlar principalmente la compra de hormigón, madera, metales y revestimientos.

Para estudiar los costos asociados a residuos de construcción y demolición se consideraron tres costos dentro del análisis, costo por material comprado y descartado, costo de M.O. asociada al aseo en la obra y costo de retiro y transporte del material en la obra. Existe un costo adicional asociado al flete al momento de comprar el material que no es considerado y que es variable dependiendo de la procedencia del material y las horas de arriendo de maquinaria necesaria para mover este material dentro de la obra.

La Figura 31 muestra los costos asociados al retiro de RCD de las obras estudiadas. La mayor parte se asocia a un costo de material que es comprado y que es descartado durante la

ejecución de la obra o finalizada esta, principalmente hormigón, metales y madera, alcanzando entre un 46% y un 52% de los costos totales de RCD de las obras.

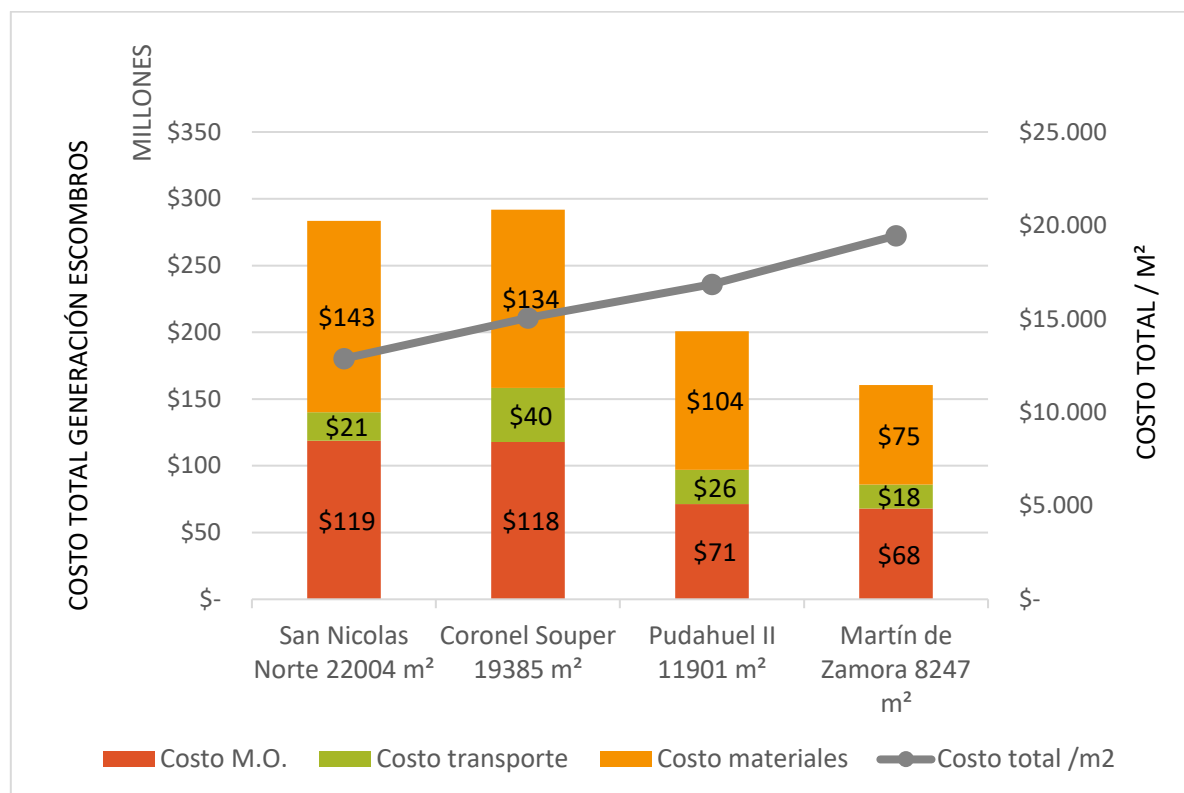


Figura 31. Muestra los costos totales vinculados a RCD.

El costo asociado a transporte es el que se conoce en la obra como costo de retiro de escombros, el cual se realiza por medio de camiones de aproximadamente 9,5 [m³], siendo el más visible dentro de la obra y que puede llegar a considerarse erróneamente como el único costo atribuible a los RCD cuando en realidad es el más bajo. Este costo fluctúa entre el 8 -14% de los costos totales de RCD de la obra y se vincula a los residuos que usan mayor capacidad dentro de los camiones, donde los materiales más influyentes serían el hormigón, la madera, el yeso endurecido y las planchas de yeso cartón. El costo total por área construida en San Nicolas Norte fue de 974 [\$/m²] y en el resto de las obras superó los 2.000 [\$/m²]. Esta notoria diferencia se debe a que el costo unitario del 95% del retiro de escombros realizado fue de \$5.053 en San Nicolas Norte a diferencia de las otras obras que fueron superiores a \$7000 y la mayoría entre \$8.000 y \$9.000, además en esta obra se generó menor cantidad de residuo por metro cuadrado que en las otras obras, lo que se asocia también a menores costos.

Por último, el costo de M.O. asociada a RCD, se vincula a los jornales de aseo que son contratados durante la ejecución de la obra. Este costo se atribuye a falta de lugares de acopio asignados para cada material, lo que conlleva un movimiento excesivo de los materiales de lugar, siendo los mismos materiales trasladados de un lugar a otro dentro de la obra. También se atribuye a falta de cultura de reciclaje y limpieza en obra, que implica que las personas

desechen los residuos en el suelo y no en lugares debidamente asignados, lo que implica un trabajo adicional de limpieza en obra. Además, son costos muy variables que dependen de la duración que tuvo la obra y de los sueldos considerados dependiendo del año de ejecución.

La curva gris de la Figura 31 muestra los costos totales de RCD en función de la superficie construida de losa. La cual muestra que a medida que la obra es más grande tiene menores costos por área de RCD que en obras más pequeñas. Por ejemplo, en San Nicolas Norte que tiene una superficie construida de 22.004 [m²] tuvo un costo total asociada a RCD de 12.878 [\$/m²] y Martin de Zamora que tiene una superficie construida de 8247 [m²] tuvo un costo total asociada a RCD de 19.455 [\$/m²].

Los costos calculados involucran un 6%, 3%, 5% y 6%, del presupuesto total que tiene cada obra, en San Nicolas Norte, Coronel Souper, Pudahuel II y Martín de Zamora, respectivamente. Lo cual es relevante considerando que estos costos son muchas veces las utilidades que tiene cada obra. Considerando que los principales costos se vinculan a la compra de materiales que se transforman en residuos y mano de obra usada en aseo, son en esos ítems donde se recomienda enfocar las primeras soluciones para disminuir los costos.

6 RECOMENDACIONES

En base al análisis realizado se observan que las grandes pérdidas de materiales en la construcción de edificaciones generan altos niveles de residuos que en la mayoría de los casos no son gestionados según las necesidades medioambientales y sociales de la actualidad.

La Constructora Ingevec tiene desarrollada un área de sustentabilidad que tiene como misión; el control y gestión de los residuos de construcción y demolición. A pesar de esto, falta un lineamiento a nivel empresa que todos los proyectos debiesen respetar. Algunas gestionan residuos como la madera, metales y reciclan embalajes en buen estado como; cartón, botellas, entre otros, pero las obras que lo hacen generan un punto de acopio sin desarrollar un adecuado plan de gestión y apuntando como eje principal el reciclaje. Sólo reciclar algunos residuos que no son los más abundantes es buen punto de partida, pero no permite disminuir costos, cantidad de residuos y espacio que ocupan los escombros en la obra y en los camiones.

Por otro lado, en la mayoría de los retiros no se aprovecha el 100% del espacio en los camiones generándose muchos vacíos de aire y realizándose más viajes de los necesarios.

En Chile el sector de la construcción se sustenta en una economía lineal, donde se extraen materias primas, se fabrican materiales, se construye, luego se demuele y desecha. Siendo uno de los sectores que movilizan más recursos naturales, principalmente no renovables, por lo cual, es clave su conversión a una economía circular con el objetivo de reutilizar los recursos y maximizar, por ende, el aprovechamiento de estos. Se recomienda a la Constructora que le dé la importancia que tiene para el medio ambiente y para la sostenibilidad de sus proyectos la implementación de procesos adecuados de gestión de sus residuos.

En el ámbito de la construcción, una correcta estrategia de gestión de residuos comienza desde el diseño de los proyectos, proyectando no sólo el montaje de las obras, sino también el correcto desmontaje de estas desde una etapa inicial. Es preciso incorporar una correcta optimización e industrialización de los materiales de construcción en la ejecución de las diversas etapas constructivas. La correcta planificación y coordinación temprana de las diversas actividades, materiales y residuos involucrados es relevante para mejorar productividad y desarrollo de estos.

También se requiere un adecuado mantenimiento, reparación, reemplazo y renovación de los materiales y llegando al fin de su vida útil, es importante su correcto desmontaje y reutilización para la generación de nuevos productos mediante el reciclaje de estos para ser utilizados en el desarrollo de nuevos proyectos. Lo anterior es posible visualizarlo en la Figura 32 que muestra un diagrama de los puntos estratégicos que impulsarían la economía circular dentro de la construcción.



Figura 32. Identificación de soluciones preliminares para impulsar una economía circular en construcción en la cadena de valor. Elaboración Hoja de Ruta RCD 2035.

Es también relevante jerarquizar las acciones a seguir en término de materiales y residuos. Una correcta gestión comienza con la prevención de los residuos, seguido por la reutilización, reciclaje, valorización energética y, por último, la correcta disposición final. Actualmente en Chile, en la mayoría de las obras de construcción no se respeta la jerarquización que muestra la Figura 33, ya que se considera como primera opción la disposición final de los residuos.



Figura 33. Jerarquía de residuos. Elaboración Hoja de Ruta RCD 2025, consulta pública.

6.1 RECOMENDACIONES GENERALES

Como punto de partida para la gestión de los RCD es importante considerar los residuos que más se generan en las obras, los que involucran mayores costos y la capacidad de valorización a la cual se tenga acceso considerando la ubicación de los proyectos, ya que según esto se definen los destinos finales de los residuos y los posibles gestores de los RCD.

Una vez definidos los residuos a segregar se debe definir un lugar de acopio y como se trasladará el residuo a esta zona. Este lugar debiese incorporarse en el estudio desde propuesta ya que en este punto se cuenta con toda la información para comenzar las obras con un estudio preliminar que puede ir modificándose a lo largo del proyecto.

Es necesario que este plan de gestión de residuos se realice antes del inicio de las faenas e incorpore al hormigón, los materiales a base de yeso y la madera, ya que son los materiales que más residuos se estima que generan en las obras. Se recomienda incluir desde el diseño de los proyectos un lugar de acopio adecuado para una correcta gestión de residuos con el fin de que no exista la limitación del espacio durante el desarrollo del proyecto. Generar un plan de prevención, reutilización y reciclaje de material en base a los materiales que presentan mayores residuos y costos. Mejorar la optimización de recursos en terreno y la planificación de las tareas, para disminuir la tasa de residuos en obra.

Al ser la obra la fuente de generación de residuos, es importante que durante la ejecución de los proyectos los residuos se clasifiquen y segreguen en la fuente para optimizar los espacios y tiempos de retiro del material. Esto se debe hacer de forma constante y periódica, incluyendo a todos los profesionales y trabajadores de la obra, no sólo a uno o dos actores, ya que, al ser un proceso nuevo, todos deben involucrarse e ir entendiendo las ventajas que conlleva la correcta gestión de los residuos de construcción y demolición. Se recomienda tener profesionales líderes en oficinas que lleven el control de los residuos y en terreno que garanticen el cumplimiento de la correcta gestión de estos, estandarizando a nivel empresa la forma en como los proyectos deben manejar sus residuos. Para esto la recomendación es considerar el área de sustentabilidad como partes de las áreas ya existentes de control en obra como lo son; las áreas de prevención, de calidad o incorporar idealmente un nuevo profesional que supervise sustentabilidad en cada obra. Estos departamentos podrían ser los encargados de controlar las labores de gestión de residuos en obra liderada por el profesional de terreno y controlada de forma cuantitativa por el profesional de oficina técnica. Estos resultados pueden ser comparados y estudiados por un supervisor externo a cada obra y las gerencias de los proyectos como se hace actualmente.

Debido a la poca cultura de reciclaje y de limpieza en general en las obras, se recomienda realizar campañas y capacitaciones que permitan dar a conocer la problemática existente en base a los RCD y concientizar a los trabajadores sobre la necesidad de efectuar la separación selectiva in situ para su posterior aprovechamiento y no sólo respecto al reciclaje, sino que también incluir programas para los trabajadores enfocados en mantener la limpieza y orden

en las obras y en la misma línea desechar adecuadamente los materiales peligrosos según las normativas vigentes en el país.

Durante la revisión de los antecedentes y del registro de compras existente, se da cuenta que la base de datos muchas veces no es correcta, las cantidades ingresadas no son coherentes con las unidades de medida y los materiales no tienen un adecuado detalle por actividad, lo que impide un análisis más específico y sin errores en el proceso. Se recomienda para mejorar este punto, tener registros adecuados de lo que se compra y un seguimiento en tiempo real de las pérdidas de los principales materiales que generan residuos. Registrar y declarar en cada obra porque se compró material adicional ante la compra excesiva de material, para lo cual se requiere en el área de compras un profesional con conocimientos de construcción.

Regirse por la Norma Nch3562:2019, en la cual, en el Capítulo 5 se especifican las disposiciones generales para la gestión de RCD y de materiales de excavación. En esta normativa se establecen las consideraciones mínimas para la gestión de RCD e instaura una primera guía para comenzar a gestionarlos en obra de forma correcta y en cumplimiento con la normativa vigente.

6.2 RECOMENDACIONES PARA LA PREVENCIÓN Y REUTILIZACIÓN DE LOS RESIDUOS

Los residuos que principalmente se generan por errores y/o malas prácticas son los que más se recomiendan prevenir, estos residuos son; de hormigón, metales como acero estriado, revestimientos y materiales a base de yeso. Si no es posible prevenirlos, se recomienda reutilizarlos en las partidas de instalaciones provisorias.

Los materiales de instalaciones provisorias que se asocian a residuos operacionales los cuales son más difícil de prevenir, por lo tanto, se recomienda ir reutilizándolos y posteriormente reciclarlos. Siendo la maderas y en menor medida; algunos metales, plásticos, embalajes, materiales aislantes y áridos.

6.2.1 Madera

Una de las actividades que más residuos genera corresponde a la instalación de faenas, siendo el principal material la madera. Actualmente en Ingevec algunas obras gestionan la madera en conjunto con la empresa Vuelta Verde y Armony, reutilizándola como tierra de hojas. Esto disminuye el impacto del residuo en el medio ambiente y los costos considerando que el retiro de Vuelta Verde tiene un costo menor que el retiro normal de escombro. Aun así, se observó la poca reutilización en la obra del material, ya que mucha de la madera retirada estaba en condiciones de ser usada nuevamente para actividades como; protección de árboles, mejoramiento de pasarelas y cierres, pero la realidad es que mientras se envía como residuo y/o reciclaje buena madera, se está comprando madera adicional.

Se recomienda:

- I) Clarificar la cuantificación y estimación de madera en propuesta, ya que la comparación con lo comprado se dificulta si las unidades de medida son diferentes y no se indican los espesores de cada pieza y/o las unidades no son claras.
- II) Considerando que se estima que, solo la madera comprada en instalaciones provisorias es en promedio el tercer material que más pérdidas genera en términos de masa, volumen y costos, se recomienda hacer un seguimiento de la madera presupuestada con la que se va comprando en obra e incluirla al análisis de IDM (Índice de desempeño del material) que se realiza con otros materiales en la Constructora.
- III) Incluir en el análisis al momento de presupuestar el tipo de método de socializado en la obra, los costos que involucra la compra y retiro de la madera usada para entibación de pilas y los tiempos que involucra en excavación masiva la segregación de esta con el resto de la tierra y su retiro. Se recomienda evaluar otros tipos de métodos de socializado que utilicen en menor medida este material.

6.2.2 Hormigón y acero estriado

En Chile y otros países gran parte de los RCD corresponden a hormigón debido a la demolición de estructuras ya existentes. Para una constructora este no debiese ser el caso, ya que la mayor parte del hormigón que se está desechando es debido a malas prácticas y mala planificación que podría evitarse.

Para prevenir los residuos de hormigón se recomienda ubicar antes los ciclos y tener una logística de hormigonado con mayor anticipación y mayor exactitud. No se tienen antecedentes de una empresa que gestione en Chile el reciclaje del hormigón y/o áridos generados en las obras de construcción y demolición, por lo tanto, es importante generar alianzas con universidades que investiguen el tema y con empresas que puedan hacerse cargo de este residuo insertándolo nuevamente en la cadena de valor.

En caso de no poder prevenir el residuo, para una gestión inmediata se recomienda planificar y tener moldajes definidos donde vaciar hormigón sobrante de los camiones, idealmente en la misma obra gruesa y en segunda opción como prefabricados para la instalación de faenas o radier.

Considerando las cantidades y costos estimados que se generan en residuos producto del hormigón y acero. Como empresa se recomienda hacer un seguimiento semanal de estos materiales usados en obra versus las cantidades que debieron utilizarse por cubicación. En caso de ser significativa la diferencia, hacer un seguimiento de las causas y generar un plan para disminuir esos residuos durante la ejecución del proyecto.

En el caso del Acero estriado se recomienda en todas las obras utilizar fierro doblado para disminuir los residuos de este material, si aun así se generen pérdidas; reciclarlo junto con el resto de los metales.

6.2.3 Tierra de excavación

En este estudio, no se está considerando la tierra de excavación masiva como residuo, ya que la constructora en la mayoría de las obras no la gestiona como escombros. Aun así, hay material que es retirado por el subcontrato de excavación masiva y posteriormente es vuelto a comprar con las mismas condiciones para rellenos y bases. Se recomienda en este caso que, en la etapa de estudio del proyecto al conocer las propiedades del suelo con anticipación, se les dé usos a esos suelos en rellenos del mismo proyecto.

6.2.4 Revestimientos y Materiales a base de yeso

Muchos de los residuos generados por los revestimientos y las planchas de yeso cartón se generan debido a cortes por dimensionamientos. Para su prevención es imprescindible que se generen diseños en proyectos que sean con las medidas exactas de los materiales para evitar estar cortando y desechando material sin ningún uso.

En el caso del yeso, este material es 100% reciclable, ya que son uno de los pocos materiales de construcción que es posible reciclarlos en circuito cerrado debido a que su composición química no varía. Existe un proyecto cofinanciado por la Unión Europea (UE); “Proyecto Life+ Gypsum to Gypsum”, que es un ejemplo de cómo recuperar y reutilizar este material. Los desechos se convierten en yeso reciclado eliminando los contaminantes y separando el revestimiento de papel de las placas del núcleo de yeso mediante procesos mecánicos que incluyen trituración y tamizado en equipos especializados. Los residuos de yeso como bloques y/o yeso como tal, no requieren la eliminación de este papel siendo más simple su reciclaje.

Las mayores pérdidas se generan productos de la demolición de estructuras antiguas, donde los esfuerzos apuntan en cambiar el concepto de demolición por desmantelación. En el caso de las obras de construcción este material no debiese estar contaminado lo cual facilita su reciclaje.

No se tienen antecedentes de una empresa que gestione en Chile el reciclaje de yeso, por lo tanto, al igual que con el hormigón es importante generar alianzas con universidades que investiguen el tema y con empresas que puedan hacerse cargo de este residuo insertándolo nuevamente en la cadena de valor.

6.3 RECOMENDACIÓN PARA EL RECICLAJE DE LOS RESIDUOS

Entre los materiales analizados que pueden ser reciclados actualmente en Chile, se encuentran;

- Madera como compost como ya se hace actualmente en algunas obras
- Metales, los cuales una vez separados pueden ser vendidos a empresas que realizan la clasificación y valorización.
- Embalajes, pueden ser un 100% reciclados actualmente en el país por medio de empresas que sólo solicitan que el material se encuentre segregado y limpio.

En la Constructora Ingevec ya se reciclan en muchas obras los embalajes, la madera y metales, por lo cual el enfoque debe ser; mejorar la gestión de los residuos en las obras, capacitar a trabajadores y reciclar bajo una planificación en cada obra que comience desde la propuesta de los proyectos.

Se recomienda que, dependiendo de la ubicación de cada proyecto, en el presupuesto se separen los residuos que pueden ser reciclados actualmente en Chile del resto de los residuos y que se entregue un menor presupuesto a los residuos que se pueden reciclar, para así incentivar el reciclaje en obra con una partida definida desde el estudio del proyecto.

En Chile, aún faltan políticas a nivel nacional que contribuyan a la gestión adecuada de los RCD. Muchas políticas internacionales se basan en la existencia de tasas o impuestos a quienes depositan los residuos de construcción y demolición en vertederos y un impuesto extra por la utilización de materiales vírgenes e incentivos que fomentan la investigación para diferentes usos de los RCD. Por lo tanto, se recomienda generar un sistema interno en la Constructora que aplique un impuesto por cada camión de escombros retirado y un incentivo a las obras que generen menores niveles de RCD que lo estimado en propuesta, que reciclen o que fomenten la investigación respecto al tema.

Se recomienda en futuras investigaciones:

- Estudiar el comportamiento de elementos estructurales de hormigón armado, utilizando hormigón reciclado.
- Cuantificar en obra los residuos retirados, de forma tal, de obtener resultados experimentales con los cuales contrastar este estudio.
- Cuantificar y estimar todo el material de embalaje que llega a las obras y que se transforma en residuos.
- Estudiar opciones de reciclaje de planchas yeso-cartón.

7 CONCLUSIONES

En este estudio se realizó la evaluación de los residuos de construcción y demolición (RCD) de cuatro edificios de altura de hormigón armado construidos en Santiago de Chile y los costos que involucran dentro del proyecto.

En cada proyecto se retiraron entre $0,19[\text{m}^3/\text{m}^2]$ y $0,31[\text{m}^3/\text{m}^2]$ de RCD donde se obtiene inicialmente una relación inversamente proporcional entre el área construida y el factor de generación de residuos, es decir, mientras mayor área construida tiene la obra, menor es el factor de generación de residuos y viceversa.

Para validar el modelo obtenido, se incorporaron los registros de otras 15 obras en la relación obtenida y se concluye que, al incorporar la muestra de validación en el modelo calibrado, la variabilidad es muy alta y los errores entre los factores de generación observados y esperados son grandes, por lo tanto, el modelo no es concluyente. Al hacer el proceso de forma inversa, tampoco se obtiene un modelo que pueda ser concluyente, debido a la escasez de datos, siendo necesaria más información para obtener una relación que sea representativa. Aun así, ambas relaciones estiman mejor los residuos de construcción que lo considerado en el presupuesto de propuesta, debido a que los errores y la variabilidad de los datos son menores.

Para cuantificar los RCD generados, se asumió que estos corresponden a la diferencia entre las cantidades compradas y presupuestadas en la obra. Es probable que algunos valores obtenidos en este estudio no sean exactos y existan diferencias con lo ocurrido en la realidad, debido a que el registro de compras utilizado para el análisis en algunos materiales presentaba errores de unidades y cantidades, e incoherencias con las actividades asignadas a cada material. Muchas veces también ocurre en obra, que se compra un material distinto a lo especificado en propuesta y eso no queda registrado en la base de datos que se utiliza. Para mejorar este estudio se recomienda generar una base de datos en cada obra específica para estimar los RCD, donde exista un correcto análisis de las pérdidas de cada material.

En casi todos los materiales y en las cuatro obras analizadas, las pérdidas reales obtenidas son mayores a las pérdidas presupuestadas. Los materiales que muestran las mayores pérdidas son; el papel mural, comprándose un 90% adicional en Coronel Souper, y entre un 30 - 40% más en Martín de Zamora y Pudahuel II. Muchas pérdidas estimadas son más bien cambios de proyecto, por lo cual es necesario que quede registrado de manera formal cuando existan estos cambios para hacer un correcto estudio de las pérdidas.

De los residuos cuantificados el material que más se descarta en términos de masa, volumen y flota de camiones de RCD, es el hormigón, desechándose entre $92 [\text{kg}/\text{m}^2]$ y $163 [\text{kg}/\text{m}^2]$, seguido por las planchas de yeso-cartón, el yeso y la madera. En términos de volumen, se vuelven más relevantes los cartones, sacos, algunos metales, áridos y plásticos. Al evaluar los residuos retirados de la obra en término de camiones, se obtiene en promedio un 19% de la capacidad de los camiones que es indeterminada, lo cual podría corresponder; a materiales de seguridad, instalaciones y embalajes no cuantificados o mayores niveles de esponjamiento.

La actividad que genera mayores niveles de residuos en obra corresponde a Obra Gruesa, alcanzando en promedio el 46% de la capacidad de los camiones, instalaciones provisionales 16%, terminaciones 11% y embalaje 8%. Ahora bien, si se considera que los residuos de instalaciones provisionales, terminaciones y embalaje se desechan durante la partida de terminaciones, se puede concluir que el 35% de los camiones fueron retirados durante la etapa de terminaciones de la obra.

La mayoría de los residuos se obtienen por errores ocurridos en terreno, compras excesivas de material, cortes por dimensionamiento, trabajos mal ejecutados, mal acopio, entre otros. Una menor parte se asocia a residuos generados por la compra de materiales necesarios para mantener el funcionamiento del proyecto y que son descartados a lo largo de la obra. Es por esta razón, que se recomienda que los esfuerzos apunten a prevenir los residuos y como segundo objetivo a reutilizar y reciclar. Aunque la mayoría de los residuos generados son reciclables en muchos países de Europa, por ejemplo, en Holanda donde se prohíbe el vertido de RCD reciclables, en Chile la normativa no tiene prohibiciones de esta índole al respecto y es más bien considerada una normativa compleja que muchas veces no es entendida por los profesionales a cargo de las obras.

Por otro lado, considerando que en este estudio se obtiene que el hormigón estructural es el material más desechado en las obras de construcción, aunque las constructoras quisieran reciclarlo, es complejo, debido a que no existe una normativa que avale el uso de hormigón estructural reciclado, a diferencia de los residuos de embalaje, los cuales se pueden reciclar en un 100% actualmente en el país.

En término de costos, los residuos que representan mayores costos por material son el hormigón estructural, la madera y el acero estriado, seguido por los materiales a base de yeso y los revestimientos. En el caso del acero, cuando se cuantifica su volumen o masa, no es relevante en el general de la obra, lo opuesto ocurre cuando se analiza en términos de costo, ya que el valor por metro cúbico es mucho más elevado que el del hormigón o la madera, por lo cual, pequeñas cantidades de residuos de este material se ve reflejado en gran medida en los costos de la obra.

Los costos de RCD, consideran costos de mano de obra, de transporte y de materiales. El costo total asociado a los residuos generados en obra fluctúa entre 12.878 [\$/m²] para San Nicolas Norte que tiene un factor de generación de residuos (FG) de 0,19[m³/m²] y 19.455 [\$/m²] para la obra Martín de Zamora que alcanza un FG de 0,31[m³/m²]. A pesar de los altos costos y materiales involucrados, las obras estudiadas corresponden a obras con un bajo índice de generación de residuos en comparación a otras realizadas por la Constructora, por lo tanto, los costos podrían ser aún mayores en otras obras. Los costos asociados la nula o escasa gestión de los residuos, se estiman entre un 3% - 6% del presupuesto total de las obras.

Se concluye que una adecuada planificación y logística de residuos desde el diseño de los proyectos, sumado a su correcta gestión en terreno, capacitaciones y mayor control en los procesos podría disminuir los costos asociados a mano de obra de aseo, costos de materiales y costos en transporte.

8 BIBLIOGRAFÍA

Bravo, Jorge; Valderrama, Claudia, & Ossio, Felipe. Cuantificación Económica de los Residuos de Construcción de una Edificación en Altura: Un Caso de Estudio. *Información tecnológica*, 30(2), 85-94. (2019)

Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000200085>

Wu, Z., Yu, A.T.W., Shen, L. y Liu, G. Quantifying construction and demolition waste: An analytical review, doi: 10.1016/j.wasman.2014.05.010, *Waste Management*, 34(9), 1683-1692 (2014)

Cámara Chilena de la Construcción. Macroeconomía y Construcción. Match 47. (2017)

Instituto Nacional de Normalización (Chile). NCh 3562:2019 Gestión de Residuos - Residuos de Construcción y Demolición (RCD) - Clasificación y directrices para el plan de gestión. Santiago, Chile, 21p. (2019).

Comisión Nacional del Medio Ambiente-Gobierno de Chile. Primer Reporte del Manejo de Residuos Sólidos En Chile Comisión Nacional del Medio Ambiente. (2010).

Disponible en <http://metadatos.mma.gob.cl/sinia/C2050PRI2010.pdf>

Construction Materials Recycling Association. *Construction Materials Recycling Association*. (2005).

Disponible en: <http://www.cdrecycling.org>

Hendriks, C. F. y Pietersen, H. S. Sustainable raw materials: construction and demolition waste. Rilem Technical Committee 165 SRM, S. application of mineral raw materials in construction. Rilem publications. (2000).

Bravo, F. Análisis de las principales pérdidas de materiales en obras de edificación en etapa de terminaciones. (2018)

Construye2025. Hoja de Ruta Construye2035. Agosto, (2020)

EUROSTAT, Recovery rate of construction and demolition mineral waste. (2018).

Disponible en: Comisión Europea,

http://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/cei_wm040_esmsip2.htm; consultado;

Suarez-Silgado,S, Molina,J.D.A, Maheca,L, Calderón,L, Diagnóstico y propuestas para la gestión de los residuos de construcción y demolición en la ciudad de Ibagué (Colombia, 2018)

Barrientos,F, Los escombros: La gestión de RCD en el mundo. España. CARTIF [online], 12 de mayo de 2016. Disponible en: <https://blog.cartif.com/los-escombros-la-gestion-de-rlds-en-el-mundo/>.

Barroso,D y Víctor, M, Análisis de la gestión de residuos de construcción y demolición en la comunidad autónoma de Andalucía. Sevilla, 19 de Julio de 2013.

Ossio. F y Faúndez J, Diagnóstico Nacional de Sitios de Disposición Ilegal de Residuos, (2021).

Ossio. F, Molina.J, Larraín. H y Schmitt. C. Políticas municipales estandarizadas para el manejo sustentable de residuos de construcción y demolición. (2020)

Estudio Viconsu, “Escombros de una obra de edificación”. Edificio habitacional Pacific Blue, 22 pisos. 16.691 m². En Boletín Informativo de Sustentabilidad N°26, CChC, Región de Valparaíso. (2018).

CITECUBB, “Caracterización de residuos de la construcción, 1°etapa: Desarrollo, validación y calibración de metodología, aplicado a casos piloto”. Concepción, Septiembre (2017)

Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT), Plan de gestión de residuos en obra, paso a paso, 2020.

Gonzalez, N, Gestión de residuos de embalajes en una obra de edificación, Universidad Politécnica de Madrid, Junio de 2010.

Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT), Diagnóstico sobre la gestión de residuos sólidos de las empresas del sector construcción, y propuesta de acuerdo de producción limpia, 2018.

9 ANEXOS

ANEXO A

Figura 34. Muestra los residuos generados en la Unión Europea en 2014. Distribuidos por país y por tipo de residuo. Fuente: EUROSTAT (2018)

	Total		Mining and quarrying	Manufacturing	Energy	Construction and demolition	Other economic activities	Households
	(million tonnes)	(kg per inhabitant)						
					(%)			
EU-28	2 502.9	4 931	28.1	10.2	3.7	34.7	14.9	8.3
Belgium	65.6	5 838	0.1	21.7	2.1	40.2	27.3	8.6
Bulgaria (*)	179.7	24 872	88.6	:	5.1	0.7	4.0	1.5
Czech Republic	23.4	2 223	1.0	18.8	4.3	40.2	21.8	13.9
Denmark	20.1	3 558	0.1	6.4	5.4	52.6	18.5	17.1
Germany	387.5	4 785	1.9	15.8	2.6	53.3	16.9	9.5
Estonia	21.8	16 587	36.3	20.2	32.6	3.1	5.6	2.2
Ireland (*)	15.2	3 285	17.8	:	2.1	12.4	57.6	10.0
Greece	69.8	6 404	67.9	7.0	15.6	0.7	2.3	6.5
Spain	110.5	2 378	16.9	13.4	4.8	18.5	28.3	18.3
France	324.5	4 913	0.7	6.7	0.5	70.2	13.1	8.8
Croatia (*)	3.7	879	0.1	:	3.2	16.6	48.9	31.2
Italy	159.1	2 617	0.6	16.7	2.0	32.5	29.5	18.6
Cyprus (*)	2.1	2 406	:	:	:	31.0	48.9	20.2
Latvia	2.6	1 315	0.2	9.4	27.8	17.3	18.3	27.1
Lithuania	6.2	2 114	0.4	42.1	1.6	7.0	30.1	18.7
Luxembourg	7.1	12 713	1.8	4.0	0.0	84.5	6.1	3.4
Hungary	16.7	1 688	0.5	16.2	13.9	20.7	31.0	17.7
Malta (*)	1.7	3 896	2.2	:	0.2	74.5	13.8	9.3
Netherlands	133.2	7 901	0.1	10.1	1.3	68.1	14.1	6.4
Austria	55.9	6 541	0.1	9.7	0.9	72.1	9.8	7.5
Poland	179.0	4 710	42.3	17.6	12.2	9.5	13.7	4.6
Portugal	14.6	1 402	1.9	17.9	1.2	10.3	36.3	32.3
Romania (*)	175.6	8 820	87.0	:	4.0	0.6	6.2	2.2
Slovenia	4.7	2 273	0.2	28.1	13.5	17.4	28.9	12.0
Slovakia (*)	8.9	1 636	3.2	:	6.1	15.6	55.4	19.6
Finland	96.0	17 572	65.4	10.7	1.5	17.0	3.7	1.7
Sweden	167.0	17 226	83.2	3.4	1.1	5.3	4.5	2.5
United Kingdom	251.0	3 885	10.5	3.2	1.3	48.0	26.0	11.0
Iceland (*)	4.5	1 651	0.0	17.6	0.3	2.1	36.1	44.0
Liechtenstein	0.6	14 919	1.7	2.0	0.1	0.0	0.4	95.9
Norway (*)	11.7	2 283	2.8	:	1.3	23.0	52.7	20.3
Montenegro	1.2	1 872	22.5	5.2	31.7	9.2	15.3	16.1
FYR of Macedonia	2.2	1 058	3.4	67.9	23.3	0.5	4.9	0.0
Serbia	49.1	6 890	84.5	1.8	9.1	0.6	0.7	3.3
Turkey (*)	73.1	947	4.2	:	32.8	:	20.2	42.8
Bosnia and Herzegovina (*)	0.5	1 161	1.6	27.2	71.1	0.0	0.0	0.0
Kosovo (UNSCR 1244)	1.0	574	19.3	7.0	0.0	0.3	26.3	47.0

(*) Other economic activities includes also manufacturing.

(*) Other economic activities includes also mining, quarrying, manufacturing and energy.

(*) 2012.

(*) Other economic activities includes also manufacturing, construction and demolition.

Source: Eurostat (online data code: env_wasgen)

ANEXO B*Tabla 19. Tabla de densidades*

Fuente	Material	Densidad [kg/m ³]	Densidad [kg/m ²]	Peso unitario [kg]
Nch1537	Acero	7850		
Nch1537	Hormigón	2400		
Nch1537	Panel Yeso	1000		
Internet	Baldosa de gres	1900		
Internet	Cerámica	1800		
Internet	Superboard	1250		
Internet	Piso flotante)	876		
Internet	Alfombra		1,98	
Nch1537	Tierra	1850		
Memoria	Sacos	74		
Internet	Pallet			25
Nch1537	Pino Álamo (Nch1537)	480		
Nch1537	Pino de oregón (Nch1537)	515		
Internet	Locker Metálico GE-510	0		58
Ingevec	Aislapol alta densidad	30		
Ingevec	Aislapol estándar	10		
Nch1537	Plancha de acero cincada toledana 5V y acalanada de 0,4 mm	-	3,75	
Nch1537	Plancha de acero cincada lisa de 4mm	-	4	
Internet	Malla Raschel Azul Ingevec 80% 2,10x100 mt.	-		21
Internet	Malla Raschel Azul Ingevec 80% 4,20x100 mt.	-		42
Internet	Arena	1500		
Internet	Gravillas y gravas	1700		
Internet	Poliestireno	930		
Internet	Poliestireno alta densidad	950		
Internet	Pintura	813		
Nch1537	Mortero de cal o Yeso	1750		

Tabla 20. Tabla de consideraciones en dimensiones que no estaban en el registro de compras o presupuesto de la constructora.

Material	Supuestos
Cartón corrugado	Cartón corrugado de 2 ondas de 605 g/m ² y 6,5 mm de grosor
Planchas zincalum	Ancho de planchas de zincalum toledana de 851 mm y ancho de planchas zincalum 5V de 895mm
Malla raschel	Malla raschel sombra del 80% de 2,1 x 100 mt tiene un volumen de 0,19 m ³ /rollo y la de 4,2 x 100 mt tiene un volumen de 0,3 m ³ /rollo.
Polietileno	Densidad del polietileno de 0,93 g/cm ³ y del polietileno de alta densidad de 0,95 g/cm ³
Pino	Se considera todo el pino bruto y cepillado de 3,2 mt de largo
Cerámica (horizontal)	Se supone que para cerámicas de 33x33 o cercano el espesor es de 8,5 mm
Cerámica (horizontal)	Se supone que para cerámicas de 45x45 o cercano el espesor es de 10mm
Cerámica (horizontal)	Se supone que porcelanato de 35 x35 o cercano el espesor es de 10mm
Cerámica (vertical)	Se supone que para cerámica de 33x45 o cercano el espesor es de 10mm
Cerámica (vertical)	Se supone que para cerámica de 25x35 o cercano el espesor es de 8mm
Baldosas	Espesor de baldosas microvibradas de 30x30 es de 30mm y de 40x40 son 36 mm
Piso flotante	El espesor del piso flotante presupuestado se supone de 7mm, ya que ese fue el comprado
Alfombra	Espesor alfombra de 10 mm
Papel mural	Espesor de papel mural de 2 mm (Sin referencia)
Volumen tineta bekron	El volumen del bekron en tineta que está en KG, se calcula con la densidad del bekron que es de 1,65 gr/cm ³
Tinetas	Se consideran los galones como volumen: 3,785 litros
Cola fria	Se considera densidad de la colafria de 1,14 gr/cm ³
Catalizador Masilla Mágica 28 grs	Medidas del Catalizador Masilla Mágica 28 grs, como un paralelepipedo de 4cmx3cmx9,8cm
Lubricante Spray Hilti	Se considera el Lubricante Spray Hilti de 66ml
Lubricante wD-40	Se asume que el lubricante wD-40 es de 400ml
Concrete Seal	Se asume Concrete Seal incoloro en tambor de 210 lt. Spartan (macizo)

Cave Acryl	Se considera densidad de Cave Acryl pote 1 kg de 1,05 kg/L
Cave Polflex	El Cave Polflex en tineta de 20 kg. Cave se considera con densidad de 1,35 Kg/L
Bemezcla AC	Para determinar el volumen de la bemezcla AC se considera que tiene la misma densidad del bekron de 1,65 gr/cm ³
Pasta de soldar	La pasta de soldar de 500gr se considera diámetro de 10,2 cm y alto de 7,8 cm
Esmaltes spray	Se supone que los esmaltes en spray tienen un volumen de 485 ml
Pinturas	Todas las pinturas, latex, esmaltes al agua, oleo, pintura sellante acrílico, pintura de protección temporal, que no especifiquen dimensiones se consideraran de 5 galones (aprox 19 litros)
Pallets	Medidas pallets 1,2x0,8x0,144 m
Film paletizador	Espesor del film paletizador de 2mm y el de polietileno burbuja de 3mm
Malla acma	Se considera espesor de la malla acma de 4,2 mm y el peso de la referencia
Malla biscocho galvanizada	Se considera espesor malla biscocho galvanizada de 5mm y el peso de la referencia
Metalcon	El Metalcon estructural no dice medidas se asume de 20cmx30cmx0,85 cm la sección
Cornisa poliestireno	La cornisa de poliestireno se considera de sección rectangular
Alfonbra	15. Supuesto peso alfombra, los 750 gr son solo de hilado, el peso total son 1980 gr/m ²
Diluyente, aguarras y ácido muriático	16. Se supone que el diluyente, aguarras y ácido muriático son botellas plásticas de 1Lt
Junta-plac	19. El volumen de la Junta-Plac lo considere de 1kg, y lo calcule igual que con la cloafria
Sikadur 31	20. Las medidas del Sikadur 31, se considera D=11,5 cm y alto de 18,8 cm
Envases	21. Las siliconas acrílicas pintables, blancas con fungicida, transparente con fungicida, acética con fungicida y acética sin fungicida son de 300ml
Baldes concreteros	23. Los baldes concretero plásticos son de 12Lt

Tabla 21. Muestra tipo categorización de los materiales por fuente del residuo que se considera.

Tarea	Material	Unidad	Tipo material
Embalaje	Ácido muriático	GL	HDPE
Embalaje	Adhesivo alfombra agorex	SC	SC
Embalaje	Adhesivo de contacto	LTS	METÁLICO
Embalaje	Adhesivo epóxico	KG	METÁLICO
Embalaje	Adhesivo Molduras Adefix P5	KG	SC
Embalaje	Adhesivo montaje interior	UNI	HDPE
Embalaje	Adhesivo papel mural	UNI	SC
Embalaje	Adhesivo para cerámica solcrom D.A. Polvo kg	KG	SC
Embalaje	Adhesivo para cornisas	TIN	HDPE
Embalaje	Adhesivo PVC	UNI	METALICO
Embalaje	Adhesivo tabique tipo 2	SC	SC
Embalaje	Adhesivo yeso cartón volcafix volcan	KG	SC
Embalaje	Aditivo endurecedor de pisos	SC	SC
Embalaje	Aditivo varios tipo 1	KG	METALICO
Embalaje	Aditivos Adhesivos para Revestimientos	KG	SC
Embalaje	Agorex	GLN	METÁLICO
Embalaje	Agua oxigenada	UNI	PET
Embalaje	Aguarras mineral	LTS	PET
Terminaciones	Aíslan Glass	M2	AISLANTE
Terminaciones	Aislapol	M2	AISLANTE
Inst.provisorias	Álamo bruto	PZA	MADERA
Embalaje	Alcohol puro	UNI	HDPE
Terminaciones	Alfombra	M2	REVESTIMIENTO
Terminaciones	Alfombra	M2	REVESTIMIENTO
Embalaje	Anticorrosivo galon	GLN	METALICO
Embalaje	Aocem 320 Yesos tin 10 kg+ sc 20 kg Solcrom	TIN	HDPE+ SACO
Inst.provisorias	Arena gruesa	M3	ARIDOS
Embalaje	Arena de cuarzo saco	SC	SC
Inst.provisorias	Arena fina	M3	ARIDOS
Embalaje	Articoll 105 Galon 3,8lts	UNI	METÁLICO
Embalaje	Articoll 60 Galon	UNI	METALICO
Embalaje	Articoll madera lechero	UNI	HDPE
Embalaje	Articoll Montaje	UNI	HDPE
Embalaje	Balde concretero plastico	UNI	HDPE
Terminaciones	Baldosa Microvibrada	M2	REVESTIMIENTO
Terminaciones	Baldosa Microvibrada	M2	REVESTIMIENTO
Embalaje	Barniz en galon	GLN	METALICO
Embalaje	Befrague	BOL	SC
Embalaje	Bekron	TIN	HDPE

Embalaje	Bekron	SC	SC
Embalaje	Bemezcla AC Tineta 30 kg.	TIN	HDPE
Embalaje	Bemezcla CEM saco 23.5 kg	SC	SC
Embalaje	Bemezcla Estuco Exterior saco 40 kgs	SC	SC
Embalaje	Bemezcla FFL saco 40 kgs	SC	SC
Embalaje	Bemezcla GL Fino saco 40 kgs	SC	SC
Embalaje	Bemezcla Reparacion saco 25 kgs	SC	SC
Embalaje	Bencina blanca	LTS	PET
Embalaje	Bidon	UNI	HDPE
Embalaje	Bidon plástico	UNI	HDPE
Embalaje	Bloqueador Solar	UNI	HDPE
Embalaje	Cal Hidráulica saco de 25 kg	SC	SC
Embalaje	Carton corrugado en rollos	KG	CARTON
Embalaje	Catalizador galon	UNI	HDPE
Embalaje	Catalizador Masilla Mágica 28 grs.	UNI	METALICO
Embalaje	Cave Acryl pote 1 kg.	POTE	HDPE
Embalaje	Cave Bond en tineta de 20 lt. Cave	TIN	HDPE
Embalaje	Cave I Seal Gris saco 20 kgs.	SC	SC
Embalaje	Cave Plastiseal mortero impermeabilizante	JGO	SC
Embalaje	Cave Polflex en tineta de 20 kg. Cave	TIN	HDPE
Embalaje	Cave TecnoBond tineta	TIN	HDPE
Embalaje	Cemento	SC	SC
Terminaciones	Cerámica para Muro	M2	CERAMICA
Terminaciones	Cerámicas	M2	CERAMICA
Inst.provisorias	Cholguan plancha lisa	PL	CERAMICA
Embalaje	Cloro	GL	HDPE
Embalaje	Cloro bidón	BID	HDPE
Embalaje	Cola fría	UNI	HDPE
Embalaje	Colma Fix 32 6 x 1 kg	JGO	METALICO
Embalaje	Concrete Seal incoloro en tambor de 210 lt.	TAM	HDPE
Terminaciones	Cornisa Poliestireno	ML	PLASTICO
Terminaciones	Cornisa Poliestireno	ML	PLASTICO
Terminaciones	Cubierta Colordek	M2	PLASTICO
Embalaje	Desmoldcrom PM base acuosa tambor	TAM	HDPE
Embalaje	Desmoldante tambor	LTS	METALICO
Embalaje	Desodorante Ambiental	UNI	METALICO
Embalaje	Diluyente Duco	LTS	PET
Embalaje	Diluyente sintético	LTS	PET
Embalaje	Dynalco seal concreto lata 19,1 lt dynal	LAT	METALICO
Embalaje	Esmalte	GLN	HDPE
Embalaje	Esmalte al Agua lata tineta	LAT	HDPE

Embalaje	Esmalte epóxico galon	GLN	METALICO
Embalaje	Esmalte satinado en galon	GLN	HDPE
Embalaje	Esmalte Sintético tineta 5 Gln	TIN	HDPE
Embalaje	Esmalte Spray	UNI	METALICO
Embalaje	Espuma de Poliuretano	UNI	METALICO
Terminaciones	Fierro Estriado A-63-42 H	KG	METALICO
Terminaciones	Fierro Estriado A-63-42 H	KG	METALICO
Embalaje	Film paletizador	ROLL	FILM
Embalaje	Frague para baldosas	KG	SC
Embalaje	Granolatex Exterior lata 32 kg	LAT	METALICO
Inst.provisorias	Grava	M3	ÁRIDOS
Inst.provisorias	Gravilla	M3	ÁRIDOS
Terminaciones	Gyplac 12.5 mm. RF. BR 1.2 x 2.4 mt.	M2	YESO
Terminaciones	Gyplac 12.5 mm. RF. BR 1.2 x 2.4 mt.	M2	YESO
Embalaje	Hidrorrepelente Tineta de 20 lts.	TIN	HDPE
Inst.provisorias	Hormigon 2.0 Sacos 40/5 mm	M3	MANF
Embalaje	Hormigon saco	SC	SC
Embalaje	Igol Denso tambor 200 lt. Sika	TAM	METALICO
Embalaje	Igol Primer tambor 200 lts. Sika	TAM	METALICO
Embalaje	Impermeabilizante QHC	LTS	HDPE
Embalaje	Intraplast saco de 14 bolsas de 0,85 kg. Sika	SC	SC
Embalaje	Jabon Neutro	GL	PET
Embalaje	Junta-Plac compuesto para Junturas en Pasta	TIN	HDPE
Terminaciones	Lana mineral	M2	AISLANTE
Embalaje	Latex	GLN	HDPE
Embalaje	Latex Extra lata 5 gln	LAT	HDPE
Embalaje	Latex vinilico en galon	GLN	HDPE
Embalaje	Lavaloz	UNI	PET
Embalaje	Limpiador Multiuso	UNI	HDPE
Embalaje	Limpiapisos	UNI	PET
Embalaje	Limpiavidrios	GL	PET
Inst.provisorias	Locker metalicos	UNI	METALICO
Embalaje	Losalin tineta	TIN	HDPE
Embalaje	Lubricante Spray Hilti	UNI	METALICO
Embalaje	Lubricante Vinilit	UNI	METALICO
Embalaje	Lubricante WD-40	UNI	METALICO
Embalaje	Lustramuebles	UNI	HDPE
Inst.provisorias	Malla acma	PAÑ	METALICO
Inst.provisorias	Malla biscocho galvanizada	ROLL	METALICO
Inst.provisorias	Malla hexagonal tipo gallinero	M2	METALICO
Inst.provisorias	Malla mosquitera	M2	PLASTICO

Inst.provisorias	Malla Raschel Azul Ingevec 80% 2,10x100 mt.	ROLL	PLASTICO
Inst.provisorias	Malla sombra	ROLL	PLASTICO
Embalaje	Martelina	GLN	HDPE
Embalaje	Masilla base junta invisible saco 30kgs	SC	SC
Embalaje	Masilla Base Volcan saco 25 kgs	SC	SC
Embalaje	Masilla de retape resanador pote	POTE	HDPE
Embalaje	Masilla Mágica 700 ml	UNI	METALICO
Embalaje	Masilla Magica C/Catalizador en Envase 700 grs.	KG	METALICO
Inst.provisorias	Masisa melamina planchas	PL	MADERA
Terminaciones	Metalcon Estructural	ML	MADERA
Embalaje	Mortero Adilisto Pega Albañilería R-100	SC	SC
Embalaje	Mortero Adilisto pega baldosa	SC	SC
Embalaje	Mortero de Yeso nivelador piso saco 30 kg.	SC	SC
Embalaje	Mortero Estuco Exterior saco 45 kg.	SC	SC
Embalaje	Mortero Estuco Exterior Terminación saco 45 kg.	SC	SC
Embalaje	Mortero Estuco Interior Saco	SC	SC
Embalaje	Mortero Estuco Retape Rigido saco 25 kg.	SC	SC
Embalaje	Mortero Nivelador de Piso Saco 25 kg.	SC	SC
Embalaje	Mortero Pega Albañilería M10 saco 45 kg.	SC	SC
Embalaje	Mortero Pega Albañilería normal saco 45 kg.	SC	SC
Embalaje	Mortero Pega Baldosas M10 saco 45 kg.	SC	SC
Embalaje	Mortero Pega Baldosas M30 saco 45 kg	SC	SC
Embalaje	Mortero Piso Normal saco 25 kg.	SC	SC
Embalaje	Mortero Pred Retapes Y Nivelacion Bemezcla Ais Nac	SC	SC
Embalaje	Mortero Pred. Adilisto Maquillaje saco 25 kg.	SC	SC
Embalaje	Mortero Pred. Cave II Plug en Saco de 20 kg.	SC	SC
Embalaje	Mortero Pred. Sika Grout 212 saco 25kg.	SC	SC
Embalaje	Mortero Pred. Sika Grout 214 saco 30 kg.	SC	SC
Embalaje	Mortero Pred. Sika Grout 328 saco 30 kg.	SC	SC
Embalaje	Mortero Pred. Sika Rep saco 30 kg	SC	SC
Embalaje	Mortero Reparación Estuco saco 25 kg.	SC	SC
Embalaje	Mortero Sika Rep AR saco	SC	SC
Embalaje	Oleo Tineta 5 Gln	TIN	HDPE
Embalaje	Oleo Opaco tineta.	TIN	HDPE
Embalaje	Oleo Semi Brillo lata 5 gln	LAT	METALICO
Inst.provisorias	OSB	PL	MADERA
Embalaje	Pallet	UNI	MADERA
Terminaciones	Papel Mural Decomural	M2	REVESTIMIENTO
Terminaciones	Papel Mural Decomural	M2	REVESTIMIENTO
Embalaje	Pasta muro	GLN	HDPE

Embalaje	Pasta para Soldar	UNI	METALICO
Embalaje	Pasta pulir	GL	METALICO
Embalaje	Pasta retape	LTS	HDPE
Embalaje	Pasticem lata	LAT	METALICO
Embalaje	Patelwell 60 lata	UNI	METÁLICO
Embalaje	Pegamento papel mural	LT	HDPE
Embalaje	Pegamento pvc	UNI	METALICO
Embalaje	Penecrete Mortar Impermsaco 22.68 kg	SC	SC
Embalaje	Penetron Impermeabilizante saco 22.68 kg	SC	SC
Inst.provisorias	Perfil de Fe. Cuadrado 100 x 100 x 3 x 6 mt.	TIRA	MASG
Inst.provisorias	Perfil de Fe. Rectangular 100 x 50 x 3.0 x 6 mts	TIRA	MASG
Inst.provisorias	Perfiles de Fe	TIRA	MASG
Inst.provisorias	Pino bruto	PZA	MADERA
Inst.provisorias	Pino Bruto 3" x 3"	PZA	MADERA
Inst.provisorias	Pino Bruto Calibrado 25 x 25 mm.	PZA	MADERA
Embalaje	Pintura acero galvanizado	GAL	METALICO
Embalaje	Pintura Antihumedad	GLN	METALICO
Embalaje	Pintura Asfaltica Igol Denso Sika	LT	METALICO
Embalaje	Pintura especial Tipo 1	LT	HDPE
Embalaje	Pintura especial Tipo 2	LT	HDPE
Embalaje	Pintura Hidro repelente Tipo 1	LT	METALICO
Embalaje	Pintura Ignífuga	LTS	HDPE
Embalaje	Pintura impermeabilizante	LTS	METALICO
Embalaje	Pintura imprimante asfaltico igol primer sika	LT	METALICO
Embalaje	Pintura para preparación de superficies	GLN	HDPE
Embalaje	Pintura Proteccion Temporal	UNI	HDPE
Embalaje	Pintura proteccion Tipo 1	UNI	METALICO
Embalaje	Pintura Sellante Acrilico	UNI	HDPE
Embalaje	Pintura tráfico acrílico	TIN	HDPE
Terminaciones	Piso Flotante e= 7 mm	M2	REVESTIMIENTO
Terminaciones	Piso Flotante e= 7 mm	M2	REVESTIMIENTO
Inst.provisorias	Plancha de Fierro	UNI	MASG
Inst.provisorias	Plancha Zincalum	PL	METALICO
Terminaciones	Polietileno Negro 0.20 mm por kg	KG	PLASTICO
Terminaciones	Polietileno negro o transparente	KG	PLASTICO
Embalaje	Polietileno transparente burbuja	KG	PLASTICO
Embalaje	Polietileno transparente burbuja	ROLL	PLASTICO
Embalaje	Ponteyeso saco	SC	SC
Embalaje	Promomix A tineta 8,8 lts	UNI	METALICO
Embalaje	Promomix B saco 21.2 kg	UNI	SC
Inst.provisorias	Regla Aluminio Natural	UNI	METALICO

Embalaje	Rugasol tambor 200 lt. Sika	TAM	METALICO
Embalaje	Rugasol tambor 200 Lt. Sika	TAM	METALICO
Embalaje	Sellador de Madera a la Piroxilina	GLN	METALICO
Embalaje	Sellante para juntas sikaflex 1a sika	KG	METALICO
Embalaje	Sellante para juntas Tipo 1	KG	METALICO
Embalaje	Sika Antisol tineta	TIN	HDPE
Embalaje	Sika Antisol tambor	TAM	METALICO
Embalaje	Sika Latex tineta 18 lts Sika	TIN	HDPE
Embalaje	Sikacure 116 en tambor	TAM	METALICO
Embalaje	Sikadur 31 caja 6 x 1 kg. Sika	CAJ	METALICO
Embalaje	Sikadur 32 gel	JGO	METALICO
Embalaje	Sikadur 51 en juego de 10 kg. Sika	JGO	METALICO
Embalaje	Sikadur 52 juego 6 x 1 kg Sika	JGO	METALICO
Embalaje	Sikadur 52 juego 6 x 1 kg Sika	JGO	METALICO
Embalaje	Sikadur 53 juego 5 kg. Sika	JGO	METALICO
Embalaje	Sikaflex 11 FC 1x12 Cartucho 300 cc.	CAJ	METALICO
Embalaje	Sikaflex 1A Plus carga 600 cc.caja 20 uni.	CGA	METALICO
Embalaje	Sikaguard 720 Epocem juego 22 kg.	UNI	HDPE+SC
Embalaje	Sikaguard CLW en tineta de 20 kg. Sika	TIN	HDPE
Embalaje	SikaSwell S-2 Caja 12 cartuchos 300 ml	CART	METALICO
Embalaje	Silicona acetica con fungicida	CART	HDPE
Embalaje	Silicona acetica sin fungicida	CART	HDPE
Embalaje	Silicona Acrilica Pintable	CART	HDPE
Embalaje	Silicona alta temperatura	CART	HDPE
Embalaje	Silicona blanca con fungicida	CART	HDPE
Embalaje	Silicona neutra	CART	HDPE
Embalaje	Silicona pintable color 300 ml	CART	HDPE
Embalaje	Silicona transparente con fungicida	CART	HDPE
Embalaje	Solcrom AC polvo saco 24.5kg	SC	SC
Inst.provisorias	Terciado estructural	PL	MADERA
Inst.provisorias	Terciado film fenol	PL	MADERA
Embalaje	Termoplac Finish tineta 34 kg	TIN	HDPE
Inst.provisorias	Trupan plancha	PL	MADERA
Embalaje	Volcafix saco	SC	SC
Embalaje	Yeso en saco	SC	SC

ANEXO C

Resultados indicador de pérdida por Obra

Tabla 22. Muestra pérdidas presupuestadas y reales de la obra San Nicolas Norte

Material	Unidad	Pérdida presupuestada	Pérdida real	% Pérdida presupuestada	% Pérdida real
Hormigón	m3	446	451	6%	6%
Baldosas	m2	16	25	5%	8%
Cerámicos	m2	799	1.025	10%	13%
Piso flotante	m2	455	450	10%	10%
Estructurantes tabiques	ml	8.174	12.533	10%	15%
Fierro Estriado A-63-42H	kg	34.111	82.226	5%	12%
Volcanitas	m2	3.444	7.948	9%	21%
Papel mural	m2	1.694	1.685	7%	7%
Alfombra	m2	333	1.008	7%	21%

Tabla 23. Muestra pérdidas presupuestadas y reales de la obra Martín de Zamora

Material	Unidad	Pérdida presupuestada	Pérdida real	% Pérdida presupuestada	% Pérdida real
Hormigón	m3	172	560	7%	22%
Baldosas	m2	4	57	5%	78%
Cerámicos	m2	445	422	10%	9%
Piso flotante	m2	279	314	10%	11%
Estructurantes tabiques	ml	2.703	10.693	10%	40%
Fierro Estriado A-63-42H	kg	12.817	14.606	5%	6%
Volcanitas	m2	1.317	563	9%	4%
Papel mural	m2	375	1.738	7%	32%
Alfombra	m2	0	0	7%	0%

Tabla 24. Muestra pérdidas presupuestadas y reales de la obra Pudahuel II

Material	Unidad	Pérdida presupuestada	Pérdida real	% Pérdida presupuestada	% Pérdida real
Hormigón	m3	370	688	8%	20%
Baldosas	m2	53	84	5%	8%
Cerámicos	m2	285	147	5%	3%
Piso flotante	m2	526	427	10%	8%
Estructurantes tabiques	ml	5.119	6.762	10%	13%
Fierro Estriado A-63-42H	kg	22.048	38.117	5%	9%
Volcanitas	m2	2.401	4.041	10%	17%
Papel mural	m2	867	4.542	7%	37%
Alfombra	m2	0	0	7%	0%

Tabla 25. Muestra pérdidas presupuestadas y reales de la obra Coronel Souper.

Material	Unidad	Pérdida presupuestada	Pérdida real	% Pérdida presupuestada	% Pérdida real
Hormigón	m3	360	1.023	6%	17%
Baldosas	m2	30	219	5%	37%
Cerámicos	m2	713	0	5%	0%
Piso flotante	m2	302	1.379	10%	45%
Estructurantes tabiques	ml	9.114	18.833	10%	21%
Fierro Estriado A-63-42H	kg	28.571	22.392	5%	4%
Volcanitas	m2	3.877	1.751	10%	5%
Papel mural	m2	583	7.663	7%	92%
Alfombra	m2	274	1.379	7%	39%

9.1.1 Resultados de RCD por tarea

Tabla 26. Cuantificación RCD por actividad Obra San Nicolas Norte

Tarea	Volumen con esponjamiento [m³]	Masa [ton]	Nº camiones	[%] camiones
Instalaciones provisionarias	964	1168	143	33%
Obra gruesa	600	1166	117	26%
Terminaciones	505	535	62	14%
Embalaje	258	27	27	6%
Indeterminado			92	21%

Tabla 27. Cuantificación RCD por actividad Obra Martín de Zamora

Tarea	Volumen con esponjamiento [m³]	Masa [ton]	Nº camiones	[%] camiones
Obra gruesa	730	1358	136	52%
Terminaciones	224	275	29	11%
Instalaciones provisionarias	253	120	27	11%
Embalaje	135	17	14	6%
Indeterminado	0		52	20%

Tabla 28. Cuantificación RCD por actividad Obra Pudahuel II

Tarea	Volumen con esponjamiento [m³]	Masa [ton]	Nº camiones	[%] camiones
Obra gruesa	901	1690	169	51%
Instalaciones provisionarias	432	219	47	14%
Embalaje	384	52	40	12%
Terminaciones	339	337	40	10%
Indeterminado	0		37	11%

Tabla 29. Cuantificación RCD por actividad Obra Coronel Souper

Tarea	Volumen con esponjamiento [m³]	Masa [ton]	Nº camiones	[%] camiones
Obra gruesa	1333	2477	248	53%
Embalaje	395	21	42	9%
Terminaciones	324	323	40	8%
Instalaciones provisionarias	255	146	28	6%
Indeterminado	0		114	24%

Tabla 30. Costos de materiales correspondientes a pérdidas en la obra San Nicolas Norte

Materiales	Costo por errores	Costo operacional	Costo total por material
Metales	\$ 36.811.845	\$ 5.906.530	\$ 42.718.375
Madera		\$ 35.531.012	\$ 35.531.012
Hormigón	\$ 18.301.296	\$ 9.726.965	\$ 28.028.261
Mat. de yeso	\$ 16.840.675		\$ 16.840.675
Revestimiento	\$ 9.316.674	\$ 212.710	\$ 9.529.384
Plásticos	\$ 30.051	\$ 5.965.840	\$ 5.995.891
Cartón y sacos		\$ 3.299.000	\$ 3.299.000
Mat. Aislantes		\$ 1.050.405	\$ 1.050.405
Áridos		\$ 159.016	\$ 159.016

Tabla 31. Costos de materiales correspondientes a pérdidas en la obra Martín de Zamora

Materiales	Costo por errores	Costo operacional	Costo total por material
Hormigón	\$ 25.094.096		\$ 25.094.096
Madera		\$ 20.077.753	\$ 20.077.753
Metales	\$ 8.485.439	\$ 3.685.503	\$ 12.170.942
Revestimiento	\$ 8.411.721		\$ 8.411.721
Plásticos	\$ 914.222	\$ 3.126.635	\$ 4.040.857
Mat. de yeso	\$ 2.654.650		\$ 2.654.650
Cartón y sacos		\$ 1.738.000	\$ 1.738.000
Mat. Aislantes		\$ 375.754	\$ 375.754
Áridos		\$ 21.180	\$ 21.180

Tabla 32. Costos de materiales correspondientes a pérdidas en la obra Pudahuel II

Materiales	Costo por errores	Costo operacional	Costo total por material
Hormigón	\$ 29.000.052		\$ 29.000.052
Madera		\$ 28.591.466	\$ 28.591.466
Metales	\$ 15.764.199	\$ 3.461.390	\$ 19.225.589
Revestimiento	\$ 6.120.368		\$ 6.120.368
Plásticos	\$ 444.515	\$ 5.248.888	\$ 5.693.403
Mat. de yeso	\$ 9.336.263		\$ 9.336.263
Cartón y sacos		\$ 1.903.500	\$ 1.903.500
Mat. Aislantes		\$ 3.325.525	\$ 3.325.525
Áridos		\$ 541.008	\$ 541.008

Tabla 33. Costos de materiales correspondientes a pérdidas en la obra Coronel Souper

Materiales	Costo por errores	Costo operacional	Costo total por material
Hormigón	\$ 46.544.359		\$ 46.544.359
Madera		\$ 26.882.526	\$ 26.882.526
Metales	\$ 15.806.703	\$ 8.356.644	\$ 24.163.347
Revestimiento	\$ 21.709.115		\$ 21.709.115
Plásticos	\$ 1.579.275	\$ 4.349.855	\$ 5.929.130
Mat. de yeso	\$ 5.961.586		\$ 5.961.586
Cartón y sacos	\$ -	\$ 1.933.910	\$ 1.933.910
Mat. Aislantes	\$ -	\$ 241.515	\$ 241.515
Áridos	\$ -	\$ 302.820	\$ 302.820

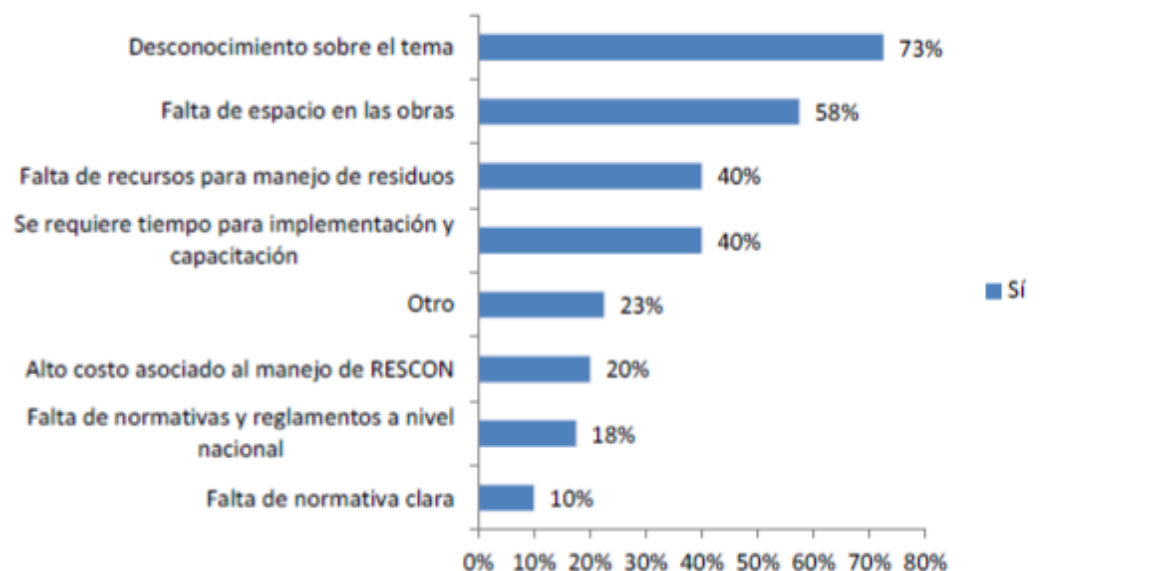
ANEXO D

Tabla 34. Muestra información asociada a otras 15 obras ejecutadas por la constructora.

	Obra	Superficie [m ²]	Presupuestado		Real	
			Cantidad [m ³]	FG propuesta [m ³ /m ²]	Cantidad real [m ³]	FG Real [m ³ /m ²]
1	SUÁREZ MUJICA	8.486	925	0,11	3.336	0,39
2	VALLE LOS INGLESES II	23.300	3.495	0,15	3.653	0,16
3	EDIF. LA FLORIDA	12.908	1.936	0,15	2.283	0,18
4	EDIF. BROWN NORTE	10.242	1.362	0,13	2.638	0,26
5	EDIF. LAREDO	11.392	1.056	0,09	3.986	0,35
6	EDIF. CARLOS LIRA	24.252	2.508	0,10	3.215	0,13
7	TIAHUANACO	10.515	1.356	0,13	4.102	0,39
8	SALESIANOS PENTA	10.015	1.502	0,15	4.480	0,45
9	APA	19.973	2.460	0,12	3.259	0,16
10	CATEDRAL	14.580	1.954	0,13	6.422	0,44
11	VARAS GALLARDO	13.572	2.245	0,17	3.250	0,24
12	STOLT	10.175	1.295	0,13	2.558	0,25
13	LEWELLYN	13.617	1.671	0,12	3.787	0,28
14	ARMANDO MOOCK	18.602	2.790	0,15	6.512	0,35
15	PLAZA MAIPÚ	19.144	2.373	0,12	4.948	0,26

ANEXO E

¿Cuál son los aspectos que usted cree que atentan contra la adecuada gestión de residuos de construcción y demolición dentro de los proyectos de construcción? Respuesta Múltiple (n=40 casos)



En la jerarquía de cargos de su empresa, ¿Quién o quiénes deben controlar que se realice una correcta gestión de los residuos en terreno? Respuesta Múltiple (n=40 casos)

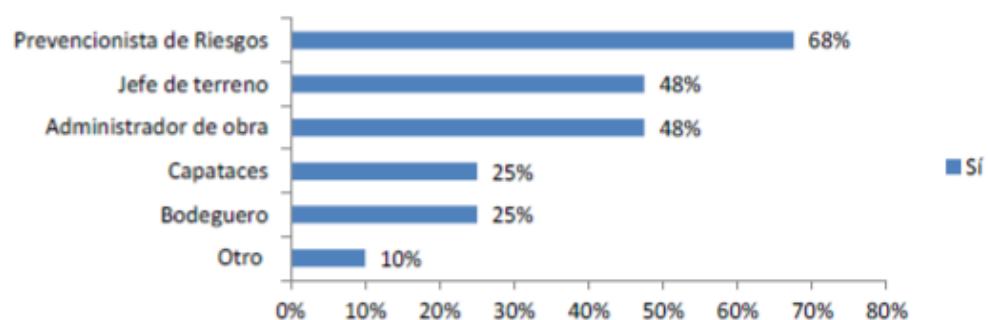


Figura 35. Muestra respuestas encuesta realizada en el Informe “Diagnóstico Gestión de Residuos”. (CDT, 2018)