



**UNIVERSIDAD DE CHILE**

**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

# EVALUAR EL POTENCIAL DE RECICLAJE DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION DE EDIFICIOS EN CHILE

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL

JUAN DIEGO RAMOS JARA

PROFESOR GUIA:

PAULA ARANEDA GUERRA

MIEMBROS DE LA COMISION:

JACQUES BORNARD ARAYA

WILLIAM WRAGG LARCO

SANTIAGO DE CHILE

2017

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA  
OPTAR AL TITULO DE:** Ingeniero Civil

POR: Juan Diego Ramos Jara

FECHA: 27/11/2017

PROFESOR GUIA: Paula Araneda

## **EVALUAR EL POTENCIAL DE RECICLAJE DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION DE EDIFICIOS EN CHILE**

La construcción, como sector económico, está en una búsqueda continua de nuevas herramientas que permitan mejorar sus procesos, con el fin de disminuir el uso de recursos, cumplir con los estándares estipulados y minimizar los impactos ambientales.

La industria de la construcción está ligada al desarrollo de un país, donde el crecimiento demográfico implica un aumento de infraestructura. En Chile el aporte de la construcción al Producto Interno Bruto (PIB) es de un 8%, cubriendo un 9% de los puestos de trabajo, a su vez el sector inmobiliario ha crecido un 35% desde el 2010.

Durante las distintas fases del proceso constructivo de un edificio, tales como: instalación de faena, excavación, obra gruesa y terminaciones, se generan residuos dentro de los cuales algunos son caracterizados como sólidos inertes y son denominados RESCON. En el presente informe se analiza la disposición de los RESCON, la normativa que rige su gestión, responsables y tratamientos que reciben algunos de estos materiales.

Además se realiza una estimación del volumen de los RESCON generados en la construcción de edificios, determinando su composición.

Por último se realiza una recopilación de 15 potenciales usos y mecanismos de reciclaje que pueden ser aplicados a 6 materiales residuales, los cuales representan sobre un 95% del volumen de RESCON.

**ABSTRACT OF FINAL WORK FOR  
DEGREE OF:** Civil Engineer

AUTHOR: Juan Diego Ramos Jara

DATE: 27/11/2017

TUTOR: Paula Araneda

**EVALUATION OF THE RECYCLING POTENTIAL OF  
BUILDING CONSTRUCTION MATERIALS IN CHILE**

Construction as an industrial area has always been looking for new tools to improve their process, in order to reduce the use of resources, satisfy the stipulated standards and minimize environmental impacts.

The construction industry is linked to the development of a country, where population growth implies an increase in infrastructure. In Chile construction contributes with 8% of the Gross Domestic Product (GDP), covering 9% of the jobs, also the real state sector has grown 35% since 2010.

During the different phases of the construction process of a building, such as: work installation, excavation, structural work, finishes and styles, waste is generated, some of which are characterized as inert solids and those are call RESCON. The present report analyzes the disposal of these wastes, the laws that rules their management, responsible and the treatment that some of these materials get.

In addition, it presents an estimate of the volume of RESCON and its composition.

Finally, a compilation of 15 potential uses and recycling mechanisms is carried out that can be applied to 6 residual materials, which represent about 95% of the volume of RESCON.

## **AGRADECIMIENTOS**

Es difícil escribir los agradecimientos, intentando resumir a las personas que me han acompañado y apoyado a lo largo de mi carrera. Porque sin la gente que lo rodea a uno, el paso por la vida universitaria se vuelve intrascendente.

Agradezco a mis profesores, Paula Araneda, Jacques Bornand, William Wragg y Boris Sáez, por su apoyo y guía durante este proceso de titulación.

Quiero agradecer el apoyo incondicional de mi familia, en especial a Ivonne Jara y Juan Ramos, porque siempre les estaré agradecido de mi educación, y porque su esfuerzo, preocupación, retos y apoyo, moldearon la persona que soy hoy.

A mis amigos, del colegio, de la universidad, del barrio, de Alto Control y en especial a Diablos que más que un equipo hemos formado una familia.

Por último, pero lejos de ser la menos importante, a Carolina Browning, porque desde el inicio con su amor y apoyo me motivaron a avanzar y crecer, convirtiéndose en mi motor del día a día.

Y a Lomu.

Quiero dedicar este trabajo y estos últimos años de estudio a Gabriel Lazcano, quien me ha cuidado, apoyado y dado fuerzas para afrontar cada etapa. Un buen amigo, un buen rugbier y muy buen Diablo. Se te extraña.

# TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
TABLA DE CONTENIDO.....	iv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo General.....	3
1.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 Metodología.....	3
1.3.1 Revisión Bibliográfica.....	3
1.3.2 Caracterización y Gestión de residuos.....	4
1.3.3 Volumen y Composición de residuos.....	4
1.3.4 Estudio del Potencial Uso de los Residuos.....	5
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1 Acuerdo de Producción Limpia.....	6
2.2 Ordenanza General de Urbanismo y Construcción.....	7
2.3 Ley 19.300.....	7
2.4 Ley 20.920.....	7
2.5 Otros.....	8
2.6 Visitas y Entrevistas.....	9
III. Caracterización y Gestión de residuos.....	12
3.1 Caracterización.....	12
3.2 Manejo y Tratamiento de residuos.....	13
3.2.1 Hormigón.....	18
3.2.2 Acero.....	22
IV. Cuantificación y Composición de residuos.....	25

4.1	Calculo de Volumen de RESCON.....	25
4.2	Composición de los RESCON.....	27
V.	POTENCIAL USO DE LOS RESCON.....	32
5.1	Hormigón.....	32
5.2	Madera.....	34
5.2.1	Madera Plástica.....	34
5.2.2	Madera como residuo orgánico.....	35
5.2.3	Madera como bio-combustible.....	37
5.3	Vidrio.....	38
5.3.1	Vidrio reciclado.....	38
5.3.2	Vidrio y Cerámica.....	39
5.3.3	Vidrio y arena.....	40
5.4	Aislantes.....	42
5.4.1	Yeso.....	42
5.4.1.1	Yeso reciclado.....	42
5.4.1.2	Yeso en la producción de Cemento Portland.....	43
5.4.1.3	Yeso de uso agrícola.....	45
5.4.2	Lana Mineral.....	46
5.4.2.1	Lana Mineral reciclada.....	46
5.4.2.2	Lana Mineral como refuerzo de yeso.....	47
5.5	PVC.....	48
5.5.1	PVC reciclado.....	48
5.5.2	PVC como agregado de relleno granular.....	49
VI.	CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.....	51
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	55

# I. INTRODUCCIÓN

La construcción es un rubro fuertemente ligado al desarrollo de Chile, ya que los proyectos requieren de una alta inversión, maquinaria específica y gran volumen de mano de obra. El empuje causado por la gran industria minera y los grandes proyectos de celulosa arrastran consigo otros proyectos de infraestructura como son las obras viales y portuarias. A su vez la industria inmobiliaria en Chile ha tenido un crecimiento de un 35% desde el año 2010.

En países en desarrollo se observa una fuerte demanda inmobiliaria, ya que la expansión urbana no siempre es una opción, se opta por una renovación de paño urbano donde edificaciones de mayor envergadura reemplazan a construcciones antiguas, las cuales difieren generalmente del método constructivo actual (CONAMA, 2014). El hormigón reemplaza a la albañilería como elemento constructivo, tanto en edificios de departamentos como de oficinas, ya que permite edificaciones más altas, buscando optimizar el uso de suelo.

La construcción no solo está relacionada al gran impulso económico, a través de la inversión o fuerza laboral, la cual abre numerosos puestos de trabajo, si no que se vincula con un gran impacto ambiental, puesto que es una de las industrias que más se ve ligada a la emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el principal gas de efecto invernadero, esto a causa de ser el principal consumidor de energía (40%) a nivel global (Geisekam and Barret, 2014). El consumo de combustible fósil y la fabricación del cemento son los principales actores en el incremento del CO<sub>2</sub> desde el siglo XVIII (Monahan and Powell, 2011). A esto se suma el gran uso de recursos, puesto que el foco es la materialización de infraestructura desde el uso de diversos materiales utilizados para las distintas fases de la obra. Y es que a pesar de que construir optimizando recursos, sea uno de los objetivos principales, los residuos que deja el proceso constructivo alcanzan volúmenes significativos respecto a otros sectores productivos.

Los residuos de la construcción son separados dependiendo de su capacidad de reaccionar con el medio ambiente, de esta forma se constituyen dos categorías: Peligrosos e Inertes (APL, 2015). Y por esta caracterización es que son separados y tratados de maneras distintas.

Este trabajo se enfoca en los residuos inertes que conforman los Residuos Sólidos de la Construcción (RESCON), estimar su composición, volúmenes y procesos de disposición final, para de esta manera visualizar el potencial uso que se les puede dar y de esta forma alargar su vida útil y disminuir los impactos asociados tanto a los procesos de extracción como a los relacionados al uso de suelos para su disposición final.

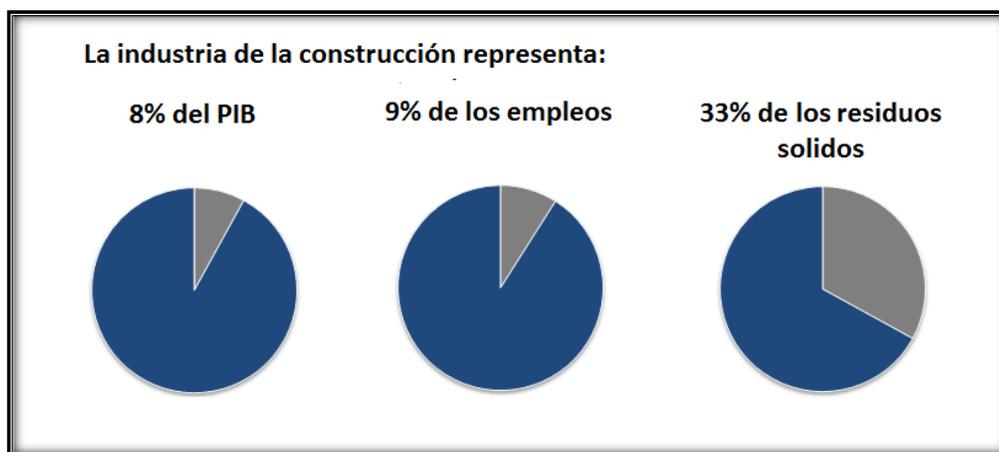


Figura 1: La industria de la construcción en Chile. Banco Central (2012), INE (2012), CONAMA (2010)

La construcción contempla un tercio de los residuos sólidos del país, siendo solo una fracción de empleos y del Producto Interno Bruto (PIB) (9 y 8% respectivamente) (INE, 2012, Banco Central, 2012). Es por esto que se hace interesante estudiar los procesos de gestión de RESCON, desde su generación, transporte, acopio y procesos posteriores de reciclaje o reutilización.

Uno de los principales estandartes de la sustentabilidad es la regla de las tres erres: Reducir, Reutilizar y Reciclar (Ministerio de Medio Ambiente, Japón, 2004). Donde se plantea el reducir el consumo de bienes o energía utilizada y optimizar procesos con el fin de reducir residuos. Reutilizar se refiere a extender la vida útil de los productos, utilizándolos para el mismo propósito inicial o encontrando uno nuevo, y reciclar es la última opción en la que se busca dar valor a los residuos a través de procesos que requieran de fuerza de trabajo o energía.

Este trabajo pretende identificar los procesos de reciclaje implementados actualmente, además de buscar otras formas de reciclaje presentes ya en Chile o en el exterior, que puedan ser opción para tratar los RESCON. Por último se proyectan los procesos de reciclaje sobre los volúmenes MACRO de la industria de la construcción.

## **1.1 Objetivo General**

Evaluar el potencial de reciclaje de los residuos de construcción de edificios en Chile.

## **1.2 Objetivos Específicos**

- Conocer la regulación actual, responsables y directrices para la gestión de residuos de la construcción de edificios, según los procesos de: generación, manejo, disposición y usos posteriores.
- Caracterizar los residuos de construcción según sus propiedades, acorde a la regulación vigente.
- Identificar los procesos que rigen la gestión de residuos actualmente; manejo, disposición final, usos posteriores.
- Determinar los volúmenes de los residuos generados por la construcción de edificios en Chile y su composición.
- Estudiar propuestas de reciclaje potencialmente aplicables a los residuos de construcción, que estén siendo aplicadas en Chile o el extranjero.

## **1.3 Metodología**

### **1.3.1 Revisión Bibliográfica**

Con el fin de establecer la caracterización y el manejo de los residuos, se realizó una revisión bibliográfica para conocer la normativa vigente que rige la disposición en obra, su manejo, traslado, tratamiento y disposición final.

Algunos de los textos por revisar son:

- Acuerdo de Producción Limpia (APL) del sector construcción de la Región Metropolitana
- Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC)
- Ley 20.920 de la Responsabilidad Extendida al Productor
- Ley 19.300 sobre bases generales del Medio Ambiente

A demás se realizaron visitas a obras y entrevistas en las cuales se conversó con empresas constructoras y gestoras de residuos, con el fin de poder conocer sus procesos y recopilar antecedentes que ayuden a conocer la gestión actual de los residuos. Se presenta un recuadro con el resumen de las personas entrevistadas.

Tabla 1: Resumen de contactos consultados

Nombre	Cargo	Empresa
Alejandra Bello	Oficina Técnica	Euroconstructora
Sebastián Vergara	Inspector de Obra	Innova
Cristian Vera	Oficina Técnica	Icafal
Jaime Galdámez	Prevención de Riesgos	Prado Verde
Eduardo Carrera	Inspector Técnico	Armas
Mauricio Martínez	Oficina administrativa	Texinco
Diego Fuentes	Operaciones	Veolia
Manuel García	Oficina Técnica	Regemac
Jennifer Vergara	Staff de Marketing	Gerdau AZA
Luis Yáñez	Oficina de Verificación e Innovación	DHC Idiem

### **1.3.2 Caracterización y Gestión de Residuos**

Basándose en la revisión bibliográfica anterior se establecen las características de los residuos que conforman los RESCON y se genera un listado de los principales materiales involucrados que están presentes en la construcción de edificios.

A demás se utiliza la información de las empresas gestoras de residuos, para conocer la disposición final de los residuos y verificar si existen procesos de reciclaje que se apliquen a los materiales residuales y determinar cuáles son.

### **1.3.3 Cuantificación y Composición de Residuos**

Para poder estimar el volumen de los residuos, se utiliza la información de las visitas a obra y entrevistas a constructoras, gestoras de residuos.

Se solicita a las constructoras la cuantificación de los residuos sólidos dispuestos durante la fase de preparación del terreno, excavación, obra gruesa y terminaciones. Tanto el volumen total como su composición según los distintos materiales.

Por último, se establecen las proporciones de los distintos materiales que conforman los RESCON asociados a los volúmenes de las obras consultadas y se extrapolan según las proyecciones metros cuadrados construidos, para edificios.

#### **1.3.4 Estudio del Potencial Uso de los Residuos**

Luego de conocer la composición de los residuos y los volúmenes afectados, se realiza un compendio de los posibles uso y mecanismos de reciclaje a través de una investigación bibliográfica, tanto en la industria de la construcción como en otros sectores industriales, enfocada en las últimas técnicas implementadas para los materiales presentes en los RESCON, que no son tratados o que solo finalizan su vida útil como material de relleno.

## **II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

En este capítulo se presenta la revisión de la normativa y leyes que rigen a constructoras y empresas de manejo de residuos, sobre su almacenamiento, transporte y tratamiento. A demás se presentan otros textos y entrevistas que nos facilitan visualizar el enfoque del país respecto a las disposiciones finales que tienen los Residuos Sólidos de Construcción.

Es por esto que se han revisado la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC), la Ley 19.300 sobre las bases generales de medio ambiente, además en vista de la importancia de la Cámara Chilena de la Construcción (CChC) se revisa el Acuerdo de Producción Limpia (APL) para el sector construcción en la Región Metropolitana, y junto con esto también la Ley 20.920 de la Responsabilidad Extendida al Productor (REP).

### **2.1 Acuerdo de Producción Limpia (APL)**

La Cámara Chilena de la Construcción (CChC), a través de su comité de medio ambiente, ha firmado la iniciativa del Acuerdo de Producción Limpia (APL), en el año 2001, la cual reúne a empresas constructoras firmantes, adheridas a la CChC, y cuenta con el apoyo de Proyecto de Fomento (PROFO) de CORFO, con el fin de comprometer la mejora de los procesos constructivos por medio de políticas sostenibles y responsables, siendo la disposición y el manejo de los residuos uno de sus principales ejes de mitigación de impactos (Consejo Nacional de Producción Limpia, 2016).

El APL es una herramienta de Política Ambiental, ya presente en otros países, que busca generar un programa de acción y prevención de aspectos ambientales asociados a la contaminación atmosférica y a la disposición de residuos de la industria de la construcción (APL, 2015).

Mediante la regularización de los procesos en la industria, que sean generadores de residuos o que bien, sean parte de tratamientos posteriores y su disposición final, el APL busca reducir los volúmenes de residuos y llevar un mejor control sobre el trazado y el acopio al final de la vida de los materiales.

Para los residuos sólidos se definen los residuos inertes, como aquellos que no sufren cambios en su composición, y los residuos peligrosos, donde se incluyen materiales reactivos, tóxicos, inflamables y corrosivos. Los residuos tóxicos deben ser segregados y almacenados, para entregarlos a plantas de tratamiento, rellenos de seguridad o devolverlos a los proveedores, mientras que los residuos inertes, deben ser dispuestos en los lugares autorizados y regulados (APL, 2015).

Por último el APL busca incentivar a las empresas suscriptoras a reducir su producción de residuos a través del uso de nuevas tecnologías y estandarización de procesos, y a promover el reciclaje, a través del diseño de políticas de reciclaje por parte de las empresas firmantes (APL, 2015).

## **2.2 Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC)**

A través de la OGUC (2016), el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), regula la administración y planificación de la urbanización, también regula el procedimiento de construcción y los estándares técnicos de diseño y construcción.

En el Artículo 2.1.29. Se definen la Infraestructura Sanitaria dentro de la cual se encuentran las plantas de captación de residuos y los rellenos, para los cuales se establece, que a través del Instrumento de Planificación Territorial, se definen los emplazamientos de estas instalaciones, que serán administradas por organismos competentes, siempre sujetos al cumplimiento de la Ley 19.300 (OGUC, 2016).

## **2.3 Ley 19.300 sobre bases generales del Medio Ambiente**

La Ley Orgánica de la Superintendencia de Medio Ambiente, 19.300 sobre bases generales del medio Ambiente establece que los proyectos de instalaciones sanitarias de captación, manejo y tratamiento de residuos sólidos, deben presentar un estudio de impacto ambiental y ser sometidos a evaluación. A demás se establece la responsabilidad de presentar la información de los flujos de volúmenes y agentes contaminantes por parte de las instalaciones de saneamiento y captación de residuos (Ley 19.300, 2011).

## **2.4 Ley 20.920 Responsabilidad Extendida al Productor (REP)**

Dentro de la política ambiental, otra de las herramientas presentes, es la Ley 20.920, Marco para la Gestión de Residuos (Ley REP, 2017), la cual busca fomentar la reducción de la producción de residuos, y fomentar la reutilización, el reciclaje u otros posibles usos de los materiales.

En busca de un manejo integro de residuos se busca extender la cadena de responsabilidades desde el usuario final hasta el productor, dado que dependiendo de las características del producto el consumidor final no necesariamente tiene la capacidad de captación, tratamiento y reciclaje, además del conocimiento requerido para determinar la disposición final de un producto. Es por esto que se incluye al productor como actor responsable de

proveer de instalaciones de captación y reciclaje y fomentar su uso por parte del consumidor. Así también se le exige al productor la disposición de la información necesaria para el manejo responsable de su producto y los residuos con el fin de generar una política ambiental que impulse la educación al respecto (Ley REP, 2017).

Los principios de la Ley REP (2017), actúan sobre materiales específicos, los cuales deben ser incluidos a través de un decreto supremo. De momento los materiales abordados son:

- a) Aceites lubricantes
- b) Aparatos eléctricos y electrónicos
- c) Baterías
- d) Envases y embalajes
- e) Neumáticos
- f) Pilas

## **2.5 Otros**

Para poder conocer los procesos de generación y manejo de residuos y determinar que procesos de reciclaje y usos posteriores se les dan, se ha revisado a Contreras (2009), Labra (2002) y Gerdau AZA (2005).

Contreras (2009) estudia la factibilidad de implementar una Planta de Tratamiento Integral de residuos, en la cual sean procesados Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD) y Residuos de Construcción y Demolición (RCD). Para esto estudia algunos de los procesos llevados a cabo en la planta de tratamiento de REGEMAC y realiza una comparación con plantas de tratamiento integrales de otros países. Además de establecer volúmenes de RCD y RSD característicos para su estudio, mediante proyección de estudios anteriores, lo que será utilizado a nivel comparativo para este estudio.

Labra (2002) propone un plan de acción para la eliminación de vertederos ilegales. Donde se establecen las cifras de vertederos ilegales en Chile, y su composición revela que un porcentaje mayor (70%) corresponde a RCD, con lo que se plantea la problemática de la correcta gestión de residuos y pone en evidencia las falencias del SEREMI de Medio Ambiente para fiscalizar las instalaciones de depósito de escombros.

Con el fin de incentivar el reciclaje, Gerdau AZA lanza su campaña de nombre "A Reciclar Chatarra". En la cual busca crear conciencia y educar respecto al uso de recursos y sus disposiciones finales. De esta manera define los términos:

Basura o Desecho: sobrantes sin más utilidad

Residuo: materiales con opciones para agregarles valor

Con esto se refiere a que los residuos, no necesariamente deben botarse o desperdiciarse, si no que mediante procesos de reciclaje se les puede agregar valor, o que con un cambio de enfoque se les puede encontrar otro uso (Gerdau AZA, 2005).

También se presenta el ciclo de vida de los metales, considerando algunos de los procesos en los cuales son desechados y como al ser recuperados son reinsertados en el proceso de manufactura para obtener un producto con material reciclado. Junto a esto ha lanzado propuestas para que los chatarreros se unan en pos de recolectar residuos metálicos y coordinar con ellos la compra para incrementar su capacidad de captación de material reciclado (Gerdau AZA, 2005).

Otro de los títulos revisados para realizar el cálculo de volúmenes, corresponde a Gutiérrez (2017), artículo en el cual se analiza la información del INE, CChC y principales oficinas de inversiones, con el fin proyectar indicadores de la construcción para el 2017. Donde se muestra que el área construida habrá aumentado en un 26% respecto al 2016. Con 626 hectáreas construidas de la cuales un 88% corresponde al sector inmobiliario.

Por último, para entender la dirección que están tomando hoy en día, el desarrollo de las políticas ambientales, es que se ha revisado el Anteproyecto de Norma para la Gestión de Residuos y Materiales de Excavación en Obras de Construcción (Instituto de la Construcción, 2017). Documento que tiene como objetivo ser una herramienta que promueva la gestión integral de residuos inertes y de excavación.

En la propuesta destaca que junto al agrupamiento de residuos inertes y peligrosos, se incluye un grupo de residuos que pueden ser asimilables a domiciliarios, lo cual permite su disposición en Rellenos Sanitarios, cumpliendo su normativa. De esta manera se deben separar y acopiar en obra las tres categorías de residuos, para facilitar su tratamiento posterior.

El Anteproyecto de Norma exige un Plan de Gestión de RESCON, el cual debe incluir una estimación de los volúmenes de residuos durante la fase de Diseño de Proyecto, planos o esquemas de las instalaciones para la acumulación de residuos ya separados, detalle y control de personal responsable para la gestión, traslado y manejo de residuos, y control de los residuos a través de volúmenes o peso.

## **2.6 Visitas y Entrevistas**

Inicialmente se realizan visitas a obra para poder conversar con constructoras y conocer sus procesos para el manejo de residuos. Al consultar por el manejo de residuos por parte de las constructoras, Alejandra

Bello nos comenta que "...existen contratistas de escombros y de materiales peligrosos que se encargan del manejo y disposición, porque se entrega un certificado necesario para la recepción del edificio...". Es por esto que se consulta el APL en busca de conocer los actores y las responsabilidades que estos deben cumplir.

Por otro lado se acude a conversar con Mauricio Martínez, donde se nos comenta que "Se realizan los recambios de contenedores y estos son trasladados a depósitos regularizados por la SEREMI de Salud...", la SEREMI de Salud y anteriormente el SESMA, actúa según las bases revisadas en la OGUC y la Ley 19.300.

Por su parte Luís Yáñez, nos cuenta como en la división de Hormigones Control (DHC) de Idiem, al trabajar en torno a las hormigoneras y los despachos, se observan las dificultades que deben sortear las hormigoneras para realizar los despachos y la problemática de llevar un control eficiente de la dosificación de hormigones, y que son estas dificultades las responsables por las cuales se incurre en las no conformidades de los despachos de hormigón y la posterior demolición de los elementos afectados.

A demás Jennifer Vergara, nos comenta la iniciativa de Gerdau AZA, por fomentar el reciclaje de chatarra y su inserción en el proceso productivo del acero. Logrando además impulsar el gremio de chatarreros para la recuperación de residuos. Gerdau AZA, ha impulsado esta iniciativa a través de "A reciclar chatarra" (2005).

Para determinar los volúmenes de los residuos sólidos generados en obras y su composición, se recurre a las constructoras, donde Cristian Vera menciona que "...es muy difícil obtener los volúmenes exactos de cada material, ya que solo requiere separar los residuos peligrosos y es trabajo que ocuparía mucho tiempo y recursos...".

Otro de los problemas con los que deben lidiar las constructoras, es el espaciamento ya que en existen proyectos con emplazamientos pequeños por lo que es un reto de logística el manejar el espacio destinado a las oficinas, maquinaria, despacho de los camiones mixer, acopio de materiales, grupos de trabajo y por su puesto el espacio destinado a los contenedores de residuos. "La obra es como un organismo cambiante y con los imprevistos es necesario poder adaptarse para dar continuidad al trabajo", de esta manera se refirió Sebastián Vergara, en un proyecto en providencia.

De esta manera se asume la dificultad que representa para las constructoras un detalle mayor de sus residuos, por lo que se recurre a conversar con las empresas administradores de los rellenos autorizados, las cuales tienen cifras de composición de residuos de años anteriores, requiriendo la confidencialidad de los estudios debido a la vigencia del contrato con el mandante.

Es por esto que se modifica la metodología para la cuantificación y composición de residuos y se prosigue a utilizar la relación entre el área construida del proyecto y el volumen obtenido por medio del número de contenedores extraídos. Datos que si fue posible obtener por parte de las constructoras. Luego se utilizaron las proyecciones de Gutiérrez (2017) y de la Cámara Chilena de la Construcción para obtener un resultado a nivel país.

### III. Caracterización y Gestión de Residuos

En este capítulo se establece la caracterización de los RESCON de acuerdo a lo establecido en la normativa. Junto a esto se identifican los materiales que pertenecen a esta categoría y los procesos mediante algunos de los materiales son reciclados o reutilizados.

#### 3.1 Caracterización

El APL define la naturaleza de los residuos de construcción generando dos grupos principales, los cuales poseen distinta naturaleza y tratamientos.

**Residuo peligroso:** Es aquel residuo que, en función de sus características de peligrosidad: toxicidad aguda, toxicidad crónica, toxicidad por lixiviación, inflamabilidad, reactividad y/o corrosividad, puede presentar riesgo para la salud pública y/o efectos adversos al medio ambiente, cuando es manejado o dispuesto en forma inadecuada.

**Residuo inerte:** Es aquel residuo que no sufre transformación química durante las etapas de recolección, transporte y disposición final (OGUC, 2016).

Este estudio se enfoca en los residuos inertes rescatados de las distintas fases de la obra; la excavación donde se genera la mayor cantidad de residuos pétreos, el levantamiento de la obra gruesa, donde los principales actores son el hormigón y el acero, pero la madera de los moldajes también se encuentra en los residuos y las terminaciones donde se concentra el variado grupo de materiales restantes. Con esto en cuenta, se muestra en la siguiente tabla un listado de ellos y el agrupamiento que se les da para buscar el encuadre con la información de la composición obtenida de las plantas de tratamiento.

Tabla 2: Clasificación de materiales.

Residuos Inertes	
Material	Clasificación
Hormigón	Hormigones
Mortero	
Áridos	Pétreos
Tierra	
Acero	Metales
Aluminio	
Hojalatería	
Cobre	
Madera	Madera
Vidrio	Vidrio
PVC	Plásticos
Polietileno	
Yeso Cartón	Otros
Cerámico	
Textiles	
Aislantes	
Embalajes	

Fuente: Elaboración, en base a APL, 2015 y Contreras, 2009.

### 3.2 Manejo y Tratamiento de residuos

Para establecer los procesos de la gestión actual de los residuos de construcción, se han revisados las normativas y leyes que rigen a la industria de la construcción y las consideraciones ambientales, esto incluye el APL, la Ley General de Urbanismo y Construcción (LGUC) y la Ley 19.300 de Bases de Medio Ambiente. Además de esto, se han realizado entrevistas a personal de constructoras y empresas de manejo de residuos con el fin de determinar la gestión, con mayor cercanía.

El APL determina que los RESCON deben ser separados y almacenados según su naturaleza. En primera instancia se define su almacenamiento transitorio en obra. Los residuos peligrosos deben considerar contenedores segregados, identificados y dispuestos sobre una base continua e impermeable, mientras que los residuos inertes deben tener un espacio claramente identificado para ser acumulados a granel o en contenedores (APL, 2015).

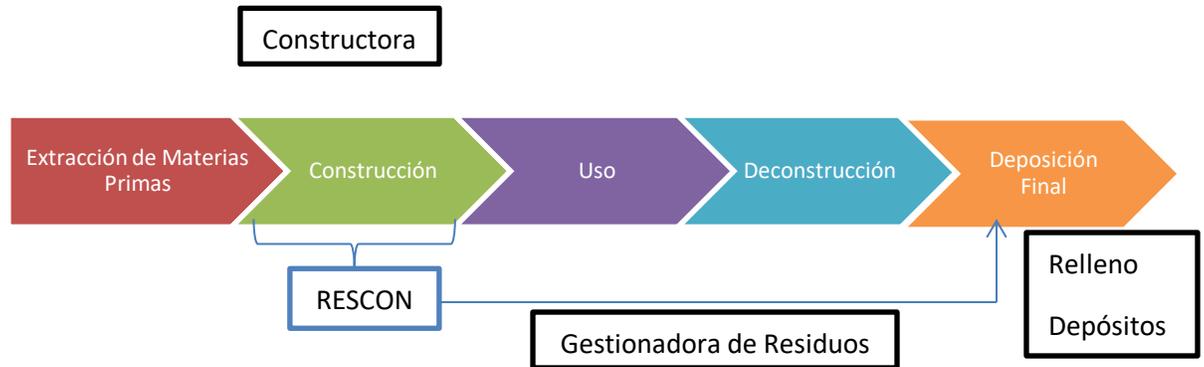


Figura 2: Generación y responsables de los RESCON. En base APL, 2015 y OGUC, 2016.

El ciclo de vida de los materiales comienza con la generación de estos a través de la extracción de materias primas: cemento, madera, agua, acero y otros materiales, los cuales tienen diversos propósitos en el proceso constructivo. Durante la faceta constructiva se pretende optimizar los recursos reduciendo la merma de materiales, los materiales residuales del proceso constructivo pasan a conformar los RESCON. De acuerdo al APL las constructoras deben disponerlos de manera adecuada para que las empresas de manejo los transporten a centros de acopio y tratamiento para que luego los materiales que no puedan ser rescatados pasen a su disposición final en rellenos o depósitos de escombros (APL, 2015). En paralelo la edificación transcurre su periodo de uso, y para cuando es determinado el fin de su vida útil, su deconstrucción genera residuos de composición similar pero en mayor volumen, los cuales vuelven a encontrar el mismo camino a través de las empresas de manejo de residuos, como REGEMAC, Texinco, Ciclo y Veolia.

Para la disposición final de los residuos o escombros, existen centros de acopio, depósitos de escombros. El emplazamiento de éstos está regularizado por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC). La cual vela por el desarrollo urbano actual y contempla posibles emplazamientos urbanos a futuro (OGUC, 2016). En Santiago, los depósitos se encuentran ubicados principalmente en la periferia del cono Urbano, con tendencia al poniente, como se muestra en la siguiente figura.



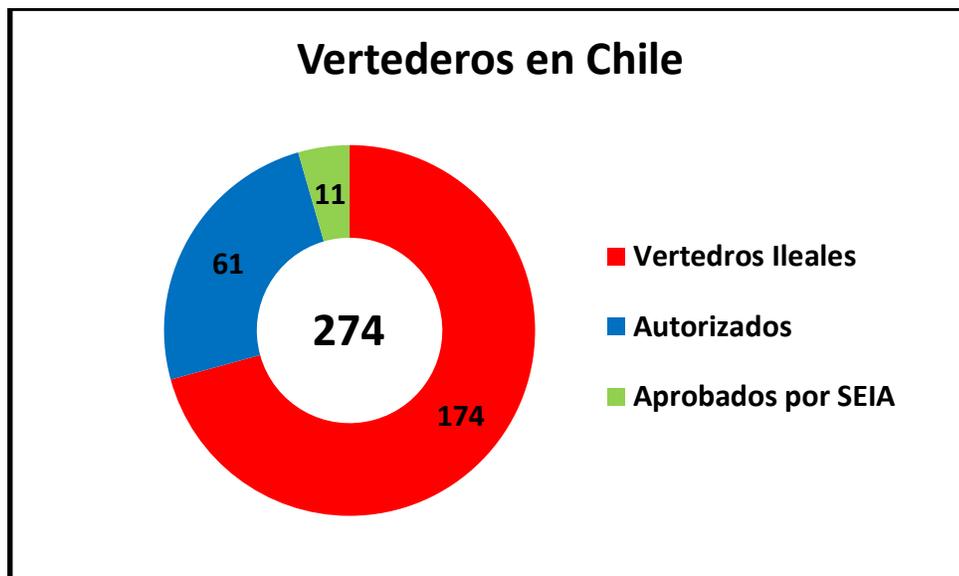


Figura 4: Vertederos en Chile. SESMA (2004)

La figura anterior muestra el total de los vertederos en Chile, de los cuales el 70% corresponde a vertederos ilegales. En la Región Metropolitana existen 66 vertederos ilegales. Los vertederos ilegales representan un problema desde el punto de vista del reciclaje, ya que al no poseer control sobre los residuos, se genera una mezcla con residuos industriales y domiciliarios, lo que dificulta la segregación y tratamiento de los residuos. Su composición está completamente relacionada al estudio, ya que los residuos de construcción y demolición representan cerca de un 70% del volumen de los vertederos ilegales (Labra, 2002).

Empresas asociadas a la CChC e interesadas en disminuir el impacto de los residuos, se han asociado en busca de una mejor solución, por lo que han impulsado a través del APL, el uso de ex pozos de extracción de áridos como receptores de escombros con lo cual se aumenta el volumen de captación y permiten en un futuro ser rellenos y reconvertidos en áreas verdes o suelo con uso comercial.

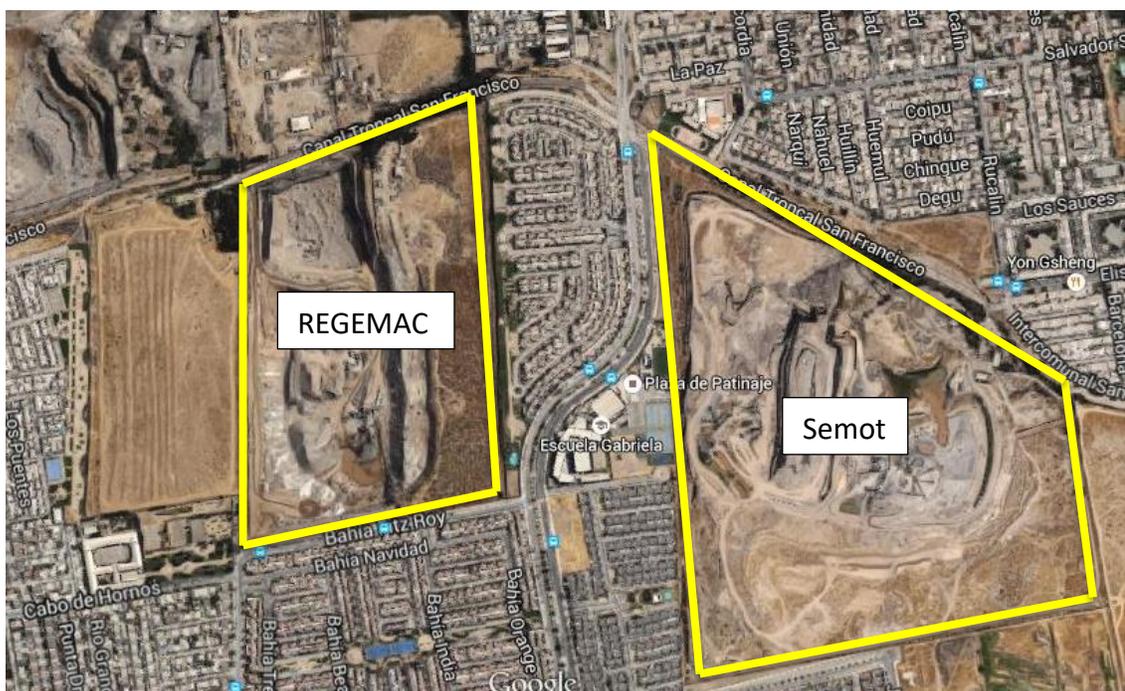


Figura 5: Ubicación de plantas de relleno REGEMAC y Semot. REGEMAC y Semot, 2017.

Las plantas de relleno de ex lotes de excavación de REGEMAC y Semot, aparecen en la Figura 5, estas están ubicadas en Puente Alto. Ahora cumplen con el propósito de pozos para relleno con materiales residuales inertes.

La OGUC otorga facultad para calificar y fiscalizar la infraestructura de los depósitos, al Servicio de Salud Metropolitano del Medio Ambiente (SESMA) ya reemplazado por el SEREMI de Salud (OGUC, 2016). El SEREMI también vela por el correcto actuar de las constructoras, las cuales deben almacenar de la manera indicada los residuos, en contenedores pertenecientes a empresas de manejo de residuos o escombros, las cuales deben disponer los contenedores indicados para cada tipo de residuo y luego transportarlos, siguiendo las medidas de seguridad y cuidado ambiental. Los RESCON deben transportarse en contenedores cubiertos, para minimizar la contaminación atmosférica. Por último su disposición final corresponde a los depósitos, donde son tratados algunos de los materiales con el fin de recuperarlos para reciclaje.



Figura 6: Planta REGEMAC de Puente Alto. Archivo de REGEMAC.

De acuerdo a las empresas de manejo de residuos, los procesos actuales de reciclaje, están limitados por la capacidad de recuperación de los materiales, por sobre sus tratamientos posteriores. Si bien existen procesos de reciclaje de distintos materiales, los materiales que son recuperados de los rellenos, son el hormigón y el acero.

### **3.2.1 Hormigón**

En la actualidad el hormigón es uno de los materiales más abundantes que podemos encontrar entre los escombros (70% del volumen), es también un material que ofrece una utilidad posterior que no busca una transformación del material solo una reducción de su tamaño de ser necesario, por lo que requiere de poco trabajo para su valorización (Contreras, 2009).

El hormigón, formado principalmente de árido aglomerado con cemento. Una vez endurecido, posee una alta resistencia a la compresión y una larga durabilidad, dependiendo de las sollicitaciones y condiciones ambientales (NCh 170, 1985). Su capacidad de carga viene dada, principalmente de la relación "agua cemento" y de su dosificación de áridos, ya que aprovecha la resistencia propia de los áridos. Su alta resistencia a la compresión viene acompañada de una baja resistencia a la tracción, por lo que se considera un material de falla frágil.

En la industria inmobiliaria los requisitos de resistencia de los hormigones varían desde H25 a H40, siendo H30 el hormigón con mayor frecuencia de muestras según la División Hormigones Control de Idiem.

Tabla 3: Clasificación de los hormigones por resistencia a compresión.

Grado	Resistencia especificada, $f_c$	
	MPa	(kgf/cm <sup>2</sup> )
H5	5	( 50)
H10	10	(100)
H15	15	(150)
H20	20	(200)
H25	25	(250)
H30	30	(300)
H35	35	(350)
H40	40	(400)
H45	45	(450)
H50	50	(500)

Fuente: NCh170, 1985.

La Tabla 3 muestra la resistencia del hormigón y el grado asociado, aunque los hormigones deben cumplir con más que solo la resistencia, ya que los clientes están interesados en la resistencia mecánica, su resistencia a la abrasión, corrosión y los embates climáticos, su trabajabilidad y grado de confiabilidad. Es por esto que las hormigoneras ajustan dosificación de agua y cemento junto a los distintos aditivos que ayudan a controlar el tiempo del fraguado, la resistencia, la hidratación y porosidad (NCh170, 1985).

La industria del cemento es considerada altamente contaminante, debido a los procesos de molienda, los cuales levantan material particulado al ambiente y los ciclos de combustión y enfriamiento del horno los cuales generan monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrocarburos, aldehídos, cetonas, óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno. Es por esto que el tratamiento del hormigón toma importancia del punto de vista ambiental (Monahan et al., 2011).

De acuerdo a la CChC, la caída en la industria de la construcción también refleja una caída en la demanda de hormigón, en la Figura 7, se puede apreciar una tendencia a disminuir respecto al año anterior, además se pueden apreciar valles en el despacho de hormigón durante el invierno, dado que la baja temperatura retrasa el fraguado y es más difícil controlar la humedad por las lluvias (Solis et al., 2005), lo que afecta en el hormigón resultante y los procesos necesarios en faena para su control, además de llegar a retrasa los tiempos de las faenas de hormigonado.

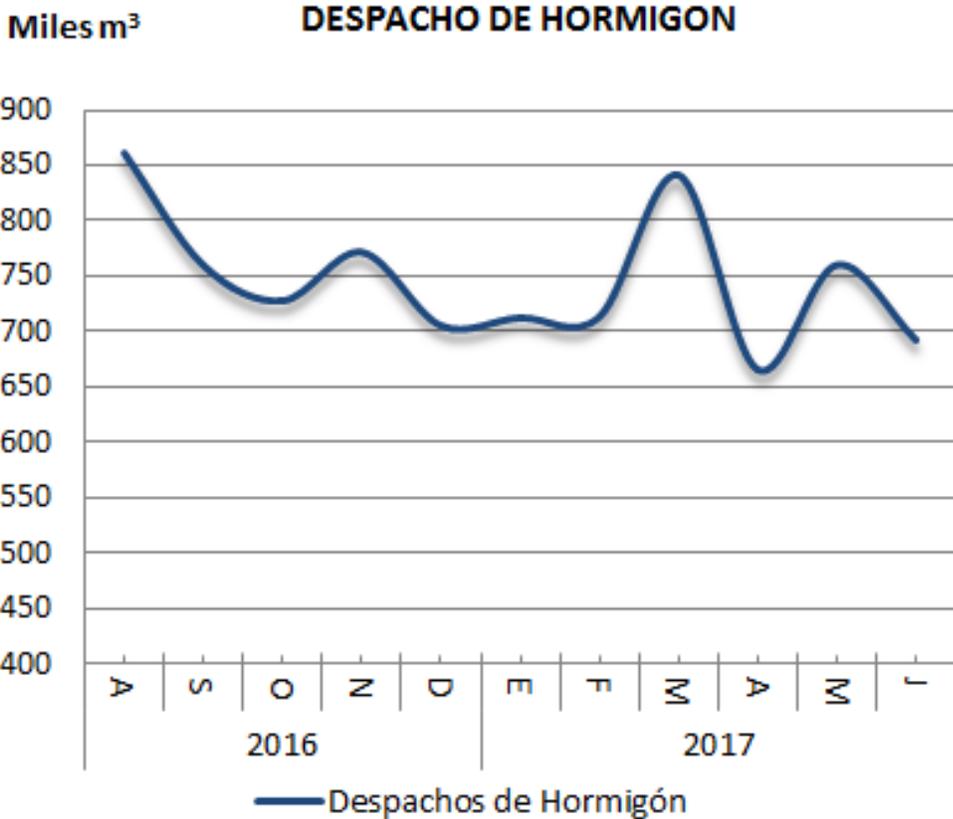


Figura 7: Volumen de despacho de hormigón. Indicadores de la CChC, 2017.

De acuerdo a casos vistos en la División de Hormigones Control (DHC) de Idiem, el hormigón en la construcción se desecha durante la obra gruesa, cuando el proceso de hormigonado toma más tiempo y el material restante pierde humedad y sus propiedades. También existe un pequeño volumen de perdida, asociado a los ensayos de verificación del material, como muestra de docilidad, a través del cono de Abrams y excedentes de probetas para el laboratorio. Por último, producto del tiempo de fraguado del hormigón, la resistencia última es alcanzada un mes después del hormigonado, y las dosificaciones de cada hormigón están sujetas a múltiples variables, por lo que se le dificulta a las empresas hormigoneras asegurar, que la resistencia

final del hormigón corresponde a la solicitada. Es por esto que una fracción de las partidas de hormigón puede resultar defectuosa, lo que conlleva a la demolición de los elementos hormigonados por esa partida, en este caso el hormigón residual lleva consigo acero de armadura.



Figura 8: Fases de recuperación del hormigón. REGEMAC, 2016.

En la Figura 8 se muestran las etapas de recuperación del hormigón, donde primero se recupera de la obra, luego se encuentra como escombro en estado previo a la trituración y por último se muestra el material triturado. Para los rellenos de suelo, no es necesaria ni la trituración ni el harneo del material.

En los depósitos son recuperados trozos de hormigón que son triturados con el fin de ser utilizados como material pétreo para mejoramiento y relleno de suelo (Contreras, 2009), ya que funcionan como roca con lo que aumenta la capacidad de resistencia del suelo, para fundaciones. En la Figura 9 siguiente se muestra el esquema de relleno de suelo aplicado sobre residuos de hormigón y otros materiales inertes.

De acuerdo a conversación con Texinco y REGEMAC las piezas recuperadas de hormigón, también son utilizadas como elementos constituyentes de cierres prediales o defensas fluviales en sectores rurales, y por último en algunos casos el hormigón recuperado pasa a formar parte de esculturas y elementos de paisajismo.

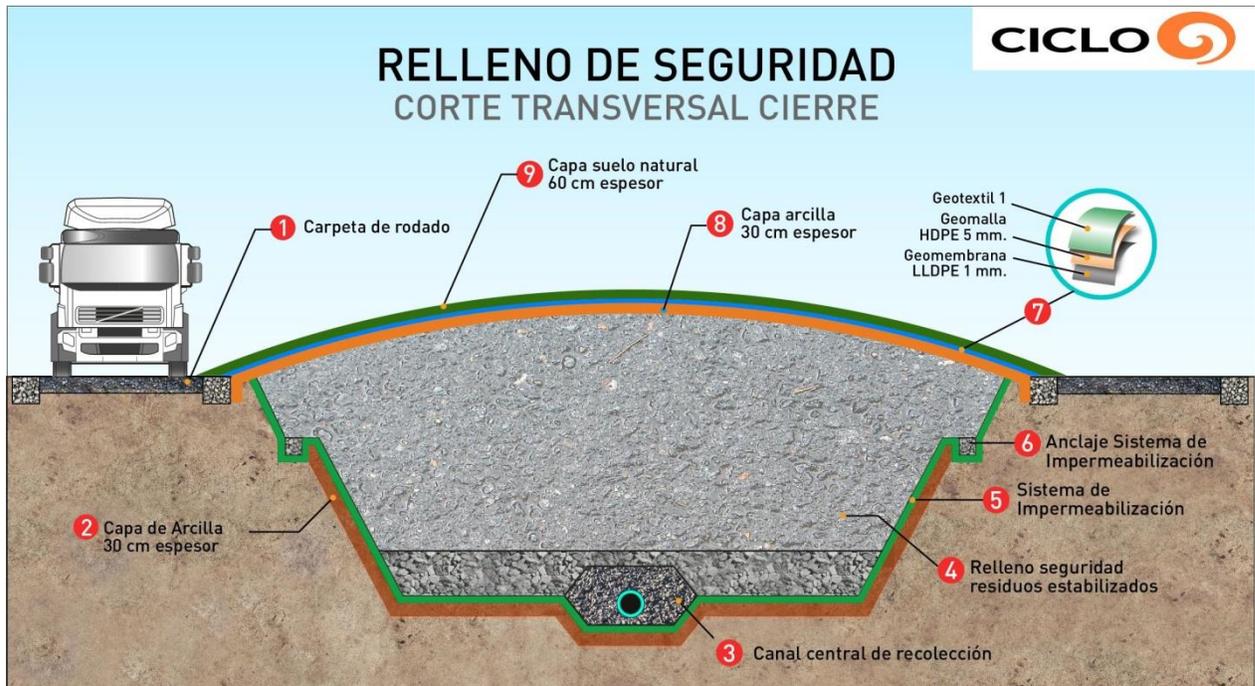


Figura 9: Relleno de suelo. Ciclo, 2017.

### 3.2.2 Acero

El acero es un material que posee una alta resistencia a la compresión tanto como a la tracción y al corte, que junto con comportamiento elasto-plástico hacen que sea uno de los materiales principales de construcción permitiendo soportar ciclo de carga y altas solicitaciones.

En la industria de la construcción se puede apreciar su presencia en elementos estructurales tales como la armadura del hormigón, vigas, columnas, riostras, cables y elementos de conexión, también está presente en escaleras, parrillas de piso, barandas, soportes, variados equipos eléctricos y mecánicos.

Las mermas observadas contienen despuntes de acero, los cuales ya no tienen cabida en la armadura, barras o planchones oxidados, piezas de conexión rotas y secciones de alzaprimas, andamios o montajes, que se han fatigado y no pueden ser reparadas.

Producido principalmente por hierro (98%) y carbono (0,5-2%), con otros metales adicionados para otorgarle características específicas, es el metal más producido en el mundo (Gerdau AZA, 2005).

De acuerdo con la Compañía Siderúrgica Huachipato (CAP), las barras de acero para utilizar en hormigón son de acero A440 y A630, poseen una tensión máxima de 440 MPa y 630 MPa respectivamente, estas barras deben cumplir con la normativa NCh204 del 2006. De acuerdo a la NCh204, la nomenclatura completa de las barras debe ser A440-280H y A630-420H, donde los segundos tres dígitos corresponden a límite de fluencia mínimo y la "H" indica que las barras son para armadura de hormigón.

Su proceso de producción, implica la extracción de hierro mineral y carbón coque, luego la producción de arrabio en alto horno que puede ser eléctrico o de combustión, para después pasar a un reactor donde al material fundido se le agrega oxígeno y la chatarra proveniente del reciclaje, de esta manera se forma el acero líquido el cual pasa a solidificarse en planchones o palanquillas, a las cuales se les dará su forma comercial final (Gerdau AZA, 2005).



Figura 10: Recuperación del acero. Archivo de REGEMAC.

La recuperación del acero se realiza In Situ, donde los trabajadores deben seleccionar el material liberado tras el proceso de trituración del hormigón. Esto se puede apreciar en la Figura 10, donde se separan y recuperan a mano los residuos metálicos que han llegado junto al resto de los escombros.

El reciclaje del acero busca disminuir los impactos de la extracción de hierro y los gases producto del alto horno. Es por esto que las empresas han lanzado campañas donde se recupera el acero, como chatarra en los centros

de acopio de residuos o de los depósitos de escombros. Una de las empresas comprometidas con esta tarea es Gerdau AZA, la cual, además, ha generado un impacto positivo en los chatarreros al asociarse a ellos junto con los centros de depósito de escombros, con el fin de recuperar chatarra de estos logrando aumentar sus ingresos. El proceso de fabricación de acero con reinsertión de material reciclado de muestra en la Figura 11.



Figura 11: Fabricación del acero. Gerdau AZA, 2005.

## **IV. CUANTIFICACIÓN Y COMPOSICIÓN DE RESIDUOS**

Para poder entender el potencial de reciclar, debemos proyectar los volúmenes relacionados a los distintos materiales que componen los RESCON. De esta manera se puede entender la importancia que puede tener el tratamiento de los materiales después de cumplida su función inicial.

### **4.1 Cálculo de Volumen de RESCON**

Inicialmente para establecer lo volúmenes correspondientes a los RESCON, se ha conversado con constructoras, con el fin de poder obtener los volúmenes de residuos generados en el proceso de construcción. Se les ha solicitado un registro de volúmenes de los materiales sólidos inertes desechados durante las distintas faenas de levantamiento de sus proyectos. Pero debido a que la regulación (APL, 2015 y Ley 19.300, 2011) solo indica la separación según su carácter de riesgo, para las constructoras representa un gasto de tiempo y fuerza de trabajo, el desglosar sus residuos y entregar los volúmenes.

Luego para poder estimar el volumen de residuos generados en obra, se realiza una estimación general y un posterior desglose para conocer su composición. De esta manera se ha vuelto a consultar a las constructoras para poder obtener los metros cuadrados de sus proyectos y el número de contenedores retirados a lo largo de la construcción de los edificios.

Por otro lado las empresas de manejo de residuos suelen manejar 2 volúmenes de contenedores para residuos sólidos, 10 y 7 m<sup>3</sup>, por lo que obviando las prácticas donde los trabajadores en obra, entregan contenedores sobre sus capacidades, ya que los cobros son realizados de acuerdo al volumen nominal del contenedor y no a su contenido.

De esta manera se puede obtener un volumen nominal de escombros retirados en obras en función de los metros cuadrados construidos (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>), lo que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4: Volumen de residuos generados en obra.

Comuna	Pisos	Área construida [m <sup>2</sup> ]	Contenedores	Volumen de RESCON [m <sup>3</sup> ]	RESCON [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]
Las Condes	8	9000	47	470	0,052
Providencia	8	8900	2 (7) + 48 (10)	494	0,056
Santiago	25	26400	134	1340	0,051
Las Condes	9	5250	3 (7) + 26 (10)	281	0,054
San Miguel	22	15270	75	750	0,049
San Miguel	20	11550	55	550	0,048
Providencia	9	14300	2 (7) + 75 (10)	764	0,053
<b>Promedio</b>					<b>0,052</b>

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 4 muestra que el volumen generado por metro cuadrado construido es en promedio 0,052 m<sup>3</sup> de residuo sólido inerte. Lo cual es comparable con los 0,585 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> construido (Contreras, 2009), los cuales incluyen residuos de demolición, los cuales comprenden el total de la obra. De esto se desprende que la faceta constructiva genera un 9% de los residuos sólidos de la industria.

Se debe entender que la fase de construcción no solo desecha material de construcción, sino que también elementos de montaje y empaque, también se deben considerar partidas no conformes de hormigón que pueden terminar no solo como hormigón desechado, si no que en la demolición de muros o losas y la reconstrucción de estos elementos. Las hormigoneras trabajan con tasas entre 90 y 95% de satisfacción (IDIEM).

Según las proyecciones de Gutiérrez (2017) y el INE, solo en la Región Metropolitana se estiman 6,25 millones de metros cuadrados construidos para el 2017, de los cuales 5,4 millones de metros cuadrados son edificios destinados a viviendas y 160 mil son edificios de oficinas, sumando un total de 5,56 millones de metros cuadrados de edificios para este año.

Tabla 5: Cálculo de Volumen anual de RESCON.

Región Metropolitana		RESCON	
Edificios (MMm <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	(MMm <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>
5,56	0,052	0,288	287.722

Fuente: Elaboración en base a Gutiérrez 2017.

## 4.2 Composición de los RESCON

Dado que de las constructoras no ha sido posible el rescatar los volúmenes específicos de los distintos materiales, se ha recurrido a REGEMAC y Veolia, y gracias a su colaboración ha sido posible recopilar los porcentajes de composición de los RESCON de dos plantas de tratamiento en Santiago. Debido a la solicitud de confidencialidad de los datos, se reconocerán las plantas de tratamiento como A y B. Los datos corresponden a estudios previos, donde los datos de la planta A son del año 2014 y los datos de la planta B son del 2013.

Tabla 6: Composición de los RESCON.

Material	Volumen [m <sup>3</sup> ]			Porcentaje [%]
	Planta A	Planta B	Suma	
<b>Hormigón</b>	245	138	383	73,84
<b>Pétreos</b>	22	13,5	35,5	6,84
<b>Metálicos</b>	1,7	1,3	3	0,58
<b>Madera</b>	61	31	92	17,74
<b>Vidrio</b>	0,7	0,5	1,2	0,23
<b>Aislantes</b>	0,3	0,3	0,6	0,12
<b>Plástico</b>	0,7	0,8	1,5	0,29
<b>Varios</b>	1	0,9	1,9	0,37
<b>Total</b>	332,4	186,3	518,7	100

Fuente: Empresas de manejo de residuos, se mantiene confidencialidad de los nombres.

Una vez obtenida la composición de los residuos, se ponderan los porcentajes por el volumen total, calculado anteriormente en la Tabla 6. De esta manera se obtiene la cantidad de metros cúbicos desechados de cada material.

Tabla 7: Volúmenes de materiales residuales.

<b>Material</b>	<b>Porcentaje [%]</b>	<b>Volumen [m<sup>3</sup>]</b>
<b>Hormigón</b>	73,84	212.449
<b>Pétreos</b>	6,84	19.692
<b>Metálicos</b>	0,58	1.664
<b>Madera</b>	17,74	51.032
<b>Vidrio</b>	0,23	666
<b>Aislantes</b>	0,12	333
<b>Plástico</b>	0,29	832
<b>Varios</b>	0,37	1.054
<b>total</b>	100	287.722

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 7 se aprecian los volúmenes de los residuos de distintos materiales, pero estos solo contemplan la Región Metropolitana. La cual al año 2005, la cual contemplaba 8 millones de metros cuadrados de los 17 millones estimados en Chile, equivalente a un 47% de la construcción del país (CChC, 2005 , Contreras, 2009). Con el crecimiento de otras ciudades en el país es posible esperar que porcentualmente el aporte de construcción de la Región Metropolitana descienda y que los volúmenes residuales aportados en otras regiones del país sumen considerablemente a los volúmenes hoy proyectados.

Para tener otro parámetro, que permita ampliar la perspectiva sobre la cantidad de materiales que pueden ser tratados de manera que se les agregue valor y permitir extender su vida útil, es que se calculan las masas de los materiales.

Para determinar la masa de los materiales, se multiplican los volúmenes obtenidos por las densidades características de los distintos materiales, donde las densidades son obtenidas mediante la revisión de los catálogos de algunos proveedores presentes en Chile.

De acuerdo con la NCh170 (1985) el hormigón tiene una densidad que va entre los 2.000 y los 2.800 kg/m<sup>3</sup>, las distintas densidades dependen de los distintos requisitos de resistencia y docilidad. La norma ACI318 (2005) define la densidad normal para un hormigón con densidades entre 2.400 y 2.600kg/m<sup>3</sup>, es por esto que se define una densidad promedio para el hormigón de 2.500 kg/m<sup>3</sup>. En las normas NCh170 (1985) y ACI318 (2005), los agregados pétreos tienen una densidad de 1.500 kg/m<sup>3</sup>, pero son las

variaciones de la densidad de los agregados un factor influyente en la densidad final del hormigón, es por esto que las normas establecen la toma de densidad para cada partida de hormigón.

El acero posee una densidad de  $7.850 \text{ kg/m}^3$  según Gerdau (2005), aunque esta densidad puede variar hasta más de  $8.100 \text{ kg/m}^3$  dependiendo de su composición, al revisar los catálogos de la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT de la CChC), se obtiene la tabla de propiedades de perfiles de donde se puede extraer la densidad a utilizar.

Tabla 8: Densidad de las barras de refuerzo.

Características nominales			
Diámetro, $d_n$ mm	Masa (2) $m_n$ kg/m	Sección $S_n$ cm <sup>2</sup>	Perímetro $P_n$ cm
6	0,222	0,283	1,89
8	0,395	0,503	2,51
10	0,617	0,785	3,14
12	0,888	1,13	3,77
16	1,58	2,01	5,03
18	2,00	2,54	5,65
22	2,98	3,80	6,91
25	3,85	4,91	7,85
28	4,83	6,16	8,80
32	6,31	8,04	10,1
36	7,99	10,2	11,3

Fuente: Registro CDT, Fichas de Productos.

Al realizar la división de la masa por la sección en metros cuadrados, se obtiene que la densidad del catálogo es muy cercana a  $7.850 \text{ kg/m}^3$ .

Dentro del Registro Técnico de Materiales de CDT, encontramos los catálogos de otros productos como los de tableros de madera para montaje y tabiquería, la cual tiene una densidad de  $680 \text{ kg/m}^3$ . También se encuentran las fichas de los aislantes más utilizados como la lana celulósica, lana mineral y poli estireno, con densidades de orden similar de 55, 35 y  $30 \text{ kg/m}^3$  respectivamente.

Tabla 9: Densidad de tableros de madera

Formatos de Comercialización			
Tablero	Espesor [mm]	Tamaño [mm]	Peso [kg/m <sup>2</sup> ]
7 - ply	9	1500 x 3000	6,1
9 - ply	12	1500 x 3000	8,8
11 - ply	15	1500 x 3000	10,2
13 - ply	18	1500 x 3000	12,7
15 - ply	21	1500 x 2500	14,25
15 - ply	21	1500 x 3000	14,25
15 - ply	21	1500 x 4000	14,25
15 - ply	21	1250 x 2500	14,25

Fuente: Registro CDT, Fichas de Productos.

También están presentes los catálogos de vidrio para el control solar, aislación térmica y acústica, los cuales poseen cambios en su disposición espacial pero no en su composición manteniendo una densidad de 2.500 kg/m<sup>3</sup>. Esto es dado que el control solar viene dado por tintes y películas polarizadas aplicadas sobre el vidrio, el termo panel se logra mediante el espaciamiento de los paneles de vidrio y en algunos paneles de aislación acústica se logran mediante láminas de polivinilo. Por lo cual el vidrio aislado no es modificado y mantiene sus propiedades.

Los plásticos, policarbonato (PC), poli cloruro de vinilo (PVC) y tereftalato de polietileno, fueron revisados de catálogos de TECNOMAT, y poseen densidades similares entre 0,9 y 1,2 gr/cm<sup>3</sup>, por lo que se toma una densidad de 1,1 gr/cm<sup>3</sup> equivalente a 1.100 kg/m<sup>3</sup>.

De esta manera en la siguiente tabla se muestra el resumen de densidades y los volúmenes y masas de los residuos asociados.

Tabla 10: Volumen y Peso de los RESCON al año

<b>Material</b>	<b>Volumen [m<sup>3</sup>]</b>	<b>Densidad [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Peso [Ton]</b>	<b>Porcentaje [%]</b>
<b>Hormigón</b>	212.449	2.500	531.124	86,9
<b>Pétreos</b>	19.692	1.500	29.538	4,8
<b>Metálicos</b>	1.664	7.850	13.063	2,1
<b>Madera</b>	51.032	680	34.702	5,7
<b>Vidrio</b>	666	2.500	1.664	0,27
<b>Aislantes</b>	333	40	13	0,002
<b>Plástico</b>	832	1.100	915	0,15
<b>Varios</b>	1.054	-	-	-
<b>Total</b>	287.722	2.500	611.019	100

Fuente: Elaboración en base a estimación de volúmenes y catálogos de productos.

De la Tabla 10, se puede asumir en el mejor de los casos que las 13 mil toneladas de acero y las 1.600 toneladas de vidrio, son recuperadas y descartar el aporte de los elementos varios restantes, y aun de esta manera casi 600 mil toneladas de residuos terminan como relleno de suelos, esto solo en la Región Metropolitana.

A demás se incluye en la última columna una redistribución de la composición, ahora de acuerdo a los pesos estimados de los distintos materiales. Esto permite tener una segunda perspectiva de la composición de los RESCON acorde a las densidades de los distintos materiales.

Es esta la motivación para presentar a continuación alternativas de reciclaje que permitan dar una extensión a la vida de estos materiales y disminuir los impactos asociados a su extracción, manufactura y degradación.

## **V. POTENCIAL USO DE LOS RESCON**

Ya conocida la composición de los RESCON y estimados los volúmenes de cada material, se realiza una revisión bibliográfica en busca de métodos de reciclaje, nuevas tendencias o procesos que no han sido aplicados.

Dado que según las empresas consultadas como Gerdau, Veolia, REGEMAC y Texinco, podemos dar cuenta que el reciclaje de los materiales residuales de la construcción está enfocado solo en 2 de ellos (hormigón y acero), se estudian propuestas que han sido implementadas tanto en el extranjero como en Chile, pero que no son parte de los procesos de tratamiento que se dan actualmente a los RESCON.

La búsqueda no solo se enfoca en el rescate de materiales provenientes de la industria de la construcción, si no que se extiende a otros sectores industriales, que puedan haber tenido la iniciativa o necesidad de implementar mecanismos de reciclaje de materiales comunes a la construcción.

También se consideran procesos que se lleven a cabo tanto en el extranjero como en Chile, dado que existen procesos de reciclaje implementados en industrias nacionales que pueden extenderse a los residuos de construcción.

### **5.1 Hormigón**

Con la finalidad de utilizar las propiedades mecánicas del hormigón residual, se establece la propuesta de reutilizar el hormigón reciclado como árido para la generación de nuevos hormigones y pavimentos asfálticos.

El proceso comienza con la, trituración de los elementos residuales de mayor tamaño, luego pasan a la clasificación de los residuos, las plantas de tratamiento disponen los residuos en bandas transportadoras que circulan a través de un circuito donde se realiza una clasificación y separación manual de elementos de hormigón o pétreos, los cuales pasan a las chancadoras con el fin de ser triturados para dejarlos del tamaño adecuado a la normativa. Harneros mecánicos son utilizados para separar el material requerido del polvo o del que debe volver a las chancadoras (Techniques, 1999).



Figura 12: Proceso de recuperación del hormigón como árido. En base a Techniques, 1999 y Aguilar et al. 2005.

El material resultante es acopiado para luego ser reinsertado en el proceso productivo del hormigón o asfalto, para cumplir la labor del árido natural. Algunas de las características que se ven afectadas al utilizar hormigón reciclado son; la disminución de la densidad (9-10%) producto de la porosidad de la pasta de cemento, el incremento de absorción de agua (de un 3% a un 15%), disminución de la resistencia final (20% de pérdida a 28 días) (Aguilar, Muñoz, Loyola, 2005).

Esta pérdida de resistencia final, es menor en pavimentos asfálticos, donde además se nota un incremento temprano de la resistencia producido por la geometría angulosa del hormigón triturado (García, 2012).

De manera que el reciclaje de hormigón, es una alternativa viable que cumple con los requisitos para conformar hormigones pobres, normales o pavimentos asfálticos, lo que permite disminuir uso intensivo de suelo para la extracción de áridos.

## **5.2 Madera**

La Madera es un material ligero que ofrece resistencia a la compresión y tracción, además de una gran flexibilidad. Formada por fibras celulósicas longitudinales enlazadas a través de un polímero orgánico llamado lignina. Ofrece una gran versatilidad ya que su resistencia viene de configuración en fibras, que no poseen gran dureza por lo que se puede cortar para otorgarle la configuración necesaria (Peris, Vinote, 2006).

Es el material con el que se considera iniciada la industria de la construcción, presente en casi todos los métodos constructivos, en sus diversas formas adecuadas regularmente a su entorno. En planchones, tablonces y formas más detalladas, puede encontrarse en: andamios, tacones, montaje, rampas de accesos, molduras, dinteles, vigas, barandas, estructuras de seguridad y pallets de empaque, entre otros.

Es un recurso orgánico renovable que utiliza vastas extensiones de suelo y agua para su desarrollo, de aquí la importancia de extender su ciclo de vida (Peris et al., 2006). Dada su versatilidad es que en obra se utiliza de diversas maneras, pero al sufrir roturas, pandeos excesivos o hinchazón por humedad, es desechada.

### **5.2.1 Madera Plástica**

Para el reciclaje de madera y su transformación a madera plástica, se debe comenzar por la separación de la madera residual, con lo cual se rescatan virutas de madera o despuntes triturables. Es necesario que la madera se mantenga seca.

La transformación se basa en las propiedades aglomerantes del polipropileno o polietileno de baja densidad, presentes con distintos usos domésticos e industriales, pertenecientes a los polímeros termoplásticos (Paris, Gonzales, 2009). Una vez recuperados, los polímeros lavados, secados y triturados para luego ser mezclados con aserrín proveniente de madera recuperada. La mezcla pasa a la maquina aglutinadora, donde mediante calor y presión, se forman planchas de madera plástica. También pueden utilizarse moldes para otorgarle diversas formas comerciales. El material posee características mecánicas similares a las de la madera pero con mayor dureza y menor densidad, además de contar con el beneficio de provenir de materiales reciclados.



Figura 13: Perfiles de madera plástica. Plastimadera, 2017.

Es necesario entender que el proceso de aglutinamiento difiere de la recuperación de termoplásticos regular, dado que se debe considerar una temperatura que no degrade las fibras celulósicas de la madera pero que permita alcanzar la reestructuración del polímero, a su vez el contenido de aserrín y la humedad que este contiene, generan dispersión en el comportamiento del material resultante, por lo que deben existir un control que afine la dosificación (Jara, 2015).

El resultado es un material que puede moldearse a distintos perfiles y colores, que gracias al aglutinamiento de resina plástica es impermeable y durable (Plastimadera México, 2017). Actualmente se utiliza como reemplazo de madera en tablonces para decks, muebles y tarimas, también como cimbra para montajes y distintos productos de uso doméstico.

### **5.2.2 Madera como residuo orgánico**

La madera es un material orgánico compuesto por carbono (50%), oxígeno (42%), hidrógeno (6%) y nitrógeno (2%), con otros elementos en menor cantidad, formando cadenas de celulosa y lignina principalmente (Peris et al., 2006).

La materia orgánica puede descomponerse con la ayuda de microorganismos, es por esto que se utiliza madera tratada para evitar que la humedad penetre en la madera e induzca el proceso de descomposición. El carbono y el nitrógeno, contenidos en la madera, pueden aumentar la masa biológica de las mezclas de composta que son utilizadas para nutrir el suelo (Montagnini, Jordan, 2006).

En primer lugar la madera recuperada se debe triturar hasta convertirlas en aserrín, este subproducto de la madera permite acelerar el proceso de descomposición, retener más agua y agilizar la captación de los sustratos. Dada la alta razón carbono nitrógeno, no puede ser utilizado directamente como sustrato es por esto que el aserrín es remojado en agua para eliminar los químicos presentes que pueden dañar a las plantas. Una vez remojado el aserrín puede ser agregado a la composta en razón 1:1 con el abono (Jorge A, 2011). A continuación se muestra la imagen de una compostera en la cual se agrega madera junto al material orgánico y la tierra, permitiendo el percolado de los líquidos liberados en la descomposición de los residuos vegetales.



Figura 14: Compostera. Archivo de Ecologiahoy, 2016.

Junto con nutrir el suelo de cultivo, el aserrín puede retener agua en las capas superiores de suelo lo que facilita el riego de las plantas disminuyendo el consumo de agua. De manera que este método llega como ayuda a la solución del problema del uso intensivo de suelo para cultivos y deforestación, lo que ha generado una disminución en la capacidad de los suelos para poder cultivar en ellos (Montanini et al., 2006).

### 5.2.3 Madera como bio-combustible

La composición orgánica de la madera y composición celulósica, ofrecen otro uso para la madera residual como biomasa para la generación energética. El proceso de óxido reducción de la celulosa, libera calor en cantidades que superan a la combustión de otros materiales. El poder calorífico de la madera oscila alrededor de las 4.200 kcal/kg (Poletto, da Silva, 2009), y este valor puede verse incrementado

La biomasa es considerada la fuente de energía renovable de mayor importancia en Europa. Y es que debido a la versatilidad de captación de materias primas, las plantas de generación mediante biomasa, permiten la producción a pequeña escala. A demás del poder calorífico, otras de las ventajas de la madera sobre otros integrantes de la biomasa, es su rápido secado gracias a la capilaridad de las fibras de madera y la baja de producción de ceniza como residuo del proceso de combustión (AVEBIOM, 2008).

El tratamiento de la madera comienza con la trituración del material rescatado, donde la viruta y el aserrín pasan a cámaras de secado o pueden ser secados al sol. Una vez que la madera pierde el agua de saturación para pasar a las cámaras de incineración donde la combustión se utiliza para calentar agua y utilizar turbinas que transformen la energía mecánica liberada por el cambio de estado del agua, a eléctrica (AVEBIOM, 2008).

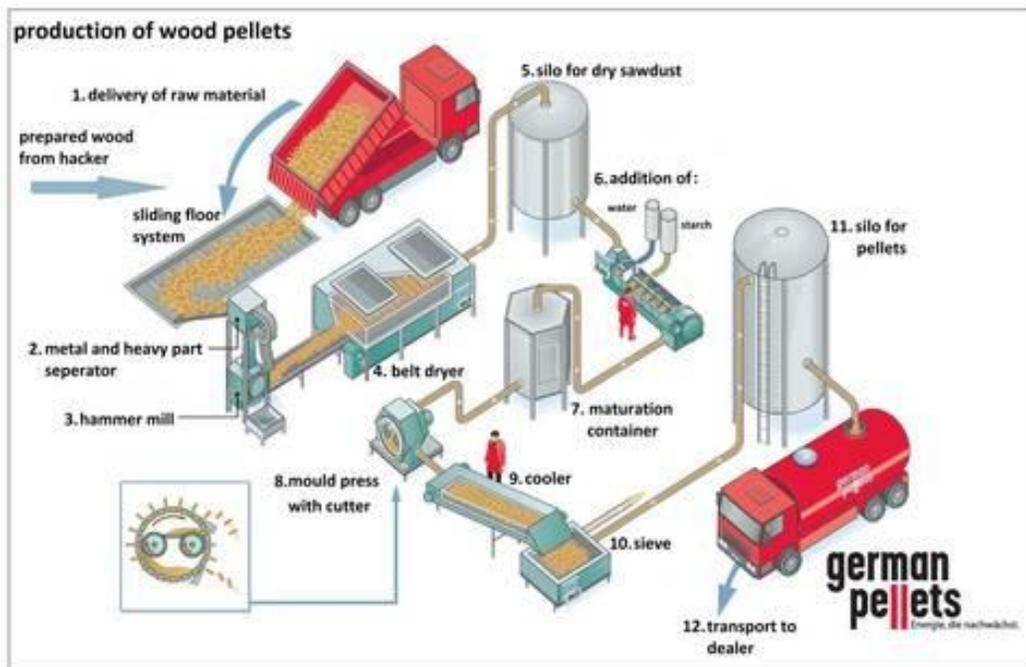


Figura 15: Esquema de procesos de fabricación de pellets de madera. German Pellets.

Una opción que depende del volumen de producción es la compactación previa del aserrín con el fin de formar pellets de madera, los cuales aumentan su poder calorífico más de un 12% llegando a sobrepasar los 4.800 kcal/kg. Otro beneficio de los pellets de madera es la reducción de ceniza en casi un 95%. En la Figura 19 se muestra el esquema de procesos de producción de pellets de madera de la empresa alemana German Pellets, la cual recibe madera residual de distintas industrias, con el fin de producir un producto combustible sustentable.

### **5.3 Vidrio**

El vidrio es un silicato que está constituido principalmente de sílice, caliza, carbonato sódico y otros elementos que son los que le otorgan la apariencia y coloración distinta a cada pieza. Es un material cerámico amorfo que posee una apariencia brillante y generalmente transparente, de comportamiento duro aunque de falla frágil (ANFEVI, 2013). Sus compuestos inorgánicos están presentes en arenas y estratos ricos en silicatos y se funden cerca de los 1500°C, generando un compuesto estable ante la acción de químicos, por lo que es utilizado en el área médica y científica.

Al ser inerte y gracias a su transparencia y docilidad, el vidrio ha tenido usos en distintas áreas industriales o domésticas, por esto es posible encontrarlo en lentes ópticos y lentes de equipos, espejos, botellas, vasos, fuentes, elementos de cocina y laboratorio, piezas decorativas, pantallas y ventanas (Mata, Gálvez, 2010). En la construcción el vidrio está presente principalmente en ventanas y ventanales, los cuales pueden tener doble panel, espejos, luminaria y barandas en balcones y escaleras, donde debe poseer un grosor mayor al de las ventanas por la solicitud de carga a la cual está expuesto.

#### **5.3.1 Vidrio reciclado**

Si bien el vidrio es un sólido en temperatura ambiente, pasado los 1500°C el material se funde y se convierte un líquido que no pierde su composición por lo que al enfriarse se consigue recuperar el vidrio con sus propiedades originales, gracias a que posee una estructura amorfa, la reestructuración no queda afectada físicamente. El reciclaje del vidrio utiliza un 26% menos de energía y contamina un 40% menos el agua, además de disminuir la contaminación atmosférica (Mata et al., 2010).

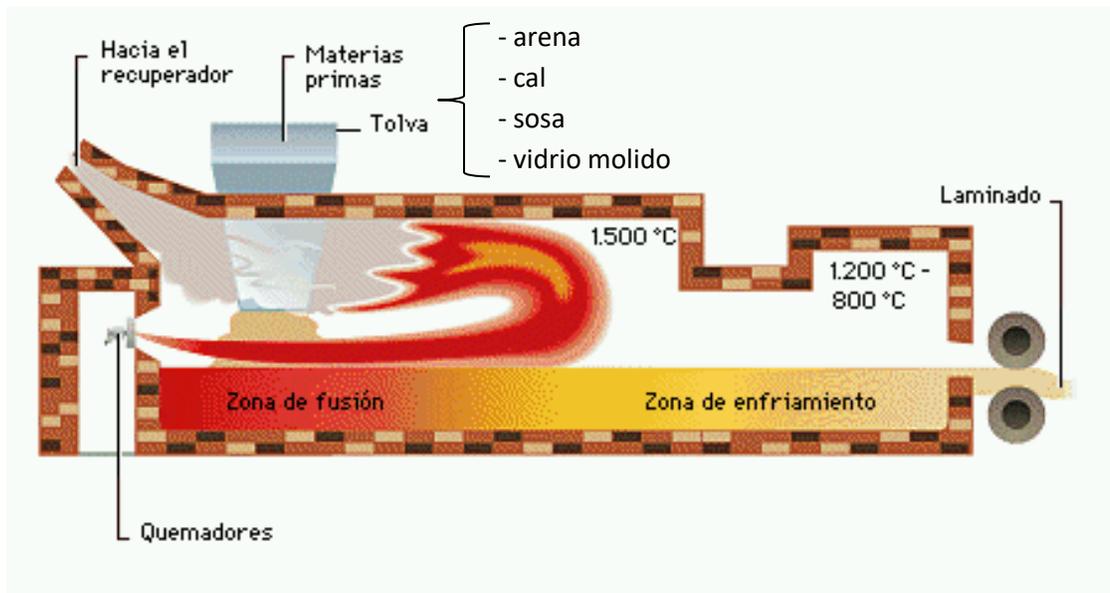


Figura 16: Proceso de producción del vidrio. Cristalería Chile.

El proceso comienza con separar el material recuperado de otros presentes, piedras, papel, plástico, metales y cerámicas, son retiradas por distintos mecanismos los cuales pueden realizarse manualmente o mediante mecanización industrial de los procesos. Una vez separado el vidrio se utiliza decolorantes para evitar la necesidad de segregarse el material por colores. El vidrio pasa por rodillos o martillos para tritararlo y pasarlo por tamices que entreguen la granulometría necesaria. Durante este proceso imanes retiran los últimos vestigios metálicos que puedan quedar. En esta etapa comienza el proceso de fundición mostrado en la Figura 16, donde se lleva a un horno donde el vidrio reciclado es agregado a material virgen, y se funde a 1.500°C para formar vidrio nuevo que servirá para, soplado de inyección para botellas o frascos, laminado de ventanas o cualquiera sea su propósito (Mata et al., 2010).

### 5.3.2 Vidrio y Cerámica

Debido al comportamiento similar entre el vidrio y la cerámica, es que se utiliza el vidrio como aditivo dentro de la recuperación de material cerámico, para gres porcelánico.

Es posible apreciar la presencia de la cerámica y sus distintas presentaciones, a nivel doméstico e industrial, dada su alta resistencia térmica, dureza y variedad de acabados, es que forma parte de la cocina, forja, procesos industriales de alto horno y terminaciones (Trilleres-Lazáro,

Allepuz, 2011). El gres porcelánico, es una cerámica compacta y dura, utilizada en pisos. El vidrio contribuye a nivel superficial logrando que la baldosa resultante sea no porosa y posea un acabado cerámico.

La primera etapa del proceso de reciclaje comienza con la selección del material, se separa el vidrio por color y se selecciona la cerámica junto al material arcilloso. Mediante martillos o molino de rodillos se pulveriza y homogeniza la mezcla, para luego ser tamizada y secada. Para comenzar el proceso de aglomeración, se agrega agua y se amasa la mezcla, la que mediante el uso de placas o torno, será aplicada a la superficie de las baldosas cerámicas. Por último se procede a la quema de las baldosa, en hornos con temperaturas cercanas a los 1100°C (Urgilés, 2009).

Según Delvasto (2015), existe una cantidad de polvo de vidrio óptima para el comportamiento del gres porcelánico en base a cerámica y vidrio, en la Tabla 11 se muestran las propiedades de paneles de gres porcelánico. Se observa que para una concentración de 25% de vidrio, se disminuye la temperatura de cocción, la contracción y la densidad aparente.

Tabla 11: Propiedades de gres con agregado de vidrio.

<b>Propiedades físicas</b>	<b>V0</b>	<b>V25</b>	<b>V50</b>
Temperatura óptima de cocción (°C)	1400	1250	1250
Contracción lineal (%)	8,6	8,1	8,7
Densidad aparente en cocido (g/cm <sup>3</sup> )	2,33	2,23	2,31
Porosidad abierta (%)	0,1	6,3	1,8
Porosidad cerrada (%)	4,6	0,6	5,9
Porosidad total (%)	4,9	6,8	7,7
Absorción de agua (%)	0,1	2,7	0,8

Fuente: Delvasto et al. 2015.

### **5.3.3 Vidrio y arena**

Una de las propuestas más innovadores respecto al reciclaje se observa en Nueva Zelanda, donde el crecimiento de las ciudades implica un crecimiento de la construcción que va de la mano con el uso masivo de la arena de las playas que se encuentran en la isla. El consumo de arena ha sido tal que se a pesar de restricciones impuestas por el estado, la arena se ha dragado de manera ilegal, preocupando a un país con un alto crecimiento urbano pero con una limitada geología. DB Export Beer Bottle Sand es una empresa cervecera que ha iniciado una iniciativa donde las botellas de vidrio

son pulverizadas en pequeños cristales de arena que son distribuidos como sustitutos de arena para la construcción, con el fin de disminuir el consumo de arena y mantener las costas (DB Export, 2017).

La Figura 17 muestra la maquina dispuesta por DB Export, donde se introducen las botellas de vidrio y estas son lavadas, secadas y pulverizadas, con un panel transparente para que el usuario pueda apreciar la arena con la que ha aportado.



Figura 17: Maquina para el pulverizado del vidrio. DB Export, 2017.

El vidrio es limpiado del papel o plástico que pueda tener, luego es pulverizado hasta alcanzar un tamaño similar al de los granos de arena, por último es entregado como sustituto de la arena para pavimentos y hormigones. Esto ocurre gracias a que al ser pulverizados, los granos de vidrio adquieren una forma angulosa equivalente a la de los granos de arena de las playas, que son preferentemente utilizadas sobre los granos rodados por su redondez (DB Export, 2017).

## **5.4 Aislantes**

El grueso de los edificios está conformado por la estructura de hormigón armado, pero dentro de la estructura principal es que se dispone la tabiquería la cual crea sub divisiones dentro de un departamento u oficina. La regulación actual establece que los elementos divisorios deben cumplir con estándares mínimos de aislación térmica y acústica, es por esto que los materiales aislantes, no están enfocados en la resistencia estructural si no que en disipar la energía transportada por las ondas acústicas, disminuir la propagación de golpes y reducir el intercambio de calor entre el interior y el exterior (OGUC, 2016).

### **5.4.1 Yeso**

El yeso es un producto mineral compuesto de sulfato de calcio dihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), del cual se aprovechan sus propiedades mecánicas como aislante térmico y sonoro, su baja densidad, sus capacidad de fraguado y adherencia, y su capacidad de absorción de agua. El mineral extraído, debe ser triturado y cocido en hornos, que a distinta temperatura de cocción entregan materiales de comportamiento diferentes, esto está relacionado principalmente con su capacidad de retención de agua (Villanueva, García, 2001).

Planchas de yeso compactado con cubiertas de papel cartón, son utilizadas en la tabiquería. Pueden o no llevar fibras para mejorar su resistencia, pero su fin principal está asociado a la aislación acústica y térmica.

#### **5.4.1.1 Yeso Reciclado**

Es posible confeccionar paneles de yeso cartón, utilizando material recuperado de obra, con el fin de disminuir el impacto de la extracción. Aunque para esto se debe triturar y cribar el yeso recuperado hasta alcanzar la finura del yeso original. El yeso pulverizado se mezcla con yeso extraído de origen natural en un porcentaje entre 10% y 20%. La pasta de yeso es nuevamente horneada para eliminar el excedente de agua y permitir que fragüe, formando una nueva plancha de yeso (Begliardo, Sánchez, Panigatti, Garrapa, 2013).

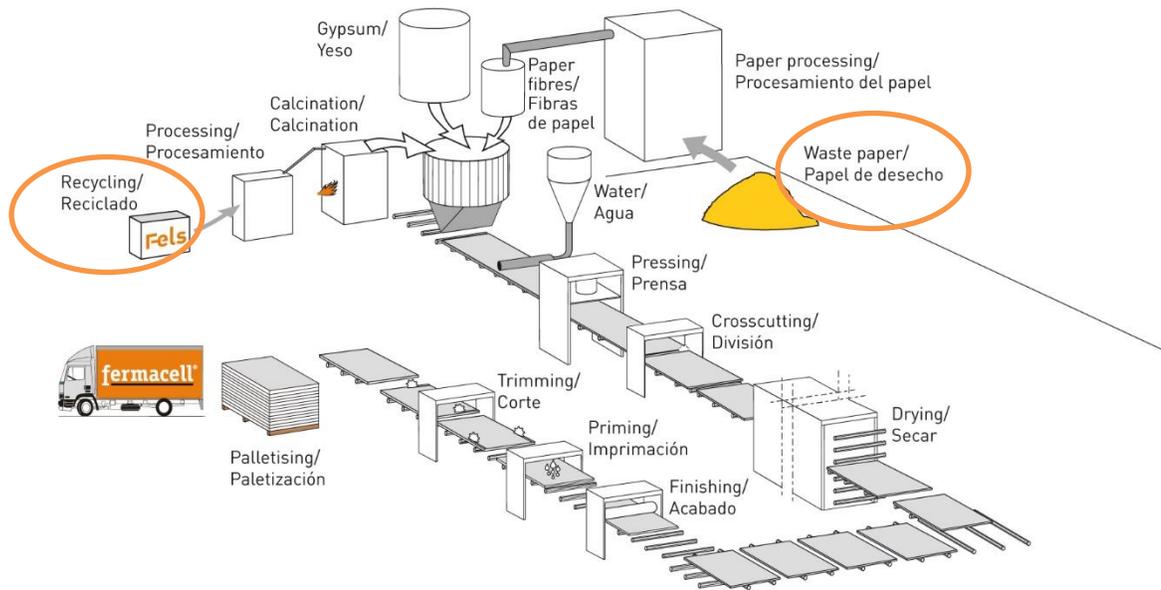


Figura 18: Planta de producción de Yeso-Cartón. Fermacell.

En la figura anterior, se puede apreciar el esquema de procesos de fabricación de planchas de yeso-cartón, donde el yeso recuperado es reinsertado en el proceso productivo, pasando previamente por la limpieza, tamizado y calcinado. Se puede ver que esta empresa española también utiliza como materia prima, desechos de papel para conformar las cubiertas de cartón de las planchas.

El material resultante, con parte de yeso reciclado, cumple con los estándares normativos de resistencia y puede volver a tomar parte en obra como elemento de tabiquería (Begliardo et al. 2013).

#### 5.4.1.2 Yeso en la producción de Cemento Portland

En un entorno de gran crecimiento industrial y urbano, se observa una alza en la demanda del hormigón por parte de la industria de la construcción, el cual tiene al cemento portland como agente cementante que al fraguar permite enlazar los granos de áridos y transmitir su resistencia a la compresión. De esta manera el hormigón posee una alta resistencia a los esfuerzos de compresión y una adaptabilidad a formas que puedan ser otorgadas en el montaje junto a su capacidad de ser bombeado. El cemento

comienza con la extracción de caliza arcilla y hierro mineral, los cuales pasan por un proceso de molienda y son posteriormente calcinados a 1400°C, este proceso da como resultado el Clinker. Las bolas de Clinker son pulverizadas y homogeneizadas, donde se obtienen 4 compuestos principales: cal, sílice, alúmina y óxido férrico (Martínez, 2010).



Figura 19: Proceso de producción de Cemento Portland. Tecnología del Hormigón 2015.

La variación en las concentraciones de estos compuestos, son los que cambian las propiedades de fraguado y resistencia del cemento resultante. El aluminato tricálcico presente, reacciona de manera acelerada bajo la presencia de humedad y cristaliza antes que los demás compuestos, en este punto es añadido el yeso (3 a 4%) para que reaccione con el aluminato y forme etringita retardando la reacción del aluminato tricálcico, esto corresponde a la etapa 9 del proceso de fabricación de cemento portland mostrado en la Figura 19. En este punto se extiende la posibilidad de utilizar yeso residual, sobre el natural, el cual debe ser previamente tratado (CONAMA, 2014). Para esto se trituran las planchas de yeso cartón y retiran todos los residuos de plástico y de papel, posteriormente se pulveriza el yeso y se lleva al horno para eliminar impurezas y la humedad recuperando su capacidad reactiva natural, y poder ser adicionado en el proceso de manufactura del cemento.

### 5.4.1.3 Yeso de uso agrícola

El yeso puro está constituido generalmente por un 79% de sulfato de calcio y 21% de agua, a su vez el sulfato de calcio posee 23.3% de calcio (Ca) y 18.6% de azufre (S) (Castellanos, 2015).

El azufre y el calcio contenido en el yeso, son nutrientes utilizados en la industria agrícola como fertilizantes. El yeso incorporado al suelo donde es disuelto en iones de calcio y sulfato, que precipita y reaccionan con compuestos formando nutrientes para las plantas. Con una concentración de saturación de 2,5g/L disueltos en agua, el aporte de calcio y azufre del yeso supera a la cal agrícola como fertilizante (Castellanos, 2015).

El yeso permite la floculación de partículas de arcilla, que al estar dispersas, contribuyen a compactar la superficie del suelo lo que limita el traspaso del agua y la absorción de nutrientes. Además el calcio es intercambiado con el sodio (Na) lo que contribuye a la disminución del nivel sódico del suelo, lo que ayuda a alcanzar la tolerancia máxima de sodio, que soportan de distintos cultivos (Castellanos, 2015). El porcentaje de sodio intercambiable, es conocido como P.S.I. y su estabilización mediante la implementación de yeso puede tardar 1 a 3 meses, pero sin este puede tardar más de medio año o no alcanzarse del todo. A continuación se muestra la tabla de tolerancia a los P.S.I., que pueden ser potencialmente beneficiados por la incorporación de yeso.

Tabla 12: Tolerancia de los cultivos a suelo sódico.

Clasificación	P.S.I.	Cultivos	Respuesta en crecimiento
<b>Extremadamente sensible</b>	2 – 10	Nogal, cítricos, aguacate	Síntoma de toxicidad de sodio a bajo PSI
<b>Sensible</b>	10 – 20	Frijol	Desarrollo limitado a bajo PSI
<b>Moderadamente sensible</b>	20 – 30	Trébol, avena, festuca, arroz y pasto dallis	Respuesta al sodio, pero con una estructura del suelo favorable
<b>Tolerantes</b>	30 – 40	Trigo, algodón, alfalfa, cebada, tomate	Desarrollo limitado debido a factores de la nutrición y estructura desfavorable
<b>Muy tolerantes</b>	40	Remolacha, pasto rhodes	Desarrollo limitado generalmente debido a estructura desfavorable.

Fuente: Norton, 2006.

El proceso de recuperación del calcio, es similar a los anteriores, donde debe ser triturado y separado de los demás residuos, para luego ser pulverizado y horneado para recuperar sus propiedades químicas. Debido a que no se necesitan procesos posteriores a la recuperación del yeso, este método significa una disminución en el consumo energético de un 50%, que

impactan en la emisión de gases de efecto invernadero y la reducción de uso intensivo de suelo (CONAMA, 2014).

## 5.4.2 Lana mineral

La lana mineral es un producto proveniente de yacimientos basálticos, una roca ígnea rica en silicatos de magnesio y hierro, la cual es fundida para formar fibras que son aglutinadas con una resina acuosa. Su baja densidad y estructura fibrilar permiten disipar el paso de calor con una conductividad térmica entre 0,032-0.042 W/(m K), absorber impactos y ondas sonoras gracias a un factor de resistencia al flujo de aire de 5 (kPa s)/m<sup>2</sup>, además por su composición y aditivos es resistente al fuego (Rockwool, 2015).

### 5.4.2.1 Lana mineral reciclada

El 95% de la lana mineral corresponde a material inorgánico inerte, por lo que no sufre modificaciones luego de su deposición, esto implica que a pesar de que pueda verse afectada de manera física su composición mantiene las características originales lo que implica que puede ser recuperada y reciclada para entrar como materia prima al inicio de su cadena productiva (Rockwool, 2015).

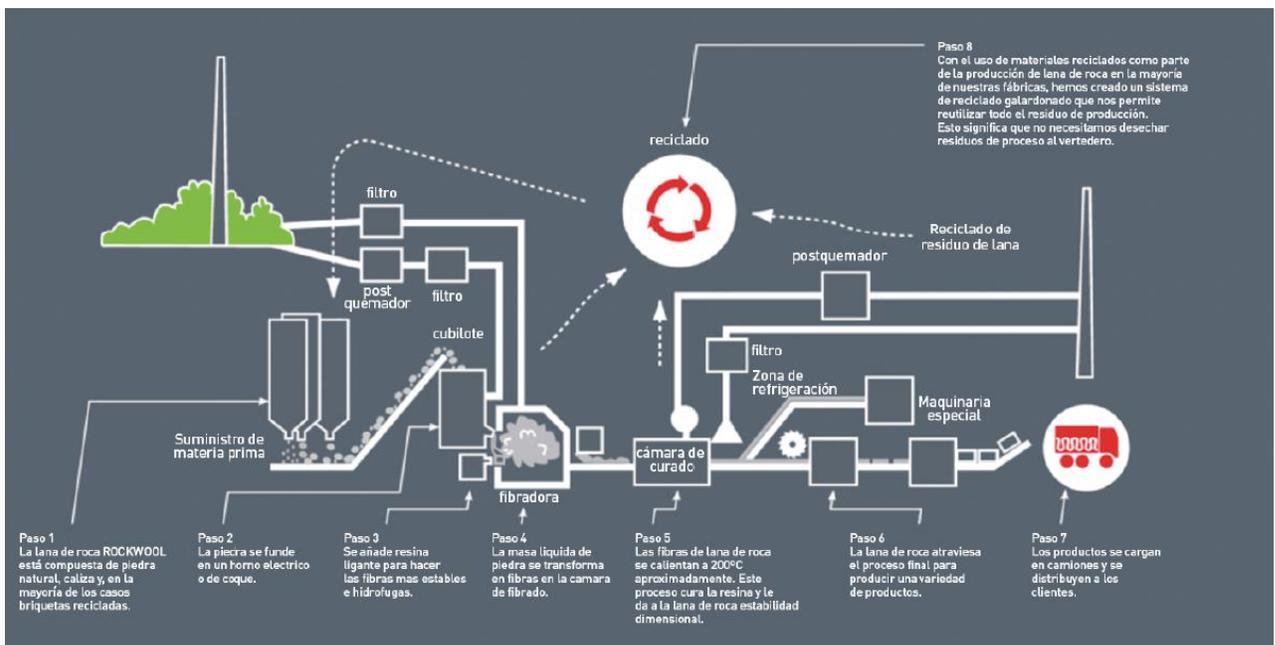


Figura 20: Proceso productivo de lana mineral. Rockwool

El material residual recuperado, posee la misma composición de la roca volcánica madre, por lo que es reinsertado en el proceso de fundición, donde se elimina el volumen de la resina acuosa y puede generarse nuevamente el tejido fibrilar original (Rockwool, 2015).

En el esquema productivo de la lana mineral (Figura 20), podemos ver que durante el proceso de fibrado rotatorio (Paso 4) se desprende fibra mineral residual que es recuperada. De la misma forma ocurre durante el proceso de curado (Paso 5) y al igual que se recupera material de los distintos filtros de la fábrica. Este material es reinsertado al inicio del proceso, previo a la fundición, donde también se añade lana mineral recuperada de la construcción, posterior a su uso.

#### **5.4.2.2 Lana mineral como refuerzo de yeso**

La composición fibrilar de la lana mineral, llega como refuerzo de un material aglomerante como el yeso, el cual tienen comportamiento frágil poco elástico después de fraguar. En la industria de la construcción son utilizadas fibras de vidrio, polipropileno, acero y carbono, con el fin de mejorar las propiedades cohesivas de los aglomerantes (Romaniega, 2016).

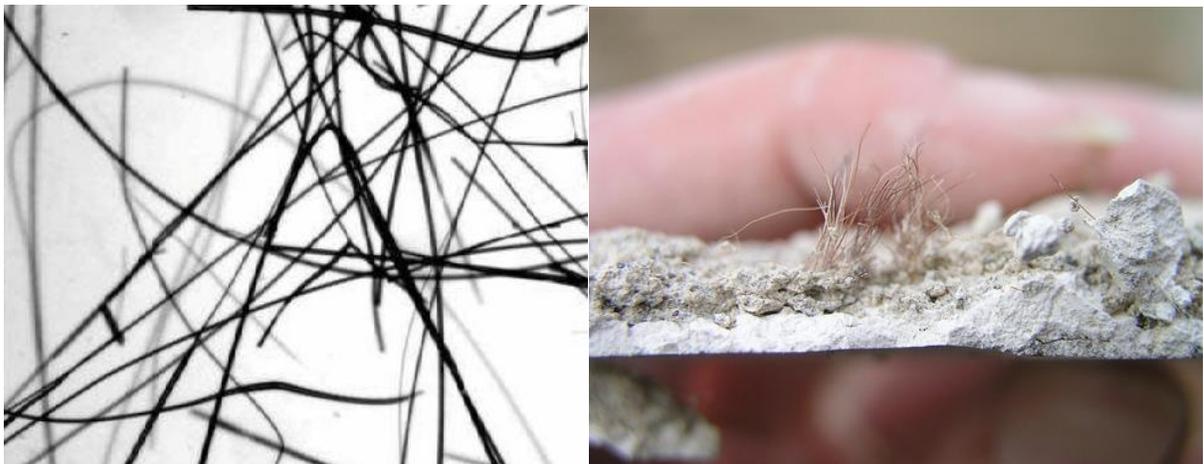


Figura 21: Fibra de lana mineral y refuerzo en yeso. Romaniega, 2016.

La fibra recuperada se debe limpiar, para luego pasar por un proceso que separa las fibras aglutinadas con resina y cortadas para tener las dimensiones necesarias para poder ser adicionadas. El comportamiento del yeso con fibra, responde a la cantidad y direccionamiento de las fibras adicionadas. Un 10% de fibra mineral adicionada aumenta la resistencia a la

flexión en un 250% y aunque disminuye la resistencia a la compresión en un 60% (Romaniega, 2016). Este intercambio en las propiedades puede verse ventajoso ya que la fragilidad del yeso viene en la resistencia a la flexibilidad y no es un material estructural que deba tomar cargas.

## **5.5 PVC**

El cloruro de polivinilo (PVC) es un termoplástico, cuya composición viene de la combinación de carbono cloro e hidrogeno, procedentes de sal, en su mayor parte y petróleo o gas natural. Posee una baja densidad considerando su resistencia mecánica, como también una alta resistencia térmica y eléctrica. El ser un termoplástico inerte, facilita su adaptación a distintos requerimientos, pudiendo encontrarse en tuberías sanitarias, eléctricas, cableado, marcos de ventanas y otros elementos de terminaciones (Franco, 2014)

### **5.5.1 PVC reciclado**

El proceso por el cual se recicla el PVC mecánicamente, comienza por la limpieza y separación del material, esto se realiza manualmente, separando el material de metales, madera u otros elementos, utilizando además el proceso de flotación para eliminar la tierra y astillas metálicas. Luego se pasa a la molienda y transformación del material, que al ser un termoplástico, recupera sus propiedades mecánicas sin alterar su composición química (Franco, 2014), se utilizan prensas de termo formado para calentar el material recuperado, con lo cual se funden y enlazan nuevamente los granos del material triturado, para luego recuperar la forma de plancha, vara o cable.

El proceso de termo formado para la recuperación del PVC y otros plásticos, se lleva a cabo en una termoformadora extrusora, a la cual se suministran pellets del polímero o fibrillas de este (Franco , 2014). Mediante calor, el polímero alcanza un estado semifluido donde se funde entre si bajo presión. La presión está dada por el husillo giratorio que compacta y empuja el material hasta el dado o placa de salida, donde se extrae el PVC restituido como barra o placas.

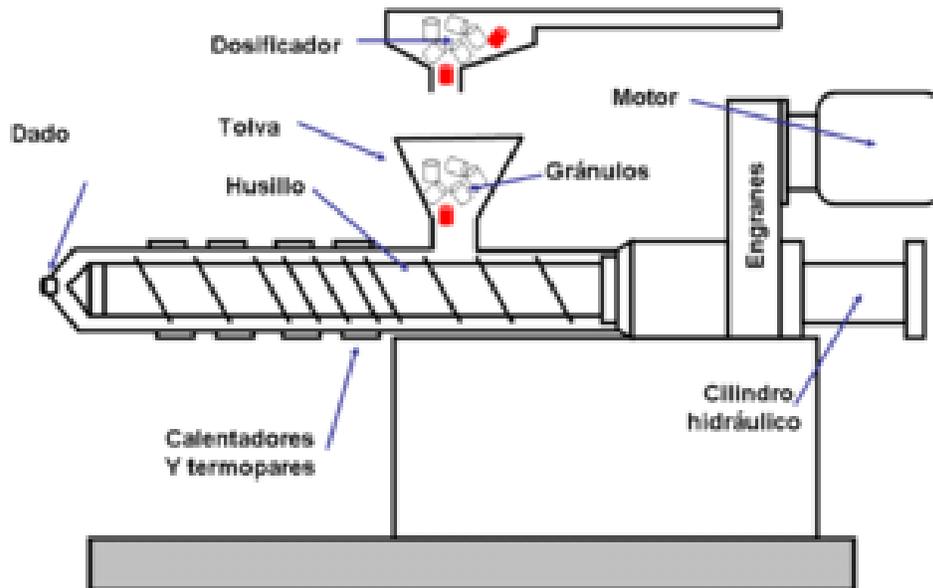


Figura 22: Termoformadora extrusora. Tecnomat.

Las propiedades del material restituído, puede verse afectada por la composición del material base, ya que otros termoplásticos y aditivos presentes, alteran la homogeneidad del material y dificultan su separación para el proceso de reciclado (Franco, 2014).

### 5.5.2 PVC como agregado de relleno granular

Debido a que no siempre es posible el recuperar la integridad del PVC de manera mecánica es que se plantea el uso de resina recuperada como estabilizador de subbase para pavimentos flexibles (Rodríguez, Rondón, Vélez, Aguirre, 2006). Dada la necesidad de reemplazar el uso intensivo del cemento o asfalto, como elemento estabilizador del material comprendido entre la rasante y el pavimento, es que se recurre a la resina de PVC recuperada del material residual.

La flexibilidad y resistencia entregadas con la adición del PVC, han sido comprobadas con estudios de CBR donde responde igual o mejor a los elementos convencionales (Rodríguez et al., 2006). A continuación se muestran los resultados obtenidos por Rodríguez et al. (2006) donde se aprecia el aumento en el CBR y una disminución en la densidad con los distintos porcentajes de aditivo.

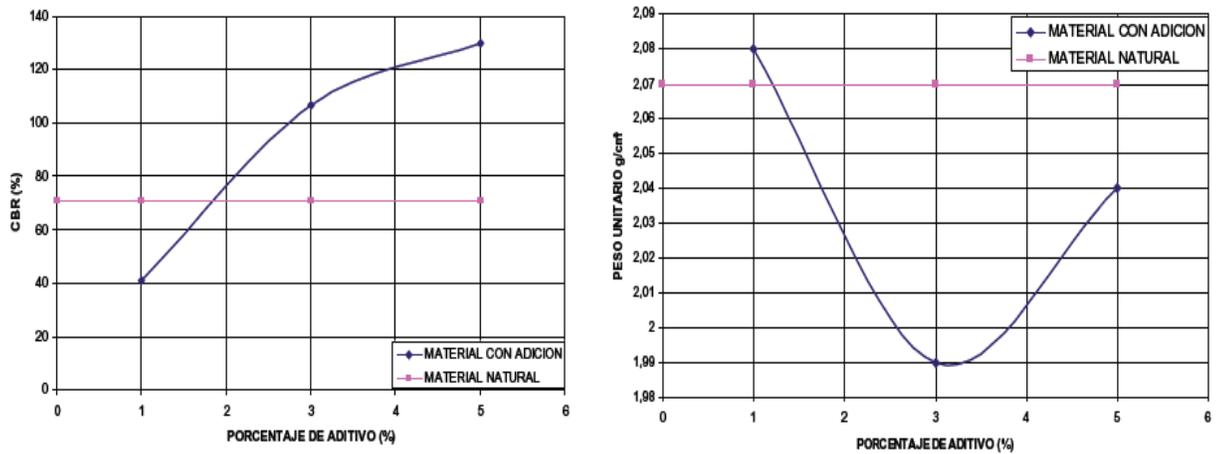


Figura 23: Comportamiento de suelo subbase con adición de PVC. Rodríguez et al. 2006

Para recuperar la resina es que se debe clasificar el material que no es recuperable mecánicamente, el material seleccionado para una pulverización en agua, donde se utilizan químicos que diluyen aditivos y permiten la recuperación de agua con resina de PVC, tras un centrifugado y tamizado es que se recupera el resto de la resina (PETCO), la cual es utilizada como aditivo aglomerante, para la capa subbase de pavimentos. Por lo demás es un material inerte que no se ve afecto a la corrosión, humedad, soluciones acidad o solventes.

## **VI. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS**

Para concluir podemos decir que existe un volumen considerable de 287 mil metros cúbicos, con un peso de 611 mil toneladas, que puede ser potencialmente tratado. Según la CChC (2017) la Región Metropolitana representa un 60% de los departamentos, por lo que al extrapolar las cifras de la región al país, resulta un volumen de 478 mil metros cúbicos y más de un millón de toneladas de RESCON a lo largo del país.

Si bien el gobierno y las empresas asociadas trabajan para poder dar con medios de control y mitigación de los impactos asociados tanto a la construcción como a la de manejo y disposición final de residuos, podemos distinguir ciertos problemas que se han evidenciado a lo largo del proceso de recopilación de información, que tienen que ver con gestión deficiente y alcance y facultades de la normativa actual.

A pesar de que el hormigón y el material pétreo, comprenden un 80% de los residuos, su tratamiento actual utiliza el material para relleno generalmente, sin demostrar innovación que otorgue un uso de mayor valor para los residuos.

En primera instancia, las empresas constructoras no tienen como incentivo tener mejores herramientas de control de residuos que permita iniciar la segregación de los residuos cercano a su fase de generación. Solo se busca cumplir con la normativa mínima establecida por el SEREMI de Salud, y las disposiciones requeridas en el APL (2016).

A demás en visitas a algunas instalaciones de faena se visualizaron prácticas de manejo de residuos deficiente, como el uso de contenedores municipales para depositar sus escombros o el llenado de los contenedores sobre su capacidad.

Las constructoras ajustan sus cubicaciones sumando un porcentaje extra de los materiales a los requeridos según el diseño, donde se considera la generación de residuos. Las constructoras deben contemplar materiales rotos, fallas de operación, desgaste de elementos de montaje, perdidas y robos. De acuerdo a lo conversado con Brotec S.A., las constructoras regulan iterativamente sus proyecciones de perdidas, en base a la experiencia.

Más adelante en el proceso de gestión de los residuos, se observa un problema ya antes mencionado donde la reducción de costos operacionales, ha llevado a empresas encargadas del manejo de los residuos a descargar los contenedores en vertederos ilegales (Labra, 2002), sin regulación ambiental ni mucho menos capacidad de tratamiento de residuos.

Esto ocurre porque la facultad de fiscalizar recae sobre el SEREMI de Salud (APL, 2016 y OGUC, 2016), pero la capacidad del SEREMI se ve sobrepasada. Esta puede ser una de las aristas de acción, más directa para acabar con los vertederos ilegales, aunque no sería una solución óptima al problema, ya que se debería incentivar el mejorar y educar, respecto al manejo y reciclaje de los residuos, siendo este un camino más apropiado para avanzar respecto a las metas del gobierno y la CChC, que buscan disminuir tanto impactos ambientales como sociales.

Se habla de impacto social, ya que han existido protestas en torno a los ex pozos e excavación de REGEMAC y Baltierra. En Puente Alto los pozos fueron habilitados como relleno de residuos inertes en el año 2002, y los vecinos han reclamado que la calidad del aire ha empeorado, debido al polvo levantado en los caminos de acceso no pavimentados, por causa de los camiones y maquinas. A demás que desde el año 2013 se ha iniciado un incendio que se ha reiterado constantemente aunque con carácter subterráneo (Figueroa, 2017). Si a esto se suman las protestas en Til Til por rellenos de residuos inertes y residuos sólidos domiciliarios (RSD) ya que poseen el 67% de la basura total generada en Santiago (Peñalver, 2017). El problema de los emplazamientos de los rellenos y vertederos es un problema que impacta no solo ambientalmente, si no que económicamente a las empresas de transporte de residuos y socialmente a la comunidad.

Ante esta problemática son necesarias políticas ambientales que promuevan e incentiven el reciclaje. En este punto cabe destacar la existencia de la Ley 20.920 (2017). Esta Ley busca disminuir la generación de residuos y promover la reutilización y el reciclaje de estos, enfocando como actores responsables a los productores de los bienes de consumo.

Aunque la Ley REP ya se encuentra vigente, no aplica aun a la construcción ya que solo aplica para materiales establecidos a través de un Decreto Supremo, y de momento solo cubre: aceites y lubricantes, aparatos eléctricos y electrónicos, baterías, envases y embalajes, neumáticos, y pilas (Ley 20.920, 2017).

En Chile se utilizan algunos de los procesos de reciclaje propuestos, como el de madera plástica por ejemplo, pero los residuos provienen de otros procesos industriales. Pero para facilitar el reciclaje, es necesario clasificar y recuperar el material, actualmente solo se rescatan metales y hormigones. En este punto podemos tomar como ejemplo la planta de reciclaje de residuos inertes de Madrid, España.

El Centro La Paloma, es una planta de tratamiento y clasificación de residuos inertes, que entro en funcionamiento en el año 2008, con una capacidad de trabajo de 250 toneladas al año, cuenta con 4 cintas transportadoras que permiten clasificar residuos ya triturados de manera manual, en un ambiente controlado lo que los lleva a alcanzar una tasa de

36,5 ton/hora. Está enfocada en la recuperación de: plásticos, papel-cartón, vidrio, aluminio y metales, dejando como restante hormigón pre triturado para su posterior tratamiento (Madrid, 2017).



Figura 24: proceso de clasificación manual de residuos, España. Techniques, 1999.

El promover la existencia de plantas de clasificación permite agilizar los procesos de recuperación y posteriormente el tratamiento de reciclaje de cada material. Al comparar una planta que posee líneas de trabajo permite mejorar las condiciones laborales para los trabajadores, en comparación a lo observado en la Figura 10, donde la recuperación se realiza a campo abierto.

El plantearse plantas de clasificación de residuos más eficientes permite comenzar a pensar en la posibilidad de incluir los residuos provenientes de la demolición. Los RCD, son los residuos de construcción y demolición, donde se estima según Contreras (2009) se eleva la cifra a 5 millones de toneladas por año, casi 10 veces la actual. Y aunque en la actualidad, el emplazamiento de las nuevas edificaciones, lo que implica que casa y edificios menores y más antiguos sean los demolidos, por lo que representan menos metros cuadrados de construcción y mayoritariamente enfocada en albañilería, el mejorar el plan de manejo del volumen total de residuos hoy, se vuelve tan necesario como el de indagar en investigaciones que permitan aumentar la vida útil de las edificaciones para disminuir su aporte de residuos respecto a su tiempo de servicio.

Luego de lograrse unificar el tratamiento de los RCD con los Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD), es posible generar un sistema de tratamiento integral, que permita rescatar un mayor porcentaje de residuos inertes y disponer de mejor manera los residuos orgánicos y otros de mayor impacto debido a su grado de descomposición.

Tabla 14: Evolución de la composición de RSD.

COMPONENTE	1973	1977	1979	1983	1990	1991	1992(1)	1992(2)	1996	2000	2001	2004
Materia Orgánica	73,00	68,29	63,86	62,20	68,14	55,05	49,30	67,64	44,91	42,29	53,90	54,23
Papel y Cartón	16,00	19,26	16,42	18,90	14,85	16,77	18,80	15,33	20,27	21,85	13,00	18,03
Escombros, cenizas y lozas	0,60	1,58	7,26	6,50	0,00	3,75	5,90	0,00	5,47	5,07	4,00	0,87
Plásticos	2,20	2,38	2,72	4,40	5,82	8,15	10,30	6,09	12,50	14,09	12,10	7,49
Textiles y cueros	2,00	3,73	4,47	3,60	3,85	7,5	4,30	4,48	4,66	5,04	5,40	1,32
Metales	2,80	2,95	2,24	2,50	2,17	2,22	2,30	2,01	2,38	2,46	3,20	0,92
Vidrios	0,90	0,86	1,10	1,30	1,44	1,73	1,60	1,87	1,84	2,12	1,60	9,89
Huesos	2,00	0,29	0,80	0,30	0,00	1,43	0,50	0,00	0,52	0,54	0,30	0,23
Otros (pañales, pilas, varios)	0,50	0,66	1,11	0,30	3,73	3,42	7,00	2,58	7,43	6,54	6,50	7,02

Fuente: Universidad Católica de Valparaíso, 2006.

Los datos de tabla anterior corresponden a un informe de caracterización de RSD para la Región Metropolitana, donde se muestra la composición de los RSD. La materia orgánica es el componente mayoritario, pero aun así se incluyen materiales inertes presentes en los RCD, escombros, plásticos, metales y vidrios representan un 37,2%, que al ponderarlo por las 2.425.562ton/año de RSD dispuestos (U. Católica de Valparaíso, 2006), suman 902.309ton/año. Una cantidad superior a los 611.000ton/año de los RESCON.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

Para el desarrollo de este estudio, han sido consultados los siguientes textos.

- 1) Aguilar, C; Muñoz, M; Loyola, O (2005). *Utilización del hormigón reciclado como material de reemplazo de árido grueso para la fabricación de hormigones*. Ingeniería de Construcción vol. 20, n°1.
- 2) American Concrete Institute (ACI) (2005). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural ACI 318S-05*.
- 3) Asociación Española de Valoración Energética de la Biomasa (AVEBIOM) (2008). *Manual de Combustibles de Madera*.
- 4) Asociación Nacional de Fabricantes de Vidrio (ANFEVI) (2013). *La industria de la fabricación de envases de vidrio*. Primer Informe Sectorial.
- 5) Begliardo, H. Sánchez, M. Panigatti, M. Garrappa, S. (2013). *Reutilización del yeso recuperado de construcciones: un estudio basado en requisitos de aptitud de normad argentinas y chilenas*. Revista de la Construcción vol. 12, n°3, 27-35.
- 6) Consejo Nacional de Producción Limpia (2016). *Acuerdo de Producción Limpia (APL)*. Gobierno de Chile. Recuperado en línea de: [http://www.cpl.cl/Acuerdos\(APL\)/](http://www.cpl.cl/Acuerdos(APL)/)
- 7) Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) (2014). *Viabilidad ambiental del reciclaje del Yeso*.
- 8) Compañía Siderúrgica Huachipato (CAP) (2012). *Barras de refuerzo para Hormigón. Contribución por categoría LEED*.
- 9) DB Export Beer Bottle Sand. Sand made from bottles, not beach. Recuperado en línea de: <http://www.dbexportbeer.co.nz/db-beer-bottle-sand>
- 10) Delvasto, S. Guzman, A. Torres, J. Cedeño, M. Acosta, D. (2015). *Viabilidad de uso del polvo de vidrio como fuente en la elaboración de baldosas de gres porcelánico*. Tecnura vol. 9, n°44, 59-70.
- 11) Fernando Peñalver (2017). *Til Til se nieva a ser el basurero de Santiago*. Publimetro (25 de Julio 20174)
- 12) Franco Edgar (2014). *Propiedades mecánicas de residuos de PVC provenientes de cables eléctricos*. Ingenierías vol. XVII, n°62.
- 13) García, Sebastián (2012) *Utilización de hormigón reciclado (RCA) como árido para micro aglomerados asfálticos en frío destinados a tratamientos de mantención de pavimentos*. Universidad de Chile.

- 14) Geisekam, J. Barret, J. Taylor, P. Owen, A. (2014). *The greenhouse gas emissions and mitigation options for materials used in [UK] construction*. Energy and Buildings vol. 178, nº0, 202-214.
- 15) Gerdau AZA (2005). *Guía educativa para el reciclaje del acero. ¡A Reciclar Chatarra!*
- 16) Gutiérrez Marco (2017). *Planes Inmobiliarios*. Economía y Negocios, El Mercurio (14 de Enero, 2017).
- 17) Instituto Nacional de Normalización (1985). *Norma Chilena Oficial NCh170 Hormigón Requisitos Generales*.
- 18) Instituto Nacional de Normalización (2006). *Norma Chilena Oficial NCh204 Acero – Barras laminadas en caliente para hormigón armado*.
- 19) Instituto de la Construcción (2017). *Anteproyecto de Norma para la Gestión de Residuos y Material de Excavación en Obras de Construcción*.
- 20) Jara María Verónica (2015). *Diseño de una planta piloto para la obtención de grana de madera plástica a partir de polietileno reciclado con partículas lignocelulosicas (ASERRIN)*. Escuela Politécnica Nacional.
- 21) Javier Castellanos (2015). *Manual de uso del yeso agrícola como mejorador de suelos*. Curso de evaluación de la Fertilidad de Suelos para formular recomendaciones de fertilización.
- 22) Jorge A. (2011). *Como se debe utilizar el aserrín en el bio-huerto*. Alternativa Ecológica. Recuperado en línea de: <http://ecosiembrablogspot.cl/2011/05/como-se-debe-utilizar-el-aserrin-en-el.html>
- 23) Labra Mario (2002). *Proposición de un plan de acción para la eliminación de vertederos ilegales y recuperación de áreas afectadas en la Región Metropolitana*. CONAMA (2008).
- 24) Maeva Contreras (2009). *Planta de tratamiento integral de residuos de la construcción y demolición*. Universidad de Chile.
- 25) Martínez Laura (2010). *Reutilización de residuos de edificación para el desarrollo de materiales cementantes con características especiales*. Universidad Politécnica de Catalunya.
- 26) Mata, A. Gálvez, C. (2010). *Conocimiento del proceso de reciclaje de envases de vidrio: propuestas de mejora de proceso actual y análisis costo-beneficio de la implantación del mismo en la planta vidriera Guadalajara*. Recuperado en línea de: <http://genesis.uag.mx/posgrado/revistaelect/calidad/cal010.pdf>
- 27) Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile (2015). *Acuerdo de Producción Limpia (APL), sector construcción, Región Metropolitana*.
- 28) Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Gobierno de Chile (2016). *Ordenanza General de la Ley General de Urbanismo Y Construcción*.
- 29) Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile (2011). *Ley 19.300, sobre bases generales de medio ambiente. Ley Orgánica de Superintendencia del Medio Ambiente*.

- 30) Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile (2017). *Ley 20.920, Ley Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida al Productor y Fomento al Reciclaje (REP)*.
- 31) Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Japón (2004). *The 3R Initiative*.
- 32) Monahan, J. Powell, J.C. (2011). *An embodied carbon and energy analysis of modern methods of constructions in housing. A case study using a lifecycle assessment framework*. Energy and Buildings vol. 43, n°1, p: 179-188.
- 33) Montagnini, F. Jordan, C. (2006). *Reciclaje de nutrientes*. Fundamentos de Ecología, modulo 1.
- 34) Municipalidad de Madrid (2017). *Centro de Tratamiento La Paloma. Sistema de tratamiento de residuos*.
- 35) Natalia Figueroa (2017). *Vecinos de Puente Alto exigen terminar con incendios en pozos de áridos*. Diario Uchile (21 de Junio 2017)
- 36) Norton, D. (2006). *National Soil Erosion Research Laboratory*. United States Department Agriculture.
- 37) Peris, F. Vignote, S. (2006). *Tecnología de la Madera*. 3ra Edición. S.A. Mundi-Prensa Libros.
- 38) Paris, L. González, S. (2009). *Caracterización de los materiales plásticos reciclados proveniente de la industria bananera, empleados para elaboración de madera plástica*. Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, S1(4): 1453-1460.
- 39) Polero, J. da Silva, C. (2009). *Influencia de la separación de residuos sólidos urbanos, para reciclaje en el proceso de incineración, con generación de energía*. Información Tecnológica vol. 20, 105-112
- 40) Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (2006). *Estudio: Caracterización de Residuos Sólidos Domiciliarios en la Región Metropolitana*. CONAMA, Región Metropolitana.
- 41) Rockwool (2005). *Declaración Ambiental de Producto (DAP), Rockwool aislamiento térmico de lana de roca*.
- 42) Rodríguez, E. Rondón, H. Vélez, D. Aguirre, L. (2006). *Influencia de la inclusión de desecho de PVC sobre el CBR de un material granular tipo subbase*. Ingenierías, Universidad de Medellín vol. 5 pp. 21-30.
- 43) Romaniega Sonia, Master oficial en Técnicas y Sistemas de Edificación (2016). *Refuerzos de escayola mediante fibras de lana mineral procedentes del reciclaje de RCD*. Universidad Politécnica de Madrid.
- 44) Solis, R. Moreno, E. (2005). *Influencia del curado húmedo en la resistencia a compresión del concreto en clima cálido subhúmedo*. Revista de Ingeniería vol. 9, n°3, 5-17.
- 45) Techniques n°443 (1999). *Planta de reciclaje Madrid*.
- 46) Trillez-Lazaro, V. Allepuz, S. (2011). *Reutilización de vidrio reciclado y residuos cerámicos en la obtención de Gres porcelánico*.

*Ecoloik*. Boletín Sociedad Española de Cerámica y Vidrio, vol. 50 (marzo-abril).

- 47) Urgilés Cristina (2009). *Tecnología alternativa de reciclaje de vidrio plano para acabado cerámico*. Universidad del Azuay.
- 48) Villanueva, J. García, A. (2001). *Manual del Yeso*. ATEDY.

Otras fuentes de internet:

- 1) Banco Central (<http://www.bcentral.cl>)
- 2) Brotec (<http://www.brotec.cl/>)
- 3) Ciclo (<http://www.ciclochile.cl/>)
- 4) Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) (<http://www.conama.cl/>)
- 5) Compañía siderúrgica Huachipato (CAP) (<http://www.cap.cl/>)
- 6) Corporación de Desarrollo Tecnológico (CTD) (<http://www.registrocdt.cl/>)
- 7) Cristalería Chile (<http://www.cristalchile.cl/>)
- 8) Ecología hoy (<http://ecologiahoy.net/>)
- 9) Euroinmobiliaria (<http://www.euroinmobiliaria.cl/>)
- 10) Fermacell (<https://www.fermacell.es/>)
- 11) German Pellets (<http://www.german-pellets.de/>)
- 12) Idiem (<http://web.idiem.cl/>)
- 13) Innova (<http://www.inmobiliarianova.cl/>)
- 14) Instituto Nacional de Estadísticas (INE) (<http://www.ine.cl/>)
- 15) La Nación (<http://lanacion.cl/>)
- 16) Mapu Express (<http://www.mapuexpress.org>)
- 17) Municipalidad de Madrid (<http://www.madrid.es>)
- 18) Petroquímica Colombiana S.A. (PETCO S.A.) (<http://www.petco.com.co/>)
- 19) Plastimadera México (<https://www.plastimadera.com/>)
- 20) Prado Verde (<http://www.pradoverde.cl/>)
- 21) REGEMAC (<http://www.regemac.cl/>)
- 22) Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente (SESMA) (<http://seremi13.redsalud.gob.cl/>)
- 23) Tecnomat (<http://www.empresastecnomat.cl/>)
- 24) Texinco ([www.texinco.cl](http://www.texinco.cl))
- 25) Veolia (<http://www.veolia.cl/>)