

Investigación en terreno de la separación de residuos sólidos en una obra de construcción de la Región de Valparaíso

Presentada por

Jorge Cotton Zurita

Ingeniería Civil UTFSM

Abril de 2018

I. AGRADECIMIENTOS

A mi querida Universidad Técnica Federico Santa María por entregarme una carrera, amigos y recuerdos que voy a llevar en el corazón toda la vida.

A INPROMEC, por permitirme realizar la práctica y mi memoria en su obra. Y especiales gracias a Sebastián, Carlos, Nicky, Pedro y todos con quienes compartí en la obra por su apoyo durante la práctica y la memoria.

A los profes de Obras Civiles, por mostrarnos las muchas posibilidades que tiene esta hermosa carrera. Y mención especial al Coach B, que llegó con muchas ideas nuevas y ganas de innovar junto a sus memoristas. Gracias por la oportunidad de hacer una memoria con un tema original y entretenido.

A mi familia, por su incondicional apoyo durante todo mi paso por la Universidad.

Gracias Totales

II. DEDICATORIA

A mis amigos, por todos los momentos que hemos compartido, reído, llorado y con los que hemos crecido juntos. Un abrazo a todos y cada uno y mis mejores deseos para lo que nos traiga la vida.

A mi Familia en Iquique, que aun a 1.700 kilómetros de distancia, nunca estuvieron lejos.

A mi Abuelita Victoria y a mi Tata Wilfredo, por permitirme estudiar la Carrera que elegí en la Universidad que elegí, sin ellos el camino hubiese sido otro. ¡Gracias Abueli, Gracias Tata, ¡los quiero mucho!

A mi Tata Lino, la persona con el corazón más alegre que conozco y a mi Abuelita Inés que estoy seguro me ha ayudado desde el cielo a llegar a donde he llegado.

A mi Papá, que siempre tuvo tiempo y palabras para levantarme cuando no me sentí bien. ¡Te quiero Papá!

A Daniela, que cuando salí a estudiar era una niñita y hoy ya está haciendo su propio camino. ¡Orgullosísimo de mi DaniDani!

A Melissa, mi ejemplo de cómo con esfuerzo y corazón se puede lograr lo que uno se proponga. ¡Un abrazo Meli!

Y por último a la Profe más importante en vida. Gracias Mamá por todo el esfuerzo y sacrificio que ha puesto para que la Dani, la Meli y yo podamos estudiar. Gracias por enseñarnos el valor de la perseverancia. Y gracias por enseñarnos con su ejemplo a ser buenas personas. ¡La quiero hasta el cielo Mamá!

Esto y todo lo que prepare el futuro es para ustedes.

Muchas Gracias.

III. RESUMEN

La industria de la construcción produce más del 33% de todos los desechos físicos en el mundo. Según la CONAMA, en Chile la construcción genera un 56% de los residuos sólidos industriales, convirtiéndola en la industria más contaminante del país [1]. A pesar de estas cifras, la Gestión de los Residuos Sólidos de la Construcción (RSC) consiste en el envío de desechos sólidos a vertederos oficiales o no oficiales sin realizar esfuerzos por reducir, reutilizar o reciclar. Sin embargo, la literatura muestra que la separación de fuente es un método efectivo para fomentar el reciclaje, particularmente en industria de construcción. De hecho, Bossnik & Brouwers [2] informan que entre el 50-80% de los desechos sólidos pueden reciclarse o reutilizarse.

El objetivo del proyecto presentado en esta memoria fue estudiar experimentalmente el efecto de un adecuado plan de separación en un edificio de gran altura, en el volumen de RSC que tiene que ser enviado a vertedero. Se formuló la hipótesis de que, con una comprensión profunda de las causas de los flujos de residuos, una alternativa conduciría a una reducción del costo de gestión de los residuos.

En la primera fase del proyecto, flujo de RSC generado en el edificio de gran altura en Reñaca fue observado y cuantificado. Para este propósito, se utilizó una cámara IP para capturar y analizar los flujos de residuos, permitiendo medir el volumen, el método de transporte y la frecuencia de retiro de los residuos desde el sitio de almacenamiento.

La comprensión de las relaciones de causa y efecto resultantes proporcionaron las bases para diseñar los procedimientos alternativos de gestión de residuos que podrían reducir el volumen de RSC que terminarían en el vertedero. La alternativa seleccionada tuvo que considerar la situación especial del sitio, las características de los residuos y la disponibilidad de empresas de reciclaje en la Región de Valparaíso. Una comparación experimental entre el método tradicional y el método modificado para tratar la gran cantidad de cartón se realizó para probar la viabilidad de la hipótesis, implementando el método alternativo en el mismo sitio de construcción y estimando el costo del transporte y los ingresos por venta del cartón acopiado.

La sección final del proyecto presentará el resultado de la comparación experimental. Se discutirá el enfoque motivacional diseñado para motivar a los trabajadores a participar en el trabajo. Las conclusiones mostrarán que casi el 90% de los desechos de cartón fueron reciclado después de implementar nuevos procedimientos y tecnología de gestión de residuos. Sin duda, la participación de los trabajadores de INPROMEC fue clave para alcanzar este alto índice de reciclaje de cartón en el sitio de construcción. Las recomendaciones finales enfatizan la necesidad de reunir más evidencia sobre la separación de residuos en los sitios de construcción y la necesidad de obtener una mejor comprensión de las causas de la generación de residuos en la construcción, con el fin hacer que el reciclaje en la construcción sea una práctica estándar en la industria.

IV. ABSTRACT

The construction industry worldwide produces over 33% of all physical waste. According to CONAMA, construction in Chile generates 56% of all industrial solid waste, making it the most polluting industry in the country [1]. Despite these numbers, Construction Solid Waste (CSW) management in Chile consists of sending solid waste to official or unofficial landfills without efforts to reduce, reuse or recycle. However, the literature shows that source separation is an effective method to foster recycling, particularly in the construction industry. In fact, Bossnik & Brouwers [2] report that between 50-80% of the solid waste can be recycled or reused.

The goal of the project presented in this memoria was to study experimentally the effect of an adequate separation plan for a high-rise building on the volume of CSW that must be sent to a landfill. It was hypothesized that with a deep understanding of the causes of one waste stream an alternative would lead to a reduction of the cost for managing the waste.

In the first phase of the project, CSW flow generated at a high-rise building in Reñaca was observed and quantified. For this purpose, an IP camera was utilized to capture and analyze waste-streams, making it possible to measure volume, transportation method, the frequency of waste pick-up from the on-site storage.

In the second phase, the observations were studied to establish the main sources and causes responsible for each waste category, and the methods used for handling them on site. Subsequently, a CSW flow model was created considering the origin, transportation methods used and the associated volumes.

The understanding of the resulting cause-and-effect relationships provided the basis for designing alternative waste management procedures that might reduce the volume of CSW that ended up in the landfill. A selected alternative had to consider the special situation of the site, the characteristics of waste and the availability of recycling companies in the *Region de Valparaíso*. An experimental comparison of traditional with a modified method of treating the large amount of cardboard was to prove the viability

of the hypothesis by implementing the alternative method on the same construction site and estimating cost for transporting and revenue for selling the collected cardboard.

The final section of the project will present the results of an experimental comparison. It will discuss the motivational approach designed to motivate the workers to participate in the work. The conclusions will show that nearly 90% of cardboard waste was recycled after implementing novel waste management procedures and technology. Without a doubt, the participation of INPROMEC workers was instrumental in this high cardboard recycling rate at the construction site. The final recommendations will emphasize the need for gathering more evidence about on-site waste separation and getting a better understanding of the causes of waste generation in construction, in order to make recycling on construction a standard practice in the industry.

ÍNDICE GENERAL

I.	AGRADECIMIENTOS	I
II.	DEDICATORIA	II
III.	RESUMEN	III
IV.	ABSTRACT	V
	ÍNDICE GENERAL	VII
1	INTRODUCCIÓN	17
2	ESTADO DEL ARTE	20
2.1	LA META DE LA SUSTENTABILIDAD Y LOS PASOS PARA LOGRARLA	20
2.2	CAMBIO CLIMÁTICO	22
2.3	GENERACIÓN DE RC&D, EL PANORAMA ACTUAL	23
2.3.1	Fuentes y Causas de los RC&D	25
2.3.2	Clasificación y Categorías de los RC&D	26
2.3.3	Cuantificación de los RC&D	27
2.3.4	Estadísticas de los RC&D generados	28
2.4	GESTIÓN DE LOS RC&D, LA BÚSQUEDA CONTINUA DE LA REDUCCIÓN DE RESIDUOS	31
2.4.1	Jerarquía de la gestión de RC&D	31
2.4.2	Planes de Gestión de RC&D	33
2.4.3	Estadísticas de la valorización de residuos	35
2.5	LA INFLUENCIA DE LA CAPACITACIÓN EN LA PRODUCCIÓN	38
2.5.1	Capacitación en la construcción	39
3	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	41
3.1	PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS	43
JCZ		VII

4	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	44
4.1	BASES DE DISEÑO DEL EXPERIMENTO	44
4.2	SITIO DE CONSTRUCCIÓN PROPUESTO PARA EL TESTEO EN TERRENO DEL MODELO	45
4.3	DISEÑO DEL EXPERIMENTO	46
5	IMPLEMENTACIÓN DEL EXPERIMENTO.....	49
5.1	OBSERVACIÓN DE LOS RSC EN LA CONSTRUCCIÓN.....	49
5.1.1	Listado de residuos.....	51
5.1.2	Causa-Efecto de los RSC.....	52
5.2	IDENTIFICACIÓN DE LOS CAMINOS DE LOS RSC EN EL SITIO	70
5.2.1	Medición de volumen de los RSC utilizando cámara IP.....	70
5.2.2	Tipos de RSC descargados.....	72
5.2.3	Transporte de los RSC en obra.....	72
5.3	SELECCIÓN DEL MATERIAL A RECICLAR.....	81
5.3.1	Situación base	81
5.3.2	Alternativas disponibles	83
5.3.3	Aspectos que considerar para la elección de la mejor alternativa	87
5.3.4	Elección de la mejor alternativa.....	90
5.4	PREPARACIÓN DEL EXPERIMENTO	93
5.4.1	Elección y preparación del sitio de acopio	94
5.4.2	Plan de reciclaje	95
5.4.3	Instrucción al personal.....	100
5.5	COMIENZO DEL EXPERIMENTO.....	101
5.5.1	Registro fotográfico.....	101
5.6	PRIMERA EVALUACIÓN DEL EXPERIMENTO.....	102

5.6.1	Consulta a trabajadores.....	103
5.6.2	Charla a los trabajadores.....	105
5.7	MODIFICACIÓN DEL EXPERIMENTO	108
5.8	TÉRMINO DEL EXPERIMENTO	110
6	RECOPILACIÓN DE DATOS	113
6.1	CÁMARA IP: RESIDUOS, MEDIOS DE TRANSPORTE Y TRABAJADORES	113
6.2	PROYECCIÓN DEL VOLUMEN DE CARTÓN EN LA OBRA	116
6.3	VOLUMEN DE CARTÓN LUEGO DEL COMIENZO DEL PLAN DE RECICLAJE	117
7	ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS	120
7.1	RESIDUOS GENERADOS	121
7.2	FLUJO DE RSC DENTRO DE LA OBRA	126
7.3	RETIRO DE LOS RSC DE LA OBRA	130
7.4	RESULTADOS DEL PLAN DE RECICLAJE.....	133
7.4.1	Influencia de la Charla de los trabajadores	134
7.4.2	Evolución en el tiempo del cartón reciclado	135
7.5	AHORRO ESPERADO	137
7.5.1	Costo asociado a la Situación Base	137
7.5.2	Costo asociado a la Situación de Reciclaje Ideal	138
7.5.3	Costo asociado a la Situación de Reciclaje Real	139
7.5.4	Beneficio Económico Total (BET) para la constructora	140
7.6	ANÁLISIS GENERAL	141
7.6.1	Cajas de Cartón.....	144
7.6.2	Cartón corrugado.....	145

8	CONCLUSIONES	147
8.1	REVISIÓN DE HIPÓTESIS	147
8.2	OBSERVACIONES PERSONALES	149
8.2.1	Generales	149
8.2.2	Influencia de la Charla a los trabajadores en el experimento	150
8.3	RECOMENDACIONES PARA INVESTIGACIONES FUTURAS	152
9	REFERENCIAS.....	154

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1-1	Tabla de Residuos.....	51
Tabla 5.2-1	Transporte de los RSC en la obra	72
Tabla 5.3-1	Situación base	82
Tabla 5.3-2	Encuesta a proveedores de la construcción.....	84
Tabla 5.3-3	Empresas investigadas.....	87
Tabla 5.3-4	Costo base.....	90
Tabla 5.6-1	Encuesta a los trabajadores	104
Tabla 6.1-1	Extracto datos cámara IP – Semana 10.....	114
Tabla 6.2-1	Proyección del volumen de cartón	116
Tabla 6.3-1	Cartón reciclado – Semanas 1 y 2	118
Tabla 6.3-2	Extracto datos obtenidos – Semana 8.....	119
Tabla 6.3-1	RSC trasladado por cada tipo transporte	120
Tabla 7.2-1	Medios de transporte	126
Tabla 7.3-1	Retiro de residuos-Período 1.....	130
Tabla 7.3-2	Retiro de residuos-Período 2.....	131
Tabla 7.5-1	Cartón proyectado durante la construcción.....	137
Tabla 7.5-2	Costos Situación Base.....	138
Tabla 7.5-3	Dinero percibido – Situación más favorable.....	139
Tabla 7.5-4	Dinero Percibido - Situación de Reciclaje Real	140
Tabla 7.5-5	Costo de retiro – Situación de Reciclaje Real	140

Universidad Técnica Federico Santa María
Departamento de Obras Civiles



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1-1: Afiche publicitario-Cumbre Climática de París.....	21
Figura 2.2-1 Historial de CO ² en la atmósfera (Fuente: [11])	23
Figura 2.3-1 Residuos sólidos per cápita del sector de la Construcción (Fuente: OCDE).....	29
Figura 2.3-2 Generación de residuos industriales por sector industrial.....	30
Figura 2.3-3 Generación de residuos UE-28 y Noruega (Fuente: EuroStat 2010 data on UE and Norway)	31
Figura 2.4-1 Jerarquía de procesos ZWM	32
Figura 2.4-2 Países con mayor índice de reciclaje de residuos municipales en Europa.....	36
Figura 2.4-3 N° de instalaciones de valorización en Chile	37
Figura 2.4-4 Tasa de valorización por tipo de residuo, 2009.....	38
Figura 4.1-1 Modelo del Proceso de Construcción (Fuente: Bernold 2010).....	44
Figura 4.2-1 Foto satelital de la ubicación del edificio Reñacamar.....	46
Figura 4.3-1 Diagrama de bloques del experimento.....	47
Figura 5.1-1 Zona de Residuos.....	50
Figura 5.1-2 Causas del residuo de Hormigón	53
Figura 5.1-3 Utilización de moldaje de madera en hormigonado de zapatas.....	54
Figura 5.1-4 Causas del residuo de la madera no tratada.....	55
Figura 5.1-5 Causas del residuo de yeso-cartón	56
Figura 5.1-6 Causas del residuo de estuco	57
Figura 5.1-7 Saco de nylon utilizado como bolsa se basura para escombros	58

Figura 5.1-8	Causas del residuo de yeso	59
Figura 5.1-9	Cajas de cartón de tuberías de PVC	60
Figura 5.1-10	Causas del residuo de las cajas de cartón	60
Figura 5.1-11	Causas del residuo de las tuberías de PVC y PEX	61
Figura 5.1-12	Causas de residuos de madera tratada	62
Figura 5.1-13	Esquema tabiquería tipo	63
Figura 5.1-14	Causas del residuo de montantes	63
Figura 5.1-15	Causas del residuo de los revestimientos	64
Figura 5.1-16	Causas del residuo de pallets de madera	65
Figura 5.1-17	Causas del residuo de cartón corrugado	66
Figura 5.1-18	Causas del residuo de papel	66
Figura 5.1-19	Causas del residuo de film plástico	67
Figura 5.1-20	Causas del residuo de acero	68
Figura 5.1-21	Diagrama Causa-Efecto de la generación de RSC	69
Figura 5.2-1	Imagen captada con cámara IP	71
Figura 5.2-2	Esquema Origen-Destino	74
Figura 5.2-3	Residuos listos para ser cargados en carretilla	75
Figura 5.2-4	Proceso de carga con carretilla	75
Figura 5.2-5	Residuos listos para ser transportados en la cuna	76
Figura 5.2-6	Distintas vistas del proceso de retiro de la cuna cargada desde la torre	77
Figura 5.2-7	Proceso de traslado con cuna	78
Figura 5.2-8	Residuos listos para ser cargados en el capacho	79

Figura 5.2-9	Proceso de traslado con capacho	80
Figura 5.3-1	Ruta entre Edificio Reñacamar y relleno sanitario El Molle	82
Figura 5.3-2	Materiales recibidos en Triciclos.....	85
Figura 5.3-3	Esquema costo-beneficio de las alternativas de disposición	89
Figura 5.3-4	Materiales seleccionados para el plan de reciclaje en terreno.....	92
Figura 5.4-1	Espacio disponible para acopio de cartón.....	96
Figura 5.4-2	Dimensiones del sitio de acopio	97
Figura 5.4-3	Zona de reciclaje preparada con su correspondiente señalética	98
Figura 5.4-4	Esquema del <i>Plan de reciclaje de cartón</i>	99
Figura 5.5-1	Imágenes captadas para el análisis del Plan de Reciclaje	102
Figura 5.6-1	3ra semana – Imagen de la Zona de Reciclaje son ordenar	103
Figura 5.6-2	Imágenes presentadas durante la charla	107
Figura 5.7-1	Orden planificado para la Zona de reciclaje	108
Figura 5.7-2	Desorden en la Zona de reciclaje	109
Figura 5.7-3	Zona de acopio de cartón	110
Figura 5.8-1	Imágenes del último día del experimento (11/09/2015)	111
Figura 6.1-1	Tipos de retiro de residuo observados en obra	115
Figura 7.1-1	Volumen de residuos producidos en el período 1	122
Figura 7.1-2	Volumen de residuos producidos en el período 2	123
Figura 7.1-3	Comparación de residuos generados entre Períodos 1 y 2	124
Figura 7.1-4	Residuos generados durante los períodos 1 y 2	125
Figura 7.2-1	Volumen de residuos transportado por cada medio de transporte-Período 1.....	127

Figura 7.2-2	Volumen de residuos transportado por cada medio de transporte-Período 2.....	129
Figura 7.3-1:	Formas de retiro-Período 1	131
Figura 7.3-2:	Formas de retiro-Período 2	131
Figura 7.4-1	Mediciones periódicas zona de reciclaje	133
Figura 7.4-2	Volumen reciclado antes y después de la charla a los trabajadores	135
Figura 7.4-3	Volumen acumulado en zona de reciclaje-cajas y corrugado	136
Figura 7.6-1	Función dinero percibido, DP (IR)	142
Figura 7.6-2	Función Beneficio económico total, BET (IR).....	143
Figura 7.6-3	Función dinero percibido, DP (IR)	144
Figura 7.6-4	Función beneficio económico total, BET (IR)	145
Figura 7.6-5	Función dinero percibido, DP (IR)- Cartón Corrugado	145
Figura 7.6-6	Función beneficio económico total	146

1 INTRODUCCIÓN

“We are the first generation to feel the effect of climate change and the last generation who can do something about it”

Barack Obama

La construcción no es, por naturaleza, una actividad respetuosa con el medio ambiente (Tam y Le, 2009; Tam y Tam, 2006, Shen y Tam, 2004) y son diversas las investigaciones que sugieren que es de las actividades que más contribuyen a la contaminación ambiental (Shen y Tam 2004).

Una enorme proporción de todos los materiales utilizados para la construcción de las obras se está convirtiendo en un enorme depósito y, a su vez, en un enorme problema extremadamente difícil para las generaciones futuras (Kibert, 2007), causando un alto impacto sobre el medio ambiente (Nahmens, 2009; Yahya y Boussabain, 2006; Begum et al., 2006b; Rodríguez et al., 2006).

La Agencia Europea del Medioambiente (EEA por sus siglas en inglés) señala que la industria de la construcción genera el 34 % del total de residuos de la Unión Europea. En Chile, la CONAMA (Corporación Nacional del Medioambiente) estimó el año 2010 que este valor alcanza un 56 %, convirtiéndola en la industria más contaminante del país (sin considerar la minería en el estudio).

Además del problema de la cantidad de residuos generados por la industria de la construcción, también existe el problema de su disposición final. En la decisión dónde disponer de ellos, existen dos factores que influyen en la decisión de las empresas: la distancia entre la faena y el botadero, ya que, de no encontrarse botaderos establecidos en la cercanía, es probable que se utilicen aquellos no fiscalizados. Y el tamaño de la demolición, debido a que cuando la cantidad de escombros es relativamente menor, su eliminación frecuentemente se realiza en lugares que no impliquen un alto costo o sitios eriazos. Debido a las características geográficas de la región de Valparaíso, son las quebradas las que se convierten en focos de interés de aquellos que buscan evitar el valor agregado que se cobra por disponer en los vertederos autorizados sus residuos. Solo en Valparaíso, se identificaron 76 micro

basurales el 2006, mientras que en 2008 se catastraron 84, distribuidos en los mismos sectores identificados previamente en el año 2006. Se estima que en la comuna existen 140.924 m² de superficie convertida en micro basurales y que concentra un volumen de 34.534 m³ de residuos [3].

En la presente Memoria se realizó un experimento comparativo en el cual se reciclaron Residuos Sólidos de Construcción (RSC) con el objeto de determinar real el beneficio económico de aplicar estas prácticas. En el experimento se observó el flujo de RSC en obra, se identificaron las causas de la generación de los distintos tipos de RSC producidos en el sitio, se estudió su composición, cantidades y manejo para finalmente proponer y aplicar un plan de reciclaje con el objeto de disminuir los costos por retiro de los RSC de la obra.

Paralelamente se midió el efecto de la capacitación de los trabajadores en los resultados del experimento. Esto se hizo comparando los resultados del reciclaje antes de la capacitación y después de ella, sin variar otros factores.

Cada proyecto de construcción es diferente por lo que un plan de gestión de residuos realizado para un proyecto en específico no es replicable a todos los proyectos, y este, se debe adecuar a las necesidades propias de cada uno de ellos [4]. Por tal razón es necesario generar conocimiento acerca los Residuos de la Construcción. Se deben identificar los tipos de residuos en obra, medir las cantidades generadas y estudiar sus causas de manera de lograr un mejor entendimiento del problema y así obtener directrices de cómo mejorar la gestión de los RSC, sus tasas de reciclaje y de esta manera disminuir los efectos adversos en el Medio Ambiente.

La estructura de la Memoria comienza el Estado del Arte enfocado principalmente en el conocimiento más moderno de la Generación y Gestión de RSC. Continúa con la Definición del Problema, el cual se identificó a partir de la necesidad de generar conocimiento útil para crear metodologías de gestión de los RSC. Le siguen las Hipótesis que se aprobarán (o desaprobarán) luego de expuesta la Metodología de Investigación, el Experimento en el sitio de construcción, la presentación de los Resultados y el Análisis de los mismos. Con la información científica obtenida,

tabulada y analizada, en el capítulo final de las Conclusiones se señalará el grado de veracidad de las hipótesis.

2 ESTADO DEL ARTE

En los últimos años, el tema de los residuos de construcción y demolición (RC&D) ha sido el foco de numerosas investigaciones, resultando en una gran cantidad de publicaciones [5]. El presente Estado del Arte comienza con las secciones 2.1 y 2.2 con el objeto de introducir la problemática que conlleva la contaminación provocada por el quehacer humano y los últimos esfuerzos realizados para detenerla. A continuación, en la sección 2.3 se presentan los últimos avances producidos en cuanto al estudio de la Generación de los RC&D y su Gestión. Finalmente se abordan investigaciones realizadas en sitios de construcción que analizan la influencia de la capacitación en la productividad de los trabajadores.

2.1 La meta de la sustentabilidad y los pasos para lograrla

En el Informe titulado “*Nuestro futuro común*” de 1987, Gro Harlem Brundtland (Directora General de la OMS entre 1998 y 2003) define Sustentabilidad como “*El desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas*” [6].

Para alcanzar la sustentabilidad, es necesario que la humanidad encuentre una forma más eficiente de utilizar los recursos finitos de los que dispone en la tierra. Una sociedad sustentable es una que no perjudica o sobrecarga los sistemas naturales que proveen los recursos para su existencia [7].

El 30 de noviembre del año 2015 se da comienzo a la Cumbre Climática de París (Figura 2.1-1), la cual es una sesión de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, que entró en vigor en 1994 y anualmente convoca a los 195 países firmantes para discutir acuerdos sobre el tema.



Figura 2.1-1: Afiche publicitario-Cumbre Climática de París

La cumbre logró un acuerdo global vinculante sobre el cambio climático, algo que no existía a la fecha. La ONU espera que a partir de los acuerdos vinculantes nacidos en la Cumbre permitan disminuir el calentamiento global pronosticado para finales de siglo. Además de los países adscritos a las Naciones Unidas, participan en esta cumbre cerca de dos mil ONGs y cien organizaciones intergubernamentales que actuarán como observadores de todo el proceso y se encargarán de que los países rindan cuentas [8].

Esta cumbre es importante según explica el secretario general Ban Ki Moon: “Ciudades, negocios e inversores, líderes de fe y ciudadanos están actuando para reducir las emisiones y construir resiliencia. La responsabilidad ahora es de los gobiernos de concluir un acuerdo vinculante y significativo en París, que provea de leyes claras para el fortalecimiento de esta ambición global” [9].

El Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible, agrupación de 150 grandes empresas que buscan ser precursoras en el ámbito de tecnologías verdes, identifica justamente la falta de cooperación entre el mundo político y global como la principal barrera para reducir considerablemente las emisiones de carbón.

Su presidente Peter Bakker señala “Sólo podemos salvaguardar el futuro de la Tierra cuando las empresas y los políticos actúan juntos. Necesitamos urgentemente un acuerdo climático ambicioso en París para establecer el marco normativo que nos

permita cumplir metas comunes” y estima que las empresas podrían reducir en un 65% las emisiones de CO² en el planeta si recibieran apoyo político [10].

2.2 Cambio climático

Se entiende por cambio climático el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

ONU, 1992

Es una realidad que la temperatura del planeta ha ido en aumento desde el comienzo de la industrialización. Estudios como el realizado por el GISS el año 2014 (Goddard Institute for Space Studies) dicen que la temperatura global ha crecido cerca de 0.8 C desde 1880 [11].

Este aumento de temperatura se debe al efecto invernadero, proceso en el cual la radiación térmica del espacio es absorbida por los gases de efecto invernadero (GEI) atmosféricos e irradiada en todas direcciones. Parte de esta radiación es devuelta a la superficie de la tierra, resultando en un incremento de la temperatura superficial media. El aumento de temperatura señalado por el estudio del GISS se debe principalmente a la emisión GEI provenientes de la actividad humana. Algunos como el óxido de nitrógeno y dióxido de carbono se han incrementado en la atmósfera desde la Revolución Industrial a mediados del siglo XIX, debido principalmente al uso intensivo de combustibles fósiles en las actividades industriales y el transporte.

El dióxido de carbono es el principal responsable del efecto invernadero, y este se encuentra actualmente en los niveles más altos jamás registrados. En el año 2013 las concentraciones de CO² en la atmósfera sobrepasaron las 400 partes por millón por primera vez en la historia de la humanidad [11].

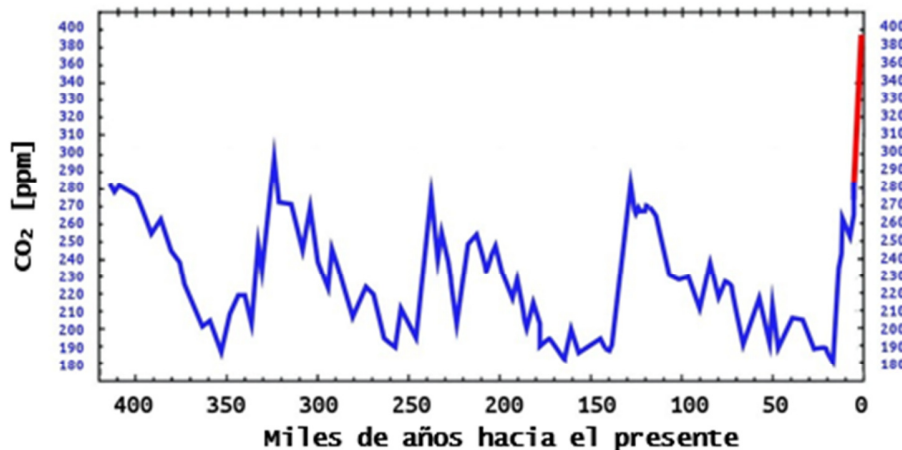


Figura 2.2-1 Historial de CO² en la atmósfera (Fuente: [11])

Los efectos de este aumento de temperatura son el derretimiento de los hielos, inundaciones costeras, aumento de la frecuencia de eventos climáticos extremos e impactos en la comida, el agua, los animales y las plantas.

2.3 Generación de RC&D, el panorama actual

En la industria de la construcción la noción de residuos se asocia a los escombros removidos del sitio y dispuestos en vertederos. Una razón para esta estrecha visión de los residuos, como explica Formoso et. al. [12] es el hecho de que son la parte visible de un problema en la producción. Si bien dichos residuos son importantes desde un punto de vista medioambiental, este enfoque ha sido criticado desde el principio de la ingeniería industrial [12].

Si bien no hay un consenso en la literatura de la definición de RC&D (Lu, W. and Yuan, H., 2011 [13]), no es necesario para entender de qué se trata. Algunas definiciones que se pueden encontrar en la literatura son:

- Residuos que surgen de las actividades de construcción,, remodelación y demolición. (Wang et al., 2010 [14] y Kofoworola y Gheewala, 2008 [15]).
- Materiales excedentes derivados de excavaciones, construcciones civiles y edificios, trabajos en vías, actividades de remodelación y demolición. (Hao et al., 2007. [16])

- Residuos de materiales de construcción, embalaje y escombros que resultan de las operaciones de construcción, remodelación, reparación y demolición de casas, edificios industriales y comerciales, y otras estructuras. (Clark et al., 2006. [17])
- Diferencia entre los valores de las cantidades de materiales comprados y aceptados en la obra. (McDonald y Smithers, 1998 [18]; Shen et al., 2000 [19]; Polat y Ballard, 2000 [20]; Tam et al., 2006 [21])
- Cualquier material, aparte de materiales de la tierra, los cuales necesitan ser transportados a otra parte desde los sitios de construcción o utilizados dentro del sitio de construcción para los propósitos de llenos, incineración, reciclaje, reutilización o compostaje. (Ekanayake y Ofori, 2004 [22])
- Residuos de construcción, remodelación, y reparación de residencias individuales, edificios comerciales, y otras estructuras de ingeniería civil. (Huang et al., 2002 [23])
- Residuos generados de varias actividades de construcción incluidas excavación, construcción civil y de edificios, limpieza de sitios, actividades de demolición, trabajos en vías y renovación de edificios. (Shen et al., 2004 [24])
- Residuos resultantes de la construcción, renovación y demolición de estructuras incluidas edificaciones de todo tipo (residencial y no residencial), proyectos de repavimentación de caminos, reparación de puentes, y limpieza asociada con desastres naturales y humanos. (Zhao et al., 2009 [25]; y Lu et al., 2006 [26])
- Materiales no deseados generados durante la construcción, incluyendo estructuras y materiales rechazados, materiales que han sido sobre-ordenados o son excesos de los requeridos, y materiales que han sido utilizados y se han dañado. (Deng et al., 2008 [27])
- Suelo, material y otros generados por cualquier clase de actividades de construcción, incluyendo el desarrollo, rehabilitación y remodelación de proyectos de construcción. (Zhao et al., 2009 [25])

Como plantean Aldana y Serpell, estas definiciones presentan diferencias debido a los límites que consideran ya sea en el proceso de construcción, en cuanto a la actividad dentro del rubro, estados de la materia o en la perspectiva del ciclo de vida de los recursos y productos a través del medio edificado [4]. Ellos proponen definir RC&D

como cualquier materia en estado líquido, sólido y/o gaseoso que resulta durante el proceso de extracción de materias primas y producción de materiales y/o servicios que se utilizan para el medio edificado y su posterior demolición y que terminan en la atmósfera, en un botadero o en cualquier otro sitio de disposición legal o ilegal con o sin técnicas apropiadas de manejo [4].

2.3.1 Fuentes y Causas de los RC&D

En la década de los '80 la forma de ver los residuos cambió con el nuevo paradigma de producción industrial introducido por Taiichi Ohno (Ingeniero Jefe de Toyota). La conocida Lean Production, que se puede traducir como Producción sin Desperdicios o Producción Magra.

Esta filosofía está basada en el concepto de las 7 Muda (Residuo en japonés), los cuales son definidos por Ohno como la (i) sobreproducción, (ii) exceso de inventario, (iii) movimientos innecesarios, (iv) tiempos ociosos, (v) transporte innecesario, (vi) procesamiento ineficiente y (vii) defectos, averías y accidentes.

La Muda se debe reducir o eliminar para producir una mejora en la productividad y calidad [28]. En el modelo de Producción de Ohno se representan tanto las actividades de conversión como las de flujo (esperas, movimientos e inspecciones). En él solo las actividades de conversión pueden añadir valor al producto final y los residuos consumen tiempo, dinero y/o recursos sin agregar valor [28].

Los residuos pueden ser clasificados en inevitables (o residuos naturales) y evitables. En el primero la inversión necesaria para su reducción es mayor que la economía que producen; y en el segundo los costos de producirlos son más altos que los costos de prevenirlos [12].

Gavilan y Bernold (1994) [29] realizaron un estudio de las fuentes que generan los RC&D y elaboraron un marco conceptual, en el cual organizan sus principales fuentes en seis categorías:

1. Diseño
 - Error de anteproyecto
 - Error de diseño
2. Adquisición y compra
 - Error de envío
 - Error en la orden
3. Manejo y manipulación de materiales
 - Almacenamiento inadecuado
 - Manipulación inadecuada (dentro y fuera de la obra)
4. Operación
 - Error humano (de los jornales u otros trabajadores)
 - Malfuncionamiento de los equipos
 - Actos de dios (catástrofes, accidentes, clima)
5. Residual
 - Chatarra sobrante
 - No consumibles o no recuperable
6. Otras

Se asume que la importancia de cada categoría varía no solo entre la situación entre empresas, sino también en la situación entre materiales. Por ejemplo, es más probable que se produzca residuo de hormigón por error de diseño que de madera dimensionada [34].

Una visión similar de las fuentes que producen los RC&D es la que tienen, Bossink y Brouwers (1996) [2], Chung y Lo (2002) [30], Polat y Ballard (2004) [20] y Ekanayake y Ofori (2004) [22], señalando como fuentes de generación de RC&D a los errores humanos en diseños, adquisiciones, manipulación de materiales, operación, residuales y otros [2], [20], [22], [30]. Osmani et al. (2007) [31] ha incorporado otras categorías como transporte de materiales, en obra, administración y planificación y almacenamiento de los materiales [31].

La causa de la generación de residuos en la mayoría de los materiales es más una combinación de factores, que un incidente aislado [12].

2.3.2 Clasificación y Categorías de los RC&D

En la Literatura existen diversas propuestas de clasificación y/o categorización de los residuos. Por ejemplo, Poon et al. (2001) [32] propone clasificar los RC&D en cinco categorías: materiales de obras viales, suelo excavado, residuos de demolición,

residuos de despejes, y residuos de renovaciones. Laquatra y Pierce (2002) [33] los clasifican en residuos inertes, putrescibles y químicos. Fatta et al. (2003) [34] los clasifican en materiales de excavación, materiales de mantenimiento y planificación de carreteras, materiales de demolición, y materiales de residuos de trabajos en sitio. Jaillon et al. (2008) [35] y Lu et al. (2006) [26] los clasifican en inertes y no inertes.

2.3.3 Cuantificación de los RC&D

Diversos autores han realizados trabajos para cuantificar los RC&D en sus países. Bossnik y Browsers (1996) reportaron que los residuos en Holanda son entre el 1% y el 10% (en peso) de los materiales comprados [2]. En Brasil Pinto y Agopyan (1994) estimaron un valor entre 20% y 30% del peso de los materiales que se encuentran en obra [36]. Por su parte Poon et al. (2001) reportaron que los residuos son del orden del 10% al 20% del peso total de los materiales entregados en obra [32]. Kourmpanis et al. (2008) calcularon que la cantidad de residuos de demolición en Chipre se puede estimar a través de la siguiente ecuación [37]:

$$DW = ND \times ANF \times AS \times DWB \times D$$

Donde:

- DW : Cantidad de residuos de demolición [Ton]
- ND : Número de edificios demolidos
- ANF : Número promedio de pisos por cada edificio demolido [N° Pisos/Edificio]
- AS : Área promedio del edificio [m²]
- DWB : Volumen de residuos generados por cada 100 [m²] de área de edificio demolido
- D : Densidad promedio de los residuos generados (1,6 [Ton/m³])

Solís-Guzmán et al. (2009) proponen un método que permite la cuantificación de tres clases de volúmenes de residuos asociados con tres fuentes de residuos previamente identificados: Volumen Aparente de Residuos Demolidos (VADi), Volumen Aparente de Restos de Residuos (VARi) y Volumen Aparente de Residuos de Empaques (VAEi). Estos tres volúmenes derivados del Volumen Aparente Construido (VACi) que es el volumen ([m³]) por cada [m²] construido del ítem i [38].

Wimalasena et al. (2010) proponen una metodología para cuantificar los residuos de construcción basada en el valor financiero por cada metro cuadrado construido y la cantidad empírica de residuos (por peso) por metro cuadrado del edificio [39].

Si bien se han desarrollado metodologías de estimación de los residuos no se dispone de estudios científicos que analicen conjuntamente todas las variables que inciden en la tipología y magnitud de los residuos generados por una unidad de obra y, adicionalmente, ninguna ha sido a nivel de etapa de construcción que no implique inversiones económicas altas [5]. Esto con el propósito de calcular los niveles generados de residuos por cada material utilizado y de esta manera generar información para la toma de decisiones por parte de los profesionales a cargo del proyecto y que estén directamente vinculados en actividades relacionadas a la gestión de RC&D [5].

2.3.4 Estadísticas de los RC&D generados

Como fue mencionado en 2.3 los residuos son más que los escombros que deben ser removidos del sitio, sin embargo, son estos los que provocan el mayor impacto en el medio ambiente. En promedio los países de la OCDE generaron 38,591 millones de toneladas de RC&D el año 2010 [40], mientras que el promedio per cápita fue de 1,827 [Kg]. La situación de Chile, como se puede observar en la está muy por debajo del promedio de la OCDE, ya que su generación per cápita alcanzó los 150 [Kg].

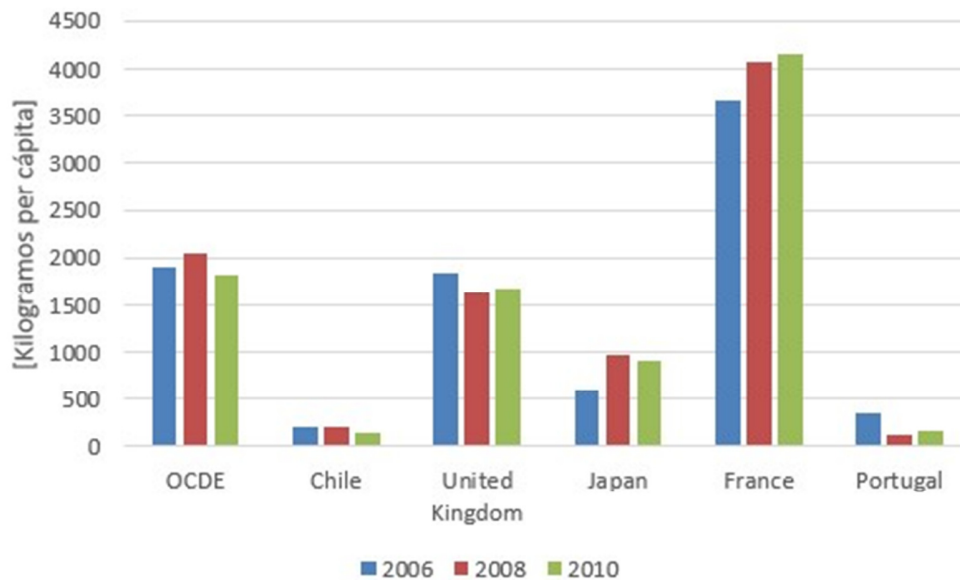


Figura 2.3-1 Residuos sólidos per cápita del sector de la Construcción (Fuente: OCDE)

El caso de Chile según el Primer Reporte del Manejo de Residuos Sólidos sitúa a la industria de la construcción como una de las principales actividades productivas del país, con 7.5% del PIB del año 2009 [1]. Pero no solo es importante desde el punto de vista de la economía del país, lamentablemente también lo es desde la generación de residuos.

La generación de residuos industriales en Chile pasó de ser 6.8 millones de toneladas el año 2000 a 10.4 millones de toneladas el año 2009, lo que significa un incremento de 52.94% durante la década. En la Figura 2.3-2 se puede ver el impacto de la industria de la construcción en las cifras mencionadas. Durante el mismo período, la construcción tuvo un incremento en la generación de residuos de un 72 %, pasando de 3.38 a 5.82 millones de toneladas generadas.

Además, para el año 2009 representa el 56% de los residuos generados.

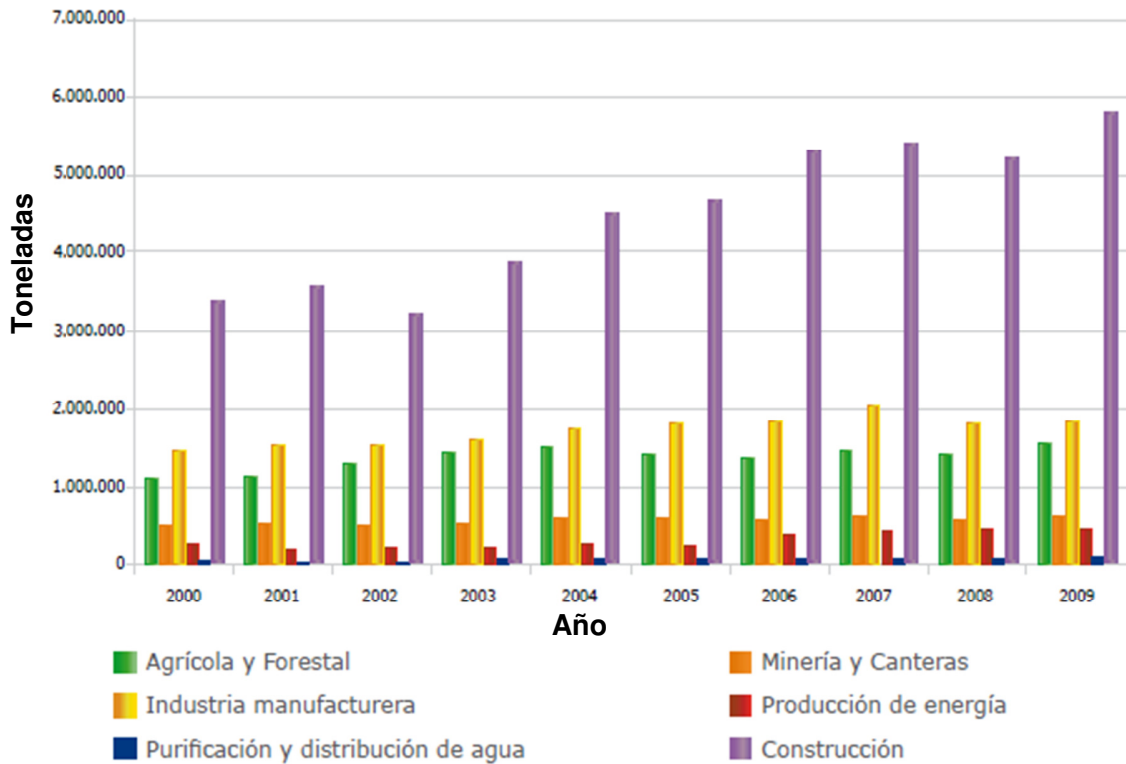


Figura 2.3-2 Generación de residuos industriales por sector industrial

En la Figura 2.3-3 se puede observar que la industria de la construcción contribuye con un 34% de los residuos generados en la EU-28 y Noruega, siendo el sector que más residuos genera, incluso más que la minería.

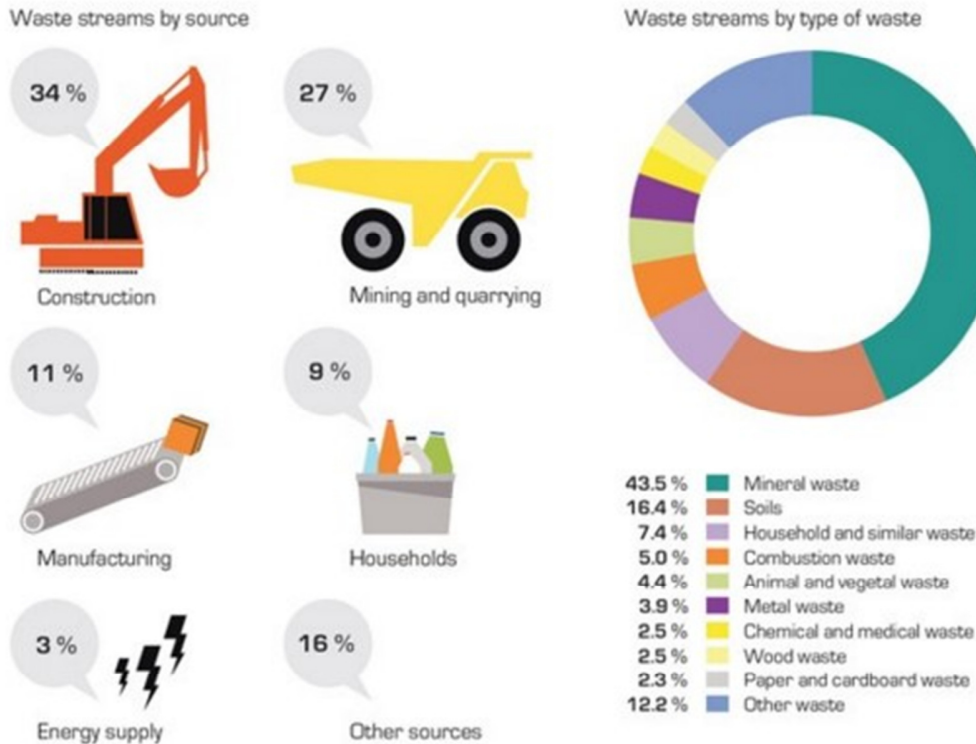


Figura 2.3-3 Generación de residuos UE-28 y Noruega (Fuente: EuroStat 2010 data on UE and Norway)

2.4 Gestión de los RC&D, la búsqueda continua de la reducción de residuos

A continuación, se presentan el conocimiento y los estándares más modernos relacionados con la jerarquía de la gestión, acciones de gestión, planes de gestión, valorización y reciclaje de RC&D.

2.4.1 Jerarquía de la gestión de RC&D

En la literatura se puede encontrar frecuentemente que las prioridades en la administración jerárquica de residuos son Reducir, Reutilizar y Reciclar, lo cual se conoce como las "3Rs". Autores como Deng et al. (2008) [27], Shen et al. (2004) [24] y Kartam et al. (2004) [41], mencionan que la jerarquía de la gestión de RC&D es: evitar,

reducir, reutilizar y reciclar. Keys et al. (2000) [42] proponen otra jerarquía incluyendo los siguientes componentes adicionales a la anterior: desarrollo sustentable, prevención, reutilización en obra, recuperación en obra, reutilización fuera de la obra, recuperación fuera de la obra y los botaderos. Peng et al. (1997) [43] reportan otra clasificación diferente a las anteriores: reducir, reutilizar, reciclar, compostaje, incinerar, y botaderos.

Existe una Jerarquía de Gestión de RC&D recomendada por la EPA (Figura 2.4-1) y que es parte de la filosofía del ZWM. Se trata, en primer lugar, de la Reducir los RC&D en la fuente, es decir, evitar que estos se generen. En segundo lugar, está el Reciclaje y Compostaje, donde recomienda mantenerlo lo más local posible de manera de no aumentar la huella de carbono debido al transporte de los residuos. En tercer lugar, se encuentra la Recuperación Energética, donde promueve la utilización de Rellenos sanitarios con recuperación de gas metano y digestores biológicos. Finalmente se tiene el Tratamiento y Disposición (T&D) final en vertederos, la cual debe utilizarse solo para materiales descartados no reciclables.



Figura 2.4-1 Jerarquía de procesos ZWM

Los Jerarquías mencionadas tienen en común el buscar el cierre del ciclo de los materiales, lo cual es conocido como el paso del modelo lineal de cuna-tumba al cuna-

cuna. En el primer modelo se extraen recursos naturales, se fabrica el producto, se utiliza y al término de su vida útil llega a un vertedero o relleno sanitario. En el segundo se propone el cierre del ciclo, es decir que los residuos minimizados, reciclados o reutilizados en otros procesos.

En resumen, las Jerarquías de gestión de residuos se basan principalmente en las acciones de Reducir, Reutilizar y Reciclar. Sin embargo, ha sido observado por investigadores que adoptar el Reciclaje y la Reutilización sin un plan adecuado puede generar los beneficios ambientales y sociales esperados, pero puede no producir beneficios económicos para la empresa [13].

2.4.2 Planes de Gestión de RC&D

Distintos autores han investigado y realizado propuestas acerca de Planes de Gestión de RC&D, cada uno con su punto de vista y su propio enfoque. McGrath (2001) [44] propuso el SMARTWaste (de su nombre en inglés Site Methodology to Audit Reduce and Target Waste), cuyo propósito es la identificación de fuentes de generación de RC&D y la cuantificación de las cantidades generadas. El principio de este sistema es aumentar la recuperación de materiales para reutilizar y reducir la generación de residuos en sitios futuros mediante la utilización de los residuos auditados como punto de referencia para el control de desperdicios (Shen et al., 2004) [24].

Chen et al. (2002) [45] presentan un programa de recompensas (IRP de su nombre en inglés Incentive Reward Program). Se basa en un sistema de código de barras para cuantificar, en tiempo real, el intercambio de materiales entre el almacén y las cuadrillas y de esta manera evaluar el nivel de utilización de los materiales y recompensar a los trabajadores de acuerdo con las cantidades y valores de los materiales que han ahorrado en sus operaciones.

Autores como Poon et al. (2001) [32], Wang et al.(2010) [14] y Yuan et al. [13] han realizado estudios y planes de gestión de residuos con el foco de la separación de residuos en obra.

El estudio de Poon et al. (2001) realizado en Hong Kong reveló que, si bien la separación en obra era deseable, los trabajadores eran reacios a tomar el tiempo extra para completar la separación [32]. Como la participación de los trabajadores es necesaria para que la separación en obra sea efectiva, es de gran importancia la capacitación de los trabajadores [32].

Wang et al. (2010) concluyó a partir de su estudio realizado en China que los principales beneficios de la separación en obra son los siguientes [14]:

- Incremento de la reutilización y el reciclaje
- Reducción de los costos de transporte y disposición final
- Se prolonga la vida útil de los rellenos sanitarios por recepción de residuos de la construcción
- Disminución de la contaminación resultante de los residuos de la construcción

Del estudio también se pudo identificar 6 factores críticos para el éxito de la separación en obra de los residuos [14]:

- Mano de obra
- Mercado para los materiales reciclables
- Residuos separables
- Mejor gestión
- Espacio en obra
- Equipos para separar los residuos de construcción

A comienzos del 2013 Yuan et al. analizaron la evolución de la separación en obra en Hong Kong durante la última década [13]. Buscaron los factores que se habían identificado anteriormente como las mayores debilidades de la separación en obra y se sorprendieron gratamente de que la mayor parte de estos factores ya no implicaban una limitación para el éxito. La única limitación aun existente fue el espacio disponible en obra. En el estudio se identificaron como los factores más críticos la limitación en la gestión y la actitud de todos los actores involucrados en la obra de construcción

(contratistas, supervisores, administrador, etc.) hacia el plan de gestión de residuos [13].

2.4.3 Estadísticas de la valorización de residuos

La generación de residuos y su gestión son aspectos importantes para el desarrollo sustentable de cualquier país. La valorización es una alternativa de gestión de residuos, la cual facilita la disminución de residuos cuyo destino es la disposición final y evita la reutilización de materias primas, reduciendo así las emisiones de gases contaminantes [1].

En el caso de la Unión Europea, en promedio cada vez una mayor cantidad de residuos son reciclados y cada vez menos es enviado a rellenos vertederos. Para los desechos municipales, el porcentaje de residuos reciclados y compostados del UE-27 se incrementó de 31% el 2004 a 41% el 2012 [46].

A pesar de estos altos índices, existe una gran discrepancia entre países. Por ejemplo, países como Alemania, Suecia y Suiza envían menos del 2% de sus residuos municipales a vertederos, mientras que, en Croacia, Latvia, y Malta envían más del 90% [46]. La mayoría de los países con bajos índices de envío de residuos municipales a vertederos tienen altos índices de reciclaje e incineración, ambos sobre el 30% del total de sus residuos municipales [46] como es el caso de Alemania (64 %), Austria (59 %) y Suiza (57 %) según se observa en Figura 2.4-2.

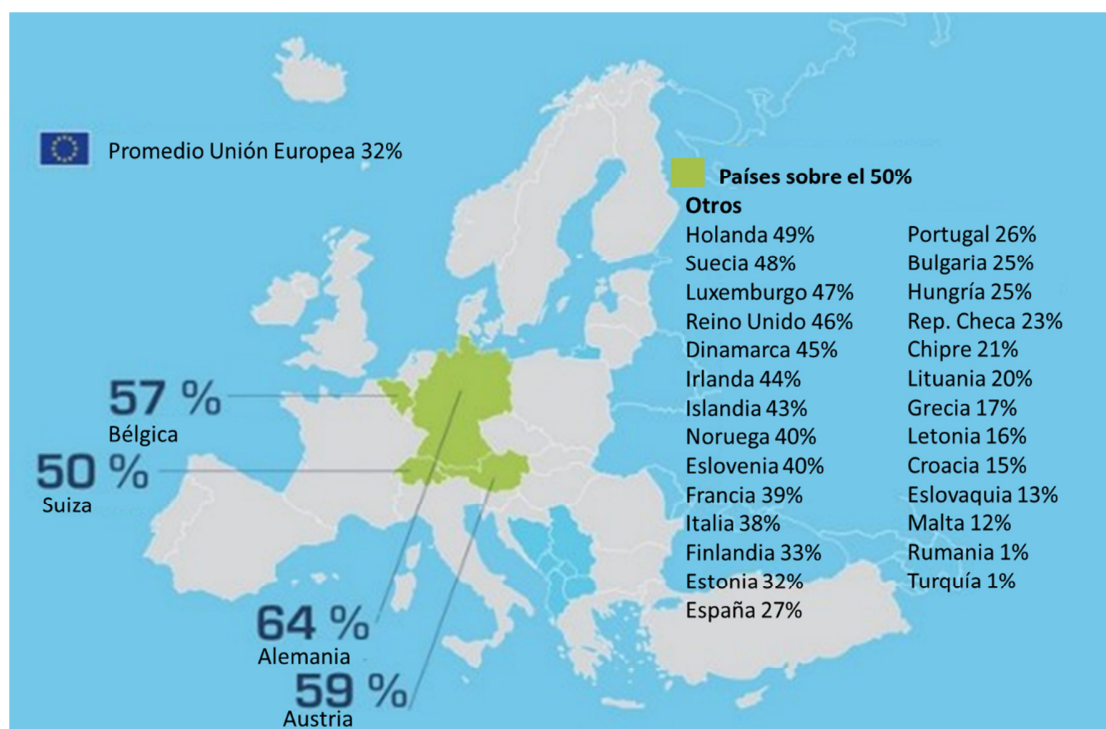


Figura 2.4-2 Países con mayor índice de reciclaje de residuos municipales en Europa

Fuente: EuroStat 2012, EEA, European Comission

En Chile las instalaciones de valorización son de tres tipos: reciclaje, compostaje y co-incineración. En promedio, el reciclaje aporta con un 80% de las instalaciones de valorización, mientras que el compostaje lo hace con el 14% y la co-incineración con el 6 %.

El país ha visto un aumento de las entidades dedicadas a la valorización de residuos, en particular de las plantas de reciclaje. Se puede observar en la figura Figura 2.4-2 que el número de instalaciones dedicadas a la valorización de residuos ha crecido de 33 instalaciones que operaban el año 2000 a 137 el año 2009, es decir, un aumento global del 315% [1].

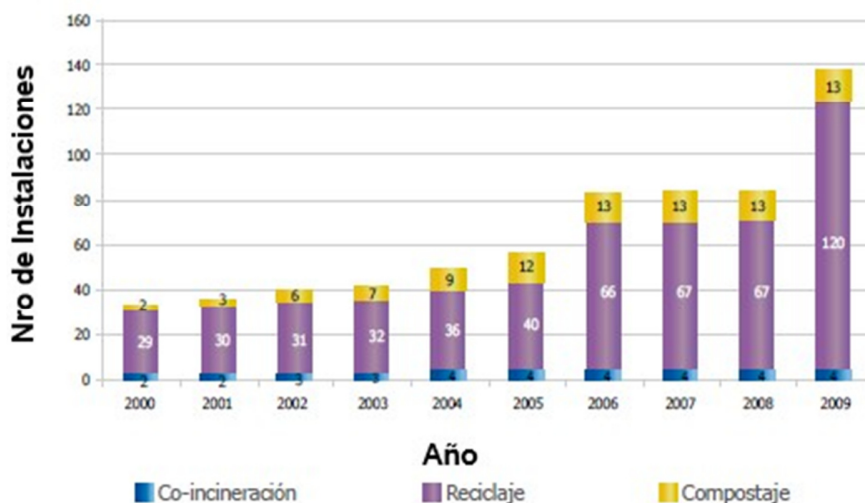


Figura 2.4-3 N° de instalaciones de valorización en Chile

Fuente: CONAMA

El aumento más significativo entre las diferentes instalaciones de valorización corresponde a las plantas de reciclaje con un crecimiento del 313% en el período (29 plantas el año 2000 y 120 plantas al año 2009).

Entre los años 2008 y 2009 ocurre el mayor crecimiento, instalándose 53 nuevas plantas. Tanto las plantas de compostaje como de co-incineración han mantenido un número constante de establecimientos desde los años 2004 y 2006, respectivamente (13 plantas de compostaje y 4 plantas de co-incineración) [1].

En la Figura 2.4-4 se puede observar los residuos con mayor tasa de valorización en Chile en el año 2009. Se observa que la chatarra o metal ferroso presenta la mayor tasa de valorización, con un valor estimado de 82 %, seguido por el aceite usado con 55 %, papel y cartón 41 %, aluminio 40% y vidrio 29 %. Otros metales no ferrosos, residuos orgánicos, plásticos y tetrapacks presentan tasas de valorización menores al 10 %.

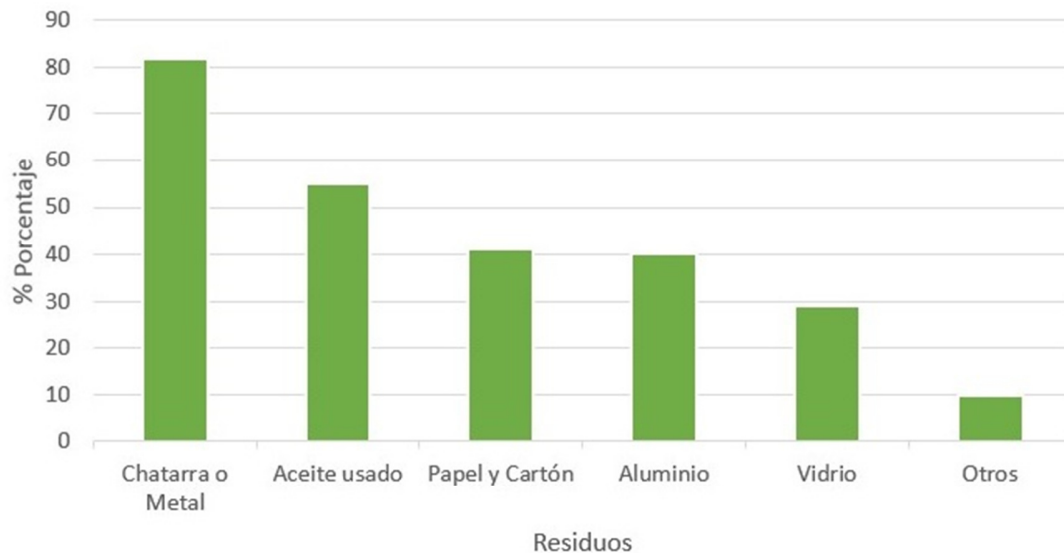


Figura 2.4-4 Tasa de valorización por tipo de residuo, 2009

Fuente: CONAMA, 2010

2.5 La influencia de la capacitación en la producción

Swanson y Holton [47] definen capacitación como el proceso de sistemáticamente desarrollar conocimiento y experticia relacionada al trabajo en personas, para mejorar su desempeño.

Con respecto a esto, un esfuerzo de capacitación y desarrollo puede estar diseñando para incrementar la conciencia individual, competencias, habilidades y motivación para desarrollar su trabajo bien. La capacitación debe convertirse en una función principal y parte integral de cualquier dirección estratégica de una organización [48].

En la literatura también se habla de Desarrollo de Recursos Humanos (DRH), y tiene una definición similar a la de capacitación. En la década de 1980 la American Society for Training and Development (ASTD) definió el DRH como el proceso de mejorar la habilidad de los Recursos Humanos a través del desarrollo y un proceso de añadir valor a los individuos, equipos y organización como a un sistema humano [49], [32] en

esta definición el DRH se preocupa de las capacidades de los individuos no solo con sus trabajos sino en relación a la organización general y su desarrollo.

La importancia de involucrar los Recursos Humanos en el desarrollo, planeación e implementación de competencias estratégicas ha sido enfatizada por los investigadores [48]. En ese sentido, las capacitaciones tienen un rol importante en la formación de los trabajadores.

2.5.1 *Capacitación en la construcción*

La mayor cantidad de acciones que se proponen en la literatura están enfocadas a solo dos etapas del ciclo de vida de un proyecto, diseño y construcción. La influencia de la capacitación de los trabajadores, de todos los niveles en la obra, en la etapa de construcción ha sido reportada por diversos autores.

Las capacitaciones en el trabajo (On-the Job Training,OJT) son el método más comúnmente utilizado en el desarrollo de los trabajadores en todos los niveles, particularmente en la construcción [48]. Este método puede ser aplicado para el aprendizaje de habilidades técnicas de construcción.

Cuadro 2.5-1 Fuente: Training, motivation and performance: The case of human resource management in construction projects in Mashad, Iran [55]

	Off the Job	On the Job
Énfasis	Aprender hechos básicos y habilidades	Hacer el trabajo
Meta	"Saber"	Desarrollar "Buenas prácticas"
Conocimiento	Estático, Descontextualizado, General	Dinámico, Orientado a la práctica
Tópicos/Problemas	Dado por currículum	Surge de la situación de trabajo
Alcance del aprendizaje	Primariamente individual	Individual, Grupal, Organización

Las capacitaciones fuera del trabajo (Off-the Job Training) pueden ser utilizadas por los administradores o jefes para capacitar a sus empleados. Los métodos más populares son las clases, los videos y la simulación de ejercicios. Las clases son apropiadas para entregar un conocimiento particular o alguna información; Los videos se utilizan para mostrar explícitamente habilidades técnicas y vocacionales; La

simulación de ejercicios recrea los ciclos reales de trabajo y se usan para evaluar las capacidades necesarias para realizar correctamente una tarea [48].

Los problemas principales encontrados en el estudio de Akhavan Thabassi et al. [48] respecto a la capacitación de los trabajadores en la construcción son: el bajo nivel de educación, bajos salarios, problemas familiares y falta de motivación provocada por las anteriores.

Gonzalez et. al [50] en su estudio realiza una capacitación en terreno y evalúa sus resultados. De este estudio se desprende la importancia de la utilización de recursos didácticos con los trabajadores, como por ejemplo gráficos explicativos, los cuales resultan fundamentales ya que la mayoría de los operarios poseen bajo nivel educativo y por tanto las informaciones deben ser simples y directas.

Entre las recomendaciones que entrega Gonzalez et. al [50], se encuentran la realización de la capacitación en las primeras horas de la mañana (antes de comenzar el trabajo), ya que en dicho lapso los trabajadores se encuentran descansados, sin preocupaciones por perder el medio de transporte o apuro por regresar a sus domicilios.

Durante dicho experimento las horas semanales de capacitación fueron contabilizadas como horas laborales recibiendo por tanto remuneración. Esto es una forma de motivarlos ya que la empresa se preocupa por su formación profesional y necesidades. Al término de la capacitación y posterior evaluación, tuvo lugar la certificación de los operarios. En tal sentido, se menciona que este acto es de importancia fundamental para el operario, ya que la mayoría de ellos, al no contar con la posibilidad de acceder a la educación formal, no han recibido nunca ningún tipo de certificado. De ahí que la entrega de los certificados sirviera para aumentar la autoestima de los mismos [50].

3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La construcción no es, por naturaleza, una actividad respetuosa con el medio ambiente (Tam y Le, 2009; Tam y Tam, 2006; Shen y Tam, 2002) y son diversas las investigaciones que sugieren que es de las actividades que más contribuyen a la contaminación ambiental (Shen y Tam, 2002).

En el caso de Chile, la generación de residuos industriales pasó de 6.8 millones de toneladas generadas el año 2000 a 10.4 millones de toneladas el año 2009, lo que significó un incremento de 52.94% durante dicha década (CONAMA, 2010). En ese mismo período, la construcción tuvo un incremento en la generación de residuos de un 72 %, pasando de 3.38 a 5.82 millones de toneladas generadas el año 2009, y representó un 56% de los residuos totales generados ese año.

Una enorme proporción estos materiales utilizados en la construcción se están convirtiendo en un enorme depósito y, a su vez, en un problema de extremadamente difícil eliminación para las generaciones futuras (Kibert, 2007). Un ejemplo de esto es que el año 2008 se identificaron en Valparaíso 84 microbasurales principalmente en sus quebradas.

No solo se existe el problema del gran volumen de residuos generados sino también el de su disposición final. Por estas razones los residuos de la industria de construcción y demolición han sido objeto de varios proyectos de investigación en todo el mundo en los últimos años (Torres et al., 1999) y los resultados han sido ampliamente publicados en revistas internacionales. Muchas de estas investigaciones se han centrado en el reciclaje de los residuos de la construcción, una de ellas es la conducida por Bossnik & Brouwers en la que se estima que entre el 50-80% de tales residuos pueden ser reciclados o reutilizados.

Se ha mencionado la generación de residuos y su gestión en la construcción como desafíos, que en el último tiempo han sido investigados con el objetivo de disminuir la contaminación ambiental. Junto a estos desafíos se presentan barreras que deben ser consideradas al momento de tratar de implementar cambios en los sitios de

construcción. La falta de interés de las constructoras, la legislación, políticas de administración de residuos en el sitio, capacitación y resistencia al cambio son algunas (Osmani et al. 2007).

Quizás, estas barreras se dan porque la construcción se caracteriza por tener una gran inercia al cambio (Martínez, 2003), porque los contratistas perciben altos costos en la implementación, seguido de la falta de directrices e información disponible alrededor del tema, y la falta de herramientas prácticas acerca de planes de gestión de RC&D (Papargyropoulou et al., 2011).

La investigación experimental en la construcción tiene dificultades adicionales a las de la experimentación en laboratorio y que deben ser consideradas por el investigador. La diferencia más relevante son los muchos agentes externos que interfieren con la variable independiente, dificultan las mediciones y pueden afectar la confiabilidad de los valores obtenidos (Bernold & Lee, 2010).

La mayoría de las instalaciones de reprocesamiento de residuos prefieren aceptar altos volúmenes de materiales previamente separados (separados en el sitio de construcción), con bajo porcentaje de residuos mixtos. Además, en países como Australia, las cargas de residuos previamente separados generalmente incurren en menores tarifas que las cargas con residuos mixtos, generando incentivos para implementar estas prácticas (Hyder Consulting, 2011).

Sin embargo, Yuan, Lu & Yianli 2013 indican que existen debilidades que se deben considerar a la hora de implementar la separación de residuos dentro de sitios de construcción. Entre ellos se encuentran el limitado espacio disponible, la falta de voluntad inicial de implementar la separación de residuos por parte de los trabajadores y los que han sido identificados como los factores más críticos: el esfuerzo y la actitud de las partes involucradas (constructora, contratistas, jornales, etc.).

3.1 Planteamiento de hipótesis

Las Hipótesis generadas a partir de la revisión del Estado del Arte y la Definición del Problema son:

- El 90% de un material se va a reciclar implementando medidas de Gestión y/o Tecnología en una obra de construcción de la región de Valparaíso.
- Es posible reducir los costos de retiro de residuos generados en obra, mediante la adecuada separación de estos.

4 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

4.1 Bases de diseño del experimento

Diversos factores influyen en la productividad dentro de los sitios de construcción, entre las que se pueden mencionar la calidad de las herramientas, la disponibilidad de información actualizada y una planificación detallada. Es función del Administrador de Obra gestionar de manera correcta los escasos recursos con tal de alcanzar los objetivos del proyecto de manera eficiente.

La Figura 4.1-1 presenta un modelo que identifica los aspectos críticos en los Procesos de la Construcción.

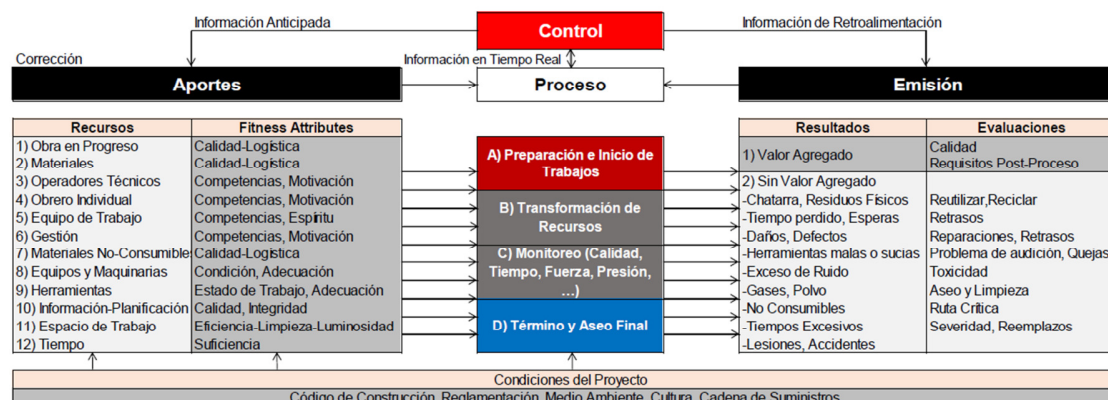


Figura 4.1-1 Modelo del Proceso de Construcción (Fuente: Bernold 2010)

En la Figura 4.1-1 se presenta un modelo tipo Input/Output (I/O) donde se observa que los Inputs (Entradas) pasan por un Proceso y se obtienen Outputs (Salidas). Tanto los Inputs como los Procesos se ven afectados a las Condiciones del Proyecto como se observa en Figura 4.1-1, las cuales pueden ser normas de construcción, regulaciones, cultura, cadena de suministros y el ambiente entre otros. Del modelo también se desprende que los procesos de Control pueden aplicarse a los Inputs (Información anticipada o Feed-Forward), el Proceso (Información en tiempo real) o los Outputs (Retroalimentación o Feed-Back).

El experimento se focalizará en la observación de los tipos de residuos y las cantidades generadas en el sitio estudiado. A partir de estas mediciones se elaborará un Diagrama Espina de Pescado (Causa-Efecto), el cual será la base para introducir un cambio en el proceso.

De acuerdo con el Modelo presentado en la Figura 4.1-1 las observaciones y mediciones se focalizarán en los *Resultados Sin Valor Agregado* del proceso de construcción. El análisis de estos datos y el diagrama espina de pescado corresponden a la *Información de Retroalimentación* señalada en el modelo, mientras que el *Control* presentado en el modelo se ve reflejado en el cambio en el proceso que será implementado.

4.2 Sitio de construcción propuesto para el testeo en terreno del modelo

La obra de construcción donde es realizado el estudio es el Edificio Reñacamar, ubicada en calle Eluchans 1805, Viña del Mar como se puede ver en la Figura 4.2-1. Esta construcción es una torre habitacional que consta de 27 pisos, de los cuales 23 son de departamentos, 2 corresponden a áreas comunes y uno a la sala de máquinas.

Cada piso cuenta con cuatro departamentos, que van de los 59,1[m²] en el departamento tipo 1 de un dormitorio y un baño, hasta los 169,3[m²] en el departamento tipo 4 que cuenta con cuatro dormitorios y cuatro baños. Las áreas comunes con las que cuenta el edificio son: Piscina exterior, piscina temperada, sauna, gimnasio, camarines, sala de cine, sala de pool, salón de eventos, quinchos, lavandería y mirador entre otros.

El acceso principal a la obra es por calle Las Agatas, y es utilizada por el personal, los camiones mixer, la bomba de hormigón, etc. Existe otro punto de acceso por Av. Eluchans, el cual es utilizado para ingresar a la obra materiales como los sacos de estuco, de yeso, planchas de yeso-cartón, cerámicos y en general materiales que llegan en pallets y que pueden ser ingresados con la grúa. Los camiones con los materiales en este caso se estacionan paralelamente a la avenida y la grúa traslada los pallets con los materiales al patio del piso -2.

Respecto a la disponibilidad de energía y servicios, la obra cuenta con todos lo necesario para la realización tanto de las labores en terreno como de administrativas. Cuenta con electricidad, agua potable y acceso a internet. Los jornales y contratistas cuentan con comedores y camarines, además de tener un baño químico para los trabajos en la torre. El sector de las oficinas cuenta también con baños (para hombres y mujeres) y un comedor para el uso de los supervisores y empleados de la oficina técnica.

La constructora INPROMEC S.A. (parte del grupo DHELOS) está a cargo de la construcción del proyecto. El inicio de las obras fue el 14 de julio del 2014 y tiene como plazo según la carta Gantt 810 días corridos, terminando teóricamente el día 30 de septiembre del 2016.



Figura 4.2-1 Foto satelital de la ubicación del edificio Reñacamar

4.3 Diseño del experimento

En los sitios de construcción chilenos, la gestión de residuos consiste normalmente solo en el envío de estos a vertederos autorizados, y la obra en donde se realizará el experimento también trabaja de esta manera.

El trabajo de investigación consiste en un experimento comparativo entre dos situaciones: la situación original o inicial de la obra, donde los residuos son desechados; y la situación post-cambio, en la cual se implementarán medidas de gestión y/o tecnologías innovadoras que permitan el reciclaje de una fracción de los residuos sólidos de la obra. La metodología que seguir puede observarse en la Figura 4.3-1, y tiene como primera etapa la observación de los Residuos Sólidos de Construcción (RSC) que se producen en la obra. Estas tienen como objeto identificar los tipos de RSC producidos, cantidades (volúmenes) y causas.

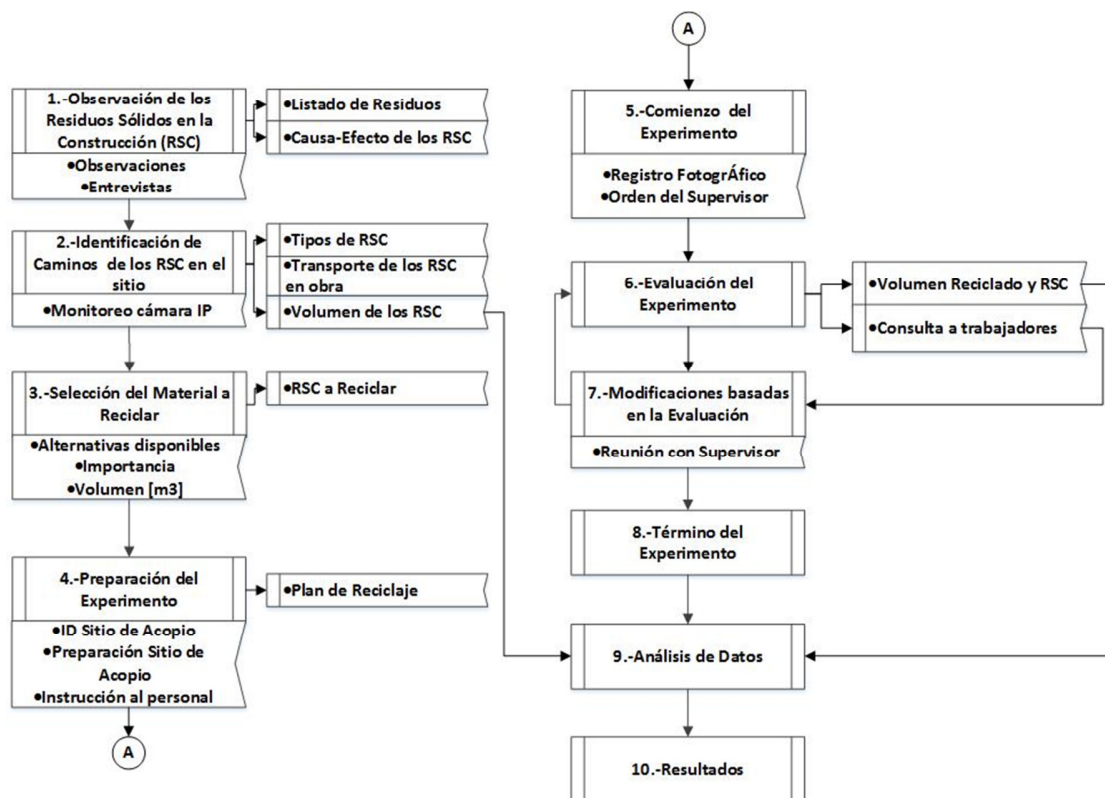


Figura 4.3-1 Diagrama de bloques del experimento

En la segunda fase del experimento se selecciona un material para ser acopiado dentro de la obra y posteriormente reciclado, esta selección es en base a criterios de importancia dentro de la obra y la disponibilidad de empresas en la V región para su reciclaje. Durante esta etapa se realiza un control del material acopiado, midiendo su

volumen periódicamente y además se registran las diferencias entre la ejecución y el plan, las cuales serán comunicadas al supervisor correspondiente, a los trabajadores de manera de corregir estas diferencias.

Finalmente se realiza el análisis de los datos obtenidos y la entrega de resultados.

5 IMPLEMENTACIÓN DEL EXPERIMENTO

El capítulo 4 introdujo la Metodología de investigación del experimento, describiendo las bases de diseño, la obra en la cual se realizará el experimento y finalmente el diseño de este. En este capítulo se describe la implementación del experimento de acuerdo con las etapas señaladas en la Figura 4.3-1.

5.1 *Observación de los RSC en la construcción*

Durante un mes se realizaron observaciones periódicas de la Zona de residuos con el objeto de identificar los Residuos Sólidos de Construcción (RSC) producidos en el sitio. Estas observaciones corresponden a inspecciones visuales, en las cuales se registran los materiales depositados en la Zona de residuos y las cantidades producidas. Como complemento de las observaciones se realizaron entrevistas a los supervisores y jornales de manera de obtener información acerca del origen de cada uno de los RSC.

Las observaciones de los Residuos sólidos de la construcción comienzan en la Zona de Residuos de la obra, la cual se ubica junto a la entrada principal de manera de facilitar el retiro por parte de la empresa a cargo. Como se observa en la Figura 5.1-1 el espacio se divide en dos zonas, la primera correspondiente a los despuntes de las barras de acero (en color rojo) y la segunda correspondiente a los residuos mixtos (en color verde).



Figura 5.1-1 Zona de Residuos

Nota: En la Figura 5.1-1 se observa al Rigger¹ de la obra esperando el llenado de la cuna.

La zona de los despuntes de barras de acero tiene un área aproximada de 3 [m²] y se encuentra ubicada detrás del acopio de los residuos mixtos. Este lugar está delimitado solamente por unas placas de madera de altura 50 [cm] que evitan que las barras estorben el paso hacia la grúa. La Zona de los Residuos Mixtos (ZRM) es aproximadamente rectangular, con una superficie de 15 [m²] y está delimitada por postes de madera de dos metros de altura y malla raschel entre ellos. Por último, se debe señalar que la frecuencia de retiro de los Residuos Mixtos aumentó conforme se avanzaba en las etapas de la obra, pasando del retiro de 7 [m³] cada dos días cuando solo se realizaban trabajos de Obra gruesa, a prácticamente 10 [m³] diarios ya en la etapa de terminaciones finas en algunos pisos y aun faltando la construcción de los últimos niveles de la torre.

¹ Rigger: O Señalero en español (también se le conoce informalmente como *Loro* o *Sapo* en la jerga de la construcción), es el trabajador de la construcción encargado de dirigir los movimientos de la grúa desde tierra, a través de instrucciones enviadas por radio al operador de la grúa. También es el encargado de asegurar la carga que será izada por la grúa.

5.1.1 Listado de residuos

Los materiales observados en la Zona de Residuos son distintos en peso, volumen, formato de arribo (sacos, cajas, tambores, etc.) y potencial de reciclabilidad entre otras características. Mediante observaciones de la Zona de residuos fue posible identificar los materiales utilizados en la obra que terminan como residuos, y que se indican en la Tabla 5.1-1.

Tabla 5.1-1 Tabla de Residuos

Indicador	Residuo	Etapas de Mayor Generación
A	Hormigón	OGT
B	Tierra	FP
C	Madera sin tratar	OGT-OGE
D	Huinchas Yeso-Cartón	TGT
E	Estuco	TGT
F	Yeso	TGT
G	Cajas de cartón	TFT
H	Madera tratada	TGT
I	Cartón corrugado	TGT
J	Tuberías PVC y PEX	OGT-I
K	Montantes de A.G.	TGT
L	Revestimientos	TGT
M	Pallets de madera	TGT
N	Contenedores plásticos	TGT
O	Papel	TGT
P	Film Plástico	TFT
Q	Despantes de Acero	OGT-OGE

Donde:

FP	: Faenas Previas	TFT	: Terminaciones Finas Torre
OGT	: Obra Gruesa Torre	I	: Instalaciones
OGE	: Obra Gruesa Estacionamiento	ECT	: Espacios Comunes Torre
TGT	: Terminaciones Gruesas Torre	F	: Fachada
TGE	: Terminaciones Gruesas Estacionamientos	OE	: Obras Exteriores

Como se observa en la Tabla 5.1-1, la mayor parte de los tipos de residuos provienen de trabajos de Terminaciones gruesas y finas (TGT y TFT). Residuos como las huinchas de yeso-cartón, estuco, yeso y madera tratada entre otros provienen de los trabajos de Terminaciones gruesas mientras que el Hormigón, madera sin tratar y despuntes de acero provienen de trabajos de Obra gruesa.

En el siguiente capítulo se presenta una descripción de cada uno de los residuos observados y las causas que los provocan.

5.1.2 Causa-Efecto de los RSC

En la Tabla 5.1-1 se enumeran los principales materiales observados en la Zona de Residuos y la etapa en la cual se generan. Lo observado en la Zona de Residuos es el efecto, el resultado o producto no deseado de algún proceso. Para proponer un cambio que contribuya a su disminución, se deben conocer las causas que provocan dichos efectos.

Mediante observaciones de las tareas ejecutadas en obra, se identifican las principales causas que provocan la generación de residuos sólidos. Estas observaciones se complementan con información obtenida de entrevistas a jornales y supervisores de la obra, de esta manera se logra un mejor entendimiento de los procesos y la generación de los residuos identificados y enumerados en la Tabla 5.1-1.

A continuación, se presenta una descripción para cada material, donde se profundiza en sus características, las tareas donde son utilizados y las causas que generan sus residuos.

- A) Hormigón:** El hormigón es el material que mayor volumen de residuos produce y lo hace principalmente en la etapa de Obra Gruesa, tanto en la torre como en los estacionamientos. El hormigón como residuo se presenta de dos formas: como escombros y fresco. El primero se produce en el proceso de hormigonado de elevaciones, ya que, para preparar la superficie a hormigonar, esta debe ser picada con un martillo demoledor, de manera de lograr una macrotextura adecuada en la losa que permita la máxima adherencia con el hormigón de las

elevaciones. El hormigón picado es soplado, barrido y paleado para luego ser depositado en un capacho, el cual traslada el escombros hasta la Zona de Residuos. Otra manera en la cual se produce el escombros de hormigón es en instancias donde se ha cometido algún error, siendo uno típico la incorrecta instalación de los centros de las luminarias, el cual se debe a que estas son ubicadas cuando aún se realizan los trabajos de instalación sanitaria y de armadura de la losa (antes del hormigonado de la losa), usualmente desplazando la instalación eléctrica de su posición original. El escombros de hormigón se produce cuando se pica la zona del centro de la luminaria para reubicarla en la posición correcta.

Otra causa de la generación de residuo de hormigón es el exceso de hormigón fresco de los camiones mixer. La razón principal de que se produzca este exceso de hormigón es que los capataces acostumbran solicitar un porcentaje mayor de hormigón en caso de imprevistos. Este exceso es vertido en la Zona de Residuos, ya sea desde el capacho cuando se trata de hormigonado de elevaciones, desde la bomba cuando se trata del hormigonado de losa o directamente desde el camión mixer.

En resumen, las causas del hormigón como residuo (Figura 5.1-2) son, para el primer caso, el picado de una superficie de hormigón y para el segundo caso el excedente proveniente de los camiones mixer.

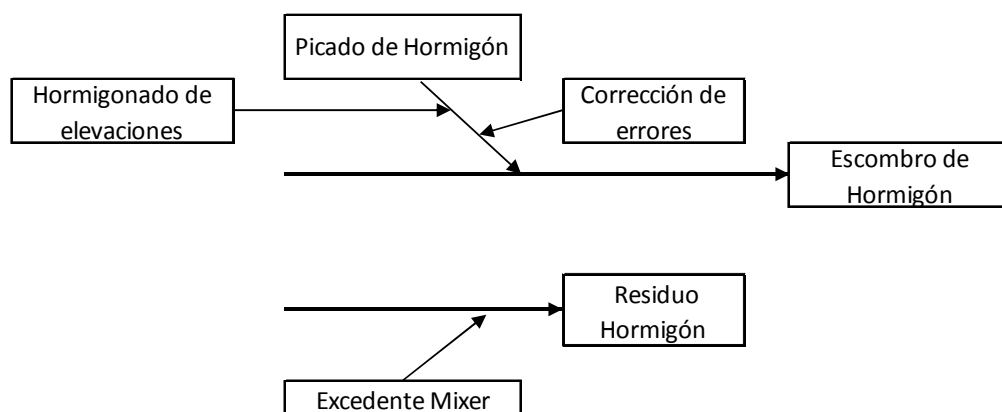


Figura 5.1-2 Causas del residuo de Hormigón

B) Madera no tratada: Este residuo se produce mayormente en la etapa de Obra Gruesa tanto en la torre como en los estacionamientos. Se utiliza en carpintería, principalmente en la fabricación de moldaje para vigas, muros, escaleras y zapatas.

Se utilizan moldajes de madera porque los de acero tienen dimensiones estándar que no siempre coinciden con las de los elementos a hormigonar. Sin embargo, los moldajes de madera solo pueden ser utilizados una cantidad muy limitada de veces, ya que durante el descimbrado se dañan y es entonces cuando se convierten en residuos.

En el caso de las escaleras y las losas se utilizan planchas marca Rhinoply, que son un tipo de plancha de madera contrachapada altamente resistente y con una superficie que evita la adhesión del hormigón.



Figura 5.1-3 Utilización de moldaje de madera en hormigonado de zapatas

En las actividades relacionadas a la construcción del subterráneo los moldajes de zapatas (Figura 5.1-3) y vigas son de madera y hechos por los carpinteros en la misma obra. La cantidad de madera utilizada en el subterráneo es mayor que la utilizada en la torre para cada elemento.

Se debe señalar que cuando la madera es utilizada como moldaje presenta contaminación por hormigón, lo que dificultaría el reciclaje del material.

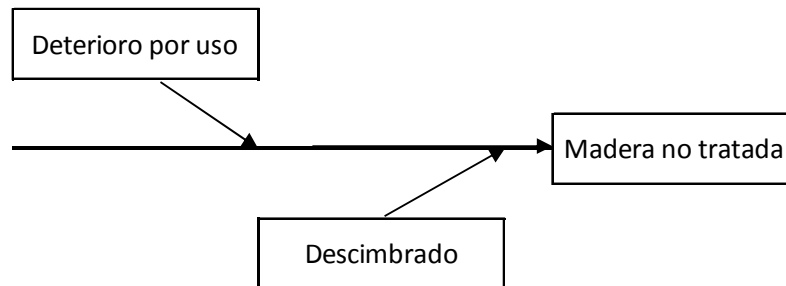


Figura 5.1-4 Causas del residuo de la madera no tratada

C) Huinchas de Yeso-Cartón: Las planchas de yeso-cartón se utilizan en la etapa de Terminaciones Gruesas, en la actividad de tabiquería. Están compuestas por un núcleo de yeso y aditivos especiales, y revestida en ambas caras por cartón de alta resistencia. En los departamentos son utilizados dos tipos de planchas: las resistentes a la humedad, utilizadas en zonas húmedas del departamento (cocina, baños y shafts) y las planchas estándar, que se utilizan en el resto del departamento.

El residuo de las planchas son las huinchas de yeso-cartón y se generan por la diferencia entre las dimensiones de fabricación de las planchas y las dimensiones requeridas para los tabiques. Considerando los tamaños estándar de las planchas al momento de diseñar la tabiquería o mejorando la planificación de los cortes en las planchas se podría reducir la cantidad de residuo generado.

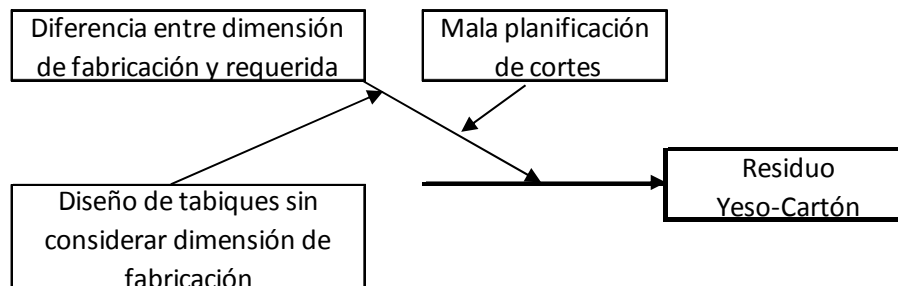


Figura 5.1-5 Causas del residuo de yeso-cartón

Este residuo se puede considerar “crónico” en la obra, debido a que las causas que lo producen se repiten en cada piso de la torre.

D) Estuco: Su residuo se produce en la etapa de Terminaciones Gruesas durante las actividades de estucado de rasgos, paso de barco y departamentos. Este residuo es de tipo escombros.

La principal causa está relacionada con la experiencia del maestro estucador, ya que de él depende el rendimiento de los sacos de estuco y puente de adherencia. Si no tiene la experiencia suficiente, fabricará más mezcla de la necesaria y por tanto lo no utilizado se perderá, esto significa que se secará y se producirá el escombros de estuco o puente de adherencia. Otra pérdida que se produce es inherente al método de trabajo, ya que, para el estucado de muros, el estuco se pone en la espátula y se arroja hacia el muro para lograr una mejor adherencia. En este proceso normalmente se pierde una fracción al caer de la espátula.

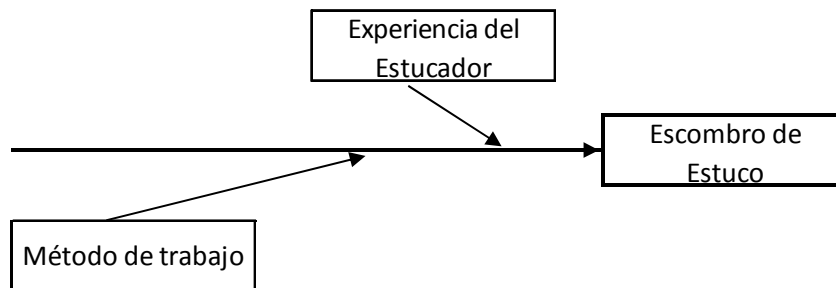


Figura 5.1-6 Causas del residuo de estuco

Se debe mencionar también que el escombro de estuco al secarse y ser manipulado, se pulveriza y genera material particulado que es dañino para el sistema respiratorio.

- E) Yeso:** Muy similar al caso del estuco. Este material se genera como residuo en la etapa de Terminaciones Gruesas durante las actividades de aplicación del puente de adherencia, enyesado de muros, fajeado de muros, enyesado de pasillos y enlucido con yeso de cielos. La forma de estos residuos es mayoritariamente escombro sólido, el cual es el sobrante de la mezcla utilizada. Residuos paralelos producidos son el saco de nylon del yeso, el saco de papel del puente de adherencia y el material particulado que se levanta producto la pulverización de los escombros al secarse y ser manipulados. Las causas son las mismas que para el caso del estuco.



Figura 5.1-7 Saco de nylon utilizado como bolsa se basura para escombros

Se debe señalar que el saco de nylon es utilizado como bolsa de basura para los escombros (Figura 5.1-7). Estos son barridos y luego paleados para llenar los sacos. Estos sacos finalmente son depositados en el balcón del departamento a la espera de ser retirados por la cuna, la que los traslada a la Zona de Residuos.

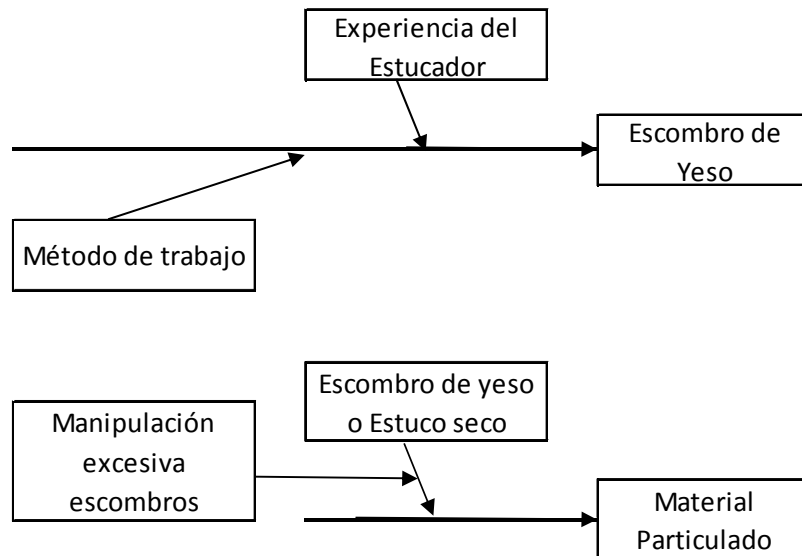


Figura 5.1-8 Causas del residuo de yeso

F) Cajas de cartón: Este material aparece como residuo principalmente en las etapas de Terminaciones finas. Las actividades donde aparece son en las instalaciones de artefactos y griferías, cerámicos y porcelanatos y pavimentos interiores entre otras. Muchos materiales y artefactos que llegan a la obra lo hacen en cajas de cartón. La diferencia de las cajas de cartón con los residuos anteriores es que no forman parte de ningún proceso. Las cajas cumplen la función de proteger algún producto entre el momento que sale de la fábrica y el momento en que es utilizado. Este material no se involucra directamente en ningún proceso, y existe la oportunidad de reciclarlo si se separa oportunamente para que no sufra daños ni se contamine con otros residuos (mortero y yeso principalmente).

A partir de las observaciones realizadas en obra es que a pesar de que el cartón tiene un mercado consolidado de reciclaje, este es dispuesto junto con otros materiales en la Zona de Residuos.



Figura 5.1-9 Cajas de cartón de tuberías de PVC

Es inevitable que este material sea un residuo en obra, ya que no es posible cambiar el formato de entrega de todos los productos adquiridos.

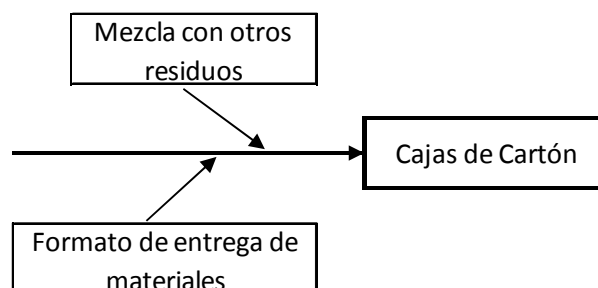


Figura 5.1-10 Causas del residuo de las cajas de cartón

G) Tuberías de PVC y PEX: Son utilizadas en la etapa de Obra Gruesa principalmente, cuando se realiza la instalación eléctrica (PVC), de agua caliente y fría (PEX), sanitaria, calefacción en la losa de avance y las elevaciones.

Durante la etapa de instalaciones en Obra gruesa, para el caso de instalaciones eléctricas, se utilizan *tubos conduit* de 3 [m] los cuales son cortados, pegados o doblados según se necesite. Los residuos se generan

cuando los cortes no son planificados y se utilizan tuberías nuevas en vez de buscar algún recorte que pudiese servir. En la etapa de Terminaciones Gruesas, cuando la ubicación de los tabiques es replanteada para su instalación, frecuentemente pasa que no coincide la instalación hecha en la etapa de Obra Gruesa con el centro del tabique.

Ocurre una situación similar con las tuberías PEX, ya que se producen residuos debido a la combinación de dos factores: El largo de la tubería y la no planificación de los cortes. Si bien los volúmenes de estos residuos son bajos en comparación con otros materiales, es importante evitar que se produzcan ya que en la V región no existen plantas que reciclen el PVC o el PEX.

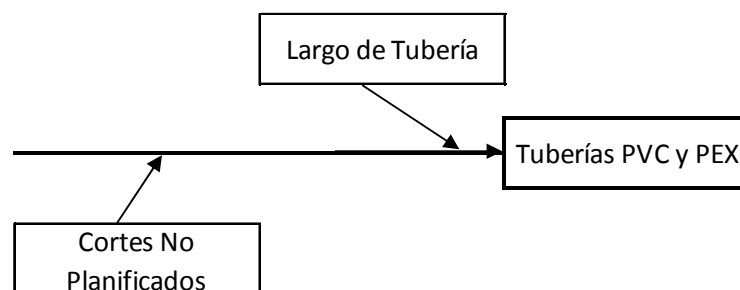


Figura 5.1-11 Causas del residuo de las tuberías de PVC y PEX

H) Madera tratada: Se utiliza en la etapa de Terminaciones gruesas en las tareas de instalación de: centros pintados, centros enchapados, piernas de closet pintadas, pilastras pintadas, pilastras enchapadas, endolados, guardapolvos y cornisas. Los guardapolvos y cornisas llegan a la obra en tiras de tamaño estándar 3 [m], y son dimensionadas en terreno. El caso de este residuo es similar al de las planchas de yeso-cartón ya que, con una mejor planificación de los cortes se reducirían los residuos.

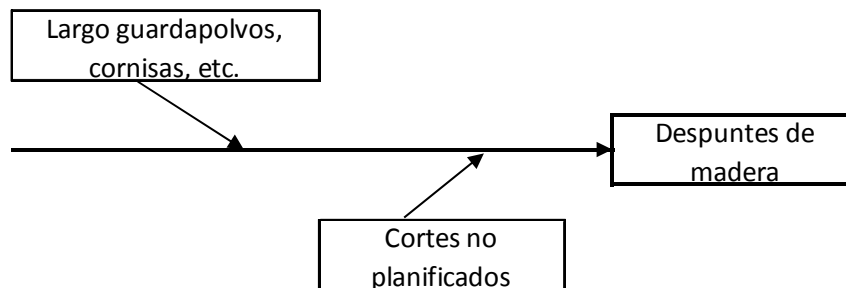


Figura 5.1-12 Causas de residuos de madera tratada

- I) **Montantes de acero galvanizado (Montantes A.G.):** Este material es el desecho proveniente del dimensionado de los tabiques. Los montantes de acero galvanizado (*volcometa*) son parte de la estructura soportante de los paneles de yeso-cartón (Figura 5.1-13). Las tareas donde son utilizados son las mismas que en el caso del yeso-cartón, es decir, tabiquería de departamentos (etapa de Terminaciones gruesas).

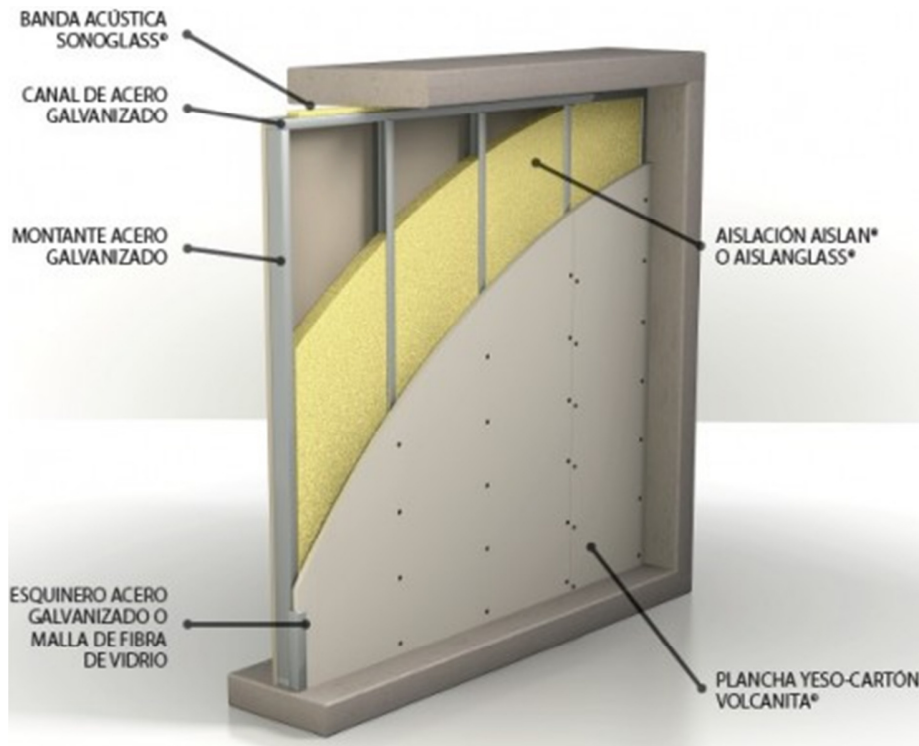


Figura 5.1-13 Esquema tabiquería tipo

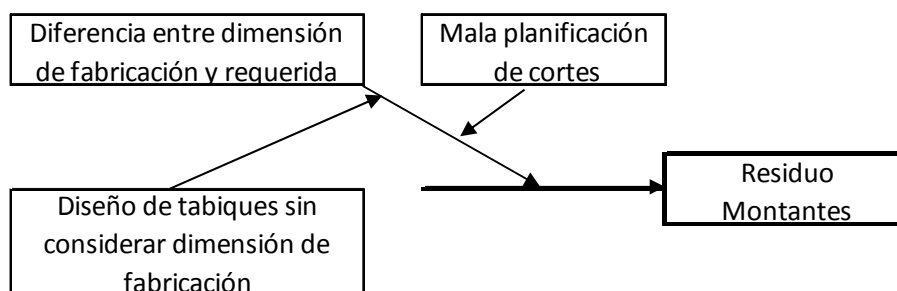


Figura 5.1-14 Causas del residuo de montantes

J) Aislante acústico: El material del aislante acústico es la Espuma de Polietileno Reticulado, la cual es presentada como una lámina de espuma que debe ser colocada entre el hormigón bruto (después de realizada la limpieza) y la sobrelosa. Este material es utilizado en la etapa de sobrelosa interior de departamentos y el residuo corresponde a cortes de la lámina que no pueden

volver a ser utilizados para cubrir la losa en otro departamento. Parte de estos cortes se utilizan en la instalación de maestras.

K) Cerámicos y porcelanatos Estos materiales provienen de las partidas de instalación en cocina, baños y terrazas. Los residuos se deben al dimensionamiento que se debe realizar de la palmeta para que haya un buen calce en bordes y esquinas.

Este material residual es difícil de dimensionar fuera de la obra, por lo cual una mejora de los cortes en la etapa de diseño es difícil de implementar. La principal causa de los residuos producidos son cortes de las palmetas que no pueden ser utilizados en trabajos de instalación.

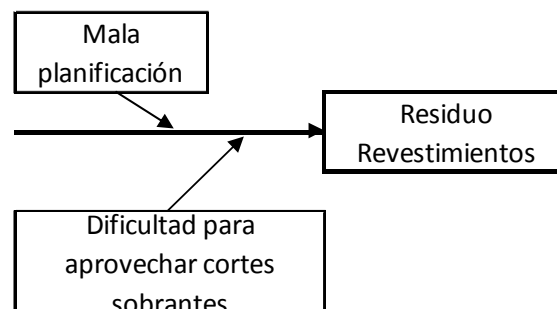


Figura 5.1-15 Causas del residuo de los revestimientos

L) Contenedores plásticos: O tinetas plásticas de polipropileno (PP). En este formato llegan materiales como el yeso, impermeabilizante, pasta muro y pintura entre otros. En una conversación con el maestro a cargo, mencionó que las tinetas son lavadas y guardadas en bodega (cuando no son reutilizadas en la misma obra), la razón es que éstas se venden al término de la obra y el dinero recaudado se utiliza para realizar un asado. Es importante el señalar que el dinero de la venta de las tinetas es utilizado para realizar un asado al final de la obra. Esto es un incentivo a los trabajadores para cuidar las tinetas, lo cual crea un compromiso con la idea de la recuperación del residuo.

M) Pallets de madera: Los pallets de madera son utilizados para apilar los sacos de cemento, mortero y yeso, además de facilitar el traslado con grúa o montacargas. Cuando los pallets se desocupan dentro de la obra, y si se encuentran en buen estado, son devueltos al proveedor para su reutilización. Cuando los pallets de madera que se encuentran en mal estado, estos son desechados y van a vertedero junto con el resto de los Residuos Mixtos. Las causas de que se produzcan residuos de pallets son: la mala calidad de algunos de ellos, la mala manipulación y/o su sobrecarga.

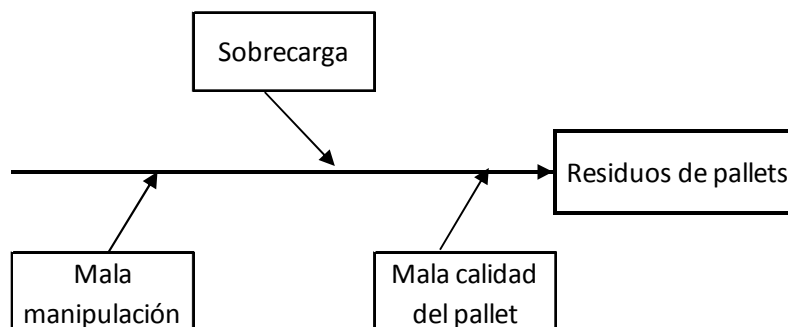


Figura 5.1-16 Causas del residuo de pallets de madera

N) Cartón corrugado: Este material se compra en rollos de 1.2 [m] de ancho y 25 [m] de largo y se utiliza principalmente para proteger el piso al realizar trabajos como el estucado, enyesado, pintado, etc. Por tal razón su mayor uso se da en las etapas de Terminaciones gruesas y Terminaciones finas. Este material se convierte en residuo al ser utilizado para proteger superficies de los escombros, por lo cual se convierte en un material desechable. Se debe evaluar la utilización de una membrana plástica de mayor resistencia que permita un mayor número de usos, en lugar de utilizar cartón corrugado.

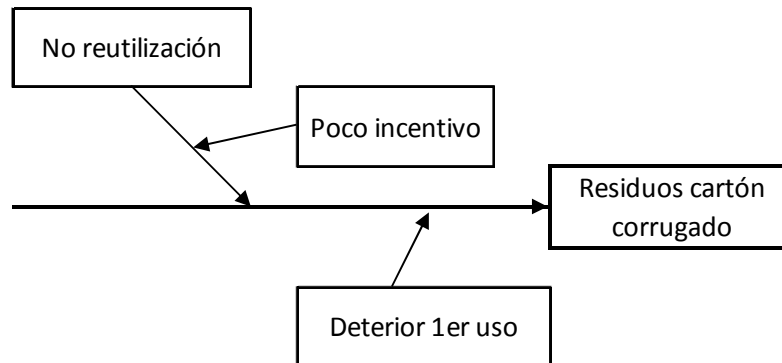


Figura 5.1-17 Causas del residuo de cartón corrugado

- O) Papel:** Materiales como el cemento, puente de adherencia, estuco y adhesivo para cerámicas tienen como formato de entrega los sacos de papel, por lo cual la etapa donde es más importante este residuo es en Terminaciones gruesas. A pesar de que el papel es reciclable, no es conveniente realizar el acopio de estos sacos, y la razón es que la manipulación deja material particulado en suspensión, pudiendo ocasionar problemas respiratorios a los trabajadores, que a largo plazo podrían derivar en Silicosis.

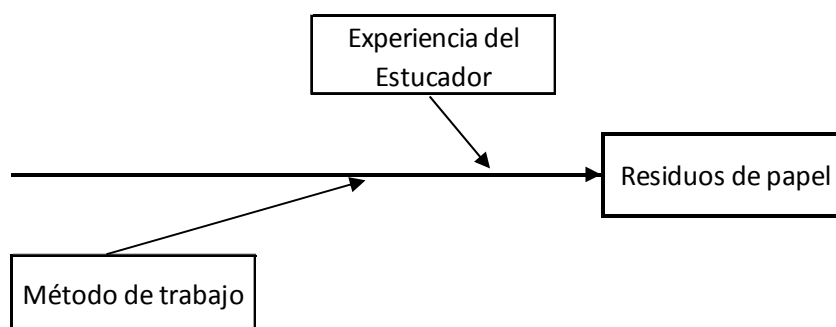


Figura 5.1-18 Causas del residuo de papel

La causa de la aparición de este residuo es el formato de entrega de los materiales antes mencionados. Otro efecto adverso es el material particulado que deja en suspensión la manipulación de este residuo.

- P) Film Plástico:** El film plástico se utiliza para la protección de los muebles, y aparece como residuo en la etapa de Terminaciones finas. La cantidad generada es baja pero ambientalmente es problemática ya que su tiempo de degradación es muy alto, como el de la mayoría de los plásticos comunes. Al igual que en el caso de las cajas de cartón, no es posible modificar el formato de entrega por lo que la generación de este residuo es inevitable. Sin embargo, existe un mercado para el reciclaje de este material, por lo que se podría evitar su disposición en el vertedero.

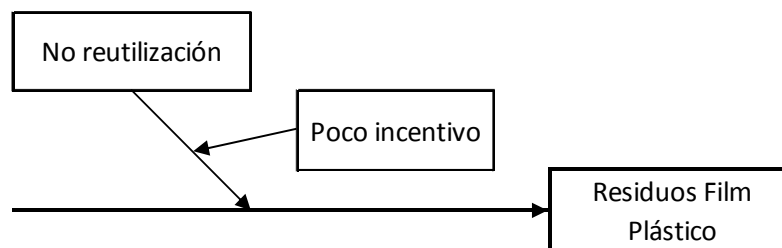


Figura 5.1-19 Causas del residuo de film plástico

- Q) Despuntes de acero:** Las barras de acero se utilizan en la confección de armaduras de los elementos de hormigón armado. En obra se cortan y doblan las barras, las cuales son compradas en formato de 12 [m] de largo. El caso es similar al de los montantes y las planchas de yeso-cartón, ya que el residuo se genera debido a que el formato en el que se compra el producto no permite aprovecharlo completamente, a pesar de que los contratistas enfierradores planifican los cortes de las barras. Los despuntes de las barras diámetro menor (8 y 10 [mm]) son aprovechados para la fabricación de patas y trabas, mientras que los despuntes de las barras de diámetro mayor, son acopiadas y vendidas por peso.

El precio de venta por kilogramo de venta de los despunte es menor que el de compra, por lo cual a pesar de que el material cierra su ciclo y es reciclado, realizar un cambio en el formato de compra de las barras reduciría más los gastos por el concepto de los residuos generados.

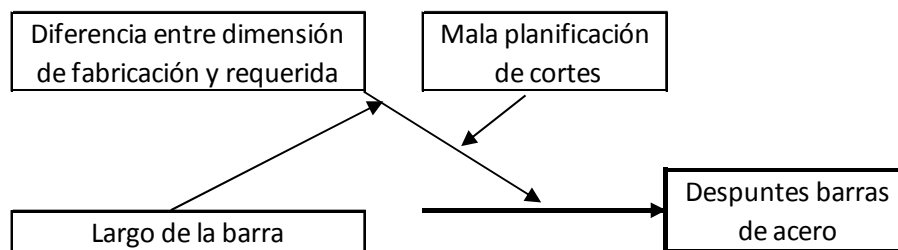


Figura 5.1-20 Causas del residuo de acero

Como se desprende de las descripciones anteriores, son diversas las causas que provocan los residuos en obra. Sin embargo, distintos materiales comparten causas en común, como por ejemplo los residuos de la madera tratada, los montantes de acero galvanizado las tuberías de PVC y PEX, que tienen como una de sus causas la mala planificación de los cortes.

Que la causa provenga de una mala planificación indica que es posible evitar la generación del residuo, por lo cual la alternativa de gestión más adecuada es la reducción. No siempre se puede evitar la generación del residuo en la obra, como es el caso de las cajas de cartón y el film plástico, que tienen como propósito proteger los materiales que llegan a la obra, por lo cual la alternativa de gestión en este caso debe ser reciclaje.

En la Figura 5.1-21 se presenta en un diagrama *FishBone*, de manera conjunta, las causas que generan los residuos de la Tabla 5.1-1:

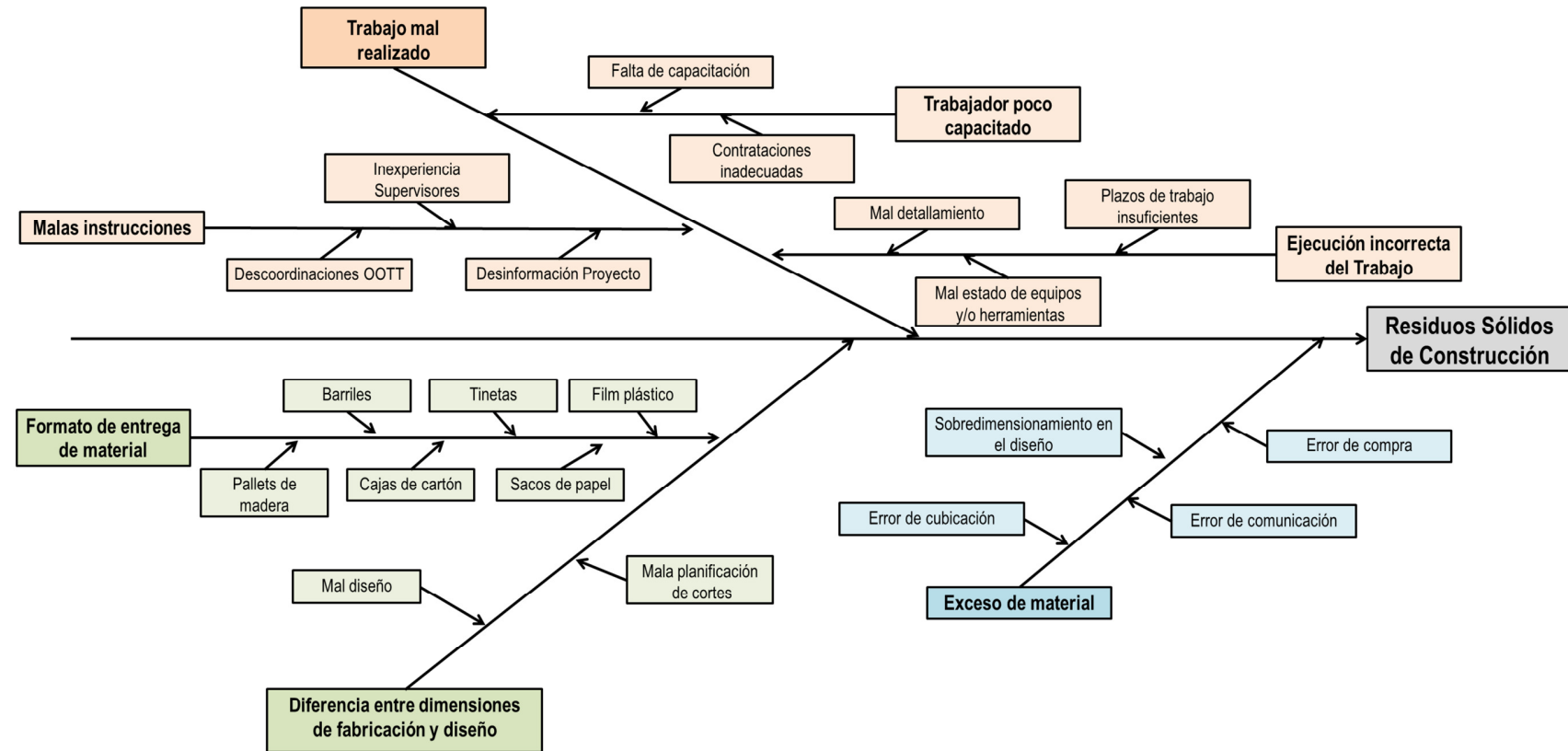


Figura 5.1-21 Diagrama Causa-Efecto de la generación de RSC

En resumen, se debe adoptar medidas particulares según la causa que provoca la generación de los tipos de residuos. Si bien esta información es necesaria planificar de buena manera la gestión de los residuos en la obra, no es suficiente. Deben tenerse en cuenta otros factores, como el volumen producido por cada uno, que es un factor clave para determinar la importancia dentro de la obra en términos de costos de manejo. Por último, es importante conocer la forma en que son manejados los residuos en la obra, es decir, la forma en que son transportados.

Ambos puntos, el volumen generado de cada residuo y la forma en que son transportados dentro de la obra se abordan en el capítulo siguiente (5.2).

5.2 Identificación de los caminos de los RSC en el sitio

Se mencionó en la sección 5.1 que el destino de los residuos sólidos dentro de la obra es la Zona de Residuos, sin embargo, no se ha indicado la forma en la que son trasladados a dicho sitio. Es de interés conocer el medio de transporte, ya que es un indicador de los recursos (horas hombre y horas máquina) invertidos que podrían destinarse a actividades más productivas.

El método de observación se divide en dos partes, la primera consiste en el monitoreo con cámara IP (5.2.1) de la Zona de Residuos, en el cual se realiza un registro de la frecuencia con que es utilizado para el traslado de los RSC cada medio de transporte y el volumen total trasladado de cada uno de ellos. La segunda parte consiste en registrar, para cada medio de transporte, los residuos trasladados y también su porcentaje respecto al total. Esto se logra mediante inspecciones visuales de los trabajos realizados en la Losa de avance, el interior de los departamentos y los estacionamientos.

5.2.1 Medición de volumen de los RSC utilizando cámara IP

Con el objeto de obtener información relevante para la gestión de los residuos en la obra, fue instalada una cámara IP la cual registra el comportamiento de carga y descarga en la Zona de Residuos. La cámara fue instalada en el 5to piso de la torre y

fue configurada para tomar una foto por minuto (frecuencia suficiente para obtener la información requerida) obteniéndose así imágenes desde una perspectiva isométrica del lugar.



Figura 5.2-1 Imagen captada con cámara IP

Las imágenes captadas fueron almacenadas en un pendrive para su posterior análisis. La información obtenida a partir de las imágenes registradas fue:

- Tipo de material transportado hacia la Zona de Residuos
- Volumen de material transportado
- Medio de transporte involucrado en las operaciones de transporte de los RSC
- Número de descargas en la Zona de Residuos y en el camión de residuos
- Número de retiros por parte del camión de escombros
- Número de trabajadores involucrados en las operaciones de descarga y retiro

Para la obtención de la información del volumen de RSC (de los distintos medios de transporte), fue necesaria la realización de los siguientes supuestos: **(i)** Los medios de transporte utilizados siempre están llenos. Con esto se facilita la estimación a partir de las imágenes ya que se asocia el volumen al tipo de transporte utilizado; **(ii)** La tasa de carga del camión de retiro es de $0.025 \text{ [m}^3/\text{min]}$ para cada jornal (valor obtenido a partir JCZ

de las observaciones hechas en terreno); **(iii)** Las descargas realizadas por el camión mixer son de 0.5 [m³] (valor obtenido a partir de entrevistas a los supervisores de Obra gruesa y Oficina técnica); **(iv)** Por último siempre que se realicen operaciones que impliquen el uso de la grúa, se considera un trabajador más en el conteo de las personas involucradas en la tarea, el cual corresponde al operador de la grúa.

5.2.2 Tipos de RSC descargados

Entre las limitaciones de la cámara IP se encuentra que la calidad de imagen dificulta identificar con exactitud los RSC transportados. Pudiendo distinguir solamente cuando se traslada hormigón, mezcla de residuos u algún otro tipo. Por tal razón se definieron tres categorías para el tipo de material descargado en la Zona de Residuos:

- **Hormigón fresco** residuo de la tarea de hormigonado.
- **Mezcla** combinación de distintos tipos de residuos. La proporción entre residuos varía dependiendo del medio de transporte utilizado y se detalla en la descripción de cada medio de transporte.
- **Otro** corresponde a la carga o descarga de un material en particular distinto del hormigón fresco.

Los datos recolectados se pueden revisar en el Apéndice A.

5.2.3 Transporte de los RSC en obra

Estos varían dependiendo del lugar desde donde son retirados los RSC y el volumen a retirar (Tabla 5.2-1). Por ejemplo, cuando los materiales se producen en la etapa de Obra gruesa, estos son trasladados desde la Losa de avance hacia la Zona de Residuos utilizando un capacho; cuando los residuos se producen en la etapa de Terminaciones (en los pisos más bajos de la Torre) se descargan con cuna; y cuando se producen cerca de la Zona de Entrada se trasladan en carretilla.

Tabla 5.2-1 Transporte de los RSC en la obra

Desde	Zona de descarga	Volumen [m ³]
-------	------------------	---------------------------

	Desde	Zona de descarga	Volumen [m ³]
CUNA	Interior Torre	Zona RSC-Camión	1.75
CAPACHO	Losa de avance	Zona RSC-Camión	0.75
GRÚA	Losa de avance	Zona RSC-Camión	Variable
PALA	Piso -1 (Entrada)	Zona RSC	Variable
CARGA MANUAL	Piso -2 a 1	Zona RSC	Variable
CARRETILLA	Piso -2 a 1	Zona RSC	0.09
MIXER	Piso -1 (Entrada)	Zona RSC	0.5
BOMBA	Piso -1 (Entrada)	Zona RSC	0.5
PALA-PICOTA	Zona RSC	Camión	0.038 [1/min]
CARGA MANUAL	Zona RSC	Camión	0.038 [1/min]
GRÚA	Zona RSC	Camión	Variable
CARGADOR FRONTAL	Zona RSC	Camión	Variable
CUNA	Interior Torre	Zona RSC-Camión	1.75
CAPACHO	Losa de avance	Zona RSC-Camión	0.75
GRÚA	Losa de avance	Zona RSC-Camión	Variable
PALA	Piso -1 (Entrada)	Zona RSC	Variable

Existen residuos que se producen junto a la Zona de Residuos, por lo cual no requieren transporte. Este es el caso del hormigón fluido, el cual se descarga desde el camión mixer o la bomba cuando queda un excedente.

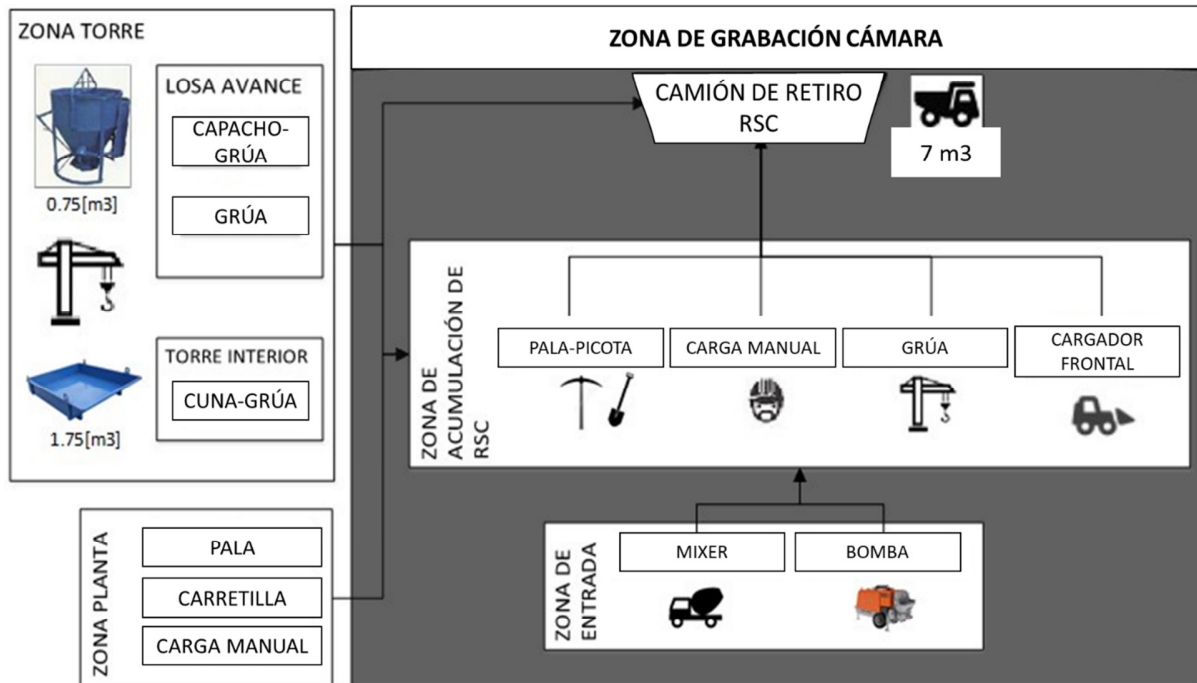


Figura 5.2-2 Esquema Origen-Destino

Existen dos destinos para los RSC: el primero es la Zona de Residuos, donde el material es acumulado hasta la llegada del camión encargado del retiro; Y el segundo es el camión de retiro, donde los materiales pueden ser descargados directamente sin tener que pasar por la Zona de Residuos. Todas estas relaciones de origen-destino y el medio de transporte utilizado se pueden ver en la Figura 5.2-2.

Los principales medios de transporte utilizados en la obra, basado en la frecuencia de uso durante los períodos 1 (13/05/2015 a 4/06/2015) y 2 (6/07/2015 a 30/07/2015) de observación son: la carretilla (65), la cuna (64) y el capacho (49). A continuación, se describe el procedimiento de retiro para estos medios de transporte.

Transporte con carretilla El transporte con carretilla es realizado cuando se requiere despejar alguna zona de la obra y el volumen a trasladar es bajo. Normalmente el traslado es entre el piso -1 de la torre (donde se encuentra el acceso) o la Zona de estacionamientos hacia la Zona de Residuos.



Figura 5.2-3 Residuos listos para ser cargados en carretilla

Mediante inspección visual fue registrada el transporte de Hormigón fluido y Mezcla. Para el caso clasificado como Mezcla los porcentajes de cada residuo son los siguientes: Tierra (40%), Madera sin tratar (40%), Cajas de cartón (10%), Papel (4%), Film plástico (2%) y Despuntes de acero (4%).

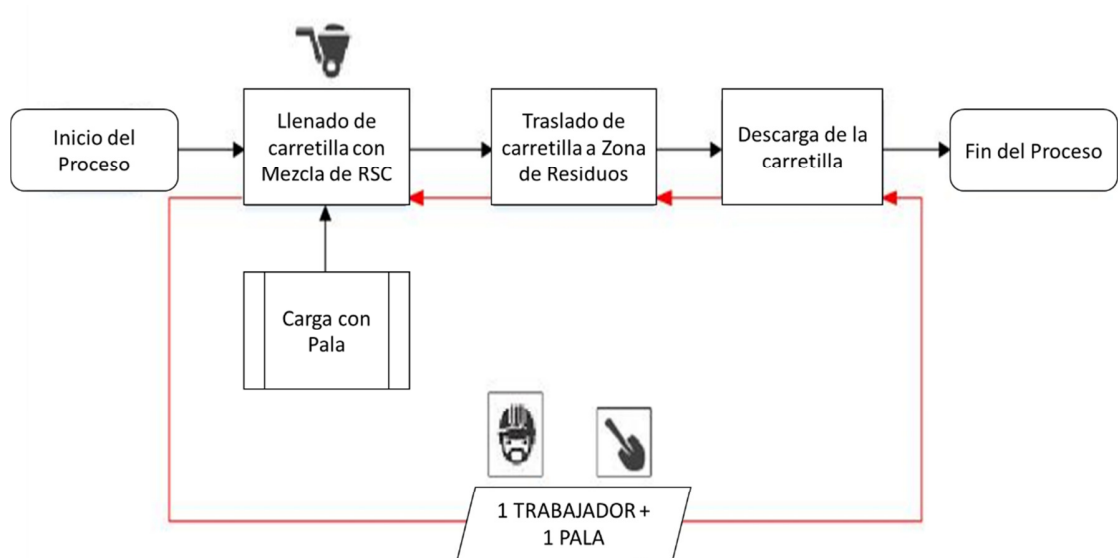


Figura 5.2-4 Proceso de carga con carretilla

Recursos utilizados en el proceso:

- 1 jornal INPROMEC
- Carretilla con capacidad de $0.09[m^3]$

Transporte con cuna Este proceso es realizado para retirar los RSC de las etapas de Terminaciones gruesas y finas de la torre. Los residuos en las etapas antes mencionadas son barridos y echados en sacos de nylon (sacos vacíos del puente de adherencia) los que se trasladan luego a alguno de los balcones (Figura 5.2-5).



Figura 5.2-5 Residuos listos para ser transportados en la cuna

Como se ve en la Figura 5.2-6a el trabajo es realizado con un dos jornales cargando sacos con residuos y arrojándolos en la cuna, otros dos de jornales cargando escombros en la cuna con pala y el supervisor dando instrucciones y acercando la cuna suspendida frente al edificio (Figura 5.2-6b) hacia el balcón con un gancho.

Este procedimiento se repite en todos los pisos donde son realizados trabajos de Terminaciones gruesas y finas. Lo normal es que se efectúe el retiro de residuos de varios pisos en una misma mañana y siempre a primera hora, antes de la llegada de los camiones mixer.



(a) Retiro con cuna - Vista interior



(b) Retiro con cuna - Vista exterior

Figura 5.2-6 Distintas vistas del proceso de retiro de la cuna cargada desde la torre

Se realizó una inspección visual y el registro de los residuos transportados en la cuna (Figura 5.2-5) de acuerdo a la metodología discutida en la sección 5.2.1. Los porcentajes de cada residuo transportado en la cuna son los siguientes:

Escombros de Hormigón (55%), Madera sin tratar (10%), Huinchas de Yeso (10%), Cartón (10%), Estuco (4%), Yeso, (4%), Puente de adherencia (4%), Cajas de cartón (4%), Madera tratada (3%), Cartón corrugado (2%), Tuberías de PVC y PEX (1%), Montantes de A.G. (1%), Revestimientos (1%), Papel (0.5%) y Film plástico (0.5%).

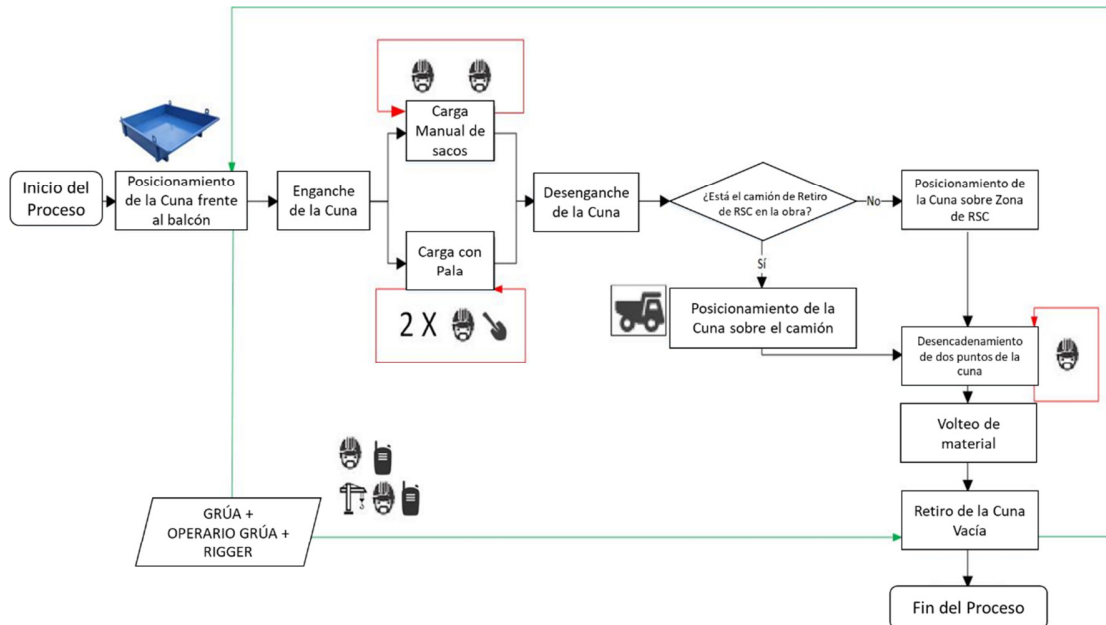


Figura 5.2-7 Proceso de traslado con cuna

Como se ve en la Figura 5.2-7, para este tipo de traslado es necesaria la utilización de recursos tanto en Mano de obra como en Maquinaria. Los recursos utilizados fueron los siguientes:

- Grúa y operario de la Grúa (Contratista Grúa, MTS)
- Rigger (INPROMEC)
- 4 jornales y un capataz (INPROMEC)
- Cuna con capacidad de $1.75[m^3]$ (INPROMEC)
- Camión retiro de escombros (Contratista retiro de escombros)
- 1 jornal

Transporte con capacho El capacho es utilizado para retirar los RSC de la Losa de avance o el último piso construido. El material retirado es una mezcla de escombros de hormigón, despuntes de barras de acero y tuberías de PVC y PEX (Figura 5.26). También se utiliza para el traslado del hormigón fluido sobrante del hormigonado de elevaciones. Los residuos son barridos, paleados y puestos en baldes plásticos, los que una vez llenos se vacían en el capacho (Figura 5.2-8).

Mediante inspección visual se registraron los siguientes tipos de residuos transportados por el capacho:

Escombros de hormigón (90%), Despuntes de acero (5%) y Tuberías de PVC y PEX (5%). Como se mencionó anteriormente, el capacho también se utiliza para retirar el hormigón fluido sobrante del hormigonado de elevaciones.



Figura 5.2-8 Residuos listos para ser cargados en el capacho

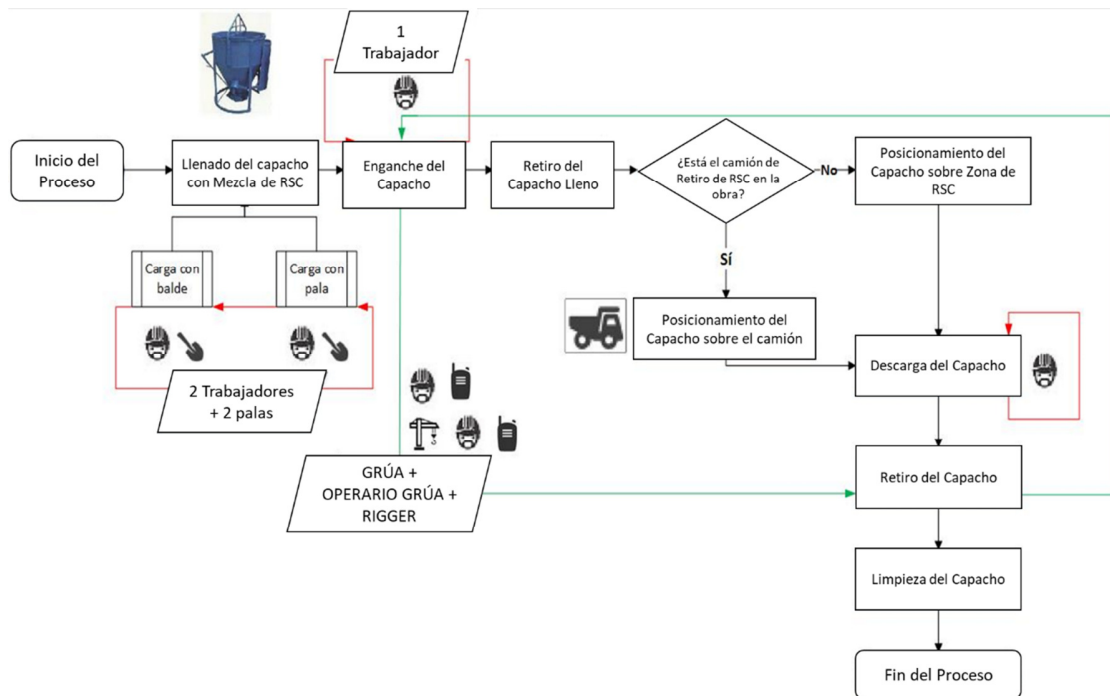


Figura 5.2-9 Proceso de traslado con capacho

Los recursos utilizados son los siguientes:

- Grúa y operario de la grúa (Contratista Grúa, MTS)
- Rigger (INPROMEC)
- 2 jornales en la torre y 1 jornal en la zona de descarga (INPROMEC)
- Capacho con capacidad de $0.75 \text{ [m}^3\text{]}$ (INPROMEC)
- Camión retiro de escombros (Contratista retiro de escombros)

A partir de las observaciones realizadas con y sin cámara IP, se pudo identificar los materiales que terminan como RSC, los medios de transporte utilizados en el traslado y la relación entre el material y el medio de transporte utilizado.

Gracias a esta información es posible realizar una estimación de los volúmenes y pesos de cada material que llega a la Zona de Residuos o al camión de retiro, así como los recursos utilizados para ello. Esta información es relevante para la decisión respecto de a qué material debe ser el escogido para aplicar un cambio en su gestión, como se verá en la sección 5.3.

Los resultados obtenidos se presentan en el capítulo 6.1 mientras que el análisis se puede revisar 7.1 y 7.2.

5.3 Selección del material a reciclar

En las secciones 5.1 y 5.2 se han identificado los residuos generados en la obra (Listado, volumen, tipo y causas), así como los caminos por donde son dentro de la obra hasta su depósito en la Zona de Residuos. En este capítulo y a partir de la información de las secciones 5.1 y 5.2 se establecerá la situación base de la obra, que será el estado con el cual comparar los resultados finales del experimento. También se analizarán las alternativas disponibles en la V región para el tratamiento de los distintos tipos de residuos, y finalmente se seleccionará la mejor alternativa de material a tratar de acuerdo con las condiciones de la obra y de la V región.

5.3.1 Situación base

Al comenzar las observaciones en la Obra los destinos de los RSC eran el Relleno sanitario El Molle y vertederos privados. Debido a un cambio en la política de la empresa se decide dejar de trabajar con los vertederos privados (ya que no cumplen con todas las normativas). Debido a esta decisión y al alto costo de la recepción en el relleno sanitario El Molle se buscan otras alternativas para gestionar los residuos.

La alternativa negociada por el Administrador de Obra es la Obra Rellenos Controlados Etapa B, ubicada en Viña del Mar. En este relleno controlado solo se aceptan RSC pesados. Dentro de esta categoría caben residuos como el hormigón, la tierra, escombros de yeso, de estuco y puente de adherencia (en general residuos de las etapas de Obra gruesa y Terminaciones gruesas). Los RSC clasificados como livianos que corresponde a los demás residuos de la Tabla 5.1-1 (exceptuando los despuntes de acero), siguen teniendo como destino el relleno sanitario El Molle.

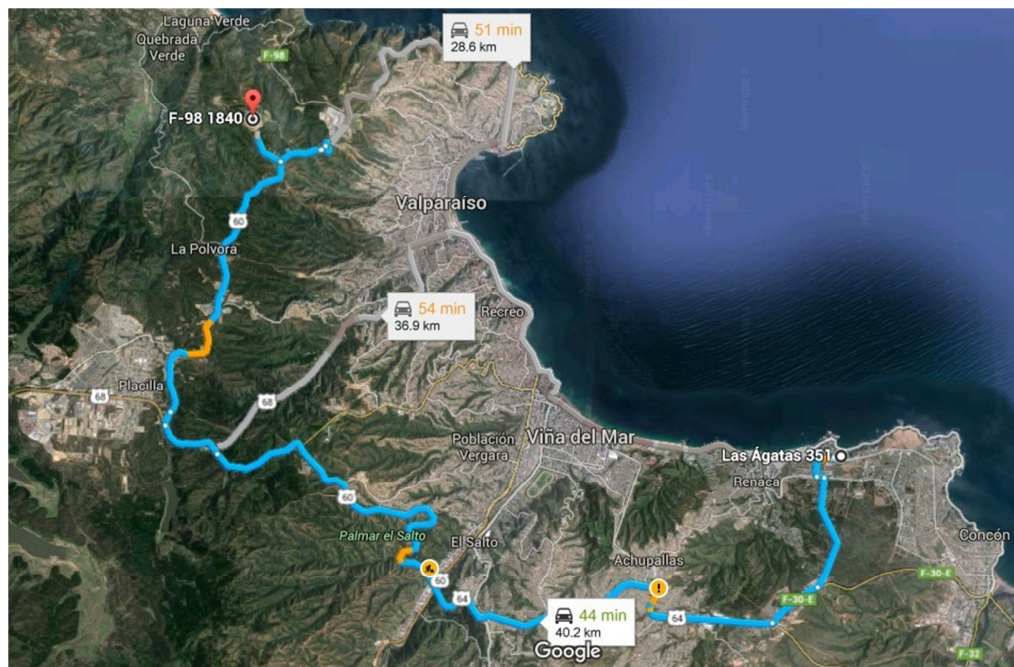


Figura 5.3-1 Ruta entre Edificio Reñacamar y relleno sanitario El Molle

El volumen y peso estimado de los materiales observados se presenta en la Tabla 5.3-1. A partir de estos valores se calcula el costo base, el cual se presenta en la Tabla 5.3-4.

Tabla 5.3-1 Situación base

Material	Categoría	Volumen [m³]	Peso [Ton]
Hormigón	Pesado	109.48	251.80
Tierra	Pesado	0.54	0.81
Madera sin tratar	Liviano	13.73	7.55
Huinchas Yeso-Cartón	Liviano	11.20	8.51
Estuco	Pesado	4.48	3.58
Yeso	Pesado	4.48	3.58
Puente de adherencia	Pesado	4.48	3.58
Cajas de cartón	Liviano	5.17	2.58
Madera tratada	Liviano	3.36	1.85
Cartón corrugado	Liviano	2.24	1.12
Tuberías PVC y PEX	Liviano	2.26	2.71
Montantes de A.G.	Liviano	1.12	1.23

Material	Categoría	Volumen [m³]	Peso [Ton]
Revestimientos	Liviano	1.12	2.80
Pallets de madera	Liviano	0.00	0.00
Contenedores plásticos	Liviano	0.00	0.00
Papel	Liviano	0.78	0.63
Film Plástico	Liviano	0.63	0.60
Acero	Pesado*	1.19	9.41
Sin Identificar		0.70	X
Total		166.96	302.36

Nota: Para el cálculo del peso del material Sin Identificar se utilizó el promedio de las densidades de los demás materiales.

5.3.2 Alternativas disponibles

La primera hipótesis del experimento es que al menos el 90% de un residuo puede ser reciclado. Por tal razón fue investigado el mercado de las empresas de reciclaje en la V región. En la investigación se consideraron tres tipos de empresas: *Empresas fabricantes* de los productos que terminan como residuos, *Puntos Limpios* y *Plantas de Reciclaje*.

Empresas fabricantes: La investigación considera en una primera fase a los fabricantes de los productos, los cuales son consultados acerca de la reincorporación de sus productos post-consumo a la línea de producción como materia prima. Para ello fue realizada una breve encuesta a las principales empresas proveedoras de la obra (Sección 5.3), con el objetivo de conocer si está incorporado el reciclaje en sus procesos y de qué manera.

Como se observa en las respuestas a la pregunta 1, la utilización de materiales reciclados para la fabricación de productos nuevos es una política ya implementada en la mayoría de las empresas encuestadas. En el caso de la empresa Volcan S.A. utilizan papel reciclado para proteger las planchas de yeso-cartón. Otros productos que utilizan materiales reciclados en esta empresa son la lana de vidrio y la lana de mineral, que utilizan como materia prima vidrio reciclado y escoria de roca respectivamente.

Tabla 5.3-2 Encuesta a proveedores de la construcción

	Empresas					
	Melón (Hormigón)	Masisa (Madera)	Romeral (Varios)	Volcán (Varios)	Tigre (Tuberías PVC)	Gerdau Aza (Acero)
1.- ¿Utilizan material reciclado como materia prima en la fabricación de sus productos?	SÍ	NO	SÍ	SÍ	N.R.	SÍ
2.- ¿Existe reciclado post-consumo de alguno de sus productos?	NO	NO	NO	NO	N.R.	SÍ
3.- ¿Existen planes para implementar el reciclado post-consumo en sus procesos de fabricación en el corto, mediano o largo plazo?	NO	NO	NO	Largo Plazo	N.R.	Se realiza a través de distribuidores autorizados

Respecto al reciclado post-consumo, la única empresa que lo tiene implementado es Gerdau Aza. Debido a que la contaminación del producto post-consumo es prácticamente inexistente o fácilmente tratable, es sencillo reincorporar los recortes de las barras de acero a la producción de nuevas barras.

Finalmente, entre las empresas que no tienen incorporado el reciclaje post-consumo en sus procesos, tampoco existen planes de incorporarlos en el corto o mediano plazo. Debido a que solo los productores de barras de acero tienen una política de reciclaje post-consumo, se deben buscar alternativas distintas a las empresas fabricantes para destinar los residuos de la obra.

Puntos Limpios: Otra alternativa de reciclaje son los llamados puntos limpios, como por ejemplo Triciclos. Estos reciben y recolectan una gran variedad de materiales, sin embargo, está mayormente enfocado a residuos domiciliarios como se puede observar en la Figura 5.3-2.

Una ventaja de estas instalaciones es que acerca los puntos de acopio a los puntos de generación, en este caso la zona residencial de Viña del mar, lo que incentiva el

reciclaje. Un modelo similar podría aplicarse para materiales de construcción y podría disminuirse notablemente el volumen que termina en vertederos ilegales o rellenos que no cumplen con las condiciones requeridas.

TRICICLOS www.triciclos.cl		Guía de Reciclaje 		No Recibimos	
	Papel Blanco Usado y sin usar con o sin tinta negra, hojas de cuadernos, fotocopias, fax, cartas, entre otros.			Servilletas, papel absorbente e higiénicos	
	Cartón Corrugado, dúplex, cartulinas cajas de embalajes, craft con o sin impresión, cilindros de papel absorbente.			Cajas de huevo, cartones plastificados o encerados	
	Otros Papeles Diarios, revistas, papeles mixtos, boletas, facturas, folletos.			Guías telefónicas, papeles plastificados o encerados, papel diamante	
	Tetra Pak Envases tetra de leche, salsas, vinos, cremas y jugos.			Envases sucios, con residuos orgánicos	
	PET Botellas desechables de bebidas, aguas, jugos, bandejas de tortas, envases clamshell (<i>contenedores de frutas</i>)			Envases de aceite	
	PP Polipropileno Tapas de botellas, envases snack tipo galletas, papas fritas, botellas de shampoo, cremas, margarina y vasos.			Envases contaminados, sucios o con restos de residuos orgánicos	
	PE Polietileno Bolsas tipo camiseta, de basura, envases de detergentes líquidos, bidones y shampoo.			Envases contaminados, sucios o con restos de residuos orgánicos	
	PS Poliestireno Vajilla desechable, envases de postres, compota, cereal, yogurt sin etiqueta.			Plumavit, envases de yogurt con etiquetas de papel	
	Otros Plásticos Envases doy pack, mayonesa, comida de perros, alimentos al vacío, envases multicapas.			Juguetes, residuos electrónicos, partes de automóviles, plástico PVC	
	Vidrio Botellas y envases de vidrio.			Espejos, cristales, loza, ampollitas, tubos fluorescentes, vidrios de automóviles	
	Aluminio Latas de bebidas, cervezas, láminas de aluminio.			Envases de alimentos desechables	
	Otros Metales Latas de conserva, hojalatas, tapas metálicas.			Residuos electrónicos, CD y/o electrodomésticos	

Figura 5.3-2 Materiales recibidos en Triciclos

Plantas de Reciclaje (V región): En la V región la industria del reciclaje está mayormente enfocada al tratamiento de residuos sólidos domiciliarios (RSD). Existen varias empresas recicladoras de plásticos (PEBD, PEAD, PET) y derivados de la celulosa (papel y cartón) pero ninguna, por ejemplo, dedicada al reciclaje del yeso-cartón o la madera (materiales importantes en la construcción).

Una empresa recicladora de plástico establecida en la V región es Rinoplast, la cual se ubica en el Relleno sanitario el Molle, en la ciudad de Valparaíso. Esta empresa recicla los siguientes tipos de plásticos:

- Botellas plásticas, PET
- Bandejas plásticas, PP y PE
- Baldes o tinetas plásticas, PP y PE
- Productos postindustriales de PET, PP y PE que se evalúan al llegar a la
- planta.

Ninguno de estos tipos plásticos se genera en cantidades importantes dentro de la obra, a excepción de las tinetas plásticas, pero estas ya son recolectadas, limpiadas y vendidas por los contratistas encargados de la pintura y yeso.

Existen dos empresas dedicadas al enfardamiento (y posterior reciclaje) de derivados de la celulosa en la V región, SOREPA y RECUPAC. La primera se ubica en Viña del Mar en el sector de Miraflores y la segunda en Quilpué, ambas ofrecen como servicio el retiro de cartón en obra si es que se ha acumulado una cantidad suficiente (500 [kg] y 600 [kg] respectivamente) que haga rentable el traslado. Las empresas pagan 30 [pesos/kg] (después de descontar el peso debido a la humedad).

Plantas de Reciclaje (RM): En la Región Metropolitana existe una mayor diversidad y número de empresas dedicadas al reciclaje que en la V región. Las más interesantes para el rubro de la construcción son Tirsa y ENFAENA (ambas en la comuna de la Pintana. La primera se dedica al reciclaje de residuos de madera, uno de los residuos que se genera en mayor volumen en las obras de construcción. La segunda recicla distintos tipos de plásticos (inclusive PVC), madera, metales, papeles y cartones. La variedad de RSC que trata la hace una empresa atractiva para las constructoras.

A modo de resumen se tiene la Tabla 5.3-3, donde se indica las empresas investigadas y los materiales que fabrican (caso de los proveedores) o que reciclan (caso de las empresas recicladoras).

5.3.3 Aspectos que considerar para la elección de la mejor alternativa

Para la elección del material a reciclar se deben considerar tanto los aspectos internos de la Obra como los externos. Los internos a la obra son los revisados en capítulos anteriores, y corresponden a los residuos generados, las cantidades producidas, sus características y las causas que los provocan; mientras que los aspectos externos son el mercado de empresas disponibles para tratarlos (Tabla 5.3-3), los costos implicados y la comparación con las situación base (Tabla 5.3-1).

Tabla 5.3-3 Empresas investigadas

MATERIAL	EMPRESA	REGION	FABRICANTE	RECICLA
ACERO	GERDAU AZA	V	SÍ	SÍ
PVC	TIGRE	RM	SÍ	NO
YESO-CARTÓN	VOLCAN	RM	SÍ	NO
YESO-CARTÓN	ROMERAL	RM	SÍ	NO
MADERA	MASISA	RM Y V	SÍ	NO
MADERA	ARAUCO	RM Y V	SÍ	NO
MADERA	TIRSA	RM	NO	SÍ
HORMIGÓN	MELÓN	V	SÍ	NO
HORMIGÓN	BÍOBÍO	V	SÍ	NO
CARTON	SOREPA	V	NO	SÍ
CARTON	RECUPAC	V	NO	SÍ
PEBD y PEAD	CAMBIASO	RM	NO	SÍ
PET, PEAD y PEBD	RINOPLAST	V	NO	SÍ
VARIOS	TRICICLO	V	NO	SÍ
VARIOS	VALPOINTERVIENE	V	NO	SÍ
VARIOS	STERICYCLE	V	NO	SÍ
VARIOS	ENFAENA	RM	NO	SÍ

Costos implicados: El costo del manejo de los RSC comprende en primer lugar el transporte del material desde la obra al lugar de tratamiento. Este coste es mucho más alto para las empresas que se encuentran en la Región Metropolitana, y solo se compensaría para grandes volúmenes de algún material. Como se mencionó anteriormente, existen empresas que retiran el material directamente en obra sin costo

para ella si se cumple con un volumen mínimo acumulado. Estas empresas son preferibles ya que significan un ahorro en términos de transporte.

Otro aspecto por considerar es si se recibe pago o no por el residuo. En general las empresas de reciclaje realizan un pago por el material que reciben, aunque este no es muy elevado.

Por otro lado, los Puntos Limpios no realizan pago alguno por los materiales recibidos. En la Figura 5.3-3 se presenta un diagrama donde se indican en círculos algunos RSC de la Tabla 5.3-3 como el hormigón, cartón y la madera sin tratar. También se muestran las alternativas de disposición de los RSC ya mencionadas: Los rellenos sanitarios y Rellenos controlados en el caso de la situación base y las plantas de reciclaje y puntos limpios entre las nuevas alternativas.

Las flechas en el diagrama son de dos tipos: continuas y segmentadas. Las líneas continuas indican que el balance entre los pagos que hace la obra y el dinero percibido resultan tienen como resultado un gasto para la obra, en otras palabras, que el costo del transporte y la recepción es mayor que el pago percibido por los residuos. La línea segmentada indica el caso contrario, es decir, cuando el balance da a favor de la obra.

Las cajas rojas indican costos para la obra mientras que las verdes indican dinero percibido.

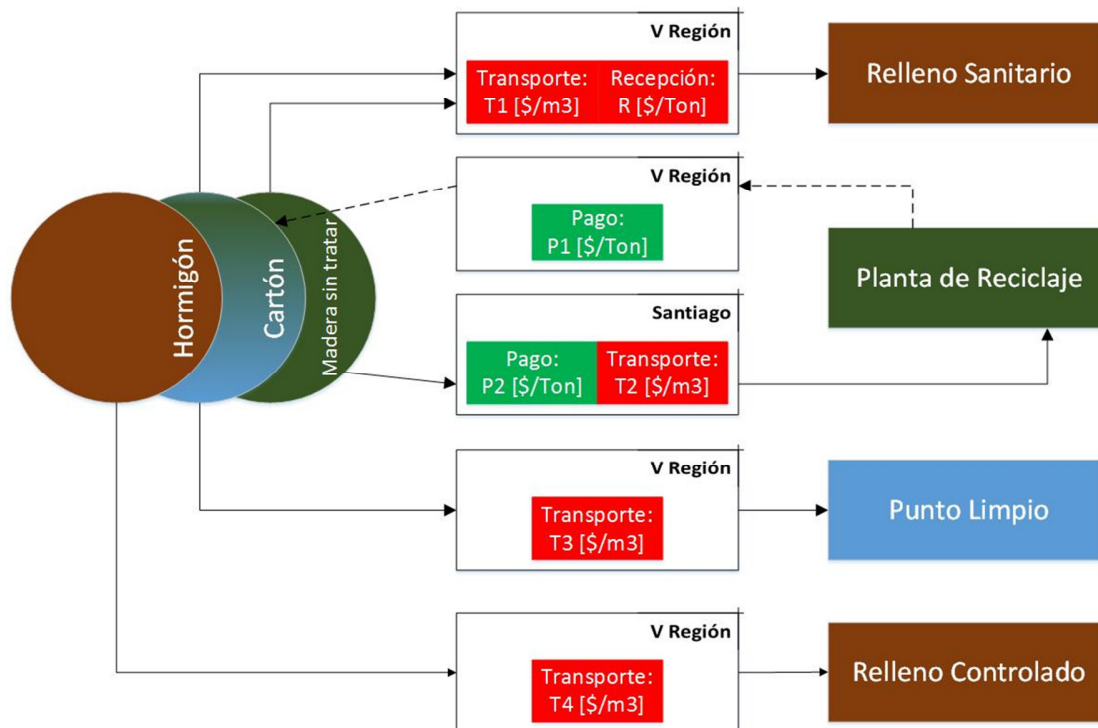


Figura 5.3-3 Esquema costo-beneficio de las alternativas de disposición

A continuación, se presentan algunos ejemplos con el fin de aclarar, el esquema de la Figura 5.3-3.

Caso 1

En el caso del hormigón no existen empresas en la V región o RM que puedan reciclar el material. Este residuo al ser pesado e inerte, no se recibe en el relleno sanitario El Molle, por tanto, la única alternativa disponible es un relleno controlado en (V región en este caso).

En esta alternativa se debe pagar el transporte a un valor de $T4 \text{ [$/m}^3\text{]}$ al contratista encargado del retiro de residuos. El costo de recepción es negociado entre el contratista y el Relleno controlado, por lo cual está incluido en el valor del transporte.

$$\text{Costo} = T4 \left[\frac{\$}{m^3} \right] * \text{Volumen}[m^3]$$

Caso 2

En el caso de la madera sin tratar, existen dos posibilidades de disposición.

(a) La primera es la disposición en el relleno sanitario, donde el valor se compone del costo del transporte T_1 [\$/m³] y el costo de recepción R [\$/Ton].

$$Costo_{A1} = T_1 \left[\frac{\$}{m^3} \right] * Volumen[m^3] + R \left[\frac{\$}{Ton} \right] * Peso[Ton]$$

(b) La segunda alternativa es el reciclaje, el cual solo se encuentra disponible en la RM según lo indicado en 5.3.2 por lo tanto se debe incurrir en el costo de transporte, que en este caso tiene un valor T_2 [\$/m³] > T_1 [\$/m³]. Se debe considerar que, a diferencia del caso del relleno controlado, las plantas de reciclaje realizan un pago P_1 [\$/Ton] por el material recepcionado. Luego el coste de disposición de la madera para esta alternativa es:

$$Costo_{A2} = T_2 \left[\frac{\$}{m^3} \right] * Volumen - P_1 \left[\frac{\$}{Ton} \right] * Peso[Ton]$$

Ambos valores deben compararse con el costo base para este material, el cual para el caso de la madera es el costo de trasladarlo a un relleno controlado (situación base de la madera).

5.3.4 Elección de la mejor alternativa

Como se mencionó en 5.3.3 se debe realizar una comparación entre los costos de la situación base (materiales dispuestos en relleno sanitario), los cuales se presentan en la Tabla 5.3-4 y los costos para las alternativas propuestas (relleno controlado, puntos limpios, reciclaje en la V región o en la RM).

Tabla 5.3-4 Costo base

Material	Transporte [\$/m ³]	Recepción [\$/Ton]	Total Período [\$/Ton]	Total Período [%]
Hormigón	678,776	4,309,625	4,988,401	80.4

Material	Transporte [\$]	Recepción [\$]	Total Periodo [\$]	Total Periodo [%]
Tierra	3,348	13,863	17,211	0.3
Madera sin tratar	85,134	129,256	214,389	3.5
Huinchas Yeso-Cartón	69,440	145,683	215,123	3.5
Estuco	27,776	61,340	89,116	1.4
Yeso	27,776	61,340	89,116	1.4
Puente de adherencia	27,776	61,340	89,116	1.4
Cajas de cartón	32,029	44,208	76,237	1.2
Madera tratada	20,832	31,629	52,461	0.8
Cartón corrugado	13,888	19,169	33,057	0.5
Tuberías PVC y PEX	13,997	46,365	60,361	1.0
Montantes de A.G.	6,944	21,086	28,030	0.5
Revestimientos	6,944	47,922	54,866	0.9
Pallets de madera	0	0	0	0.0
Contenedores plásticos	0	0	0	0.0
Papel	4,846	10,702	15,549	0.3
Film Plástico	3,919	10,277	14,196	0.2
Acero	7,387	161,101	168,488	2.7
TOTAL	1,030,812	5,174,906	6,205,718	100

Nota: Costo de la recepción: 17,115 [\$/Ton]; Costo de transporte: 6,200 [\$/m³]

Con los costos base ya calculados, es posible tener una idea clara de los materiales más importantes. De la Tabla 5.3-4 se desprende que el residuo que genera los mayores costos es el hormigón (casi cinco millones de pesos). Lamentablemente no existe actualmente una empresa con la tecnología adecuada para tratar este residuo, por lo cual la única alternativa es la disposición final en un relleno sanitario o un relleno controlado.

Casos similares al hormigón son los de los residuos como el estuco, el yeso y los puentes de adherencia, para los cuales no existen empresas capaces de reciclarlos y por tanto terminan en rellenos.

El caso de la madera es distinto ya que existen empresas capaces de reciclar este residuo, sin embargo, dichas empresas se encuentran en la RM (Tirsa y Enfaena). Para compensar el alto costo del transporte se debería acumular un gran volumen, con lo cual se haría conveniente para las empresas en la RM retirar los residuos en la V

región. Lamentablemente el espacio en el sitio de construcción es reducido por lo cual la alternativa no es factible de realizar.

Sin embargo, hay materiales que sí son factibles de ser reciclados en la V región, como es el caso de los plásticos (tuberías, film y contenedores) y los derivados de la celulosa (papel y cartón). La razón es que estos materiales no están solamente dentro de la categoría de RSC sino que también pueden ser considerados Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD), y para estos existe un mercado más desarrollado en Chile y en particular en la V región. Desde este punto de vista los plásticos y los derivados de la celulosa son buenas alternativas para el reciclaje. El acero fue excluido de este análisis ya que es reciclado desde antes del experimento.

En el caso del plástico en la obra, la mayor parte corresponde a tinetas plásticas, las cuales ya son recicladas y el film plástico que se genera en cantidades bajas. En el caso de los derivados de la celulosa se deben distinguir tres residuos: el papel, el cartón corrugado y las cajas de cartón. El papel se debe descartar como material para ser reciclado, ya que como fue mencionado en 5.1.2, su manipulación provoca polvo en suspensión el cual causa daños a los pulmones. En el caso del cartón corrugado (Figura 5.3-4b), este problema es mucho menor ya que la forma en que se retira luego de ser utilizado consiste en enrollarlo, por lo cual el polvo en suspensión levantado es menor que en el caso del papel y por tanto se considera como una alternativa viable para el reciclaje.



a) Cajas de cartón guardadas en bodega



b) Rollos de cartón corrugado recién descargados en obra

Figura 5.3-4 Materiales seleccionados para el plan de reciclaje en terreno

Finalmente, el caso de las cajas de cartón (Figura 5.3-4a) es ideal, ya que estas no están directamente involucradas en ninguna de las tareas y por tanto hay poca contaminación con otros residuos, por lo cual también se escoge como material para ser reciclado.

5.4 Preparación del experimento

El material objetivo escogido para ser separado en la obra es el cartón, tanto las cajas como el corrugado. El principal requerimiento de la empresa de reciclaje es que el material esté libre de aceites o residuos orgánicos. Por lo tanto, una prioridad en el experimento debe ser poder acopiar el cartón evitando el tipo de contaminación señalada.

El experimento tendrá que considerar cuatro aspectos para su realización: Primero la proyección del cartón que llega a la obra y que puede ser reciclado, lo cual es necesario para la planificación y evaluación de la experiencia; en segundo lugar la elección de un sitio apropiado para el acopio del cartón, el cual deberá tener un fácil acceso y espacio suficiente para almacenar al menos 600[kg]; en tercer lugar, un plan de reciclaje para retirar el cartón del lugar donde se produce (departamentos principalmente) y acopiarlo en el sitio escogido; Por último se encuentra la comunicación del plan de reciclaje, el cual en primera instancia considera informar a los jefes y supervisores acerca del plan de reciclaje, y con ellos coordinar la forma de trabajo. Estos aspectos están directamente relacionados con las hipótesis 1 y 2 del experimento.

Luego de dos semanas de comenzado el experimento, se realizará una breve encuesta a trabajadores de la obra acerca del funcionamiento del plan de reciclaje. A partir de sus opiniones y a las observaciones propias del funcionamiento del plan de reciclaje, se evaluará una medida para mejorar el funcionamiento del plan y motivar a los trabajadores.

Se medirá el desempeño del plan antes y después de la aplicación de la medida para mejorar su funcionamiento. Este aspecto está directamente relacionado con la hipótesis 3, ya que se podrá evaluar el efecto en los trabajadores de este cambio.

5.4.1 Elección y preparación del sitio de acopio

Como se mencionó anteriormente, es importante para la planificación y evaluación del experimento tener estimar el volumen de cartón que se produce en la obra, y para ello se necesita conocer en detalle sus fuentes. Debido a la variedad de estas es difícil realizar una cubicación exacta del volumen, pero sí es posible realizarlo con los procesos que se repiten con mayor frecuencia.

A continuación, se presentan las tareas identificadas donde se produce el cartón como residuo:

- **Terminaciones Gruesas**
 - Aplicación de Yeso, Estuco y Maquillaje interior (Cartón corrugado)
 - Instalación de Porcelanatos en Pisos y Muros (Cocinas y Baños)
 - Instalación de Cerámicos en Pisos (Terrazas)
- **Terminaciones Finas**
 - Instalación Vanitorios y Cubierta de Vanitorios
 - Instalación de Piso de Madera
 - Instalación de Artefactos y Griferías
 - Instalación Varios
- **Instalaciones**
 - Eléctricas
 - Sanitaria
 - Calefacción
- **Recepción en Bodega**

Como se observa, es en las etapas de Terminaciones gruesas y finas donde se más se repite la generación de este residuo. Se debe prestar atención también a los materiales que llegan a la bodega y que son desembalados ahí, al igual que al material

de los distintos tipos de instalaciones el cual es normalmente desembalado en las bodegas de los contratistas.

Se proyecta una cantidad de 70,4 [m³] con un peso de 3,52 [Ton], la cual deberá ser retirada de la obra en un máximo de 5 viajes debido a la condición de retiro en obra de SOREPA (600 [kg] mínimo). Los resultados de la cubicación para cada ítem se pueden revisar en 6.2, mientras que el detalle se puede revisar en el Apéndice B.

5.4.2 Plan de reciclaje

El sitio de acopio se escoge teniendo en cuenta tres factores principalmente:

- Espacio disponible dentro de la obra
- Espacio suficiente para el acopio de los materiales objetivos
- Ubicación estratégica para facilitar traslado de residuos

Debido al avance de la obra, y por instrucción del jefe de terreno, el lugar de acopio debe situarse en la planta -2. Esta restricción presenta el problema de que el lugar de acopio no se encuentre en el mismo nivel que el acceso, por lo cual, al momento de retirar el cartón, habría que trasladarlos necesariamente por las escaleras. Otro problema es que la planta -2 del estacionamiento al momento de comenzar el experimento se encuentra alzaprimada y continuaría así hasta la construcción de la planta -1.

Un aspecto positivo es que el sitio está protegido de la intemperie (por lo tanto, de la lluvia directa) y que, al estar alejado de otras fuentes de residuos, se evita la contaminación entre ellos durante el acopio. En la Figura 5.4-1 se pueden observar cómo están siendo utilizados los espacios en la planta -2. Los espacios en color café indican las partes del estacionamiento que aún no han sido construidas y que están en etapa de movimiento del tierra; en rojo están los espacios no disponibles, ya sea porque están siendo ocupados como bodegas, camarines o talleres; en amarillo se indican las zonas que están siendo utilizadas para el acopio de material pero que son factibles de despejar; en blanco se encuentran las zonas de tránsito o vías de

evacuación y por tanto no son posibles de utilizar; y finalmente en verde se indican las zonas que están libres y que podrían utilizarse para acopiar el cartón.

El lugar de acopio escogido se señala con una x en la Figura 5.4-1 y tiene un área de 5.31 [m²].

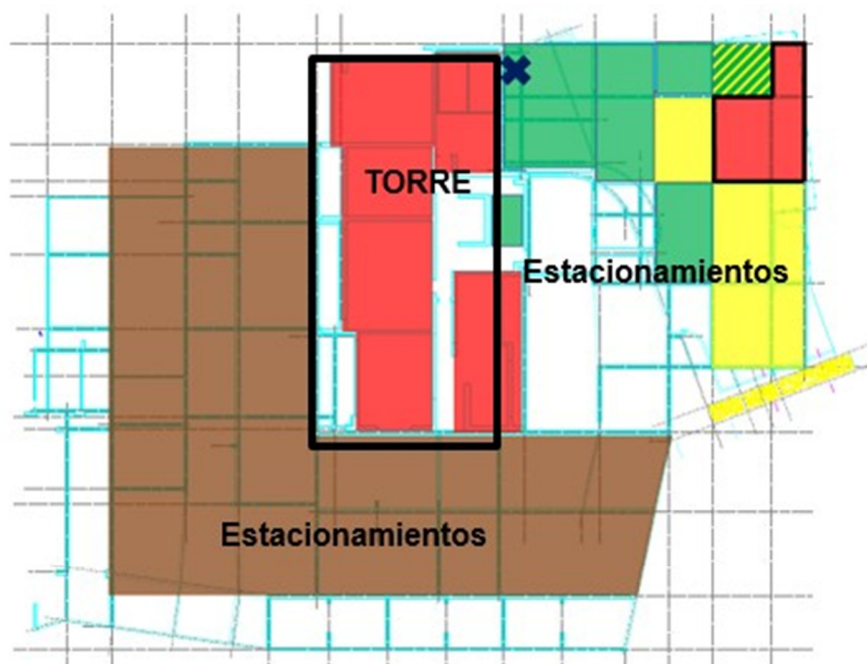


Figura 5.4-1 Espacio disponible para acopio de cartón

Según la información proporcionada en SOREPA S.A. sus jaulas de 12 [m³] * (3 [m] * 2 [m] * 2 [m]) tienen un peso lleno de 600 [kg], cuando las cajas se encuentran desarmadas y acopiadas ordenadamente. Esto da una densidad media de 50 [kg/m³] para el cartón.

El sitio escogido tiene dimensiones similares y se divide en dos partes, donde la primera tiene dimensiones de 3,54 [m] * 1,5 [m] (Figura 5.4-2) y la segunda 1,76 [m] * 1,5 [m], ambas con altura disponible de 2,4 [m], sin embargo solo sería

necesario utilizar 1,5 [m] de altura para alcanzar los 12 [m³] requeridos por SOREPA para el retiro sin costo.

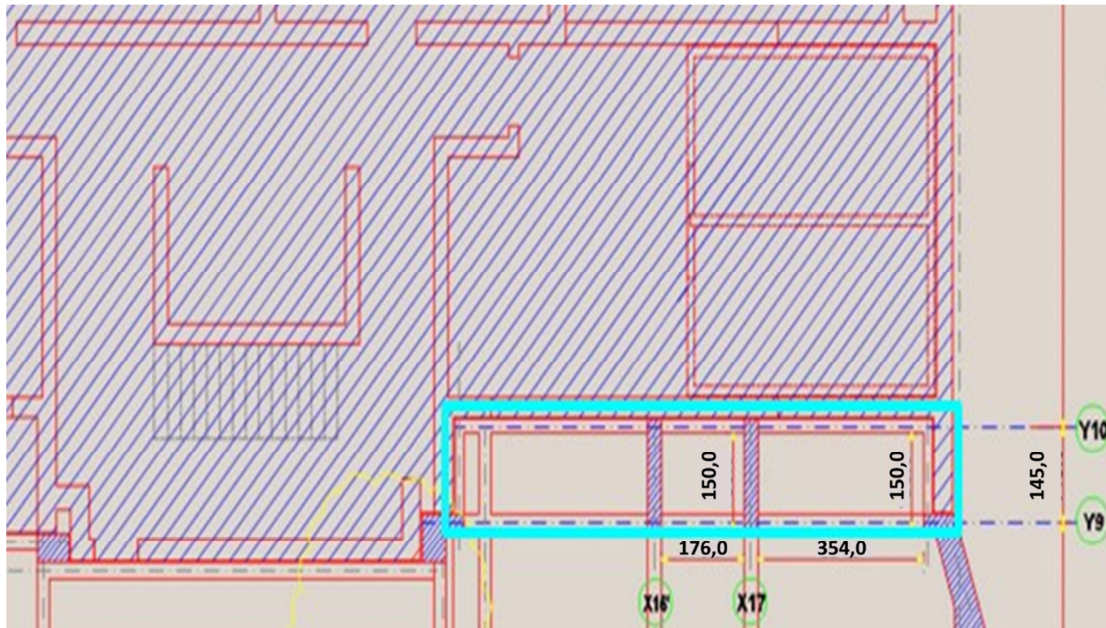


Figura 5.4-2 Dimensiones del sitio de acopio

Preparación del sitio: Para la preparación del sitio fueron considerados tres aspectos: señalización, protección del cartón del contacto directo con el piso, y facilidad de retiro. Respecto a la señalización, se instaló un letrero en blanco y negro de medidas 50x70 con la leyenda, Cajas de cartón (Figura 5.4-3a) para indicar claramente la zona de acopio.

Además, se dispuso de iluminación adecuada en la zona. Para evitar el contacto directo con el suelo, fueron colocados pallets (que no estaban siendo utilizados) en la Zona de Reciclaje y sobre los ellos, para facilitar el enfardamiento del cartón al momento del retiro, huinchas de yeso-cartón que no estaban siendo utilizadas cada 40[cm] como se puede observar en la Figura 5.4-3b.



(a) Zona de reciclaje



(b) Señalética utilizada

Figura 5.4-3 Zona de reciclaje preparada con su correspondiente señalética

El plan de reciclaje (Figura 5.4-4) comienza con la separación en origen del cartón, el cual debe ser acopiado temporalmente en los departamentos hasta que alcanzar un volumen suficiente (a criterio del Supervisor) para ser trasladado a la Zona de Reciclaje. Para el traslado se planea la utilización del montacarga, la razón es que este se utiliza principalmente para subir a los jornales o los materiales, pero en la bajada se puede aprovechar que normalmente se encuentra vacío. El siguiente paso es la descarga en el piso -1 (nivel de entrada), donde será recibido por el jefe de patio y sus trabajadores quienes trasladarán el cartón a la Zona de Reciclaje en el piso -2.

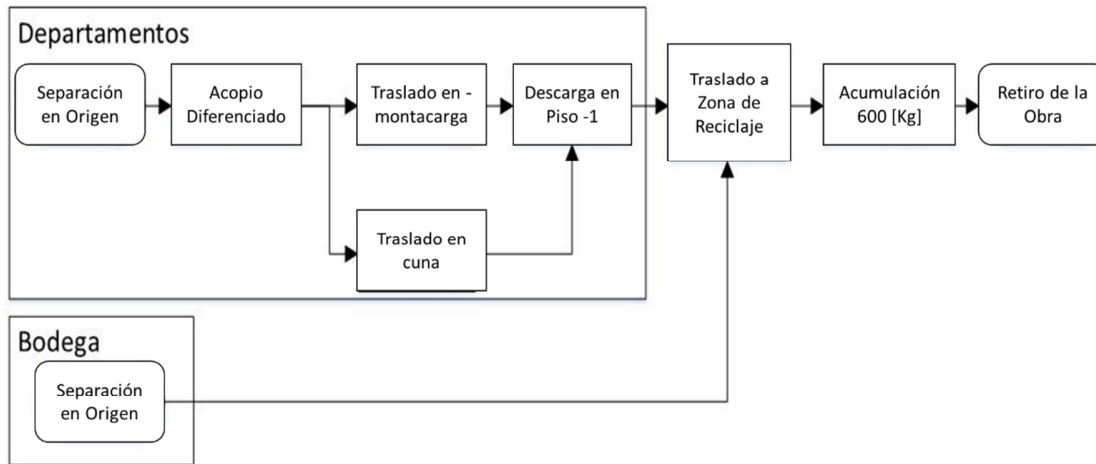


Figura 5.4-4 Esquema del Plan de reciclaje de cartón

Para poder evaluar el plan de reciclaje se define el Índice de Reciclaje [%]:

$$IR[\%] = \frac{VAZ_{rec}}{(VAZ_{res} + VAZ_{rec})} * 100$$

IR [%]: Índice de reciclaje [%]

VAZ rec: Volumen acumulado en la Zona de reciclaje [m³]

VAZ res: Volumen acumulado en la Zona de residuos [m³]

Este índice se define tanto para las cajas de cartón como para el cartón corrugado. Está basado en los volúmenes acumulados de cartón en la Zona de Reciclaje y en la Zona de Residuos. Para la obtención de dichos valores es necesario realizar mediciones periódicas, primero del volumen acumulado en la Zona de Residuos para el caso del valor 70 VAZ_{rec}, y segundo del volumen diariamente desechado en la Zona de Residuos. De esta manera es se obtiene el valor acumulado VAZ_{res}. Ya con ambos valores es posible obtener el IR [%].

5.4.3 Instrucción al personal

Como primera parte de la instrucción al personal se tuvo una conversación con cada uno de los jefes y supervisores que intervendrán en el proceso de reciclaje de cartón. A cada uno de ellos se les informa en qué consiste el *Plan de reciclaje de cartón* y se toma nota de sus sugerencias y comentarios. A continuación, se nombran los jefes de cada área la información aportada por cada uno de ellos.

Administrador de la obra: Da el visto bueno para el plan y propone conversar con el jefe de terreno para definir los detalles logísticos.

Jefe de terreno: Con él se conversó anteriormente para definir la Zona de Reciclaje. A partir de las restricciones impuestas y las características deseadas para la zona de reciclaje se definió el sitio (sección 5.4.1).

Supervisor de Terminaciones: Con él se organiza la forma en que será retirado el material de cada piso, y plantea el problema de que sus trabajadores pueden bajar el material desde los departamentos al Piso -1 pero no pueden trasladarlo luego a la Zona de Reciclaje. Sugiere conversar con el jefe de patio para recibir el material en el Piso -1 y trasladarlo a la Zona de Reciclaje.

Jefe de Patio: Se le informa acerca del Plan de Reciclaje y la forma de descarga del material desde los departamentos. Propone que haya una coordinación directa entre él y el Supervisor de Terminaciones de manera de utilizar el montacarga de manera óptima,

El jueves 16 de junio se realiza una reunión general con el jefe de terreno, jefe de terminaciones, supervisor de terminaciones y jefe de patio. En ella se plantea el plan de reciclaje y se acuerda que la coordinación para el traslado del cartón desde los departamentos hacia la Zona de Reciclaje se hará entre el supervisor de terminaciones y el jefe de patio. El primero será el encargado de procurar que se separe y acopie el cartón ordenadamente en los departamentos, mientras que el segundo estará a cargo de recibirlos con su cuadrilla en el piso -1 y trasladarlo a la Zona de Reciclaje en el piso -2. En la sección 5.5 se presenta el desarrollo de experimento.

5.5 Comienzo del experimento

Se da comienzo al experimento el día 21 de Julio de 2015, con la instrucción del supervisor de Terminaciones Gruesas en la charla matinal de aquel día. La información entregada a los trabajadores es que el cartón sea acopiado aparte del resto de los residuos, tal como se acordó en la reunión.

5.5.1 Registro fotográfico

Se realiza un registro fotográfico diario de la Zona de Reciclaje y la Zona de Residuos con el objeto de medir la cantidad (volumen [m^3]) de cartón que va a una u otra zona y así obtener un "Índice del reciclaje" del cartón en la obra.

En la Zona de Residuos se realiza una estimación visual del volumen de cartón. Lo que se hace es contar las cajas o rollos de papel corrugado, y medir sus dimensiones cuando es posible; Si no es posible medir las dimensiones, se realiza una aproximación en base a mediciones anteriores. Finalmente se toma una fotografía de la Zona de Residuos (Figura 5.5-1a).



(a) 5ta semana-Imagen de la Zona de residuos



(b) 5ta semana –Imagen de la Zona de reciclaje sin ordenada



(c) 5ta semana – Imagen de la zona de reciclaje ordenada

Figura 5.5-1 Imágenes captadas para el análisis del Plan de Reciclaje

Para la Zona de Reciclaje el sistema es similar, primero se realiza una inspección visual y se toma una fotografía general del sitio de manera de tener un registro de la forma en que fue descargado el cartón en la zona (Figura 5.5-1b). Se pone atención al orden del lugar y a si las cajas se encuentran desarmadas y libres de residuos. Si no se cumple alguna de las condiciones anteriores, se realiza un ordenamiento del lugar. Este consiste en desarmar las cajas y apilarlas ordenadamente. Después de esto se toma nuevamente una fotografía del lugar (Figura 5.5-1c) y se procede a medir el volumen de cartón acumulado.

5.6 Primera evaluación del experimento

En la tercera semana del experimento (03/08/2015 al 07/08/2015), se realiza una primera evaluación de sus resultados, donde a primera vista se observa que la cantidad de cartón acopiada es baja (ver Figura 5.6-1) respecto a lo que se desecha semanalmente.



Figura 5.6-1 3ra semana – Imagen de la Zona de Reciclaje son ordenar

De acuerdo con la planificación de la Investigación en terreno y tal como se señala en la Figura 4.3-1, se realiza una consulta a los trabajadores respecto al funcionamiento del plan de reciclaje a la fecha, la cual se detalla en la siguiente sección.

5.6.1 Consulta a trabajadores

Se realizó una consulta a distintos trabajadores para obtener sus impresiones acerca del funcionamiento del plan de reciclaje. Las preguntas realizadas (P1, P2, P3 y P4) fueron las siguientes:

- **P1** Desde su perspectiva ¿Cómo ha funcionado hasta hoy el plan de reciclaje? (Escala 1 a 10)
- **P2** ¿Qué tan comprometidos ve a sus compañeros (trabajadores) con el Plan?
- **P3** ¿Siente que el proyecto es un aporte al medio ambiente?
- **P4** ¿Siente que el Proyecto es una carga al trabajo que realiza?

En la Tabla 5.6-1 se presentan las respuestas dadas por cada trabajador a las preguntas realizadas.

Tabla 5.6-1 Encuesta a los trabajadores

Cargo(Función)	P1	P2	P3	P4
Jornal (Aseo)	7	Medianamente	Sí	No
Jornal (Instalación Piso Flotante)	10	Mucho	Sí	No
Jornal (Instalación Revestimientos)	0	Muy poco	Sí	Sí
Jefe de Patio (Dirección de Cuadrillas)	6	Medianamente	Sí	No
Supervisor Terminaciones (Dirección de cuadrillas)	6	Medianamente	Sí	No

Los comentarios y argumentos entregados por los trabajadores se detallan a continuación:

P1 Plan no ha marchado bien (evaluación de 5,8 sobre 10) debido principalmente a problemas con la lluvia. El mal clima ha impedido que se realice el traslado del material desde el interior de los departamentos al piso -1. Además del problema con el clima, fue señalado que no ha habido buena coordinación entre el trabajo realizado en los departamentos (separación y acopio) y el piso -1 (descarga y traslado a Zona de Reciclaje), ya que no se ha utilizado el montacarga sino la cuna para la recogida del cartón acopiado. Hubo comentarios positivos respecto al trabajo de acopio en el interior de los departamentos, donde los jornales señalaron que el supervisor recuerda constantemente la indicación de mantener separado y ordenado el cartón del resto de los residuos.

P2 Respecto al compromiso de los trabajadores, los comentarios fueron variados, desde que "todos colaboran" a que "nadie se encarga de separar el cartón" lo que indica que no hay aún información transversal respecto al plan de reciclaje. El supervisor de Terminaciones cree que, a pesar de las instrucciones entregadas, no todos los trabajadores han tomado conciencia del plan y que existe desinformación por lo que falta concientizarlos.

P3 Todos los encuestados creen que el proyecto es un aporte al medio ambiente, y que además es un aporte al orden y limpieza de la misma obra, aunque pocos pudieron explicar los beneficios del reciclaje.

P4 La mayor parte de los encuestados señaló que es más un tema de hábito que de trabajo extra, aunque un jornal (maestro ceramista) señaló que están demasiado ocupados para realizar la labor de separar el cartón del resto de los residuos, y que esa tarea debiera ser responsabilidad de alguien más.

Además de la información obtenida de la encuesta, se realizó una inspección visual de los departamentos, poniendo atención en las zonas de acopio. Uno de los problemas detectados fue que el cartón en algunos pisos estaba siendo acopiado en la terraza, mojándose debido a su exposición a la lluvia.

A partir de la información obtenida en la encuesta se decide realizar una presentación a los trabajadores de INPROMEC. Esta se realiza en el espacio de las charlas generales de prevención de riesgos (jueves en la mañana) y en ella se presenta el tema de los RSC y el reciclaje.

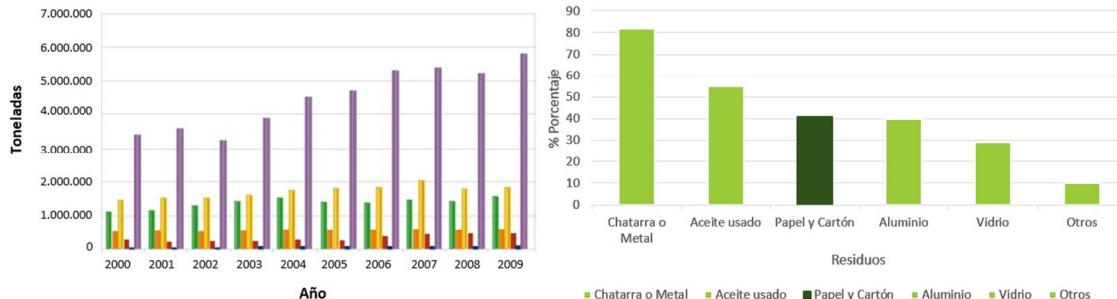
5.6.2 Charla a los trabajadores

A partir de la información obtenida en la encuesta, y con el objeto de informar y generar mayor compromiso con el proyecto, fue realizada una charla a los trabajadores de INPROMEC (jornales, capataces y supervisores) el jueves 13/08/2015. La presentación fue dividida en dos grandes temas: Los RSC y el Reciclaje.

Se comienza el primer tema definiendo Residuos como una sustancia u objeto que: **(i)** se elimina o valoriza, **(ii)** está destinado a ser eliminado o valorizado, o **(iii)** debe, por las disposiciones de la legislación nacional, ser eliminado o valorizado (Definición de la OCDE). Luego se indican las formas de valorización existentes, las cuales son la reutilización, el reciclaje y la valorización energética, haciendo énfasis en el reciclaje ya que es la alternativa a implementar en la obra. Después son presentados datos acerca de la generación de residuos de las industrias en Chile (figura a) con el objetivo de

contextualizar el problema mostrando la realidad en Chile y la importancia de tomar medidas en el sector industrial más contaminante que es el de la construcción.

El segundo tema tratado es el Reciclaje, el cual se define como un proceso al cual se somete un material usado, para que se pueda volver a utilizar. Luego se presentan los materiales que mayor porcentaje de valorización tienen en Chile, entre los que se encuentra el papel y cartón, solo detrás del aceite usado y la chatarra o metal (figura b). De esta manera se destaca la importancia del material seleccionado en el contexto del reciclaje. Después se presentan datos acerca de los beneficios ambientales del reciclaje de cartón, entre los que se encuentran el ahorro de agua, petróleo, reducción de la tala de árboles, la menor liberación de CO₂ y la utilización de espacio en el vertedero.



(a) Generación por sector industrial

(b) Valorización de RSC en Chile

Figura 5.6-2 Imágenes presentadas durante la charla

Para finalizar la presentación se expone el Plan de reciclaje, poniendo énfasis en las tareas a realizar y a la importancia de mantener desde un comienzo la separación entre el cartón y el resto de los residuos. La charla fue escuchada con atención y al final de ella se dejó un espacio para las consultas. Las inquietudes de los trabajadores fueron dos principalmente:

- ¿Qué se hará con el dinero del reciclaje?
- ¿Por qué no se reciclaban más materiales en la obra?

Respecto al dinero recaudado por la venta del material, los mismos trabajadores sugirieron utilizarlo para un asado. El plan original era rifarlo entre los jornales a manera de premio y pequeña motivación, pero la idea del asado fue la que prevaleció. Por lo tanto, se decide ahorrar el dinero recolectado y al término de la obra realizar la actividad.

La respuesta a la segunda pregunta fue que las principales limitantes para el reciclaje de otros materiales son varias, como la falta de espacio disponible para acopiar más materiales en obra; el problema del costo de traslado hasta la planta de reciclaje para otros materiales; y la más importante es la falta de empresas en la V región dedicadas al reciclaje de materiales de construcción.

Además de la presentación a los trabajadores, se decide realizar cambios en la estructuración de la Zona de Reciclaje, los cuales se presentan en la sección 5.7.

5.7 Modificación del experimento

Durante la etapa de registro fotográfico se pudo notar lo siguiente: cartón corrugado se produce en un volumen mayor al esperado; Los jornales no respetan los espacios de cada tipo de cartón; el desorden en la Zona de Reciclaje hace necesario ordenarla periódicamente; Las cajas de cartón correspondientes al piso flotante son las más ordenadas.



Figura 5.7-1 Orden planificado para la Zona de reciclaje

Una diferencia importante entre lo planificado y observado se dio con respecto al acopio del cartón corrugado. Este se producía en un volumen mayor al estimado y con una contaminación promedio mayor a la de las cajas de cartón, principalmente por el polvo y restos de yeso adheridos a él. También se pudo notar que los jornales no estaban respetando el espacio designado (Figura 5.7-1) para el cartón corrugado, produciendo desorden en el lugar de acopio como se puede ver en la Figura 5.7-2.



Figura 5.7-2 Desorden en la Zona de reciclaje

Con el fin de mantener el orden en la Zona de Reciclaje se decide trasladar el sitio del cartón corrugado, ubicándolo al otro costado del muro que separa ambas áreas de la Zona de Reciclaje. En la Figura 5.7-3a puede observarse la zona exclusiva para el cartón corrugado, mientras que en la Figura 5.7-3b puede observarse la zona para las cajas de cartón.

Otro problema que se produjo en la Zona de Reciclaje es que, a pesar de las instrucciones iniciales y su recordatorio, los jornales continuaban dejando sin desarmar las cajas al menos el 40% de las veces, lo que provocaba un mal uso del espacio de acopio. La razón de este problema es que las cajas son difíciles de desarmar sin tener cuchillo cartonero, debido a que están selladas en algunas caras con cinta de embalaje.



(a) Zona de reciclaje de cartón corrugado



(b) Zona de reciclaje de cajas de cartón

Figura 5.7-3 Zona de acopio de cartón

Por tal razón es que semanalmente o al menos cada dos semanas es necesario realizar aseo en la Zona de Reciclaje. El aseo consiste principalmente en desarmar las cajas, mover el cartón corrugado a su zona cuando ha sido puesto en la zona de las cajas y juntar los recortes y colocarlos en las cajas dispuestas para ello. El tiempo que se destina a estas tareas normalmente es entre 15 y 25 minutos.

5.8 Término del experimento

El día 11/09/2015 finalizan las mediciones y el registro fotográfico de la Zona de Reciclaje. Luego de 8 semanas de mediciones finaliza el experimento, recopilándose datos suficientes para comprobar la exactitud de las hipótesis formuladas. Se finalizó el período con un índice de reciclaje de 78.1% para las cajas de cartón (Figura 5.8-1a) y un 65.3% para el cartón corrugado (Figura 5.8-1b).



(a) 8va semana- Zona de reciclaje de cajas de cartón



(b) 8va semana- Zona de reciclaje de cartón corrugado



(c) 8va semana- Zona de residuos

Figura 5.8-1 Imágenes del último día del experimento (11/09/2015)

En el presente capítulo fue descrito el desarrollo del experimento en sus tres fases, (i) Recopilación de información del manejo de RSC en la obra, (ii) Selección del material a reciclar y (iii) Experiencia de reciclaje llevada a cabo en la obra. En la fase (i), la cual consistió en la recopilación de información de la situación presente del manejo de residuos en la obra, como fue descrito en las secciones 5.1 y 5.2. En la fase (ii) del experimento se selecciona el material a tratar en base a la investigación del mercado del reciclaje en la V región descrita en 5.3 y la información recopilada en la primera JCZ

fase del experimento. Finalmente, en la fase (iii) descrita en las secciones 5.4, 5.5 y 5.7 se describe la experiencia de reciclaje llevada a cabo en la obra.

En el Capítulo 6 se presentan extractos de los obtenidos durante el experimento (cámara IP, proyección del volumen de cartón en la obra y cartón reciclado). La totalidad de los datos se presenta en los Anexo A, B y C.

El análisis de los datos obtenidos se presenta en el Capítulo 7. Esta se encuentra resumida y es interpretada de manera de comprobar o descartar las hipótesis formuladas (Sección 3.1).

6 RECOPIACIÓN DE DATOS

Como se discutió en el Capítulo 5.2.1 (Medición de volumen de los RSC utilizando cámara IP), el objetivo de utilizar la cámara IP fue obtener información relevante para la gestión de los residuos en la obra. En este capítulo se presentan extractos de los datos obtenidos mediante la utilización de la cámara IP. En ellos se puede observar el volumen de los residuos transportados, medio de transporte utilizado, tipo de residuo y número de trabajadores involucrados en su traslado. Cada una de estas variables fue registrada en cada ocasión en la que se realizó el retiro o depósito de residuos en la Zona de Residuos de la obra.

En el capítulo también se presenta la estimación del cartón que se generará en la obra, la cual se basa en la observación del formato de entrega de los materiales y que se almacenan en bodega.

Finalmente se presentan extractos de los datos obtenidos del Plan de Reciclaje de Cartón, los cuales corresponden al volumen almacenado (de cajas de cartón y cartón corrugado) periódicamente en la Zona de Reciclaje y su Índice de Reciclaje (IR) el cual fue descrito en 5.4.2.

6.1 Cámara IP: Residuos, medios de transporte y trabajadores

La cámara IP registró imágenes de la Zona de Residuos, las cuáles fueron analizadas y se pudo obtener información como: volumen descargado (m^3), transporte utilizado para el residuo, destino del residuo, número de trabajadores involucrados en el traslado, el tipo de residuo (de acuerdo a la clasificación establecida en 5.2.1), acción realizada (acopio, retiro, retiro directo) y su frecuencia asociada. A partir de estos datos se pudo establecer la situación base de la obra en relación con el volumen de los RSC.

De las imágenes se obtuvo información como la presentada en la Tabla 6.1-1.

Tabla 6.1-1 Extracto datos cámara IP – Semana 10

Semana	Fecha	Transporte	Destino	Acción	Nro. T	Vol. [m ³]	Residuo
10	14-Jul	PALA- PICOTA	CAMION RESIDUOS	RETIRO	2	1.575	MEZCLA
10	14-Jul	CUNA-GRUA	CAMION RESIDUOS	RETIRO.D	2	1.75	MEZCLA
10	14-Jul	PALA- PICOTA	CAMION RESIDUOS	RETIRO	2	0.825	MEZCLA
10	14-Jul	CUNA-GRUA	CAMION RESIDUOS	RETIRO.D	2	1.75	MEZCLA
10	14-Jul	PALA- PICOTA	CAMION RESIDUOS	RETIRO	2	4.8	MEZCLA
10	15-Jul	CUNA-GRUA	ZONA RESIDUOS	ACOPIO	2	1.75	MEZCLA
10	15-Jul	CAPACHO-GRUA	ZONA RESIDUOS	ACOPIO	2	0.75	MEZCLA
10	15-Jul	GRUA	ZONA RESIDUOS	ACOPIO	2	0.5	MEZCLA
10	15-Jul	CUNA-GRUA	ZONA RESIDUOS	ACOPIO	2	1.75	MEZCLA
10	15-Jul	CAPACHO-GRUA	ZONA RESIDUOS	ACOPIO	2	0.75	MEZCLA
10	15-Jul	BOMBA	ZONA RESIDUOS	ACOPIO	2	0.5	HORMIGON
10	15-Jul	CARRETILLA	ZONA RESIDUOS	ACOPIO	1	0.09	HORMIGON

Se puede notar en la Tabla 6.1-1 que el día 14/07/2015 fueron retirados de la obra 10,7 [m³] de RSC (suma de valores en azul y rojo), de los cuales 3,5 [m³] (valores en azul) fueron trasladados al camión desde el edificio, sin pasar por la Zona de Residuos, utilizando la cuna. Los 7,2 [m³] (valores en rojo) de RSC restantes fueron cargados al camión desde la Zona de Residuos por 2 trabajadores utilizando pala y picota como se ve en la Figura 6.1-1a) y Figura 6.1-1b) respectivamente.

De la Tabla 6.1-1 también se desprende el tipo de residuos transportados. El día 15/07/2015, por ejemplo, se trasladaron 0,09 [m³] (valor en amarillo) de hormigón utilizando carretilla, como se puede observar en la Figura 6.1-1 f).

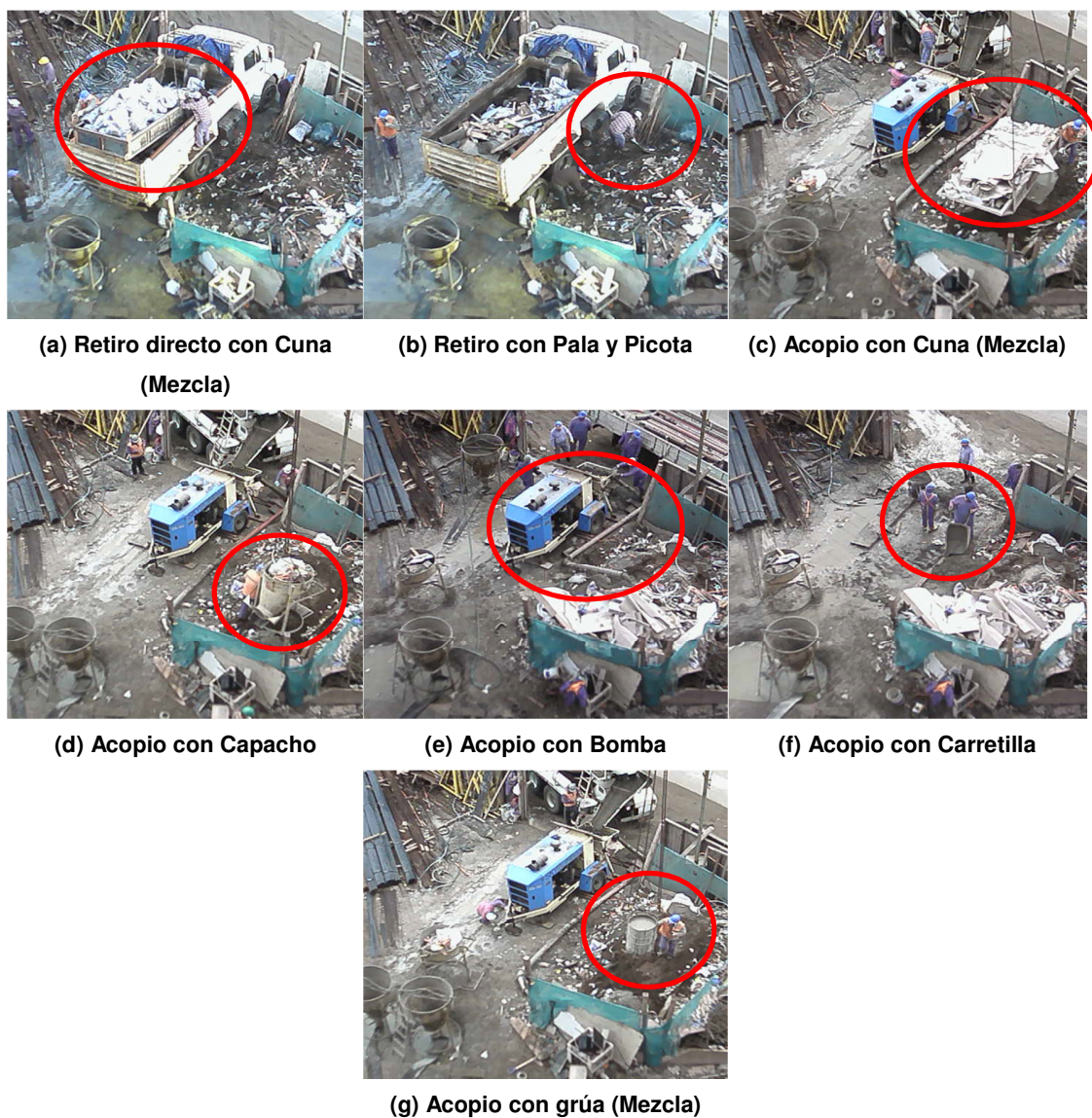


Figura 6.1-1 Tipos de retiro de residuo observados en obra

6.2 Proyección del volumen de cartón en la obra

Se realizó la proyección de cajas de cartón para las partidas más importantes de Terminaciones finas y gruesas. La información utilizada para estimar el volumen de cartón a utilizar en la obra fue:

(i) Especificaciones Técnicas Particulares: En ella se detallan las dimensiones, material y marca de los productos a utilizar, esta información fue complementada con los datos entregados por los bodegueros, como por ejemplo las dimensiones y tipo de cajas de los productos.

A partir del cruce de ambas informaciones se pudo determinar qué productos se adquieren en cajas de cartón.

(ii) Planos de Arquitectura: Con ellos se determinó las cantidades adquiridas de cada producto en detallado en las Especificaciones Técnicas, siendo los más importantes: Artefactos sanitarios, Accesorios de baño, Artefactos de cocina y Grifería y Fittig. Para el caso de los revestimientos se utilizan las cubicaciones realizadas por el supervisor de terminaciones, ya que estas tienen considerado el rendimiento de los trabajadores.

(iii) Página web fabricantes: En el caso de los productos aún no adquiridos al momento del experimento, se estimaron las dimensiones de las cajas de dichos productos con la información disponible en las páginas web de los proveedores o fabricantes.

Finalmente se calcula para cada ítem el volumen de cartón generado y su peso.

Los resultados de las cubicaciones son los siguientes:

Tabla 6.2-1 Proyección del volumen de cartón

	Por piso [m ²]	23 pisos [m ²]	23 pisos [m ³]	23 pisos [Ton]
Cerámica	139.4	3205.9	12.82	0.64
Artefactos de cocina	56.9	1309.3	5.24	0.26
Artefactos Sanitarios	81.7	1879.0	7.52	0.38
Accesorios de baño	14.5	332.4	1.33	0.07
Grifería y Fittig	40.7	935.5	3.74	0.19

	Por piso [m ²]	23 pisos [m ²]	23 pisos [m ³]	23 pisos [Ton]
Piso Flotante	14.6	334.9	1.34	0.07
Otros	139.1	3198.8	12.80	0.64
Cartón Corrugado	556.3	12795.4	25.59	1.28
Total	1043.1	23991.1	70.4	3.52

Se debe señalar que para el ítem Otros (Tabla 6.2-1), se consideran todas las cajas de las cuales no fue posible obtener información suficiente para realizar una proyección. Este ítem se estima como el 40% de la suma de los demás ítems. Para la estimación del cartón corrugado se calculó el área de los departamentos y se amplificó por un factor de 1.2, el cual representa el traslape que se produce se cubre el piso.

El peso considerado tanto para las cajas de cartón como para el cartón corrugado es de 50 [kg/m³]. Por tanto, el peso estimado a acopiar de cajas de cartón es de 2,24 [Ton] y de cartón corrugado 1,28 [Ton], resultando 3,52 [Ton] en total.

Considerando que el peso mínimo de cartón que retira SOREPA sin costo para la empresa es de 600 [kg], se debe retirar en un máximo de 5 viajes las 3,52 [Ton] proyectadas.

6.3 Volumen de Cartón luego del comienzo del Plan de Reciclaje

En el capítulo 5, los cambios implementados en el flujo de cartón dentro de la obra, así como también los métodos de recolección de datos del experimento fueron extensamente descritos. Estos datos corresponden a mediciones del volumen diario de cartón (cajas y corrugado), tanto en la Zona de Reciclaje como en la Zona de Residuos. Con dichos datos se calcula el volumen acumulado y finalmente el IR [%] correspondiente al día.

En la Tabla 6.3-1 (la cual es un extracto de la tabla C.1), se pueden observar los datos de las primeras dos semanas del experimento. Como se observa en la columna destacada en azul, no hubo reciclaje de cartón corrugado durante este período, debido a desinformación entre los jornales y los supervisores. La instrucción de los supervisores fue de acopiar las cajas de cartón, por lo cual todo el cartón corrugado

estaba siendo desechado y trasladado junto con los escombros a la Zona de Residuos. Solo después de la charla informativa impartida en la Semana 3 (13/08/2015), se comenzó con el reciclaje del cartón corrugado.

También llama la atención una disminución del IR [%] el día 27/07/2015, el cual pasó de 72,3 [%] a 2,6 [%] (destacado en rojo). Esto se explica principalmente por la disminución del volumen de cajas en la Zona de Reciclaje, las cuales fueron retiradas por los trabajadores en el horario de almuerzo para ser utilizadas como protección del suelo y descansar en ellas, lo que es una práctica común en la construcción en Chile. Otro factor que contribuyó a la disminución del IR [%] fue el aumento en el volumen enviado a la Zona de Residuos, pasando de 0,0056 [m³] a 0,00296 [m³] como se observa destacado en amarillo.

Tabla 6.3-1 Cartón reciclado – Semanas 1 y 2

Semana	Día	Fecha	Zona de Reciclaje		Zona de Residuos		Total		IR[%]	
			Cajas	Corr.	Cajas	Corr.	Cajas	Corr.	Cajas	Corr.
2	VI	31-7-15	0.0164	0	0.0296	0.0764	0.0460	0.0764	35.7	0
2	JU	30-7-15	0.0164	0	0.0296	0.0764	0.0460	0.0764	35.7	0
2	MI	29-7-15	0.0164	0	0.0296	0.0764	0.0460	0.0764	35.7	0
2	MA	28-7-15	0.0128	0	0.0296	0.0764	0.0424	0.0764	30.2	0
2	LU	27-7-15	0.0008	0	0.0296	0.0764	0.0304	0.0764	2.6	0
1	VI	24-7-15	0.0146	0	0.0056	0.0572	0.0202	0.0572	72.3	0
1	JU	23-7-15	0.0146	0	0.0056	0.0276	0.0202	0.0276	72.3	0
1	MI	22-7-15	0.0146	0	0.0056	0.0276	0.0202	0.0276	72.3	0
1	MA	21-7-15	0.0146	0	0.0056	0.0036	0.0202	0.0036	72.3	0

En la Tabla 6.3-2 se observa destacado en azul que el volumen acumulado fue de 2,1905 [m³] para las cajas y 2,12012 [m³] para el cartón corrugado, es decir un total de 4,2917 [m³].

Considerando una densidad media de 50 [Kg/m³] se tiene un peso acumulado de 214,58 [Kg], lo que corresponde al 35,76 [%] de lo requerido para el primer retiro.

El IR [%] en el día final del experimento alcanzó 78,1 [%] para las cajas y 65,3 [%] para el cartón corrugado (en rojo). Como se puede observar en la Tabla 6.3-2 destacado en

amarillo, hubo una leve disminución del IR [%] para ambas categorías de cartón, la cual se explica porque el volumen de cartón que terminó en la Zona de Residuos fue mayor que el que terminó en la Zona de Reciclaje dicha semana.

Tabla 6.3-2 Extracto datos obtenidos – Semana 8

Semana	Día	Fecha	Zona de Reciclaje		Zona de Residuos		Total		IR[%]	
			Cajas	Corr.	Cajas	Corr.	Cajas	Corr.	Cajas	Cajas
8	VI	11-9-15	1.7109	1.3720	0.4796	0.7292	2.1905	2.1012	78.1	65.3
8	JU	10-9-15	1.7109	1.3720	0.4676	0.7268	2.1785	2.0988	78.5	65.4
8	MI	9-9-15	1.7109	1.3720	0.3896	0.7148	2.1005	2.0868	81.5	65.7
8	MA	8-9-15	1.7109	1.3720	0.3896	0.7148	2.1005	2.0868	81.5	65.7
8	LU	7-9-15	1.7109	1.3720	0.3896	0.7148	2.1005	2.0868	81.5	65.7

Destacado en color verde se observa que, el volumen de cartón corrugado en la Zona de Reciclaje se mantuvo constante durante la semana 8 en 1,3720 [m³] (no hubo acopio esos días), mientras que sí hubo un traslado del material a la Zona de Residuos, pasando de 0,7148 [m³] el día miércoles a 0,7268 [m³] el día jueves como se observa destacado en morado en la Tabla 6.3-2.

7 ANALISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS

Debido a la limitante de la calidad de las imágenes registradas por la cámara IP solo fue posible categorizar los RSC en tres categorías: La primera es el Hormigón fresco sobrante del hormigonado de muros, vigas y losas; la segunda categoría corresponde la Mezcla de los residuos provenientes de la torre (tanto de la losa de avance como de las terminaciones) y entre los que fue posible distinguir el escombros de hormigón, madera sin tratar, montantes de A.G., etc. ; La tercera categoría es Otros, y corresponde a residuos que no se ajustan a las descripciones de las categorías anteriores.

Como fue mencionado en 5.2.3, mediante inspección visual de los transportes de RSC utilizados en obra se obtuvo los tipos de RSC trasladados en obra por cada medio de transporte y el porcentaje de volumen asociado. En la Tabla 6.3-1 se presentan dichos porcentajes.

Tabla 6.3-1 RSC trasladado por cada tipo transporte

	Capacho [%]	Manual [%]	Carretilla [%]	Cuna [%]	Grúa [%]	Otro medio [%]
Hormigón	90,0	0	0	55,0	0	0
Tierra	0	0	40,0	0	0	0
Madera sin tratar	0	75,0	40,0	10,0	0	60,0
Huinchas Yeso-Cartón	0	0	0	10,0	0	0
Estuco	0	0	0	4,0	0	0
Yeso	0	0	0	4,0	0	0
Puente de adherencia	0	0	0	4,0	0	0
Cajas de cartón	0	20,0	10,0	4,0	0	20,0
Madera tratada	0	0	0	3,0	0	0
Cartón corrugado	0	0	0	2,0	0	0
Tuberías PVC y PEX	5,0	0	0	1,0	0	0
Montantes de A.G.	0	0	0	1,0	0	0
Revestimientos	0	0	0	1,0	0	0

	Capacho [%]	Manual [%]	Carretilla [%]	Cuna [%]	Grúa [%]	Otro medio [%]
Pallets de madera*	--	--	--	--	--	--
Contenedores plásticos**	--	--	--	--	--	--
Papel	0	3,0	4,0	0,5	0	20,0
Film Plástico	0	2,0	2,0	0,5	0	0
Acero	5,0	0	4,0	0	0	0
Sin Identificar	0	0	0	0	100,0	0
Total	100	100	100	100	100	100

*Durante el período de observación no se registró traslado hacia la zona de residuos de pallets de madera.

**Los contenedores plásticos no se presentan en las mediciones debido a que son reciclados por los contratistas (Ver 5.1.2).

7.1 Residuos Generados

Con la información obtenida de la cámara IP y las inspecciones visuales, fue posible obtener el volumen generado de cada material.

Debido a discontinuidades en el registro de imágenes, causadas por problemas con la cámara IP, es que se dividió el registro en dos períodos. El Período 1 abarca las primeras cuatro semanas (del 13/05/2015 al 4/06/2015) del período de mediciones y el Período 2 entre la novena y doceava semana (del 6/07/2015 al 30/07/2015). La elección de estos períodos para el análisis se debe a que presentan al menos un 75% del tiempo de observación registrado.

El análisis fue realizado individualmente para cada uno de los períodos mencionados.

Período 1 (Del 13/05/2015 al 04/06/2015) El total de RSC producidos en el Período 1 fue de 81,14 [m³], y estaba compuesto de: 56,47 [m³] de Hormigón, 5,37 [m³] de Madera sin tratar, 4,9 [m³] de Huinchas de yeso-cartón, 3,06 [m³] de cartón y 11,34 [m³] de otros materiales.

El promedio semanal de RSC producidos es de 20,29 [m³], mientras que los promedios semanales de cada residuo son 14,12 [m³] de Hormigón, 1,35 [m³] de Madera sin

tratar, 1,23 [m³] de Huinchas de yeso-cartón, 0,77 [m³] de cartón y 2,84 [m³] de otros materiales.

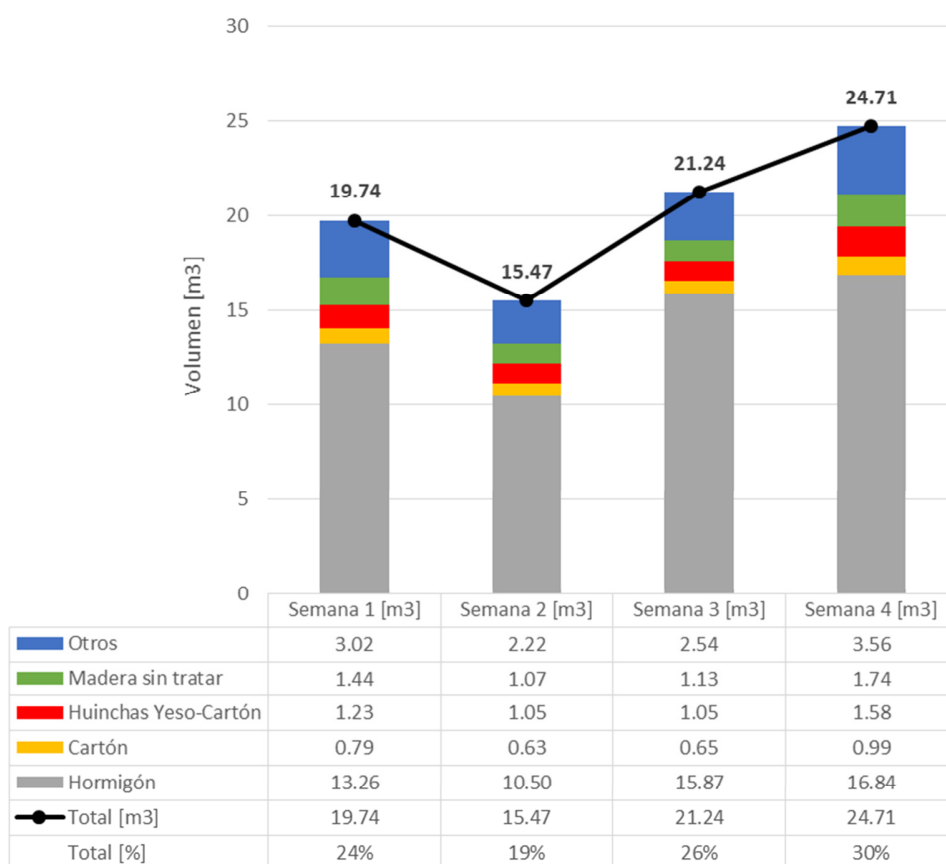


Figura 7.1-1 Volumen de residuos producidos en el período 1

Se puede observar en la Figura 7.1-1 que el hormigón es el residuo más importante en términos de volumen generado. El total de hormigón generado (56,47 [m³]) es 2,3 veces mayor que el total de los demás residuos generados (24,69 [m³]) durante el Período 1.

Por último, se observa un crecimiento del volumen de residuos generados a partir de la segunda semana, pasando de 15,47 [m³] a 21,23 [m³], alza que se explica por el comienzo de los trabajos de Terminaciones en la obra, etapa en la cual se utiliza una variedad mayor de materiales y trabaja un mayor número de jornales.

Período 2 (Del 6/07/2015 al 30/07/2015) El total de RSC producidos en el Período 2 es de 85,82 [m³], el cual se compone de 53,02 [m³] de Hormigón, 8,36 [m³] de Madera sin tratar, 6,3 [m³] de Huinchas de yeso-cartón, 4,35 [m³] de cartón y 13,80 [m³] de otros materiales.

El promedio semanal de RSC producidos es de 21,46 [m³], mientras que los promedios semanales de cada residuo son 13,25 [m³] de Hormigón, 2,09 [m³] de Madera sin tratar, 1,58 [m³] de Huinchas de yeso-cartón, 1,09 [m³] de cartón y 3,45 [m³] de otros materiales.

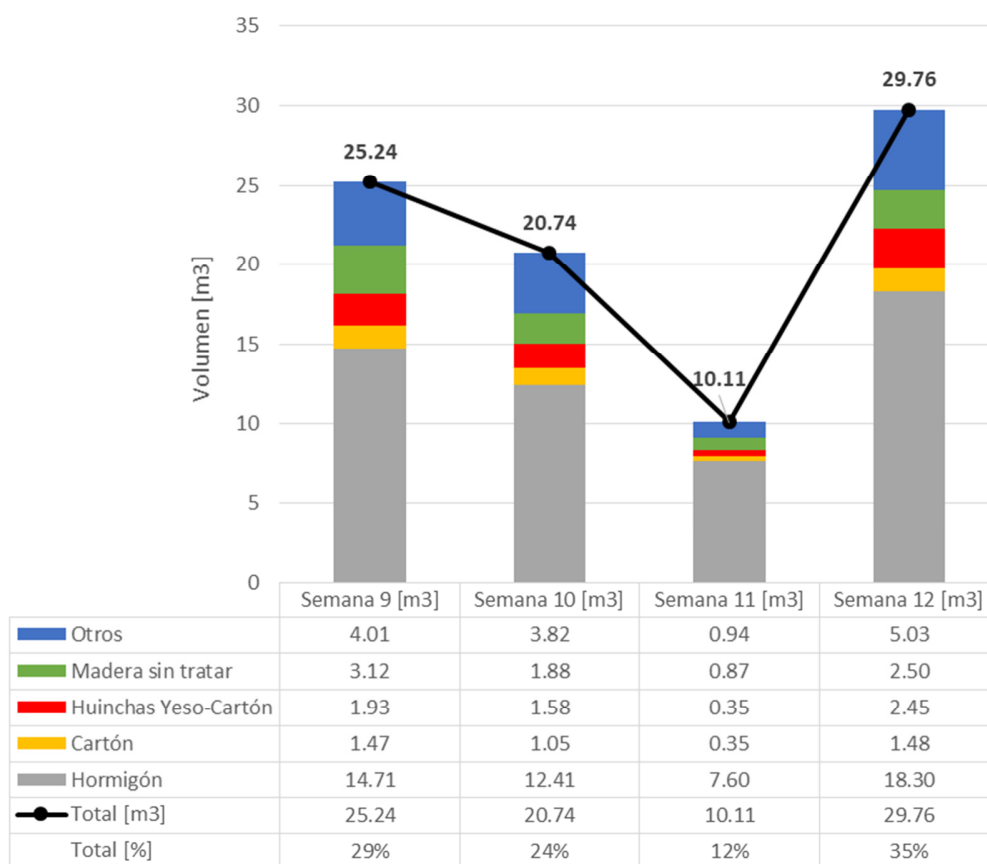


Figura 7.1-2 Volumen de residuos producidos en el período 2

Durante este período continúan los trabajos de obra gruesa, como también los de Terminaciones gruesas y finas en distintos pisos del edificio.

Debido a problemas con el registro de imágenes durante la semana 11, en la cual el porcentaje de registro fue de 65,2 [%], el cual es menor al de las semanas 9, 10 y 12 que promediaron 90,2 [%], es que se aprecia una disminución del volumen generado de residuos en esa semana.

Análisis de ambos períodos Se registró un aumento de 2 [%] en el total de residuos generados entre ambos períodos, pasando de 81,16 [m³] en el período 1 a 85,85 [m³] en el período 2, como se puede observar en la Figura 7.1-3. Lo cual es equivalente a comparar el aumento del promedio semanal de ambos períodos, es decir de 20,29 [m³/semana] a 21,46 [m³/semana].

Este aumento de 2 [%] se explica en gran medida porque, como se mencionó anteriormente, por la continuación de los trabajos de obra gruesa en la obra.

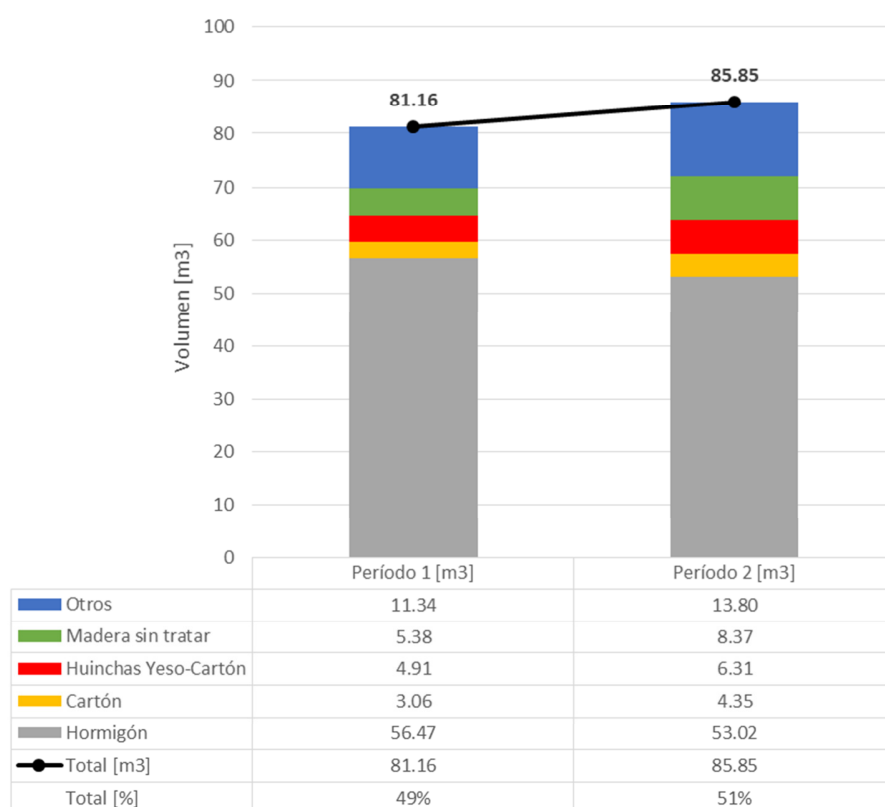


Figura 7.1-3 Comparación de residuos generados entre Períodos 1 y 2

Si se quita la semana 11 del análisis y se realiza nuevamente la comparación entre el promedio semanal de RSD generado en ambos períodos, se observa un aumento del 10 [%], pasando de 20,29 [m³/semana] a 25,25 [m³/semana].

Finalmente, en Figura 7.1-4 presenta la cantidad relativa de residuos de ambos períodos. Se puede observar que el residuo que se genera en mayor cantidad es el de hormigón, el cual representa dos tercios del total generado. En tanto, el cartón representa un 4 [%] del total generado en ambos períodos.

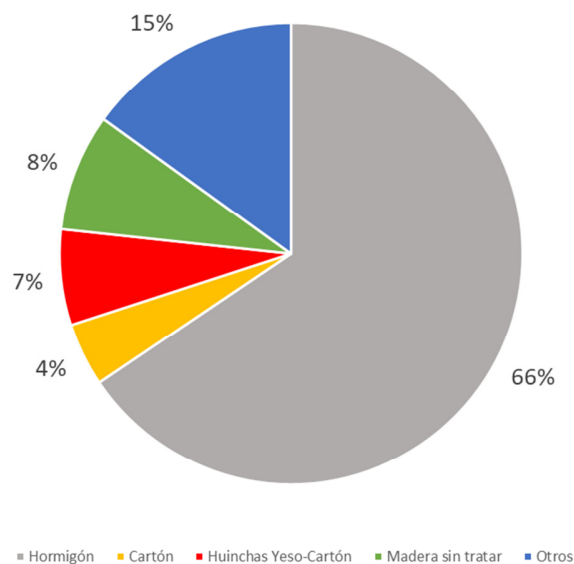


Figura 7.1-4 Residuos generados durante los períodos 1 y 2

7.2 Flujo de RSC dentro de la obra

Los medios de transporte utilizados fueron categorizados de acuerdo con el uso o no de maquinaria y de grúa como se observa en la Tabla 7.2-1.

Tabla 7.2-1 Medios de transporte

Uso de maquinaria		Sin uso de maquinaria
Uso de grúa	Sin uso de grúa	
Grúa	Cargador Frontal	Carga manual
Cuna	Bomba	Carretilla
Capacho	Mixer	Pala
		Pala y Picota

Periodo 1 (Del 13/05/2015 al 04/06/2015): Se observa en la Figura 7.2-1 que el destino final de los residuos en la Obra es el Camión de Residuos, pudiendo pasar antes por la Zona Residuos. El volumen total generado durante el período es 81,15 [m³], de los cuales 13,88 [m³] son transportados directamente al camión de retiro de RSC y 67,27 [m³] son acopiados y luego retirados.

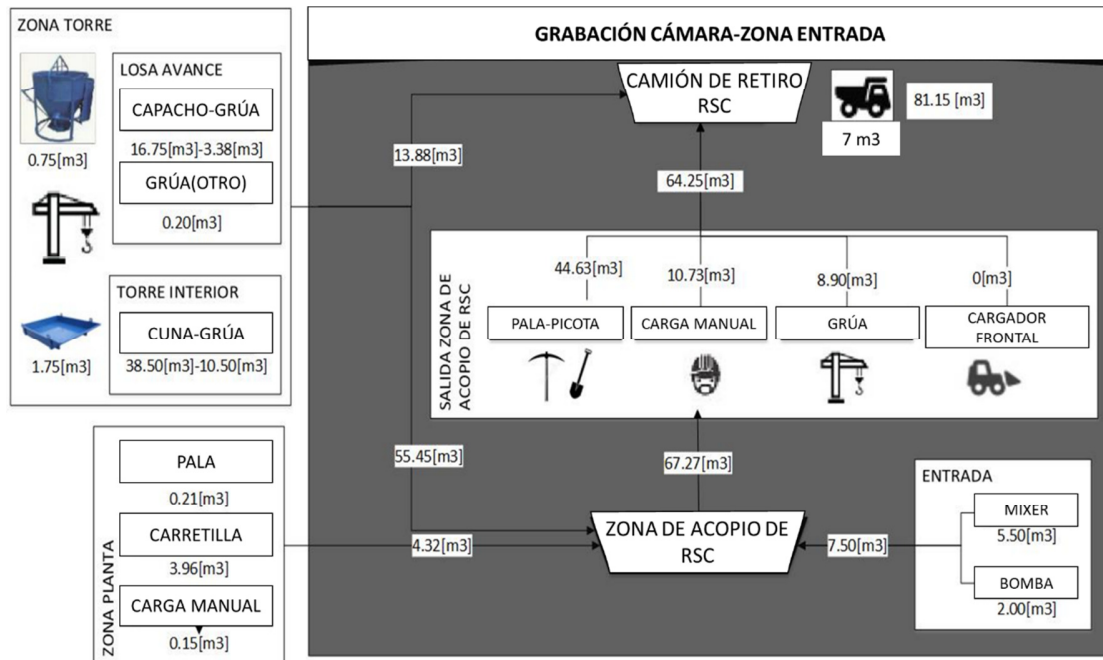


Figura 7.2-1 Volumen de residuos transportado por cada medio de transporte-Período 1

De los 13,88 [m³] que se descargan directamente en el camión de retiro, 10,50 [m³] se retiran utilizando la Cuna y 3,38 [m³] utilizando el Capacho. El material que se retira con Cuna en su mayoría es mezcla proveniente del interior de la torre, o trabajos de terminaciones, y una parte menor proveniente de la losa de avance. En el caso del Capacho los RSC provienen de la losa de avance exclusivamente, pudiendo ser escombros u hormigón fluido sobrante del hormigonado de elevaciones.

Respecto a los 67,27 [m³] de RSC que son acopiados, estos provienen de tres grandes zonas: la Zona Torre 55,45 [m³], la Planta 4,32 [m³] y la Entrada 7,50 [m³].

De los residuos de la Zona Torre, 16,75 [m³] se retiran con Capacho, 38,50 [m³] con cuna y 0,20 [m³] utilizando Grúa. Los residuos provenientes de la Planta y la Entrada son descargados como se detalla en la Figura 7.2-1.

Las cantidades retiradas en la Zona de Residuos durante el Período 1 fueron:

- Pala y picota 44,63 [m³]

- Carga manual 10,73 [m³]
- Grúa 8,90 [m³]

Existe una diferencia de 3,02 [m³] entre el volumen descargado en la zona de acumulación de RSC (67,27 [m³]) y el volumen retirado de la misma zona (64,25 [m³]), la cual se produce debido a los supuestos realizados y mencionados en 5.2.1. La imprecisión se produce porque la estimación del volumen de residuos es través de imágenes y existen cortes de filmación.

Estos valores se revisan en mayor detalle los valores para el volumen retirado en 7.3.

Período 2 (Del 6/07/2015 al 30/07/2015) El volumen total generado durante el período es 85,83 [m³], de los cuales 14,00 [m³] son transportados directamente al camión de retiro de RSV y 71,83 [m³] son trasladados a la Zona de Acopio para luego ser retirados.

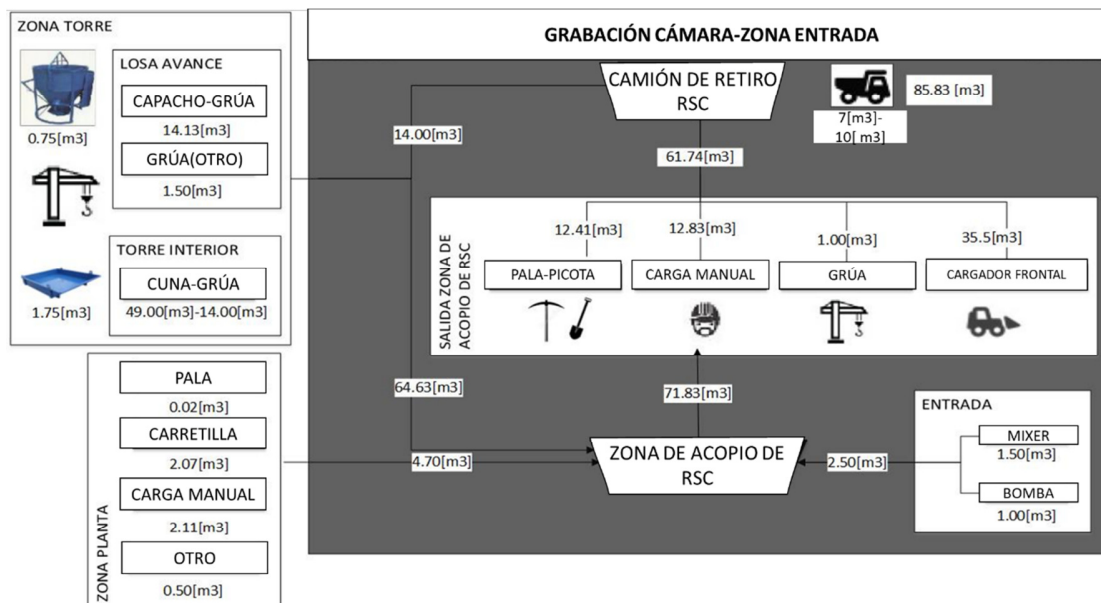


Figura 7.2-2 Volumen de residuos transportado por cada medio de transporte-Período 2

Respecto a los 71,83 [m³] de RSC que son acopiados, 64,63 [m³] provienen de la Zona Torre, 4,70 [m³] de la Zona Planta y 2,50 [m³] de la Entrada. De los residuos de la Zona Torre, 14,13[m³] se retiran con Capacho, 49,00 [m³] utilizando cuna y 1,50 [m³] utilizando solo la grúa. Los residuos provenientes de la Planta y la Entrada son descargados utilizando los medios señalados en la Figura 7.2-2.

Para el retiro de los RSC en la zona de acopio durante el Período 2 fue utilizado Pala y picota (12,41 [m³]), Carga manual (12,83 [m³]), Grúa (1,00 [m³]) y se utilizó también en este período el Cargador frontal, el cual retiró la mayor parte del volumen de residuos (35,50 [m³]).

Existe una diferencia de 9,59 [m³] entre el volumen descargado en la Zona de Residuos (71,33 [m³]) y el volumen retirado de la misma zona (61,74 [m³]). La

diferencia es mayor que para el Período 1, y la principal causa son los cortes de filmación durante las horas de trabajo, los cuales se produjeron en mayor número y con duraciones mayores, especialmente durante la Semana 11 del experimento.

7.3 Retiro de los RSC de la obra

En esta sección se analiza retiro de los RSC de la obra durante los períodos 1 y 2. En este se detalla el volumen que cada medio de transporte utilizado trasladó con este fin. Finalmente se presenta un gráfico resumen de la situación de ambos períodos.

Periodo 1 (Del 13/05/2015 al 04/06/2015): Durante este período las mediciones del retiro residuos desde la Zona de Residuos indican un volumen de 64,25 [m³]. Este volumen fue cargado como se indica en la Tabla 7.3-1, siendo la Pala y picota la forma de carga más utilizada, con 69 [%] del volumen retirado, seguido por la Carga manual con 17 [%] y la utilización de Grúa con 14 [%] (Figura 7.3-1). La semana 3 fue en la cual la mayor cantidad de residuos fueron retirados, 30,14 [m³] que corresponden al 47 [%] del total del período 1; mientras que en la semana 1 se retiró la menor cantidad de residuos, 5,06 [m³] que corresponde al 8 [%].

Tabla 7.3-1 Retiro de residuos-Período 1

RETIRO	CARGA MANUAL	GRUA	PALA- PICOTA	CARGADOR FRONTAL	TOTAL SEMANA
semana 01	0,00	1,50	3,56	0,00	5,06
semana 02	0,00	0,40	8,55	0,00	8,95
semana 03	10,73	5,50	13,91	0,00	30,14
semana 04	0,00	1,50	18,60	0,00	20,10
Total Equipo	10,73	8,90	44,63	0,00	64,25

Período 2 (Del 6/07/2015 al 30/07/2015): Durante este período las mediciones del retiro residuos desde la Zona de Residuos indican un volumen de 61,74 [m³]. Este volumen fue cargado como se indica en la Tabla 7.3-2, siendo el cargador frontal la forma de carga más utilizada, con 57 [%] del volumen retirado, seguido por la Carga manual con 21 [%], la utilización de Pala y picota con 20 [%] y finalmente la Grúa con 2 [%] (Figura

7.3-2). La segunda semana del período fue donde mayor cantidad de residuos fueron retirados, 22,20 [m³] o 36 [%] de los residuos del período; mientras que en la última semana se retiró la menor cantidad de residuos, 10,50 [m³] que corresponde al 17 [%].

Tabla 7.3-2 Retiro de residuos-Período 2

RETIRO	CARGA MANUAL	GRUA	PALA- PICOTA	CARGADOR FRONTAL	TOTAL SEMANA
semana 09	9,68	1,00	5,21	0,00	15,89
semana 10	0,00	0,00	7,20	15,00	22,20
semana 11	3,15	0,00	0,00	10,00	13,15
semana 12	0,00	0,00	0,00	10,50	10,50
Total Equipo	12,83	1,00	12,41	35,50	61,74

Respecto al Período 1, hubo un cambio en la prioridad de utilización de recursos para retirar los RSC de la obra. Cambió de la utilización de Pala-picota, Carga Manual y Grúa como se ve en la Figura 7.3-1 a la utilización de Cargador frontal, Carga Manual, Pala-picota y Grúa como se ve en la Figura 7.3-2.

Se vio un aumento en la utilización de maquinaria frente al uso de jornales para la carga del camión. En el período 1 el 86 [%] de los residuos fueron cargados al camión de escombros utilizando fuerza humana, Pala-picota y carga manual como se ve en la Figura 7.3-1, y solo el 14 [%] utilizando maquinaria (Grúa).

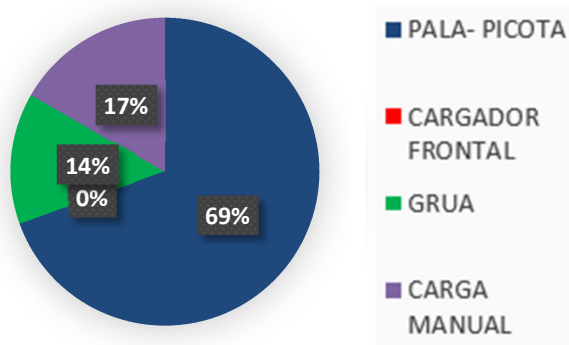


Figura 7.3-1: Formas de retiro-Período 1

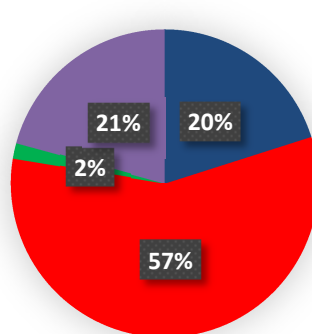


Figura 7.3-2: Formas de retiro-Período 2

Se presenta un cambio importante en el Período 2 (Figura 7.3-2), donde el 59 [%] del volumen es cargado utilizando maquinaria mayoritariamente el cargador frontal (57 [%]). El restante 41 [%] del volumen cargado se reparte entre el uso de la Pala y picota (20 [%]) y la Carga manual (21 [%]).

7.4 Resultados del Plan de Reciclaje

Las mediciones periódicas se realizaron entre el 21 de Julio y el 11 de septiembre (8 semanas). El valor de IR alcanzado en la última semana es de 80,2 [%] para las cajas de cartón y 65,58 [%] para el cartón corrugado (Figura 7.4-1).

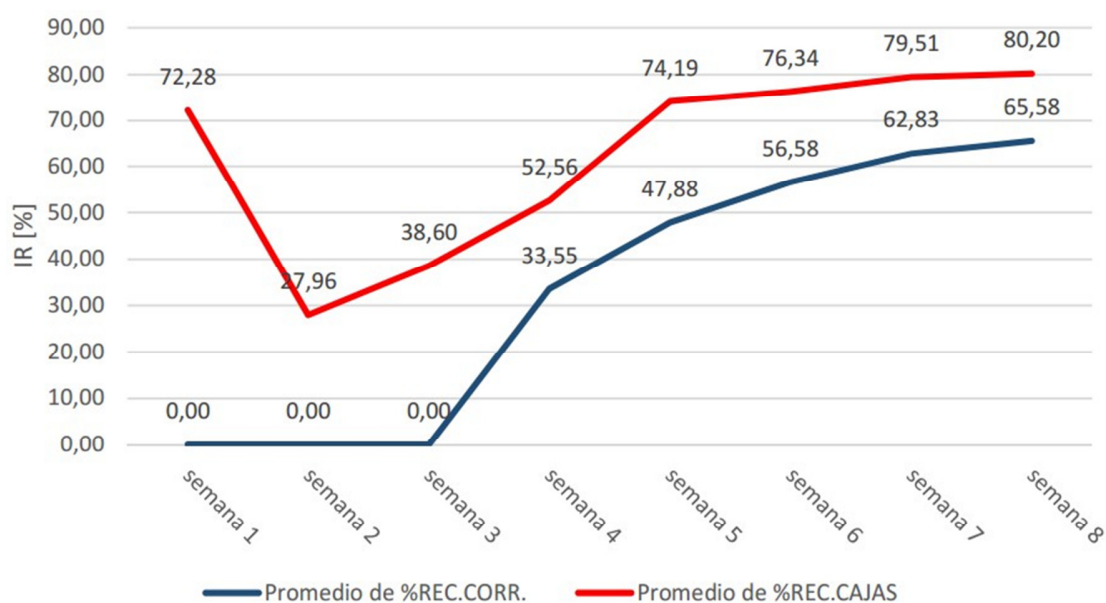


Figura 7.4-1 Mediciones periódicas zona de reciclaje

Es posible observar en la Figura 7.4-1 una pronunciada baja del IR entre la semana 1 y la semana 2, pasando de 72,28 [%] a 27,96 [%]. La explicación es que hasta el final de la semana 1 se habían acopiado solo 0,015 [m³] y el lunes de la semana 2 sacaron 0,014 [m³] de cajas de cartón de la Zona de Reciclaje, sumado a que hubo transporte de cartón a la Zona de Residuos, provocó una disminución en el IR dejándolo en 2,63 [%]. La baja tan pronunciada se debe a que el IR [%] al definirse en base al volumen acumulado, es más sensible a cambios durante las primeras semanas ya que el volumen acopiado o desechado diariamente es comparable al volumen en la Zona de reciclaje.

Se puede observar en la Figura 7.4-1 que el reciclaje sostenido de cartón (curva con pendiente positiva) comienza en la segunda semana para las cajas de cartón y en la

tercera para el cartón corrugado. Se puede considerar entonces que el tiempo real de reciclaje durante el experimento fue de siete semanas para las cajas de cartón y de cinco para el cartón corrugado.

Se puede notar también que la diferencia del IR entre las cajas de cartón y el cartón corrugado disminuye con el paso de las semanas, pasando de 26,32 [%] en la semana 5 a 14,62 [%] en la semana 8.

Es posible notar que el crecimiento de IR% es cada vez menor a medida que se avanza en el experimento, siendo en la última semana 0,69 [%] para las cajas de cartón y 2,75 [%] para el cartón corrugado, alcanzándose valores estables de IR [%].

Finalmente es posible suponer a partir de este comportamiento que el IR [%], de mantenerse las condiciones en la obra, no hubiese aumentado mucho más. Por tal razón, para el caso particular de este experimento y las condiciones en las que se realizó, la duración del experimento se considera suficiente para realizar conclusiones acerca del porcentaje que se puede reciclar de los residuos seleccionados.

7.4.1 Influencia de la Charla de los trabajadores

Como se mencionó en 5.6.1 y 5.6.2, fue realizada una evaluación del plan de reciclaje entrevistando a los trabajadores acerca del funcionamiento del Plan de Reciclaje. A partir de dicha entrevista realizada en la semana 3, se preparó una charla a los trabajadores con el objeto de motivarlos y comprometerlos con el plan, la cual se realizó a finales de la semana 4.

La influencia de la charla se ve reflejada en la Figura 7.4-2. En ella se observa el volumen acopiado en la Zona de Reciclaje antes y después de la charla tanto para el cartón corrugado como para las cajas de cartón.

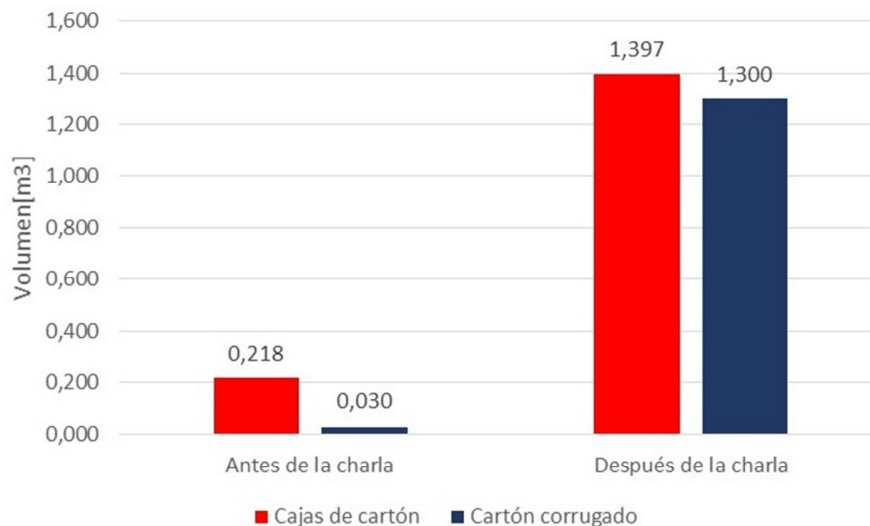


Figura 7.4-2 Volumen reciclado antes y después de la charla a los trabajadores

Se observa que para el período de 17 días analizados antes de la charla (entre el 21/07/2015 y el 12/08/2015) habían 0,218 [m³] de Cajas y 0,030 [m³] de Cartón corrugado. Para el período de 17 días después de la charla (entre el 13/08/2015 y el 04/09/2015) se midieron 1,397 [m³] de Cajas de cartón y 1,300 [m³] de Cartón corrugado.

Si se analiza porcentualmente, aumentó en 541 [%] el reciclaje de las cajas de cartón y 4233 [%] el de cartón corrugado.

7.4.2 Evolución en el tiempo del cartón reciclado

Es posible observar en la Figura 7.4-3 una tendencia al alza en el volumen reciclado a partir de la semana 3. Como se mencionó anteriormente, este aumento se debe a la evaluación realizada durante dicha semana, en la cual se entrevistó a los trabajadores y que tuvo un efecto de difusión de la información del experimento, y a la charla informativa realizada el jueves 13/08/2015 (semana 4).

Para el caso de las cajas de cartón se puede observar que durante las primeras cuatro semanas se acumuló un total de 0,564 [m³], que representa un 32,9 [%] del total

acumulado durante el experimento lo que se traduce en una tasa promedio de $0,141 \text{ [m}^3\text{/semana]}$. Mientras que en las restantes cuatro se alcanzaron $1,711 \text{ [m}^3\text{]}$, es decir se acumuló un total de $1,147 \text{ [m}^3\text{]}$ que representa el restante $67,1 \text{ [%]}$, a una tasa de $0,286 \text{ [m}^3\text{]}$.

Para el cartón corrugado se observa que en las primeras cuatro semanas se acumuló un total de $0,378 \text{ [m}^3\text{]}$, que representa un $27,6 \text{ [%]}$ del total acumulado durante el experimento, lo que se traduce en una tasa promedio de $0,095 \text{ [m}^3\text{/semana]}$. Mientras que en las restantes cuatro se alcanzaron $1,372 \text{ [m}^3\text{]}$, es decir se acumuló un total de $0,994 \text{ [m}^3\text{]}$ que representa el restante $72,4 \text{ [%]}$, a una tasa de $0,249 \text{ [m}^3\text{/semana]}$.

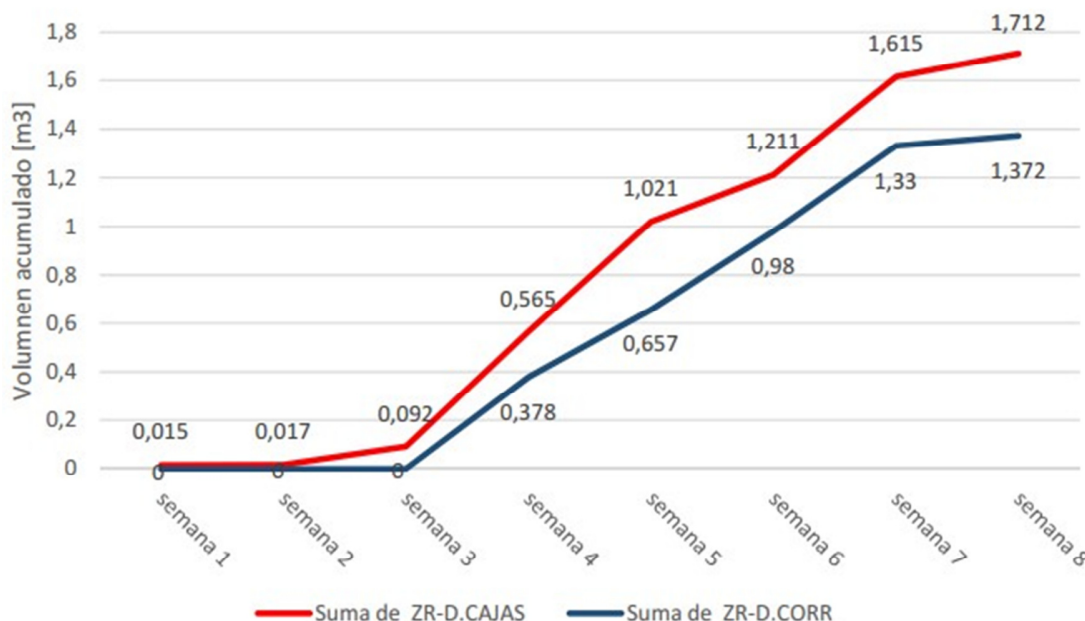


Figura 7.4-3 Volumen acumulado en zona de reciclaje-cajas y corrugado

Se debe mencionar que el volumen total acumulado ($3,083 \text{ [m}^3\text{]}$), es decir, la suma del aporte de las cajas de cartón ($1,711 \text{ [m}^3\text{]}$) y el cartón corrugado ($1,372 \text{ [m}^3\text{]}$) representan el $25,6 \text{ [%]}$ de la cantidad necesaria para la primera entrega a SOREPA, que son 600 [Kg] o $12 \text{ [m}^3\text{]}$ (Dato entregado por SOREPA).

Si el cartón siguiera siendo acumulado al ritmo de las semanas 5 a 8, es decir, a 0,535 [m³/semana] la primera entrega se debería realizar luego de transcurridas 16,6 semanas.

7.5 Ahorro esperado

Como fue mencionado en 5.3.3 existen distintos costos asociados al manejo de los RSC, los cuales dependen de la naturaleza de los residuos (su peso y volumen), la cantidad que se produce en obra y la alternativa disponible para su disposición (tipo de empresa y distancia de la empresa a la obra). Por tanto, para estimar el ahorro esperado se deben considerar los aspectos mencionados y realizar la comparación con la *Situación Base*, que en este caso es la cual en la totalidad del volumen de RSC es transportado al relleno sanitario, con los costos que eso implica.

Cartón proyectado En la Tabla 7.5-1 se presenta la proyección de cajas de cartón y cartón corrugado para el edificio.

Tabla 7.5-1 Cartón proyectado durante la construcción

	Por piso [m ²]	23 pisos [m ²]	23 pisos [m ³]	23 pisos [Ton]
Cajas de cartón	486,80	11.195,70	44,78	2,24
Cartón corrugado	556,30	12.795,40	25,59	1,28
Total	1043,10	23991,10	70,40	3,52

Se observa en la proyección de la Tabla 7.5-1 que se espera un total de 2,24 [Ton] de cajas de cartón (destacado en azul) y 1,28 [Ton] de cartón corrugado (destacado en amarillo).

7.5.1 Costo asociado a la Situación Base

Como se mencionó anteriormente, la *Situación Base* corresponde al caso en el cual la totalidad de los RSC son transportados al relleno sanitario. En este escenario INPROMEC debe incurrir en el del costo camión de retiro de RSC y el costo de recepción del relleno.

El costo por retiro de RSC es de 6.200 [\$/m³] mientras que el costo de recepción corresponde a 17.115 [\$/Ton], y para el cálculo del costo de la Situación Base se aplican estos costos unitarios a los volúmenes de cajas de cartón y cartón corrugado señaladas en la Tabla 7.5-1 y destacados en color azul y amarillo respectivamente.

En la Tabla 7.5-2 se presentan los costos de retiro, recepción y total de la situación bases destacadas en color azul, amarillo y rojo respectivamente.

Tabla 7.5-2 Costos Situación Base

	23 pisos [m ³]	23 pisos [Ton]	Retiro [\$/]	Recepción [\$/]	Total [\$/]
Cajas de cartón	44,78	2,24	277.636	38.338	315.974
Cartón corrugado	25,59	1,28	158.658	21.907	180.565
Total	70,4	3,52	436.480	60.245	496.725

Se observa que en este caso el costo de la Situación Base corresponde a 496.725 [\$/].

7.5.2 Costo asociado a la Situación de Reciclaje Ideal

En esta situación se supone que la totalidad del cartón generado (cajas y corrugado) es llevado a la planta de reciclaje, que en este caso es SOREPA.

El precio de compra establecido por SOREPA para el cartón es de 30 [\$/kg] y el retiro no se cobra si el peso acopiado es mayor o igual a 600 [kg] de material seco. Para SOREPA se considera que el material está seco cuando el cartón presenta menos de 12 [%] al momento de la recepción en su planta. En el caso de que el cartón presente una humedad mayor a la señalada, se descuenta el peso de agua sobre el 12 [%] antes de realizar el pago.

Para establecer la *Situación de Reciclaje Ideal* en términos de costos, que el total del cartón proyectado (3,52 [Ton]) es acopiado y su humedad es igual o menor al 12 [%]. En dicho caso, el dinero percibido sería de 67.200 [\$/] por las cajas de cartón y 38.400[\$/] por el cartón corrugado como se observa, destacado en azul y amarillo respectivamente, en la Tabla 7.5-3.

Tabla 7.5-3 Dinero percibido – Situación más favorable

	Peso Reciclado [Kg]	Pago por reciclaje [\$]
Cajas de cartón	2.240	67.200
Cartón corrugado	1.280	38.400
Total	3.520	105.600

El dinero total percibido en el caso de la *Situación de Reciclaje Ideal* corresponde a 105.600 [\$] como se señala en rojo en la Tabla 7.5-3.

7.5.3 Costo asociado a la Situación de Reciclaje Real

En esta situación se supone que una parte del cartón es reciclada y la otra parte desechada (enviada a vertedero), por lo cual corresponde a una combinación de los dos casos anteriores, la Situación Base y la Situación de Reciclaje Ideal. Qué porcentaje del volumen de cartón es reciclado y qué parte es enviada a vertedero depende del IR [%] obtenido durante el experimento para las cajas de cartón y para el cartón corrugado

Para obtener las cantidades de cartón que serán recicladas se aplican los factores basados en los IR [%] obtenidos en el experimento al cartón proyectado (Tabla 7.5-1). En el caso de las cajas de cartón se aplica 0,8 (basado en el IR de 80,20 [%]) y 0,65 (basado en el IR de 65,58 [%]). La diferencia entre el cartón reciclado y el cartón proyectado será la cantidad de cartón que sigue yendo a vertedero, y en este caso corresponde a 20% y 35% del total proyectado para las cajas de cartón y cartón corrugado respectivamente.

Luego el dinero percibido por la venta de lo que está en la Zona de Reciclaje, que corresponde a 68.640 [\$] como se observa en color amarillo en la Tabla 7.5-4, menos el costo del cartón que va a la Zona de Residuos y que corresponde a 126.393 [\$] como se observa en color azul en Tabla 7.5-5, resulta en un saldo negativo de 57.753 [\$].

Tabla 7.5-4 Dinero Percibido - Situación de Reciclaje Real

	Peso Reciclado [Kg]	Pago por reciclaje [\$]
Cajas de cartón	1.792	53.760
Cartón corrugado	832	24.960
Total	2.288	68.640

Tabla 7.5-5 Costo de retiro – Situación de Reciclaje Real

	Vol retirado [m³]	Peso retirado [Ton]	Costo retiro [\$]	Costo recepción [\$]	Costo Total [\$]
Cajas de cartón	8.959	0,448	55.527	7668	63.195
Cartón corrugado	8.957	0,448	55.530	7668	63.198
Total	179.125	0,896	111.058	15.335	126.393

7.5.4 Beneficio Económico Total (BET) para la constructora

Finalmente, para obtener el ahorro real que obtendría la empresa si pasara de la *Situación Base* a la *Situación de Reciclaje Real*, se comparan ambas situaciones.

En el caso de la Situación Base se tiene un costo para la empresa de 496.725 [\$] que considera el transporte del material y el costo de recepción en el relleno sanitario. En el caso de la Situación de Reciclaje Real se tiene un costo para la empresa de 57.753 [\$] que considera el costo de transporte y el costo de recepción del cartón que termina en el relleno sanitario y además el pago por parte de SOREPA por el cartón que llega a su planta para ser reciclado, dando como resultado un costo de 57.753[\$].

Por lo tanto, restando al Costo de la Situación Base el Costo de la Situación de Reciclaje Real, se obtiene el Beneficio Económico Total para la constructora:

$$BET = Costo SB + Costo SRR$$

$$BET = 496.725 - 57.753$$

$$BET = 438.972$$

Donde:

JCZ

BET : Beneficio Económico Total [\$]

SRR : Situación de Reciclaje Real [\$]

SB : Situación Base [\$]

Se observa que la constructora de gastar por concepto de gestión de los residuos de cartón en la obra 438.972 [\$] cuando pasa de la situación actual, en la cual todo el cartón es enviado a vertedero, a la situación en la cual implementa el concepto de reciclaje en la obra.

7.6 Análisis general

En el caso particular de este experimento, se dio que el pago recibido por el reciclaje del 80% de las cajas de cartón y el 65% del cartón corrugado fue menor que el costo de disponer en el relleno sanitario los restantes 20% de cajas de cartón y 35% de cartón corrugado, por lo cual no hubo una ganancia (dinero a favor de la empresa) sino una disminución de los costos de retiro. Es de interés saber a partir de qué IR se obtiene un ingreso para la empresa y de qué factores depende.

Para ello se comienza planteando una ecuación que represente el Dinero Percibido (DP [\$]). Este valor es la diferencia entre el pago por una cantidad (Volumen o Peso) de residuo reciclado y el costo de desechar la cantidad que no pudo ser reciclada. Para el planteamiento de dicha ecuación se identifican los parámetros y variables más importantes, basándose en los cálculos realizados en 7.5, y son los siguientes:

Donde:

P_{proy} : Peso Proyectado [Kg]

P : Pago por material reciclado [\$/Kg]

V_{proy} : Volumen Proyectado [m³]

T₂ : Costo de transporte del material reciclado [\$/m³]

T₁ : Costo de Transporte [\$/m³]

IR : Índice de reciclaje [1/1]

R : Costo de Recepción [\$/Kg]

La relación planteada es la siguiente

$$DP(IR) = P * (P_{proy.} * IR) - T_1 * V_{proy.} * IR - T_2 * (V_{proy.} * (1 - IR)) - R * (P_{proy.} * (1 - IR))$$

Utilizando la densidad del material (γ [Kg/m³]), se expresa la ecuación en función del Peso proyectado:

JCZ

$$DP(IR) = P * (P_{proy.} * IR) - T_1 * \frac{P_{proy.}}{\gamma} * IR - T_2 * \left(\frac{P_{proy.}}{\gamma} * (1 - IR) \right) - R * (P_{proy.} * (1 - IR))$$

Finalmente se factoriza por el Peso proyectado y se obtiene la ecuación buscada:

$$DP(IR) = P_{proy.} * [(P - T_1 * \frac{1}{\gamma}) * IR - (T_2 * \frac{1}{\gamma} + R) * (1 - IR)]$$

La ecuación que representa el Dinero percibido en función del Índice de Reciclaje corresponde a la ecuación de una recta (como se observa en la Figura 7.6-1) donde el valor del intercepto ($DP(IR)=0$) corresponde a la *Situación Base*, es decir, la totalidad de los residuos son enviados a vertedero y existen costos asociados al transporte y la recepción del cartón en el vertedero.

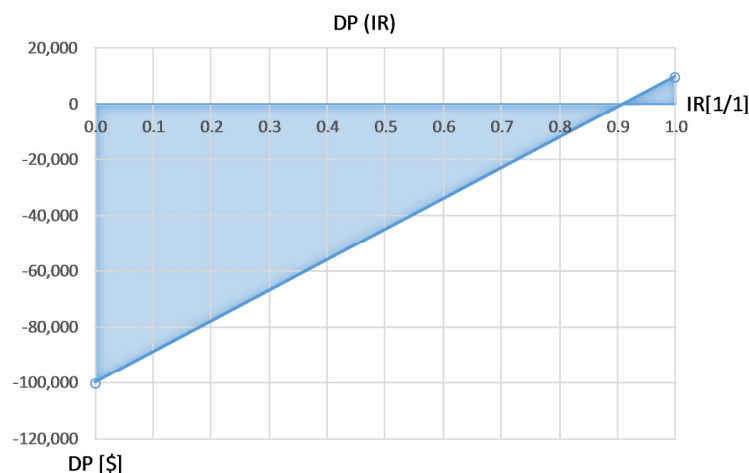


Figura 7.6-1 Función dinero percibido, DP (IR)

La intersección entre la función que representa el Dinero percibido y el eje de las abscisas representa el punto en el cual el costo que supone enviar un cierto porcentaje $(100-IR)$ al vertedero y el pago por el porcentaje del material enviado a la planta de reciclaje (IR) son iguales. Finalmente, el último punto de interés corresponde al caso $DP(IR=1)$ que representa la Situación de Reciclaje Ideal en la cual todo el material es enviado a la planta de reciclaje y se perciben solo ingresos por la gestión de los residuos de cartón.

Si se conoce la función $DP(IR)$ y la *Situación Base* ($DP(IR=0)$) es posible conocer entonces el Beneficio Económico Total, el cual se presenta en la siguiente ecuación:

$$BET(IR) = DP(IR) - DP(IR = 0)$$

$$BET(IR) = IR * P_{proy.} * (P + (T2 - T1) * \frac{1}{\gamma} + R)$$

De esta ecuación se infiere que la ecuación del Beneficio Económico Total no es más que la misma ecuación del Dinero percibido pero trasladada de manera vertical como se observa en la Figura 7.6-2.

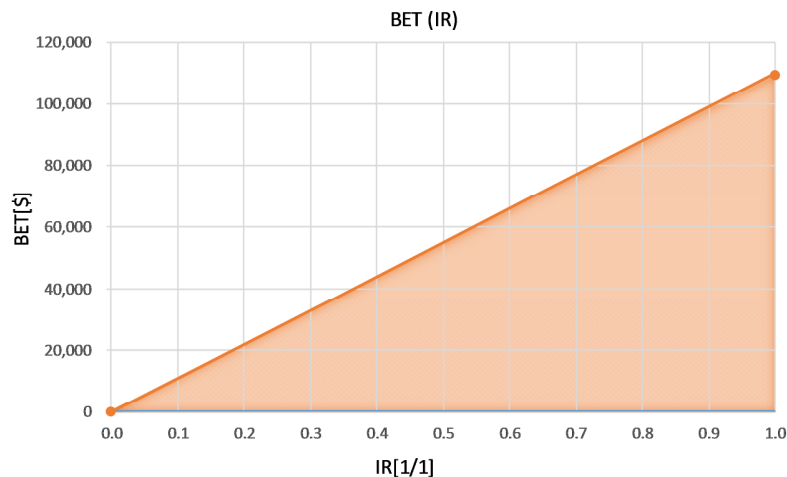


Figura 7.6-2 Función Beneficio económico total, BET (IR)

En las secciones 7.6.1 y 7.6.2 se hace el ejercicio de obtener las funciones Dinero Percibido ($DP(IR)$) y Beneficio Económico Total ($BET(IR)$) para los casos de las cajas de Cartón y el Cartón Corrugado.

7.6.1 Cajas de Cartón

Si se evalúa la función para los datos de las cajas de cartón, se obtiene:

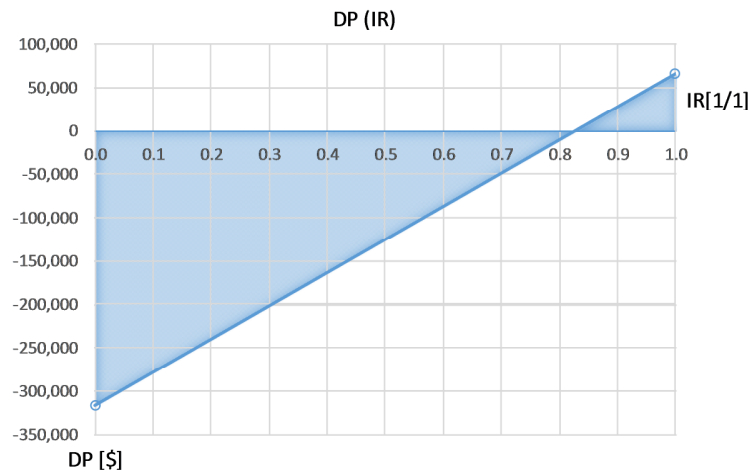


Figura 7.6-3 Función dinero percibido, DP (IR)

Donde:

P _{proy}	: 1.280 [Kg]	γ	: 50 [Kg/m ³]
P	: 30 [\$/Kg]	DP=0	: IR=0,824 [1/1]
T ₁	: 6.200 [m ³ /Kg]	DP (IR=0)	: -316.098 [\$]
T ₂	: 0 [\$/m ³]	DP (IR=1)	: 67.200 [\$]
R	: 17,115 [\$/Kg]		

Se observa que el costo que supone enviar las cajas de cartón al vertedero y el pago por el porcentaje enviado a la planta de reciclaje (IR) son iguales para un IR=82,4 [%].

También se observa que en el caso de la *Situación Base* el costo por la gestión de las cajas de cartón asciende a 316.098 [\$] mientras que la ganancia en el caso de la *Situación de Reciclaje Ideal* sería de 67.200 [\$].

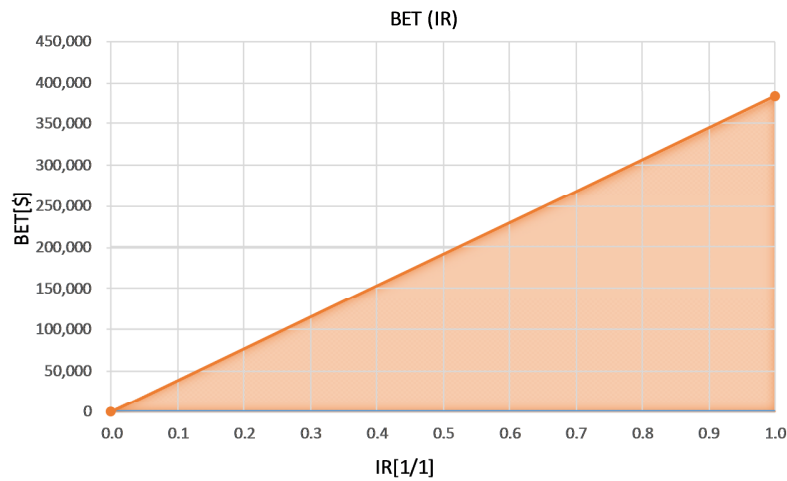


Figura 7.6-4 Función beneficio económico total, BET (IR)

En la Figura 7.6-4 se observa que el BET para el caso de las cajas de cartón varía entre 0 [\$] para un IR=0 [%] y 383.298 [\$] para un IR=100 [%].

7.6.2 *Cartón corrugado*

Si se evalúa la función para los parámetros del cartón corrugado se obtiene:

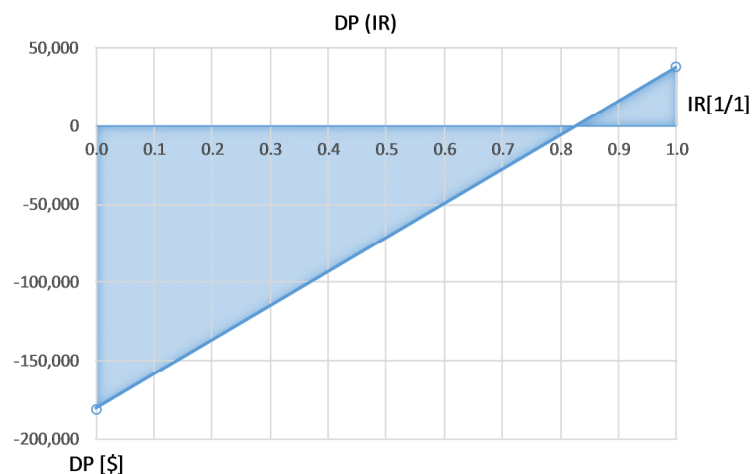


Figura 7.6-5 Función dinero percibido, DP (IR)- Cartón Corrugado

Donde:

P _{proy}	: 1.280 [Kg]	γ	: 50 [Kg/m ³]
P	: 30 [\$/Kg]	DP=0	: IR=0,824 [1/1]
T1	: 6.200 [m ³ /Kg]	DP (IR=0)	: -180.627 [\$]
T2	: 0 [\$/m ³]	DP (IR=1)	: 38.400 [\$]
R	: 17,115 [\$/Kg]		

Se observa que los costos que supone enviar el cartón corrugado al vertedero y el pago por el porcentaje enviado a la planta de reciclaje (IR) se igualan para un IR=82,4 [%].

También se observa que en el caso de la *Situación Base* el costo por la gestión del cartón corrugado asciende a 180.627 [\$] mientras que la ganancia en el caso de la *Situación de Reciclaje Ideal* sería de 38.400 [\$].

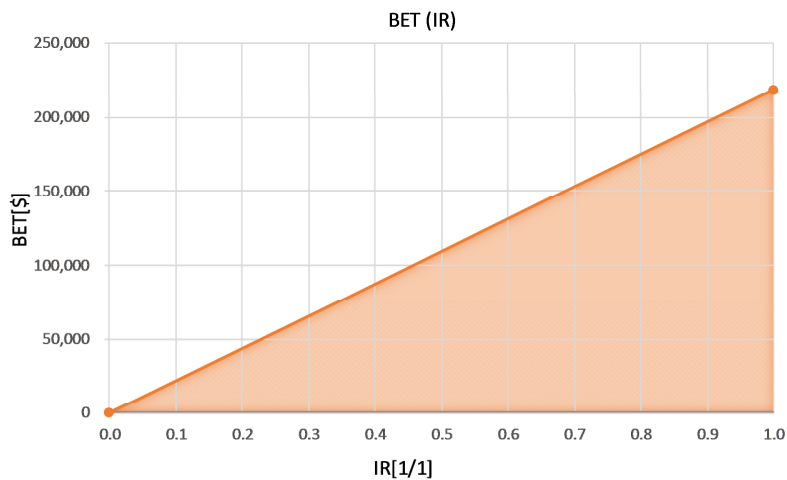


Figura 7.6-6 Función beneficio económico total

En la Figura 7.6-6 se observa que el BET para el caso de las cajas de cartón varía entre 0 [\$] para un IR=0 [1/1] y 219.027 [\$] para un IR=1 [1/1].

8 CONCLUSIONES

Como se mencionó en la Definición del Problema (capítulo 3), existe desinformación, falta de directrices y herramientas prácticas acerca de los planes de Gestión de Residuos en la industria de la construcción, y Chile es parte de dicha realidad.

En este estudio se presenta la Implementación de un Plan de Reciclaje donde se observó y registró de los tipos de residuos (5.1) y medios de transporte utilizados para transportarlos dentro de la obra (5.2) para luego relacionarlos y obtener información acerca de los volúmenes generados.

Posteriormente se implementó un Plan de Reciclaje adecuado a la realidad de la obra, midiendo y registrando el volumen de cartón acopiado, el que continuaba siendo descargado en la Zona de residuos y el índice de reciclaje (5.4.2) para los dos tipos de cartón.

Luego de 8 semanas de mediciones del Plan de Reciclaje finaliza el experimento, obteniéndose un índice de reciclaje de 78.1% para las cajas de cartón y un 65.3% para el cartón corrugado (5.8).

8.1 Revisión de hipótesis

Hipótesis 1.- El 90% de un residuo se va a reciclar, sin costos adicionales para la obra, implementando medidas de gestión y/o tecnología en una obra de construcción de la V región.

Durante el experimento se alcanzó un IR de 80,2 [%] para las cajas de cartón y 65,6 [%] para el cartón corrugado, como se menciona en 7.4, valores por debajo del supuesto en la Hipótesis 1. Estos valores de IR [%] fueron estables durante las últimas semanas, por lo que se infiere que mayor tiempo de duración del experimento no hubiese significado un cambio mayor en los resultados.

Si bien el Plan de Reciclaje no significó ningún gasto adicional directo para la obra, la mala ubicación de la Zona de Reciclaje, la cual no cumplía con la condición de facilitar

el traslado del material a reciclar (como se menciona en 5.4.2) hizo que se produjeran transportes innecesarios, al tener que trasladar el cartón desde los departamentos hacia el piso -2 y subirlos al piso -1 al momento del retiro.

En el caso del cartón corrugado, el IR fue menor que el de las cajas, 80,2 [%] vs 65,6 [%] de acuerdo con lo señalado en 7.4, debido a que el contacto con los escombros era mayor, produciéndose contaminación del material, y produciendo que no fuese apto para llevarlo a la planta de reciclaje. Debido a esto, muchas veces el supervisor decidió retirarlo junto con el resto de los escombros y depositarlos en la Zona de Residuos.

Se observaron distintas razones por las cuales no se alcanzó el valor esperado, la primera tiene que ver con la falta de una política respecto al reciclaje en la obra, es decir, que no solamente se dé la orden de reciclar, sino que haya procedimientos establecidos y un protocolo en el cual se supervise el estado de esta tarea, como si fuese una más dentro de la obra.

Luego de las 8 semanas de observación del experimento (7.4), no se pudo mantener el compromiso inicial con las tareas de reciclaje, debido principalmente a cambios en las cuadrillas de trabajo y supervisores. Estos cambios se dieron en la cuadrilla de instalación de piso flotante, que pasó a realizar trabajos de instalación de puertas. Esta cuadrilla fue una de las que acopiaban de manera ordenada las cajas durante el experimento (5.7). También afectó el cambio del Supervisor de Terminaciones, con quien se coordinó en un comienzo los deberes del Plan de Reciclaje. Estos cambios en los equipos de trabajo sumados a la falta de un protocolo o política de la empresa respecto al Plan de Reciclaje, provocó que después del experimento se dejara de separar el cartón en los departamentos o se hiciera esporádicamente.

Si bien la charla informativa sirvió en la integración de los trabajadores al experimento, no fue suficiente con una capacitación inicial. La alta rotación de trabajadores en la construcción juega en contra de cualquier instrucción puntual o capacitación realizada en la obra, en este caso en contra del Plan de Reciclaje, y por tanto planes de este tipo

deben reforzarse con la creación de una política integral de la obra que se refleje en un protocolo, el cual deberá ser seguido independientemente de la persona a cargo.

Hipótesis 2.- Es posible reducir los costos de retiro de residuos generados en obra, mediante la adecuada separación de los mismos.

Fue posible disminuir el costo de retiro de los RSC en la obra debido a que el material seleccionado para ser reciclado fue retirado sin costo para la misma (capítulo 5.3.2). Este material representa un 4,5 [%] del volumen total de RSC de la obra (durante el período observado), inferior al del residuo más importante que resulta ser el hormigón, que representa un 67 [%] del volumen de los RSC (Figura 7.1-4).

Se debe agregar además que, al no conseguirse un índice de reciclaje mayor a 82,4 [%], como se observa en la Figura 7.6-3, no se obtiene un saldo a favor de la empresa, de acuerdo a los análisis realizados en 7.5. Esto se debe a que el precio de compra del material reciclado es de 30 [\$/Kg], el cual es bajo en comparación con los costos de retiro 6200 [\$/m³] y de la recepción en el relleno sanitario 17,11 [\$/Kg].

En el capítulo 5.3.4 se analizó el estado del mercado de empresas dedicadas al reciclaje RSC en la V región al 2015, y se pudo constatar que aún no es posible pensar en este mercado como una alternativa a los rellenos controlados en términos de la capacidad para recibir los grandes volúmenes de residuos que produce la industria de la Construcción. Por tal razón, la falta de empresas especializadas en el reciclaje de RSC, la separación de RSC no pudo ser una alternativa de reducción de costos de costos capaz de alcanzar el valor propuesto en la hipótesis.

8.2 Observaciones personales

8.2.1 Generales

La realización del experimento requirió observar de manera crítica los procesos llevados a cabo dentro de la obra, revisando cada uno de los pasos llevados a cabo y entendiendo las causas de la generación de los distintos residuos de la obra. De estas observaciones se pudo notar que debido a los plazos por cumplir, los trabajadores (en

toda la escala jerárquica) privilegian la rapidez por sobre la precisión en muchos casos, debiendo luego corregir los resultados de las imprecisiones en etapas posteriores, como es el caso de la instalación de las luminarias mencionado en 5.1.2, donde al no estar correctamente ubicadas los centros de luminarias al momento de hormigonado, se debe picar la losa, reubicar adecuadamente el centro de la luminaria y hormigonar. Esto genera escombros de hormigón, y un gasto evitable de mano de obra y tiempo.

Una de las limitantes en la implementación del Plan de Reciclaje que se pudo observar en terreno fue el limitado espacio disponible, tal como señalan Yuan, Lu & Yianli [13]. Dado que el Plan de Reciclaje no fue considerado desde el momento de la Planificación de la Obra, no se pudo establecer la Zona de Reciclaje más cerca de la entrada, lo que significó trasladar una mayor distancia el cartón antes de ser retirado de la obra. Esto se podría evitar si es que se considerara desde etapas tempranas de la planificación la gestión de residuos y en particular el reciclaje.

Respecto a la experiencia del Plan de reciclaje en la Obra, se debe entender las limitaciones propias de la metodología aplicada. Una de ellas corresponde a la precisión con la que fue estimado la cantidad de residuos. Esta se estimó de manera indirecta, relacionando la frecuencia de descarga de cada medio en la Zona de residuos, con el análisis de la composición de los residuos trasladados por cada medio. En el caso de requerirse mayor precisión, se podría pesar cada tipo de residuo antes de ser depositado en la Zona de Residuos o retirado de la obra., sin embargo, se requeriría mayor inversión de tiempo y recursos.

8.2.2 Influencia de la Charla a los trabajadores en el experimento

De acuerdo con el análisis de los resultados obtenidos, se puede observar una influencia de la charla de los trabajadores en los índices de reciclaje en el capítulo 7.4.1.

En la Consulta realizada a los trabajadores (Tabla 5.6-1) en la Primera evaluación del experimento, fue señalado que había una falta de coordinación entre las partes involucradas, desinformación y que faltaba concientizar a los trabajadores, razones por

las cuales se optó por realizar la charla informativa detallada en 5.6.2. Después de realizada la charla, se pudo observar un cambio en la conducta de los trabajadores respecto al Plan de Reciclaje, el cual se vio reflejado en los siguientes aspectos:

El primero es cualitativo y fue notado al terminar la charla, cuando algunos trabajadores agradecieron la presentación, señalando que normalmente no se les informa las razones o causas de los planes o decisiones tomadas a nivel de administración (5.6.2). La charla en este sentido sirvió para crear en los trabajadores una sensación de inclusión respecto a las decisiones administrativas, ya que se presentó el Plan de Reciclaje y la forma en la cual se implementaría. También sirvió para mostrarles el contexto nacional respecto a los residuos de la construcción y la importancia de realizar cambios en su gestión dentro de la obra.

El segundo aspecto es cuantitativo, y se trata del aumento del material trasladado a la Zona de Reciclaje luego de la charla, como fue presentado en la Figura 7.4-2. En el análisis realizado en 7.4.1 se observa que antes de la realización de la charla fueron acopiados 0,218 [m³] de Cajas de cartón y 0,030 [m³] de Cartón corrugado, mientras que después de la charla se acopiaron 1,397 [m³] del primero y 1,300 [m³] del segundo. Si bien no es posible atribuir este aumento exclusivamente a la charla informativa, sí se puede suponer que hubo influencia a partir de la diferencia registrada entre ambos períodos y que no hubo modificaciones de otras variables (aumento en el número de trabajadores o utilización de maquinaria adicional, por ejemplo).

8.3 Recomendaciones para investigaciones futuras

La duración del experimento, desde las observaciones iniciales (5.1) hasta la finalización del Plan Reciclaje (5.8) fue de 5 meses. En ese período se observaron los residuos generados en las distintas áreas de trabajo de la obra, desde las partidas iniciales como las excavaciones, el replanteo, el hormigonado en la etapa de Obra Gruesa hasta llegar a la instalación de piso flotante, porcelanatos y mueblería en la Etapa de Terminaciones entre otros.

Se pudo constatar la importancia de la grúa en los procesos críticos de la obra, como el traslado de moldajes, hormigonado con capacho, el traslado de materiales dentro de la obra y el retiro de residuos de la obra utilizando capacho o cuna (Figura 7.2-1 y Figura 7.2-2). En momentos, las descoordinaciones en la programación del uso de la grúa producían tiempos muertos en las cuadrillas, como por ejemplo cuando llegaban materiales a la obra en el horario en que se hormigonaba, produciéndose la espera del camión con los materiales y por ende del equipo que los necesitaba para continuar con sus labores. Un foco de estudio puede ser la implementación de un sistema que modernice la gestión del tiempo de trabajo de la grúa y el traspaso de información entre cuadrillas.

Como extensión del estudio realizado, podrían enfocarse estudios futuros en el residuo de hormigón, el cual, de acuerdo con las observaciones realizadas, tiene la mayor importancia en términos del volumen generado en obra (Figura 7.1-4). Si bien al momento de realizar el experimento no se disponía de una alternativa distinta a los rellenos sanitarios para su disposición, en el futuro esto podría cambiar y se podría implementar un Plan de Gestión de Residuos enfocado en el hormigón.

Se recomienda la realización de estudios similares, donde el Plan de Reciclaje pueda ser discutido desde etapas previas a la construcción de manera de implementarlo desde el comienzo de la obra. Esto permitirá recopilar mayores antecedentes y evidencia en terreno de los resultados que se pueden obtener con la implementación de Planes de Gestión de Residuos en obras de construcción.

Universidad Técnica Federico Santa María
Departamento de Obras Civiles



9 REFERENCIAS

- [1] COMISIÓN Nacional del Medio Ambiente, UNIVERSIDAD de Desarrollo Tecnológico, UNIVERSIDAD de Concepción, «Primer Reporte del Manejo de Residuos Sólidos en Chile,» 2010.
- [2] BOSSNIK y BROWERS, «Construction Waste: Quantification and Source Evaluation,» *Journal of Construction Engineering and Management*, 1996.
- [3] SUBDERE, Ministerio del Interior, «Programa de Control de Microbasurales en Valparaíso: Hacia un Cambio conductual de la población a través de la educación y la participación ciudadana,» Valparaíso, 2009.
- [4] J. ALDANA y A. SERPELL, «Temas y tendencias sobre residuos de construcción,» *Revista de la construcción*, vol. 12, nº 22, 2012.
- [5] J. & S. ALDANA, «Temas y Tendencias sobre residuos de construcción y demolición».
- [6] G. H. BRUNDTLAND, *Our Common Future*, Oxford: Oxford University Press, 1987.
- [7] J. LEADBITTER, *PVC and Sustainability. Progress in Polymer Science*, 2002.
- [8] F. LASTRA, «<<http://www.eldefinido.cl/actualidad/mundo/6158/6-preguntas-para-entender-la-Cumbre-Climatica-de-Paris/>>,» [En línea]. [Último acceso: 28 Noviembre 2015].

- [9] B. K. MOON, «What I expect from Paris climate change meeting,» [En línea]. Available: <http://opinion.inquirer.net/90643/what-i-expect-from-paris-climate-changemeeting>. [Último acceso: 28 Noviembre 2015].
- [10] PROHUMANA, «Las empresas reducirían un 65% las emisiones de CO2 en el planeta si recibieran apoyo político,» [En línea]. Available: <http://prohumana.cl/2015/11/lasempresas-reducirian-un-65-las-emisiones-de-co2-en-el-planeta-si-recibieran-apoyo-politico/>. [Último acceso: 28 Noviembre 2015].
- [11] NASA.OCO-2, «Orbiting Carbon Observatory 2,» [En línea]. Available: http://climate.nasa.gov/climate_resources/99/. [Último acceso: 28 Noviembre 2015].
- [12] C. T. e. a. FORMOSO, «Material Waste in Building Industry: Main Causes,» *Journal Of Construction Engineering And Management*, vol. 128, nº 4, 2002.
- [13] H. YUAN, W. LU y H. JIANLI, «The evolution of construction waste sorting on-site,» *Renewable Sustainable Energy Reviews*, vol. 20, 2013.
- [14] J. WANG, H. YUAN, X. KANG y W. LU, «Critical success factors for on-site sorting of construction waste: A china study,» *Resources, Conservation and Recycling*, 2010.
- [15] O. KOFOWOROLA y S. GHEEWALA., «Estimation of construction waste generation and management in Thailand,» *Waste Management*, 2008.
- [16] J. HAO, M. HILLS y T. HUANG, «A simulation model using system dynamic method for construction and demolition waste management in Hong Kong,» *Construction Innovation*, 2007.

- [17] C. CLARK, J. JAMBECK y T. TOWNSEND, «A review of Construction and Demolition Debris Regulations in the United States,» *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2006.
- [18] B. McDONALD y M. SMITHERS, «Implementing a waste management plan during the construction phase of a project: a case study,» *Construction Management and Economics*, 1998.
- [19] L. SHEN, V. TAM, C. TAM y S. HO, «Material wastage in construction activities a Hong Kong survey,» *Proceedings of the 1st CIB-W107 International Conference Creating a Sustainable Construction Industry in Developing Countries*, 2000.
- [20] G. POLAT y G. BALLARD, «Waste in Turkish construction: need for lean construction techniques,» 14 Junio 2000. [En línea]. Available: <http://www.iglc2004.dk/root=media=13080067-polat-ballard-final:pdf>. [Último acceso: 4 Octubre 2015].
- [21] V. TAM, C. TAM, J. CHAN y W. Ng, «Cutting construction wastes by prefabrication.,» *International Journal of Construction Management*, 2006.
- [22] L. EKANAYAKE y G. OFORI, «Building waste assessment score: design-based tool,» *Building and Environment*, 2004.
- [23] W. HUANG, D. LIN, N. CHANG y K. LIN, «Recycling of construction and demolition waste via a mechanical sorting process,» *Resources Conservation & Recycling*, 2002.
- [24] L. SHEN, V. TAM, C. TAM y D. DREW, «Mapping Approach for Examining Waste Management on Construction Sites,» *Journal of Construction Engineering and Management*, 2004.

- [25] W. ZHAO, R. LEEFTINK y V. ROTTER, «valuation of the economic feasibility for the recycling of construction and demolition waste in China ? The case of Chongqing,» *Resources, Conservation and Recycling*, 2009.
- [26] M. LU, ASCE, C. POON y L. WONG, «Application Framework for Mapping and Simulation of Waste Handling Processes in Construction,» *Journal of Construction Engineering and Management*, 2006.
- [27] X. DENG, G. LIU y J. HAO, «A study of construction and demolition waste management in Hong Kong,» *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, 2008.
- [28] R. TERSINE, «he Primary Drivers for Continuous Improvement: The Reduction of the Triad of Waste,» *Journal Of Journal of Managerial Issues*, 2004.
- [29] R. GAVILAN y L. BERNOLD, «Source Evaluation of Solid Waste in Building».
- [30] S. S. CHUNG y C. W. H. LO, «Evaluating sustainability in waste management: the case of construction and demolition, chemical and clinical wastes in Hong Kong,» *Resources Conservation and Recycling*, 2002.
- [31] M. OSMANI, J. GLASS y A. PRICE, «Architects' perspectives on construction waste reduction by design,» *Waste Management*, 2007.
- [32] C. T. a. Y. L. POON, «On-Site sorting of Construction and demolition waste in Hong Kong,» *Resources, conservation and Recycling*, vol. 32, 2001.
- [33] J. LAQUATRA y M. PIERCE, «Waste management at the construction site,» 2002.

- [34] D. FATTA, A. PAPADOPOULOS, E. AVRAMIKOS, E. SGOUROU, K. MOUSTAKAS, F. KOURMOUSSIS, A. MENTZIS y M. LOIZIDOU, «Generation and management of construction and demolition waste in Greece – an existing challenge,» *Resources, Conservation and Recycling*, nº 40, pp. 81-91, 2003.
- [35] L. JAILLON, C. POON y Y. CHIANG, «Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong,» *Waste Management*, nº 29, pp. 309-320, 2008.
- [36] T. PINTO y V. AGOPYAN, «Construction waste as raw materials for low-cost construction products,» de *Proceeding of the First Conference of CIB TG 16 on Sustainable Construction.*, Tampa, Florida., 1994.
- [37] A. KOURMPANIS, K. PAPADOPOULOS, M. MOUSTAKAS, K. STYLIANOU, HARALAMBOUS y M. LOIZIDOU, «Preliminary study for the management of construction and demolition waste,» *Waste Management Research*, 2008.
- [38] J. SOLÍS-GUZMÁN, M. MARRERO, M. MONTES y A. RAMÍREZ, «A Spanish model for quantification and management of construction waste,» *Waste Management*, 2009.
- [39] B. e. a. WIMALASENA, «Modeling Construction Waste Generation Towards Sustainability,» *Construction Research Congress*, 2010.
- [40] Department for Environment, Food and Rural Affairs, «UK Statistics on Waste 2010 to 2012,» 2015.
- [41] N. KARTAM, N. AL-,MUTARI y I. AL-GHUSAIN, «Environmental management of construction and demolition waste in Kuwait,» *Waste management*, vol. V24, nº 10, pp. 1049-1059, 2004.

- [42] A. KEYS, A. BALDWIN y S. AUSTIN, «Designing to encourage waste minimization in the construction industry,» de *Proceedings of CIBSE National Conference DUBLIN*, DUBLIN, 2000.
- [43] P. CHUN-LI, D. E. SCORPIO y C. J. KIBERT, «Strategies for successful construction and demolition waste recycling operations,» *Construction Management and Economics*, nº 15, pp. 49-58, 1997.
- [44] C. McGRATH, «Waste minimization in practice,» *Resources, Conservation and Recycling*, vol. V32, nº 3-4, pp. 227-238, 2001.
- [45] Z. CHEN, H. LI y C. WONG, «An application of bar-code system for reducing construction wastes,» *Automation in Construction*, vol. V11, nº 5, pp. 521-533, 2002.
- [46] European Environment Agency, «Waste: A Problem or a Resource,» 2010.
- [47] R. SWANSON y E. HOLTON, «Foundations of Human Resources Development,» *Berret- Koehler Publishers*, 2001.
- [48] A. AKHAVAN THABASSI, M. RAMLI y A. H. ABU BAKAR, «Training and Development of Workforces in Construction Industry,» *International Journal of Academic Research*, vol. 3, nº 4, 2011.
- [49] J. WILSON, «Human Resource Development, Learning and Training for Individuals and Organizations,» *Kogan Page*, 1999.
- [50] J. GONZALEZ, P. VALDEZ y A. JUNGLES, «Capacitación en obra para obtener la polivalencia de los operarios y verificación de sus efectos en la construcción civil,» *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 24, nº 3, 2009.

- [51] W. a. Y. H. Lu, «A framework for understanding waste management,» *Waste Management*, 2011.
- [52] Hyder Consulting, «Australian Waste Classifications: Roles in Decision Making.,» Australian Department of Sustainability, Environment, Water, Population, Heritage and Arts, 2011. [En línea].
- [53] L. G. M. a. D. M. CARPINETTI, «A Conceptual Framework for Deployment of Strategy-Related Continuous Improvements,» *The TQM Magazine*.
- [54] CONAMA, «Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos,» 2005.
- [55] G. DAVIDSON, «Waste Management Practices: Literature Review.,» 2011.
- [56] G. K. KANJI, «Total quality management: proceedings of the first world congress,» 2012.
- [57] A. H. A. K. B. a. O. E. BIN ABU BAKAR, «Total Quality Management Practices in Large Construction Companies: A Case of Oman,» *World Applied Sciences Journal*, 2011.
- [58] M. H. D. a. W. M. BROWN, «Why Total Quality Management fails and what to do about it,» 1994.
- [59] Department for Environment Food & Rural Affairs, «UK Statistics on Waste-2010 to 2012,» 2015.
- [60] R. JOHNSON H., «Web 2.0 Modelos de Negocio en Internet y su Impacto en las Organizaciones (Tesis Ing. Comercial),» Valparaíso , 2006.

- [61] Ministerio del Medio Ambiente, «Ley de Fomento al Reciclaje,» Ministerio del Medio Ambiente, [En línea]. Available: <http://portal.mma.gob.cl/medio-ambiente-espera-que-30-de-la-basura-se-recicle-en-los-proximos-5-anos/>. [Último acceso: 15 Mayo 2016].
- [62] P. MARTINEZ, «Rol de la industria de la construcción en el desarrollo sustentable,» *Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA*, 2003.
- [63] M. LOOSEMORE y A. DAINITY, «Human Resource Management in Construction Projects, Strategic and Operational Approaches,» *Spon Press*, 2003.
- [64] J. OAKLAND y M. MAROSSZEKY, «Total quality in the construction supply chain,» 2006.
- [65] E. PAPARGYROPOULOU , C. PREECE, R. PADFIELD y A. ABDULLAH, «Sustainable construction waste management in Malaysia: a constructor's perspective,» de *Proceedings of the MISBE 2011 - International Conference on Management and Innovation for a Sustainable Built Environment*, 2011.
- [66] A. TABASSI y A. BAKAR, , «Training, motivation and performance: The case of human resource management in construction projects in Mashad,Iran.,» *Proj. Management*, 2009.
- [67] J. TIERNEY, «The Reign of Recycling,» 3 Octubre 2015. [En línea]. Available: https://www.nytimes.com/2015/10/04/opinion/sunday/the-reign-of-recycling.html?action=click&pgtype=Homepage&module=opinion-c-col-right-region®ion=opinion-c-col-right-region&WT.nav=opinion-c-col-right-region&_r=0. [Último acceso: 4 Octubre 2015].

Universidad Técnica Federico Santa María
Departamento de Obras Civiles

